



Étude des abeilles sauvages dans le Marais poitevin : connaissances préliminaires, évaluation du maillage d'habitats et propositions de reconnexion

Rapport de stage

PUJOLLE LEO

MASTER 2 BIODIVERSITE, ECOLOGIE, EVOLUTION
PARCOURS GESTION DE L'ENVIRONNEMENT
UNIVERSITE GRENOBLE ALPES
2022-2023

Maitre de stage : LORIENT Angèle

Tuteur académique : LEBLOIS Solange



REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier ma responsable de stage Angèle Lorient de m'avoir donné l'opportunité de réaliser ce stage très enrichissant. J'ai beaucoup appris à tes côtés, merci de m'avoir fait découvrir ce beau territoire du Marais poitevin, merci d'avoir partagé tes connaissances, ton expérience, merci pour ton soutien et ton temps.

Mention spéciale à la fine équipe du service environnement avec qui travail et rigolade sont de mise.

Merci également à l'ensemble des stagiaires avec qui nous avons partagé durant 3 mois ce bureau, de m'avoir accompagné durant mon stage.

Je remercie toute l'équipe du Parc qui m'a offert un si bon accueil. Après ces six mois, merci pour votre gentillesse et bienveillance qui ont été un véritable facilitateur durant cette expérience.

Présentation de la structure d'accueil

Qu'est-ce qu'un Parc Naturel Régional ?

Selon la Fédération des Parcs, un Parc naturel régional est créé dans le but de protéger et valoriser d'importants espaces ruraux habités. Ce statut est attribué à des territoires ruraux dont les paysages, les milieux naturels et le patrimoine culturel sont d'une grande qualité, mais vulnérables. Un Parc naturel régional est fondé sur un projet de développement durable concerté, axé sur la préservation et la mise en valeur de son patrimoine naturel et culturel.

Le Parc naturel régional du Marais poitevin

Le Marais poitevin, deuxième plus grande zone humide de France, présente une richesse unique en termes d'écologie, de biodiversité, de culture et de paysages. Modelé par l'activité humaine depuis le XI^e siècle, il se compose de plusieurs entités distinctes : le marais maritime, le marais desséché et le marais mouillé. Des canaux, fossés et rigoles parcourant des milliers de kilomètres, ainsi que des arbres plantés pour stabiliser les berges, témoignent d'une relation étroite avec l'eau.

La gestion du Parc est assurée par un syndicat mixte, regroupant les régions Nouvelle-Aquitaine et Pays de la Loire, les départements de Charente-Maritime, des Deux-Sèvres et de Vendée, les communes adhérentes, les EPCI et les Chambres d'agriculture. Ce syndicat est chargé de mettre en œuvre le projet de territoire énoncé dans la charte.

La charte du Parc naturel régional est un contrat engageant les collectivités territoriales concernées pour 12 ans, détaillant les missions et orientations pour la protection, la valorisation et le développement du territoire. Le Marais poitevin couvre 89 communes réparties sur trois départements, avec une superficie de 197 221 hectares et une population de 199 634 habitants. Il s'étend sur 149 kilomètres de côte et comprend 107 526 hectares de zones humides.

Les interventions du Parc

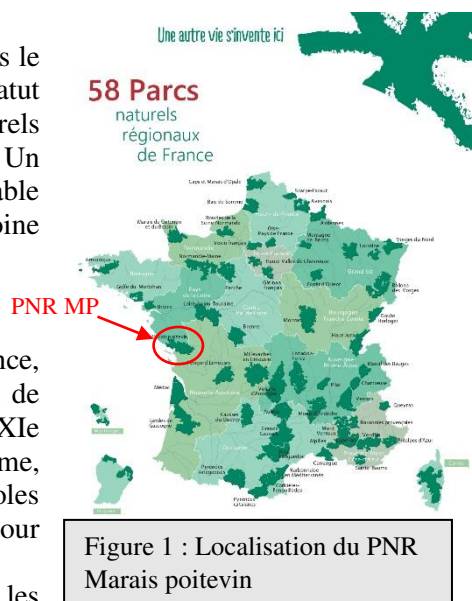
Le Parc naturel régional du Marais poitevin accompagne les acteurs signataires de la charte dans la réalisation de leurs engagements en faveur du territoire. En accord avec la charte, le syndicat mixte agit selon trois modalités principales :

- **Animation du territoire** : En collaboration étroite avec les acteurs locaux, le syndicat soutient la mise en œuvre des politiques respectives tout en visant une convergence vers le développement durable du territoire, en accord avec les engagements de la charte.
- **Maîtrise d'ouvrage** : En faveur de projets conformes aux orientations de la charte, le Syndicat mène des projets en maîtrise d'ouvrage dans des domaines non exclusivement réservés à d'autres acteurs. Ces projets sont axés sur l'innovation, l'exemplarité et l'intérêt collectif.
- **Conseil et assistance** : Sollicité par les collectivités locales et les porteurs de projets, le Parc apporte son expertise pour le développement de projets durables et les guide vers leur réalisation.

Les domaines d'intervention du Parc

Les missions des Parcs naturels régionaux de France sont régies par le code de l'environnement. Les interventions du Parc du Marais poitevin se concentrent sur :

- **Le développement économique** : Soutien à l'agriculture durable, promotion du terroir, développement touristique et exemplarité énergétique.
- **L'aménagement du territoire** : Accompagnement des stratégies spatiales et des démarches urbaines et paysagères.
- **La protection du patrimoine naturel** : Amélioration des connaissances, préservation et restauration de la biodiversité, opérations de génie écologique pour les continuités écologiques.
- **L'éducation à l'environnement et au développement durable** : Formation, développement de l'offre éducative et sensibilisation des usagers du territoire.



Place du poste occupé

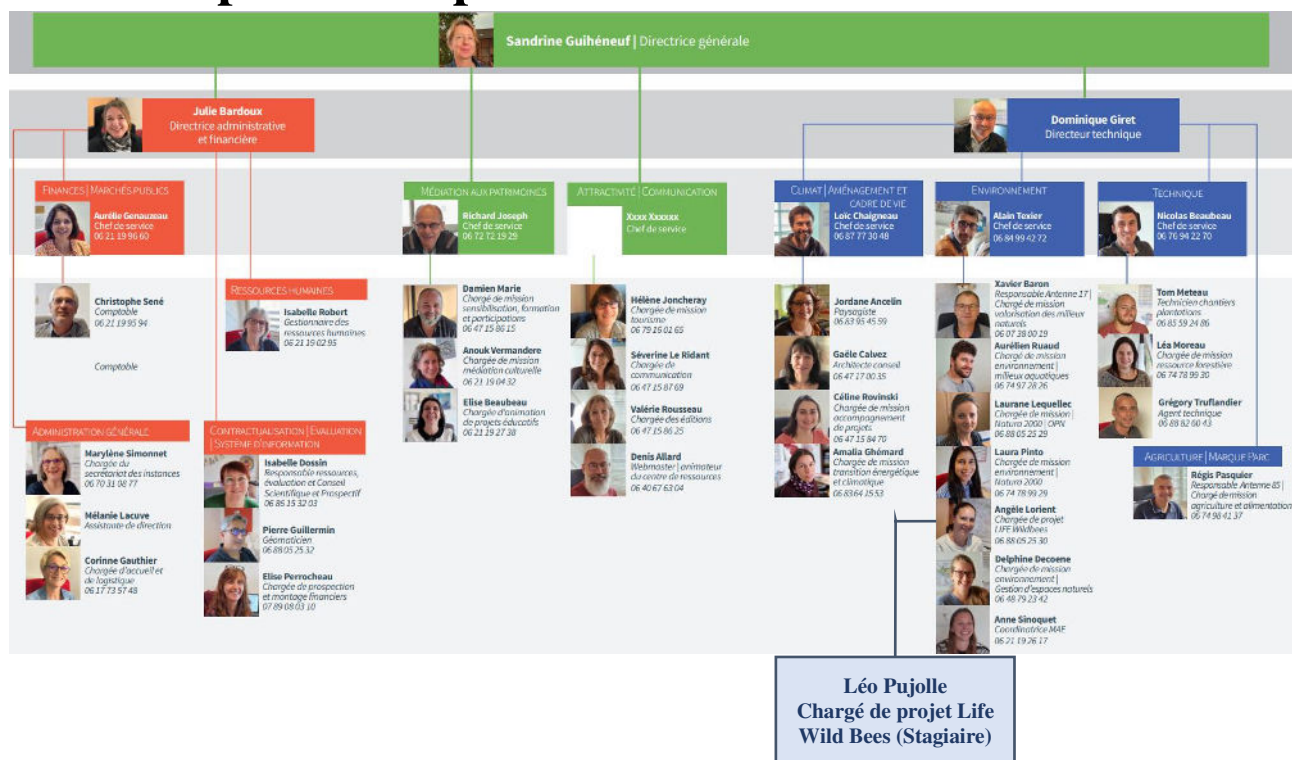


Figure résumant les différentes missions réalisées et du temps de travail associé au sein de la structure d'accueil

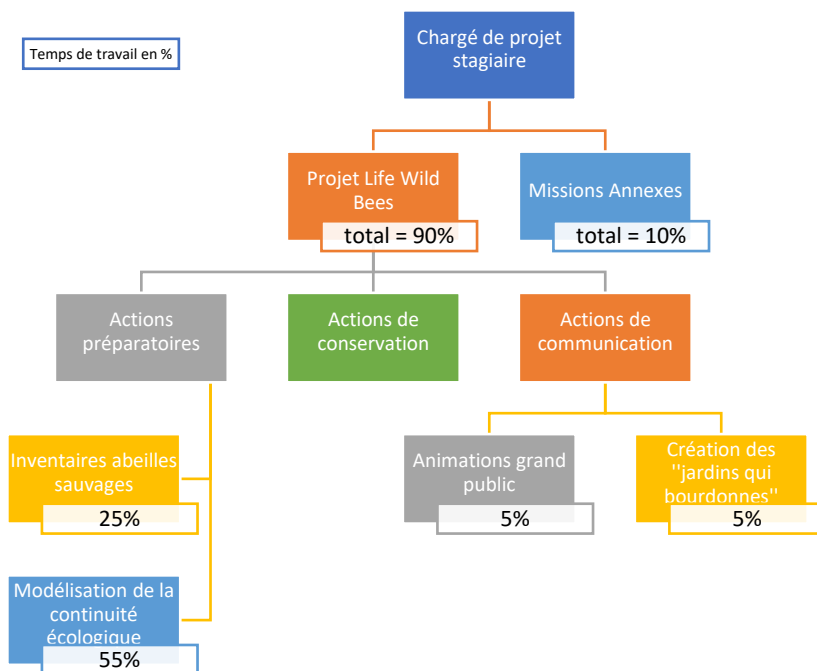


Table des matières

Présentation de la structure d'accueil	2
Place du poste occupé.....	3
TABLE DES FIGURES	6
TABLE DES TABLEAUX	6
TABLE DES CARTES	6
ACRONYMES	7
I INTRODUCTION.....	8
I.1 Contexte de l'étude.....	8
I.1.1 Le Parc naturel régional du Marais poitevin.....	8
I.1.2 Projet Life Wild Bees	9
I.2 L'étude des réseaux écologiques.....	10
I.2.1 Concept de la théorie des graphes et modélisation des réseaux écologiques.....	11
I.3 Les abeilles sauvages aujourd'hui : situation et enjeux.....	11
I.3.1 Cycle de vie	11
I.3.2 Ecologie des abeilles.....	11
I.3.3 Situation actuelle des abeilles sauvages.....	13
I.3.3.a Causes	14
I.3.3.b Conséquences.....	14
I.4 Problématique.....	14
II MATERIELS ET METHODES.....	15
II.1 Connaissances initiales des abeilles sauvages du PNR.....	15
II.1.1 Inventaires des abeilles sauvages	15
II.1.2 Analyse statistique des données	16
II.1.2.a Diversité alpha	16
II.1.2.b Diversité beta.....	17
II.2 Cartographie paysagère, modélisation et analyse des réseaux écologiques	18
II.2.1 Choix et présentation de la méthodologie	18
II.2.2 Cartes paysagères et de friction.....	18
II.2.2.a Récolte des données et traitements cartographiques.....	19
II.2.2.b Rastérisation et attribution des coefficients de friction	20
II.3 Analyse du réseau écologique.....	21
II.3.1 Diagnostic : hiérarchiser les éléments du réseau	21
II.3.2 Rupture de continuité	23
II.4 Amélioration du réseau écologique.....	23
II.4.1 Ajout de nouveaux éléments paysagés	23
II.4.1.a Les haies	23
II.4.1.b Les prairies non permanentes	23

II.4.1.c Les mares	23
II.4.2 Gestion favorable aux abeilles sauvages	23
III RESULTATS ET DISCUSSION	24
III.1 Inventaires abeilles sauvages	24
III.1.1 Diversité spécifique des abeilles sauvages sur le PNR	24
III.1.1.a Diversité alpha.....	24
III.1.1.b Diversité beta.....	26
III.1.2 Biais et limites.....	28
III.2 Diagnostic des réseaux écologiques.....	29
III.2.1 Réseaux écologiques	29
III.2.1.a Sous trame « milieux ouverts »	29
III.2.1.b Sous trame « mares »	32
III.2.2 Détermination des secteurs à forts enjeux conservatoires.....	33
III.2.2.a Sous trame « milieux ouverts »	33
III.2.2.b Sous trame « mares »	38
III.2.3 Identification des points de ruptures de connexion.....	40
III.2.4 Biais et limites.....	40
III.3 Amélioration du réseau écologique en faveur des abeilles sauvages.....	41
III.3.1 Amélioration par la création de nouveaux corridors et d’habitats	41
III.3.1.a Les haies : corridors et ressources florales pour les abeilles	41
III.3.1.b Les prairies non permanentes : corridors et habitats favorables.....	42
III.3.1.c Les mares.....	44
III.3.2 Amélioration par la gestion.....	45
III.3.3 Biais et limites.....	46
IV CONCLUSION	47
BIBLIOGRAPHIE	49
TABLE DES ANNEXES	52

TABLE DES FIGURES

- Figure 1 : Localisation du PNR Marais poitevin
 Figure 2 : Schéma des déplacements quotidiens des abeilles sauvages
 Figure 3 : Exemple de la diversité des sites de nidification
 Figure 4 : Schéma de la méthodologie des chemins de moindre coût
 Figure 5 : Schéma d'une lisière étagée (modifié d'après : LSPN 14, 1995)
 Figure 6 : Niveaux d'analyse des graphes ; (a) à l'échelle d'un nœud "local" ; (b) à l'échelle d'une composante ; (c) à l'échelle globale
 Figure 7 : Principe des Delta-métriques
 Figure 8 : Projection des sites d'échantillonnages dans un espace bi-dimensionnel (MDS1 et MDS2) en fonction de leurs similarités, basées sur l'indice de Jaccard.
 Figure 9 : Matrice d'indice de similitude de Sørensen entre les sites d'échantillonnage
 Figure 10 : Occupation du sol du territoire du PNR MP selon la carte paysagère utilisée lors de la modélisation du réseau écologique
 Figure 11 : Proportion des points de ruptures selon la classe d'occupation du sol au sein de la sous trame « milieux ouverts » dans le PNR du Marais poitevin
 Figure 12 : Exemple par photographie du potentiel d'accueil d'une dépendance verte routière

TABLE DES TABLEAUX

- Tableau 1 : Conditions météorologiques requises pour réaliser le protocole
 Tableau 2 : Données récoltées pour la création des cartes paysagères
 Tableau 3 : Classes de friction des différentes occupations du sol de la sous trame "milieux ouverts"
 Tableau 4 : Classes de friction des différentes occupations du sol du réseau de mares
 Tableau 5 : Termes mathématiques utilisés
 Tableau 6 : Synthèse de la diversité des abeilles sauvages sur le PNR du Marais poitevin
 Tableau 7 : Résultats de la diversité alpha de l'indice de Shannon respectivement pour chaque site d'échantillonnage et regroupés par grands types d'habitats
 Tableau 8 : Caractéristiques de la sous trame « milieux ouverts » dans le PNR du Marais poitevin
 Tableau 9 : Caractéristiques du réseau de mares dans le PNR du Marais poitevin
 Tableau 10 : Hiérarchisation des éléments de la sous trame « milieux ouverts » dans le PNR du Marais poitevin
 Tableau 11 : Hiérarchisation des éléments du réseau de mares dans le PNR du Marais poitevin
 Tableau 12 : Gain potentiel de connectivité de la sous trame « Milieux ouverts » dans le PNR du Marais poitevin, par ajout de linéaires de haies selon la métrique globale IIC
 Tableau 13 : Gain potentiel de connectivité selon la métrique globale IIC de la sous trame « Milieux ouverts » dans le PNR du Marais poitevin, par conversion de prairies non permanentes
 Tableau 14 : Hiérarchisation des prairies non permanentes dans le gain de connectivité de la sous trame « Milieux ouverts »
 Tableau 15 : Gain potentiel de connectivité selon la métrique globale IIC du réseau de mares dans le PNR du Marais poitevin, par ajout de nouvelles mares
 Tableau 16 : Gain potentiel de connectivité selon la métrique globale IIC de la sous trame « Milieux ouverts » dans le PNR du Marais poitevin, par amélioration de la gestion d'éléments du réseau

TABLE DES CARTES

- Carte 1 : Localisation des 15 sites d'inventaires dans le PNR MP
 Carte 2 : Modélisation en distance de moindre coût de la sous-trame "milieux ouverts" dans le Parc naturel régional du Marais poitevin – Réseau "petites abeilles" –
 Carte 3 : Modélisation en distance de moindre coût de la sous-trame "milieux ouverts" dans le Parc naturel régional du Marais poitevin – Réseau "grandes abeilles" –
 Carte 4 : Modélisation en distance de moindre coût du réseau de mares dans le Parc naturel régional du Marais poitevin
 Carte 5 : Hiérarchisation des habitats favorables de la sous trame "milieux ouverts" en faveur des abeilles sauvages – Réseau "petites abeilles" –
 Carte 6 : Hiérarchisation des habitats favorables de la sous trame "milieux ouverts" en faveur des abeilles sauvages – Réseau "grandes abeilles" –
 Carte 7 : Hiérarchisation du réseau de mares en faveur des amphibiens et des abeilles sauvages

Carte 8 : Proposition d'emplacement de plantations de haies, contribuant à renforcer le réseau écologique – Secteur de Chaillé-les-Marais –

Carte 9 : Emplacement de parcelles prioritaires pour la conversion en prairie permanente, contribuant à renforcer le réseau écologique – Secteur de Sansais –

Carte 10 : Exemple de sous réseau amélioré par l'ajout de nouvelles mares, contribuant à renforcer le réseau écologique – Secteur de Triaize –

ACRONYMES

ACRONYMES	Signification
BC	Betweenness centrality (indice de centralité intermédiaire)
BD	Base de données
CBNSA	Conservatoire botanique national sud-atlantique
EN	En danger (statut liste rouge)
GRETIA	Groupe d'étude des invertébrés armoricains
IGN	Institut national de l'information géographique et forestière
IIC	Indice intégral de connectivité
INRAE	Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement
MAEC	Mesures agricoles environnementales et climatiques
NMDS	Non-metric multidimensional scaling (échelle multidimensionnelle non métrique)
ONF	Office national des forêts
OPIE	Office pour les insectes et leur environnement
PAC	Politique agricole commune
PNA	Plan national d'action
PNR MP	Parc naturel régional du marais poitevin
SRADDET	Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires
SRCE	Schéma régional de cohérence écologique
TAXREF	Référentiel taxonomique national français
THETIS	Territoire environnement télédétection information spatiale
TVB	Trame verte et bleue

I | INTRODUCTION

I.1 | Contexte de l'étude

I.1.1 | Le Parc naturel régional du Marais poitevin

Le Marais poitevin, deuxième plus grande zone humide de France après la Camargue, se positionne comme la principale zone humide littorale de l'ouest de l'Europe. Couvrant un territoire de 60 km d'Ouest en Est (de la Baie de l'Aiguillon à Niort) et 30 km du Nord au Sud (de la plaine de Vendée aux coteaux calcaires de l'Aunis). Il s'étend à cheval sur trois départements et deux régions. Ce territoire peuplait par près de 200 000 personnes, est entourée de centres urbains tels que Niort, La Rochelle, Fontenay-le-Comte et Luçon, témoignant de l'urbanisation périphérique.

En France, les zones humides se font rares, mais elles se distinguent par leur valeur patrimoniale, leur beauté paysagère et leur importance écologique. Ancien golfe marin, le Marais poitevin a été progressivement altéré par des processus naturels et des aménagements humains. L'influence majeure de l'homme, depuis le Moyen Âge, a sculpté son apparence actuelle. Ces interventions visant principalement à contrôler l'eau pour exploiter le territoire à des fins agricoles. On y distingue deux catégories principales : les Marais desséchés et les Marais mouillés, chacun ayant son écosystème spécifique et une forte interaction avec l'homme.

Les Marais desséchés, ceinturés de digues, sont aménagés pour la maîtrise de l'eau et la culture des céréales, tandis que les Marais mouillés, inondables, abritent une diversité biologique et sont organisés en prairies, canaux et fossés (Cf. Annexe 1). Cependant, l'agriculture moderne a entraîné des changements dans ces écosystèmes, avec la disparition progressive des prairies traditionnelles.

Le Marais poitevin offre une biodiversité unique due à ses milieux diversifiés et à sa nature de "zone humide". Abritant au total 33 habitats d'intérêt communautaire, dont les prairies subhalophiles, les cordons dunaires, les lagunes, les boisements humides, les pelouses sèches calcaires, et le réseau hydraulique. Les prairies subhalophiles (18730 ha), caractérisées par leur salinité et leur humidité, subissent des pressions telles que le surpâturage et la conversion en cultures. Les cordons dunaires (417 ha), constitués de dunes fixes à végétation herbacée, sont menacés par l'érosion due au piétinement. Les pelouses sèches calcaires (12 ha), situées le long des îles calcaires, souffrent de la déprise agricole et de la destruction par le labour ou l'urbanisation. Les boisements humides (2300 ha), présents dans le marais mouillé, font face à l'exploitation du bois et à des assèchements prématurés dus à la gestion des niveaux d'eau. Ces habitats fragiles nécessitent une attention particulière pour préserver leur biodiversité et leur écosystème.

Cette diversité d'habitats procure aujourd'hui au territoire la capacité d'accueil d'une richesse biologique remarquable. Le Marais poitevin abrite 177 espèces d'intérêt communautaire. Parmi les insectes, 9 espèces sont d'intérêts communautaires. La diversité des libellules et papillons est favorisée par la qualité de l'eau, la gestion extensive des prairies humides ou plus sèches et la végétation rivulaire. Les mammifères, dont la Loutre d'Europe et les chauves-souris, totalisant 26 espèces communautaires dépendent de la continuité du réseau hydraulique et des haies. Parmi les 17 espèces d'amphibiens, 12 sont d'intérêt communautaire. Ce taxon profite des habitats humides, nécessitant des mares bien entretenues et une qualité d'eau élevée. Les oiseaux migrateurs trouvent dans le Marais un lieu vital pour se reproduire et se reposer, nécessitant des dépressions en eau pour la nidification. On comptabilise aujourd'hui 337 espèces présentes dans le Marais poitevin dont 94 d'intérêt communautaire. Les reptiles dont 5 espèces d'intérêt communautaire se répartissent entre la zone humide et les zones calcaires de coteaux. Les poissons, mollusques et plantes, dont la Marsilée à quatre feuilles, dépendent de la qualité de l'eau, d'une gestion adaptée des milieux et du respect des réglementations pour leur conservation.

Mais alors, la richesse écologique du Marais poitevin, fait aujourd'hui face aux activités humaines. L'agriculture intensive et l'urbanisation ont entraîné une fragmentation des habitats naturels et la création de discontinuités écologiques. Les infrastructures liées à ces activités créent des barrières physiques limitant ou empêchant les déplacements des espèces. Cela a notamment pour conséquence, d'augmenter la difficulté pour les espèces de trouver des ressources alimentaires, des sites de reproduction et des sites de nidification.

En France, un réseau écologique national appelé trame verte et bleue a été mis en place dans le cadre de la stratégie adoptée par le Conseil de l'Europe en 1995. La TVB intègre les trames écologiques dans les outils d'aménagement du territoire, tels que le schéma régional de cohérence écologique, qui fait désormais partie du schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires. Ces schémas identifient et préservent les continuités écologiques à différentes échelles, en intégrant les enjeux de biodiversité dans les politiques d'aménagement du territoire (*Trame verte et bleue*, 2017).

Au niveau local, le PNR du Marais poitevin a intégré l'enjeu de la continuité écologique dans sa charte. Cela implique la mise en place de mesures visant à restaurer et à préserver les continuités écologiques du territoire en favorisant la connexion des habitats naturels par la création de corridors écologiques. L'équilibre des écosystèmes est dépendant de la complémentarité et des échanges biologiques entre grandes entités écologiques.

I.1.2 | Projet Life Wild Bees

« Le programme LIFE est un instrument financier de la Commission européenne, dédié au soutien de projets innovants, privés ou publics, dans les domaines de l'environnement et du climat » (Programme européen de financement LIFE)

Ce programme a été créé en 1992 dans le but de contribuer à la mise en œuvre, au développement et au renforcement de la politique et de la législation environnementales communautaires.

Contexte de la création du projet Life Wild Bees

Le déclin des insectes pollinisateurs est incontestable et est lié à différents facteurs comme l'intensification de l'agriculture, l'urbanisation, la fragmentation des paysages, l'utilisation de pesticide et le changement climatique.

Face à ce déclin et aux enjeux que représentent la pollinisation, le gouvernement et l'Union européenne en ont fait une priorité.

Dans le cadre de la Loi pour la reconquête de la biodiversité du 8 août 2016, un premier Plan national d'action « France, terre de pollinisateurs » a été menée afin d'apporter des solutions pour adapter nos pratiques notamment agricoles à la préservation des insectes pollinisateurs (VAILLANT).

De plus, des initiatives spécifiques ont été mises en place pour restaurer la continuité écologique et favoriser le déplacement des espèces, notamment dans le cadre du plan national d'action pour les pollinisateurs (Ministères Écologie Énergie Territoires). Ce plan vise à promouvoir la préservation des pollinisateurs, y compris les abeilles sauvages, en créant des corridors écologiques adaptés à leurs besoins et en favorisant la plantation de fleurs mellifères dans les espaces publics et les zones agricoles.

Cependant, il est important de souligner que la connaissance des abeilles sauvages est encore limitée, tant au niveau national que dans le Parc naturel régional du Marais poitevin. En France, il n'existe pas encore de liste rouge spécifique pour les abeilles sauvages, bien que des efforts soient en cours pour la construction d'une telle liste. Au niveau national, les données sur les abeilles sauvages sont encore insuffisantes, ce qui limite notre compréhension de leur état de conservation et de leur distribution.

Dans le contexte de la préservation des abeilles sauvages en France, divers projets ont été réalisés pour étudier et protéger ces insectes essentiels à la biodiversité. Parmi ces projets figurent Life Urban Bees, Pollinis, l'Observatoire des Abeilles et le Groupe de Recherche Pollinico. Cependant, il convient de noter qu'il n'existe pas de données spécifiques sur les abeilles sauvages dans le PNR du Marais poitevin, hormis une étude menée par l'association GRETIA à la Pointe de l'Aiguillon. Cette lacune souligne l'importance de mener des études approfondies pour combler les connaissances sur les abeilles sauvages dans le parc.

Dans ce contexte, le projet Life Wild Bees se présente comme une initiative clé pour la conservation des abeilles sauvages dans le PNR du Marais poitevin. Ce projet vise à étudier et à promouvoir la conservation des abeilles sauvages en mettant en œuvre des actions concrètes pour restaurer les habitats, sensibiliser le public et renforcer les connaissances sur ces espèces cruciales pour la biodiversité. Le projet Life Wild Bees est donc une réponse adaptée aux enjeux de préservation de la continuité écologique et de conservation des abeilles sauvages dans le Marais poitevin.

Le projet

Le Parc naturel régional du Marais poitevin conduit depuis septembre 2021 un projet européen « Life Wild Bees » (abeilles sauvages) sur la protection et la valorisation des abeilles sauvages.

C'est un projet inter-parcs qui réunit les cinq parcs naturels régionaux de la région Nouvelle-Aquitaine, ainsi qu'un laboratoire de recherche (INRAE), l'Office Pour les Insectes et leur Environnement et l'Agence Régionale de la Biodiversité de Nouvelle-Aquitaine.

Ce projet a une durée de 5 ans, pour un budget collectif de 6 500 000 €. Pour développer les actions au sein du territoire, le PNR Marais poitevin dispose de 781 000 €.

Le projet LIFE Wild Bees est défini en quatre objectifs principaux qui visent à garantir la conservation des abeilles sauvages et de leurs habitats par :

1. L'amélioration des connaissances : Des études scientifiques approfondies sont menées pour évaluer la diversité des abeilles sauvages dans différents habitats caractéristiques des cinq Parcs naturels régionaux de Nouvelle-Aquitaine. Ces recherches permettront de mieux comprendre ces espèces et leurs interactions avec l'environnement.
2. La recréation d'habitats favorables : Des travaux de génie écologique sont entrepris pour restaurer des habitats propices aux abeilles sauvages. Ces actions se concentrent sur des sites à haute valeur patrimoniale tels que les réserves naturelles et les sites Natura 2000. De plus, des corridors écologiques sont mis en place, reliant ces sites via les réseaux de transport routier et d'énergie, tels que les bords de routes et les zones sous les lignes à haute tension.
3. Le développement et la structuration de propositions de plants et de graines d'origines locales : Dans le cadre du projet LIFE Wild Bees, des mélanges de graines locales adaptées aux pollinisateurs et à leurs habitats sont créés. Ces mélanges seront proposés au public, favorisant ainsi la plantation d'espèces végétales bénéfiques aux abeilles sauvages.
4. La sensibilisation et la valorisation des bonnes pratiques : Une part essentielle du projet est consacrée à la sensibilisation des différents publics à la préservation des abeilles sauvages. Des actions de communication seront mises en place pour informer et éduquer le public sur l'importance de ces pollinisateurs. De plus, des formations seront dispensées aux acteurs du territoire afin de promouvoir les pratiques favorables à la conservation des abeilles sauvages.

La coordination du projet LIFE Wild Bees est assurée par le Parc naturel régional Périgord-Limousin, en collaboration avec les autres Parcs naturels régionaux de Nouvelle-Aquitaine. Ce projet démontre l'engagement des Parcs naturels régionaux et de l'Union Européenne dans la protection de la biodiversité et la préservation des écosystèmes.

Grâce à l'ensemble de ces actions, le projet LIFE Wild Bees vise à préserver les abeilles sauvages, essentielles à la pollinisation des plantes et la diversité biologique. En protégeant ces insectes, le projet contribue également à maintenir l'équilibre des écosystèmes et à promouvoir un environnement durable pour les générations futures.

I.2 | L'étude des réseaux écologiques

Dans le domaine de la conservation de la biodiversité, les réseaux écologiques et les aires protégées sont largement recommandés comme une réponse adéquate aux changements globaux. La littérature met en avant l'importance de la connectivité des paysages et des réseaux écologiques (Heller, Zavaleta, 2009). La fragmentation des habitats entraîne une consanguinité accrue et réduit la diversité génétique au sein des populations, ce qui a un impact négatif sur la résilience des individus et des populations à grande échelle (Leimu *et al.*, 2010).

Un réseau écologique est un ensemble de zones ayant des fonctions spécifiques. Ces zones, définies en fonction de leur valeur écologique et de leurs ressources naturelles, comprennent quatre grandes catégories :

- Les zones noyaux, également appelées réservoirs de biodiversité, sont des espaces de grande valeur naturelle telles que les réserves naturelles.
- Les corridors écologiques sont des structures ou des éléments paysagers divers (comme les écoducs ou les ripisylves) qui permettent la dispersion, la migration et l'accès à de nouvelles zones pour les espèces.
- Les zones tampons entourent les zones noyaux et, dans la mesure du possible, englobent également les corridors. Elles protègent ces derniers contre les dommages et les perturbations potentielles résultant des activités humaines.
- Enfin, les zones de restauration nécessitent des mesures de restauration car elles sont dégradées. Une fois restaurées, elles peuvent devenir des zones noyaux. La planification de ces zones est intéressante pour étendre le réseau de connectivité écologique (Bennett, 2004).

La biologie de la conservation est devenue une discipline scientifique à part entière dans les années 1980, reconnaissant la fragmentation des habitats comme une menace humaine majeure à grande échelle pour les espèces. Malgré le scepticisme initial, les preuves de l'importance des corridors écologiques pour la biodiversité se sont accumulées (Bennett, 2003). Depuis les années 1990, le domaine de la conservation des trames écologiques a connu une expansion considérable grâce aux avancées de la recherche, aux échanges

entre la communauté scientifique et les gestionnaires, ainsi qu'à l'intégration de ces connaissances dans les politiques publiques.

I.2.1 | Concept de la théorie des graphes et modélisation des réseaux écologiques

Avec les progrès de l'informatique et les avancées dans la connaissance des espèces, la modélisation des réseaux écologiques est devenue un outil majeur pour les chercheurs et les gestionnaires. Les méthodologies utilisées aujourd'hui permettent de dépasser l'échelle des études de terrain, en fournissant des résultats théoriques à une plus grande échelle qui peuvent être confrontés à la réalité pour guider les actions de conservation.

L'analyse paysagère repose sur les connaissances de plus en plus précises sur la relation entre les éléments du paysage et les déplacements des espèces. Ces connaissances permettent d'étudier les continuités écologiques d'un territoire grâce à l'analyse du paysage. Les cartes paysagères décrivent les éléments du paysage qui sont plus ou moins franchissables par les espèces. À partir de ces cartes, différentes méthodes sont utilisées pour prédire les voies de circulation de la biodiversité à travers le paysage.

La méthode des chemins de moindre coût s'appuie sur les exigences écologiques de l'espèce étudiée, ainsi que sur la perméabilité variable des milieux présents dans la zone d'étude. Une carte de perméabilité, également appelée carte de friction, est créée en attribuant à chaque type de milieu un coefficient de perméabilité. Une fois ces données de base collectées, un algorithme de recherche du chemin optimal est utilisé pour déterminer le chemin le plus accessible pour l'espèce dans la matrice paysagère donnée. Cette méthode peut prendre en compte diverses caractéristiques de l'espèce, telles que la distance maximale de déplacement, les exigences écologiques des milieux traversés et l'effet de la pente. Le résultat obtenu, sous forme de réseau écologique, permet une analyse approfondie, notamment grâce à la théorie des graphes introduite dans les années 2000 (Urban, Keitt, 2001). Cette méthode est très flexible lorsqu'elle est utilisée à des fins opérationnelles et peut intégrer des données biologiques pour renforcer la pertinence de la modélisation (Foltête *et al.*, 2021).

Cependant, elle repose sur l'hypothèse selon laquelle les individus de l'espèce étudiée suivent forcément le chemin optimal entre les réservoirs de population, et les résultats obtenus dépendent fortement des données d'entrée, notamment de l'attribution des coefficients de perméabilité.

I.3 | Les abeilles sauvages aujourd'hui : situation et enjeux

La superfamille des Apoidea, ou abeilles, comprend environ 20 000 espèces dans le monde (Michener, 2007) et près de 2500 espèces en Europe et 1000 en France (Nieto, 2014). Réparties au sein de six familles et classées en deux groupes en fonction de la taille de leur langue. Les abeilles à langue courte, qui part leur morphologie anatomique butine les fleurs à corolle ouverte : Andrénidés, Collétidés, Halictidés et Mélittidés. Les abeilles à langue longue, capables de butiner des fleurs à corolle profonde : Apidés et Mégachilidés. (Cf. Annexe 3)

I.3.1 | Cycle de vie

Le développement des abeilles sauvages passe par quatre étapes distinctes : l'œuf, la larve, la nymphe et l'adulte. (Cf. Annexe 2) La durée de chaque phase varie selon les espèces. Après la ponte des œufs par la femelle, les larves éclosent en quelques jours et se nourrissent du mélange de nectar et de pollen, appelé pain d'abeille, déposé dans les cellules. Après la phase larvaire, les abeilles entrent dans le stade nymphal, subissant d'importantes transformations internes sur plusieurs mois. Les abeilles adultes émergent du nid à différents moments de l'année en fonction de chaque espèce, ce processus s'étalant du début du printemps au début de l'automne. Cette variabilité est adaptée aux conditions environnementales et aux cycles de floraison des plantes, sources essentielles de nourriture pour les abeilles.

I.3.2 | Ecologie des abeilles

Morphologie anatomique

Les abeilles sauvages partagent une anatomie typique des hyménoptères, avec une tête, un thorax et un abdomen. Le thorax est doté de six pattes pour le déplacement et de deux paires d'ailes membranaires pour le vol. La langue, ou proboscis, est utilisée pour collecter le nectar des fleurs. La morphologie varie en fonction des familles et des espèces.

La pilosité est une caractéristique clé des abeilles sauvages. Les poils ramifiés, ou trichomes, sont présents sur leur corps et jouent un rôle crucial dans la collecte et le transport du pollen. Ces structures poilues peuvent varier en taille, en forme et en densité en fonction des espèces et de leurs besoins spécifiques.

Dimorphisme sexuel

Les abeilles mâles, appelés faux-bourçons, se distinguent par leur absence de structure spécialisée servant à transporter le pollen. Les faux-bourçons ont des antennes plus grandes par rapport aux abeilles femelles, ce qui leur permet de repérer les phéromones émises par les femelles lors des vols nuptiaux. Contrairement aux abeilles femelles, les mâles ne participent pas à la nidification ni à l'alimentation des larves.

Diversité de taille

L'amplitude des tailles parmi les abeilles sauvages s'étend de quelques millimètres à plus de 2 centimètres. Cette variabilité se traduit par des performances de vol diverses, les espèces plus petites étant plus maniables et les plus grandes démontrant une endurance accrue.

Capacité de déplacement

Les abeilles sauvages femelles, dans leur quête de nutrition et de nourriture pour leurs larves, effectuent des allers-retours fréquents entre leur lieu de nidification et les sources d'alimentation, rassemblant du pollen et du nectar. Dans le cas des espèces qui doivent collecter des matériaux pour construire leur nid, ces voyages sont encore plus nombreux.

La zone qu'une abeille peut prospecter à partir de son nid est intrinsèquement liée à sa capacité de vol, une caractéristique propre à chaque espèce et corrélée à la distance inter-tégulaire. La figure 2 illustre ce concept. Ainsi, selon l'espèce, le rayon de recherche alimentaire peut varier considérablement. Pour les espèces de petite taille, comme certaines du genre *Andrena*, le rayon peut être limité à environ 100 mètres, tandis que pour les espèces plus grandes, telles que les bourçons ou les xylocoptes, ce rayon peut s'étendre sur plusieurs kilomètres (Gathmann, Tschardt, 2002), (Greenleaf et al., 2007).

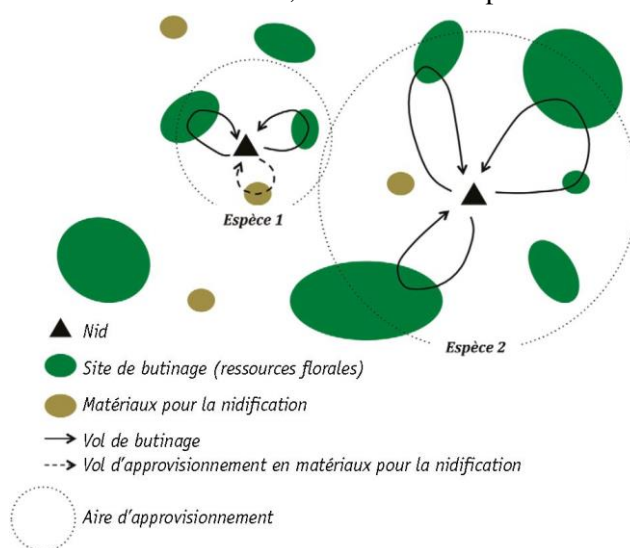


Figure 2 : Schéma des déplacements quotidiens

Régime alimentaire (lectisme)

Leur régime alimentaire est végétarien, basé sur la consommation de pollen et de nectar.

La spécialisation alimentaire des apoïdes varie selon les espèces. Certaines sont polylectiques, butinant un large éventail de plantes de différentes familles. D'autres sont oligolectiques, se concentrant sur une seule famille de plantes, voire monolectiques, butinant une seule espèce végétale. Cette spécialisation alimentaire, bien que fascinante, rend ces espèces très dépendantes de la disponibilité de cette ressource spécifique, les rendant ainsi plus vulnérables à la perte de leurs habitats et de leurs sources de nourriture.

Niveaux de Socialité

Les abeilles varient considérablement en termes de comportements sociaux, et peut-être vu comme un gradient de sociabilité :

- Solitaires : Certaines abeilles, comme les abeilles maçonnes, sont solitaires. Elles construisent et approvisionnent individuellement leurs nids, souvent dans des tiges creuses ou des cavités.
- Agrégations de Nids : D'autres abeilles, bien que solitaires dans leur nid, peuvent former des agrégations de nids (bourgades). Ces regroupements offrent une meilleure protection contre les prédateurs et facilitent la recherche de ressources.
- Bourçons Eusociaux : Les bourçons vivent en colonies avec des ouvrières stériles et une reine. Contrairement aux colonies d'abeilles domestiques, les colonies de bourçons sont généralement plus petites, avec quelques dizaines à quelques centaines d'individus.
- Abeilles Domestiques Eusociales : Les abeilles domestiques, également appelées abeilles mellifères, sont hautement eusociales. Elles vivent dans des colonies complexes composées d'une reine, de milliers d'ouvrières stériles et parfois de quelques faux-bourçons.

Stratégies de Parasitisme

Certaines abeilles sont cleptoparasite. Elles pondent leurs œufs dans les nids d'autres abeilles, déléguant l'alimentation des larves aux hôtes. Les abeilles-coucous ne transportent pas de ressources mais contribuent tout de même à la pollinisation en se déplaçant entre les fleurs.

En France, près de 20 % des espèces d'abeilles sauvages sont des abeilles-coucous, appartenant aux familles des Halictidés, des Mégachilidés et des Apidés.

Variabilité des Modes de vie :

Pour qu'une population d'abeilles sauvages puisse s'installer et se maintenir dans un endroit donné, il doit fournir des ressources alimentaires adéquates pour les adultes et les larves, et d'autre part, il doit proposer des sites de nidification adaptés aux besoins de chaque espèce (Cf. figure 3, issus de (Requier, Le Féon, 2017)). Mis à part les espèces adaptées aux milieux montagnards, la plupart des abeilles sont des insectes thermophiles et héliophiles. Elles sont généralement associées à des milieux chauds, ouverts, riches en fleurs.

- **Andréniidés (193 espèces) :**

Les andréniidés sont souvent surnommés "abeilles des sables" en raison de leurs sites de nidification dans les terrains sablonneux ensoleillés. Leurs nids, creusés dans le sol, sont pourvus de cellules remplies de pain d'abeille et d'œufs. Leurs pattes postérieures velues sont équipées de brosses de poils recourbés pour transporter le pollen. Beaucoup d'espèces d'andréniidés butinent une seule famille de plantes et possèdent une langue courte.

- **Apidés (286 espèces) :**

Les apidés regroupent des abeilles solitaires et sociales. Les femelles possèdent une corbeille de poils sur les pattes postérieures pour récolter et stocker le pollen. Ils butinent une grande variété de plantes et ont une langue longue.

- **Collétiidés (83 espèces) :**

Considérées comme les abeilles les plus primitives, les collétiidés ne possèdent pas d'organes spécialisé pour la récolte du pollen. Le pollen est souvent transporté dans le jabot et régurgité. Leur nidification varie, certaines espèces utilisant des galeries de coléoptères dans le bois mort, tandis que d'autres construisent leurs nids dans des tiges végétales creuses ou des gales.

- **Halictidés (179 espèces) :**

Les halictidés nidifient dans le sol, souvent sur des sites bien exposés comme des talus argileux. Leurs nids comportent des galeries verticales avec des ramifications horizontales menant aux cellules de ponte. La femelle dispose d'un sillon longitudinal glabre sur le dernier segment abdominal. Ils sont souvent spécialisés d'un seul type de fleur et ont une langue courte.

- **Mégachilidés (209 espèces) :**

Les mégachilidés possèdent une brosse de récolte de pollen sur la face inférieure de l'abdomen. Ils forment des nids variés, des "abeilles coupeuses de feuille" aux "abeilles maçonnes". Les premières utilisent des feuilles pour tapisser leurs nids, tandis que les secondes construisent des nids complexes à base d'argile, de sable et de salive.

- **Melittidés (16 espèces) :**

Similaires aux andréniidés mais avec une langue plus longue, les melittidés ont souvent des comportements de butinage spécialisés. Elles nichent majoritairement dans le sol.

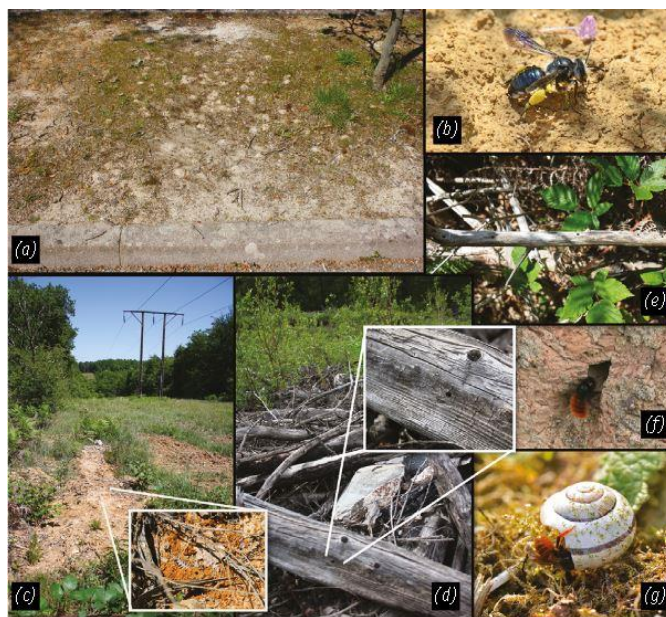


Figure 3 : Exemple de la diversité des sites de nidification

I.3.3 | Situation actuelle des abeilles sauvages

Au cours des dernières décennies, le déclin des insectes pollinisateurs est devenu une préoccupation croissante dans la communauté scientifique et les institutions (Goulson *et al.*, 2015). Des études ont démontré qu'au XXe

siècle, le nombre d'espèces d'abeilles sauvages a diminué dans de nombreux endroits aux Pays-Bas et au Royaume-Uni en raison des changements du paysage et des pratiques agricoles (Biesmeijer *et al.*, 2006 ; Potts *et al.*, 2010). Bien qu'il n'existe pas d'évaluation précise de l'évolution des populations d'abeilles sauvages en France, des études locales ont également révélé des situations de déclin (Rollin *et al.*, 2013).

En 2014, la première liste rouge des abeilles sauvages d'Europe a été publiée, visant à caractériser le statut de conservation des espèces. Parmi les espèces évaluées, plus de 9 % sont considérées comme menacées d'extinction. Cependant, en raison du manque de connaissances sur la répartition des abeilles européennes, le statut de plus de la moitié des espèces n'a pas pu être déterminé. Les experts estiment donc que la proportion réelle d'espèces menacées d'extinction en Europe est probablement supérieure (Nieto, 2014).

I.3.3.a | Causes

Les abeilles sauvages sont confrontées à diverses pressions environnementales qui affectent leur survie. Les effets des pesticides, la diminution des ressources florales, la concurrence avec les abeilles mellifères, les perturbations des sites de nidification et la destruction des habitats sont des facteurs qui contribuent au déclin des populations d'abeilles sauvages (Goulson *et al.*, 2015 ; Goulson, Sparrow, 2009). L'urbanisation, les infrastructures de transport et l'intensification des pratiques agricoles sont considérées comme les principales causes de ce déclin (Fortel *et al.*, 2014).

I.3.3.b | Conséquences

Le déclin des populations d'abeilles sauvages a des répercussions sur les plantes cultivées, la flore sauvage et les réseaux trophiques. Environ 75 % des cultures destinées à l'alimentation humaine dépendent de la pollinisation animale, principalement par les insectes. Ces cultures représentent environ 35 % de la production mondiale de denrées alimentaires (Klein *et al.*, 2007). La diminution des populations d'abeilles sauvages pourrait donc entraîner une baisse de la production alimentaire, avec des conséquences sur la disponibilité des fruits, des légumes et des graines, ainsi que sur la diversité nutritionnelle de nos assiettes. Les services rendus par les pollinisateurs à l'agriculture ont été estimés à 153 milliards d'euros dans le monde et 22 milliards d'euros en Europe (*Abeilles sauvages : les vraies championnes de la pollinisation - Pollinis*).

Les abeilles sauvages et les autres insectes pollinisateurs jouent un rôle complémentaire et synergique dans la pollinisation des plantes. La multiplication des colonies d'abeilles mellifères ne peut pas compenser la disparition des abeilles sauvages, malgré leur polylectisme, elles ne visitent pas toutes les espèces de plantes. Chaque espèce a des comportements de visite des fleurs et de récolte du pollen qui diffèrent, contribuant ainsi à l'amélioration globale des flux de pollen (Rollin *et al.*, 2013). Le déclin des populations d'abeilles sauvages peut également perturber le fonctionnement des écosystèmes. Cela peut compromettre la reproduction des plantes sauvages et mettre en danger d'autres espèces animales dépendantes de ces plantes.

En conclusion, le déclin des populations d'abeilles sauvages représente une préoccupation majeure pour la nature et pour l'homme. Les pressions environnementales auxquelles elles sont confrontées, combinées aux conséquences sur la production alimentaire et la biodiversité, soulignent l'urgence de mettre en place des mesures de conservation et de restauration des habitats pour assurer la survie de ces pollinisateurs essentiels.

I.4 | Problématique

Dans ce contexte particulier, il est impératif d'acquérir des données préliminaires concernant la diversité des abeilles sauvages présentes sur le territoire ainsi que leur écologie. Cette première étape revêt une importance cruciale, car sans ces connaissances fondamentales, les mesures de préservation entreprises pour les abeilles sauvages risqueraient d'être inadaptées. Parallèlement, il convient également d'évaluer l'efficacité du réseau écologique en faveur de ces abeilles. Si des lacunes apparaissent, il s'agit de déterminer comment optimiser la connectivité au sein de ce réseau à l'aide des outils disponibles au sein du Parc naturel régional du Marais poitevin. En somme, cette démarche vise à garantir une préservation ciblée et efficace des abeilles sauvages, tout en maximisant l'impact positif sur leur habitat au sein du territoire.

II | MATÉRIELS ET MÉTHODES

II.1 | Connaissances initiales des abeilles sauvages du PNR

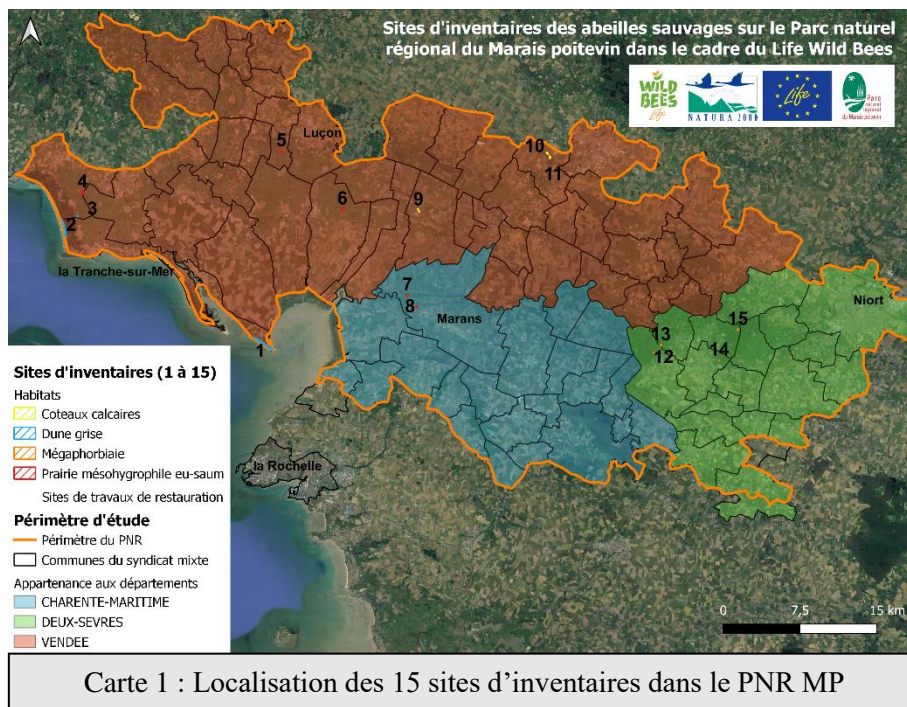
II.1.1 | Inventaires des abeilles sauvages

Localisation des sites d'inventaires

Quinze sites d'inventaires soigneusement choisis ont été inclus dans cette étude, couvrant quatre habitats distincts : les dunes grises, les mégaphorbiaies, les coteaux calcaires et les prairies mésohygrophiles (Cf. figure 4). Cette sélection stratégique garantit la diversité et la représentativité des milieux étudiés. Les sites présents dans les mêmes habitats contribuent à la robustesse des inventaires.

Dans le cadre du Life Wild Bees, 2 protocoles d'inventaires sont réalisés. Le premier correspond au protocole de « piégeage avec coupelles colorées » en référence à la méthode de Westphal (Westphal *et al.*, 2008). Ce protocole est réalisé sur les 5 années du programme life. Il est réalisé chaque année, 1 fois par mois sur la période allant de mars à octobre. Les spécimens récoltés lors de ces inventaires sont fournis à l'OPIE pour la détermination. Les résultats de la première année d'inventaires ne sont pas encore disponibles.

Le deuxième protocole d'inventaire utilisé est celui par « capture au filet des gros apidés ». Il est détaillé dans la suite du rapport.



Protocole par « capture au filet des gros apidés »

Au total, les 15 sites d'échantillonnages définies sur le territoire d'étude sont parcourus dans le cadre de ce protocole. Trois campagnes d'échantillonnage sont réalisées chaque années (P1 : fin juin / mi-juillet ; P2 : mi-août ; P3 : mi-septembre). Il doit permettre d'obtenir une représentativité phénologique appropriée de toutes les familles.

Chaque spécimen contacté au cours du passage est capturé par un observateur unique au filet. Le taux de succès de capture varie en fonction de l'heure et des facteurs climatiques, principalement le vent. Certaines espèces possèdent des critères facilement observable et reconnaissable. Dans ce cas-là, le spécimen capturé est directement déterminé puis relâché. Si non, les spécimens sont conservés dans des piluliers de liège imbibés d'Acétate d'Éthyle pour conserver leur souplesse et leur bon état physique. En laboratoire, les spécimens sont identifiés sous binoculaire, en déterminant la caste et l'espèce, puis des mesures biométriques sont prises, incluant la longueur de l'aile, de la langue, de l'inter-scutellum et la longueur totale.

Les relevés incluent également la plante butinée, l'habitat et la flore exploitée. Le temps d'échantillonnage est normalisé à 20 minutes brutes, avec une éventuelle augmentation pour chaque spécimen collecté (15 secondes pour mettre un spécimen en pilulier). Les placettes sont parcourues de manière homogène avec une vitesse de déplacement de 2-4 km/h, en fonction de la présence de fleurs et de bourdons.

Les conditions météorologiques requises (Cf. tableau 1)

L'activité des bourdons s'étend du levé du jours au crépuscule. Leur tolérance vis-à-vis de la température, impose de respecter une plage allant de 8°C à 28°C. En dehors de cette plage de températures, l'activité des bourdons se voit très réduite, voir nul. Les passages doivent être réalisés lorsque la vitesse du vent n'excède

pas les 20km/h, risquant de fortement biaiser l'efficacité de capture. Les températures trop élevées, le vent fort et les conditions trop humides (pluie, brouillard, bruine) sont à éviter lors de l'échantillonnage.

Tableau 1 : Conditions météorologiques requises pour réaliser le protocole

		Température			
		[8°C - 12°C]	[12°C - 16 °C]	[16°C - 28 °C]	>28 °C
Nébulosité	≤ 75 %	Oui	Oui	Oui	Non
	> 75 %	Oui	Oui	Oui	Oui
Pluie	> 0,1 mm	Non	Non	Non	Non
Vitesse du vent	≤ 20 km/h	Oui	Oui	Oui	Non
	> 20 km/h	Non	Non	Non	Non

Données recueillies

L'ensemble des données terrains sont consignées sur une fiche de relevée établie en collaboration avec le CBNSA. Cette fiche comprend les données temporelles et météorologiques ainsi que la relation entre les spécimens capturés et la plante hôte. Les données recueillies sont sous forme de tableau avec pour chaque spécimen déterminé, son nom d'espèce selon TaxRef, la localisation, la date et la plante sur laquelle le spécimen était posé.

II.1.2 | Analyse statistique des données

Pour la suite de l'analyse, le jeu de données utilisé est celui issu du protocole « capture au filet des gros apidés » réalisé par David Genoud. Ce protocole comporte un certain nombre de biais. Il est très sensible à l'effort d'échantillonnage et à l'expertise de l'opérateur. Ces biais influent sur la robustesse des informations procurés. Le choix de ne pas tenir compte des effectifs a été pris. Ainsi toutes les analyses suivantes ont été réalisées à partir de données en présence/absence.

II.1.2.a | Diversité alpha

La diversité alpha ou richesse spécifique, a été calculée par site et par types d'habitats. Elle permet de mesurer le nombre d'espèces présentes dans un milieu donné. Cela permet d'évaluer la biodiversité d'un site spécifique. Dans cette étude, l'indice de Shannon (H') a été utilisé pour estimer la diversité spécifique des abeilles sauvages de chaque site d'inventaire.

Calcul de la diversité alpha par site :

La formule utilisée est la suivante :

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \cdot \log_2(p_i)$$

Où H' correspond à l'indice de Shannon

p_i = l'abondance proportionnelle ou pourcentage d'abondance d'une espèce présente ($p_i = n_i/N$).

n_i = le nombre d'individus dénombrés pour une espèce présente.

N = le nombre total d'individus dénombrés, toute espèce confondue.

S = le nombre total ou cardinal de la liste d'espèces présentes.

Les calculs ont été effectués en utilisant la fonction "diversity" de la librairie "vegan" dans le langage de programmation R.

Calcul de la diversité alpha par type d'habitat

Les espèces présentes dans chaque site du même habitat sont regroupées afin d'obtenir une table en présence-absence des espèces par grand type d'habitats. La diversité alpha par type d'habitat peut alors être calculé.

La même formule de l'indice de Shannon (H') a été utilisée pour ces calculs. Les données ont également été analysées en utilisant la fonction "diversity" de la librairie "vegan" dans le logiciel R.

Les résultats obtenus ont été enregistrés dans un tableau qui présente la diversité alpha de Shannon pour chaque site d'échantillonnage et par type d'habitat.

Valeurs :

Pour l'indice de Shannon, un score de 0 correspond à une diversité alpha nul. Plus la valeur de cet indice augmente, plus la diversité alpha est importante.

II.1.2.b | Diversité beta

La diversité bêta a été utilisée comme mesure de comparaison de la biodiversité entre les différents sites et entre les différents habitats sélectionnés. Elle prend en compte la présence ou l'absence des espèces et permet de comparer les communautés.

Afin d'augmenter la robustesse des résultats, deux indices ont été utilisés pour mesurer la diversité bêta.

Indice de Jaccard

L'indice de Jaccard ou coefficient de Jaccard est utilisé pour quantifier le degré de similarité des communautés d'espèces entre deux ensembles. Dans cette étude, chaque site est considéré comme un ensemble composé d'espèces présentes. L'indice de Jaccard est défini comme suit :

$$J(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|}$$

Où, $J(A, B)$ correspond à l'indice de Jaccard

A représente l'ensemble des espèces présentes dans la première placette.

B représente l'ensemble des espèces présentes dans la deuxième placette.

$|A \cap B|$ = le nombre d'espèces communes entre les deux placettes.

$|A \cup B|$ = le nombre total d'espèces uniques présentes dans les deux placettes.

L'utilisation de la fonction "vegdist" de la librairie "vegan" dans le logiciel R, permet d'obtenir une matrice de distances de Jaccard, où un score est attribué entre chaque paires de sites. Cela permet de visualiser les relations de similarité dans un espace bidimensionnel à l'aide de l'analyse de dimensionnement non-métrique (NMDS). Cette approche permet de représenter graphiquement le degré de relation entre les sites d'échantillonnages et les habitats basée sur la distance de Jaccard.

Valeurs :

Pour l'indice de Jaccard, un score de 0 correspond à deux communautés ne partageant aucune espèce d'abeille, donc une similarité nul. Une valeur de 1 correspond à deux communautés partageant exactement les mêmes espèces, donc une similarité parfaite.

Indice de similarité de Sørensen

L'indice de similarité de Sørensen mesure la proportion d'espèces communes entre deux sites. La formule utilisée est la suivante :

$$\beta = \frac{2 \cdot C}{S_1 + S_2}$$

Où β correspond à l'indice de similarité de Sørensen, selon la formulation suivante :

C est le nombre d'espèces communes aux deux placettes.

S_1 est le nombre total d'espèces dans la placette 1.

S_2 est le nombre total d'espèces dans la placette 2.

Les calculs de l'indice de similitude de Sorensen ont été réalisé en parcourant chaque combinaison de pair de sites. Les données ont été effectuées à l'aide de la fonction "beta" de la librairie "betapart" dans le logiciel R. Pour visualiser les résultats, une matrice graphique des coefficients de similarité a été créé en utilisant la librairie "ggplot" dans le logiciel R.

Valeurs :

Pour l'indice de Sørensen, un score de 0 correspond à deux communautés ne partageant aucune espèce d'abeille, donc une similarité nul. Une valeur de 1 correspond à deux communautés partageant exactement les mêmes espèces, donc une similarité parfaite.

II.2 | Cartographie paysagère, modélisation et analyse des réseaux écologiques

II.2.1 | Choix et présentation de la méthodologie

La modélisation des trames écologiques est l'un des outils utilisés par les chercheurs et les gestionnaires afin de quantifier et mesurer les relations physiques et biologiques des écosystèmes. La méthodologie utilisée se base sur la bibliographie et les études de terrains locales, permettant de modéliser des prévisions théoriques à une échelle temporelle et cartographique plus grande. Ces données vont être un appui pour guider les actions de conservation auprès des acteurs concernés.

L'analyse paysagère, dans cette étude, repose sur la connaissance des relations entre les éléments qui compose l'espace et la capacité de déplacement des espèces cibles. Elle s'appuie sur la perméabilité des éléments par rapport à l'écologie des espèces. À partir de ces cartes, différentes méthodes sont utilisées pour prédire les voies de circulation de la faune à travers le paysage.

La méthode des chemins de moindre coût s'appuie sur deux paramètres :

- Les exigences écologiques de l'espèce étudiée ;
- La perméabilité variable des milieux présents dans la zone d'étude.

Une carte de perméabilité, également appelée carte de friction, est créée en attribuant à classe d'occupation du sol un coefficient de perméabilité. Une fois ces données de base collectées, un algorithme de recherche du tracé optimal est utilisé pour déterminer le chemin le plus accessible pour l'espèce dans la matrice paysagère donnée. Cette méthode peut prendre en compte divers caractéristiques de l'espèce telles que : la distance maximale de déplacement, les exigences écologiques des milieux traversés et l'effet de la pente. Le résultat obtenu, sous forme de réseau écologique, permet une analyse approfondie, notamment grâce à la théorie des graphes introduite dans les années 2000 (Urban, Keitt, 2001). A travers la théorie des graphes de nombreuses métriques, caractérisant les éléments du réseau, peuvent être calculé. Cette méthode est très flexible lorsqu'elle est utilisée à des fins opérationnelles et peut intégrer des données biologiques pour renforcer la pertinence de la modélisation (Foltête *et al.*, 2021).

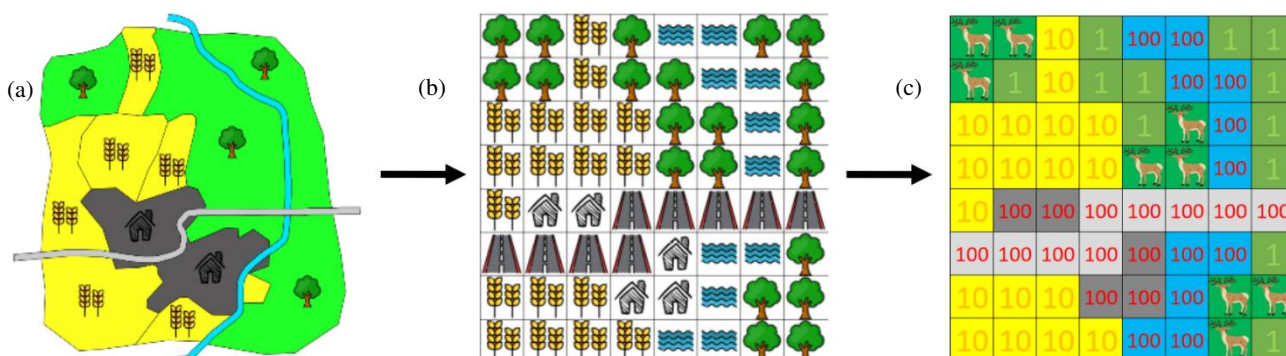


Figure 4 : Schéma de la méthodologie des chemins de moindre coût (NaturaGis)

Ce schéma résume la méthodologie employée pour obtenir notre carte de friction. La figure 4a correspond à notre carte d'occupation du sol créée par superposition de couches. La figure 4b, correspond à la rasterisation de la carte d'occupation du sol. La figure 4c représente la carte de friction, où chaque type d'occupation du sol obtient une note de perméabilité.

Cependant les résultats obtenus à partir de cette méthodologie repose sur les hypothèses suivantes :

- Les individus de l'espèce étudiée suivent le chemin optimal entre les réservoirs de population ;
- Les résultats obtenus dépendent des données d'entrée, notamment de l'attribution des coefficients de perméabilité.

II.2.2 | Cartes paysagères et de friction

Étape préliminaire à la modélisation du réseau écologique pour les abeilles sauvages, la création d'une carte paysagère est essentielle. La méthode d'analyse paysagère repose sur les données d'occupation du sol qui déterminent ensuite la perméabilité du milieu pour les abeilles sauvages.

II.2.2.a | Récolte des données et traitements cartographiques

La création d'une telle analyse a nécessité une collecte approfondie de données cartographiques. Cette démarche vise à obtenir une vue exhaustive et précise du paysage, ce qui permet ensuite d'analyser de manière approfondie les habitats des abeilles sauvages et d'évaluer leur degré de perméabilité au sein de l'environnement. Cette collecte de données cartographiques constitue un élément clé pour comprendre la distribution des habitats, la connectivité entre eux et leur influence sur la présence et le déplacement des abeilles sauvages.

La carte d'occupation du sol a été réalisée à partir des données produites par différentes institutions (Cf. tableau 2). Dans un souci de cohérence territoriale, le choix d'élargir la zone d'étude de 3 kilomètres autour de la délimitation administrative du PNR du Marais poitevin a été pris. Ainsi la cartographie paysagère et les modélisations de réseaux écologiques seront réalisées en conséquence.

Tableau 2 : Données récoltées pour la création des cartes paysagères

N° attribué	Types de données ou noms de couches	Base de données/	Organisme
1	Terres agricoles par cultures	RPG 2021	IGN
2	Bâtie* et infrastructures de transports	BDTopo	
3	Haies	BDHaie	
4	Boisements	BDforêt	
5	Bandes tampons des cours d'eau*	BCAE4	
6	Prairies sensibles*	BCAE9	
7	Hydrographie généralisé	BDTopo + modification PNR MP	IGN + PNR MP
8	Mares*		PNR MP
9	Habitat Natura 2000		PNR MP + EPMP + Université de Rennes
10	Occupation du sol*	OSO	CNES-Theia

*couches non modifiées

Sélection et modification des couches cartographiques

Les données cartographiques collectées ont été soumises à des sélections et à des traitements spécifiques afin de les intégrer dans la carte paysagère finale. Ces opérations ont été réalisées en s'appuyant sur des recherches bibliographiques relatives à l'écologie des abeilles sauvages (Cf. Bibliographie).

Pour les données n°1 et 2, un simple travail de sélection a été effectué. Les prairie permanentes-herbe (PPH) ont été extraites et considérées comme milieux favorables. Le reste de la couche a été conservé en tant que cultures. Les tronçons des infrastructures de transports ont été classées par importance, séparant ainsi les routes principales, des routes secondaires et les chemins, des sentiers. Les tronçons de voies ferrés ont été séparés en deux catégories, en service ou non.

Selon le ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire : « Est une prairie permanente ou pâturage permanent toute surface sur laquelle la production d'herbe ou d'autres plantes fourragères herbacées prédomine, depuis cinq années révolues ou plus (sixième déclaration PAC ou plus). »

Les surfaces désignées comme prairies sensibles sont les prairies permanentes majoritairement herbacées faisant partie des zones Natura 2000 et présentant une richesse importante en biodiversité. Ces surfaces doivent être maintenues : leur labour et/ou leur conversion vers une autre catégorie de surface ou en une surface non agricole ne sont pas autorisés sous peine d'une réfaction au titre des aides de la PAC et d'une obligation de réimplantation. (*Toutes les mesures de la nouvelle PAC 2023-2027*)

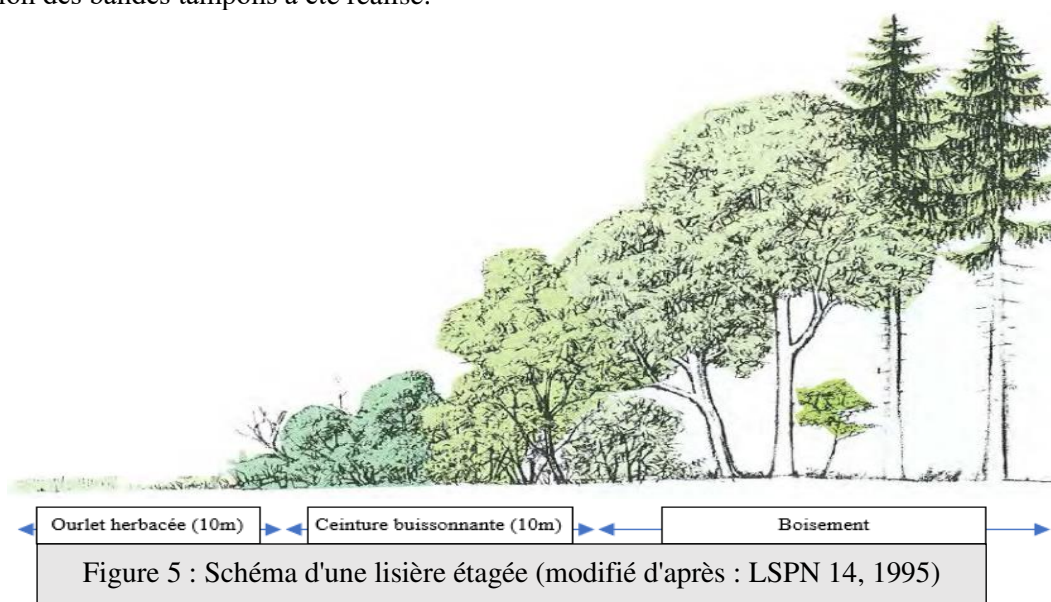
La donnée n°4, BDforêt, a été séparé en 2 catégories distinguant les boisements de feuillus et de conifères. Les lisières forestières jouent un rôle crucial en tant que voies de circulation. Pour mieux délimiter ces zones de transition le long des peuplements de feuillus et de conifères, l'approche adoptée s'est basée sur l'hypothèse d'une lisière bien développée sur l'ensemble du territoire étudié (Rivers-Moore, 2021 ; LSPN 14, 1995). Une bande de 10 mètres vers l'espace ouvert et de 10 mètres vers l'espace fermé a été utilisée comme marge de délimitation, illustré sur la figure 5.

La donnée n°7 représentant la couche hydrographique généralisée a été séparé par ordre d'importance en "Tronçons hydrologiques principales et secondaires" et en "Tronçons hydrologiques tertiaires".

La donnée n°9, couche des habitats Natura 2000, a été modifiée afin de sélectionner et d'extraire les habitats considérés comme favorables aux abeilles sauvages correspondant à la sous trame des milieux ouverts. Ce travail de sélection a été validé par Serge Gadum en sa qualité d'expert en abeilles sauvages.

Lors de l'intégration des couches linéaires dans la carte paysagère finale (hydrographie, infrastructures de transports, haies ...), un tampon minimal de 10 mètres a été appliqué à chacune d'entre elles. Cette opération permet d'éviter les artefacts ou les discontinuités qui pourraient apparaître lors de la conversion en raster, assurant ainsi une cartographie plus précise et homogène.

Les bordures de routes principales, de voies ferrées en service, des surfaces en eau et des cours d'eau principaux ont été obtenus par l'ajout d'un nouveau tampon de 10 mètres puis à l'aide de la fonction "Différence" l'extraction des bandes tampons a été réalisé.



II.2.2.b | Rastérisation et attribution des coefficients de friction

L'ensemble des couches ont été fusionnées et converties en format raster en utilisant l'outil BioDispersal. Il s'agit d'un logiciel de modélisation de chemins de moindre coût développé par le laboratoire THETIS. Bien qu'il ne permette pas l'analyse des réseaux écologiques obtenus, il offre la possibilité de créer des cartes paysagères détaillées, notamment en pondérant différentes couches de friction. Dans ce logiciel, les couches vecteurs préalablement élaborées et choisies sont transformées en rasters. Le choix a été fait d'utiliser une résolution de 10 mètres pour cette étape pour conserver des informations relativement précises sur les éléments paysagés. Une résolution plus précise est techniquement possible mais engendrerait des temps de calculs démultipliés.

Par la suite, ces couches au format raster sont combinées et intégrées pour générer une seule image finale représentant la carte du paysage. L'ordre dans lequel les couches sont superposées joue un rôle crucial et nécessite une réflexion approfondie. Il est essentiel de placer les éléments défavorables, tels que les routes, au-dessus des couches favorables, comme les prairies. Cela évite que ces éléments n'apparaissent pas dans l'image finale alors qu'ils constituent en réalité des obstacles aux déplacements. Pour réaliser la modélisation basée sur les chemins de moindre coût, il est nécessaire de transformer la carte paysagère en une carte de coûts de déplacement. À cette fin, des coefficients de friction sont attribués de manière arbitraire à chaque type d'occupation du sol (Cf. tableau 3 et 4). Chaque classe d'occupation du sol a ainsi été catégorisée dans l'une des quatre classes de frictions du paysage suivant :

Tableau 3 : Classes de friction des différentes occupations du sol de la sous trame "milieux ouverts"

Classes de friction	Trame milieux ouverts (Connexion actuelle) Espèce cible : abeilles sauvages
Réservoirs de biodiversité : 5	Prairies permanentes ; Habitats Natura 2000 (milieux ouverts)**
Milieux favorables (corridors) : 5	Haies ; Lisières ; Vf non exploité ; Mares

Milieus neutres : 20	Minéral ; Forêt feuillu ; Sable ; Surface en eau ; BCAE4 ; Tronçon Hydro tertiaire ; Tronçon hydro principal et secondaire ; Chemin et sentier ; Bordures routes principales et VF en service ; Bordures surfaces en eau et cours d'eau principaux
Milieus non favorables : 100	Forêt conifère ; Route secondaire ; Cultures ; VF en service ; Prairies non permanentes α
Infranchissables : 1000	Urbain ; Zone industrielle ; Océan ; Routes principales

Tableau 4 : Classes de friction des différentes occupations du sol du réseau de mare

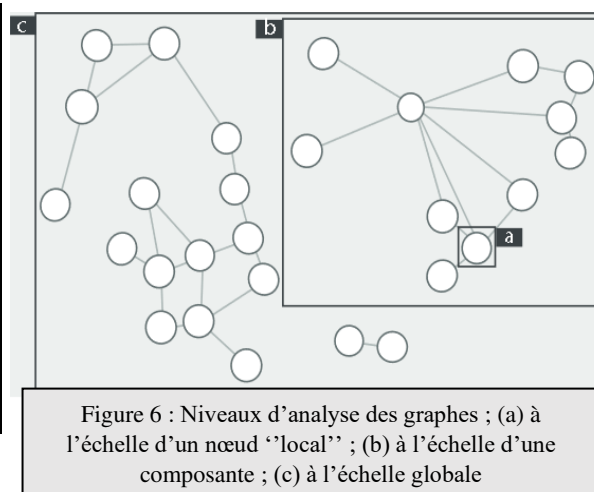
Classes de friction	Réseau de mares
	Espèce cible : amphibiens et abeilles sauvages
Réservoirs de biodiversité : 5	Mares
Milieus favorables (corridors) : 5	Haies ; Lisières ; Vf non exploité ; Prairies permanentes α ; Habitats Natura 2000 (milieu ouverts) ; Surface en eau ; BCAE4 ; Tronçon Hydro tertiaire ; Tronçon hydro principal et secondaire ; Bordures surfaces en eau et cours d'eau principaux ; Sable ; Forêt feuillu
Milieus neutres : 20	Minéral ; Chemin et sentier ; Bordures routes principales et VF en service ;
Milieus non favorables : 100	Forêt conifère ; Route secondaire ; Cultures ; VF en service
Infranchissables : 1000	Urbain ; Zone industrielle ; Océan ; Routes principales

**Habitats Natura 2000 (milieu ouverts)		
Dépression intradunale humide	Magnocariçaie	Prairie mésohygrophile système doux
Dune embryonnaire et mobile	Mégaphorbiaie	Prairie mésophile
Dune fixée	Pelouse sèche sur calcaire	Roselière à Phragmites
Falaises avec végétation des côtes atlantiques et baltiques	Prairie hygrophile système doux	Saulaie de panne humide
Fourrés halophiles méditerranéens et thermo-atlantiques (Sarcocornietea fruticosi)	Prairie mésohygrophile à hygrophile système eu-saumâtre	Tourbière alcaline
Friche	Prairie mésohygrophile à hygrophile système subsaumâtre	Prairie permanentes sensibles (BCAE 9)

II.3 | Analyse du réseau écologique

II.3.1 | Diagnostic : hiérarchiser les éléments du réseau

Tableau 5 : Termes mathématiques utilisés	
Terme	Signification
n	Nombre de taches
nl	Nombre de liens
a_i	Capacité de la tache i (en général sa surface)
A	Surface de la zone d'étude
d_{ij}	Distance entre les taches i et j
$e^{-\alpha d_{ij}}$	Probabilité de déplacement en les taches i et j
β	Frein de la distance vis-à-vis des déplacements
α	Exposant permettant de pondérer plus ou moins la capacité



Dérivées de la théorie des graphes, les calculs de métriques sont un élément central de Graphab. Ces métriques servent à définir les propriétés des divers éléments du réseau. Par ailleurs, la caractérisation du réseau peut être réalisée à diverses échelles, comme illustré dans la figure 6. Où chaque nœud correspond à une tache d'habitat favorable.

Calcul de métrique à l'échelle globale et à l'échelle d'une composante :

Indice Intégral de Connectivité (IIC)

L'Indice Intégral de Connectivité est un outil utilisé pour évaluer le niveau de connectivité entre différentes zones au sein d'un paysage. Il prend en compte à la fois la configuration spatiale des habitats et la distance qui les sépare. Cet indice offre la possibilité de quantifier l'importance de la connectivité écologique entre ces zones. Il fournit des informations cruciales pour établir des priorités en matière de conservation et de gestion des corridors écologiques.

Formule :

L'IIC est calculé en prenant le produit des capacités des zones i et j voisines et en le divisant par le nombre de liens qui les séparent. La somme de ces produits est ensuite divisée par le carré de la surface de la zone d'étude. Une connexion plus courte entre les zones va augmenter la valeur de l'IIC, indiquant une meilleure connectivité.

$$IIC = \frac{1}{A^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{a_i a_j}{1 + nl_{ij}}$$

Valeurs :

L'IIC varie entre 0 et 1. Une valeur de 0 indique une connectivité nulle, c'est-à-dire que les tâches d'habitats favorables sont totalement isolées les unes des autres. Une valeur de 1 indique une connectivité parfaite, où toutes les tâches sont complètement connectées entre elles.

Métrique au niveau local :

Indice de centralité intermédiaire (BC)

La centralité intermédiaire ou Betweenness Centrality (BC) est un outil qui mesure le potentiel de flux à travers les connexions et les nœuds d'un réseau. Il est calculé en prenant en considération la distance entre la tâche i et les autres tâches, ainsi que les capacités respectives de la tâche i et des autres tâches.

En d'autres termes, cet indice mesure à quel point la tâche i facilite l'extension et la connexion du reste du réseau.

Formule :

$$BC_i = \sum_j a_i^\beta a_j^\beta e^{-\alpha d_{ij}}$$

Les valeurs élevées de BC mettent en évidence les tâches d'habitats et les liens qui jouent un rôle central en tant que points de passage clés dans le réseau.

En identifiant ces tâches et les liens, la mesure de BC permet de cerner les voies les plus utilisées formant par exemple des corridors "en pas japonais".

Delta-métrique IIC

Les Delta-métriques évaluent les éléments du graphe en utilisant une méthode de calcul dite de "suppression" (Figure 7, (Clauzel *et al.*, 2022)). Une métrique globale est d'abord calculée, puis une tâche est retirée pour recalculer cette métrique. La différence entre les deux valeurs est associée à la tâche retirée, indiquant la perte de connectivité qu'elle engendrerait. Cette évaluation est appliquée à toutes les tâches et liens, ce qui permet de les classer en fonction de leur impact sur la connectivité globale. Ainsi, les Delta-métriques fournissent des

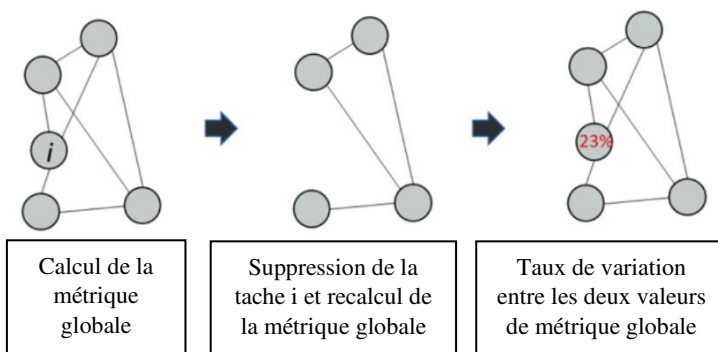


Figure 7 : Principe des Delta-métriques

informations locales en référence au contexte global du graphe.

Le calcul de ces métriques permet d'identifier les taches et les liens les plus importants pour la connectivité globale du réseau d'habitats. L'analyse de ces résultats fournit les informations nécessaires pour déterminer quelles zones présentent les enjeux de conservation les plus importants. Ces données peuvent également orienter la décision de recréer des corridors écologiques pour faciliter le déplacement des abeilles sauvages et ainsi contribuer à leur préservation.

II.3.2 | Rupture de continuité

Pour identifier et quantifier les obstacles à la connectivité écologique sur le territoire, des modélisations de liens en distance métrique ont été réalisées sur Graphab. Une fois ces liens modélisés, ils ont été transférés sur le logiciel QGIS pour utiliser l'outil de "Sélection par localisation". Cet outil permet d'obtenir des informations sur l'occupation du sol à travers laquelle passe chaque lien.

En associant les liens en distance métrique avec l'occupation du sol, il devient possible de déterminer le degré d'obstruction des éléments sur l'ensemble du territoire.

Ce travail sur les interruptions de la continuité écologique représente une étape préliminaire dans la modélisation de nouveaux corridors écologiques.

II.4 | Amélioration du réseau écologique

Le rétablissement de la continuité écologique peut passer par l'ajout de différents éléments paysagés comme les haies, la réouverture d'habitat ou les mares. Dans le cadre du projet Life Wild Bees, l'objectif de l'action de restauration passe par la plantation d'un linéaire d'au moins 10 km de haies et la création d'environ 20 à 30 mares. La modélisation de l'amélioration du réseau écologique a nécessité un nouveau travail cartographique. Pour chaque ajout d'éléments paysagés, l'objectif est d'augmenter la connectivité globale du réseau.

II.4.1 | Ajout de nouveaux éléments paysagés

II.4.1.a | Les haies

La détermination des emplacements stratégiques pour la plantation de haies a impliqué une sélection en deux étapes basées sur les liens en distance métrique. À partir du travail préalable sur les interruptions de continuité, les liens traversant les routes et les zones urbaines ont été exclus. Ensuite, la sélection des liens à créer a été hiérarchisée en utilisant la delta-métrique IIC appliquée aux liens. Cette approche permet d'examiner chaque lien manuellement en fonction de son importance pour le réseau, ce qui permet de prioriser les zones de reconnexion par la plantation de haies. Cette vérification manuelle a également permis d'effectuer une première vérification visuelle de la faisabilité de plantation par superposition avec les images satellites récentes (Ortho 20cm 193).

II.4.1.b | Les prairies non permanentes

Considérées comme non favorables dans la modélisation initiale, les prairies non permanentes pourraient avoir une certaine importance dans le réseau. Leur conversion en prairie permanente pourrait s'avérer bénéfique au réseau. Afin de visualiser ce gain potentiel, les parcelles déclarées comme "Prairie en rotation longue" et "Autre prairie temporaire de 5 ans ou moins" issus du RPG ont été ajoutées aux réseaux comme habitat favorable.

Afin de hiérarchiser leurs apports dans le réseau, le calcul de la delta-métrique IIC est réalisé.

II.4.1.c | Les mares

Pour le réseau de mares, la fonction "ajout de tâches" de Graphab a été utilisé pour déterminer les emplacements les plus favorables pour créer de nouvelles mares. Elle teste différents emplacements en calculant leur impact sur une métrique globale de connectivité, dans notre cas la métrique IIC. En ajoutant virtuellement des tâches et en établissant des liens avec les tâches existantes, le logiciel détermine l'emplacement qui maximise cette connectivité. Ce processus est répété jusqu'à ce que le nombre prévu de nouvelles tâches soit atteint.

II.4.2 | Gestion favorable aux abeilles sauvages

Les éléments linéaires du paysage tels que les routes, les voies ferrées, les cours d'eau principaux et les surfaces en eau principales sont considérés comme non connectant. Leurs bordures, modélisés par des bandes tampons,

étant considérées comme neutres, une gestion favorable de ces espaces pourrait améliorer la connectivité du territoire. Dans le cas des sentiers et des chemins, la note de friction a simplement été modifiée afin de les considérer comme favorable. Cette modélisation a pour objectif de visualiser le gain de connectivité hypothétique si une gestion favorable aux pollinisateurs sauvages était appliquée. De nouveau, la métrique

III | RESULTATS ET DISCUSSION

III.1 | Inventaires abeilles sauvages

III.1.1 | Diversité spécifique des abeilles sauvages sur le PNR

Tableau 6 : Synthèse de la diversité des abeilles sauvages sur le PNR du Marais poitevin

	PNR MP 09	PNR MP 10	PNR MP 11	PNR MP 01	PNR MP 02	PNR MP 03	PNR MP 12	PNR MP 13	PNR MP 14	PNR MP 15	PNR MP 04	PNR MP 05	PNR MP 06	PNR MP 07	PNR MP 08
Diversité spécifique	12	10	4	14	6	13	6	5	9	15	10	2	4	11	12
Diversité par habitat	22			26			18			30					
Diversité Totale	65														

Les inventaires réalisés en 2022 avec le protocole de capture au filet, ont permis d'inventorier 65 espèces d'abeilles sur le territoire du Marais poitevin. La liste des espèces déterminées est disponible dans le tableau, Annexe 4. Les résultats obtenus sont intrinsèquement liés au contexte météorologique de l'année 2022 et au protocole utilisé. Le protocole de capture au filet a été réalisé sur les mois de juin, juillet et septembre. Cette temporalité ne permet pas de détecter les espèces printanières les plus précoces. De plus, ce n'est pas un inventaire qui a pour objectif d'être exhaustif mais plutôt représentatif de la communauté de gros apidés présent. Le début de l'année 2022 a été marqué par des conditions météorologiques clémentes entraînant une floraison avancée dans la saison puis d'une forte sécheresse survenue dès le printemps entraînant une forte raréfaction de la ressource florale aux périodes de passage des inventaires. L'ensemble de ces paramètres ont pu influencer les résultats obtenus.

III.1.1.a | Diversité alpha

Tableau 7 : Résultats de la diversité alpha de l'indice de Shannon respectivement pour chaque site d'échantillonnage et regroupés par grands types d'habitats.

(a) Regroupé par types d'habitats		(b) Par sites d'échantillonnage		
Habitat	Diversité alpha	Habitat	Diversité alpha	Etat de conservation de l'habitat
Dunes grises	3.258097	Dunes grises 01	2.6390573	Bon état
Prairies mésohygrophiles	3.401197	Dunes grises 02	1.7917595	Bon état
Coteaux calcaires	3.091042	Dunes grises 03	2.5649494	Dégradé (Fermeture du milieu : Mixte entre dune et pinède)
Mégaphorbiaies	2.890372	Prairies 04	2.3025851	Bon état
		Prairies 05	0.6931472	Bon état
		Prairies 06	1.3862944	Bon état
		Prairies 07	2.3978953	Bon état
		Prairies 08	2.4849066	Bon état
		Coteaux calcaires 09	2.4849066	Dégradé (Contexte urbain. Fermeture du milieu et homogénéisation de la flore)
		Coteaux calcaires 10	2.3025851	Dégradé (Fermeture du milieu et homogénéisation de la flore)
		Coteaux calcaires 11	1.3862944	Bon état
		Mégaphorbiaies 12	1.7917595	Bon état
		Mégaphorbiaies 13	1.6094379	Dégradé (Fermeture du milieu : boisement humide)
		Mégaphorbiaies 14	2.1972246	Bon état
		Mégaphorbiaies 15	2.7080502	Dégradé (Ancienne peupleraie, non gestion de la parcelle)

La diversité alpha moyenne observée sur les 15 sites d'inventaires est égale à 2,05 selon l'indice de Shannon.

Les prairies mésohygrophiles du PNR du Marais poitevin est l'habitat accueillant la plus grande diversité spécifique avec un score de 3,40 selon l'indice de Shannon. Au sein de ces 5 sites de prairies un total de 30 espèces a pu être détectées. Il s'agit de l'habitat qui a obtenu la plus haute note de l'indice de Shannon. Les prairies 05 et 06 présentent des valeurs d'indice de Shannon plus basses avec respectivement une valeur de 0,69 et 1,39. La prairie 05 ne possède que 2 espèces détectées.

Ce résultat semble très faible comparé aux autres prairies et suggère un biais lié à l'échantillonnage. Il est tout de même intéressant de noter qu'un spécimen de *Nomada sp* (abeille coucou) a été capturé et suppose donc la présence d'une population saine de son hôte (inconnu). Les autres sites prairiaux révèlent une diversité plus importante aux alentours de 2,40. La différence de valeur entre les différentes prairies est difficilement interprétable. Plusieurs hypothèses peuvent être exposées comme la présence de haie en bordure, la gestion de ces bordures, la gestion du réseau hydraulique secondaire ou les cultures présentes sur les parcelles à proximité.

Les prairies pourraient s'avérer être encore plus attractives certaines années, où leur intérêt réside tout particulièrement dans la préservation de la végétation mésohygrophile en périphérie, notamment le long des fossés, où l'on trouve des espèces telles que *Pulicaria dysenterica*, *Althae officinalis*, *Lythrum salicariae*, ainsi que des *Cirsium* et *carduus*.

Les sites côtiers plus humides, qui sont attractifs, peuvent encore accueillir des espèces comme le Bourdon des mousses (*Bombus muscorum*), qui ont une grande valeur patrimoniale et sont en forte régression en France.

Cette même flore présente dans ces zones périphériques offre un habitat spécifique à des espèces spécialistes comme *Tetraloniella alticincta* et *nana*. De même, les plantes de la famille des Fabacées (comme les Lotiers) et les Centaurées constituent une ressource essentielle pour des espèces patrimoniales comme les *Megachile deceptor* et *burdigalensis*.

Cette ressource est vitale pendant la période estivale pour la plupart des espèces locales, ainsi que pour celles en transit ou en migration climatique (comme les lépidoptères). En somme, ces milieux et leur flore particulière jouent un rôle crucial dans la préservation de la biodiversité et de la vie des espèces locales et migratrices.

Les sites de dunes grises ont une diversité alpha cumulée de 3,26 avec 26 espèces détectées. Habitat d'intérêt communautaire, les dunes grises du territoire font, dans leurs grandes majorité, l'objet de mesures de protection. C'est notamment le cas, pour les sites 01 et 02 qui se situent respectivement au sein de l'APPB de la Pointe de l'Aiguillon géré par le PNR et du « cordon dunaire Atlantique » géré par l'ONF (*L'ONF prend soin des dunes entre chaque saison estivale*, 2018).

Les sites 01 et 02 sont en bon état de conservation, avec des diversités alpha respectives de 2,64 et 1,79. Le site dune 01 présente la 2^{ème} plus haute note de diversité. Malgré un état de conservation similaire au site 02, cette plus haute diversité pourrait être due à la présence de plus de micro-habitats ou de ressources florales. Le site 01 abrite notamment cinq espèces de mégachiles, parmi lesquelles *Megachile deceptor* qui présente une oligolectie envers certaines fabacées. Toutes ces mégachiles sont des espèces terricoles. La présence de *Coelioxys conoidea*, une espèce cleptoparasite, suggère que la population de son hôte, *Megachile maritima*, est vraisemblablement en bonne santé.

Le site 03, considéré comme dégradé en raison d'un milieu mixte entre dune et pinède, obtient néanmoins une diversité alpha de 2,56 comparable aux dunes en bon état de conservation. Le cordon dunaire atlantique est le domaine quasi exclusif de *bombus terrestris*. Or au sein du site 03, *bombus lucorum* et *bombus pascorum* ont été détectés. Cela pourrait s'expliquer par la présence d'une flore moins spécifique aux dunes et donc attractive pour des espèces issues des habitats environnants.

Les dunes grises sont des habitats fragiles, exposés aux conditions climatiques parfois extrêmes et au piétinement important du au tourisme l'été. Elles sont caractérisés par une flore spécifique adaptée à une topographie et géologie particulière. La diversité remarquable observée au sein de ces dunes peut être attribuée à la présence d'une multitude d'espèces végétales ainsi qu'à une variété de micro-habitats qui accueillent des espèces d'abeilles inféodées à ces environnements singuliers.

Les coteaux calcaires ont une diversité alpha cumulée de 3,09 pour 22 espèces détectées. Le site numéro 11 étant identifié comme en bon état de conservation et représentant au mieux un coteau calcaire d'un point de vue floristique a obtenu une note de diversité alpha d'environ 1,39. Seulement 4 espèces ont été identifiées, ce qui paraît assez faible et donc révèle un potentiel biais d'échantillonnage.

Les sites 9 et 10, sont des habitats de coteaux dégradés par un embroussaillage important avec la présence de prunelliers (*Prunus spinosa*) et d'aubépines (*Crataegus*). La flore spécifique des coteaux, représenté habituellement par une diversité importante d'orchidées est ici remplacé par du Brachypode penné (*Brachypodium pinnatum*) caractéristique d'un enrichissement du sol.

La grande diversité alpha des 2 sites dégradés (10 et 9) pourrait s'expliquer par la présence d'espèces végétales non inféodées à ces milieux et donc la présence d'espèces d'abeilles sauvages généralistes. En comparaison du site 11 qui accueillera moins d'espèces mais plus spécialisées à la flore des coteaux.

Les mégaphorbiaies étudiés ont une diversité alpha cumulée de 2,89 pour 18 espèces inventoriés. Les sites 12 et 14 sont en bon état de conservation et présentent des diversités alpha respectives de 1,79 et 2,20. Cette différence pourrait s'expliquer par des différences au niveau de la densité et diversité floristique. Une étude comparative phytosociologique serait intéressante pour voir si cela pourrait expliquer une diversité moins importante.

Le site 13, en revanche, est dégradé en raison d'une fermeture du milieu en boisement humide. Ce site obtient un score de 1,61. Le boisement humide bien qu'habitat intéressant semble peu propice à la présence d'une forte diversité d'abeilles sauvages. Il sera alors intéressant d'analyser la variation de diversité que procure la réouverture de ce site.

Le site 15 qui possède la plus haute diversité alpha sur l'ensemble des sites d'inventaires avec un score de 2,71. Parmi les mégaphorbiaies, il s'agit du site avec la plus grande superficie. Ancienne peupleraie, cette vaste parcelle est en cours de transition vers un stade de mégaphorbiaies. Elle est composée d'une richesse floristique intéressante et une diversité de micro-habitats notamment avec la présence d'arbres morts. Ce site accueille des espèces remarquables dont *lithurgus cornutus*, *colletes fodiens* espèces vulnérables et *trachusa interrupta* espèce en danger.

Cette diversité végétale peut contribuer à la présence d'une diversité intéressante d'abeilles sauvages, particulièrement à langue longue, spécialisées dans la collecte de nectar et de pollen dans ces milieux.

L'analyse de la diversité alpha au sein des différents habitats étudiés révèle des variations en fonction de la topographie, de la diversité floristique et de l'état de conservation. Les prairies mésohygrophiles et les dunes grises affichent les diversités les plus élevées, abritant des espèces spécifiques adaptées à ces milieux singuliers. Les coteaux calcaires et les mégaphorbiaies, bien que présentant des états de conservation divers, dévoilent également des diversités intéressantes. La préservation de ces habitats est cruciale pour maintenir la biodiversité des abeilles sauvages, avec des espèces inféodées et généralistes contribuant à la richesse des pollinisateurs dans le territoire.

III.1.1.b | Diversité beta

Les deux indices utilisés dans cette étude permettent de quantifier la similitude entre les ensembles d'espèces dans différents sites d'échantillonnages. Ils sont couramment utilisés en écologie et en biologie pour comparer les communautés d'organismes. Dans notre cas, le croisement de ces résultats permet de conforter leurs véracités du fait du faible jeu de données à notre disposition. L'interprétation des résultats de ces 2 indices est la même.

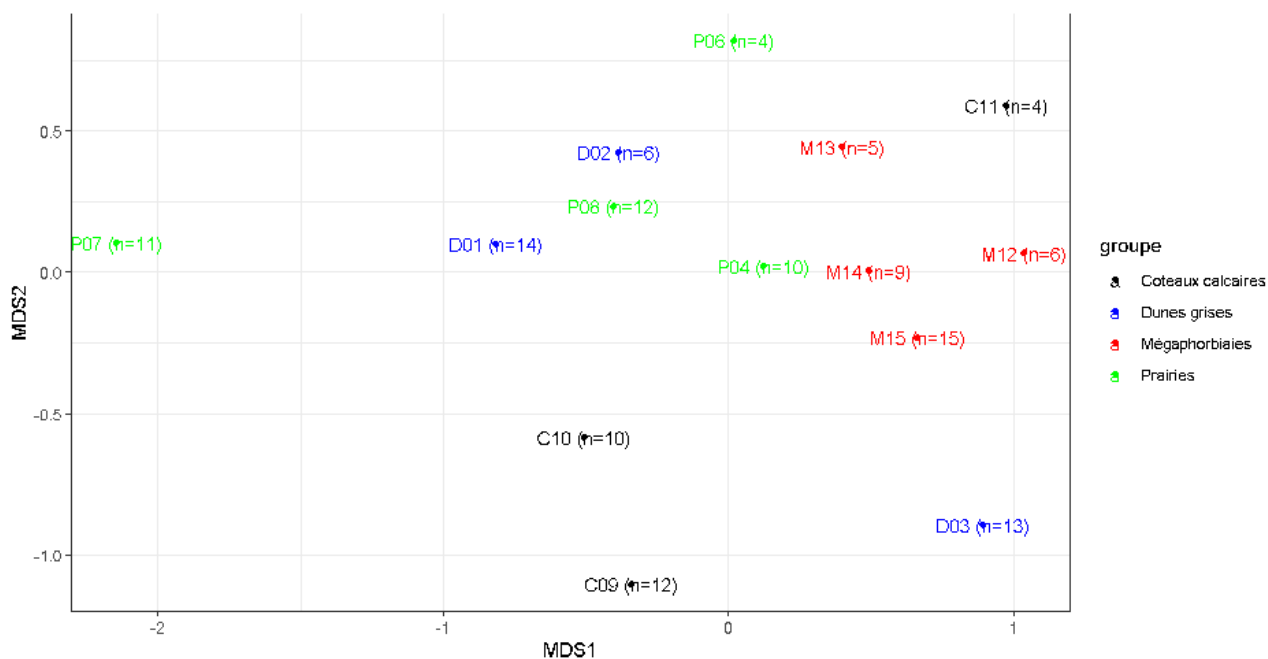


Figure 8 : Projection des sites d'échantillonnages dans un espace bi-dimensionnel (MDS1 et MDS2) en fonction de leurs similarités, basées sur l'indice de Jaccard.

Sur la figure 8, chaque point représente un site d'échantillonnage, et les couleurs des points correspondent aux groupes d'habitats auxquels ils appartiennent. Le site Prairie 05 ne possédant que 2 espèces détectées a été volontairement enlevé. Ce choix a permis d'obtenir une meilleure représentation visuelle des résultats.

La proximité spatiale des sites entre eux traduit leur similarité dans la composition de la communauté d'abeilles sauvages. La distance entre les sites sur le graphique n'a pas de signification en termes de distance réelle dans l'environnement. Les sites situés près les uns des autres sur le graphique NMDS ont des compositions d'espèces similaires, tandis que les sites éloignés ont des compositions d'espèces plus différentes.

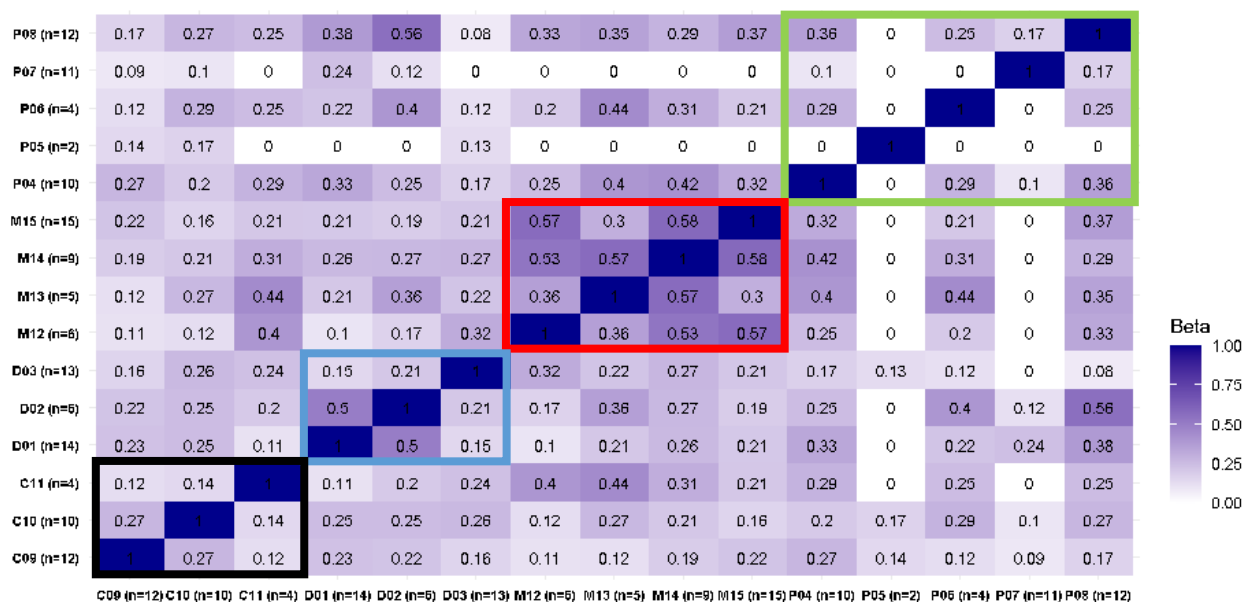


Figure 9 : Matrice d'indice de similitude de Sørensen entre les sites d'échantillonnage

La figure 9 offre une visualisation de la similarité ou de la dissemblance entre les sites d'échantillonnage en se basant sur la présence ou l'absence d'espèces. Les sites présentant des indices de similitude élevés dénotent une proximité en termes de composition d'espèces, tandis que les sites affichant des indices de similitude plus faibles traduisent des différences plus marquées.

Une première analyse est réalisée en comparant la similarité des communautés d'abeilles sauvages au sein des différentes typologies d'habitats.

Les résultats des deux indices fait ressortir une tendance commune. Sur la figure 8 et 9, on peut constater une similarité entre les deux sites dunaires en bon état de conservation (D01 et D02). Le site de dune grise 03 possède un faible degré de similarité avec les deux autres avec respectivement des indices de 0,15 et 0,21.

On observe les mêmes résultats de similitude et de dissimilarité des communautés d'abeilles sauvages entre les sites en bon état de conservation et les sites dégradés pour les coteaux calcaires et plus légèrement pour les mégaphorbiaies. Dans le cas des sites de mégaphorbiaies, cette plus grande similarité entre les différents sites pourrait être la résultante du contexte bocager qui offre une richesse d'habitats communs autour des 4 sites d'échantillonnage. Ainsi même la parcelle dégradée n°13 accueille quelques espèces communes aux autres sites. Dans le cas des coteaux calcaires, le site 9 de par son contexte urbain et l'homogénéisation de sa flore, est quant à lui très dissimilaire avec le coteau en bon état.

La fragmentation des habitats peut induire une fragilisation et des changements au sein des communautés d'abeilles sauvages (Carrié *et al.*, 2017). Même constat pour le coteau 10 pour lequel la communauté d'abeilles sauvages associée ne coïncide pas avec celle du coteau 11. En accord avec l'hypothèse émise précédemment lors de l'analyse de diversité alpha des coteaux calcaires, cette dissimilarité semble être due à un apport d'espèces généralistes et non inféodées aux pelouses calcicoles.

Les sites de prairies présentent une hétérogénéité dans la composition des communautés d'abeilles sauvages avec des coefficients de similitude variant de 0,1 à 0,36. Dans cette analyse, nous faisons à nouveau le choix de ne pas prendre en compte la prairie 5 pour les mêmes raisons précédemment expliquées. A noter que la communauté du site de prairie n°7 est tout particulièrement intéressante. En effet, sur 11 espèces détectées, 8

espèces n'ont pas été détecté dans le reste du territoire. Cette singularité explique sa dissimilarité avec les autres sites prairial.

En considérant exclusivement les habitats jugés en bon état, des communautés distinctes propres à chaque typologie d'habitats semblent émerger. Cela met en évidence l'importance de la conservation de la diversité des paysages et de leur bon état écologique pour la conservation des abeilles sauvages présent sur le territoire du Marais poitevin.

Une analyse plus approfondie de la liste des espèces présentes (cf. Annexe 4 et 6) sur chaque site révèle que les espèces en déclin à l'échelle nationale et celles exigeant des habitats ou des ressources de meilleure qualité sont à peine détectables, telles que *Bombus sylvarum* et *B. hortorum*. Certaines espèces spécifiques aux milieux humides et aux ressources particulières semblent être très localisées et présentes en faibles effectifs, comme c'est le cas pour *Bombus muscorum*. D'autres espèces potentiellement attendues ne sont pas présentes. Les espèces de bourdons les plus courantes, comme *Bombus pascuorum* et *Bombus terrestris*, sont bien présentes, mais leur prédominance pourrait augmenter aux dépens des autres espèces.

Au total, 10 espèces de bourdons ont été inventoriés sur le territoire du Marais poitevin lors de l'inventaire réalisé en 2022. Le changement climatique et les effets de la sécheresse observés lors de cette année d'étude pourrait avoir des conséquences sur les cortèges d'abeilles sauvages. Les tendances ou évolutions des cortèges ne sont pas accessible à travers cette analyse. Les inventaires sur 5 ans et leurs analyses pourront peut-être apporter quelques éléments de réponses sur cet impact potentiel.

Dans le contexte planétaire, où les insectes sont en déclin. (Goulson *et al.*, 2015 ; Rollin *et al.*, 2013) Il est envisageable que de nombreuses espèces connaissent un déclin en raison de l'insuffisance locale des ressources florales, conjuguée à la limitation des capacités de déplacement de ces espèces. Certaines populations de bourdons et d'abeilles solitaires pourraient être contraintes de se retirer vers des zones plus humides, comme les marais, afin de trouver des ressources plus abondantes tout au long de l'année. Cependant, ces déplacements pourraient être entravés par des distances trop importantes ou des obstacles. De plus, il est important de considérer la possibilité d'une réelle disparition d'espèces plutôt que seulement leur migration. Il est préférable de ne pas tirer des conclusions précises sur l'aggravation de la concurrence dans ces zones refuges. Néanmoins, il est plausible que la diminution des ressources florales, combinée à la présence croissante d'abeilles domestiques, puisse potentiellement conduire à des interactions compétitives.

Cette tendance inquiétante pourrait être liée à la possible perte de ressources nutritives, notamment entre juin et septembre, ainsi qu'à une diminution éventuelle de la disponibilité en eau dans le paysage. Pour garantir la préservation de ces populations d'abeilles sauvages, il pourrait être nécessaire de repenser le paysage en envisageant des stratégies pour favoriser la présence de haies hautes protectrices et pour préserver les zones d'eau végétalisée telles que les chapelets de mares fonctionnelles. De plus, l'adoption de pratiques agricoles plus respectueuses de l'environnement, pourrait contribuer à soutenir les habitats des pollinisateurs. Des mesures telles que l'augmentation des marges et des bandes tampons autour des champs agricoles qui sont riches en fleurs et en faune, et la préservation des prairies, pourraient être des outils efficaces pour atténuer le déclin rapide des espèces de bourdons (Scheper *et al.*, 2013). Ces interventions peuvent fournir des ressources aux abeilles et contribuer à soutenir la diversité des pollinisateurs.

III.1.2 | Biais et limites

Les résultats de l'analyse de la diversité alpha et beta doivent être interprétés avec prudence en raison de certains biais et limites liés au protocole de capture au filet et aux tests statistiques utilisés. Tout d'abord, le protocole utilisé pour la capture des abeilles présente plusieurs biais. Le ciblage et le taux de détection de certains groupes d'abeilles a mené au choix de ne pas tenir compte des effectifs des espèces. Ce qui signifie que toutes les analyses ont été réalisées à partir de données transformées en présence/absence. Cependant, cela engendre une sur-représentation des espèces rares lors des analyses communautaires, tandis qu'à l'inverse, les espèces communes pourraient être sous-représentées.

Les seconds biais est lié à la taille du jeu de données qui est faible. Cela a rendu difficile la réalisation de tests de puissance statistique, limitant ainsi la capacité à obtenir des résultats statistiquement significatifs. Les conclusions basées sur des échantillons de petite taille ne peuvent être pris en compte que comme les prémices de ce que l'on pourrait potentiellement observer avec un échantillon de plus grande taille.

De plus, le protocole au filet a été réalisé sur une période de seulement 3 mois (juin, juillet, septembre). Cela conduit à l'absence des espèces printanières précoces et automnales qui auraient pu être détectées avec des inventaires sur une période plus étendue. A cela s'ajoute une année 2022 marquée par une sécheresse précoce et importante, limitant la ressource florale. Ces conditions ont pu influencer les résultats.

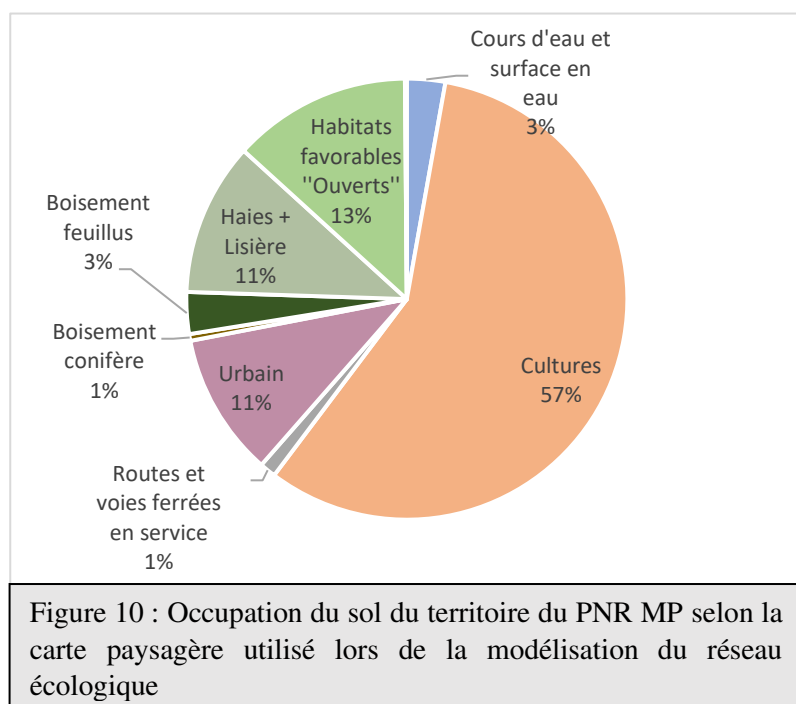
Le protocole utilisé cible principalement les gros apidés, ce qui peut induire un biais de détection pour les espèces patrimoniales rares. Leur capture peut toutefois être limitée par le contexte d'observation, le ciblage sur le groupe des bourdons ou sur la taille des espèces.

L'ensemble des résultats présentés dans cette première partie sont à pondérer en raison des nombreux biais liés au protocole et à la taille du jeu de donnée. Les résultats de la première année d'inventaires selon le protocole « des coupelles colorées » étant incomplets ou non réalisés, seules les données disponibles ont pu être pris en compte.

Dans le cadre du programme Life Wild Bees, une évaluation sera réalisée en prenant en compte les deux protocoles et l'ensemble des résultats sur les 5 années de suivis. Cela permettra :

- D'affiner la connaissance de la communauté d'abeilles sauvages du territoire du PNR du Marais poitevin.
- D'évaluer l'impact et l'efficacité des actions concrètes de restauration des habitats naturelles et de la continuité écologique.

III.2 | Diagnostic des réseaux écologiques



Le Parc naturel régional du Marais poitevin est un territoire où les cultures ont une part prédominante dans le paysage. Elles représentent 57% de l'occupation du sol et sont principalement localisées dans le marais desséché (Cf. figure 10). Les zones urbaines et les linéaires de transport sont également des éléments du paysage importants. Selon la carte paysagère, ces zones artificialisées représentent 12% du territoire. Quant aux prairies permanentes et habitats Natura 2000 sélectionnés en tant qu'habitats favorables de la sous trame « milieux ouverts » leurs emprises dans le paysage représentent 13% soit environ 3 700 hectares. Les haies et les lisières forestières considérées comme des corridors dans notre réseau, représentent 11% de l'occupation du sol.

La présence de ces zones artificialisées et terres agricoles considérées comme non favorables aux abeilles sauvages ont un impact certain sur le réseau écologique et donc sur la capacité d'accueil du territoire en faveur des pollinisateurs sauvages.

III.2.1 | Réseaux écologiques

III.2.1.a | Sous trame « milieux ouverts »

Le réseau écologique en faveur des abeilles sauvages est représenté par la sous trame « milieux ouverts ». Ce réseau d'habitats favorables couvre aujourd'hui, selon la méthodologie employée, 36 664 hectares réparties en 14 352 tâches d'habitats. L'ensemble du travail effectué sur la sous trame « milieux ouverts » a été décliné en deux réseaux :

- Le réseau "petites abeilles", modélisé pour des déplacements de 100 mètres, qui permet d'appréhender les potentiels de déplacements des plus petites espèces dont les capacités de vol sont les plus faibles. En écologie, le terme "espèce parapluie" désigne une espèce dont la conservation de son habitat contribue indirectement à la préservation d'autres espèces coexistantes. Par analogie, ce réseau pourrait être qualifié de "réseau parapluie". Il permet de prendre en compte l'ensemble des espèces d'abeilles sauvages et autres pollinisateurs sauvages.
- Le réseau "grandes abeilles", modélisé pour des déplacements de 600 mètres, permet quant à lui d'appréhender la connectivité du territoire pour des espèces dont la capacité de dispersion est plus grande.

Tableau 8 : Caractéristiques de la sous trame « milieux ouverts » dans le PNR du Marais poitevin

	Graphique distance-coût = 50	Graphique euclidien = 100m	Graphique distance-coût = 300	Graphique euclidien = 600m
Nombre de tâches d'habitats favorables	14 352			
Superficie totale des habitats favorables (ha)	36 664,6			
Nombre de composantes	3 122	1 981	1 436	228
Taille moyenne des composantes (ha)	11,58	18,31	25,67	158,24
Métrique globale IIC	5,12E-05	1,80E-04	7,39E-05	3,82E-04
Rapport à la connectivité maximale (IIC)	28,46%	100,00%	19,37%	100,00%

La modélisation en distance euclidienne permet de visualiser le réseau écologique potentiel sans prendre en compte l'occupation du sol. Cette modélisation correspond à l'hypothèse d'un réseau écologique maximal compte tenu des habitats favorables actuels. En d'autres termes, tous les types d'occupations du sol sont considérés comme connectant. Tandis que la modélisation en distance-coût correspond ici au réseau actuel, tenant compte des exigences des espèces cibles.

Comme représenté dans la figure 6, les composantes correspondent à des sous réseaux au sein desquels les tâches d'habitats sont interconnectées. Ici, le nombre total de composantes et leurs tailles moyennes, en qualité d'indicateurs de la connectivité du réseau, permettent de visualiser un déficit de connectivité dans le réseau présent. Ce déficit apparaît aussi bien dans la modélisation "petites abeilles" et "grandes abeilles".

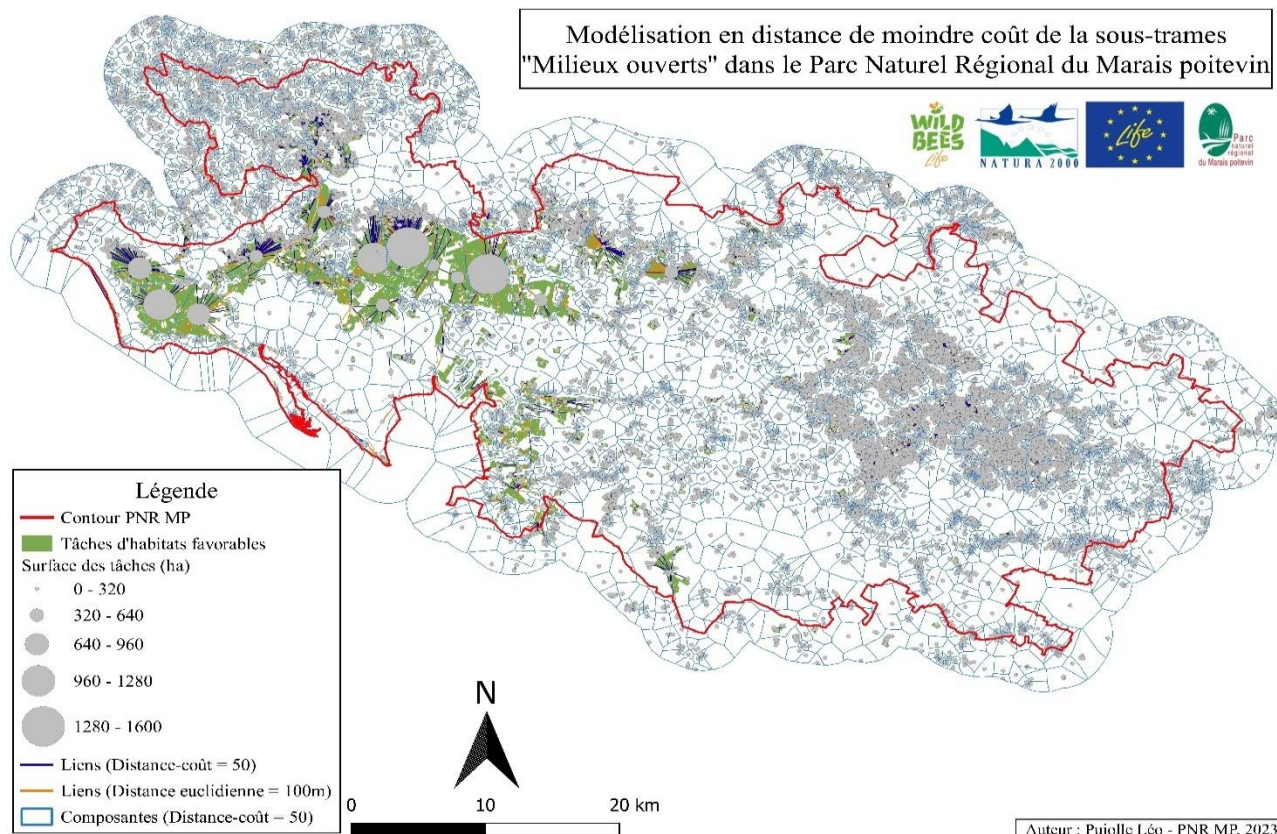
Ce déficit de connectivité est confirmé par la métrique globale IIC. En effet, le réseau "petites abeilles" a obtenu un score de $5,12 \times 10^{-5}$ équivalent à 28,46% du réseau maximal. Le même constat est observé pour le réseau "grandes abeilles" qui obtient un score de $7,39 \times 10^{-5}$ équivalent à 19,37% du réseau maximal.

Ces premiers résultats indiquent que le territoire du Marais poitevin possède une capacité d'accueil potentiel significativement plus importantes que ce qui peut être observé aujourd'hui. Ce déficit de connectivité est dû à un manque de connexion entre les différents patches d'habitats.

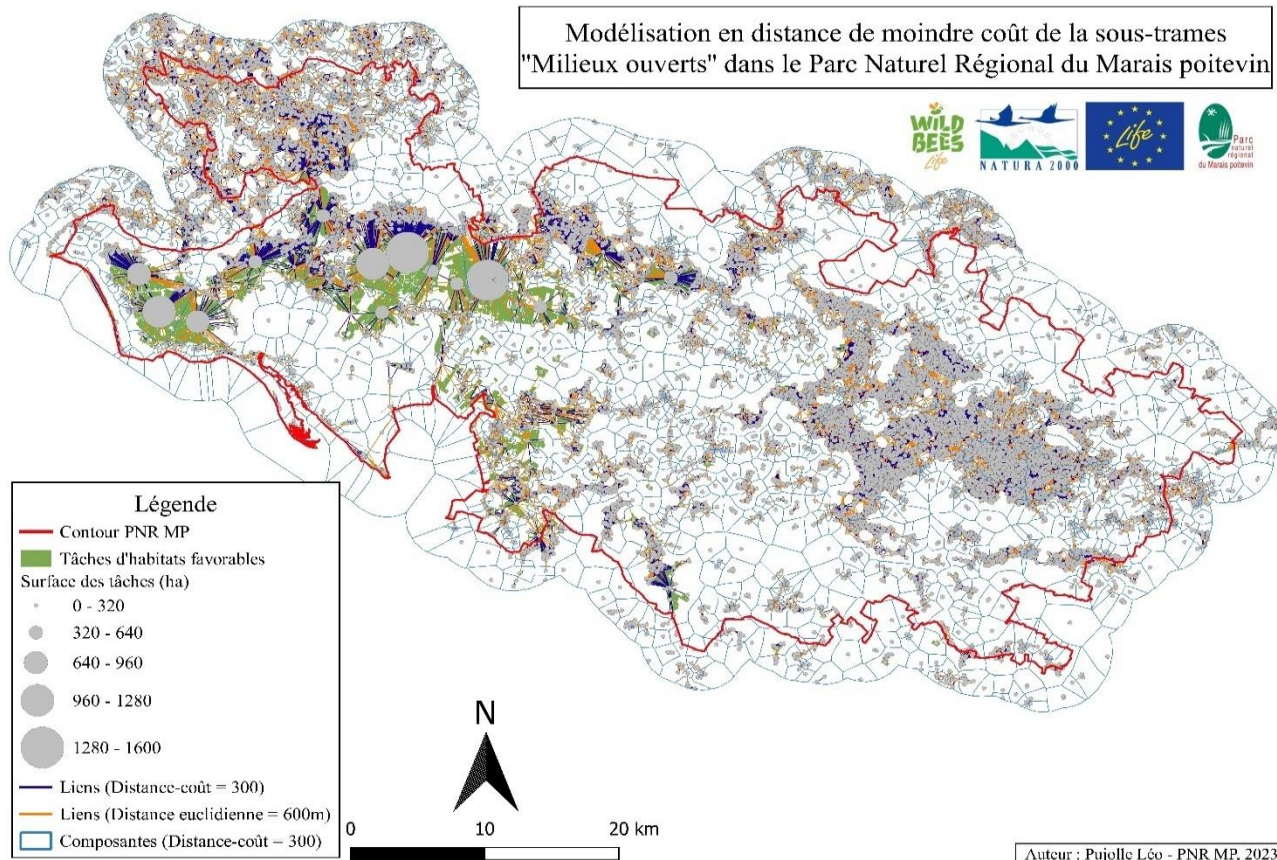
Les cartes 2 et 3 présentent respectivement les réseaux "petites abeilles" et "grandes abeilles" actuels de la sous-trame "milieux ouverts" dans le Marais poitevin. Des habitats favorables sont répartis sur l'ensemble du territoire, avec une concentration accrue dans certaines zones, notamment celles correspondant au périmètre Natura 2000 du territoire. Les zones vertes indiquent le vaste système prairial du parc, caractérisé par des habitats de grande superficie. La densité élevée d'habitats à l'Est du PNR correspond au marais bocager.

Cependant, cette densité n'est pas uniforme sur l'ensemble du territoire. En effet, de vastes zones correspondant aux grands systèmes de cultures et zones urbaines du territoire abritent très peu d'habitats favorables aux pollinisateurs sauvages.

Avant de renforcer la connectivité du réseau, il est crucial de pouvoir établir une hiérarchie parmi les différents éléments qui le constituent. Cette démarche vise à garantir, au minimum, le maintien de la capacité d'accueil pour les abeilles sauvages et, plus généralement, pour les pollinisateurs sauvages au sein du PNR du Marais poitevin. Cette classification permettra d'adapter la conservation et la gestion de certains espaces, tout en établissant des priorités pour la réalisation de nouvelles connexions.



Carte 2 : Modélisation en distance de moindre coût de la sous-trame "milieux ouverts" dans le Parc naturel régional du Marais poitevin – Réseau "petites abeilles" –



Carte 3 : Modélisation en distance de moindre coût de la sous-trame "milieux ouverts" dans le Parc naturel régional du Marais poitevin – Réseau "grandes abeilles" –

III.2.1.b | Sous trame « mares »

La modélisation du réseau de mares sur le territoire du PNR du Marais poitevin a pour objectif de lier les enjeux de conservation des abeilles sauvages et des amphibiens. En effet, les mares ont un rôle important pour les abeilles sauvages dans la disponibilité de la ressource alimentaire lors de période de sécheresse. Ces mares ont bien évidemment un grand rôle pour la préservation des 17 espèces d'amphibiens présents sur le territoire, en tant que site de reproduction

Pour établir un réseau optimal pour les amphibiens et les pollinisateurs, il est essentiel de prendre en compte la capacité de dispersion des différentes espèces. Plusieurs études antérieures ont apporté des informations importantes sur la distance optimale entre les mares pour favoriser le maintien des populations. Tout d'abord, il est à noter que les Tritons présentent la plus faible distance de dispersion, soit environ 400 mètres (Halliday, 1999). De plus, une analyse basée sur un réseau de 71 mares dans la région des Deux-Sèvres, a recommandé une distance de 300 à 350 mètres entre les mares (Boissinot *et al.*, 2018 ; Boissinot *et al.*, 2013).

Pour établir un réseau écologique fonctionnel à la fois pour les amphibiens et les abeilles sauvages, l'idéal semble être une distance de 250 mètres, car cela permettrait de répondre aux besoins de dispersion des amphibiens et de la grande majorité des pollinisateurs tout en optimisant l'efficacité du réseau de mares pour leur conservation.

	Graphique distance-coût = 125	Graphique euclidien = 250m
Nombre de mares	2885	
Nombre de composantes	1812	1452
Métrique globale IIC	1,46E-10	2,21E-10
Rapport à la connectivité maximale (IIC)	66,31%	100%

Ce réseau comporte aujourd'hui 2 885 mares. La distance de dispersion de 250 mètres permet de s'assurer que l'ensemble des amphibiens et la grande majorité des abeilles sauvages soit inclus dans la modélisation.

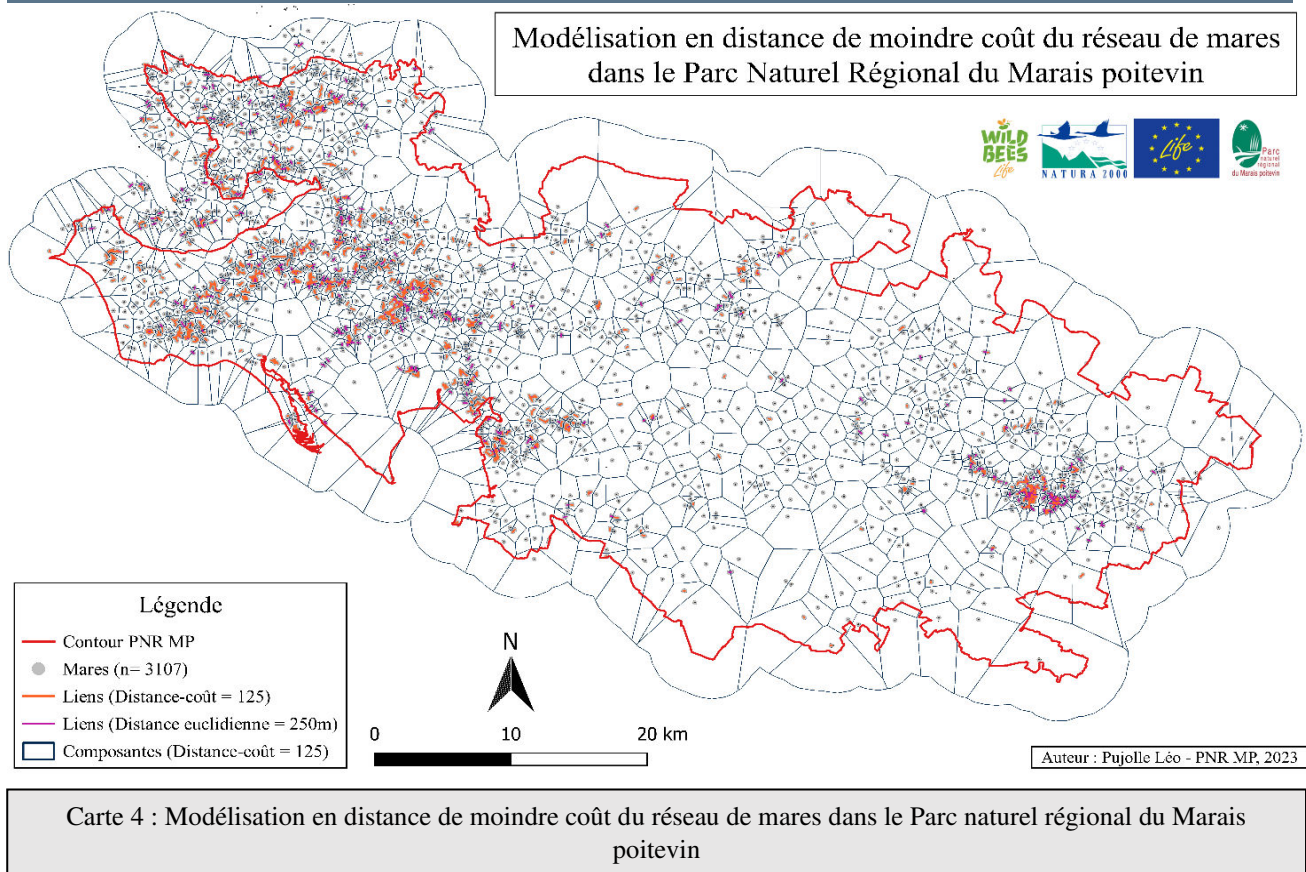
La démarche est équivalente à celle utilisée pour la sous trame « milieux ouverts ». La modélisation en distance euclidienne a été réalisée afin d'obtenir un potentiel réseau écologique maximal. Tandis que, la modélisation en distance-coût permet d'obtenir le réseau écologique actuel.

La comparaison du nombre de composantes entre ces deux résultats permet de mettre en évidence un déficit de connectivité du réseau actuel. Le nombre de composante dans le réseau actuel est 25% plus élevé, ce qui traduit la déconnexion de nombreuses mares entre elles.

La métrique globale IIC confirme ce déficit. En effet, le réseau de mares actuel atteint 66,31% de la connectivité globale du réseau maximal.

La carte 4, illustre le réseau actuel de mares au sein du PNR du Marais poitevin. Les mares sont dispersées sur l'ensemble du territoire, avec une densité plus élevée dans certaines zones. Ces zones correspondent à celles identifiées dans la sous-trame « milieux ouverts ». La carte met également en évidence l'isolement de nombreuses mares sur le territoire.

Avant d'améliorer la connectivité du réseau de mares, il est essentiel de procéder à une hiérarchisation de ses différents éléments constitutifs. Cette classification facilitera l'ajustement des stratégies de conservation et de gestion des espaces, tout en établissant des priorités pour la création de nouvelles connexions entre les mares.



Carte 4 : Modélisation en distance de moindre coût du réseau de mares dans le Parc naturel régional du Marais poitevin

III.2.2 | Détermination des secteurs à forts enjeux conservatoires

III.2.2.a | Sous trame « milieux ouverts »

Une modélisation utilisant des métriques locales permet d'identifier les zones qui exercent une influence prépondérante sur la connectivité globale d'un territoire. Cette approche vise à déterminer quels secteurs doivent être préservés ou protégés en priorité. De plus, elle facilite la hiérarchisation des zones nécessitant une amélioration de la connectivité en établissant des corridors.

La cartographie de ces métriques permet de visualiser les zones critiques. Les habitats favorables affichant des valeurs élevées de ces métriques sont ceux ayant un impact majeur sur la connectivité globale du réseau. Ces zones deviennent ainsi des priorités pour la conservation, car toute altération aurait un effet significatif sur la connectivité du territoire.

Tableau 10 : Hiérarchisation des éléments de la sous trame « milieux ouverts » dans le PNR du Marais poitevin

	Réseau petites abeilles (Distance-coût = 50)	Réseau petites abeilles (Distance-coût = 300)
Top 5% tâches d'habitats	717	
Top 5% tâches d'habitats - superficie des habitats (ha)	20 941,5	21 121,7
Rapport - superficie total en %	57,12	57,61
Tâches d'habitats favorables - Somme métrique IIC	1,32948	1,5372
Top 5% tâches d'habitats - Somme Métrique IIC	1,25907	1,38555
Rapport - Somme métrique IIC en %	94,70	90,13
Top 20 composantes - superficie des habitats (ha)	17 630,5	23 827,2
Rapport - superficie total en %	48,09	64,99
Composantes - Somme métrique IIC	5,12E-05	7,39E-05
Top 20 composantes - Somme Métrique IIC	4,84E-05	7,17E-05
Rapport - Somme métrique IIC en %	94,53	97,02

Le calcul de la delta-métrique IIC est appliqué à chacune des taches, permettant ainsi leur hiérarchisation en fonction de leur contribution à la connectivité globale. Le résultat d'une delta-métrique est donc local, mais en référence au niveau global. La métrique locale BC a également été utilisée dans la hiérarchisation des habitats afin de faire apparaître les tâches d'habitats qui ont un rôle crucial en tant que tâche relais ou "stepping stone" (Cf. tableau 10).

À partir de la modélisation, un groupe de tâches d'habitats constituant le top 5 % a été identifié. Ce groupe est composé des 717 tâches d'habitats qui affichent les valeurs les plus élevées obtenues à partir du calcul de la delta-métrique IIC. Bien que les top 5 % des réseaux des "petites abeilles" et "grandes abeilles" partagent de nombreuses tâches d'habitats en commun, des nuances subsistent.

En moyenne, ces 717 tâches d'habitats représentent environ 57 % de la superficie totale des habitats favorables dans le réseau des « petites abeilles » et du réseau des « grandes abeilles », équivalant à environ 21 000 hectares.

Le groupe de tâches d'habitats identifié comme le top 5 %, représenté sur la carte 5, est théoriquement responsable de 94,70 % de la connectivité totale du réseau des « petites abeilles ». Si cet ensemble de tâches venait à disparaître, le territoire perdrait alors 94,70 % de sa connectivité selon l'indice IIC. Une telle perte serait attribuable à la diminution de la superficie des habitats favorables ainsi qu'à la rupture des connexions directes et indirectes qu'elles établissent avec les autres tâches du réseau.

Pour le réseau des « grandes abeilles », le groupe de tâches d'habitats identifié comme le top 5 % serait hypothétiquement responsable de 90,13% de la connectivité totale.

La prédominance de cet ensemble de tâches peut s'expliquer d'une part par leurs positions centrales dans le réseau et par leurs superficies qui est un facteur important lors du calcul de la delta-métrique IIC.

Le Top 20 des composantes du réseau "petites abeilles" possédant les meilleures notes de l'indice IIC ont été retenues. Il permet de mettre en évidence les sous réseaux d'habitats interconnectés. En effet, ce top 20 fait apparaître 3 grandes zones (Cf. carte 5). Leur densité et la surface d'habitats interconnectés peut être considérées comme propice au maintien des populations d'abeilles sauvages. Ces 20 composantes représentent à elles seules 48,09% de la superficie total du territoire en termes d'habitats favorables aux pollinisateurs. De manière remarquable, cette fraction relativement restreinte du réseau global serait responsable de 94,53 % de la connectivité totale d'après la métrique IIC.

Le classement des 20 composantes les plus performantes du réseau des "grandes abeilles" met en lumière les sous-réseaux d'habitats étroitement liés. Ce top 20 met en évidence les mêmes trois grands secteurs que précédemment (Cf. carte 6). Cependant, dans ce contexte, le marais bocager est presque entièrement identifié comme prioritaire. Ces 20 composantes représentent à elles seules 64,99% de la superficie totale du territoire en termes d'habitats favorables aux pollinisateurs. De plus, cette portion spécifique du réseau global contribuerait à 97,02% de la connectivité totale selon la métrique IIC.

Les cartes 5 et 6 présentent respectivement les réseaux "petites abeilles" et "grandes abeilles" hiérarchisés. Le premier secteur se situe à l'Est du territoire et correspond au secteur du marais mouillé. C'est une zone bocagère composée de nombreux habitats inféodés aux milieux humides tels que les mégaphorbiaies. Dans le contexte de sécheresses, observé en 2022, cet espace représente des zones refuges pour de nombreuses espèces, notamment des espèces patrimoniales tel que *trachusa interrupta* (EN).

Le second secteur est situé au Sud-Ouest du territoire étant situé principalement dans le marais intermédiaire. Ce contexte mixte offre une hétérogénéité d'habitats et de ressources favorables aux abeilles sauvages au sein d'une zone où les cultures ont une place importante. Plusieurs espèces patrimoniales ont été détectées dans cette zone dont *andrena decipien* oligolectique sur l'eryngyums, *megachile deceptor* oligolectique sur les fabacées ou encore *tetraloniella nana* oligolectique sur les lythracées.

Le troisième secteur s'étend du centre Nord à l'extrémité Ouest du territoire. Cette zone correspond au grand système prairial du milieu ouvert du Marais poitevin (marais desséché et intermédiaire). Elle présente la plus grande capacité d'accueil potentiel mais également celle où les pratiques de gestion et de conservation sont un enjeu important. En effet, ces grands systèmes prairiaux sont gérés soit par fauche soit par pâturage. La gestion par la fauche sur la période de floraison maximale (mai-juin), peut s'avérer impactante notamment lors des années de sécheresses. Ce sont donc des espaces où un travail de plantation de haies, de maintien des fossés

en eau et en fleurs va être primordiale afin de maintenir une ressource alimentaire pour les pollinisateurs sauvages.

Ces grands ensembles de sous réseaux peuvent être aujourd'hui considéré comme les grandes zones à enjeux conservatoires du territoire en faveur des abeilles sauvages et plus largement des pollinisateurs sauvages. Ces zones prioritaires sont à l'échelle du territoire de véritables réservoirs de biodiversité. Un travail d'animation serait important d'être menés auprès des différents acteurs du territoire sur les modes de gestion et de conservation de ces espaces afin de préserver les populations d'abeilles sauvages.

L'analyse révèle que le réseau écologique actuel sur le territoire du PNR du Marais poitevin n'atteint pas son plein potentiel. Cette lacune est largement attribuable au manque de connexions entre les sous-réseaux (composantes) et les tâches d'habitats qui les composent. En conséquence, il est essentiel d'identifier les zones où la continuité écologique est rompue, afin de mettre en œuvre des mesures visant à améliorer cette connectivité si cela s'avère possible.

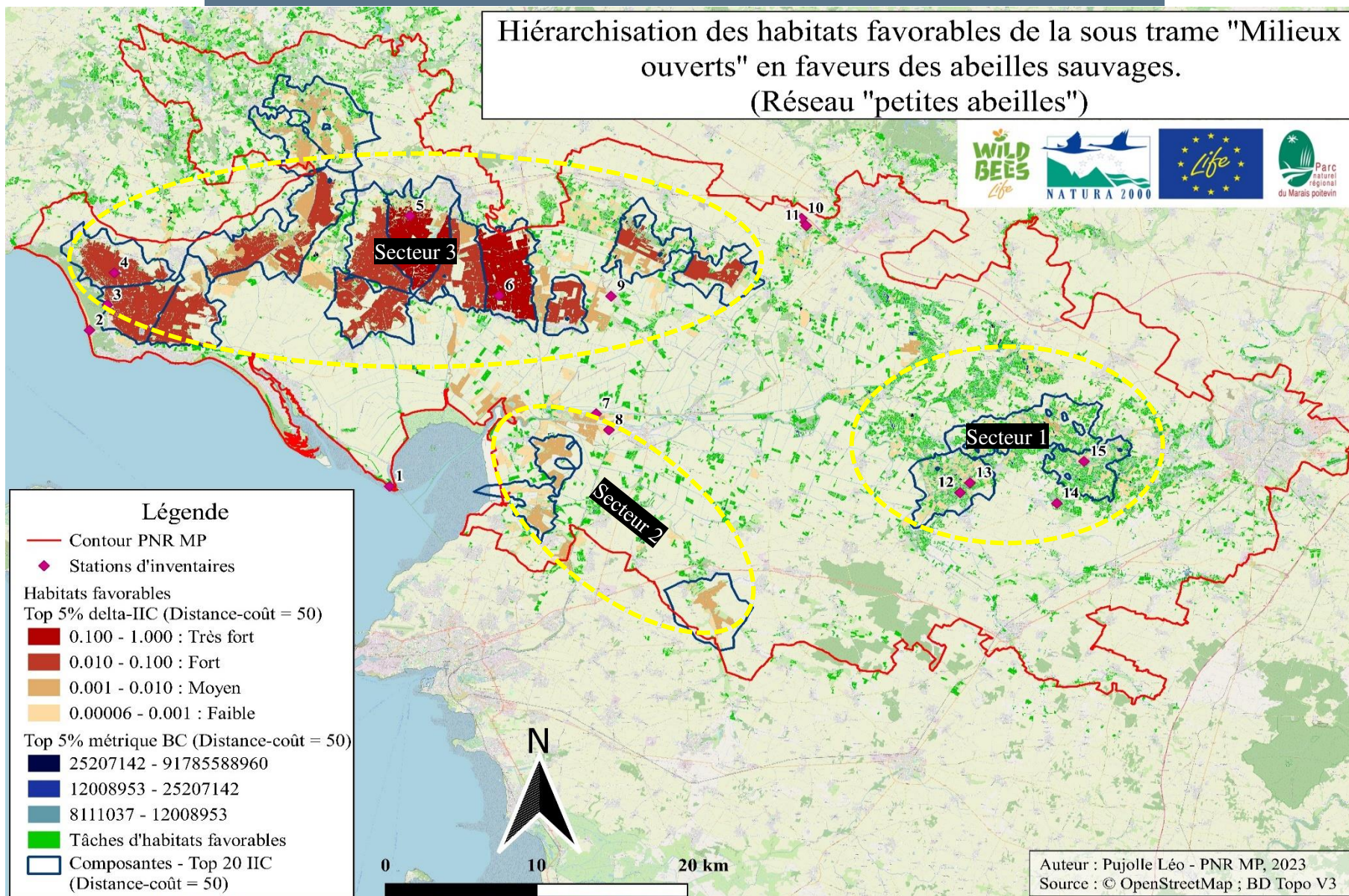
L'importance prédominante de ce groupe de tâches d'habitats peut être expliquée en grande partie par deux facteurs essentiels. D'une part, leurs positions au cœur du réseau écologique jouent un rôle clé dans leur rôle de connectivité. D'autre part, leurs superficies est un paramètre important dans le calcul de la delta-métrique IIC.

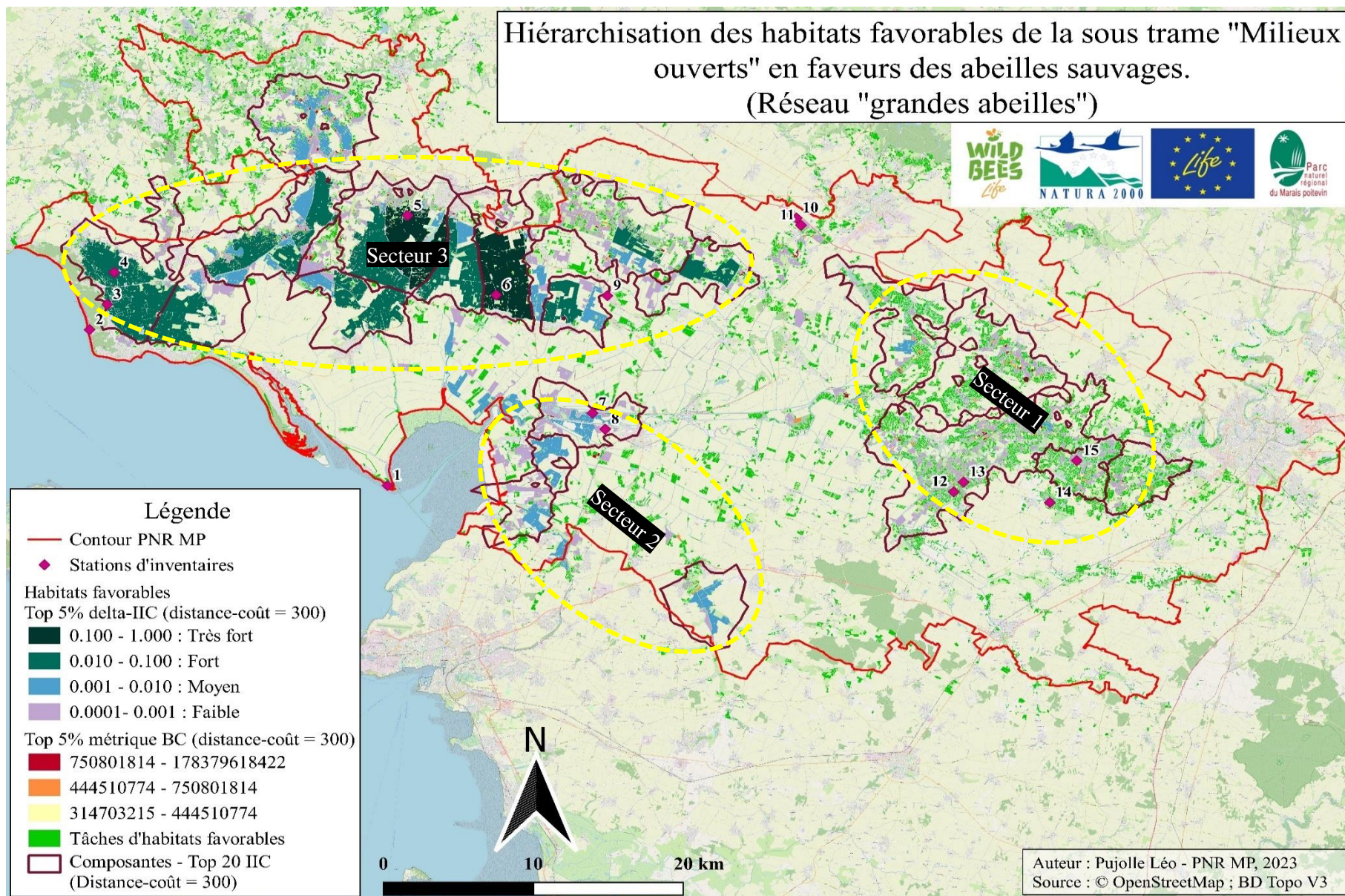
Tout d'abord, les tâches d'habitats positionnées de manière centrale au sein du réseau agissent comme des nœuds de jonction vitale. Elles permettent aux abeilles sauvages de circuler aisément entre différentes zones du territoire, favorisant ainsi la dispersion des populations et le brassage génétique. Leur situation stratégique facilite également les interactions entre différentes espèces, ce qui soutient la biodiversité dans l'ensemble du réseau.

Ensuite, la superficie des tâches d'habitats joue un rôle crucial dans leur capacité à abriter des populations diversifiées d'abeilles sauvages. Plus une tâche d'habitat est vaste, plus elle peut offrir des ressources florales abondantes et des micro-habitats variés. Cela favorise la présence d'une plus grande variété d'espèces et permet le maintien de populations robustes. Dans le calcul de la delta-métrique IIC, cette dimension de superficie influence le poids accordé à chaque tâche d'habitat dans le réseau, ce qui peut conduire à une sur-représentation des tâches d'habitats plus grandes.

En somme, la sur-importance observée de ce groupe de tâches d'habitats découle d'une combinaison complexe de leur position centrale et de leur superficie. Ces éléments les placent au cœur des interactions écologiques du réseau, contribuant ainsi de manière significative à la connectivité globale et à la préservation des abeilles sauvages et de la biodiversité.

Hiérarchisation des habitats favorables de la sous trame "Milieux ouverts" en faveur des abeilles sauvages.
(Réseau "petites abeilles")





Carte 6 : Hiérarchisation des habitats favorables de la sous trame "milieux ouverts" en faveur des abeilles sauvages – Réseau "grandes abeilles" –

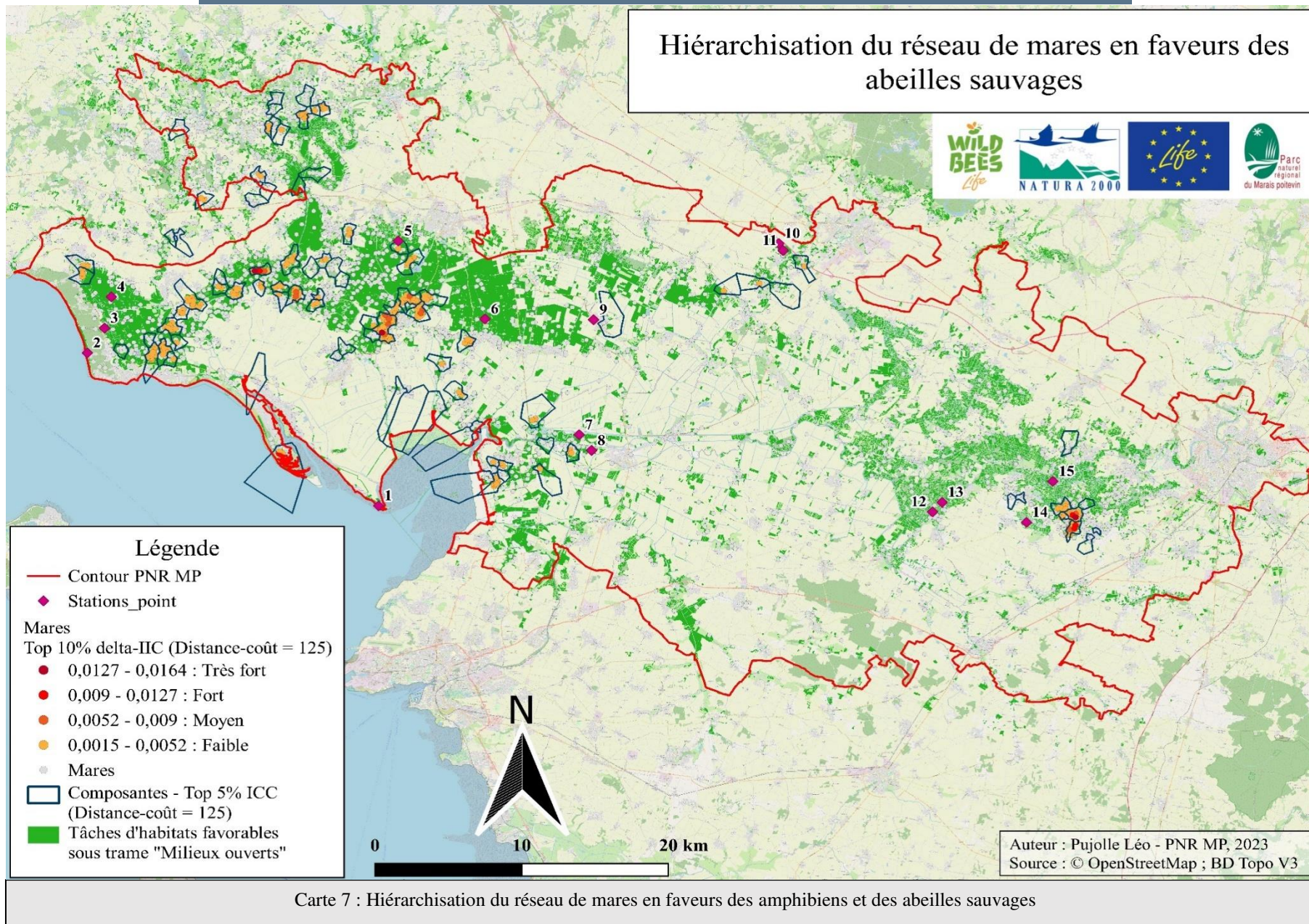
III.2.2.b | Sous trame « mares »

Les résultats de la modélisation ont permis d'identifier un groupe de mares représentant le top 10% du réseau, soit 288 mares, théoriquement responsables de 46,25% de la connectivité totale du réseau de mares actuel. Si cet ensemble de mares venait à disparaître, le réseau de mares perdrait ainsi 46,25% de sa connectivité. (Cf. tableau 11)

Parmi les 1 818 composantes modélisées, les 90 meilleures composantes, soit le top 5% selon la métrique IIC, ont été retenues. Ce groupe de composantes est théoriquement responsable de 55,41% de la connectivité totale du réseau global. Ces composantes contribuent à la formation de sous-réseaux interconnectés, et leur identification indique les zones où des efforts de conservation doivent être déployés. À l'intérieur de ces composantes, la hiérarchisation des mares en fonction de leur rôle central dans le sous-réseau permet de cibler les mares aux enjeux de conservation prioritaires.

Tableau 11 : Hiérarchisation des éléments du réseau de mares dans le PNR du Marais poitevin	
	Graphique distance-coût = 125
Top 10% des mares	288
Réseau de mares - Somme métrique IIC	1,79647
Top 10% des mares - Somme Métrique IIC	0,83084
Rapport - Somme métrique IIC en %	46,25
<hr/>	
Nombre de Composantes	1818
Top 5% composantes	90
Composantes - Somme métrique IIC	1,46E-10
Top 5% composantes - Somme Métrique IIC	8,09E-11
Rapport - Somme métrique IIC en %	55,41

Comme illustré sur la carte 7, toutes les mares retenues dans le top 10% sont situées à l'intérieur des composantes sélectionnées. La plupart de ces mares se trouvent au sein du vaste complexe prairial, qui a également été identifié dans la sous-trame des "milieux ouverts". Les autres sous-réseaux de mares à enjeux se situent principalement dans les secteurs des marais intermédiaires et du marais mouillé, au sein des zones prioritaires pour la conservation des abeilles sauvages.



Carte 7 : Hiérarchisation du réseau de mares en faveur des amphibiens et des abeilles sauvages

III.2.3 | Identification des points de ruptures de connexion

La modélisation basée sur la distance euclidienne permet de créer un réseau écologique théorique maximal, sans prendre en compte l'occupation du sol entre les différents habitats. En comparant ces liens théoriques avec ceux établis selon la distance-coût, il devient possible d'identifier les connexions entravées par des éléments du paysage.

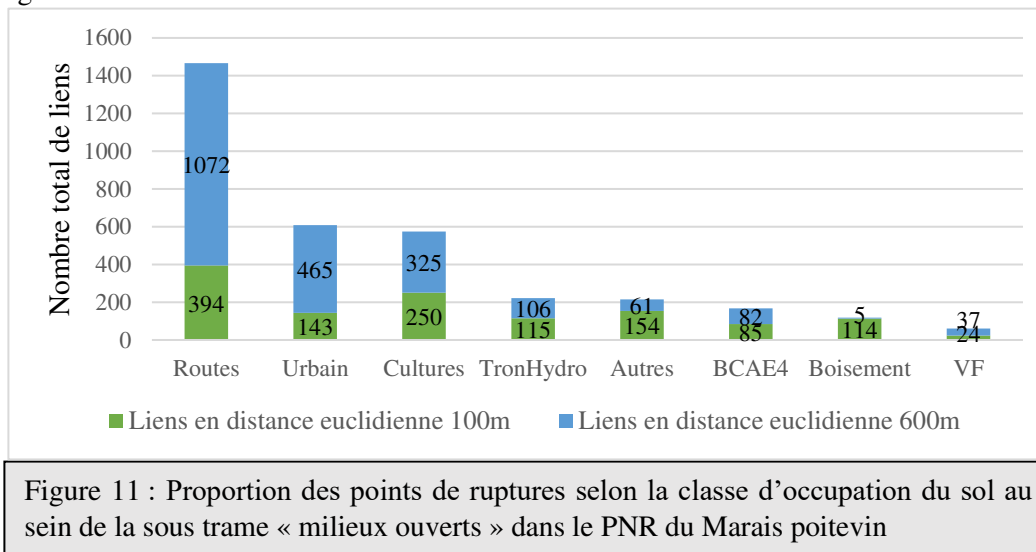


Figure 11 : Proportion des points de ruptures selon la classe d'occupation du sol au sein de la sous trame « milieux ouverts » dans le PNR du Marais poitevin

Les routes et les zones urbaines semblent être les principaux facteurs de perturbation du réseau, générant un grand nombre de points de conflit, comme l'illustre la figure 11.

Pour leurs grandes majorités, ces liaisons présentent un potentiel de connectivité élevé selon les mesures de la métrique BC et de la delta-métrique IIC. Cependant, ces reconnexions demeurent impossibles en raison de la nature artificielle de ces éléments. Contrairement à d'autres espèces cibles pour lesquelles des aménagements pourraient être envisagés, dans notre étude, l'établissement de ces connexions n'est pas réalisable. Un travail d'animation avec les différents acteurs du territoire pourrait être menées, en parallèle de cette étude, afin de proposer des solutions de gestion des bords de route et des espaces verts favorables aux pollinisateurs sauvages.

Les terres cultivées sont également responsables d'un grand nombre de points de conflit. Issus des mesures de BC et delta-métrique IIC leurs connectivités potentielles varient considérablement. Ces points de conflit offrent des opportunités de rétablissement de la connectivité. Par exemple, l'implantation de haies le long des systèmes agricoles pourrait relier certains fragments d'habitat, améliorant ainsi la connectivité globale de notre réseau écologique.

III.2.4 | Biais et limites

Le diagnostic des réseaux écologiques repose sur une sélection cartographique qui peut comporter des biais. La sélection des habitats favorables repose sur une cartographie de l'occupation du sol datant de 2015. La modification de l'occupation du sol sur certaines parcelles pourrait avoir eu lieu depuis cette période. Cette sélection ne prenant pas en compte l'état de conservation des habitats peut potentiellement masquer certaines zones moins propices aux abeilles sauvages. L'absence de données précises sur des aspects tels que la présence de micro habitats, la diversité floristique, le mode de gestion limite la finesse de notre compréhension.

Au même titre, la modélisation du réseau de mares pourrait être améliorée par l'apport de données précises sur l'état de conservation des mares et de la présence-absence d'amphibiens. De plus, des mares ont pu être créées par d'autres acteurs du territoire et non cartographiées dû au manque de communication entre les nombreux acteurs de ce territoire.

L'attribution arbitraire des coefficients de friction, bien que seule alternative, peut fortement impacter les résultats. Par exemple, cela peut atténuer ou accentuer l'effet réel de certains obstacles sur les déplacements des abeilles sauvages.

Le choix des métriques utilisées constitue un biais en soi. Les informations fournies par ces métriques peuvent différer de celles obtenues par d'autres mesures. Cette variation dans les résultats pourrait influencer l'évaluation globale de la connectivité des habitats pour les abeilles sauvages.

III.3 | Amélioration du réseau écologique en faveur des abeilles sauvages

III.3.1 | Amélioration par la création de nouveaux corridors et d'habitats

L'identification et la création de corridors écologiques revêtent une importance cruciale dans la restauration de la continuité écologique et facilitation des déplacements des espèces au sein d'un paysage fragmenté. Dans le cadre de cette étude, l'identification des zones de reconnexion a été réalisée en utilisant deux métriques spécifiques : la métrique BC et la delta-métrique IIC.

L'intégration des résultats de la métrique BC et delta-métrique IIC a permis d'identifier les continuités écologiques et d'évaluer leur efficacité potentielle. En croisant ces données avec les zones d'habitat identifiées comme prioritaires pour la conservation, il a été possible de déterminer quels corridors sont prioritaires à créer.

III.3.1.a | Les haies : corridors et ressources florales pour les abeilles

Les haies jouent un rôle fondamental en tant que corridors écologiques, mais également en tant que ressources alimentaires pour les abeilles sauvages. Cette double fonction en fait des éléments clés pour maintenir la connectivité des habitats et assuré la survie des pollinisateurs, en particulier les abeilles sauvages (Rivers-Moore, 2021).

Suite à l'analyse effectuée, un total de 102 linéaires a été tracés totalisant un peu moins de 75 km. Il est important de noter que cette proposition de tracé n'est pas définitive, mais plutôt une indication des zones propices et prioritaires pour la création de haies. Des ajustements pourraient être nécessaires en fonction de divers facteurs tels que les contraintes du paysage, les propriétaires fonciers et les caractéristiques spécifiques des habitats.

Parmi ceux-ci, 55 km de zones potentielles de création de haies ont été spécialement modélisé dans le but de recréer des connexions entre habitats favorables. Les 20 km de zones potentielles de création de haies restant ont été modélisé avec comme fonction d'augmenter la ressource florale et l'effet brise vent au sein des grands systèmes prairiaux.

Tableau 12 : Gain potentiel de connectivité de la sous trame « Milieux ouverts » dans le PNR du Marais poitevin, par ajout de linéaires de haies selon la métrique globale IIC

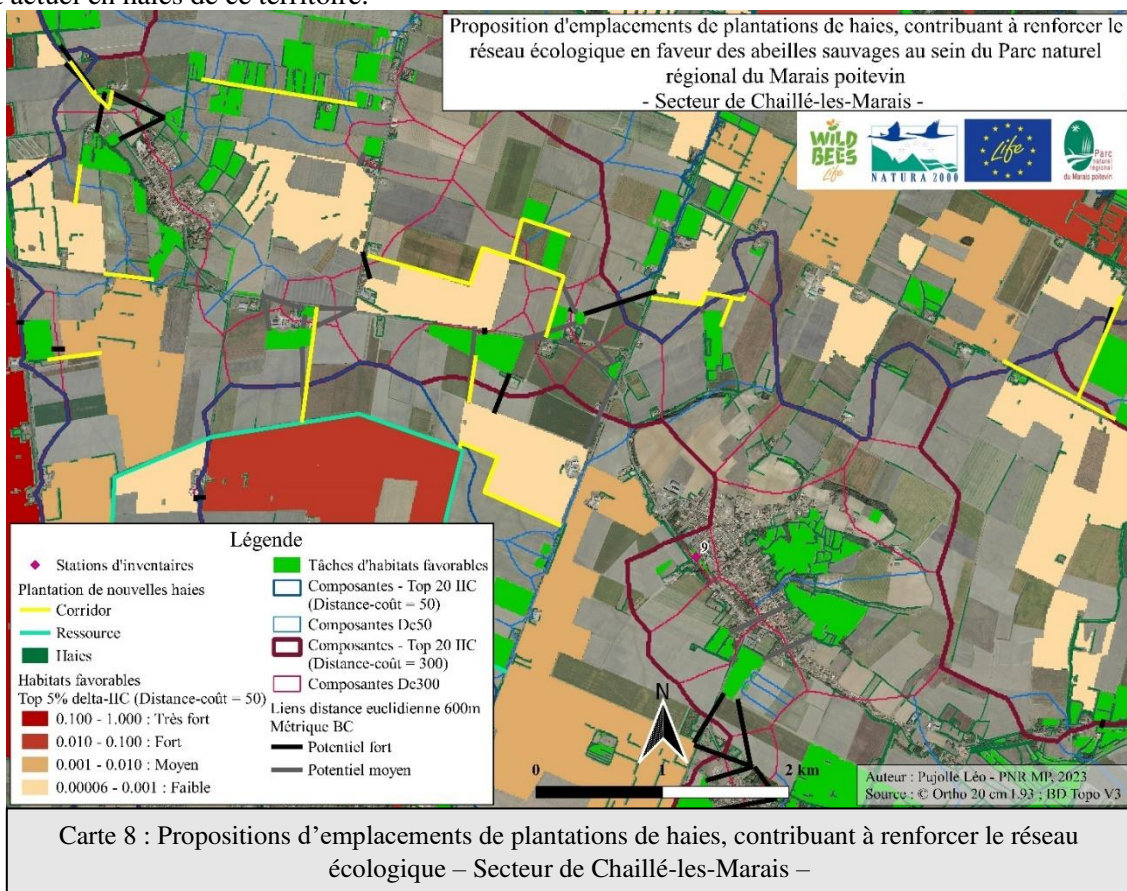
		Graphique distance-coût = 50	Graphique distance-coût = 300
ConnexMin	Métrique globale IIC	5,12E-05	7,39E-05
ConnexMin + Nouvelles haies		5,23E-05	7,54E-05
Augmentation de la connectivité (en %)		+ 2,17	+ 1,90

La proposition de plantation de ces nouvelles haies entraînerait une augmentation potentielle de 2,17% de la connectivité pour le réseau des « petites abeilles » et de 1,90% pour le réseau des « grandes abeilles ». Ces résultats pourraient sembler modestes en termes d'augmentation de la connectivité globale. Cependant, il est essentiel de mettre ces chiffres en perspective avec le réseau de haies déjà présentes sur le territoire, totalisant près de 22 383 km selon les données de la BDHaies de l'IGN. En comparaison, 55 km de nouvelles haies semblent résiduels, environ 0,25% des haies déjà présentes. Ce travail préalable d'analyse et de sélection des zones a donc permis de maximiser l'impact potentiel de ces nouvelles haies sur la connectivité globale du réseau.

Sans cette méthodologie et modélisation, la plantation au hasard de 55 km de haies auraient probablement un impact moindre, voir insignifiant. Il est important de rappeler que les points de conflits portant les plus grands potentiels de connectivité sont issus de la présence de routes et ne peuvent pas être reconnecté par la plantation de haies.

Visualisable à l'annexe 7, les propositions de nouvelles haies sont principalement situées dans le marais desséché et le marais intermédiaire. Il s'agit des zones où les haies se font aujourd'hui le plus rare. Il s'agit également des secteurs où les enjeux de reconnexion ont été identifiés comme prioritaire selon la méthodologie précédemment développée. Quelques reconnexions potentielles ont également été retenu dans le marais mouillé.

La carte 8, correspond à un zoom sur le secteur de Chaillé-les-Marais (85). Ce secteur se trouve dans le marais desséché. On peut alors mieux visualiser comment la plantation de ces nouvelles haies permettrait la connexion entre les taches d'habitats mais aussi de relier des sous réseaux (composantes). Cette carte met également le déficit actuel en haies de ce territoire.



III.3.1.b | Les prairies non permanentes : corridors et habitats favorables

La conversion de prairies non permanentes en prairies permanentes permettrait d'augmenter significativement le potentiel d'accueil de la biodiversité et la capacité de stockage de carbone dans le sol. Selon des données récentes provenant des chambres d'agriculture, ce changement d'usage entraînerait une augmentation d'environ 7 fois la capacité de stockage carbone par hectare et par an (Chambres d'agriculture, 2023).

En 2021, au sein du territoire du PNR du Marais poitevin, 3 568 parcelles ont été enregistrées en tant que prairies temporaires et à rotation longue, représentant une superficie totale de 5427,35 hectares.

Le tableau 13 présente l'évaluation de l'impact potentiel sur la connectivité de la sous-trame "milieux ouverts" en envisageant la conversion de prairies non permanentes comme habitats favorables.

Les résultats montrent que dans le scénario où l'ensemble de ces prairies non permanentes serait converti en prairies permanentes, le gain potentiel de connectivité globale serait de 5,03% pour le réseau "Petites Abeilles" et de 7,3% pour le réseau "Grandes Abeilles". Ces chiffres montrent qu'il serait intéressant de faire un travail d'animation auprès des chambre d'agriculture et des agriculteurs concernant l'usage des prairies sur le Parc naturel régional du Marais poitevin.

Tableau 13 : Gain potentiel de connectivité selon la métrique globale IIC de la sous trame « Milieux ouverts » dans le PNR du Marais poitevin, par conversion de prairies non permanentes			
		Graphique distance-coût = 50	Graphique distance-coût = 300
ConnexMin	Métrique globale IIC	5,12E-05	7,39E-05
ConnexMin + Prairies non permanentes		5,38E-05	7,93E-05
Augmentation de la connectivité (en %)		+ 5,03	+ 7,30

Néanmoins, l'objectif poursuivi n'est pas la conversion complète de toutes ces prairies. Il s'agit d'optimiser l'efficacité des conversions en mettant en évidence les prairies ayant le potentiel le plus élevé pour renforcer la connectivité et la cohérence du réseau.

Pour identifier les prairies dont la conversion aurait un impact le plus grand sur la connectivité du réseau, l'analyse suivante a été réalisée :

- La métrique BC a été calculé afin d'identifier les prairies jouant le rôle de "stepping stone".
- Le delta-métrique IIC a été calculé afin de mettre en évidence l'importance que pourrait avoir certaines de ces prairies dans le réseau à l'échelle globale.

Issus de la modélisation, un top 5% des prairies temporaires internes au périmètre du PNR a pu être extrait. Au total, 2 020 prairies non permanentes sont présentes sur le territoire. Le top 5% correspond donc à 101 prairies non permanentes. Elles représentent environ 8,5% de la superficie totale des prairies non permanentes dans le périmètre élargi, soit environ 450 hectares (Cf. tableau 14).

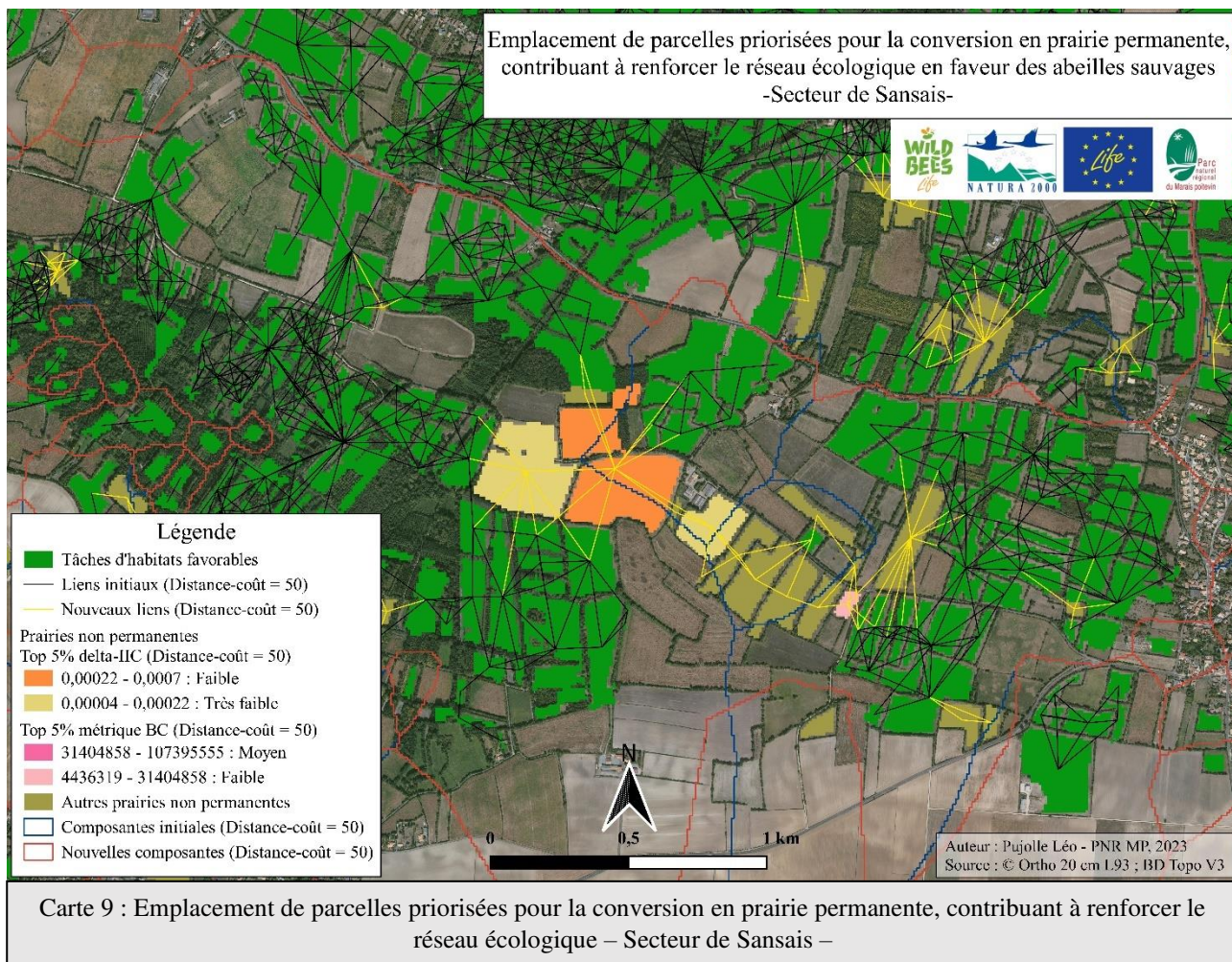
Ce top 5% est hypothétiquement responsable de 65,74% du gain de connectivité total du réseau "petites abeilles". Pour le réseau « grandes abeilles » le top 5% serait responsable de 45,83% du gain total de connectivité. Leurs localisations sont disponibles à l'annexe 8 et 9.

En envisageant leur conversion en prairies permanentes, ces 450 hectares de prairies seraient potentiellement responsables d'une augmentation de 3,31% de la connectivité globale du réseau des "petites abeilles" et de 3,35% pour le réseau des "grandes abeilles", selon la métrique globale IIC. Cette évaluation renforce l'importance de cibler ces prairies pour une conversion stratégique en prairies permanentes en vue d'améliorer la connectivité écologique du territoire.

Tableau 14 : Hiérarchisation des prairies non permanentes dans le gain de connectivité de la sous trame « Milieux ouverts »		
	Graphique distance-coût = 50	Graphique distance-coût = 300
Nombre de prairies temporaires dans le périmètre élargi du PNR (+3km)	3568	
Superficie totale des prairies temporaires (ha)	5427,35	
Top 5% prairies temporaires interne au périmètre du PNR	101	
Top 5% prairies temporaires - superficie (ha)	436,788	488,106
Rapport - superficie total en %	8,05	8,99
Prairies temporaires - Somme métrique IIC	0,032483	0,0563054
Top 5% prairies temporaires - Somme Métrique IIC	0,0213548	0,0258051
Rapport - Somme métrique IIC en %	65,74	45,83

Dans cette démarche et en tant qu'animateur des Mesures Agricoles Environnementales et Climatiques, le PNR joue un rôle central dans la conduite et l'accompagnement des transitions. Son rôle consiste à guider les conversions d'usage, en fournissant un soutien personnalisé et des conseils techniques qui peuvent encourager la conversion de ces prairies. Le PNR facilite la sensibilisation des acteurs locaux, en particulier des agriculteurs, aux avantages environnementaux et écologiques de ces changements. Il met également en avant les opportunités économiques et sociales associées à ces pratiques durables, en harmonie avec les cahiers des charges nationaux et locaux des MAEC. C'est ainsi que le PNR contribue activement à promouvoir et à faciliter l'adoption de pratiques agricoles respectueuses de l'environnement dans le cadre des MAEC.

La carte 9 offre une meilleure visualisation de la manière dont la conversion des prairies non-permanentes peut avoir un impact positif sur le réseau. Grâce au travail de hiérarchisation préalable, on peut constater que la parcelle (orange) occupe une position stratégique, jouant ainsi un rôle crucial dans le réseau. Les nouveaux liens créés suite à cette conversion en prairie permanente permettraient une connexion durable entre les habitats environnants. De plus, cette transformation faciliterait la fusion de trois composantes distinctes, formant ainsi un nouveau sous-réseau dont la capacité d'accueil améliorée.



III.3.1.c | Les mares

La fonction "ajout de tâches" de Graphab a joué un rôle crucial dans l'identification des sites optimaux pour la création de nouvelles mares. Un total de 40 nouvelles mares a été modélisé dans le but d'améliorer la métrique globale IIC. L'incorporation de ces 40 mares dans le réseau permettrait d'augmenter la connectivité globale de +27,60%.

Tableau 15 : Gain potentiel de connectivité selon la métrique globale IIC du réseau de mares dans le PNR du Marais poitevin, par ajout de nouvelles mares

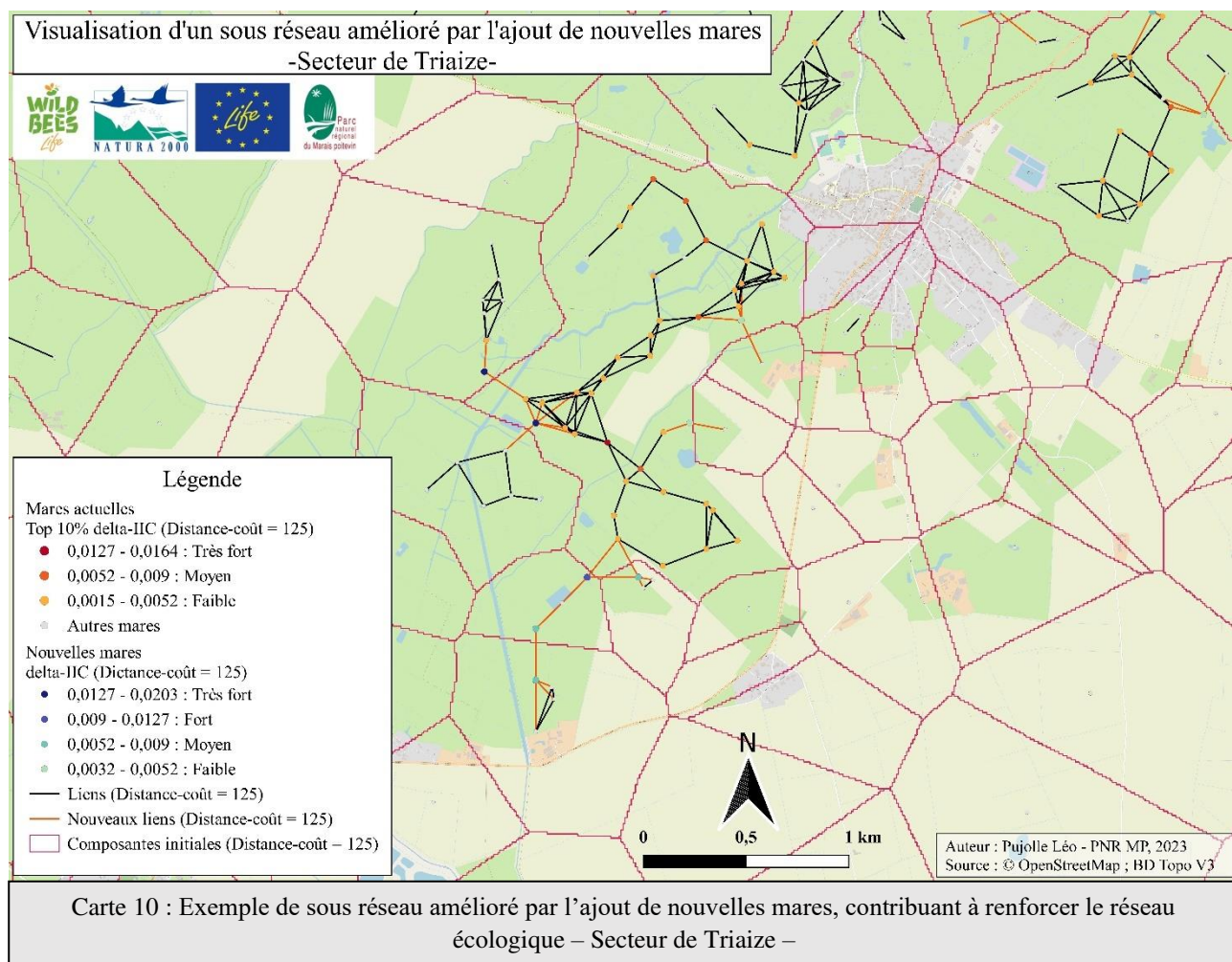
	Graphique distance-coût = 125		
	ConnexMin	ConnexMin + Nouvelles mares	Augmentation de la connectivité (en %)
Métrique globale IIC	1,46E-10	1,86E-10	+ 27,60

Après avoir intégré ces nouvelles mares dans le réseau, une nouvelle analyse de la delta-métrique IIC a été effectuée. Ce recalcul a révélé l'importance potentielle de ces nouvelles mares dans le réseau.

Sur la carte 10, on constate que certaines de ces mares ont obtenu les scores delta-IIC les plus élevés. Ces scores élevés sont attribuables à leur position stratégique permettant de relier des sous-réseaux précédemment isolés. Leur rôle de "stepping stone" s'avère essentiel et pourrait favoriser la formation de sous-réseaux de mares, augmentant ainsi la capacité d'accueil. Ces nouvelles mares sont toutes situées au sein d'habitats favorables aux abeilles sauvages. Leurs présences contribueraient à accroître la disponibilité en points d'eau et pourra permettre potentiellement des ressources florales durant les périodes estivales, notamment dans les prairies. L'amélioration de la connectivité ainsi obtenue pourrait avoir des conséquences positives sur la

mobilité et la dispersion des espèces dépendantes des milieux humides et de contribuer à la biodiversité globale du territoire.

La localisation des 40 nouvelles mares sont disponibles à l'annexe 10.



III.3.2 | Amélioration par la gestion

Les résultats présentés dans le tableau 16, montrent les effets potentiels de la gestion favorable sur la connectivité des milieux ouverts dans le parc. En supposant une gestion favorable des bordures des routes, sentiers, cours d'eau et des voies ferrées, on observe une augmentation de la connectivité dans la sous-trame "Milieux ouverts" (Fahrig, 2003). Pour le réseau "petites abeilles" l'augmentation de la connectivité équivaut à +4,06%, tandis que pour le réseau "grandes abeilles", l'augmentation est de +1,34%. Ces résultats suggèrent que la mise en place de mesures de gestion appropriées peut avoir un impact positif sur la connectivité des habitats.

Tableau 16 : Gain potentiel de connectivité selon la métrique globale IIC de la sous trame « Milieux ouverts » dans le PNR du Marais poitevin, par amélioration de la gestion d'éléments du réseau

		Graphique distance-coût = 50	Graphique distance-coût = 300
ConnexMin	Métrique globale IIC	5,12E-05	7,39E-05
ConnexMin + Gestion favorable		5,33E-05	7,49E-05
Augmentation de la connectivité (en %)		+ 4,06	+ 1,34

Exemple de dépendance verte routière favorable aux abeilles sauvages - (Issus de : François, Le Féon, 2017)

Credit photo : Denis FRANÇOIS

Figure 12 : Exemple par photographie du potentiel d'accueil d'une dépendance verte routière

Située en surplomb d'une section routière en déblai, cette dépendance verte routière offre des caractéristiques propices à une gestion favorable aux abeilles sauvages. Elle est idéalement éloignée des voies de circulation, créant ainsi un environnement moins perturbé. En haut du talus (côté gauche de la photo x), un cordon végétal comprenant des genêts, des marguerites et des oseilles offre des ressources essentielles pour l'alimentation et la nidification de certaines espèces d'abeilles. Le fossé latéral (côté droit de la photo x) abrite des Apiacées telles que le cerfeuil des bois, ainsi que des ronciers et des arbustes du genre *Prunus*, en lien avec la trame bocagère environnante.

Le bord du fossé, orienté au sud, présente des surfaces de sol nu en pente. Quelques morceaux de bois sec sont également

présents. La zone centrale est principalement occupée par des graminées, mais grâce à un régime de coupe peu intensif, des renoncules et diverses Astéracées ont réussi à s'implanter. Pour encourager cette biodiversité, l'exportation des produits issus des coupes effectuées dans cette parcelle serait bénéfique.

La gestion de cette zone en préservant ses caractéristiques naturelles et en favorisant la diversité végétale pourrait contribuer à fournir un habitat propice aux abeilles sauvages. Les ressources alimentaires et les sites de nidification disponibles dans cette zone pourraient contribuer à soutenir les populations d'abeilles locales et à renforcer la biodiversité de l'écosystème environnant.

La mise en place de telles mesures de gestions nécessite un travail de sensibilisation et d'accompagnement des acteurs locaux. La formation des agents communaux réalisait dans le cadre du Life, fait partie intégrante de cette démarche. Un travail auprès des collectivités territoriales tel que les communautés de communes, les départements ou les syndicats mixtes de rivières semble donc nécessaire pour mettre en place une gestion adaptée de ces bordures de linéaires.

III.3.3 | Biais et limites

Il est important de souligner que la méthodologie employée pour l'amélioration du réseau écologique est étroitement liée à celle du diagnostic des réseaux écologiques. Cette interdépendance peut engendrer certains biais et limites dans l'analyse et les résultats obtenus. Les données collectées dans le cadre du diagnostic initial, telles que la présence de haies, pourraient influencer les choix de conception du réseau amélioré, introduisant ainsi des préjugés potentiels dans la manière dont les habitats sont connectés et aménagés. De plus, la précision des résultats obtenus lors du diagnostic initial peut avoir des répercussions directes sur la pertinence des améliorations proposées.

Il est crucial de reconnaître que cette interrelation entre les deux phases de la méthodologie peut introduire des incertitudes dans l'évaluation globale.

Un exemple concret de ces biais est lié à la collecte des données sur la présence de haies. Les informations concernant les haies sont souvent imprécises et il a fallu effectuer un travail minutieux de vérification manuelle à partir des photos aériennes pour déterminer avec exactitude leur présence ou leur absence. Cette étape de validation représente un défi en soi et peut introduire des erreurs potentielles dans l'évaluation de l'habitat.

Pour minimiser ces biais et limites, une approche rigoureuse dans la collecte, l'analyse et l'interprétation des données est essentielle. L'utilisation de plusieurs méthodes de collecte de données et l'intégration de diverses sources d'information peuvent contribuer à réduire les impacts potentiels de ces biais. De plus, la prise en compte de l'expertise de chercheurs et de spécialistes dans le domaine des abeilles sauvages et de la

modélisation des réseaux écologiques peuvent aider à affiner les recommandations et à obtenir des résultats plus fiables et représentatifs. Malgré ces biais et limites, une approche méthodologique réfléchie et transparente peut contribuer à atténuer ces déficits et à fournir des résultats utiles pour l'amélioration du réseau écologique en faveur des abeilles sauvages dans le Marais poitevin.

IV | CONCLUSION

Le Marais poitevin, principale zone humide littorale de l'ouest de l'Europe, abrite une biodiversité exceptionnelle, incluant 177 espèces d'intérêt communautaire, dont les abeilles sauvages. Cependant, leur déclin alarmant dû aux activités humaines exige des mesures de préservation. L'approche du Parc naturel régional, visant à restaurer la continuité écologique et à évaluer l'efficacité du réseau écologique, se révèle essentielle. Collecter des données sur la diversité des abeilles sauvages et optimiser leur habitat est crucial pour une conservation ciblée.

Au terme de cette étude, il est indéniable que la conservation des abeilles sauvages dans le contexte unique du Marais poitevin requiert une action immédiate et concertée. Les inventaires réalisés en 2022 ont ouvert une fenêtre sur la richesse et la diversité des abeilles présentes dans cette zone humide exceptionnelle. Avec la détection de 65 espèces d'abeilles, réparties au sein des six familles, ces résultats fournissent un premier aperçu essentiel de la biodiversité locale.

L'analyse des diversités alpha selon différents milieux semble indiquée que les prairies mésohygrophiles et les dunes grises sont des hotspots de diversité, hébergeant des espèces adaptées à ces écosystèmes particuliers. Les coteaux calcaires et les mégaphorbiaies, bien que variés en termes d'état de conservation, ont également révélé des niveaux intéressants de diversité. La préservation des habitats est essentielle pour préserver la biodiversité des abeilles sauvages, avec des espèces spécialisées et généralistes contribuant à la richesse des pollinisateurs du territoire. L'analyse des habitats en bon état révèle des communautés distinctes liées à chaque type d'habitat, soulignant l'importance de maintenir la diversité des paysages et leur état écologique pour la conservation des abeilles sauvages dans le Marais poitevin.

Le projet Life Wild Bees, avec sa perspective à cinq ans, ouvre des horizons prometteurs. En combinant les résultats des deux protocoles sur une période prolongée, le projet vise à créer une base solide pour la conservation des abeilles sauvages. Les résultats obtenus contribueront à orienter les futures actions et à évaluer l'efficacité des mesures mises en place.

La restauration de la continuité écologique au sein du Marais poitevin se profile comme un élément essentiel pour garantir la survie des abeilles sauvages. L'identification des zones de reconnexion, basée sur des métriques spécifiques, a révélé des secteurs prioritaires clés. Les marais mouillés, le marais intermédiaire et les grands systèmes prairiaux du marais desséché ont été identifiés comme des zones à enjeux majeurs pour renforcer la connectivité écologique. Ces zones, qui abritent des espèces patrimoniales et jouent un rôle vital dans la résilience de la biodiversité, nécessitent une attention particulière en termes de gestion et de préservation.

L'analyse de la connectivité écologique révèle des perspectives passionnantes. L'indice intégral de connectivité soulignent un déficit criant de connectivité entre les habitats, avec des pourcentages de connectivité atteignant seulement 28,46% pour le réseau des "petites abeilles" et 19,37% pour le réseau des "grandes abeilles" de leur réseau maximal potentiel. Ces chiffres mettent en exergue l'urgence d'intervenir pour renforcer les liens entre ces habitats clés et favoriser la survie des pollinisateurs sauvages.

Les secteurs prioritaires identifiés pour la conservation des abeilles sauvages jouent un rôle capital dans cette démarche. Les marais mouillés à l'Est du territoire, le marais intermédiaire au Sud-Ouest et les grands systèmes prairiaux du marais desséché au centre Nord-Est émergent comme des zones majeures de la biodiversité des abeilles sauvages. La préservation de ces zones en tant que refuges et corridors écologiques est impérative pour garantir la survie des pollinisateurs sauvages et la résilience de l'écosystème.

Les résultats quantitatifs apportent une dimension chiffrée cruciale à cette discussion. Avec pour exemple, l'ajout de 40 nouvelles mares pourrait engendrer une augmentation remarquable de +27,60% de la connectivité globale, tandis qu'une conversion de 450 hectares de prairies en prairies permanentes pourrait entraîner une amélioration de +3,31% pour le réseau des "petites abeilles" et +3,35% pour le réseau des "grandes abeilles". Ces chiffres renforcent la pertinence de telles mesures pour renforcer la connectivité et soutenir les abeilles sauvages.

Le rôle du Parc naturel régional du Marais poitevin est essentiel dans ce processus de conservation. En tant qu'acteur central, il doit jouer un rôle proactif dans la promotion des pratiques agricoles durables, la mise en place de mesures de restauration des habitats et la sensibilisation des parties prenantes locales. En tant qu'animateur des MAEC, le Parc possède la capacité d'influencer positivement les conversions d'usage, en fournissant des conseils techniques et un accompagnement personnalisé.

L'apport substantiel du budget alloué au projet Life Wild Bees offre des perspectives prometteuses. Grâce à ces ressources, de nombreuses propositions de reconnexion des habitats pourront être concrétisées, une fois que le travail en collaboration avec les propriétaires fonciers aura été achevé. Cette démarche proactive et concertée permettra de transformer ces idées en réalités tangibles sur le terrain, renforçant ainsi la connectivité entre les habitats et favorisant la survie des abeilles sauvages.

Le projet Life Wild Bees, avec sa perspective à cinq ans, ouvre des horizons prometteurs. En combinant les résultats des deux protocoles sur une période prolongée, le projet vise à créer une base solide pour la conservation des abeilles sauvages. Les résultats obtenus contribueront à orienter les futures actions et à évaluer l'efficacité des mesures mises en place.

En fin de compte, cette étude souligne l'importance d'une approche holistique et intégrée pour la conservation des abeilles sauvages. Les chiffres probants et les actions concrètes doivent se conjuguer pour garantir un avenir durable pour ces pollinisateurs vitaux. En agissant maintenant, nous pouvons non seulement protéger ces trésors de biodiversité, mais également contribuer à la résilience écologique du Marais poitevin et au-delà. Cette démarche s'inscrit dans une vision globale de la coexistence harmonieuse entre l'homme et la nature, où la préservation des abeilles sauvages s'entrelace avec la préservation de notre propre avenir.

BIBLIOGRAPHIE

- Abeilles sauvages : les vraies championnes de la pollinisation - Pollinis. [en ligne]. [Consulté le 14 août 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.pollinis.org/publications/abeilles-sauvages-les-vraies-championnes-de-la-pollinisation/>, <https://www.pollinis.org/publications/abeilles-sauvages-les-vraies-championnes-de-la-pollinisation/>
- L'ONF prend soin des dunes entre chaque saison estivale. *Office national des forêts* [en ligne]. [Consulté le 14 août 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.onf.fr/onf/+125e::lonf-prend-soin-des-dunes-entre-chaque-saison-estivale.html>
- BENNETT, Andrew, 2003. *Linkages in the Landscape; The Role of Corridors and Connectivity in Wildlife Conservation*.
- BENNETT, Graham, 2004. *Integrating Biodiversity Conservation and Sustainable Use*. . 2004. pp. 66.
- BIESMEIJER, J. C., ROBERTS, S. P. M., REEMER, M., OHLEMÜLLER, R., EDWARDS, M., PEETERS, T., SCHAFFERS, A. P., POTTS, S. G., KLEUKERS, R., THOMAS, C. D., SETTELE, J. et KUNIN, W. E., 2006. Parallel Declines in Pollinators and Insect-Pollinated Plants in Britain and the Netherlands. *Science* [en ligne]. 21 juillet 2006. Vol. 313, n° 5785, pp. 351-354. [Consulté le 27 juillet 2023]. DOI 10.1126/science.1127863. Disponible à l'adresse : <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1127863>
- BOISSINOT, Alexandre, GRILLET, Pierre, MORIN, Sophie, BESNARD, Aurélien et LOURDAIS, Olivier, 2013. Influence de la structure du bocage sur les amphibiens et les reptiles. Une approche multi-échelles. *Faune Sauvage*. 1 janvier 2013. Vol. 301, pp. 41-48.
- BOISSINOT, Alexandre, LOURDAIS, Olivier, GRILLET, Pierre, MORIN, Sophie et BESNARD, Aurélien, 2018. *Les amphibiens dans les espaces agricoles: influence de la structure du biotope de reproduction et du paysage*. *Journée d'échanges techniques Trame Verte et Bleue et Agro-Ecologie, 15 mars 2018, Paris, Grande Arche, La Défense*.
- CHAMBRES D'AGRICULTURE, 2023. *Chambres d'agriculture*. [en ligne]. 2 août 2023. [Consulté le 11 août 2023]. Disponible à l'adresse : <https://chambres-agriculture.fr/>
- CLAUZEL, Céline, FOLTÊTE, Jean-Christophe, GIRARDET, Xavier et VUIDEL, Gilles, 2022. *Graphab 2.8 Manuel d'utilisation*. . 2022.
- FAHRIG, Lenore, 2003. Fahrig L.. Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity. *Annu Rev Ecol Evol Syst* 34: 487-515. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 1 novembre 2003. Vol. 34, pp. 487-515. DOI 10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419.
- FOLTÊTE, Jean-Christophe, VUIDEL, Gilles, SAVARY, Paul, CLAUZEL, Céline, SAHRAOUI, Yohan, GIRARDET, Xavier et BOURGEOIS, Marc, 2021. Graphab: An application for modeling and managing ecological habitat networks. *Software Impacts* [en ligne]. mai 2021. Vol. 8, pp. 100065. [Consulté le 11 mai 2023]. DOI 10.1016/j.simpa.2021.100065. Disponible à l'adresse : <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2665963821000130>
- FORTEL, Laura, HENRY, Mickaël, GUILBAUD, Laurent, GUIRAO, Anne Laure, KUHLMANN, Michael, MOURET, Hugues, ROLLIN, Oriane et VAISSIÈRE, Bernard E., 2014. Decreasing abundance, increasing diversity and changing structure of the wild bee community (Hymenoptera: Anthophila) along an urbanization gradient. *PLoS One*. 2014. Vol. 9, n° 8, pp. e104679. DOI 10.1371/journal.pone.0104679.
- FRANÇOIS, Denis et LE FÉON, Violette, 2017. *Abeilles sauvages et dépendances vertes routières: pourquoi et comment développer la capacité d'accueil des dépendances vertes routières en faveur des*

abeilles sauvages. Marne-la-Vallée : IFSTTAR. Ouvrages scientifiques, OSI2. ISBN 978-2-85782-732-0. 577.55

GOULSON, Dave, NICHOLLS, Elizabeth, BOTÍAS, Cristina et ROTHERAY, Ellen L., 2015. Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science (New York, N.Y.)*. 27 mars 2015. Vol. 347, n° 6229, pp. 1255-1257. DOI 10.1126/science.1255957.

GOULSON, David et SPARROW, Kate R., 2009. Evidence for competition between honeybees and bumblebees; effects on bumblebee worker size. *Journal of Insect Conservation* [en ligne]. 1 avril 2009. Vol. 13, n° 2, pp. 177-181. [Consulté le 27 juillet 2023]. DOI 10.1007/s10841-008-9140-y. Disponible à l'adresse : <https://doi.org/10.1007/s10841-008-9140-y>

HALLIDAY, John M. R. Baker And Tim R., 1999. Amphibian colonization of new ponds in an agricultural landscape. *Herpetological Journal* [en ligne]. 1999. Vol. 9, n° 2, pp. 55-63. [Consulté le 19 août 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.thebhs.org/publications/the-herpetological-journal/volume-9-number-2-april-1999/1565-03-amphibian-colonization-of-new-ponds-in-an-agricultural-landscape>

HELLER, Nicole E. et ZAVALA, Erika S., 2009. Biodiversity management in the face of climate change: A review of 22 years of recommendations. *Biological Conservation* [en ligne]. janvier 2009. Vol. 142, n° 1, pp. 14-32. [Consulté le 29 novembre 2022]. DOI 10.1016/j.biocon.2008.10.006. Disponible à l'adresse : <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S000632070800387X>

KLEIN, Alexandra-Maria, VAISSIÈRE, Bernard E., CANE, James H., STEFFAN-DEWENTER, Ingolf, CUNNINGHAM, Saul A., KREMEN, Claire et TSCHARNTKE, Teja, 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings. Biological Sciences*. 7 février 2007. Vol. 274, n° 1608, pp. 303-313. DOI 10.1098/rspb.2006.3721.

LEIMU, Roosa, VERGEER, Philippine, ANGELONI, Francesco et OUBORG, N. Joop, 2010. Habitat fragmentation, climate change, and inbreeding in plants: Habitat fragmentation, climate change and inbreeding in plants. *Annals of the New York Academy of Sciences* [en ligne]. mai 2010. Vol. 1195, n° 1, pp. 84-98. [Consulté le 29 novembre 2022]. DOI 10.1111/j.1749-6632.2010.05450.x. Disponible à l'adresse : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1749-6632.2010.05450.x>

Les abeilles sauvages et domestiques. *ARTHROPOLOGIA* [en ligne]. [Consulté le 15 août 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.arthropologia.org/expertise/pollinisateurs/etudes-pollinisateurs/les-abeilles>

MICHENER, Charles D., 2007. *The Bees of the World* [en ligne]. Johns Hopkins University Press. [Consulté le 27 juillet 2023]. ISBN 978-0-8018-8573-0. Disponible à l'adresse : <https://press.jhu.edu/books/title/9040/bees-world>

MINISTÈRES ÉCOLOGIE ÉNERGIE TERRITOIRES, [sans date]. Lancement du nouveau plan national pollinisateurs 2021-2026. *Ministères Écologie Énergie Territoires* [en ligne]. [Consulté le 27 juillet 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.ecologie.gouv.fr/lancement-du-nouveau-plan-national-pollinisateurs-2021-2026>

MINISTÈRES ÉCOLOGIE ÉNERGIE TERRITOIRES, 2017. Trame verte et bleue. *Ministères Écologie Énergie Territoires* [en ligne]. 17 octobre 2017. [Consulté le 29 novembre 2022]. Disponible à l'adresse : <https://www.ecologie.gouv.fr/trame-verte-et-bleue>

NIETO, Ana, 2014. *European Red List of bees* [en ligne]. European Commission. [Consulté le 27 juillet 2023]. ISBN 978-92-79-44511-8. Disponible à l'adresse : <https://portals.iucn.org/library/node/45219>

POTTS, Simon G., BIESMEIJER, Jacobus C., KREMEN, Claire, NEUMANN, Peter, SCHWEIGER, Oliver et KUNIN, William E., 2010. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution* [en ligne]. 1 juin 2010. Vol. 25, n° 6, pp. 345-353. [Consulté le 27 juillet 2023].

DOI 10.1016/j.tree.2010.01.007. Disponible à l'adresse : [https://www.cell.com/trends/ecology-evolution/abstract/S0169-5347\(10\)00036-4](https://www.cell.com/trends/ecology-evolution/abstract/S0169-5347(10)00036-4)

Programme européen de financement LIFE. *Ministères Écologie Énergie Territoires* [en ligne]. [Consulté le 14 août 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.ecologie.gouv.fr/programme-europeen-financement-life>

REQUIER, Fabrice et LE FÉON, Violette, 2017. L'écologie des abeilles et ses enjeux pour l'agriculture : Volet 1 - Abeilles au pluriel. . 1 janvier 2017.

RIVERS-MOORE, Justine, 2021. *Les lisières de bois, les haies et les prairies contribuent de manière complémentaire au maintien des abeilles sauvages - Fiche résultat projet SEBIOREF.*

ROLLIN, Oriane, BRETAGNOLLE, Vincent, DECOURTYE, Axel, APTEL, Jean, MICHEL, Nadia, VAISSIERE, Bernard E. et HENRY, Mickaël, 2013. Differences of floral resource use between honey bees and wild bees in an intensive farming system. *Agriculture, Ecosystems & Environment* [en ligne]. août 2013. Vol. 179, pp. 78-86. [Consulté le 27 juillet 2023]. DOI 10.1016/j.agee.2013.07.007. Disponible à l'adresse : <https://hal.science/hal-00919063>

SCHEPER, Jeroen, HOLZSCHUH, Andrea, KUUSSAARI, Mikko, POTTS, Simon G., RUNDLÖF, Maj, SMITH, Henrik G. et KLEIJN, David, 2013. Environmental factors driving the effectiveness of European agri-environmental measures in mitigating pollinator loss--a meta-analysis. *Ecology Letters*. juillet 2013. Vol. 16, n° 7, pp. 912-920. DOI 10.1111/ele.12128.

[Auteur ?], [Sans date]. Toutes les mesures de la nouvelle PAC 2023-2027. *Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire* [en ligne]. [Consulté le 10 août 2023]. Disponible à l'adresse : <https://agriculture.gouv.fr/la-nouvelle-pac-2023-2027>

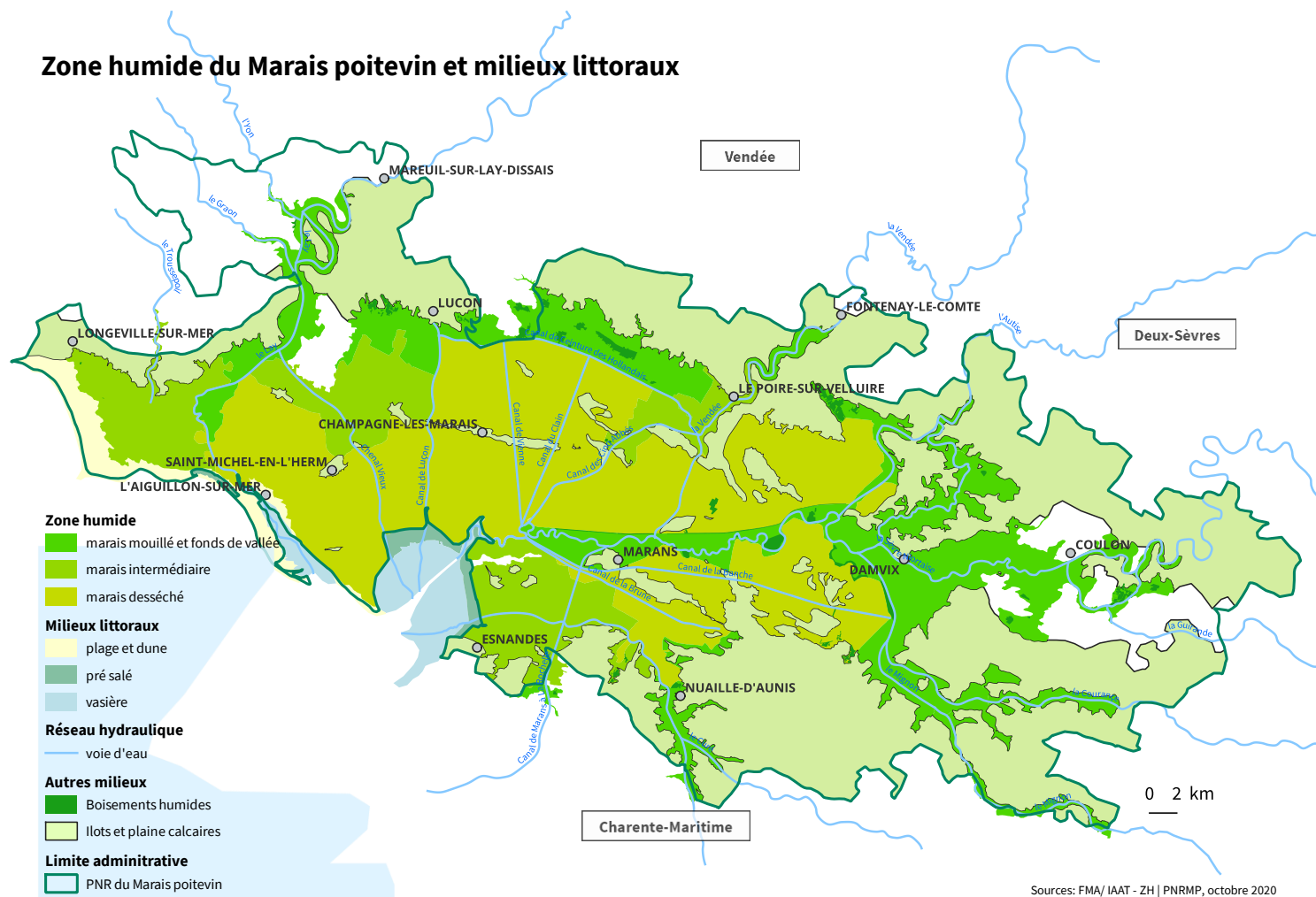
URBAN, Dean et KEITT, Timothy, 2001. Landscape Connectivity: A Graph-Theoretic Perspective. *Ecology* [en ligne]. 2001. Vol. 82, n° 5, pp. 1205-1218. [Consulté le 27 juillet 2023]. DOI 10.1890/0012-9658(2001)082[1205:LCAGTP]2.0.CO;2. Disponible à l'adresse : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1890/0012-9658%282001%29082%5B1205%3ALCAGTP%5D2.0.CO%3B2>

VAILLANT, Office pour les insectes et leur environnement / Template : François, [sans date]. France, terre de pollinisateurs. [en ligne]. [Consulté le 15 août 2023]. Disponible à l'adresse : <http://pollinisateurs.pnaopie.fr/>

WESTPHAL, Catrin, BOMMARCO, Riccardo, CARRÉ, Gabriel, LAMBORN, Ellen, MORISON, Nicolas, PETANIDOU, Theodora, POTTS, Simon, ROBERTS, Stuart, RGYI, Hajnalka, TSCHEULIN, Thomas, VAISSI, Bernard, WOYCIECHOWSKI, Michal, BIESMEIJER, Jacobus, KUNIN, William, SETTELE, Josef et INGOLF, And, 2008. Measuring bee diversity in different European habitats and biogeographical regions. *Ecological Monographs*. 1 novembre 2008. Vol. 78, pp. 653-671. DOI 10.1890/07-1292.1.

TABLE DES ANNEXES

Annexe 1 : Carte de la zone humide du Marais poitevin et milieux littoraux



Annexe 2 : Cycle de vie simplifié des abeilles sauvages



Annexe 3 : Nombre de genres et d'espèces par famille (en France métropolitaine)

(Les abeilles sauvages et domestiques)

Andrenidae		193	Apidae		286
2 sous-famille 5 genres	Andrena	182	5 sous-familles 20 genres	Amegilla	6
	Camptopoeum	1		Ammobates	4
	Melliturga	2		Ammobatoides	1
	Panurginus	2		Anthophora	33
	Panurgus	6		Apis	1
Halictidae		179		Biaestes	3
4 sous-familles 12 genres	Ceylaliectus	1		Bombus	48
	Dufourea	6		Ceratina	11
	Halictus	21		Epeoloides	1
	Lasioglossum	97		Epeolus	9
	Nomiapis	2		Eucera	28
	Nomioides	2		Habropoda	2
	Rhopitoides	1		Melecta	9
	Rhopites	2		Nomada	104
	Seladonia	11		Pasites	1
	Sphecodes	32		Tetralonia	1
	Systropha	2		Tetraloniella	11
	Vestitohalictus	2		Thyreus	8
Melittidae		16		Triepeolus	1
2 sous-familles	Dasygaster	9		Xylocopa	4
	Macropis	2	Megachilidae		
3 genres	Melitta	5	Aglaopis	1	
Colletidae		83	Anthidiellum	2	
2 sous-familles	Colletes	27	Anthidium	11	
	Hylaeus	56	Chelostoma	9	
			Coelioxys	19	
			Dioxys	2	
			Heriades	3	
			Hoplitis	37	
			Icteranthidium	2	
			Lithurgus	2	
			Megachile	42	
			Osmia	49	
			Protosmia	4	
			Pseudanthidium	6	
			Rhodanthidium	4	
			Stelis	11	
			Trachusa	5	

Annexe 6 : Liste commentée des abeilles sauvages issus de l'inventaire au filet réalisé par David Genoud

Famille des Colletidae

Nom valide (INPN-TAX REF)	Lectisme	Plantes	Mode de nidification	Europe	EU 27	Remarques
Colletes fodiens (Geoffroy in Fourcroy, 1785)	Oligolectique	Asteraceae	Nids dans des cavités autocreusées, endogènes/souterraines	VU	VU	Endémique ouest européen
Hylaeus lineolatus (Schenck, 1861)	Polylectique		Nids dans les cavités existantes, hypogées/hors sol	LC	LC	
Hylaeus signatus (Panzer, 1797)	Oligolectique	Resedaceae	Nids dans des cavités existantes, hypogées/au-dessus du sol, nouveaux locataires dans des nids abandonnés de guêpes solitaires, de créatures fouisseuses ou d'abeilles	LC	LC	Oligolectique sur 3 plantes : Reseda lutea, Reseda luteola, Reseda odorata. Souvent très localisé mais parfois abondant

Famille des Andrenidae

Nom valide (INPN-TAX REF)	Lectisme	Plantes	Mode de nidification	Europe	EU 27	Remarques
Andrena decipiens Schenck, 1861	Oligolectique	Apiacées	Terricole	DD	DD	Oligolectique sur plus particulièrement Eryngium. Localisée parfois abondante
Andrena flavipes Panzer, 1799	Polylectique		Terricole	LC	LC	Bivoltine
Andrena labialis (Kirby, 1802)	Mesolectique	Fabacées,...	Terricole	DD	DD	Localisée parfois assez commune
Andrena nitidiuscula Schenck, 1853	Oligolectique	Apiacées	Nids dans des cavités autocreusées, endogènes/souterraines	LC	LC	Assez rare et en forte régression
Andrena trimmerana (Kirby, 1802)	Polylectique		Nids dans des cavités autocreusées, endogènes/souterraines	DD	DD	

Famille des Apidae

Nom valide (INPN-TAX REF)	Lectisme	Plantes	Mode de nidification	Europe	EU 27	Remarques
Anthophora bimaculata (Panzer, 1798)	Polylectique	Pref. Astéracées (Centaurea)	Terricole	LC	LC	Assez commune. Psammophile
Apis mellifera Linnaeus, 1758	Polylectique		Cavicole	DD	DD	
Bombus hortorum (Linnaeus, 1760)	Polylectique		Terricole	LC	LC	Forte régression
Bombus humilis Illiger, 1806	Polylectique		Terricole	LC	LC	
Bombus hypnorum (Linnaeus, 1758)	Polylectique		Cavicole	LC	LC	Tendance forestière/semi-forestière
Bombus lapidarius (Linnaeus, 1758)	Polylectique		Terricole	LC	LC	Milieus chauds, secs et calcicoles. Très ubiquiste
Bombus lucorum (Linnaeus, 1760)	Polylectique		Terricole	LC	LC	Zone mésophile
Bombus pascuorum (Scopoli, 1763)	Polylectique		Terricole	LC	LC	

<i>Bombus ruderarius</i> (Müller, 1776)	Polylectique		Terricole	LC	LC	
<i>Bombus sylvarum</i> (Linnaeus, 1760)	Polylectique		Terricole	LC	LC	Forté régression
<i>Bombus terrestris</i> (Linnaeus, 1758)	Polylectique		Terricole	LC	LC	Arrière-dune proche est le domaine quasi exclusif de <i>Bombus terrestris</i>
<i>Ceratina cucurbitina</i> (Rossi, 1792)	Polylectique		Rubicole/ caulicole	LC	LC	
<i>Ceratina cyanea</i> (Kirby, 1802)	Polylectique		Rubicole/ caulicole	LC	LC	
<i>Tetraloniella alticincta</i> (Lepeletier, 1841)	Oligolectique					
<i>Tetraloniella nana</i> (Morawitz, 1874)	Oligolectique					
<i>Xylocopa valga</i> (Gerstäcker, 1872)	Polylectique		Xylocole	LC	LC	
<i>Xylocopa violacea</i> (Linnaeus, 1758)	Polylectique		Xylocole	LC	LC	
<i>Bombus muscorum</i> (Linnaeus, 1758)	Polylectique		Nids en couche herbacée, hypogée/au-dessus du sol, nids dans les cavités existantes	VU	VU	Espèces des ZH à valeur patrimoniale et en très forte régression en France

Famille des Halictidae

Nom valide (INPN-TAX REF)	Lectisme	Plantes	Mode de nidification	Europe	EU 27	Remarques
<i>Halictus simplex</i> Blüthgen, 1923	Polylectique		Terricole	LC	LC	
<i>Halictus langobardicus</i> Blüthgen, 1944	Polylectique		Nids dans des cavités autocreusées, endogènes/souterraines	LC	LC	
<i>Halictus scabiosae</i> (Rossi, 1790)	Polylectique		Terricole	LC	LC	
<i>Lasioglossum glabriusculum</i> (Morawitz, 1872)	Polylectique		Terricole	LC	LC	
<i>Lasioglossum malachurum</i> (Kirby, 1802)	Polylectique		Terricole	LC	LC	
<i>Lasioglossum morio</i> (Fabricius, 1793)	Polylectique		Terricole	LC	LC	
<i>Lasioglossum paxillum</i> (Schenck, 1853)	Polylectique		Terricole	LC	LC	
<i>Lasioglossum subhirtum</i> (Lepeletier, 1841)	Polylectique		Terricole	LC	LC	
<i>Lasioglossum villosulum</i> (Kirby, 1802)	Polylectique	Pref. Astéracées	Terricole	LC	LC	
<i>Lasioglossum corvinum</i> (Morawitz, 1877)	Polylectique (vraisemblablement)		Nids dans des cavités autocreusées, endogènes/souterraines	LC	LC	
<i>Lasioglossum zonulum</i> (Smith, 1848)	Polylectique		Nids dans des cavités autocreusées, endogènes/souterraines	LC	LC	
<i>Rhophitoides canus</i> (Eversmann, 1852)	Oligolectique	Fabacées	Terricole	LC	LC	Fortement thermophile. Utilise principalement la luzerne (<i>Medicago sativa</i>) et la faucille (<i>Medicago falcata</i>) comme source de pollen.

						Rare et localisé en France (2 noyaux de populations en France centre-ouest et nord-Est continentale)
Seladonia subaurata OU Halictus subauratus (Rossi, 1792)	Polylectique		Nids dans des cavités autocreusées, endogènes/souterraines	LC	LC	
Seladonia confusa perkinsi (Blüthgen, 1926) ou Halictus confusus Smith, 1853	Polylectique		Terricole	LC	LC	Thermophile. Psammophile stricte
Seladonia tumulorum (Linnaeus, 1758) Halictus tumulorum (Linnaeus, 1758)	Polylectique		Terricole	LC	LC	

Famille des Megachilidae

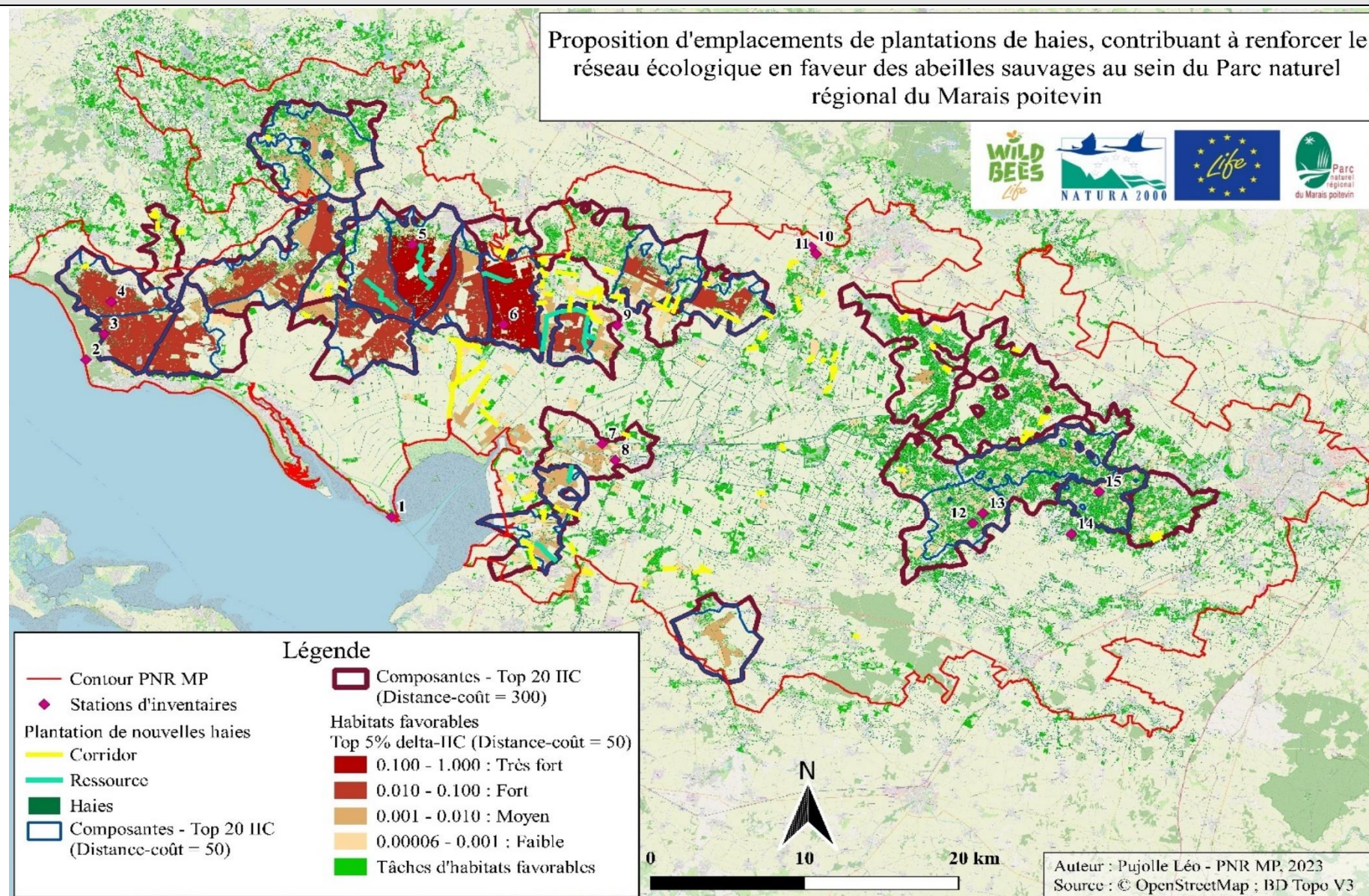
Nom valide (INPN-TAX REF)	Lectisme	Plantes	Mode de nidification	Europe	EU 27	Remarques
Hoplitis adunca (Panzer, 1798)	Oligolectique	Boraginacées (Echium spp.)	Cavicole	LC	LC	
Megachile burdigalensis Benoist, 1940	Oligolectique	Fabacées		DD	DD	Inféodée aux prairies et pelouses humides halophiles et aux Fabacées associées (Lotiers). Rare et localisée
Megachile centuncularis (Linnaeus, 1758)	Polylectique		Terricole	LC	LC	
Megachile deceptoris Pérez, 1890	Oligolectique	Fabacées		DD	DD	Rare et localisée en France secteur géographique à forte responsabilité pour la conservation
Megachile lagopoda (Linnaeus, 1760)	Mesolectique	Astéracées, Fabacées	Terricole	LC	LC	Tendance alticole dans la moitié sud de la France. Rare en plaine
Megachile leachella Curtis, 1828	Polylectique	Dont Fabacées	Terricole	LC	LC	
Megachile maritima (Kirby, 1802)	Polylectique		Terricole	DD	DD	
Megachile pilidens Alfken, 1924	Polylectique		Terricole	LC	LC	Thermophile
Megachile ericetorum Lepeletier, 1841	Oligolectique	Fabaceae	Nids dans les cavités existantes, endogènes/souterrains, nids dans les cavités existantes, hypogés/au-dessus du sol, nids dans les joints des parois	LC	LC	Oligolectique sur Fabacées peu commune et souvent localisée
Osmia spinulosa (Kirby, 1802)	Oligolectique	Astéracées	Hélicicole	LC	LC	
Sphecodes sp.	Cleptoparasite		Terricole			
Trachusa interrupta (Fabricius, 1781)	Oligolectique	Caprifoliacées (Scabiosa)	Terricole	EN	EN	Thermophile sur scabieuses, probablement en

						expansion et progression numérique
Coelioxys sp.	Cleptoparasite					
Coelioxys afra Lepeletier, 1841	Cleptoparasite			LC	LC	Parasite de petites Mégachiles à brosse ventrale blanche. Dont Megachile leachella et Megachile pilidens
Coelioxys conoidea (Illiger, 1806)	Cleptoparasite			LC	LC	Parasite de Megachile maritima
Anthidium septemspinosum Lepeletier, 1841	Polylectique		Nids dans les cavités existantes, hypogées/hors sol	DD	DD	Cardeuse

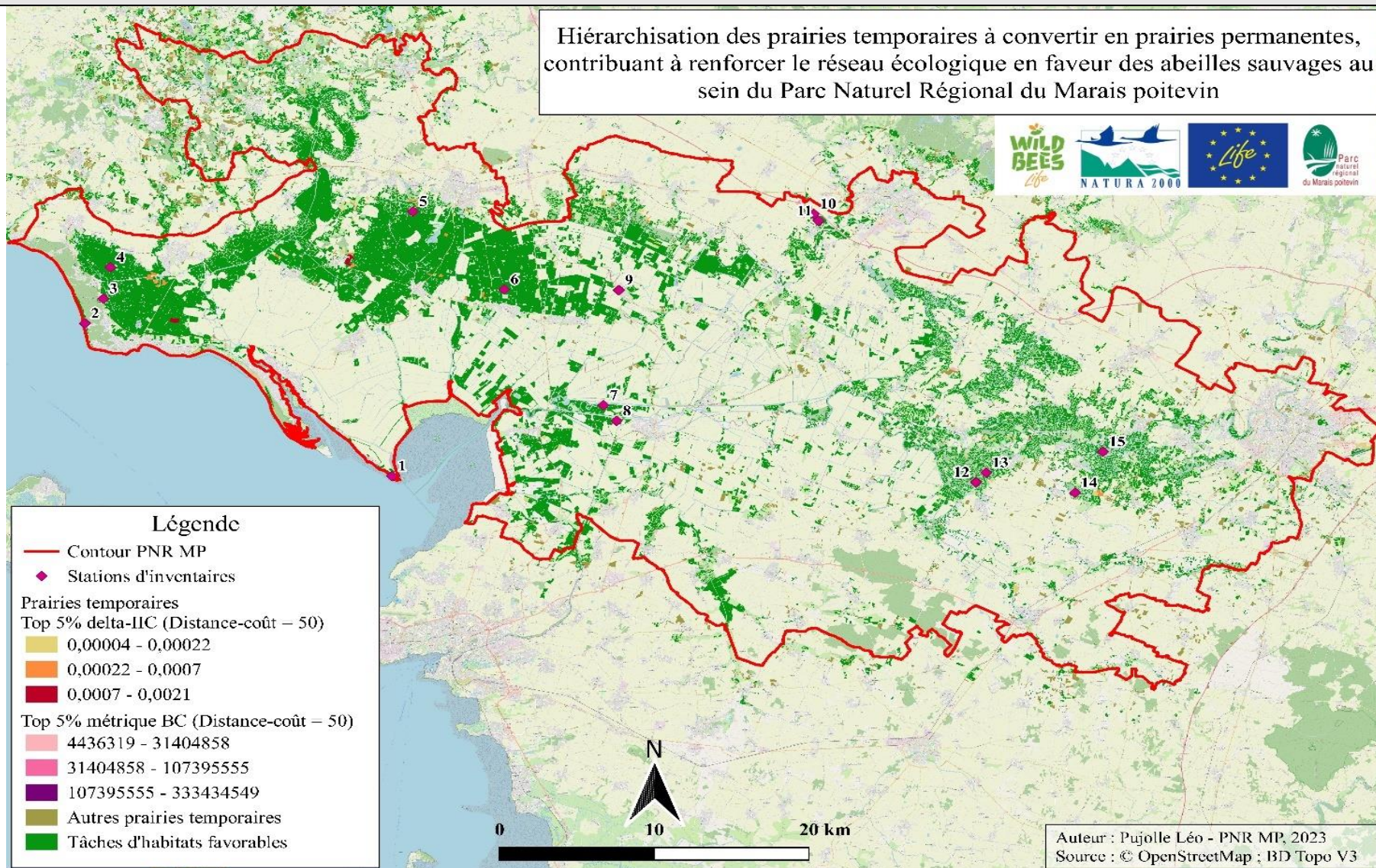
Famille des Melittidae

Nom valide (INPN-TAX REF)	Lectisme	Plantes	Mode de nidification	Europe	EU 27	Remarques
Melitta nigricans Alfken, 1905	Oligolectique	Lythrum salicaria	Nids dans des cavités autocreusées, endogènes/souterraines	LC	LC	

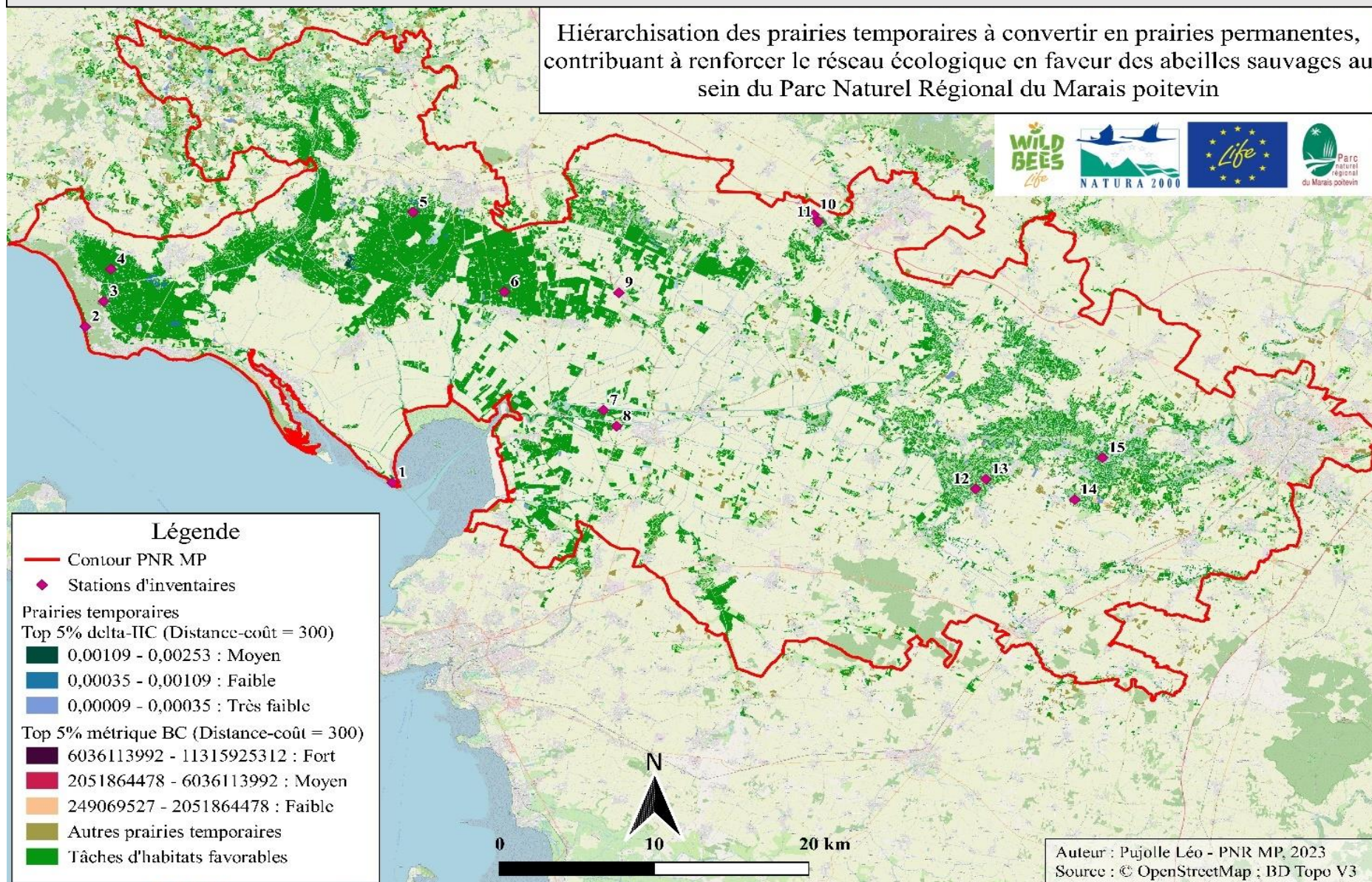
Annexe 7 : Propositions d'emplacements de plantations de haies, contribuant à renforcer le réseau écologique en faveur des abeilles sauvages au sein du Parc naturel du Marais poitevin



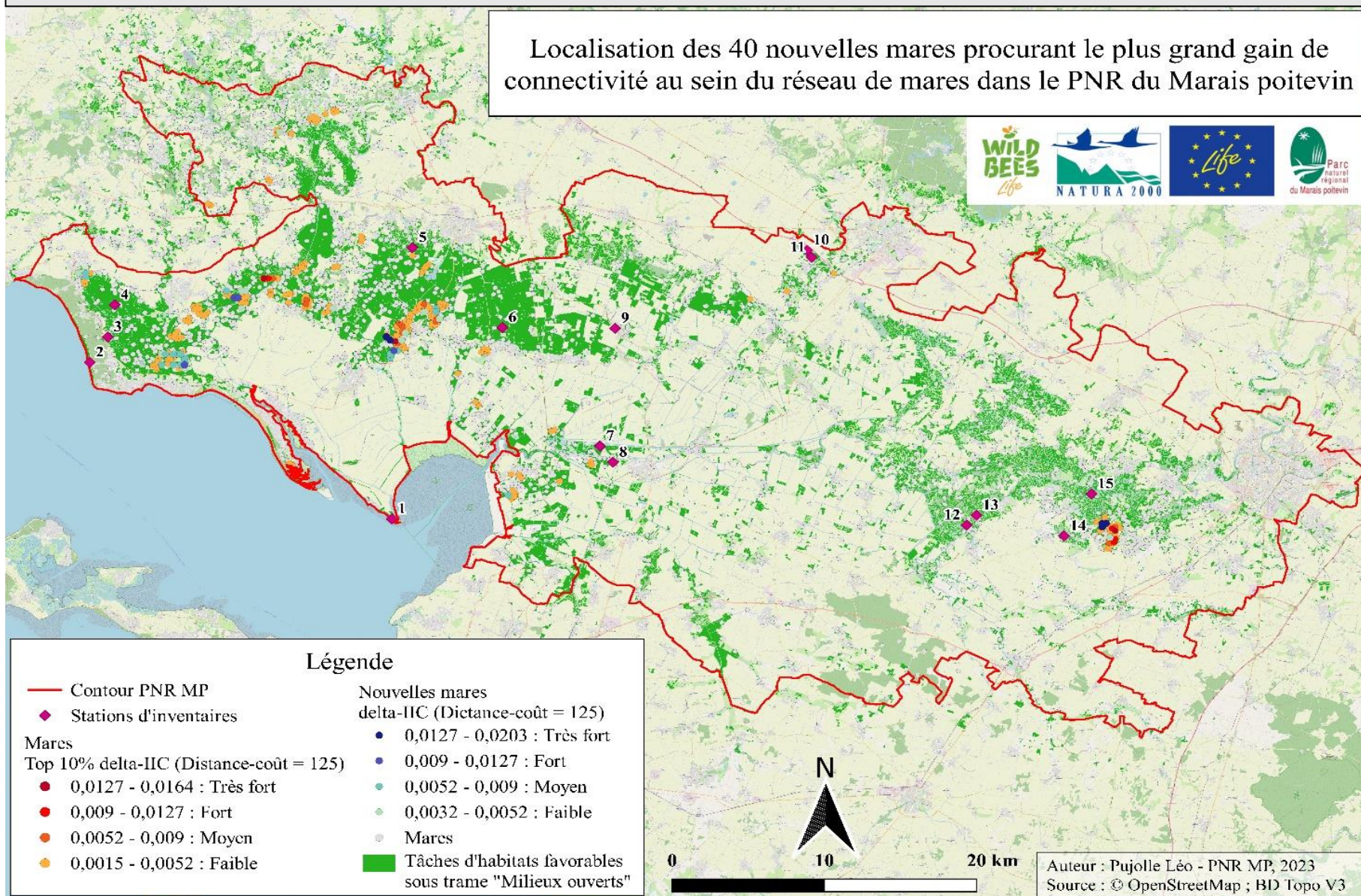
Annexe 8 : Hiérarchisation des prairies temporaires à convertir en prairies permanentes, contribuant à renforcer le réseau écologique en faveur des abeilles sauvages au sein du Parc naturel du Marais poitevin –Réseau “petites abeilles”-



Annexe 9 : Hiérarchisation des prairies temporaires à convertir en prairies permanentes, contribuant à renforcer le réseau écologique en faveur des abeilles sauvages au sein du Parc naturel du Marais poitevin -Réseau "grandes abeilles"-



Annexe 10 : Localisation des 40 propositions de nouvelles mares, procurant le plus grand gain de connectivité au sein du réseau de mares dans le PNR du Marais poitevin



Résumé

Le Marais poitevin, une zone humide côtière majeure en Europe de l'Ouest, abrite une biodiversité exceptionnelle, incluant 177 espèces d'intérêt communautaire, dont les abeilles sauvages. Cependant, leur déclin alarmant nécessite des mesures de préservation. L'approche du Parc naturel régional, visant à rétablir la continuité écologique et à évaluer l'efficacité du réseau écologique, est cruciale. La collecte de données sur la diversité des abeilles sauvages et l'amélioration de leur habitat sont essentielles pour une conservation ciblée.

Les inventaires de 2022 ont révélé la présence de 65 espèces d'abeilles, témoignant de la richesse et de la diversité de ces pollinisateurs. Les prairies mésohygrophiles et les dunes grises sont des points chauds de biodiversité, abritant des espèces adaptées à ces écosystèmes. Les habitats en bon état abritent des communautés distinctes, soulignant l'importance de la diversité des paysages pour la conservation des abeilles sauvages.

Le projet Life Wild Bees, sur cinq ans, promet des perspectives encourageantes en combinant les résultats de deux protocoles pour une base solide de conservation. La restauration de la connectivité écologique est essentielle pour la survie des abeilles sauvages, avec des zones prioritaires identifiées comme les marais mouillés et les grands systèmes prairiaux.

Les chiffres quantitatifs soulignent la nécessité d'actions concrètes, comme l'ajout de mares et la conversion de prairies. Le rôle du Parc naturel régional est crucial dans la promotion des pratiques agricoles durables et la restauration des habitats.

Le budget du projet Life Wild Bees offre des opportunités pour concrétiser les propositions de reconnexion.

En conclusion, une approche holistique est vitale pour la conservation des abeilles sauvages. Agir maintenant permet de protéger ces pollinisateurs essentiels et de contribuer à la résilience écologique du Marais poitevin, dans une vision de coexistence harmonieuse entre l'homme et la nature.

Mots clefs : Marais poitevin, projet Life Wild Bees, abeilles sauvages, diversité, pollinisateurs, conservation, continuité écologique, propositions de reconnexion

Abstract

The Marais poitevin, a major coastal wetland in Western Europe, harbors exceptional biodiversity, including 177 species of community interest, including wild bees. However, their alarming decline necessitates preservation measures. The approach of the Regional Natural Park, aimed at restoring ecological continuity and evaluating the effectiveness of the ecological network, is crucial. Collecting data on the diversity of wild bees and improving their habitat are essential for targeted conservation.

The 2022 inventories revealed the presence of 65 species of bees, demonstrating the richness and diversity of these pollinators. Mesohygrophilous meadows and grey dunes are biodiversity hotspots, housing species adapted to these ecosystems. Habitats in good condition house distinct communities, underscoring the importance of landscape diversity for the conservation of wild bees.

The Life Wild Bees project, over five years, promises encouraging perspectives by combining the results of two protocols for a solid conservation foundation. The restoration of ecological connectivity is essential for the survival of wild bees, with priority areas identified such as wetlands and large prairie systems.

Quantitative figures emphasize the need for concrete actions, such as adding ponds and converting meadows. The role of the Regional Natural Park is crucial in promoting sustainable agricultural practices and habitat restoration.

The budget of the Life Wild Bees project offers opportunities to materialize reconnection proposals.

In conclusion, a holistic approach is vital for the conservation of wild bees. Taking action now helps protect these essential pollinators and contributes to the ecological resilience of the Marais Poitevin, in a vision of harmonious coexistence between humans and nature.

Keywords: Marais poitevin, Life Wild Bees project, wild bees, diversity, pollinators, conservation, ecological continuity, reconnection proposals