TerrOïko

Rapport final 2014

Etude de viabilité de la population d'azuré des mouillères du réseau de tourbières du plateau de Montselgues par simulation MetaConnect

SOMMAIRE

1 **Contexte de l'étude..... / p.2**

1 / La proposition technique
2 / Bilan de l'activité de TerrOïko pour le projet

2 **Données entrées dans les simulations ..... / p.3**

1 / Données sur la démographie
2 / Données sur l'environnement
3 / Données sur l'interaction démographie/environnement

3 **Analyse des données simulées…..…….. / p.7**

1 / Probabilité de survie, et viabilité des populations
2 / Probabilités de survie
3 / Tailles des populations
4 / Structuration génétique

4 **Synthèse et suggestions ……..……. / p.15**

1 / Synthèse
2 / Suggestions
3 / Conclusion

5 **Bibliographie……..……. / p.17**

1 Contexte de l'étude

1 / La proposition technique

Ce document constitue la suite des résultats du projet proposé par TerrOïko dans le cadre de l'appui méthodologique et l'analyse des données concernant l'effet des ruptures de continuités écologiques sur l'Azuré des mouillères au sein du réseau de tourbières du plateau de Montselgues (Moulherat 2013).

La proposition technique que nous vous avions faite comportait 4 étapes différentes :

1. ***Détermination des coefficients de friction/rugosité des différents habitats pour Phengaris alcon***
2. ***Suivi par capture-marquage-recapture de la population d'azuré des mouillères du plateau de Montselgues***
3. ***Intégration des informations recueillies lors des étapes 1 et 2 à MetaConnect***
4. ***Test des différents scenarii d'aménagement possibles et détermination du scenario le plus pertinent.***

L'analyse des étapes 1 et 2 ont déjà été réalisées (Moulherat 2013). Le présent rapport traite de la partie 3 sur l'intégration des informations recueillies lors de l'étape 1 et 2 à MetaConnect. Un rappel de la proposition est faite ci-dessous.

Etape 3 : Intégration des résultats des étapes 1 et 2 à l'utilisation de MetaConnect

Objectif : Réaliser les études de viabilité de la population d'azuré des mouillères

Les résultats de l'analyse de la CMR de la population d'azuré des mouillères fournira les informations locales des caractéristiques démographiques de l'espèce (taille de population, survie adultes, flux d'individus,…) dans le réseau de tourbières. Au cas où les populations d'azuré sur le site seraient trop petites pour permettre une analyse robuste de la CMR, les caractéristiques démographiques seront extraites de la littérature scientifique existante sur le sujet. Ces données démographiques seront utilisées dans MetaConnect pour simuler la dynamique de la population d'azuré des mouillères sur le plateau de Montselgues.

Les coefficients de friction/rugosité une fois déterminés seront cartographiés à l'aide de la cartographie précise des habitats fournie par le CEN Rhône-Alpes et utilisés comme données d'entrée de MetaConnect. Ces données nous serviront lors de la simulation de la dispersion de l'azuré des mouillères au sein du réseau de tourbières. De même, les stations de gentianes pneumonanthe seront utilisées comme données d'entrée de MetaConnect.

Les simulations réalisées avec MetaConnect fourniront les probabilités d'extinction de l'azuré des mouillères sur chaque tourbière ainsi que pour l'ensemble du réseau étudié. Ces simulations fourniront aussi le potentiel de structuration génétique du paysage actuel. Ces résultats fourniront donc à la fois l'information quant à la viabilité de la population d'azuré des mouillères au sein du réseau de tourbière du plateau de Montselgues et déterminer les zones nécessitant une amélioration de la qualité du milieu pour optimiser la survie de l'espèce, mais aussi la dynamique des flux d'individus au sein du réseau et par là même permettra d'identifier les besoins et localisations de reconnexion des tourbières.

2 / Bilan de l'activité de TerrOïko pour le projet.

Comme prévu dans la proposition technique, TerrOïko (Sylvain Moulherat et Jérémie Cornuau) a réalisé les simulations avec MetaConnect. Les données d'entrée ont été extraites dans la mesure du possible à partir des travaux de terrain du PNR MA *via* David Viratel ou Yves Rozier (Moulherat 2013). Quand les données n'étaient pas disponibles nous avons eu recourt à la littérature scientifique tirée en grande partie des synthèses réalisées dans le cadre du Plan National d'Action *Maculinea* (Dupont 2010, Merlet et Dupont 2012). A l'heure actuelle la dernière partie de la proposition technique (test des scenarii d'aménagements) reste à réaliser en fonction des décisions d'aménagements que vous souhaiterez nous soumettre.

2 Données entrées dans les simulations

Notre outil de simulation de la biodiversité et de la connectivité fonctionnelle (MetaConnect) intègre des données démographiques, des données environnementales et l'interaction de l'écologie avec l'environnement (figure ci-dessous). Ces données d'entrée proviennent en grande partie des travaux du PNR MA (Moulherat 2013).

1 / Données sur la démographie

MetaConnect a été structuré en fonction des traits d'histoire de vie de l'espèce. Nous avons paramétré le cycle de vie à partir des informations du plan national d'action *Maculinea* et de nos bases de données (Figure 1 et tableau 1).

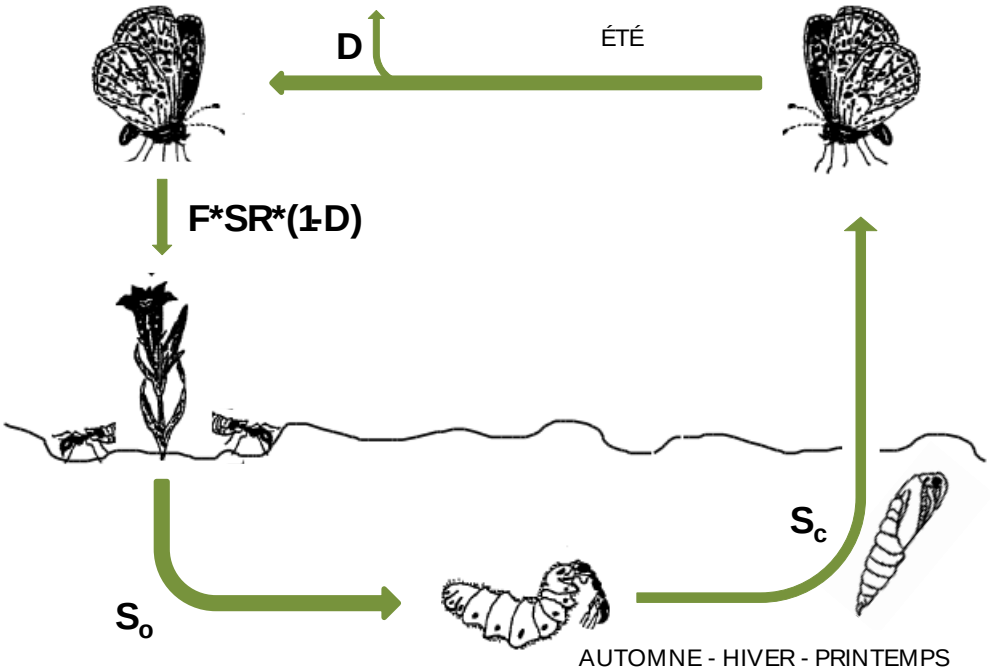


Figure 1. Cycle de vie de *Phengaris alcon* (d'après Rozier 1999 et Lhonoré 1996).

Tableau 1. Paramètre rentrés dans le cycle de vie de *Phengaris alcon.*

Paramètre du cycle de vie	valeur
survie des œufs (S_o)	0.15[a]
survie des chenilles (S_c)	0.15[a]
probabilité de dispersion (D)	0.05[b]

sex ratio (SR)	0.5[b]
fécondité (F)	120[b]

[a] *d'après Als et al. 2001*

[b] *d'après Dupont 2010*

Remarque : Thomas et al. (1998) ont montré que seulement une partie de la génération (25%) se nymphose à la fin du printemps suivant et que l'autre partie (75%) reste une année supplémentaire dans la fourmilière. La présence de ces deux cohortes de chenilles dans la fourmilière a été prise en compte dans le cycle de vie (non-représentée sur la figure 1).

2 / Données sur l'environnement

Nous avons utilisé les cartes de la matrice paysagère sous format SIG (Figure 2). Nous avons utilisé les cinq milieux différents identifiés par le PNR MA (David Viratel) et Yves Rozier lors des travaux de terrain du PNR MA de l'été 2013 (Moulherat 2013, Tableau 2).

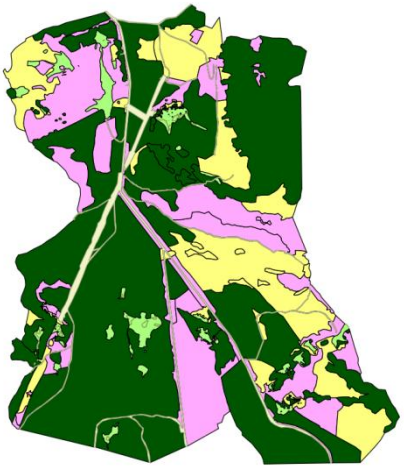


Tableau 2. Matrice paysagère

Habitat	**couleur**
Classe 1 (dont moliniaies)	vert clair
Classe 2	rose
Classe 3	jaune
Classe 4-5	vert foncé
Classe 6	blanc

Figure 2. Carte de la matrice paysagère du réseau de tourbières du plateau de Montselgues. La description complète des classes d'habitat est disponible dans le précédent rapport et le rapport de stage de David Viratel.

Les patchs d'habitat favorable ont été défini à partir des données recueillies sur le terrain (localisation GPS des pieds de gentianes pneumonanthes et distances moyennes parcourues par les azurés) comme étant les zones de 10.4 m autour des pieds de gentianes répertoriés et géo référencés (Moulherat 2013). Nous avons donc distingué 36 patchs d'habitats potentiels (Figure 3).

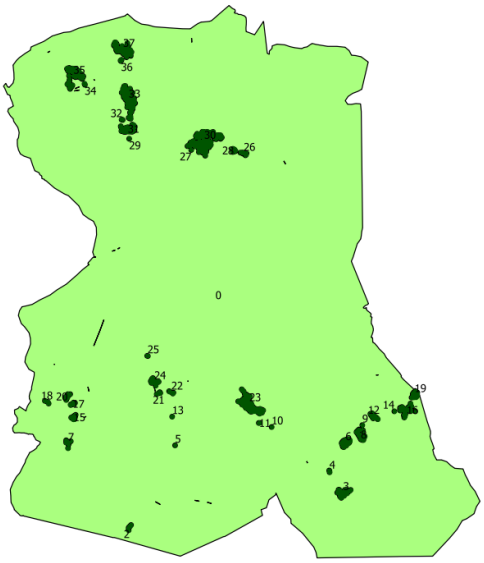


Figure 3. Carte des patchs d'habitat définis à partir des données de terrain recueillies durant l'été 2013 sur le plateau de Montselgues.

3 / Données sur l'interaction démographie/environnement

1) Qualité des patchs d'habitats.

Nous avons quantifié la qualité des patchs d'habitat en fonction de la densité en pied de gentiane, du nombre d'œufs moyen par gentiane et du pourcentage de gentiane occupé par des œufs. Nous avons calculé la densité de pieds de gentiane pour chacun des patchs d'habitat à partir des données de terrain du PNR MA (Moulherat 2013). Nous avons quantifié la capacité d'accueil des patchs d'habitat à partir des données de Yves Rozier collectées sur le plateau de Montselgues (années 2000 à 2009). L'analyse des données d'Yves Rozier nous a permis de déterminer que le nombre moyen d'œufs par gentiane est de 6 et que le pourcentage de gentiane avec des œufs est en moyenne de 19%. C'est donc sur la base de ces données locales que nous avons configuré MetaConnect.

2) Le mode de dispersion.

Les données sur la dispersion de *Phengaris alcon* et chez les *Maculinea* en général ne sont pas encore précisément connues. Nous avons donc décidé de réaliser des simulations basées sur 3 sources d'informations concernant les capacités maximales de dispersion de *P. alcon* (distance maximale de dispersion). Nous avons retenu des scenarii avec une très faible distance de dispersion (30 mètres) une distance moyenne de dispersion (300 mètres) et une grande distance de dispersion (3000 mètres). Les trois distances ont été choisies à partir des données récoltées sur le terrain pendant la campagne de terrain de l'été 2013 (30m), du plan national d'action (300m, Dupont 2010, Merlet & Dupont 2012) et de la littérature scientifique (3000m, Nowicki 2005). Le mode de dispersion choisi est le SMS (stochastic movement simulator) (Palmer et al 2011, Coulon et al. en préparation) qui est le plus adapté pour *Phengaris alcon* (Baguette et Stevens com. Pers.).

3) Les coefficients de friction.

Nous avons utilisé les coefficients de friction précédemment mesurés par les travaux de terrain du PNR MA (Moulherat 2013, Tableau 3).

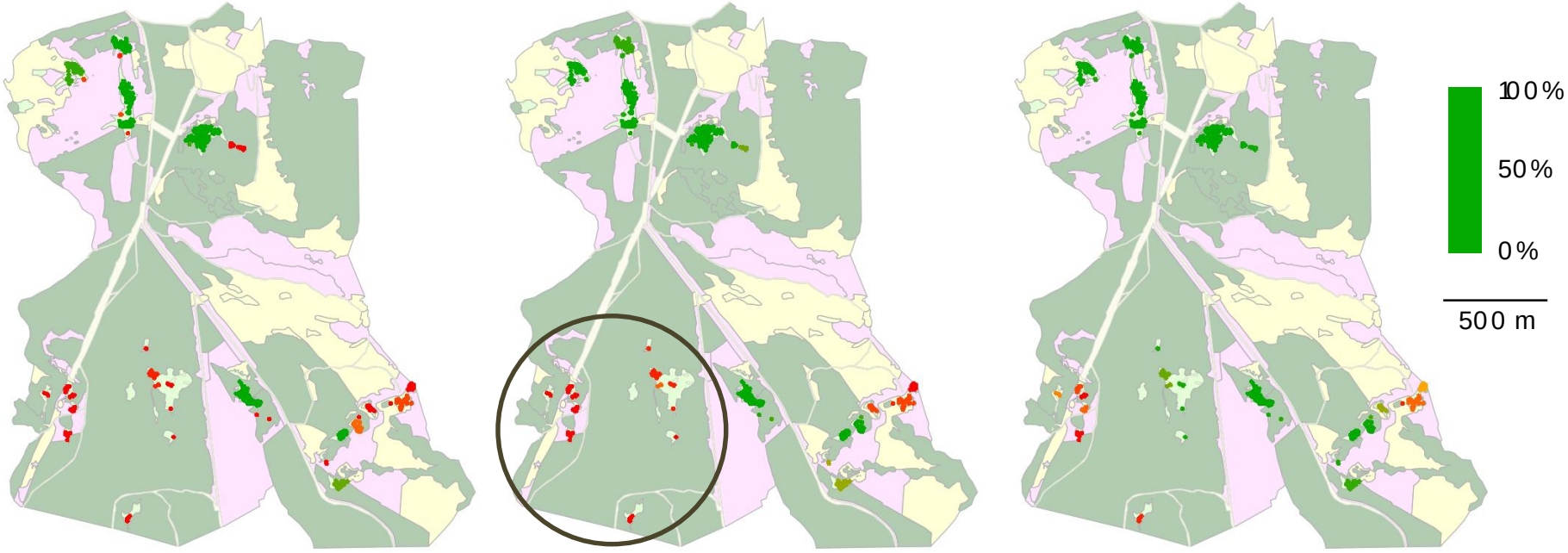
Tableau 3. Coefficient de friction.

Habitat	coefficients de friction
Classe 1	0
Classe 2	-0.01312
Classe 3	-0.27718
Classe 4-5	-0.27718
Classe 6	-0.01312

3 Analyse des données simulées

1 / Probabilité de survie, viabilité de la population

Les cartes ci-dessous présentent les probabilités de survie des populations de *Phengaris alcon* sur le plateau de Montselgues suivant trois scénarii de capacité de dispersion (30, 300 et 3000 mètres).

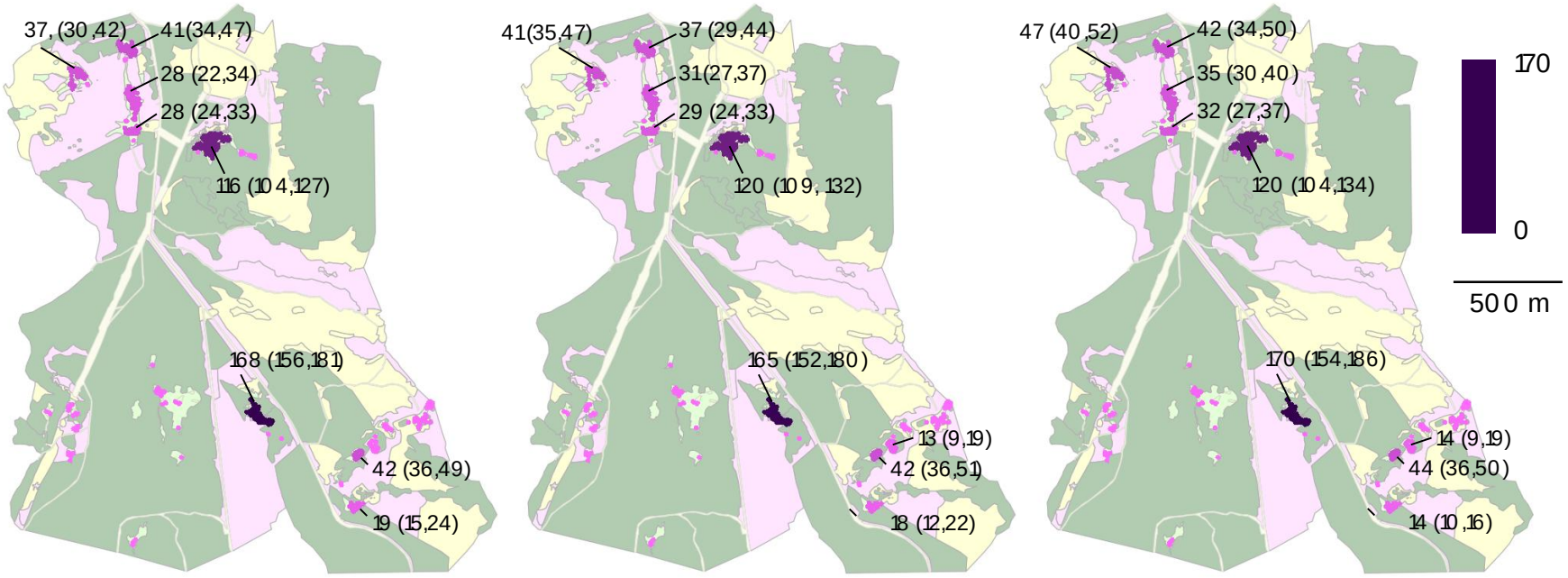


Scénario 30 m | Scénario 300 m | Scénario 3000 m

Les probabilités d'extinction sont relativement stables entre les différents scénarii. Globalement des populations d'azuré des mouillères ont de grandes chances de se maintenir sur les Narcettes, la cham de Chabreille, la cham de Vernède et sur deux patchs d'habitat des granges de Rouveyrette. A contrario les populations de la cham du Jou ont de fortes chances de disparaitre, excepté sur sa partie Est pour des capacités de dispersion de 3000 mètres.

2 / Tailles des populations

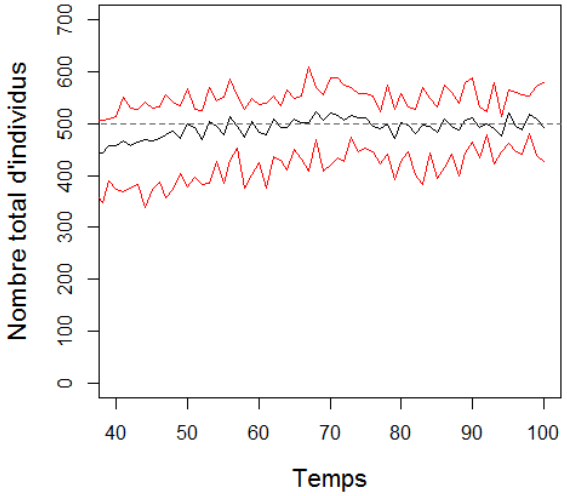
Les cartes ci-dessous présentent les tailles des populations espérées de *Phengaris alcon* sur le plateau de Montselgues suivant trois scénarii de capacité de dispersion (30, 300 et 3000 mètres). Les nombres représentent les tailles de populations moyennes avec entre parenthèse les limites basses et hautes de l'intervalle de confiance à 95%. Seules les populations > 10 individus adultes sont représentées.



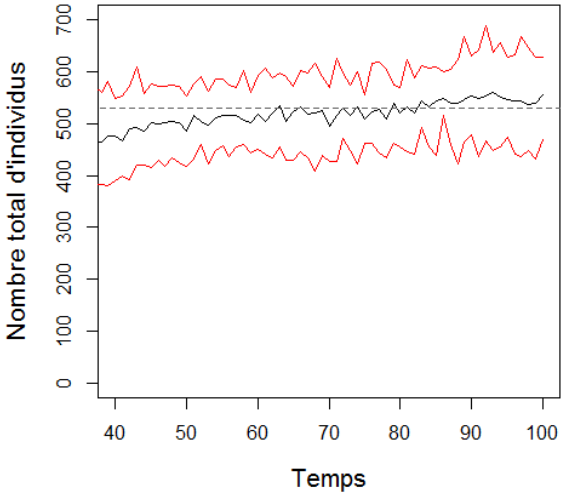
Scénario 30 m | Scénario 300 m | Scénario 3000 m

Les tailles de population sont relativement stables entre les différents scénarii. Globalement trois grandes populations sont présentes à Chabreille, Vernède et les Narcettes. Une population plus faible est présente à Rouveyrette. Les populations de Jou Est et Ouest sont trop petites et instables pour être représentées (<10 individus).

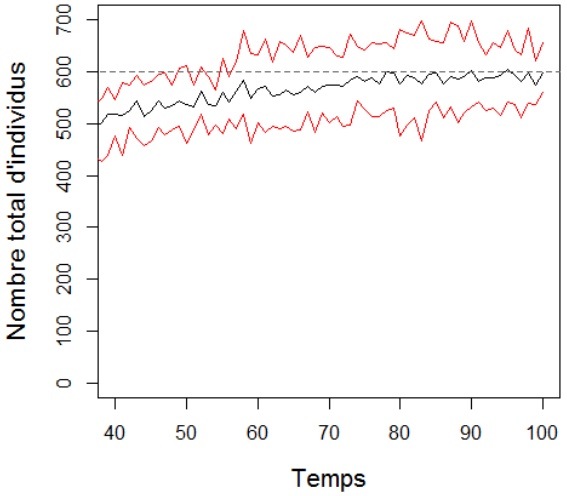
Les graphiques ci-dessous présentent les tailles des populations en fonction des années simulées (0 à 100 ans) de *Phengaris alcon* sur le plateau de Montselgues suivant trois scénarii de capacité de dispersion (30, 300 et 3000 mètres). Les années 0 à 40, correspondent au temps de stabilisation du simulateur et ne sont pas prises en compte dans l'analyse. L'axe des ordonnées représente le nombre moyen d'individus, l'axe des abscisses représente le temps en années. La courbe noire représente la moyenne et les courbes rouges représentent l'intervalle de confiance à 95%.



Scénario 30 m



Scénario 300 m

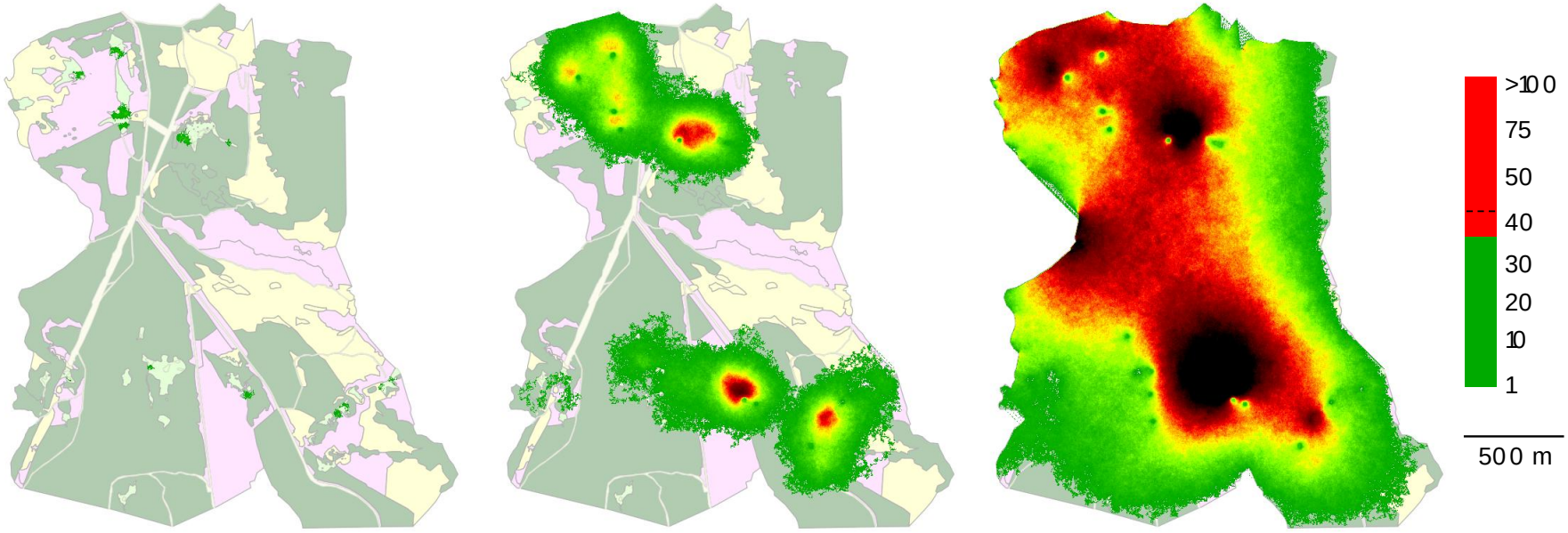


Scénario 3000 m

Les tailles de population globale sont relativement similaires entre les différents scénarii. Les populations globales se stabilisent autour de 500 papillons pour le scénario 30, et augmente progressivement avec l'augmentation des capacités de dispersion (moins d'individus morts en dispersion quand les capacités de dispersion augmentent).

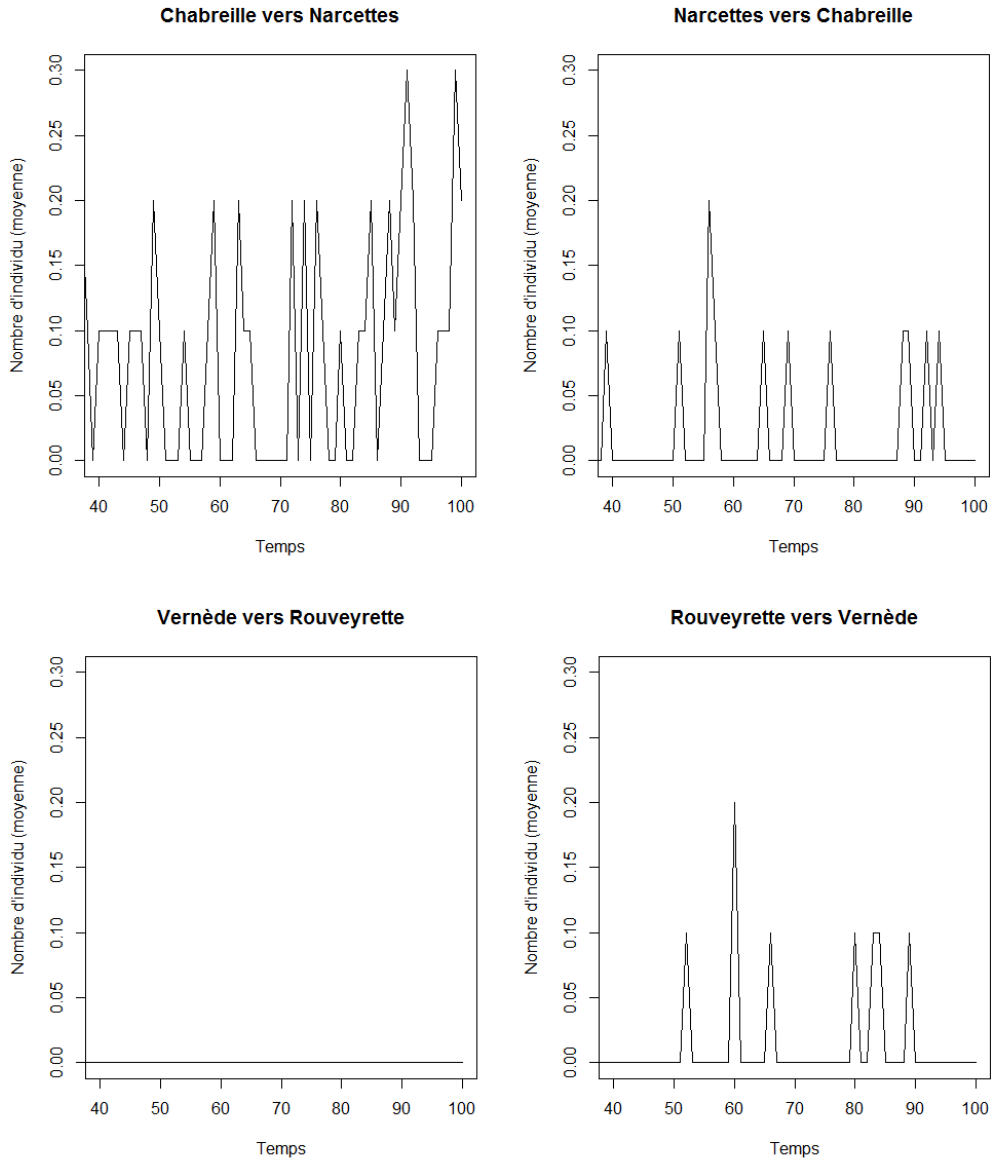
3 / Flux de papillons sur le territoire

Les cartes ci-dessous présentent les flux moyen de *Phengaris alcon* suivant les trois *scénarii* de capacité de dispersion (30, 300 et 3000 mètres). Les flux sont déterminés à partir de la fréquentation des papillons simulés ayant réussi leur dispersion (ayant atteint un patch d'habitat différent de celui dont ils sont partis). En d'autres termes, un flux de 50 papillons signifie que sur 100 générations, 50 passages ont été observés dans la cellule (correspondant donc à 0.5 passage par an). L'interprétation des valeurs doit également se faire de manière relative en comparant les cellules entre elles.



Scénario 30 m | Scénario 300 m | Scénario 3000 m

Le gradient de capacité de dispersion (30, 300 et 3000 mètres) que nous avons choisi est très bien représenté au niveau des flux d'individus allant de l'absence de flux entre les patchs d'habitat (scénario 30) à une présence de flux limité entre les patchs et une séparation Nord-Sud nette des populations (scénario 300) jusqu'à une présence de flux entre l'ensemble des patchs d'habitat (scénario 3000).

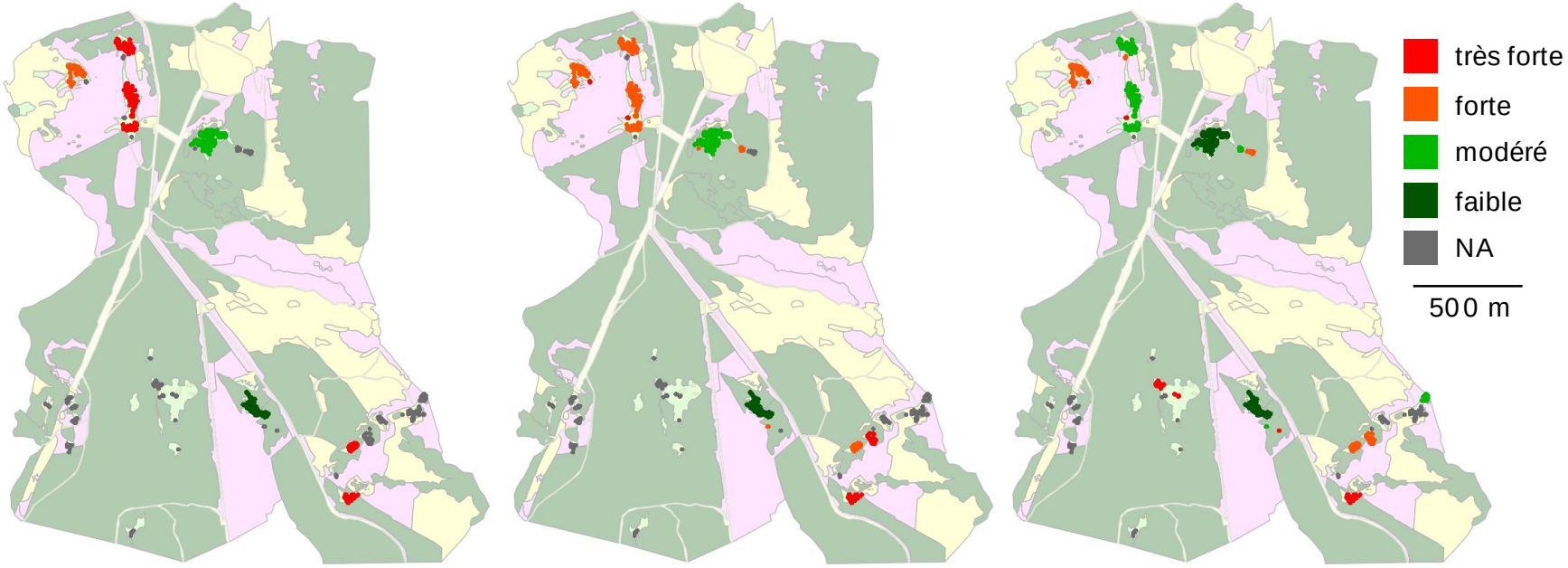


D'après les mesures effectuées sur le terrain et leur interprétation au regard des connaissances sur l'espèce, la valeur la plus plausible des capacités de dispersion de *Phengaris alcon* à Montselgues se trouveraient autour de 300 mètres. Dans ce scénario les Narcettes/Chabreille et Vernède/Rouveyrette ne sont pas connectés par un flux d'individus. La connexion entre Chabreille et les Narcettes et entre Vernède et Rouveyrette est à surveiller car le flux d'individu étant relativement faible (<0.3 passages par an, Figure ci-contre).

Les zones utilisées par *Phengaris alcon* (rouge foncé, figure page précédente) dans le scénario où les capacités de dispersion sont placées à 3000 mètres montrent que sous cette hypothèse, les azurés utiliseraient la ligne à haute tension et la piste pour canaliser leurs déplacements. (Remarque : le secteur >100 passage sur la partie centrale à l'Est de la carte est issue d'un artefact de simulation lié au fait qu'une piste « mène » au bord de la carte. Ce secteur n'est donc pas à interpréter comme étant un carrefour de dispersion de *Phengaris alcon* mais reste dans la continuité des observations précédentes à savoir que la ligne à haute tension et la piste semblent favoriser le déplacement des azurés).

4 / Structuration génétique

Les cartes ci-dessous présentent les indices de diversification génétique des populations (Fst) des populations de *Phengaris alcon* sur le plateau de Montselgues suivant trois *scénarii* de capacité de dispersion (30, 300 et 3000 mètres). Les patchs non viables sont en gris (NA). Si 0 < Fst < 0.05 : la différenciation entre les populations est faible (pas de consanguinité) ; si 0.05 < FST < 0.15 : la différenciation entre les populations est modérée (consanguinité modérée) ; si 0.15 < Fst < 0.25 : la différenciation entre les populations est importante ; si Fst > 0.25 : la différenciation entre les populations est très importante (forte consanguinité).

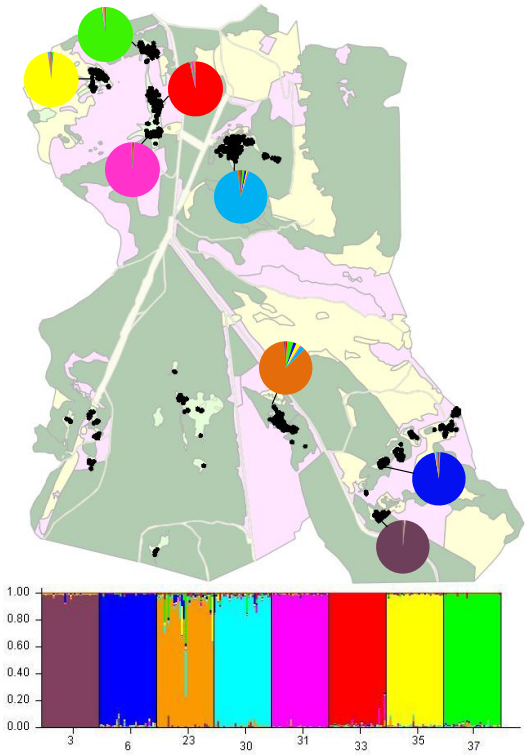


Scénario 30 m | Scénario 300 m | Scénario 3000 m

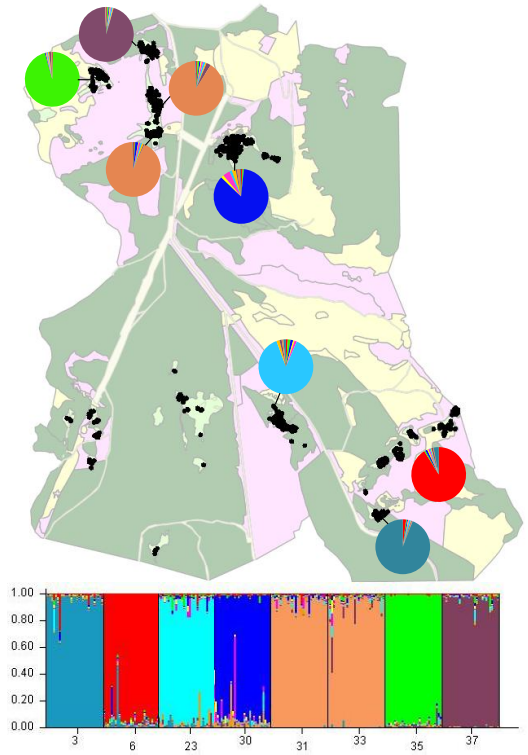
Globalement les indices de diversification des populations (Fst) sont relativement haut, signe d'une différenciation importante entre les différents patchs de *Phengaris alcon*. Nous observons comme attendu que lorsque les capacités de dispersion augmentent (de 30 à 3000 mètre) les Fst diminuent signe que des aménagements permettant de meilleurs déplacements d'individus sur le territoire permettraient de rétablir des échanges génétiques convenables. Les populations des granges de la Rouveyrette montrent une forte différenciation liée à un faible flux de gènes entre les populations. Ce résultat est retrouvé sur les Narcettes bien qu'il soit moins prononcé. Curieusement les Fst de la cham de Vernède et de la cham de Chabreille montrent que ces

populations ne sont pas très différenciées. Cependant aux vues des flux d'individus observés précédemment ce résultat est imputable à la grande taille de ces deux populations et non à des échanges génétiques importants.

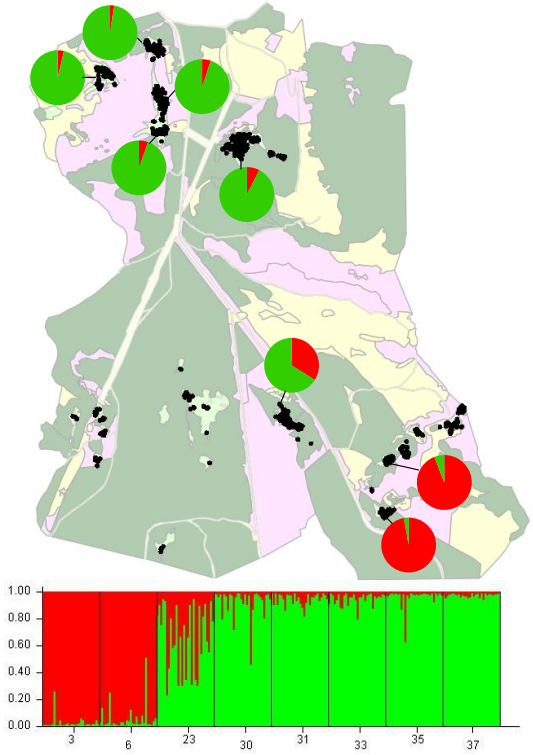
Nous avons testé l'existence d'une structuration génétique des populations à l'aide du logiciel STRUCTURE (Pritchard et al. 2000). Les groupes identifiés par STRUCTURE comme étant potentiellement des populations différenciées sont représentés sur les cartes ci-dessous. Chaque population identifiée par STRUCTURE est représentée par une couleur différente. Les camemberts représentent le degré d'appartenance des individus d'un patch à la population identifiée par STRUCTURE. Lorsque deux patchs ont les mêmes couleurs cela signifie que STRUCTURE les identifie comme une seul population génétique.



Scénario 30 m



Scénario 300 m



Scénario 3000 m

Les résultats de STRUCTURE montrent que sur une fine échelle il est possible d'observer des différenciations génétiques entre les différents patchs d'habitat. Ainsi pour les scénarii à 30 mètres et à 300 mètres même les Narcettes, les granges de la Rouveyrette, la cham de Chabreille et la cham de Vernède peuvent être considérés génétiquement comme des populations différentes. Pour ces mêmes scénarii Les Narcettes et les granges de la Rouveyrette se trouvent structurées en plusieurs populations. A l'inverse pour le scénario à 3000 mètres, seules deux populations au sens génétique sont trouvées. On observe alors une différenciation entre les granges de la Rouveyrette et le reste des patchs. Il est à noter que nous pouvons observer un *continuum* génétique entre les populations où la cham de Vernède permet de faire le lien entre génétique entre les granges de la Rouveyrette et les Narcettes/Chabreille..

4 Synthèse et propositions

1 / Synthèse

Les résultats issus de nos simulations et réalisés à partir de données provenant de votre territoire nous ont permis d'obtenir des indications pertinentes sur la connectivité structurelle sur le plateau de Montselgues. Globalement les densités de population sont faibles tout comme les flux d'individus conduisant à une différenciation forte entre les patchs d'habitat. Cependant les probabilités de survie des Narcettes de la cham de Chabreille et de la cham de Vernède sont très élevées. Il est à noter que peu de sites disposent de données d'occupation des gentianes aussi précises que celles dont nous avons disposé dans cette étude et qui nous a permis de déterminer un taux moyen d'occupation de 19%. Cette remarque implique que nos simulations sont réalisées avec des hypothèses pessimistes notamment concernant la qualité du milieu et que les résultats sont donc à resituer dans ce contexte.

Les tailles de populations espérées de *Phengaris alcon* sur le plateau de Montselgues sont relativement faibles. La présence d'habitat favorable (ici calculée à partir d'un *buffer* de 10,4 mètres autour des points de gentiane) est de 7.2 hectares pour un territoire de 376.9 hectares. Le nombre total de papillons est d'environ 550 individus (scénario 300) ce qui correspond à une densité d'environ 76 individus/hectare d'habitat favorable et 1.46 individus/hectare en prenant en compte la totalité du territoire. Ces valeurs sont faibles comparées à la littérature. En effet la densité de population du genre *Maculinea* varie entre 10 et 1000 individus/hectare et est estimé à 300 papillons/hectare en milieu favorable chez *Phengaris alcon* (Mouquet et al. 2005, Nowicki et al. 2005).

Bien que les densités de population soient faibles les probabilités de survie des populations sont plutôt bonnes sur le territoire excepté pour la cham du Jou et une partie des granges de la Rouveyrette. Ce résultat est en accord avec d'autres résultats d'études de terrain similaires disponibles dans la littérature où le maintien de très petites populations (10 papillons) est observé (Habel et al. 2007). Cependant les simulations montrent (en accord avec la littérature existante) que dès que la taille des populations d'un patch est inférieure à 10 individus leurs chances de survies diminuent fortement (Habel et al. 2007). Habel et al. 2007 expliquent que ces extinctions de population peuvent être endiguées si d'autres populations sont présentes à proximité et peuvent recoloniser le milieu. C'est exactement ce que nous observons sur la cham du Jou Ouest où plus la dispersion est importante plus la probabilité de survie des populations est importante. Il faut toutefois noter qu'avec des capacités de dispersion les plus plausibles (300 mètres) les populations de la cham du Jou ne sont pas viables.

L'absence de potentielle recolonisation à la cham du Jou Est illustre le fait que les populations sont extrêmement isolées sur le plateau de Montselgues. Les flux d'individus observés entre les différents patchs d'habitat sont quasi inexistants pour un scénario de dispersion moyen (300 mètres). De plus, même avec un scénario où les capacités de dispersion sont idéales les flux d'individus restent faibles (autour de 1 à 3 individus par génération). Globalement, le manque de flux entre les différents patchs d'habitat peut être attribué à :

- la distance trop importante qui les sépare. En effet, l'exploitation des données de terrain de l'été 2013 a montré une faible capacité de déplacement de *P. alcon* au sein du réseau de tourbières du plateau de Montselgues (Moulherat, 2013). Ces résultats sont appuyés par d'autres études qui suggèrent que chez *Phengaris alcon* deux patchs d'habitat peuvent être généralement considérés comme distincts lorsque la distance qui les sépare est de 250 à 500 mètres (Wallisdevries 2004, Habel et al. 2007). Nowicki et al. 2007 ont observé que les échanges entre patchs d'habitat étaient très faibles chez *Phengaris alcon* pour des distances variant entre 300 à 700 mètres. Le plan national d'actions en faveur des *Maculinea* estime qu'au-dessus de 1 kilomètre les flux d'individus ne sont plus possibles.
- des tailles de population par patch d'habitats faibles (peu d'individus par patch donc mécaniquement, peu d'individus dispersants).

2 / Bilan et propositions

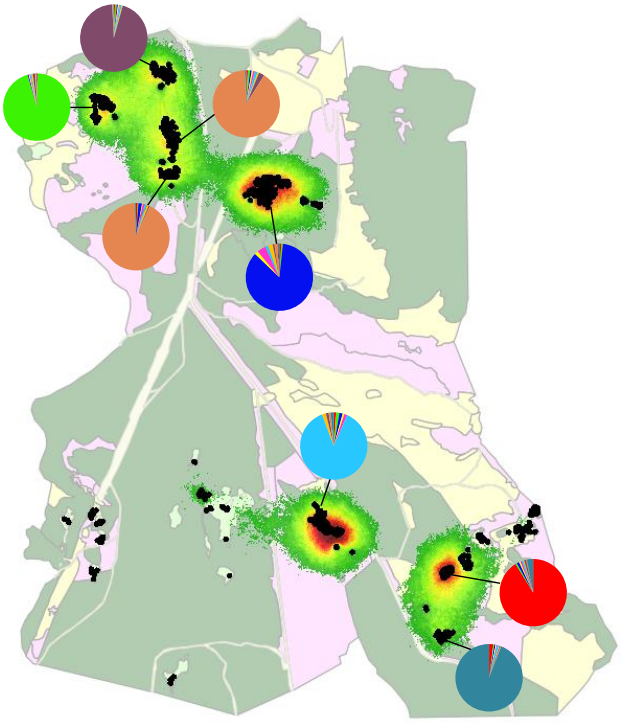


Figure 4 : Bilan des résultats

Les résultats de simulation (figure 4) suggèrent que :

- Au sein des Narcettes, le secteur de l'exclos, celui de la mare nord et celui du secteur sud proche de la parcelle pâturée par les chevaux semblent n'avoir que très peu d'échanges entre eux. Il semble que bien que la couverture végétale soit favorable au déplacement des azurés, l'absence de sites relais (présence de gentiane) et/ou la faible densité de population sur ces différents secteurs soit un frein aux échanges. Une semblable observation explique l'isolement des secteurs les plus au sud des granges de la Rouveyrette (voir cercle rouge sur figure 5 pour des propositions de localisation de secteur où favoriser le développement de la gentiane pneumonanthe).

- Les secteurs nord (Narcettes et cham de Chabreille) et sud (Cham du Jou, cham de Vernède et granges de la Rouveyrette) sont deconnectés malgré la présence de structures paysagères qui sembleraient favorables au déplacement des azurés (piste et ligne haute tension). Il semble difficile de reconnecter ces deux secteurs car il faudrait créer un réseau de patchs d'habitats favorables entre ces deux secteurs.
- La structure actuelle du paysage permet des flux (limités) d'individus entre les Narcettes et la cham de Chabreille favorisés par la présence du corridor (signalé par les lignes rouges de la figure 5). Cependant ces flux sont encore insuffisants pour assurer un brassage génétique suffisant pour éviter la hausse de la consanguinité sur chacun de ces sites. Cette augmentation persistante de la consanguinité pourrait être atténuée par un renforcement des populations de ces sites (augmentation du nombre de gentianes et meilleure circulation des individus aux seins des Narcettes et de la cham de Chabreille)
- La construction de corridor (ici considéré comme ayant un couvert végétal de classe 2 (lande à calune)) semble favoriser les échanges, d'azurés des mouillères entre les Narcettes et la cham de Chabreille. Il est donc probable que la construction de corridors similaires entre la cham de Vernède et les granges de la Rouveyrette aient des effets similaires (signalé par la ligne discontinue rouge sur la figure 5). Par contre, la construction de corridors dans le but de connecter la cham du Jou au reste du réseau risque d'être inefficace car les distances à franchir sont importantes et supérieures aux capacités de déplacement de l'azuré des mouillères. Il faudrait donc associer la construction/aménagement des corridors à la création de patchs relais (signalé par les pointillés rouges). Le cas échéant il serait aussi nécessaire d'améliorer la qualité du milieu sur la cham du Jou afin que les populations d'azuré des mouillères puissent s'y installer de façon pérenne (cercles en ligne discontinue sur la figure 5).

L'ensemble des propositions faites ici (figure 5) pourront faire l'objet d'une étude de comparaison de *scenarii* d'aménagement avec MetaConnect.

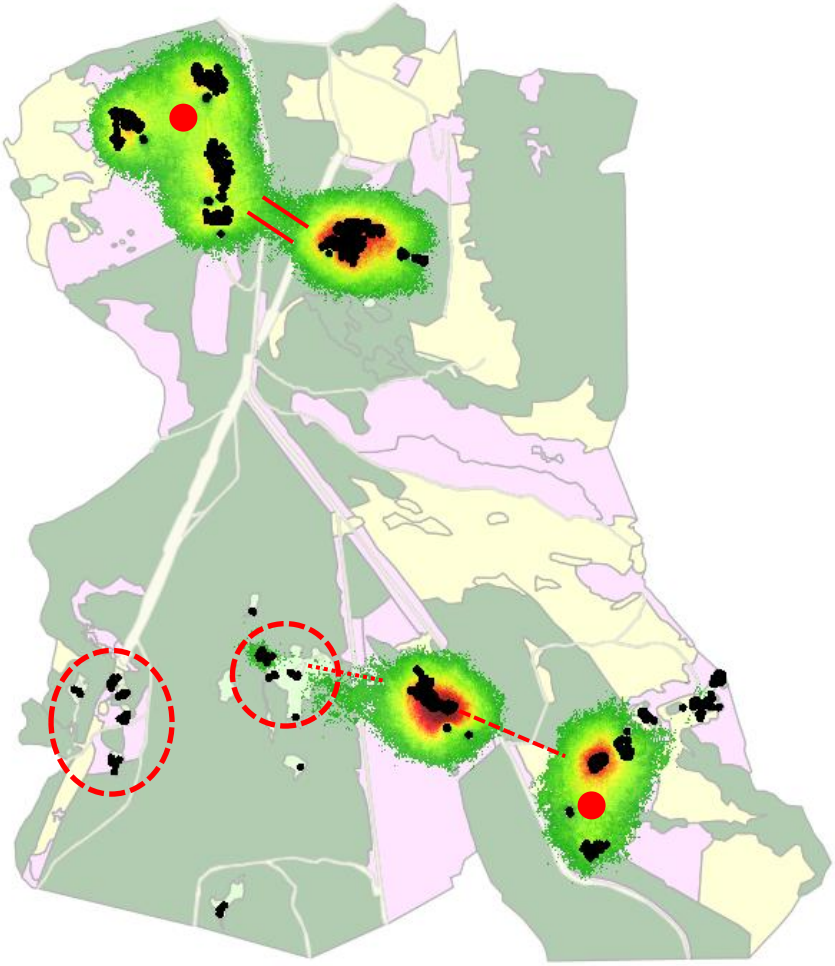


Figure 5 : aménagements et priorisations d'aménagement susceptibles d'améliorer la viabilité et la connectivité entre les tourbières du plateau de Montselgues. Les cercles rouges pleins correspondent à la localisation de zones relais qui permettraient de consolider les populations et les échanges au sein des Narcettes et des granges de la Rouveyrette (zones pour lesquelles il serait nécessaire de favoriser le développement des gentianes). Les cercles en lignes discontinues rouges correspondent aux deux secteurs de la cham du Jou qui nécessiteraient des aménagements visant à améliorer la qualité du milieu pour l'azuré des mouillères (pour pouvoir accueillir des populations viables d'azurés). Du point de vue des restaurations de connectivité, le corridor entre les Narcettes et la cham de Chabreille est signalé par les traits pleins rouges. Il semblerait prioritaire de restaurer la connectivité entre les granges de la Rouveyrette et la cham de Vernède (lignes discontinue rouge) afin de renforcer les populations de ces deux sites. La restauration de la connectivité entre la cham de Vernède et la cham du Jou semble moins prioritaire (ligne pointillée rouge) dans la mesure où les populations la cham du Jou ne sont pas viables et nécessiteraient dans un premier temps une amélioration de la qualité du milieu.

5 Bibliographie

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: 99-106.

COULON, A., J. ABEN, S. C. F. PALMER, V. M. STEVENS, D. STRUBBE, L. LENS, E. MATTHYSEN ET AL. (Submitted). The use of a stochastic movement simulator improves estimates of landscape connectivity. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.

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. 138 pages.

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. Volume 32, numéro 5. Pages 536-543.

LHONORÉ J. (1996). Rapport final sur la biologie, l'écologie et la répartition géographique de quatre espèces de Lépidoptères Rhopalocères protégés (Lycaenidae, Satyridae) dans l'Ouest de la france. Rapport SRETIE, OPIE, Minist. de l'Environnement. 130p.

MERLET F. & DUPONT P. (2012). L'Azuré des mouillères Maculinea alcon. Office pour les insectes et leur environnement. 10 pages.

MOULHERAT S. (2013). Rapport final 2013 TerrOïko, Analyse du suivi des déplacements d'Azurés des Mouillères sur le réseau de tourbière du plateau de Montselgues.

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. Volume 86, numéro 12. Pages 3160-3173.

NOWICKI P., PEPKOWSKA A., KUDLEK J., SKORKA P., WITEK M., SETTELE J. & WOYCIECHOWSKI M. (2007). From metapopulation theory to conservation recommendations: Lessons from spatial occurrence and abundance patterns of Maculinea butterflies. Biological Conservation. Volume 140. Pages 119-129.

NOWICKI P., SETTELE J., THOMAS J.A. & WOYCIECHOWSKI M. (2005). A review of population structure of Maculinea butterflies. In : SETTELE J. KÜHN E. & THOMAS J.A.,

coord. (2005). Studies on Ecology and Conservation of Butterflies in Europe. Vol. 2: Species Ecology along a European Gradiant: Maculinea Butterflies as a Model. Pensoft Publishers, Sofia-Moscow. Pages 144-149.

PALMER, S. C. F., A. COULON, AND J. M. J. TRAVIS. (2011). Introducing a 'stochastic movement simulator' for estimating habitat connectivity. Methods in Ecology and Evolution, 2, 258-268.

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. Université Claude Bernard Lyon I, thèse de doctorat, 231p.

THOMAS, J. A., G. W. ELMES & J. C. WARDLAW. (1998). Polymorphic growth in larvae of the butterfly Maculinea rebeli, a social parasite of Myrmica ant colonies. Proc. R. Soc. Lond. B Biol. Sci. 1408: 1895-1901.

WALLISDEVRIES M.F. (2004). A quantitative conservation approach for the endangerd butterfly Maculinea alcon. Conservation Biology. Volume 18, numéro 2. Pages 489-499.

Habitat (data CEN)	Classe habitat Pa (DV + YR)
Tourbière haute active	1 – Habitat
Prairie paratourbeuse à Jonc	1 – Habitat
Prairie humide à molinie	1 – Habitat
Prairie humide à molinie boisée par pin sylvestre	1 – Habitat
Dépression à rhyncospore blanc	1 – Habitat
Eau peu minréalisée (mare)	1 – Habitat
Lande à callune et genêt	2 – Zones d'alimentation
Pelouse à Nard et Fétuques	2 – Zones d'alimentation
Eboulis	2 – Zones d'alimentation
Lande à genêt à balais	3 – Buissons
Lande à genêt purgatif	3 – Buissons
Lande à genêt à balais et purgatif	3 – Buissons
Lande à fougère aigle	3 – Buissons
Hêtraie sèche	4 – Forêts denses
Reboisement de pins sylvestre	4 – Forêts denses
Forêt mixte	4 – Forêts denses
Plantation de conifères	4 – Forêts denses
Bois de bouleaux humides	5 – Forêt peu dense
Lande à Callune et genêt boisée en pin sylvestre	5 – Forêt peu dense
Lande à genêt purgatif sous forêt mixte	5 – Forêt peu dense
Lande à genêt purgatif boisée en pin sylvestre	5 – Forêt peu dense
Lande à fougère aigle sous forêt de frênes et d'aulnes	5 – Forêt peu dense
Forêt de frênes et d'aulnes	5 – Forêt peu dense
Bois de bouleaux humides mélangé à la hêtraie sèche	5 – Forêt peu dense
Forêt de frênes et d'aulnes et hêtraie sèche	5 – Forêt peu dense
Chemins	6 – Corridors
Pistes	6 – Corridors
Zones rudérales	6 – Corridors
Corridors	6 – Corridors

Etude de viabilité de la population d'azuré des mouillères du réseau de tourbières du plateau de Montselgues par simulation MetaConnect

Etude réalisée par

sous maîtrise d'ouvrage

animateur du site Natura 2000

FR78201660

en partenariat avec

gestionnaire du réseau de tourbière

du Plateau de Montselgues

Programme réalisé avec le soutien financier