

MASTER 2
Observation de la Terre et Géomatique
2021 – 2022

La modélisation des continuités écologiques d'un Phasianidé fictif, un outil d'aide à l'aménagement de la sous-trame cultivée en région d'Occitanie



AGUENOUNON Sèmèvo Géraud Harold

Septembre 2022

Structure d'accueil : Fédération régionale des chasseurs d'Occitanie
23 Chemins de Laveran, 31390 Carbonne

Maître de stage : Johan Roy
Chef de projet TVB

Tuteur universitaire : Anne PUISSANT
*Laboratoire Image, Ville, Environnement
UMR7362 CNRS-Université de Strasbourg
3, rue de l'argonne F-67000 Strasbourg*

Remerciements

Je tiens à exprimer ma gratitude à :

- Monsieur Johan ROY, chef de projet Via Fauna à la Fédération Régionale des chasseurs d'Occitanie (FRCO), pour l'encadrement et les différents conseils apportés tout au long de ce stage. Ce fut un réel plaisir pour moi d'apprendre auprès de vous.
- Madame Anaïs SENTENAC, chargée de mission environnement à la FRCO pour avoir brillamment suppléer Monsieur Roy dans ces tâches.
- Madame Karine SAINTE-HILAIRE, directrice de la FRCO et Monsieur Antoine BERCEAUX, chef de projet Système d'Information Géographique FRCO, pour leurs disponibilités quotidiennes.
- Tout le personnel de la FRCO et de la Fédération Départementale de Chasseurs 31 pour l'accueil et la bienveillance ; plus particulièrement, Aude, Audrey, Ezio, Anaïs, un grand merci.
- Tout le personnel de la Fédération Départementale des Chasseurs de la Haute-Garonne : Annick, Arnaud, Cédric, Fabrice, Florian, Geoffrey, Henri, Julie, Mickaël, Romain, Sébastien et Virginie pour l'ambiance joviale de tous les jours dans le bâtiment.
- Mes collègues stagiaires, Dorian, Mélissandre et Pierre, pour la bonne ambiance de travail qui régnait dans « l'aquarium » et pour votre sens de l'humour.
- Anne PUISSANT, responsable du Master, pour la confiance placée en moi et pour votre disponibilité.
- Tous les professeurs et intervenants du Master Observation de la Terre et Géomatique et mes camarades de promotion, avec qui j'ai partagé des expériences inoubliables.
- Merci à Caroline, d'être toujours à mes côtés et de me soutenir ; merci encore.
- Ma mère, mes frères et sœur pour le soutien qu'il m'apporte chaque jour.
- Mon père pour l'éducation et les valeurs que tu m'as inculqué ; repose en paix papa.

Table des matières

Préambule	8
Fédération Régionale des Chasseurs d'Occitanie	8
Le projet Via Fauna	8
1 Introduction	9
1.1 Anthropocène et enjeux de la conservation des milieux naturels.....	9
1.1.1 L'Anthropocène : l'Ere de l'humain	9
1.1.2 Pression des activités humaines sur les écosystèmes et fragmentation.....	9
1.1.3 Réseau écologique et Trame Verte et Bleue, pour maintenir les continuités écologiques.....	10
1.2 Identification des continuités écologiques	10
1.2.1 Interprétation visuelle.....	11
1.2.2 Modélisation	11
1.3 Modélisation de « chemins de moindre coût ».....	12
1.3.1 Approche par graphes paysagers	12
1.3.2 Modélisation Via Fauna : réalisée par la Fédération Régionale des Chasseurs d'Occitanie	13
1.4 Besoin la Fédération Régionale des Chasseurs d'Occitanie	13
2 Approche « sous-trames » ou approche « espèces » ?.....	16
2.1 Approche « sous-trames »	16
2.2. Approche « espèce »	17
2.3. Choix de l'espèce cible	18
2.3.1 Exigence écologique et éthologique de la Perdrix rouge	19
2.3.2 Un Phasianidé fictif : presque une perdrix rouge	19
2.4. Approche « espèces » par la perméabilité des milieux	21
3 Carte d'occupation du sol et carte de perméabilité	22
3.1. Construction de la carte d'occupation des sols.....	22
3.2. Carte de perméabilité ou carte de friction	24
3.2.1. Identification des milieux favorables et défavorables.....	25
3.2.2. Calcul des valeurs de résistance.....	28
4 Création d'une carte de perméabilité affinée ou carte de friction	30
4.1. Création de la carte de l'habitat d'un phasianidé fictif	30
4.2 Amélioration des valeurs de résistance	34
4.3. Résultats	35

5 Détermination des continuités écologiques et des ruptures de continuités.....	36
5.1. Perméabilité du paysage avec l’algorithme développé pour le projet Via Fauna	36
5.1.1 Méthodologie.....	36
5.1.2 Résultats	37
5.2 Graphe paysager avec le logiciel graphab.....	38
5.2.1 Principe méthodologique.....	39
5.2.2 Résultats	41
6 Discussion et perspective.....	44
6.1. Approche « espèce » par perméabilité.....	44
6.2. Graphe paysager et Graphab	45
7 Conclusion	46

Liste des figures

Figure 1 : Étapes du traitement par dilatation-érosion. Source Cemagref.....	12
Figure 2 : Les cinq sous-trames nationales (© UMS PatriNat)	14
Figure 3 : Modèle matrice-tache-corridor. (Source : Delclaux, 2020).....	16
Figure 4: Perdrix rouge et Phasianidé fictif.	20
Figure 5 : Préférences écologiques du phasianidé fictif.	20
Figure 6 : Exemple la perméabilité des milieux chez le Cerf. Source INRAE - UMR TETIS	22
Figure 7 : Ordre de fusion des couches.	24
Figure 8 : Carte des milieux favorable et défavorable pour le phasianidé fictif.	27
Figure 9 : Carte de perméabilité du milieu en Haute-Garonne du phasianidé fictif.	29
Figure 10 : Illustration du calcul des notes de l'habitat du phasianidé fictif.....	30
Figure 11 : Carte des notes pondérées en fonction des indicateurs de sélection de l'habitat du phasianidé fictif.	33
Figure 12 : Carte des habitats d'un phasianidé fictif en Haute-Garonne.	34
Figure 13 : Carte des indices et carte des valeurs de résistance.....	35
Figure 14 : Carte de friction d'un phasianidé fictif en Haute-Garonne.	36
Figure 15 : Carte des chemins de moindres coûts d'un phasianidé fictif par algorithme Via Fauna en Haute-Garonne.....	37
Figure 16 : Carte des chemins de moindres coûts d'un phasianidé fictif par algorithme Via Fauna : Zone de Lauragais.	38
Figure 17: Différentes étapes du logiciel graphab version 2.	41
Figure 18: Carte des chemins de moindres coûts d'un phasianidé fictif avec Graphab en Haute-Garonne.....	41
Figure 19 : Carte des chemins de moindres coûts d'un phasianidé fictif avec Graphab en Haute-Garonne : Graphe seuillé.	42
Figure 20 : Carte de l'indice de la centralité intermédiaire entre les habitats d'un phasianidé fictif en Haute-Garonne.	43
Figure 21 : Carte du Flux d'interaction entre les habitats d'un phasianidé fictif en Haute-Garonne.....	43

Liste des tableaux

Tableau 1 : Différentes sous-trames définies dans le SRCE du Midi-Pyrénées en fonction des sous-trames nationales.	14
Tableau 2 : Comparaison des espèces appartenant à la catégorie des petits gibiers de plaine.	18
Tableau 3: Classification des différentes classes d'occupation du sol.	26
Tableau 4 : Classe des notes pour l'indicateur 1.	30
Tableau 5 : Classe des notes pour l'indicateur 2.	31
Tableau 6 : Classe des notes pour l'indicateur 3.	31
Tableau 7 : Classe des notes pour l'indicateur 4.	32
Tableau 8 : Classe des notes pour l'indicateur 5.	32
Tableau 9 : Note maximum et note pondérée.	32

Liste des abréviations

BC : Betweenness Centrality

CIFF : Couverts d'Intérêt Faunistique et Floristique et

CIS : Commission Internationale de Stratigraphie

CLC : Corine Land Cover

CMC : Chemins de Moindres Coûts

CORRIBIOR : Corridors pour la biodiversité

FDC : Fédérations Départementale de Chasseurs

FRCO : Fédération Régionale des Chasseurs d'Occitanie

ha : Hectare

FI : Flux d'interaction

ILT : Infrastructures Linéaires de Transport

INED : l'Institut National d'Etudes Démographiques

m : Mètre

OS : Occupation du sol

PAC : Politique Agricole Commune

PLU : Plan Local d'Urbanisme communal ou intercommunal

PLUi : Plan Local d'Urbanisme communal ou intercommunal

RPG : Registre parcellaire graphique

SCOT : Schéma de cohérence territoriale

SCOT : Schéma de Cohérence Territoriale

SIG : Systèmes d'Information Géographique

SRCE : Schémas régionaux de cohérence écologique

TVB : Trame verte et bleue

TVB : Trame Verte et Bleue

Glossaire

- **Biodiversité** : Le concept de biodiversité est défini par la Convention sur la diversité biologique comme : « la variabilité des êtres vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie : cela comprend la diversité au sein des espèces, ainsi que celle des écosystèmes » (art. 2).
- **Corridor écologique** : Un corridor écologique est un milieu trop petit ou trop étroit pour servir d'habitat aux espèces animales, mais leur permettant de se déplacer entre deux habitats (Clauzel, 2022).
- **Dispersion**: En biologie et en écologie, la dispersion désigne de manière générale tous les processus par lesquels des êtres vivants, se séparant (ou étant séparés) géographiquement d'une population d'origine, colonisent (ou recolonisent) un nouveau territoire (Bach et al 2006).
- **Domaine vital** : Ensemble des habitats dans lesquels se rencontre une espèce donnée. Le domaine vital correspond à la surface limitée où certaines espèces, fidèles à un site, passent une partie ou toute leur vie et y concentrent leurs activités (Triplet, 2022).
- **Espèce** : « Unité taxonomique fondamentale dans la classification du monde vivant. Une espèce est constituée par l'ensemble des individus appartenant à des populations interfécondes échangeant librement leur pool de gènes. » (Chouquer, 2003)
- **Habitat** : « L'habitat correspond au lieu où vit une espèce donnée. Au sens strict il contient l'ensemble des éléments du paysage, fussent-ils de nature différente, utilisés par l'espèce. Par extension on appelle souvent habitat un type d'éléments utilisés par une espèce. On dira que les empidides utilisent plusieurs habitats : eau libre, lisière et sol non remaniés. » (Chouquer, 2003)
- **Milieu** : Au sens large, le milieu est l'ensemble cohérent des conditions naturelles ou sociales, visibles ou invisibles, qui régissent ou influencent la vie des individus et des communautés dans un espace donné. (Cossart, 2018)
- **Mosaïque** : « Assemblage d'éléments de nature différente. La taille moyenne de ces éléments définit le grain de la mosaïque. » (Chouquer, 2003)
- **Phasianidé** : Famille d'oiseaux galliformes (Gallinacés) qui comprend notamment le genre faisan qui en est le type, la caille, le coq, le dindon, le paon, la perdrix, la pintade et la poule. Les paons sont parmi les plus gros des phasianidés. Leurs tarses sont très hauts ; ceux du mâle sont armés d'un fort ergot (Mayr et al., 2006)
- **Tâche** : « Élément du paysage défini par sa taille, sa forme et sa nature. » (Chouquer, 2003)

Préambule

Fédération Régionale des Chasseurs d'Occitanie

La Fédération Régionale des Chasseurs d'Occitanie (FRCO) est une association créée le 24 novembre 2017 par fusion des Fédérations régionales de chasseurs du Languedoc-Roussillon et de Midi-Pyrénées. Elle est régie par la loi du 1er juillet 1901, ses statuts sont définis par arrêté ministériel et ses missions sont règlementées par le code de l'Environnement (L 421-13). Article L421-13 « ...Elles assurent la représentation des fédérations départementales et interdépartementales des chasseurs au niveau régional. Elles conduisent et coordonnent des actions en faveur de la faune sauvage et de ses habitats. Elles mènent, en concertation avec les fédérations départementales, des actions d'information et d'éducation au développement durable en matière de connaissance et de préservation de la faune sauvage et de ses habitats ainsi qu'en matière de gestion de la biodiversité. ». Donc, nous pouvons regrouper ces missions sur deux volets, le premier volet est celui de la représentation de la chasse et des Fédérations départementale des Chasseurs et le deuxième volet celui de l'animation du réseau des Fédérations départementale des Chasseurs.

La Fédération Régionale des Chasseurs d'Occitanie regroupe les 13 Fédérations Départementales de la Région qui assurent des missions de services publics, qu'elle représente au niveau régional. Elle est constituée de 8 personnels, dont 6 personnels techniques opérant dans les domaines de la géomatique et l'analyse de données, l'agriculture et l'environnement, la gestion des zones humides, les problématiques sanitaires et la gestion des espaces naturels.

Le projet Via Fauna

Le projet Via Fauna a pour objectif d'améliorer les connaissances scientifiques sur les interactions entre les Infrastructures Linéaires de Transport (ILT) et les continuités écologiques de la faune sauvage. Il s'inscrit dans un partenariat entre les Fédérations des chasseurs, l'Office français de la biodiversité, la Région Occitanie et la Fédération nationale des chasseurs. Le projet Via Fauna a été mis en place en septembre 2017 et est conduit par la Fédération Régionale des Chasseurs d'Occitanie. Le projet prend en compte les 13 départements de la région d'occitanie : Ariège (09), Aude (11), Aveyron (12), Gard (30), Haute-Garonne (31), Gers (32), Hérault (34), Lot (46), Lozère (48), Hautes-Pyrénées (65), Pyrénées-Orientales (66), Tarn (81) et le Tarn-et-Garonne (82)

Depuis sa mise en place, Via Fauna a développé des méthodologies et des outils pour identifier :

- Les corridors écologiques potentiellement favorables pour la faune sauvage sur le territoire.
- Les effets de la fragmentation des Infrastructures Linéaires de Transport et les ouvrages d'arts non-dédiés, jouant un rôle dans le franchissement de ces derniers par la faune sauvage.

Ainsi donc, un modèle pour l'identification des corridors écologiques des grands mammifères a été mis en place par la Fédération Régionale des Chasseurs d'Occitanie.

1 Introduction

1.1 Anthropocène et enjeux de la conservation des milieux naturels

1.1.1 L'Anthropocène : l'Ere de l'humain

Dans son livre “The End of Nature”, McKibben (1989) fait un constat sur l'évolution de l'espèce humaine, il écrit que « les êtres humains ont été longtemps une espèce soumise aux aléas des forces supérieures, mais aujourd'hui, nous *sommes* ces forces supérieures ». Les forces supérieures dont il fait référence ici, sont les phénomènes géologiques et naturels. L'homme est ainsi élevé au rang d'être supérieur. C'est cette supériorité de l'homme qui marque le début de l'Anthropocène pour plusieurs auteurs. Le terme Anthropocène signifie littéralement « l'Ère de l'humain », il a été promu par le prix Nobel de chimie 1995 Paul Josef Crutzen et le biologiste Eugene Stoermer. Il désignerait une nouvelle ère géologique, qui a débuté à la fin du XVIII^e siècle avec la révolution industrielle, en succédant à l'Holocène (Ere de l'expansion humaine) (Steffen et *al.*, 2007). Cependant, l'anthropocène n'a pas encore été reconnu par la Commission Internationale de Stratigraphie (CIS) comme une ère géologique (Louis-Gilles Francœur, 2012). Mais, il est indéniable que l'Homme a une empreinte sur la Terre par les diverses activités qu'il exerce. L'agriculture intensive, la pêche industrielle, la déforestation et l'artificialisation des sol etc., ont entraîné la pollution des sols, des eaux et de l'air. D'où le réchauffement climatique et la perte de la biodiversité observés de nos jours (Maxwell et *al.*, 2016).

1.1.2 Pression des activités humaines sur les écosystèmes et fragmentation

Selon l'Institut National d'Etudes Démographiques (INED), la population de la Terre pourrait passer à 8 milliards entre 2022 et 2023. Avec un taux de croissance de 1,10%, elle devrait atteindre 8,6 milliards d'habitants en 2030 et avoisiner 10 milliards d'habitants d'ici à 2050. Cette croissance démographique est accompagnée d'une croissance économique qui favorise le développement de l'urbanisation, des infrastructures de transport et de l'artificialisation des sols, notamment l'Agriculture intensive. Ceci modifie le paysage naturel en le divisant en de multiples fragments de taille variable : c'est la fragmentation. Selon l'Office Français de la Biodiversité : « La fragmentation des habitats est le processus par lequel un habitat est converti en plusieurs fragments plus petits, suite à un changement d'usage des terres (urbanisation, conversion en terres agricoles, etc.) ou à la création d'infrastructures de transport ». Cette fragmentation qui s'opère au niveau des habitats naturels de la faune et de la flore, conduit à l'isolement des populations, à leur appauvrissement génétique et à la limitation de la dispersion. Or, les flux biologiques sont indispensables pour la diversité génétique d'une population et assurent leur résilience face aux variations environnementales (Clauzel et *al.*, 2019).

Selon les experts internationaux, 75% des milieux terrestres et 40% des écosystèmes marins sont fortement dégradés : avec un million d'espèces menacées d'extinction dans le monde (Dulvy et *al.*, 2021). Le rythme de disparition est de 100 à 1000 fois supérieur au taux naturel d'extinction : on parle d'une sixième extinction de masse des espèces (Barnosky et *al.*, 2011). En 2021, sur les 134 425 espèces étudiées par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN), 37 480 sont classées menacées, parmi lesquelles 41% des amphibiens, 14% des oiseaux et 26% des mammifères, ou encore 34% des conifères (Biodiversité : Présentation et enjeux. Ministères Écologie Énergie Territoires, 2022). Ainsi, préserver la biodiversité en

milieu urbain, périurbain et naturel représente un enjeu environnemental, sociétal et économique pour les scientifiques, les gestionnaires d'espaces, les responsables des collectivités territoriales et les citoyens.

1.1.3 Réseau écologique et Trame Verte et Bleue, pour maintenir les continuités écologiques

Avant les années 2000, la protection et la conservation de la nature se faisait par la création d'une réserve naturelle, afin d'assurer l'isolement des espèces présentes dans ces réserves par rapport aux activités humaines. À cette époque, la conservation de la biodiversité pouvait se résumer à mettre en défens les habitats naturels. Cette approche ne permettait pas un échange de flux entre les réserves de biodiversité. Ainsi, cette vision plutôt statique de la conservation (Chouquer, 2003) se trouve obsolète. Avec les théories de l'écologie du paysage, une nouvelle approche de la conservation voit le jour, en se basant sur l'importance de connecter les tâches d'habitats et permettre aux populations de faune et de flore de se déplacer (Mougenot et *al.*, 2000). Mettre en place des réseaux écologiques, dans le but de préserver les habitats naturels, devient alors la meilleure solution pour freiner la perte de la biodiversité.

Au début des années 2000, plusieurs réseaux ont vu le jour, les réseaux panaméricains ou paneuropéens, les Transfrontier Conservation Areas en Afrique australe, le Great Eastern Ranges corridor en Australie, Natura 2000 en Europe ou encore la Trame verte et bleue en France (Clauzel et *al.*, 2019). Ces différents réseaux ont pour mission, de mettre en place des dispositifs qui prennent en compte les flux biologiques entre les principales sources de biodiversité aux échelles transnationales, nationales et régionales (Clauzel et *al.*, 2019). En France, c'est la loi Grenelle 1 initiée en 2007, qui a pris en compte ce concept de réseau écologique, pour créer un projet de "Trame Verte et Bleue" reliant les espaces naturels, permettant à la faune et à la flore de vivre et circuler sur tout le territoire (Cormier et *al.*, 2010).

Ce dispositif Trame Verte et Bleue s'appuie sur le concept de « réseau écologique ». Un réseau écologique est un ensemble de milieux qui permettent d'assurer la conservation à long terme des espèces sauvages sur un territoire. Plus précisément, c'est un ensemble spatial formé par des tâches d'habitats reliés par des zones de connexion biologique (Opdam et *al.*, 2002) ou de connectivité fonctionnelle. La connectivité fonctionnelle, quant à elle, est la réponse d'une espèce aux conditions offertes par les structures paysagères, en termes de déplacements individuels et de connexion entre les éléments paysagers (Taylor et *al.*, 2006). Malgré l'objectif clair et précis de la TVB de préserver la fonctionnalité des continuités écologiques (Décret relatif à la Trame verte et bleue du 27 décembre 2012), la connectivité fonctionnelle du paysage n'est pas prise en compte dans la création des réservoirs de biodiversité. En effet, dans la majorité des cas, l'accent est mis sur la connectivité structurelle, c'est-à-dire la connexion entre les habitats du paysage, sans tenir compte des capacités de déplacement des espèces (Sordello, 2017). Mais pour protéger, il faut être capable d'identifier les continuités écologiques.

1.2 Identification des continuités écologiques

Parmi les méthodes qui existent pour identifier les corridors écologiques, trois sont généralement utilisées : l'interprétation visuelle, la méthode de la dilatation – érosion et la perméabilité des milieux (Dehouck et Amsallem, 2017).

1.2.1 Interprétation visuelle

L'interprétation visuelle est une méthode qui consiste à identifier les corridors écologiques par photo-interprétation. Grâce aux photographies aériennes et aux cartes d'occupation du sol, les chemins les plus directs entre deux espaces naturels discontinus sont tracés manuellement. Ce tracé s'effectue en fonction des éléments du paysage. L'analyse par interprétation visuelle se base donc sur une approche « Habitat », aussi appelé approche « Structurelle » (Locquet et Clauzel, 2018). Seuls les éléments du paysage comptent dans cette méthode et pas l'espèce. Néanmoins, elle permet d'identifier de manière précise les petits éléments du paysage, de comprendre l'évolution du paysage et affiner les cartes d'occupation du sol (Dehouck et *al.*, 2017, Locquet et *al.*, 2018).

L'identification des corridors écologiques passe par des méthodes qui ne peuvent pas être réalisées par de simples inventaires de terrain. En effet, cartographier avec précisions toutes les tâches d'habitat et les corridors écologiques nécessite un investissement de coût, de temps et de ressources humaines très importantes. D'où l'intérêt de la modélisation spatiale qui utilise les Systèmes d'Information Géographique (SIG), pour manipuler des données géographiques.

1.2.2 Modélisation

La modélisation spatiale est un ensemble de processus analytiques réalisé avec les systèmes d'information géographique (SIG) dans le but de décrire l'ensemble des relations spatiales existantes entre des phénomènes géographiques. Cette méthode est très utile pour la détermination des corridors écologiques.

1.2.2.1 Traitement de dilatation-érosion

La méthode de la dilatation-érosion est un traitement automatisé qui permet d'analyser les chemins les plus courts qui relient les réservoirs de biodiversité. Cette méthode nécessite deux étapes, comme son nom l'indique : la dilatation et l'érosion (cf. figure1). Pour la première étape, les tâches d'habitat des sous-trames sont « dilatées » en fonction de la distance de dispersion de l'espèce cible ou d'une autre distance par rapport à d'autre facteur. Cette dilatation autour des tâches d'habitats sera une zone tampon d'une longueur donnée. A certains niveaux ces zones tampons vont se fusionner. Ensuite commence la deuxième étape qui vient supprimer les zones tampons ajoutées autour des tâches d'habitat. Celles qui ne se sont pas fusionnées vont disparaître et laisser seulement les fusionnées. Ainsi, les liens visibles entre les tâches d'habitat, seront les corridors écologiques. L'inconvénient de cette méthode de dilatation-érosion, est qu'elle est centrée sur les corridors et raisonnent à l'échelle du voisinage et ne tient pas compte de l'occupation du sol et des entraves entre les tâches d'habitats. Contrairement aux deux autres méthodes qui font leur analyse à l'échelle d'un paysage (Avon, et *al.*, 2014).

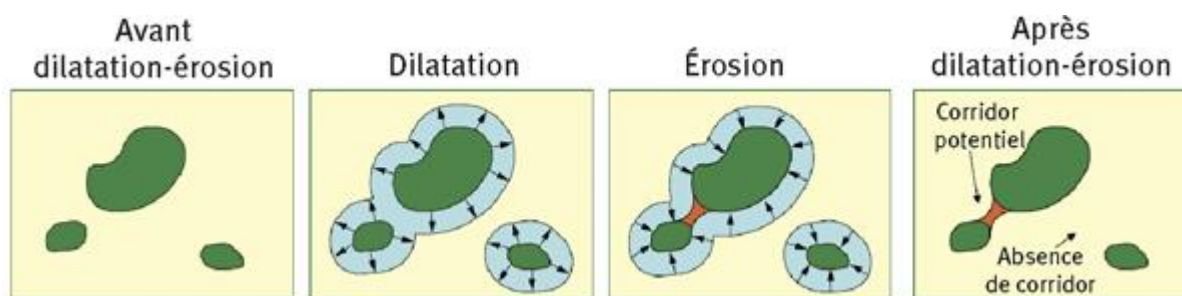


Figure 1 : Étapes du traitement par dilatation-érosion. Source Cemagref

1.2.2.2 Perméabilité des milieux

La perméabilité des milieux ou dispersion des espèces (ECONAT, 2011 ; Adriaensen, et *al.*, 2003) est une méthode qui consiste à simuler par ordinateur les déplacements potentiels d'espèces cibles en fonction des réservoirs de biodiversité (Locquet et *al.*, 2018). On parle ici d'approche « Espèce » ou d'approche « Fonctionnelle » (Dehouck et *al.*, 2017). La perméabilité des milieux s'appuie sur la capacité de déplacement d'une espèce en fonction de sa capacité de dispersion, de ses besoins et de l'organisation du paysage écologique (Le Roux, et *al.*, 2014, Janin, 2011). Elle permet d'évaluer les mouvements d'une espèce entre les différentes tâches d'habitats en tenant compte de l'occupation du sol, c'est-à-dire si le paysage entre ces tâches d'habitats facilite ou contraint le déplacement (Avon et *al.*, 2014). Cette notion de perméabilité des milieux peut également se traduire par la modélisation de « chemins de moindre coût » reliant un réservoir de biodiversité à un autre (Dehouck et *al.*, 2017). L'avantage de cette méthode est de prendre en compte aussi bien les informations basées sur l'espèce cible que sur l'occupation du sol.

1.3 Modélisation de « chemins de moindre coût »

1.3.1 Approche par graphes paysagers

La théorie des graphes est une discipline mathématique et informatique qui étudie des modèles abstraits de dessins de réseaux reliant des objets. Ces modèles sont appelés des « graphes » et sont constitués de nœuds (sommets) et de liens (d'arêtes) qui relient les sommets.

La théorie des graphes intervient dans plusieurs domaines de recherche, tel que les réseaux informatiques, les réseaux de télécommunication, les réseaux sociaux et les réseaux de transports (Papet G. et Vanpeene, 2020). Tous ces domaines de recherche se basent sur les liens qui existent entre leurs composantes pour apporter des solutions à leurs problèmes. D'où l'intérêt d'utiliser la théorie des graphes pour résoudre les problématiques liées aux réseaux écologiques. Cela permet de répondre aux enjeux de préservation des continuités écologiques et on parle de graphes paysagers.

Les graphes paysagers sont des outils d'aide à la décision pour l'aménagement et la gestion paysagère dans une logique de préservation de la biodiversité (Foltête et *al.*, 2012, Clauzel, 2019). Ces outils peuvent être mis en œuvre suivant deux approches principales (Opdam et *al.*, 2002) :

- L'approche « habitat », où les éléments du graphe sont définis en prenant comme référence les types de trames et les sous-trames du milieu.

- L'approche « espèce », où le graphe est construit en fonction de l'écologie d'une espèce cible, en tenant compte de ses préférences paysagères.

Plusieurs logiciels sont utilisés pour la réalisation des graphes paysagers, parmi eux il y a Graphab. Logiciel qui sera tester au cours de notre étude pour déterminer les chemins de moindres coûts.

1.3.2 Modélisation Via Fauna : réalisée par la Fédération Régionale des Chasseurs d'Occitanie

Le modèle Via Fauna, se base sur la méthode de « friction-dispersion », il modélise les chemins les moins coûteux en déplacement (chemins de moindre coût) pour que la faune se déplace d'un habitat dédié à un autre. Ces chemins de moindres coûts sont déterminés en fonction de l'occupation du sol et de la capacité de la faune sauvage à franchir les différents éléments du paysage : c'est la perméabilité du paysage. Le modèle Via Fauna intègre aussi les ouvrages d'art non-dédiés et dédiés aux passages de la faune sauvage dans sa modélisation. Ce qui permet de définir ceux qui peuvent potentiellement intervenir ou non dans le déplacement de la faune sauvage. C'est un outil de diagnostic pour le territoire et d'aide à la décision pour les élus. En effet, il identifie les corridors écologiques plausibles des grands mammifères comme le Cerf (*Cervus elaphus*) et le Sanglier (*Sus scrofa*) et les principales zones de passage (perméabilité) en fonction des Infrastructures Linéaires de Transport (ILT). Ce modèle fonctionne grâce à un algorithme développé en interne qui fonctionne sur le logiciel QGIS v.2.14.19. Il peut être résumé en 4 étapes :

- Elaboration de la carte d'occupation du sol
- Définition des habitats théoriques d'une espèce cible
- Elaboration d'une carte de friction d'une espèce cible
- Calcul des chemins de moindre coût d'une espèce cible

1.4 Besoin la Fédération Régionale des Chasseurs d'Occitanie

La Trame Verte et Bleue est un dispositif qui doit avoir une cohérence nationale, ainsi chaque élément de la TVB est associé à des sous-trames. Une sous-trame est un « ensemble constitué par un même type de milieu identifié au niveau régional à partir de l'analyse de l'occupation des sols ou à partir d'une cartographie de la végétation. ». Chaque sous-trame possède une cohérence écologique avec des spécificités qui lui sont propres. En effet, dans les Schémas régionaux de cohérence écologique (SRCE) de chaque région, plusieurs différentes sous-trames sont définies, mais en restant corrélées avec les cinq sous-trames nationales définies (cf. figure2 et tableau 1). La modélisation des continuités écologiques réalisée par le projet Via Fauna a été consacré à la sous-trame boisée, mais il existe d'autre sous-trames qui ont un intérêt cynégétique et écologique pour les Fédérations des chasseurs comme les sous-trames des milieux cultivés. La région d'Occitanie dispose d'une importante proportion de « grandes cultures », ce qui ne rend pas aberrant la création d'une sous-trame « milieux cultivés ». En tout et pour tout, 7 régions ont défini explicitement des sous-trames ayant un lien avec les usages agricoles :

- « Espaces cultivés » en région Centre et en région Auvergne.
- « Milieux cultivés » en Midi-Pyrénées (ne concerne que les réservoirs de biodiversité).

- « Milieux anthropisés et semi-naturels et Vergers et prés-vergers » en Alsace.
- « Grandes cultures » en Ile-de-France (ne concerne que les réservoirs de biodiversité)
- « Plaines ouvertes » en Poitou-Charentes.
- « Milieux agricoles, cultures pérennes, (vignobles, vergers, oliveraies) et cultures annuelles » (rizières, forte densité, serre, cultures permanentes) en Languedoc-Roussillon.

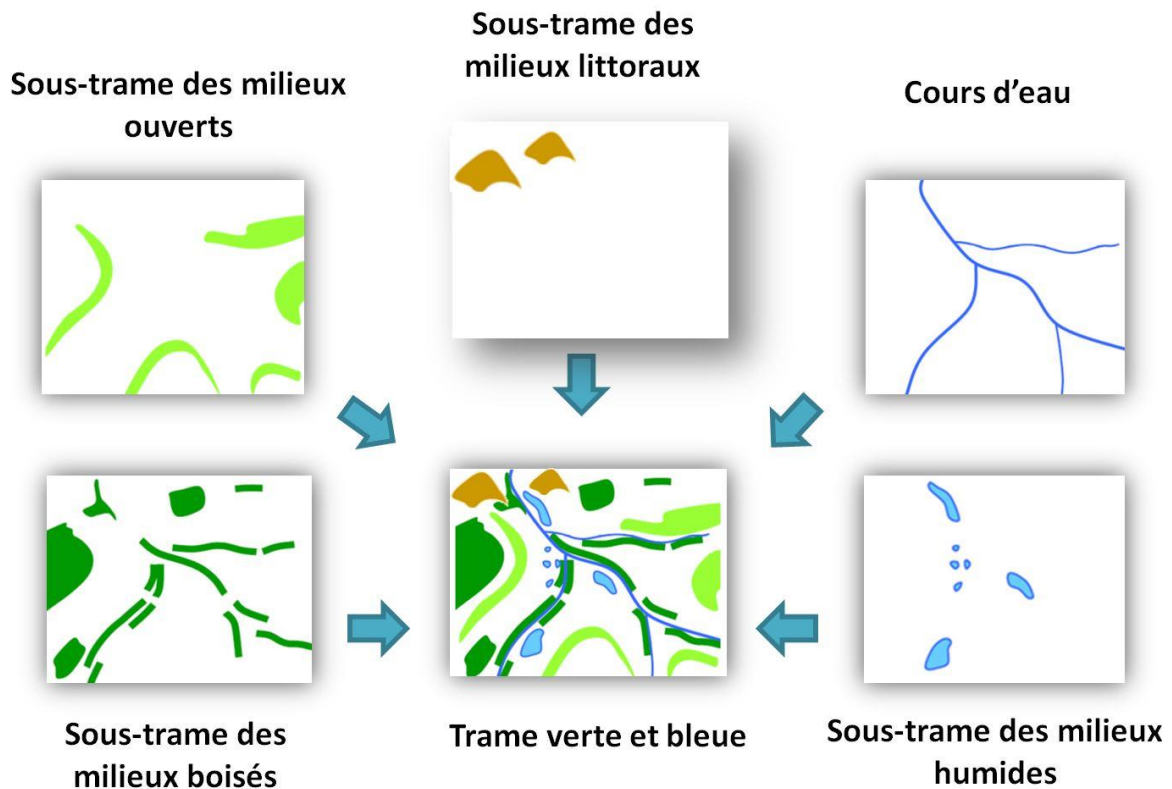


Figure 2 : Les cinq sous-trames nationales (© UMS PatriNat)

Tableau 1 : Différentes sous-trames définies dans le SRCE du Midi-Pyrénées en fonction des sous-trames nationales.

Différentes sous-trames définies dans le SRCE du Midi-Pyrénées en fonction des sous-trames nationales.

	Sous - trame du SRCE du Midi-Pyrénées
Milieux boisés	Milieux boisés de plaine - Milieux boisés d'altitude
Milieux ouverts	Milieux ouverts et semi-ouverts de plaine - Milieux ouverts et semi-ouverts d'altitude - Milieux rocheux d'altitude - Milieux cultivés
Milieux humides	Milieux humides

Cours d'eau	Cours d'eau
Milieux littoraux	Non concerné

La sous-trame des milieux cultivés en Midi-Pyrénées prend en compte seulement les réservoirs de biodiversité et par les corridors écologiques.

Or, elle héberge plusieurs espèces qui appartiennent au petit gibier. Telle que la perdrix rouge (*Alectoris rufa*), le faisan (*Phasianus colchicus*), le Lièvre d'Europe (*Lepus europaeus*) et le Lapin de garenne (*Oryctolagus cuniculus*). Chacune d'elle a un fort intérêt écologique et cynégétique pour les Fédérations Départementale de Chasseurs (FDC). La méthodologie employée par le SRCE Midi-Pyrénées (approche de perméabilité) pour l'établissement des corridors écologiques de cette sous-trame cultivée, n'a pas permis de les définir. Il est donc nécessaire de mettre en place une méthode pour déterminer les corridors écologiques de la sous-trame des milieux cultivés, afin qu'elle soit prise en compte dans les projets tel que CIFF (Couverts d'Intérêt Faunistique et Floristique) et CORRIBIOR¹, qui sont pilotés à la Fédération Régionale d'Occitanie. Mais aussi, par les plans de gestion et les documents d'urbanisme tel que, le Schéma de Cohérence Territoriale (SCOT) et le Plan Local d'Urbanisme (PLU) communal ou intercommunal (PLUi).

La problématique à laquelle nous proposons de répondre concerne l'utilisation de la modélisation spatiale dans l'identification des continuités écologiques des milieux cultivés.

Pour répondre à cette problématique, il n'y a pas une manière de faire, mais plusieurs manières. Alors, nous avons choisi de définir un objectif global que nous déclinerons en différents objectifs spécifiques. Il s'agira de proposer une méthode simple et reproductible, afin d'identifier la sous-trame cultivée, pour intégrer la connectivité du paysage dans la détermination des zones d'intérêt écologiques de la région d'Occitanie. Ainsi nous allons pour une espèce cible :

- Déterminer les éléments de l'occupation du sol qui favorisent ou non à sa dispersion.
- Déterminer son habitat dans la sous-trame cultivée.
- Déterminer les corridors écologiques de la sous-trame cultivée.

Notre étude présentera tout d'abord notre réflexion sur le choix de l'approche « sous-trames » ou approche « espèce ». Ensuite, nous avons déterminé les zones potentiellement favorables et défavorables à l'espèce cible et son habitat. Puis, les chemins de moindres coûts seront calculés avec deux outils différents, un algorithme réalisé par le projet Via Fauna et le logiciel Graphab version 2.6.4. Cela servira à identifier les continuités écologiques et les ruptures de continuités écologiques. Suivra, une discussion générale sur les résultats obtenus et les perspectives d'amélioration de ces résultats. Sans oublier une conclusion pour parler du stage en lui-même.

¹ Confère liste des abréviations

2 Approche « sous-trames » ou approche « espèces » ?

La détermination des continuités écologiques passe d'abord par le choix de l'approche à utiliser, elle peut être en fonction d'une sous-trame ou en fonction d'une espèce.

2.1 Approche « sous-trames »

L'approche « sous-trames » se base principalement sur les types de milieux (ouverts, boisés, humides, etc.) pour identifier les corridors écologiques. Cette approche vise essentiellement à analyser la mosaïque de milieux présents et à voir comment il est possible de connecter entre eux les différents réservoirs. Elle permet de prendre en compte non seulement la qualité écologique des habitats (c'est-à-dire de la présence ou absence de fragmentation ou de la proximité avec un réservoir) (Amsallem, et al., 2010) et de les hiérarchiser. C'est une approche structurale qui s'intéresse au lien physique entre les éléments du paysage (Bergès, et al., 2010). L'approche « sous-trames » s'appuie sur le modèle écologique de matrice-tâche-corridor, qui a pour but de décrire et d'analyser le paysage (Forman et Gordon, 1986). Selon ce modèle, le paysage se représente en trois composantes : matrice, tâche et corridor (cf. figure 3). La matrice est l'élément dominant du paysage, qui présente l'uniformité de l'occupation du sol et est considérée comme perméable ou imperméable à certains endroits. Les tâches sont les sous-trames qui hébergent les espèces faunistiques et florales ; ce sont des éléments surfaciques, isolés, non linéaires et différents de la matrice. Les corridors, quant à eux, sont des éléments linéaires du paysage, servant de chemins entre ces sous-trames (cf. figure3).

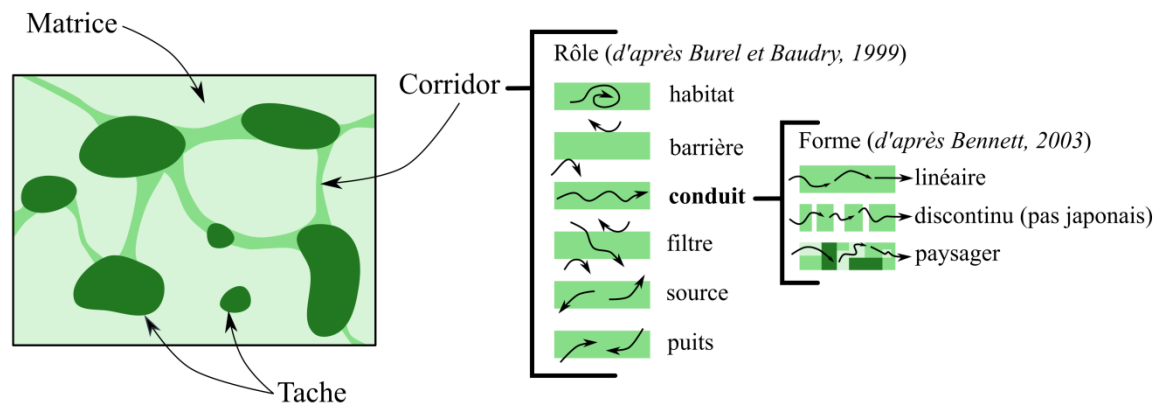


Figure 3 : Modèle matrice-tâche-corridor. (Source : Delclaux, 2020)

Cependant, une sous-trame abrite généralement de nombreuses espèces qui possèdent des exigences écologiques et des capacités de dispersion différentes. Alors, les corridors écologiques obtenus par cette approche, ne sont pas écologiquement très significatif, car cela revient à réduire l'ensemble des espèces abritées par une sous-trame donnée aux caractéristiques de cette sous-trame. Or la réalité est tout autre. En effet, diverses espèces peuvent se retrouver dans les mêmes milieux, avec chacune leurs exigences écologiques et des capacités de dispersion qui leur sont propres. Avec l'approche « sous-trames » les résultats obtenus sont donc plus pour une gestion de plusieurs espèces que pour une seule.

Il s'agit d'une approche très généraliste qui ne s'intéresse pas à une espèce particulière, de ce fait les résultats obtenus sont donc plus « génériques » que « spécifiques ». Elle peut être utilisée pour mettre en place une gestion générale dans l'optique de répondre aux besoins du plus grand

nombre d'espèces et de mettre en valeur les habitats remarquables. L'approche « sous-trames » convient à un gestionnaire qui veut faire une gestion opérationnelle du paysage (Foltête et *al.*, 2012).

2.2. Approche « espèce »

L'approche « espèce », passe par la retranscription des traits écologiques et éthologiques de l'espèce cible² pour déterminer les corridors écologiques. C'est une approche fonctionnelle qui est plus complexe et moins générique que l'approche « sous-trames » (Bergès et *al.*, 2010). Les corridors écologiques doivent représenter autant que possible les exigences écologiques d'une seule espèce cible et sa capacité de dispersion. C'est une approche plus « spécifique » qui se concentre sur l'espèce. On s'intéresse dans cette approche à la perméabilité des milieux, déterminée par les préférences des espèces pour certains milieux, c'est-à-dire au type d'occupation du sol favorable ou défavorable à son déplacement (Ascroft et Major, 2013).

De ce fait, il semble important de combiner plusieurs types de données pour son analyse :

- Les données relatives à l'intérêt des espèces pour les différents milieux (milieux favorables ou défavorables).
- Les données relatives à la distance de dispersion maximale de l'espèce cible à partir des réservoirs de biodiversité (Bernier et Théau, 2013).
- Les données relatives à la configuration spatiale des milieux qui lui est favorable (Le Roux, et *al.*, 2014).

Parfois, retranscrire les traits écologiques et éthologiques d'une espèce réelle n'est pas une tâche facile, car certaines espèces ont la capacité de s'adapter aux conditions diverses de leur milieu : c'est ce qu'on appelle la plasticité écologique. Le manque des données et/ou des documentations, aussi que la contradiction dans la littérature au sujet de certaines espèces, poussent les chercheurs aujourd'hui à utiliser des espèces fictives pour s'affranchir de ces contraintes.

L'approche « espèce » présente deux avantages majeurs. Le premier, est celui de la validation du résultat grâce à des données empiriques, comme les points de présence et d'absence ou du suivi GPS de l'espèce cible. Le second avantage est plus au niveau de la communication et de la pédagogie. En effet, elle peut nettement favoriser l'appropriation des réseaux écologiques par les différents acteurs des territoires (Organismes de conservation de la biodiversité, Gestionnaires d'infrastructures routières, les élus, le grand public, etc.).

L'approche « espèce » permet de tracer les chemins de moindres coûts potentiels que pourrait utiliser une espèce pour se déplacer. Ainsi, elle répond mieux aux besoins et aux objectifs de gestion de la Fédération Régionale des Chasseurs d'Occitanie, qui veut une espèce à enjeux cynégétiques pour rassembler plus facilement les Fédérations Départementales de Chasseurs et les élus.

² Sélection d'une ou quelques espèces (ou groupes d'espèces) pour représenter les espèces locales. Prendre en compte les besoins de ces espèces est supposé conduire à préserver les éléments nécessaires aux autres espèces locales (Cécile et al 2018)

Alors, nous avons fait le choix d'une approche « espèce » avec la volonté de choisir une espèce emblématique³.

2.3. Choix de l'espèce cible

L'espèce cible choisie, doit permettre de construire une stratégie de préservation de la biodiversité dans son ensemble, pour l'intégrer aux projets d'aménagement du territoire (Wiens et al., 2008) et de gestion cynégétique. Ainsi, plusieurs critères entrent en ligne de compte pour ce choix. L'espèce cible doit :

- Être une espèce chassable ayant son domaine vital dans la sous-trame cultivée.
- Avoir des données existantes et disponibles sur ses exigences écologiques et éthologiques.
- Faire l'objet d'un suivi faunistique régulier.
- Avoir des données empiriques (point de présence et d'absence).
- Être en capacité à mobiliser les acteurs des territoires (espèce emblématique)

Dans la sous-trame cultivée, les espèces chassables sont regroupées dans la catégorie des Petits gibiers de plaine. Le petit gibier est l'ensemble des animaux de petites tailles classés vivant dans les champs et dans les plaines. On y trouve notamment le lièvre, la perdrix rouge, le faisan et le lapin. Dans le cadre de cette étude, le choix de l'espèce a été basé sur une comparaison des espèces citées ci-haut en fonction des critères présentés dans le paragraphe précédent (cf. Tableau 2).

Tableau 2 : Comparaison des espèces appartenant à la catégorie des petits gibiers de plaine.

Comparaison des espèces appartenant à la catégorie des petits gibiers de plaine.

Critère	Faisan	Lapin	Lièvre	Perdrix rouge
Domaine vital dans la sous-trame cultivé	+	+	++	++
Données existantes et disponibles sur ses exigences écologique et éthologique	++	++	++	++
Suivi faunistique régulier	+	-	+	+
Données empiriques (point de présence absence/Suivi GPS)	-	-	-	+
Mobiliser les acteurs des territoires	+	-	+	+
Total des points positif	5	3	6	7

³ Espèce charismatique utilisée pour attirer l'attention et la sympathie du grand public ou des financeurs et négocier avec les décideurs (Cécile et al 2018)

Le tableau 2 présente, les résultats de la comparaison des espèces appartenant à la catégorie des petits gibiers de plaine fonction des critères définies ci-dessus. Il en ressort que le faisan, le lièvre et la perdrix rouge ont l'avantage de mobiliser les acteurs du territoire, mais le lièvre et la perdrix rouge sont vraiment inféodés à la sous-trame cultivée. Cependant, parmi les deux espèces, une seule fait l'objet de suivi GPS et c'est la perdrix rouge, un critère assez important pour la validation de nos résultats. Donc, le choix de notre espèce cible s'est porté sur la perdrix rouge.

2.3.1 Exigence écologique et éthologique de la Perdrix rouge

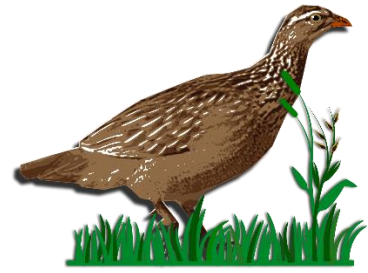
La Perdrix rouge (*Alectoris rufa*) est un oiseau qui appartient à la famille des phasianidés. Elle est de petite taille, mesurant environ 35 cm de long pour un poids variant entre 350 à 600 g. Son plumage est coloré avec un bec et des pattes de couleur corail (cf. Figure 4).

La Perdrix rouge vit dans les milieux secs et ensoleillés, en basse et moyenne altitude où l'hiver est assez doux. C'est une espèce de polyculture de céréales, prairies, entrecoupées de friches, haies, bosquets, champs, vignes, oliveraies (Berger, 1987). Elle est inféodée aux agro-systèmes cultivés, entrecoupés de milieux dégagés et de friches. La Perdrix rouge se nourrit de graines et d'insectes qu'elle retrouve dans les plaines agricoles et les haies. De ce fait, elle s'accommode mal de l'utilisation des pesticides et des engrais qui détruisent la biodiversité. En effet, la culture céréalière intensive, entraîne un appauvrissement de la diversité des habitats et de la ressource alimentaire de l'espèce. C'est une espèce qui recherche des milieux diversifiés pouvant lui apporter à la fois couvert pour se nourrir, se protéger et nicher. Pour résumer, la perdrix rouge vit dans des milieux qui doivent avoir quatre éléments de base : haie-céréale-prairie-bosquets (Berger et al 1988). C'est une espèce grégaire, sauf en dehors des périodes de reproduction où les couples se forment entre individus appartenant à des groupes différents (Ricci, 1985). La dispersion au moment de la formation des couples est surtout réalisée par des femelles sub-adultes qui assurent le brassage génétique entre les populations. Cette dispersion se réalise en moyenne sur 3km, mais pouvant aller jusqu'à 6 km (Green,1983).

Le domaine vital des couples varie entre 10ha et 100ha en fonction des saisons (Berger, 1987). Aux vues de ces exigences écologiques et éthologiques, la perdrix rouge est une espèce qui vit dans des habitats diversifiés (mosaïque de culture) avec des domaines vitaux assez variables. En effet, il a été constaté que cette espèce ne se retrouve pas sur les mêmes associations de culture d'un territoire à un autre, ce qui rend difficile la retranscription des exigences écologiques et éthologiques. C'est pourquoi nous avons décidé de la remplacer par une espèce fictive qui présentera des caractéristiques fixes. Ces caractéristiques se base sur la littérature et les dires des experts (techniciens de Fédération de chasseurs) pour se rapprocher le plus d'une perdrix rouge.

2.3.2 Un Phasianidé fictif : presqu'une perdrix rouge

Nous avons fait le choix de travailler sur une espèce fictive qui s'inspire de la perdrix rouge mais sans lui ressembler (cf. figure 4). En effet cette espèce fictive aura des exigences écologiques et éthologiques claires et précises, afin de nous affranchir des contraintes liées à l'adaptabilité de la perdrix rouge (espèce réelle) aux divers systèmes agricoles.



Perdrix rouge (*Alectoris rufa*) ©Mashuk

Phasianidé fictif ©J.Roy

Figure 4: Perdrix rouge et Phasianidé fictif.

Ainsi, notre espèce sera un phasianidé fictif qui vit dans des habitats diversifiés, de grandes cultures. Elle a une préférence pour les habitats riches en cultures de céréales (Blé, Orge), de vigne et de verger. Elle apprécie la présence de Jachère, de haies et de bande enherbée dans son domaine vital. Les massifs boisés, les espaces urbains et les milieux aquatiques lui sont défavorables. Grâce à sa capacité de vol, les infrastructures linéaires de transport n'empêchent pas son déplacement, mais peuvent engendrer des risques de collisions mortelles. Son domaine vital est de 100 ha et sa capacité de dispersion maximale entre patchs d'habitats est de 3000m.

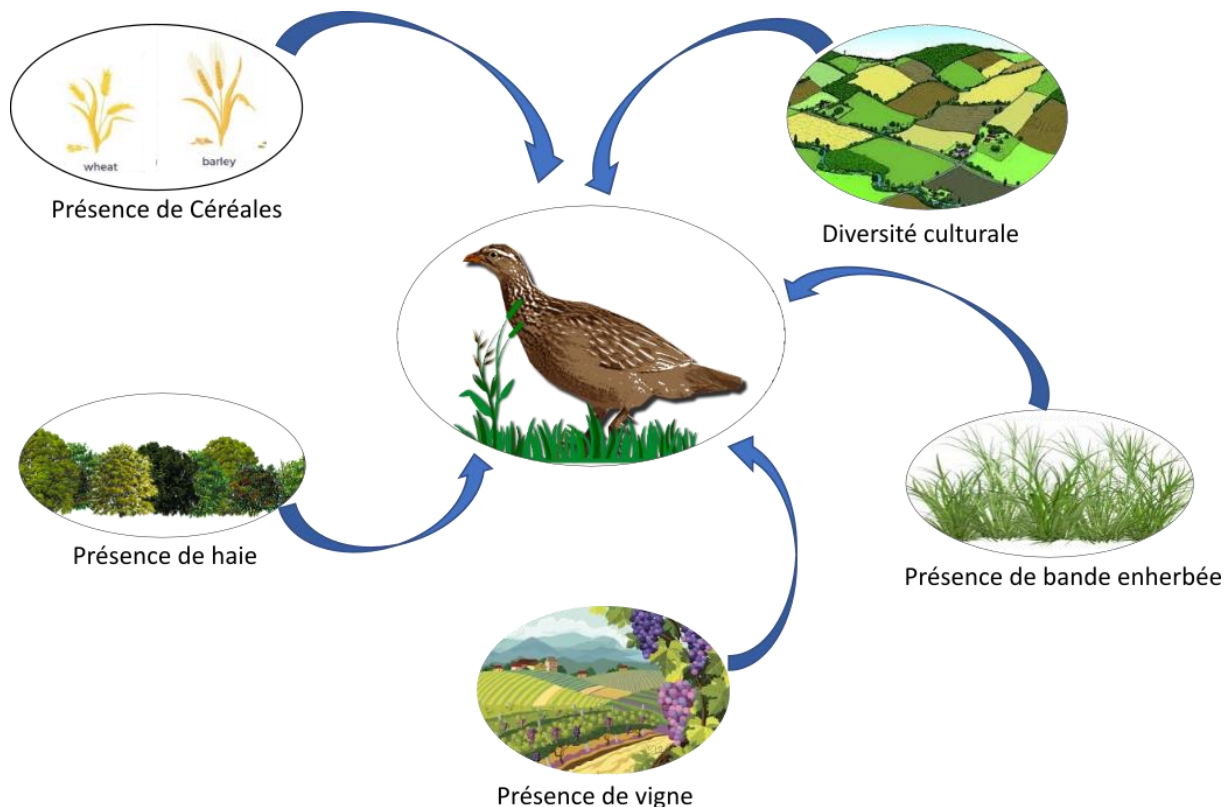
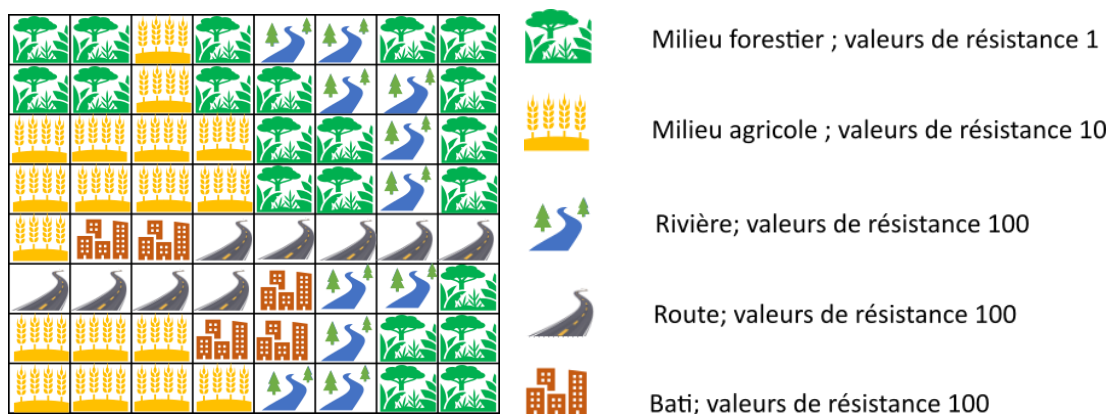


Figure 5 : Préférences écologiques du phasianidé fictif.

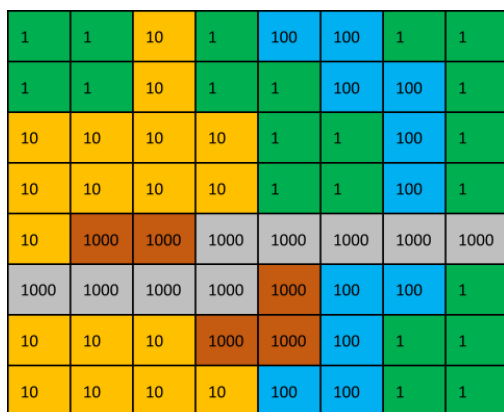
2.4. Approche « espèces » par la perméabilité des milieux

Cette approche permet de simuler les potentiels déplacements d'espèces cible à partir de son habitat préférentiel. Nous nous intéressons dans cette approche à la perméabilité des milieux, laquelle est déterminée par les préférences de l'espèce pour certains milieux, c'est-à-dire au type d'occupation du sol favorable ou défavorable à son déplacement (Ascroft et Major, 2013). Pour cela, il est nécessaire de combiner plusieurs types de données. Les données relatives à l'intérêt de l'espèce pour les différents milieux, à sa distance de dispersion (capacité de déplacement) d'un habitat à un autre (Bernier et Théau, 2013), avec la configuration spatiale des milieux qui lui sont favorables (Le Roux, et al., 2014). L'idée de cette méthode est qu'au cours d'un trajet allant d'un habitat A (favorable) à un habitat B (favorable), une espèce va être confrontée à différents milieux qu'elle sera en mesure de traverser facilement ou pas, en fonction de leur nature, c'est-à-dire de leur perméabilité forte ou faible (cf. figure 6).

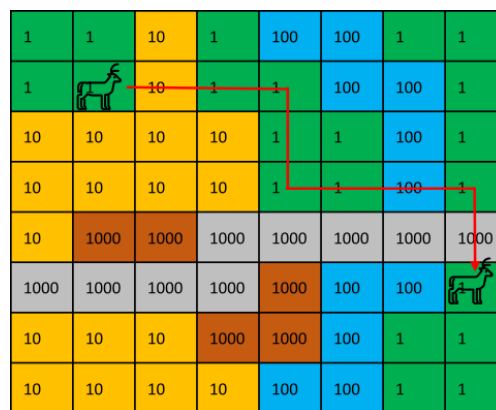
Prenons comme exemple pour illustrer nos propos, le cas d'une espèce forestière tel qu'un cerf qui est entouré d'un paysage constitué de milieux forestiers, de milieux agricoles, de rivière, de route et de bâti. Pour se déplacer d'un milieu forestier à un autre, nous supposons qu'il devrait passer par le chemin qui lui ait le plus favorable. Pour déterminer ce chemin, un coût de déplacement (valeurs de résistance ou notes de friction) est donné à chaque élément du paysage en fonction de sa perméabilité. Plus un élément est perméable et plus la valeur de résistance sera faible. De même, plus il est imperméable et plus la valeur de résistance est élevée. Dans notre exemple l'espèce cible étant une espèce forestière, son habitat préférentiel est donc la forêt et nous considérons un coût de 1 pour se déplacer dans ce milieu. Pour les milieux agricoles, nous évaluons qu'ils sont 10 fois moins perméables pour le cerf et les autres milieux (rivière, routes et bâtis) 100 fois moins perméables pour lui.



Carte de l'occupation du sol et valeurs de résistance en fonction de la perméabilité du Cerf



Carte de perméabilité avec les valeurs de résistance



Le trait en rouge constitue un Chemins de moindre coût potentiel

Figure 6 : Exemple la perméabilité des milieux chez le Cerf. Source INRAE - UMR TETIS

La modélisation par perméabilité du milieu se base sur une carte d’occupation du sol et une carte de perméabilité (carte de friction) pour déterminer les chemins de moindre coût. Ainsi, pour identifier les corridors écologiques de la sous-trame cultivée de notre phasianidé fictif, nous allons procéder en trois étapes

Etape 1 : Créer une carte d’occupation du sol pour identifier des éléments favorables et défavorables au déplacement du phasianidé fictif.

Etape 2 : A partir de cette carte d’occupation du sol, nous allons créer une carte de perméabilité.

Etape 3 : Identifier des habitats théoriques pour calculer les chemins de moindres coûts.

À chacune de ces étapes, une réflexion a été mener en fonction du contexte de notre étude pour guider nos choix méthodologiques

3 Carte d’occupation du sol et carte de perméabilité

Notre étude porte sur la Région d’Occitanie, alors nous avons décidé de travailler sur une zone teste à une échelle plus réduite. En effet, commencer une étude de ce genre sur toute une région n’est pas l’idéale, au vu de la taille des bases de données cela rendra les traitements avec le logiciel QGIS version 3.16 assez long. Alors, nous avons choisi de travailler à l’échelle départementale, avec un département test, celui de Haute-Garonne. Notre choix a été porté sur le département de Haute-Garonne pour les avantages qu’il nous procure. Etant accueilli pour ce stage dans les locaux de la Fédération des Chasseurs du Département de la Haute-Garonne, nous avons plus de facilité à accéder aux données et à échanger avec les techniciens cynégétiques qui possèdent de réelles connaissances sur le territoire et sur la perdrix rouge.

3.1. Construction de la carte d’occupation des sols

La carte d’occupation du sol est la première donnée d’entrée pour réaliser notre analyse. C’est une base de données assez riche qui présente la couverture physique et biologique de la surface terrestre. Elle identifie une occupation du sol naturelle avec les arbres, les arbustes, les cours d’eau, etc. et une autre artificielle avec les bâtis et les routes. De ce fait, une carte d’occupation

du sol repose en générale sur plusieurs types de données telles que :

- Le référentiel OCS GE (Occupation du Sol à Grande Echelle) est une base de la donnée vectorielle de description de l'occupation et de l'usage du sol. Son échelle d'utilisation est de 1 : 2 500.
- La BD TOPO est une description vectorielle 3D (structurée en objets) des éléments du territoire et de ses infrastructures, de précision métrique, exploitable à des échelles allant du 1 : 2 000 au 1 : 50 000.
- La base de données géographiques CORINE Land Cover (CLC) est un inventaire biophysique de l'occupation des terres.
- Le registre parcellaire graphique est une base de données géographiques servant de référence à l'instruction des aides de la Politique Agricole Commune (PAC).
- Un traitement d'images aériennes tel que les orthophotographies ou les images satellites.

Données disponibles dans le cadre de notre étude

- Pour notre étude, les données disponibles sont l'OCS GE de 2018, la BD TOPO de 2021, le RPG de 2020 et la carte d'occupation du sol réalisé par le projet Via Fauna 2021.
- Présentation de la carte d'occupation du sol Via Fauna

La couche d'occupation du sol du projet Via Fauna a été réalisée dans le but de modéliser les continuités écologiques des sous-trames forestières. Elle est composée de cinq bases de données ; l'OCS GE et la BD TOPO des Zones de végétation, des Bâtiments, des cours d'eau et des Routes. Bien que cette carte d'occupation soit assez riche, son but est de répondre aux besoins d'une modélisation des sous-trames forestières. D'où le fait qu'elle manque de données importantes pour l'utiliser dans la modélisation des continuités écologiques de la sous-trame cultivée. En effet, au niveau de la couverture du sol, cette carte ne permet pas de différencier les types de cultures agricoles. Or cette information est indispensable pour notre modélisation des sous-trames des milieux cultivés. Pour corriger cela, nous allons ajouter la base de données du RPG.

- Présentation de la base de données RPG

Le RPG permet d'identifier les parcelles des exploitants agricoles ayant déposé une déclaration en vue d'une aide financière de la Politique Agricole Commune (PAC). Alors, seules les parcelles agricoles déclarer à la PAC⁴ sont présentes dans le RPG. Ce qui constitue une limite dans son utilisation, car toutes les surfaces agricoles ne sont pas représentées dans cette base de données, surtout les vignes et les vergers qui sont des habitats fixés pour l'espèce fictive. Parmi les bases de données qui peuvent avoir toutes les surfaces agricoles, nous avons le cadastre. Mais, le cadastre possède toutes les limites parcellaires autant bien les agricoles que les bâtis. Et malheureusement, il n'est pas possible de faire la distinction dans la base de données. Mis à part ce point, le RPG possède d'autres limites telles que la taille des parcelles. En effet, le dessin d'une parcelle donnée peut être modifié par l'exploitant alors même qu'il n'y a aucun

⁴ La politique agricole commune (PAC) est une politique mise en œuvre par l'Union européenne dans le but de développer et soutenir les agricultures des États membres. Son fonctionnement et ses missions ont évolué depuis sa création en 1962

changement sur le terrain ou inversement. La vérité du terrain peut être différente de la vérité présentée dans les cartes.

Pour essayer de corriger la première limite, nous allons créer une couche avec les vignes et les vergers des bases de données de l'OCSGE et de la BD TOPO. En effet, les parcelles de vignes et vergers ont l'avantage de ne pas subir de modifications avec le temps. La méthodologie de cette mise à jour a été décrite dans l'annexe 1. Pour la seconde limite, la solution serait de comparer le RPG à une orthophoto et de digitaliser les manques pour corriger les erreurs. Mais au vu de la richesse du RPG, cette tâche prendrait plusieurs semaines à l'échelle d'un département ou d'une région, elle n'est donc pas réalisable dans le cadre de ce stage.

- Mise à jour de la carte OS Via Fauna avec la base de données RPG.

Le but est d'identifier les différents types de cultures au niveau de la carte d'occupation du sol. Pour cela nous allons faire une fusion de la couche OS du projet Via Fauna avec la couche vignes et verger créer et la couche du RPG. L'ensemble de ses couches ont été fusionnées dans un ordre bien précis, car les polygones de la couche du bas seront écrasée par ceux qui les superposes dans la couche du haut et ainsi de suite. Ainsi, les éléments les moins fragmentant sont en bas, suivi des supports de déplacement et en haut les éléments les plus fragmentant (cf. figure 7)

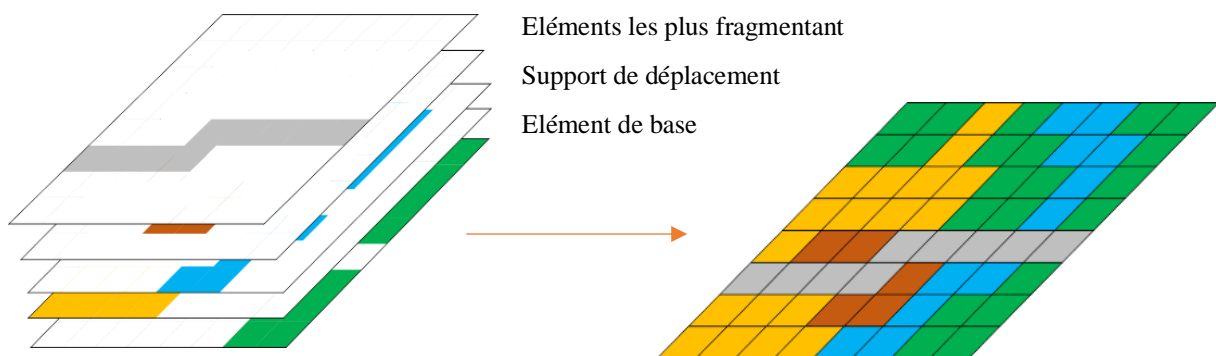


Figure 7 : Ordre de fusion des couches.

- Rastérisation

Après cette fusion, le résultat a été rastérisé en fonction d'une résolution bien précise. Le choix de la résolution spatiale a été fait en fonction d'un compromis entre la précision des éléments nécessaire pour représenter correctement le paysage du phasianidé fictif et temps de calcul des traitements SIG. Ainsi, la résolution choisie est de 5*5 m, car cela permet d'identifier les éléments fins du paysage tel que les haies, les bandes enherbées et les routes qui sont des éléments importants dans le paysage du phasianidé. Une résolution plus grande ne permet pas d'identifier ces éléments.

3.2. Carte de perméabilité ou carte de friction

Les modèles de continuités écologiques sont basés sur des cartes de valeurs de résistance, encore appelées cartes de frictions ou cartes de coûts. C'est une carte où chaque pixel correspond à une valeur de friction qui représente la facilité qu'à une espèce à se déplacer dans

les différents éléments du paysage. Cette valeur représente le coût physiologique (recherche de nourriture, reproduction, prédation, etc.) subit par l'espèce lors de son déplacement. Ainsi, plus la valeur de résistance est faible, plus l'espèce a une facilité de mouvement et inversement ; c'est-à-dire, plus la valeur de résistance est élevée, plus les déplacements de l'espèce sont freinés ou, voire impossibles. Mais avant de déterminer ces valeurs de résistance, il est important d'identifier les milieux favorables aux déplacements et ceux qui ne le sont pas.

3.2.1. Identification des milieux favorables et défavorables

Une espèce aura tendance à se trouver et se déplacer sur des types d'occupation du sol qui sont proches des caractéristiques physiques et biologiques de son habitat : les milieux favorables. Et elle évitera ou ne pourra pas franchir les milieux qui ont des caractéristiques physiques et biologiques qui s'éloignent de son habitat naturel : les milieux défavorables. Cependant, il a été observé que, certaines caractéristiques physiques et biologiques éloignées de celles de l'habitat naturel d'une espèce, ne freinent pas ou ne rendent pas impossible son déplacement (Kuefler et al. 2010).

D'où l'importance de réaliser une revue de littérature, pour réussir à bien classer les types d'occupation du sol en fonction de leur capacité à favoriser ou non le déplacement d'une espèce. Ayant choisie une espèce fictive qui se base sur les exigences écologiques et éthologiques de la perdrix rouge, nous allons faire notre revue de littérature sur cette dernière.

Pour identifier les milieux favorables et défavorables du phasianidé fictif, nous allons utiliser les informations issues de la littérature et des dires des experts. Il s'agit de classer les types d'occupation du sol en fonction de la capacité à favoriser ou non le déplacement de notre espèce.

- Informations issues de la littérature

La perdrix rouge, se retrouve dans les zones de : garrigue, pelouses buissonnantes, pentes incultes, arbustives, prairies sèches, cultures céréalières, vignobles, friches, landes calcaires ou sablonneuses, plantations, les haies et linéaires de lisières. Et elle aura tendance à éviter tous les milieux humides, les milieux forestiers et les zones de bâtis. Ces informations nous orientent sur les milieux favorables de la perdrix rouge, mais manque de précision dans l'identification des différents types de cultures céréalières. En effet, aux vues de la grande diversité des cultures céréalières il est important de pouvoir les catégoriser, car elles n'auront pas la même importance pour l'espèce. De même, cette revue de littérature ne nous permet pas d'identifier les types d'occupation du sol qui sont intermédiaire entre le favorable et le défavorable. Alors pour trouver ce manque d'information nous nous sommes tournés vers les experts (techniciens de Fédération Départementale de Chasseurs).

- Informations issues des dires des experts

Parfois, l'espèce choisie n'est pas assez documentée dans la littérature, où elle manque de description précise sur son habitat et les milieux qui lui sont favorables ou défavorables. Alors les informations issues des dires d'experts (technicien cynégétique, chercheur universitaire) sont utilisées pour déterminer la résistance des différents éléments du paysage. (Krosby et al. 2015). Cette méthode est souvent utilisée par les professionnels de l'environnement, même si ces informations peuvent quelques fois être subjectifs (Sawyer et al 2011). Il est donc nécessaire de les croiser avec les synthèses bibliographiques réalisées afin d'améliorer leur pertinence.

Ainsi, nous avons échangé avec les techniciens de la Fédération Départementales des Chasseurs de Haute-Garonne, pour affiner les informations que nous avons collectées dans la littérature.

De ces échanges et de la revue de littérature, nous avons décidé pour le phasianidé fictif de classer les différentes classes d'occupation du sol comme repris dans le tableau 3.

Tableau 3: Classification des différentes classes d'occupation du sol.

Classe d'occupation du sol	Type de milieu	Code
Autres céréales (Avoine, Blé dur, Sorgho) - Blé tendre – Orge -Vignes	Très favorable	0
Bandes enherbées des cours d'eau – Colza – Divers - Formations herbacées indifférenciées en contexte agricole - Gel (surfaces gelées sans production) - Réseaux de haie- Tournesol - Vergers	Favorable	1
Autres cultures industrielles - Autres oléagineux - Canne à sucre - Estives et landes - Formations herbacées aux abords ou dans les emprises des ILT - Fourrage - Fruits à coque - Légumes ou fleurs - Légumineuses à grains - Maïs grain et ensilage – Oliviers - Plantes à fibres - Prairies permanentes - Prairies temporaires – Protéagineux - Riz	Moyen	2
Autoroutes + quasi-autoroutes + bretelles - Autres routes 1 chaussée - Bâtiments Canaux - Départementales à 1 chaussée - Départementales à 2 chaussées -Formations herbacées en contexte urbain (Probablement clôtures jardins) - Habitats mustélidés - Habitats ongulés - Milieux aquatiques permanents - Milieux aquatiques temporaires - Nationales à 1 chaussée - Nationales à 2 chaussées -Parcelles anthropisées ou perturbées (en travaux) - Peuplements forestiers et arbustifs aux abords ou dans les emprises des ILT - Peuplements forestiers et arbustifs en contexte urbain (Probablement clôtures) - Peuplements forestiers et arbustifs hors contexte urbain (Probablement non clôtures) - Points d'eau - Routes Surfaces en eau - Voies ferrées - Zones enneigées - Sols nus Zones urbanisées ou perturbées (parkings, zones d'activités, décharges)	Défavorable	3

Les types d'occupation du sol ont été classé en quatre catégories en fonction de leur perméabilité pour le phasianidé fictif.

- Les milieux très favorables, regroupant les types d'OS préférentielles et très perméable au déplacement
- Les milieux favorables, regroupant les types d'OS qui sont perméables au déplacement.
- Les milieux Moyen, regroupant les types d'OS intermédiaires entre les milieux favorables et les milieux défavorables.
- Les milieux défavorables, regroupant les types d'OS qui freinent ou sont imperméables au déplacement.

Le code est la valeur donnée à chaque type de milieu pour réaliser une rasterisation, afin d'obtenir une carte raster qui présente les zones perméables et celles non perméables sur le département de la Haute-Garonne. Cette carte aura une résolution de 5m × 5m, toujours dans le but de prendre en compte les éléments les plus fins du paysage tel que les haies (cf. Figure 8).

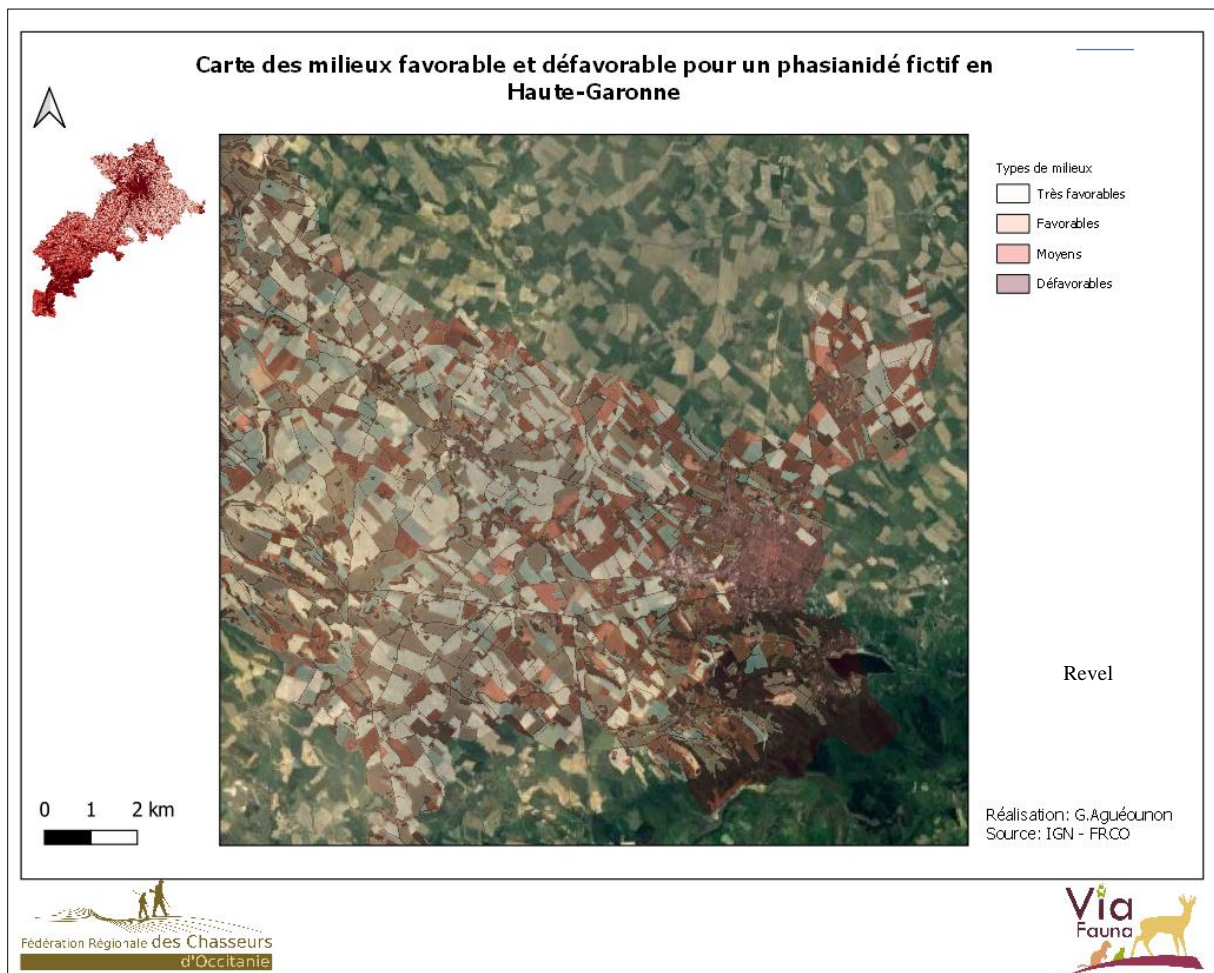


Figure 8 : Carte des milieux favorable et défavorable pour le phasianidé fictif.

Cette carte présente les zones perméables et imperméables au phasianidé fictif. Les zones blanches sur la carte représentent les cultures d'avoine, de blé, d'orge, de sorgho et de vignes. Les zones plus sombres correspondent aux milieux défavorables tels que les agglomérations,

les forêts et les cours d'eau. Pour preuve, la ville de Revel ressort parfaitement en rouge foncé sur la carte. Cette carte à été montrée aux techniciens de la Fédération Départementale des Chasseurs de Haute-Garonne pour validation. Et pour eux, elle représente assez bien les milieux favorables et défavorables de la perdrix rouge.

3.2.2. Calcul des valeurs de résistance

Il n'existe pas, dans la littérature, une réelle méthode pour déterminer les valeurs de résistance à attribuer à chaque élément du paysage. Cette valeur de résistance se détermine souvent de manière arbitraire, elle varie en fonction des objectifs visés et des caractéristiques écologiques de l'espèce. De manière générale, la valeur de résistance d'un milieu défavorable est cent à mille fois supérieur à celle d'un milieu favorable. Dans notre étude, le phasianidé fictif ne se déplace pas en fonction d'un type d'occupation du sol, mais d'un ensemble d'éléments de l'occupation du sol. Il choisira de se déplacer en fonction de la diversité d'éléments structurant et non de la prédominance d'un seul élément. Alors, nous avons créé une grille qui aura pour emprise le département de Haute-Garonne avec des mailles régulières qui auront chacune une valeur de résistance en fonction de leur perméabilité pour l'espèce cible. Le but, est que notre grille s'identifie à une carte d'occupation du sol ou chaque maille possède un ensemble de type d'occupation du sol appartenant au même type de milieux.

- Taille de la maille

Pour le choix de la taille de la maille, nous avons décidé de prendre une échelle plus fine que celle de son domaine vital (100ha). En effet, avec une maille trop grande les résultats obtenus seront moins pertinents. Il faut des mailles qui ne soit pas trop petites ni trop grandes. Divers tests ont été effectués avec des mailles de 75 ha, 50 ha et 25 ha. C'est celle de 25 ha (500 qui répondait le mieux à nos attentes).

- Détermination des valeurs de résistance

Les valeurs de résistance ont été déterminé en calculant la somme des valeurs des pixels de chaque maille, c'est-à-dire la somme des pixels de valeurs 0, 1, 2 et 3. En effet, ces valeurs de pixels correspondent respectivement au type de milieu très favorable, favorable, moyen et défavorable. C'est l'extension « Statistique de zone » de Qgis qui permet de calculer la somme des valeurs de pixels d'une couche raster en fonction d'une couche vectorielle (notre grille de maille 25 ha). Chaque maille a une superficie de 25 ha soit 500m × 500m, donc avec une résolution de 5m × 5m nous aurons 10.000 pixels par maille. Les sommes des valeurs des pixels sont des différents types de milieu sont donc :

- Milieu très favorable = $10.000 \times 0 = 0$
- Milieu favorable = $10.000 \times 1 = 10.000$
- Milieu moyen = $10.000 \times 2 = 20.000$
- Milieu défavorable = $10.000 \times 3 = 30.000$

Le résultat de l'extension « Statistique de zone » a servi dans la réalisation de la carte de perméabilité du phasianidé fictif (cf. Figure 9)

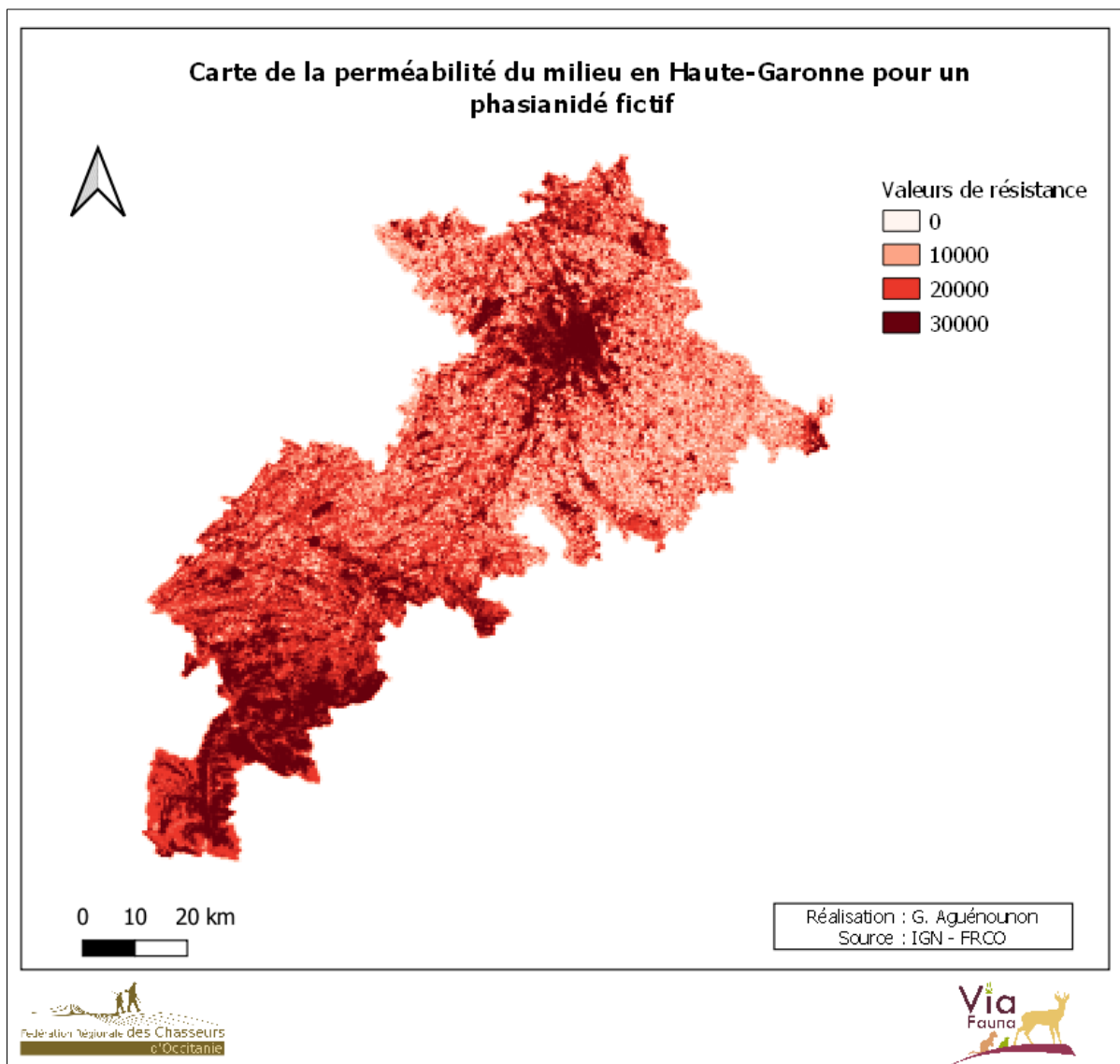


Figure 9 : Carte de perméabilité du milieu en Haute-Garonne du phasianidé fictif.

La méthode utilisée nous a permis de nous affranchir des contraintes subjectives de la détermination des valeurs de résistance. Mais, cette carte de perméabilité se base sur l'occupation du sol sans prendre en compte l'habitat de notre espèce fictive. En effet, les milieux que nous avons définis comme très favorables peuvent s'avérer moins favorables si l'on intègre par les exigences écologiques de notre espèce fictive (cf. figure 5) dans la détermination de son habitat. Par exemple, certaines cultures de blé ou d'orge qui sont très favorables à l'espèce fictive, peuvent se retrouver dans une zone péri-urbaine entourée de divers types de bâti, dépourvue de haies et de bande enherbée. Un tel milieu ne sera pas très favorable à notre espèce fictive. D'où l'importance d'affiner notre carte de perméabilité par les habitats du phasianidé fictif.

4 Création d'une carte de perméabilité affinée ou carte de friction

4.1. Création de la carte de l'habitat d'un phasianidé fictif

Une carte du paysage de l'espèce cible présentera l'habitat et les éléments paysagers influençant ses déplacements positivement ou négativement.

Cinq indicateurs ont été choisis en fonction des préférences écologiques du phasianidé fictif pour déterminer les habitats de l'espèce fictive. Ces indicateurs ont été choisis en fonction des exigences écologiques du phasianidé fictif (cf. Figure 5). Pour déterminer cette carte, nous avons décidé de la réaliser sous forme de maillage où chaque maille correspondra à son domaine vital (100 ha). La méthodologie de création de la carte de l'habitat d'un phasianidé fictif est décrite dans l'annexe 2. Il est question de quantifier la présence de chaque indicateur par mailles. Pour cela, une note allant de 0 à 4 est donnée à chaque indicateur en fonction de certains critères quantitative. Après une somme des notes obtenues est effectuée par maille et les mailles ayant eu les notes les plus hautes, seront celles choisies comme habitat l'espèce phasianidé fictif.

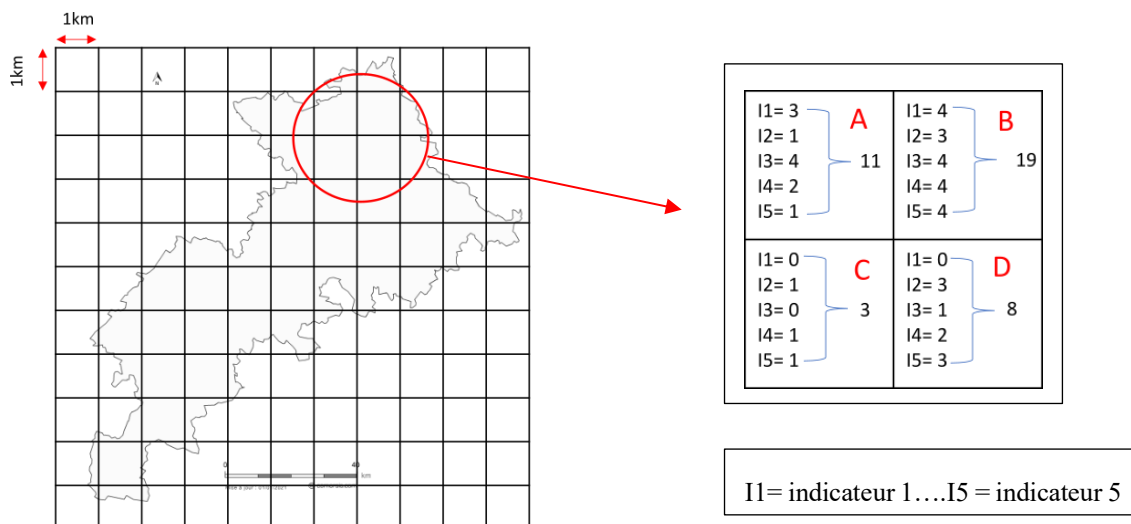


Figure 10 : Illustration du calcul des notes de l'habitat du phasianidé fictif.

Dans cette illustration les lettres A, B, C, D correspondent à des mailles de 100 ha. Chaque maille possède cinq indicateurs avec des notes allant de 0 à 4, qui servira au calcul d'une note globale (20 au maximum). La maille B possède la plus grande note 19, alors c'est elle qui remplit le plus de critères pour être l'habitat du phasianidé fictif.

Indicateur 1 : Présence de culture préférentielle au 100 ha

Définition : Dans le cadre de ce travail, nous avons défini une culture préférentielle comme une culture dont la présence est indispensable dans le domaine vital de l'espèce fictive. Nous avons choisi comme cultures préférentielles le Blé - Orge - Autres céréales – Vigne. Il s'agira de voir si l'une de ses cultures est présente dans les 100ha du domaine vital et attribuer une note entre 0 et 4 à l'indicateur (Tableau 4).

Tableau 4 : Classe des notes pour l'indicateur 1.

Cultures préférentielles présente	Notes
Aucune	0
Une	1

Deux	2
Trois	3
Quatre	4

Indicateur 2 : Superficie de culture préférentielle au 100ha

Définition : C'est la surface totale de cultures préférentielles au 100ha. Elle est calculée en ha. La note de l'indicateur sera donnée en fonction de surface occupée par les cultures préférentielles dans le domaine vitale. Plus elle est grande, plus la note sera élevée. La valeur maximale ne pouvant dépasser 100, nous avons utilisé une distribution en quartiles pour attribuer les notes (Tableau 5). Et cette approche de distribution en quartile sera utilisée aussi pour les autres indicateurs.

Tableau 5 : Classe des notes pour l'indicateur 2.

Surface des cultures préférentielles au 100ha	Notes
= 0 ha	0
>= 0 ha et < 25 ha	1
>= 25 ha et < 50	2
>= 50 ha et < 75	3
>= 75	4

Indicateur 3 : Diversité culturelle au 100 ha

Définition : L'espèce fictive vit dans des milieux qui possèdent une mosaïque de cultures. Le calcul de l'indice de Shannon* sur cet ensemble de culture est appelé diversité culturelle. Aux cultures préférentielles, d'autre culture telle que le tournesol, le colza, le Pois d'hiver, les jachères, les vergers et les Divers ont été ajoutés pour affiner le calcul (Tableau 6).

Tableau 6 : Classe des notes pour l'indicateur 3.

Valeur de l'Indice de Shannon	Notes
=0	0
>=0 et <0,5	1
>=0,5 et <1	2
>=1 et <1,5	3
>=1,5	4

Indicateur 4 : Longueur de limites parcellaires au 100 ha

Définition : les bordures de champs jouent un rôle important dans la présence de l'espèce fictive. Pour calculer leurs valeurs, nous avons pris en compte les calculer des périmètres de chaque parcelle dans notre maille de 100ha. Car il n'existe pas de base de données assez riche sur les bordures de champs. En choisissant de calculer le périmètre de chaque parcelle nous sommes confrontés à la juxtaposition des parcelles, ce qui crée un biais dans les résultats. Pour réduire ce biais nous, nous avons soustrait le contour de la maille (1km *4) du résultat obtenu (Tableau 7).

Tableau 7 : Classe des notes pour l'indicateur 4.

Longueur des limites parcellaires (km)	Notes
=0	0
>=0km et <15km	1
>=15km et <30km	2
>=30km et <45km	3
>45 km	4

Indicateur 5 : Longueur de linéaire de haies au 100 ha

Définition : c'est de la longueur des haies totale au 100ha (Tableau 8).

Tableau 8 : Classe des notes pour l'indicateur 5.

Longueur de linéaire de haies (Km)	Notes
=0	0
>=0km et <3km	1
>=3km et <6km	2
>=6km et <9km	3
>9Km	4

- Pondération :

Chacun de ces indicateurs à une importance différente dans la présence de l'espèce. Pour cela nous avons choisi d'appliquer une pondération à chaque indicateur. Cette pondération est appliquée en fonction de l'importance que nous donnons à la présence d'un indicateur dans le domaine vital du phasianidé fictif.

Ce choix s'est basé sur des échanges avec les techniciens de la Fédération Départementale des Chasseurs de Haute-Garonne. De ces échanges nous avons choisi de mettre la diversité culturelle en indicateur le plus important avec une pondération de 3. Ensuite la Présence obligatoire de cultures préférentielles et la longueur des limites parcellaires une pondération de 2 et tous les autres indicateurs restent à 1 (Tableau 9).

Tableau 9 : Note maximum et note pondérée.

Critères	Note maximum	Pondération	Note pondérée
Présence obligatoire de cultures préférentielle	4	2	8
Pourcentage de cultures obligatoire	4	1	4
Diversité culturelle	4	3	12
Longueur des Limites parcellaires	4	2	8

Longueur de Linéaire de haies	4	1	4
Totale	20		36

Après calcul, la note pondérée la plus élevée est de 34 (cf. figure 11). Nous avons utilisé la classification de Jenks pour classer les notes en cinq classes. Dans la classification par seuils naturels (Jenks), les seuils de classe sont déterminés de manière à optimiser le regroupement des valeurs similaires et à maximiser les différences entre les classes (Geospatial Analysis 6th Edition, 2021). C'est-à-dire que les limites sont définies aux endroits où se trouvent de grandes différences dans les valeurs de données.

- **Résultats**

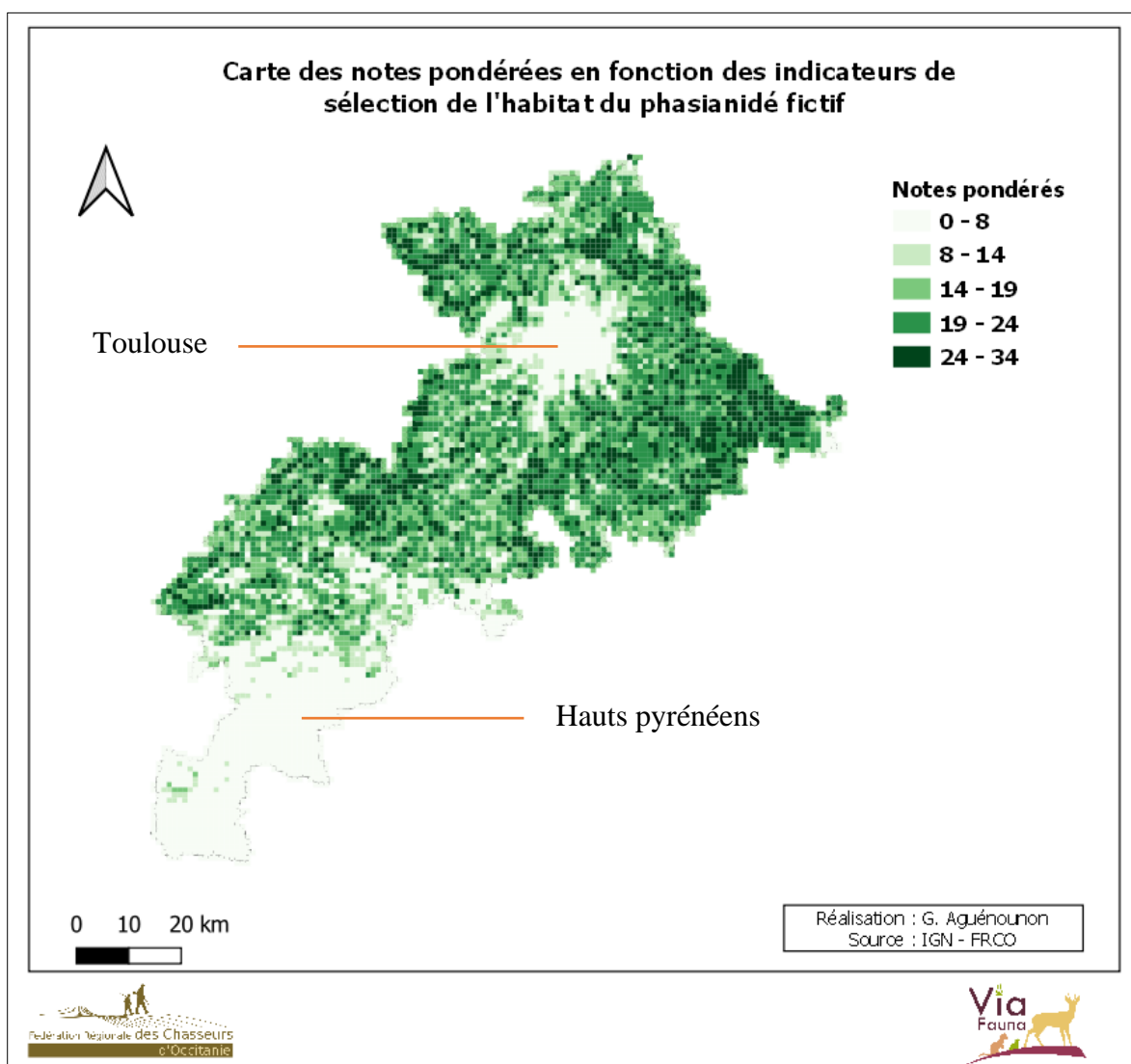


Figure 11 : Carte des notes pondérées en fonction des indicateurs de sélection de l'habitat du phasianidé fictif.

Cinq classes ont été créées en se basant sur les ruptures naturelles de Jenks. De 0-8 ; 8-14 ; 14-19 ; 19-24 ; 24-34. Après une interprétation par lecture paysagère, nous remarquons que la

classe la plus petite (couleur la plus claire) correspond aux milieux défavorables de l'espèce. Car nous retrouvons dans cette classe la grande agglomération de Toulouse au nord de la carte et au sud les Hauts pyrénéens, une zone montagneuse qui ne correspond pas à notre phasianidé fictif. La classe de 24-34 (couleur la plus foncée) correspond à des zones agricoles assez diversifiées ce qui correspond plus son milieu favorable.

Pour vérifier cela la carte a été présentée aux experts de la Fédération départementale du 31 pour validation. En se basant sur leur connaissance du milieu, il en ressort que les classes de 24 -34 correspond plus aux lieux où l'on retrouve la perdrix rouge. Pour ceux cette classe reflète assez bien la réalité du terrain. Les zones comme Lauragais, le Volvestre et les Coteaux sont les plus représentées (cf. figure 12).

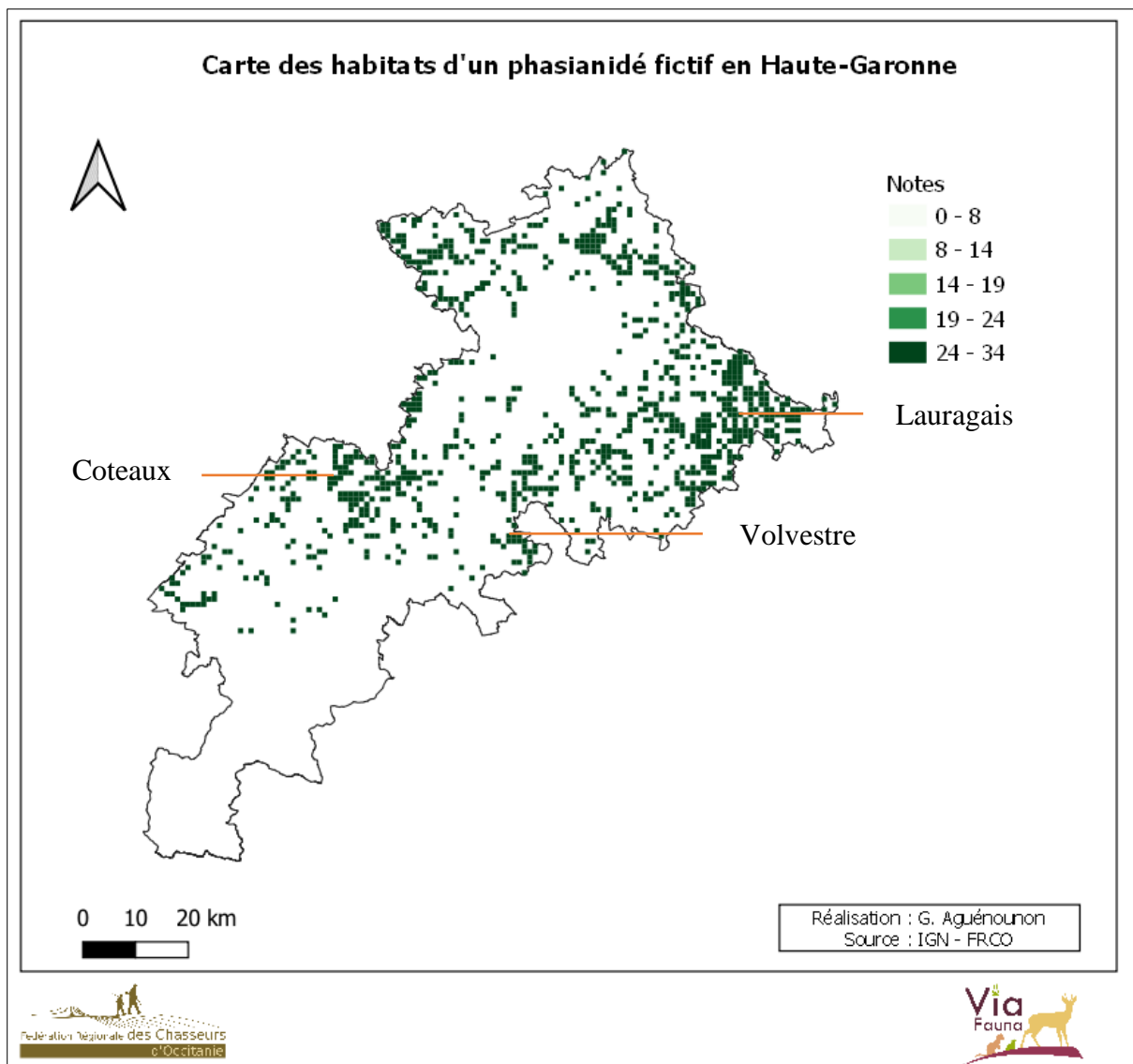


Figure 12 : Carte des habitats d'un phasianidé fictif en Haute-Garonne.

4.2 Amélioration des valeurs de résistance

Nous avons une carte de perméabilité avec une maille de 25 ha et une carte des habitats avec une maille de 100 ha. Le but est d'obtenir une carte de friction avec de maille de 25 ha, qui

prennent en compte les habitats de notre espèce fictive. Lorsqu'on superpose les deux cartes, nous remarquons que dans les habitats du phasianidé fictif, nous avons des mailles de 25 ha qui correspondent à des milieux favorables, moyens et défavorables. Ce qui signifie que dans son propre domaine vital, l'espèce aura du mal à se déplacer. Or ce qui n'est pas très logique. Alors grâce à la carte des notes pondérées (figure 11), nous allons améliorer les valeurs de résistance, en nous assurant qu'une maille entièrement défavorable dans d'habitat ne soit jamais plus favorable qu'une maille moyenne hors d'un secteur d'habitat. Ainsi nous avons empiriquement choisi un facteur correctif assez faible. Alors :

- La valeur de résistance 0 des milieux Très favorables sera réduite de 25% soit de 0
- La valeur de résistance 10000 des milieux favorables sera réduite de 12,5% soit de 1250
- La valeur de résistance 20000 des milieux moyens sera augmenté de 25% soit de 2500
- La valeur de résistance 30000 des milieux défavorables sera augmenté de 12,5% soit de 7500

Afin de réaliser cette opération des indices ont donnée à chacune des 5 classes de la carte des notes pondérées pour avoir une nouvelle couche. Soit la classe 0 – 8 correspond à 1,25 ; la classe 8 – 14 correspond à 1,125, la classe 14 – 19 correspond à 1, la classe 19 – 24 correspond à 0,875, la classe 24 – 34 correspond à 0,75. Cette nouvelle couche est appelée carte des indices (cf. figure 13).

On multiplie ensuite les deux couches pour obtenir une carte de friction, dont la valeur varie entre 0 au minimum (100% d'OS très favorable de valeur 0) et 37 500 (100% d'OS très défavorable modulée à +25%) (cf. figure13)

4.3. Résultats

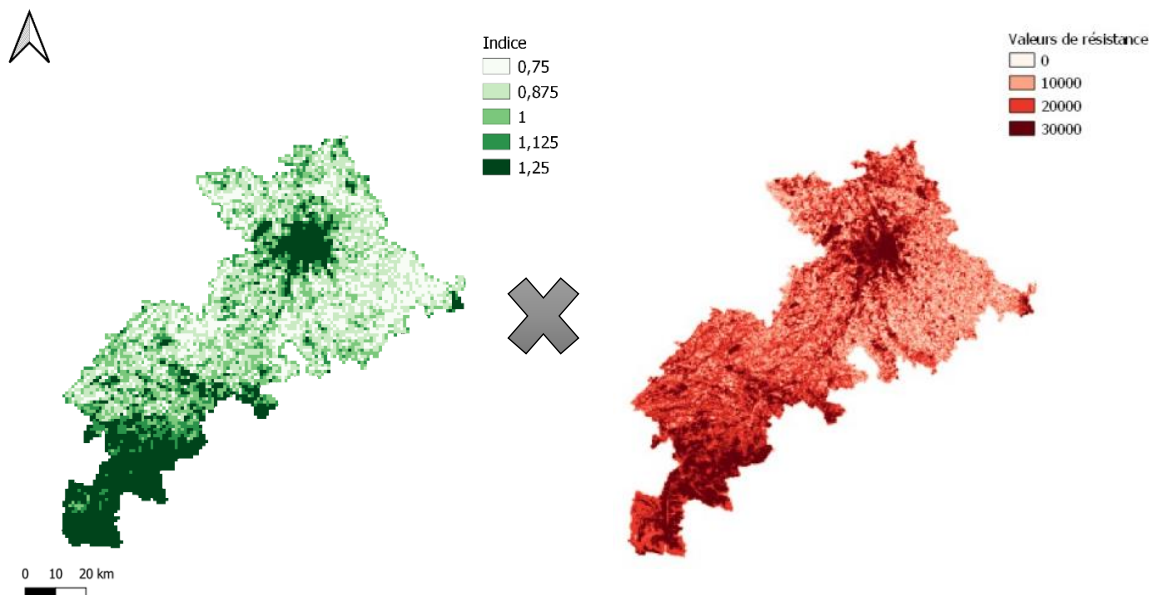


Figure 13 : Carte des indices et carte des valeurs de résistance.

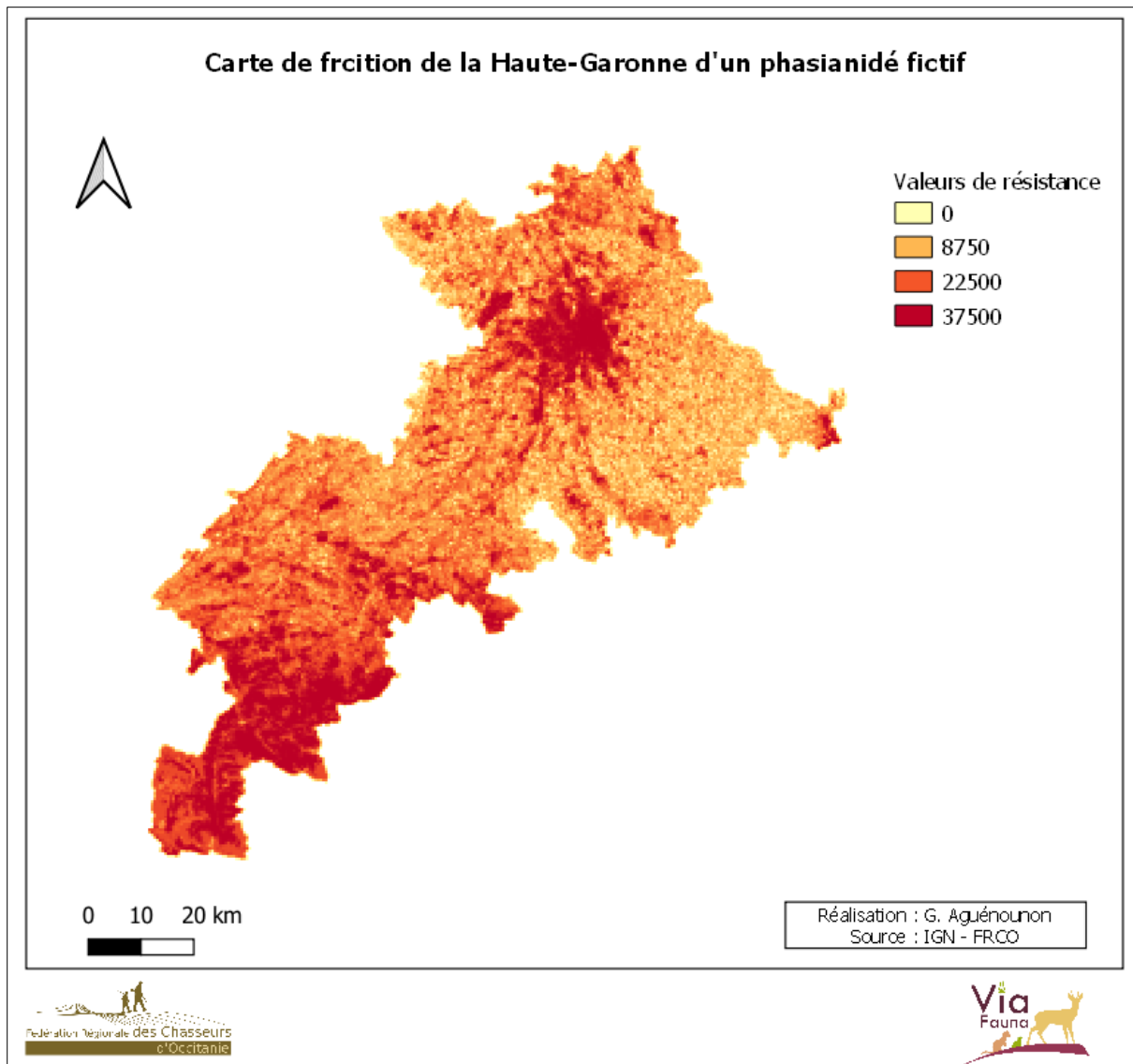


Figure 14 : Carte de friction d'un phasianidé fictif en Haute-Garonne.

Cette carte (cf. figure 14) présente les milieux très favorables (en couleur plus claire) au déplacement de l'espèce et ceux qui sont défavorable à son déplacement (en couleur plus foncée). Toutes les zones urbaines, de forêt et de montagnes se retrouvent dans les milieux infranchissables.

Afin de nous assurer que cette carte de friction représente réellement le paysage de la perdrix rouge, elle a été donnée pour validation aux experts de la fédération départementale des chasseurs de Haute-Garonne. Et pour eux, les zones définies comme infranchissables ou freinant le déplacement du phasianidé fictif correspondent à celle de la perdrix rouge.

5 Détermination des continuités écologiques et des ruptures de continuités

5.1. Perméabilité du paysage avec l'algorithme développé pour le projet Via Fauna

5.1.1 Méthodologie

Dans le cadre du projet Via Fauna, un algorithme a été élaboré par la Fédération Régionale des Chasseurs d'Occitanie, afin de mettre en évidence les continuités écologiques. Cet algorithme

à un fonctionnement simple : il relie deux points entre eux par des lignes en fonction des valeurs de résistance définie grâce à la carte d'occupation du sol. Les points sont considérés comme les points de départ et d'arriver de l'espèce cible, de ce fait, ils doivent être localisés dans les habitats de cette dernière. Les lignes sont les chemins de moindre coût qui relient l'ensemble des points dans un rayon défini par la distance de dispersion de l'espèce cible. Ainsi, pour chaque point de départ ou d'arrivée, les chemins de moindre coût sont tracés en fonction des valeurs de résistances rencontrées entre tous les points de départ ou d'arrivée dans un rayon donné.

- Donnée d'entrée

Carte de Friction

Point de départ et d'arrivées

- Détermination des points de départ et d'arrivée

Les points de départ et d'arrivée sont déterminés en fonction de deux critères. Le premier, est qu'ils doivent se trouver dans une maille de 25ha qui correspond à l'habitat de l'espèce fictive avec la valeur de résistance la plus faible. Et le deuxième critère, est qu'il faut impérativement que le départ ou l'arrivée de l'espèce se fasse sur une culture obligatoire. Les traitements réalisés sont décrits dans l'annexe 3.

5.1.2 Résultats

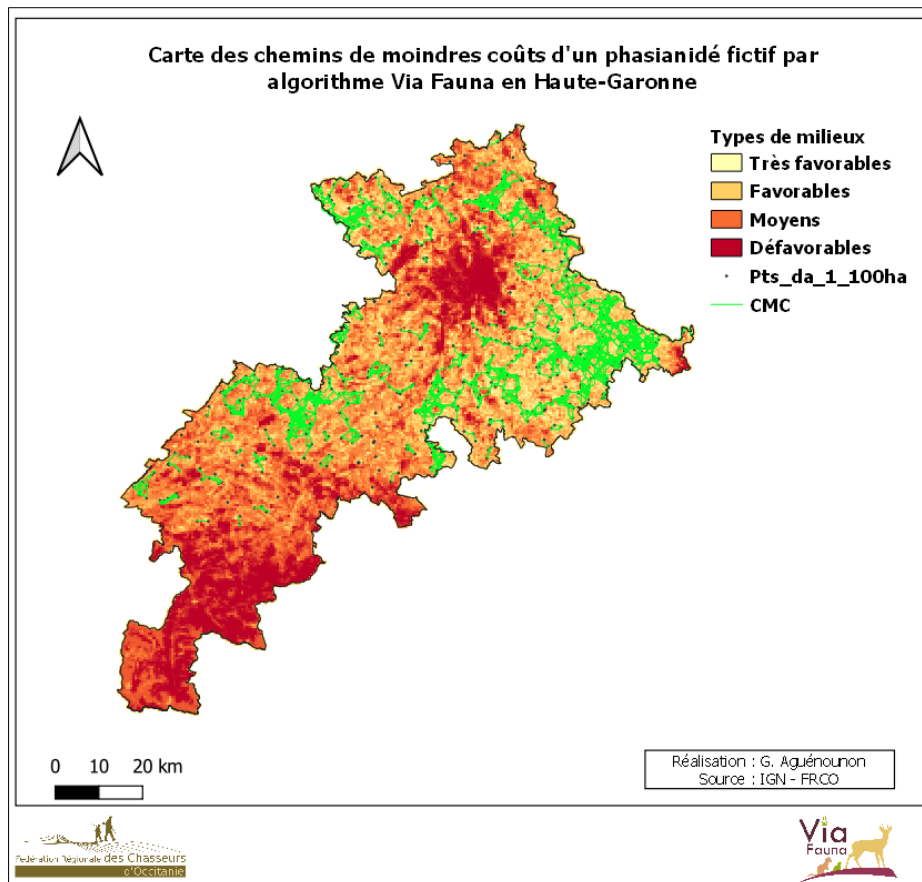


Figure 15 : Carte des chemins de moindres coûts d'un phasianidé fictif par algorithme Via Fauna en Haute-Garonne.

La carte des chemins de moindres coûts d'un phasianidé fictif générée par l'algorithme Via Fauna (figure 15), nous présente les chemins de moindres coûts (en vert) entre les habitats du phasianidé fictif. Les milieux défavorables (en rouge) sont évités, contrairement aux autres milieux. Il y a une richesse de chemins de moindres coûts dans les milieux très favorables et favorables. Ces zones sont Lauragais, Volvestre, coteaux gascons. Avec une grande richesse de connexion dans la zone de Lauragais. Un zoom de la carte au niveau de Lauragais permet de le constater (cf. figure 16)

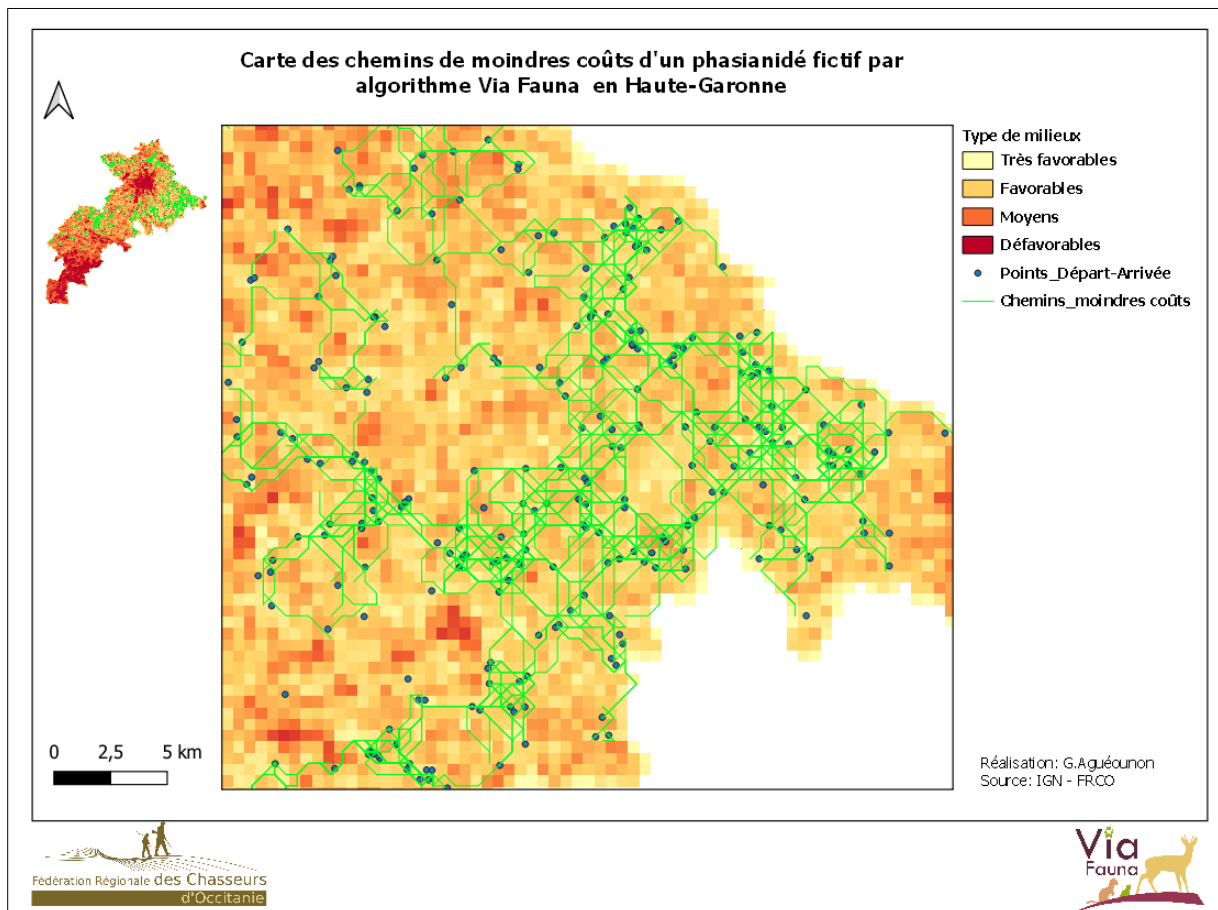


Figure 16 : Carte des chemins de moindres coûts d'un phasianidé fictif par algorithme Via Fauna : Zone de Lauragais.

Ce zoom nous permet de constater la richesse des chemins de moindres coûts observés dans ce secteur. Cette richesse est due aux nombres importants de points de départ et des points de d'arrivée, ce qui implique une zone riche en phasianidé fictif. Chaque trait évite systématiquement toutes les mailles à valeurs de résistance élevée.

Les résultats obtenus sont en adéquation avec les zones dites à Perdrix rouge du département de Haute-Garonne.

5.2 Graphe paysager avec le logiciel graphab

Le logiciel Graphab utilise la méthode de la théorie des graphes pour modéliser les réseaux écologiques. Il est composé de 4 modules qui permettent d'avoir :

- Une identification des taches d'habitat et des liens
- Un calcul de métriques de connectivité
- Un modèle de distribution d'espèces et interpolation de métriques de connectivité
- Une Interface de géo-visualisation

Le logiciel Graphab est en libre-service ; et, est facilement interfacé avec les Systèmes d'Information Géographique et possède une extension sur QGIS. Etant donné qu'il se base sur les mêmes données d'entrée que l'algorithme du projet Via Fauna, nous avons jugé bon de l'utiliser pour voir s'il pouvait servir à d'outil annexe.

5.2.1 Principe méthodologique

Données à utiliser

- Une carte raster qui montre les habitats de l'espèce fictive
- Une carte de fiction aussi en raster

Construction du graphe paysager

- Nœuds du graphe

Un nœud est une tâche d'habitat préférentiel pour l'espèce cible. Il est associé à un indicateur de potentiel démographique appelé « capacité », qui traduit la qualité ou le potentiel de l'habitat préférentiel à accueillir une population. (Annexe 4)

Nous allons prendre comme habitat préférentiel seulement des mailles de 25 ha qui remplissent certaines conditions :

- Appartenir à l'habitat du phasianidé fictif
- Avoir la valeur de résistance la plus proche de 1
- Avoir au moins une culture de Blé - d'Orge - Autres céréales – Vigne dans le périmètre de la maille.

Par convention, dans graphab la valeur de résistance de l'habitat préférentiel est 1.

- Liens du graphe

Un lien est un chemin de moindre coût qui relie deux habitats préférentiels. Il en existe deux types de topologie pour les liens :

-Topologie complète : tous les liens entre toutes les tâches sont pris en compte.

-Topologie planaire : seuls les liens entre les tâches « voisines » sont pris en compte.

Une fois les liens potentiels définis, il reste à finaliser le graphe en choisissant quels sont les liens

- Seuillage du graphe

Un graphe est seuillé pour supprimer les liens de grande distance (distance euclidienne) ou trop coûteux (distance coût). Le but est d'avoir un graphe qui présente les liens (chemins de moindre coût) dont le cout de déplacement correspond à ce que peut réaliser l'espèce.

- Calcul de métriques

Il existe plusieurs métriques globales dans graphab, mais les plus utilisées sont les métriques de connectivité équivalente (EC), de centralité intermédiaire ou Betweenness Centrality (BC) et de Flux d'interaction (IF).

- Connectivité équivalente (EC)

Elle fait partie de métriques globales et se définit comme « la taille d'une tache d'un seul tenant (donc connectée au maximum) qui fournirait une même probabilité de connectivité que le réseau d'habitat réel à l'échelle du paysage » (Saura et al., 201116). Elle indique la quantité d'habitat atteignable, c'est-à-dire la connectivité globale de toute la zone.

Les métriques de centralité intermédiaire et de Flux d'interaction sont classées parmi les métriques locales.

Une métrique locale caractérise la connectivité d'un élément du graphe (une valeur attribuée à chaque nœud et/ou chaque lien). Il permet de comparer le niveau de connectivité de chaque élément du graphe afin d'identifier les éléments les plus « importants ». Elle évalue l'impact local d'un changement dans le paysage.

- Indice de centralité intermédiaire (Betweenness Centrality) BC

C'est un indicateur du flux potentiel traversant les liens et les tâches. Elle tient compte de la distance entre la tâche *i* et les autres tâches, et des capacités de la tâche *i* et des autres tâches.

La valeur de BC pour une tâche *i* est forte si cette tâche est parcourue par un grand nombre de chemins à l'intérieur du graphe (fréquence d'utilisation).

$BC = \text{nbre de chemins passant par le fragment concerné} / \text{nbre de chemins reliant les fragments alentours}$

- Le Flux d'interaction (IF)

C'est un indicateur des interactions potentielles entre une tâche *i* et toutes les autres tâches du réseau. Il tient compte de la distance entre la tâche *i* et les autres tâches, et des capacités de la tâche *i* et des autres tâches. Le Flux d'interaction est calculé en faisant la somme des produits de la capacité de la tâche focale avec toutes les autres tâches, pondérées par leur probabilité d'interaction

La valeur de IF pour une tâche *i* est forte si la tâche *i* a une forte capacité ou elle a beaucoup de tâches proches ou encore les tâches proches ont une forte capacité.

Cette métrique fait ressortir le « cœur du réseau », les tâches importantes et bien connectées.

Pour faire simple, c'est le potentiel d'interaction d'une tâche.

Les différentes que nous avons suivi sont représentées dans la figure 17.

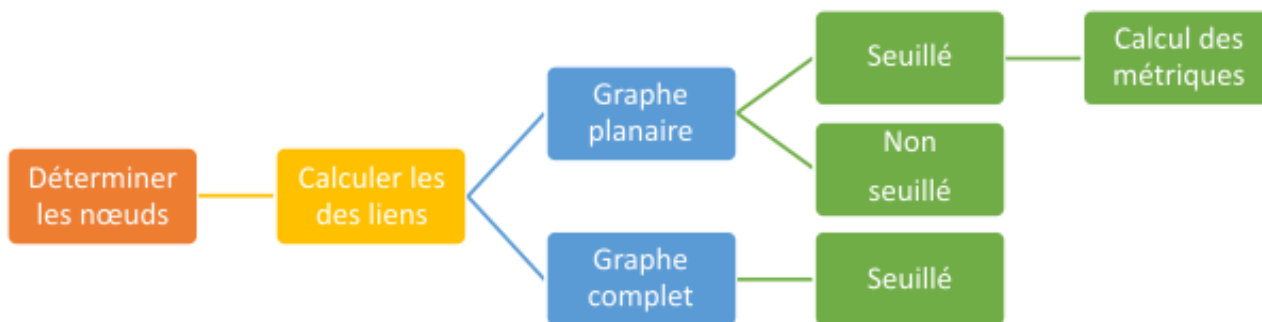


Figure 17: Différentes étapes du logiciel graphab version 2.

5.2.2 Résultats

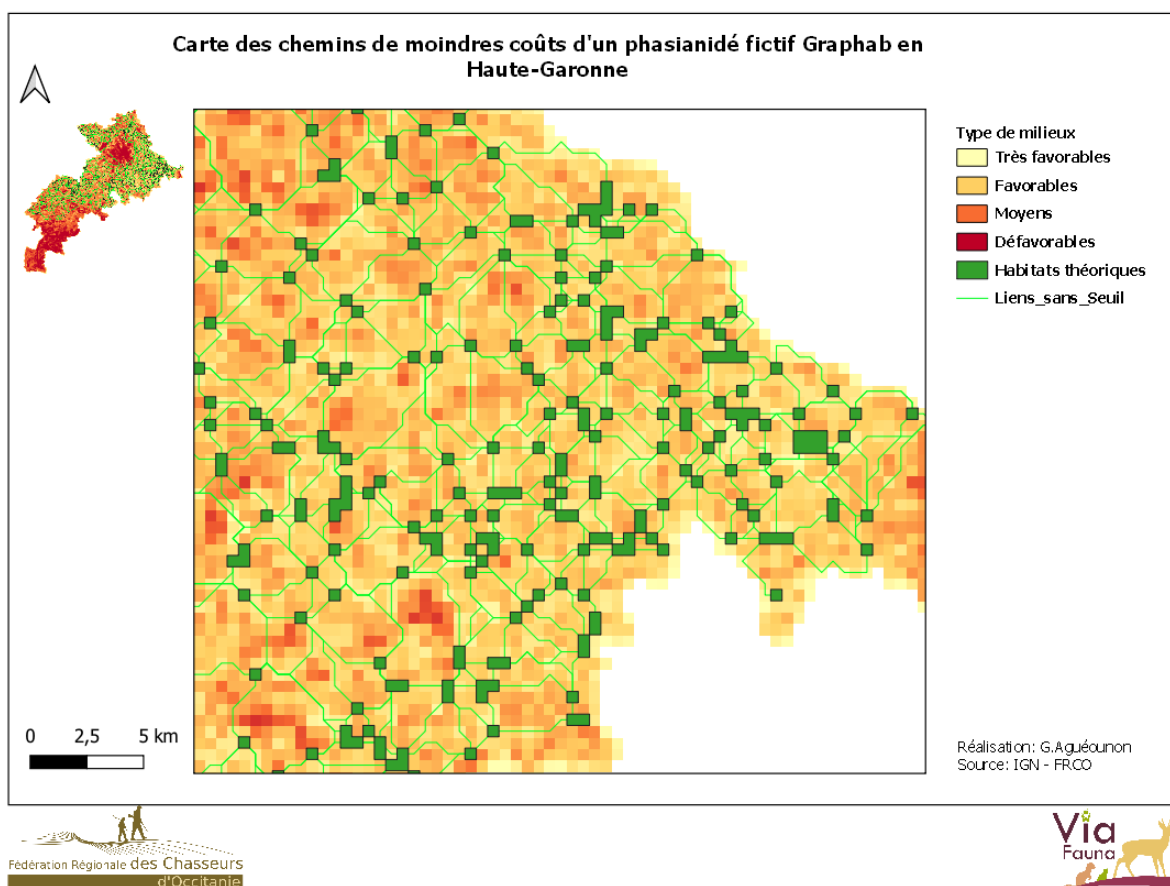


Figure 18: Carte des chemins de moindres coûts d'un phasianidé fictif avec Graphab en Haute-Garonne.

La carte du sud de Lauragais (Figure 18) montre tous les liens chemins de moindre qui existent entre les différents habitats. Ces chemins se construisent en évitant les mailles à fortes valeurs de résistance (37500) et en privilégiant celles à faibles valeurs de résistance.

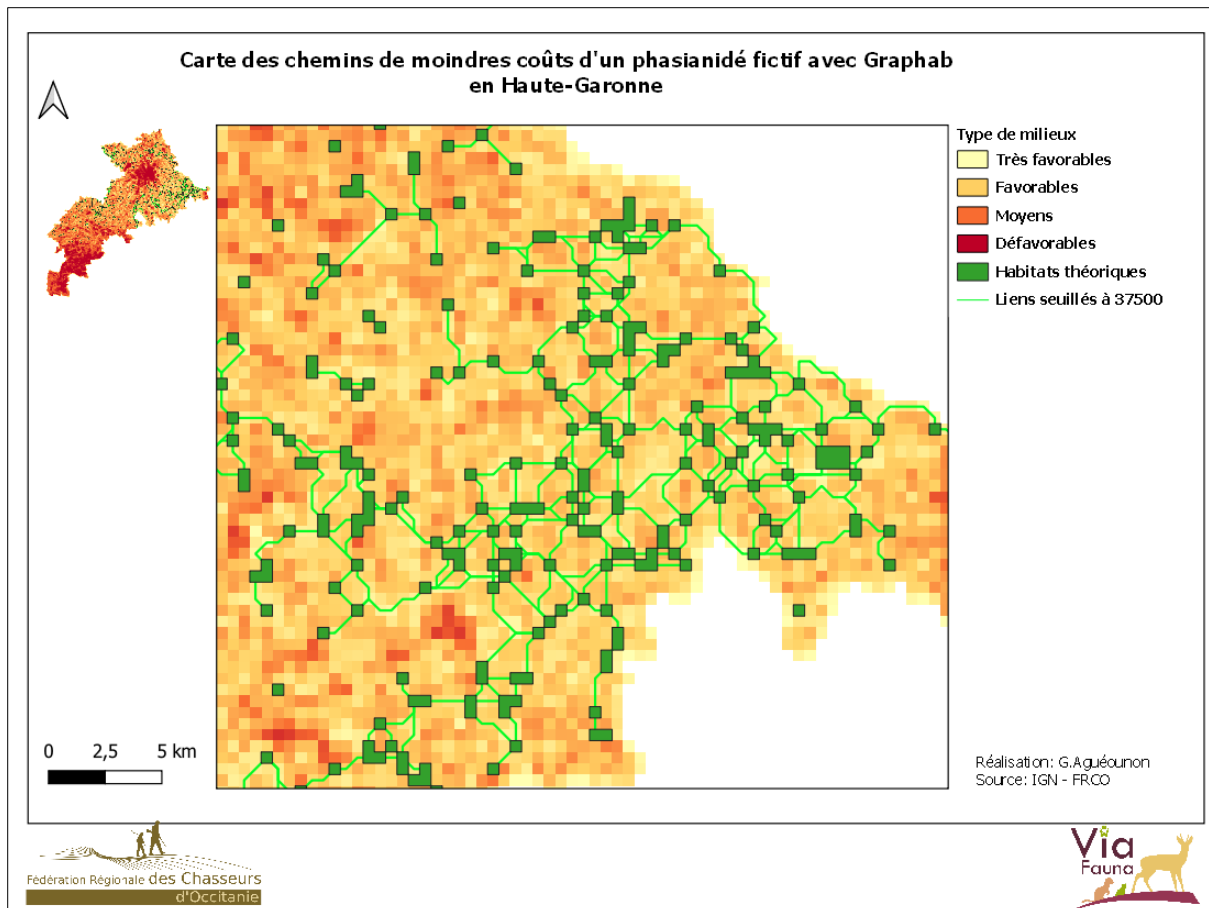


Figure 19 : Carte des chemins de moindres coûts d'un phasianidé fictif avec Graphab en Haute-Garonne : Graphe seuillé.

Cette carte (figure 19) présente les nœuds et les liens obtenus lorsqu'on seuille le graph à un coût de 37500. Ce coût correspond à la valeur maximale de résistance pour notre espèce fictive. Les nœuds sont représentés en fonction de leur capacité de charge, c'est la surface en mètre carré de la tâche d'habitat. Plus ils seront foncés et plus, ils auront une grande capacité de charge (entre 1250000 et 1750000). Et plus ils seront clairs et plus basse sera leur capacité de charge 250000.

- Calcul des métriques

Cette carte (cf. figure 20) présente les habitats centraux du réseau, ceux qui sont des points de passage presque obligatoire. Les sommets sombres correspondent aux habitats centraux du réseau et les plus claires ceux isolés. Les liens représentent le nombre de chemins qui passent par le sommet. Plus il est foncé et plus le chemin est fréquenté et plus, il est clair et nous avons des chemins pas du tout exploités. Grâce à cette métrique, nous arrivons à identifier les habitats centraux du réseau, ceux qui assurent le lien entre les autres habitats. Si ces habitats disparaissaient, cela créerait des ruptures de continuités et la disparition de leur population.

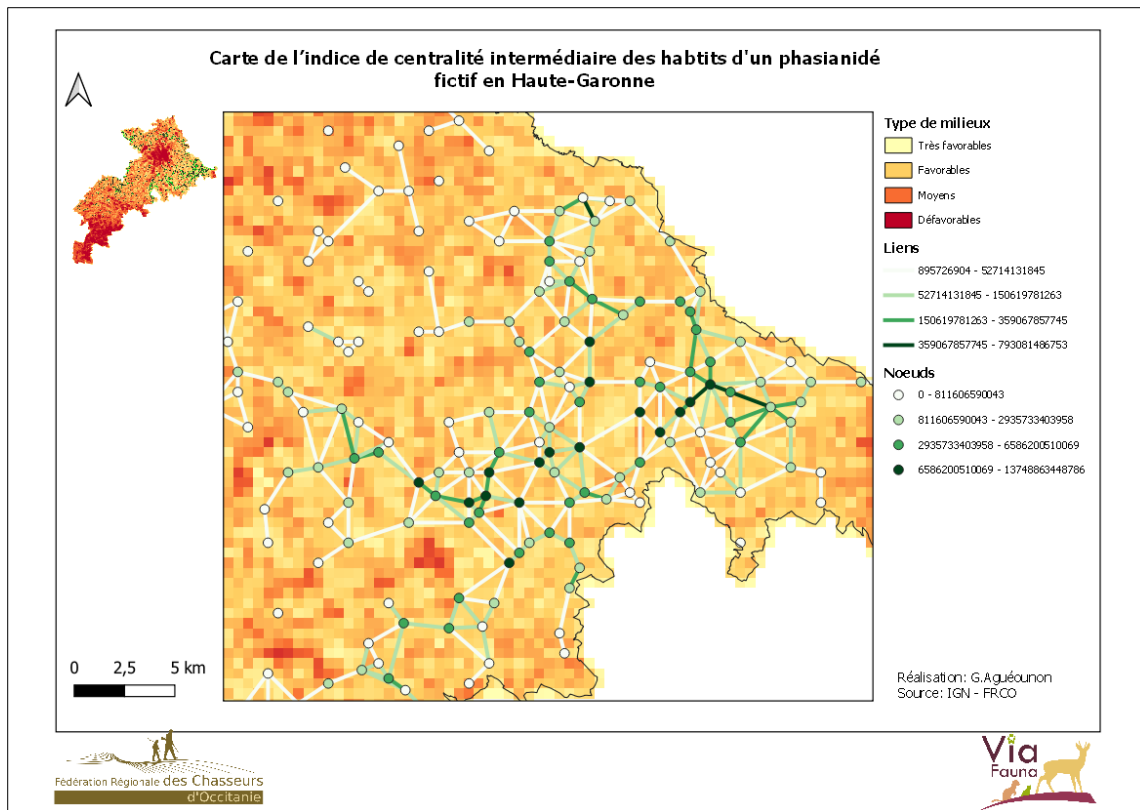


Figure 20 : Carte de l'indice de la centralité intermédiaire entre les habitats d'un phasianidé fictif en Haute-Garonne.

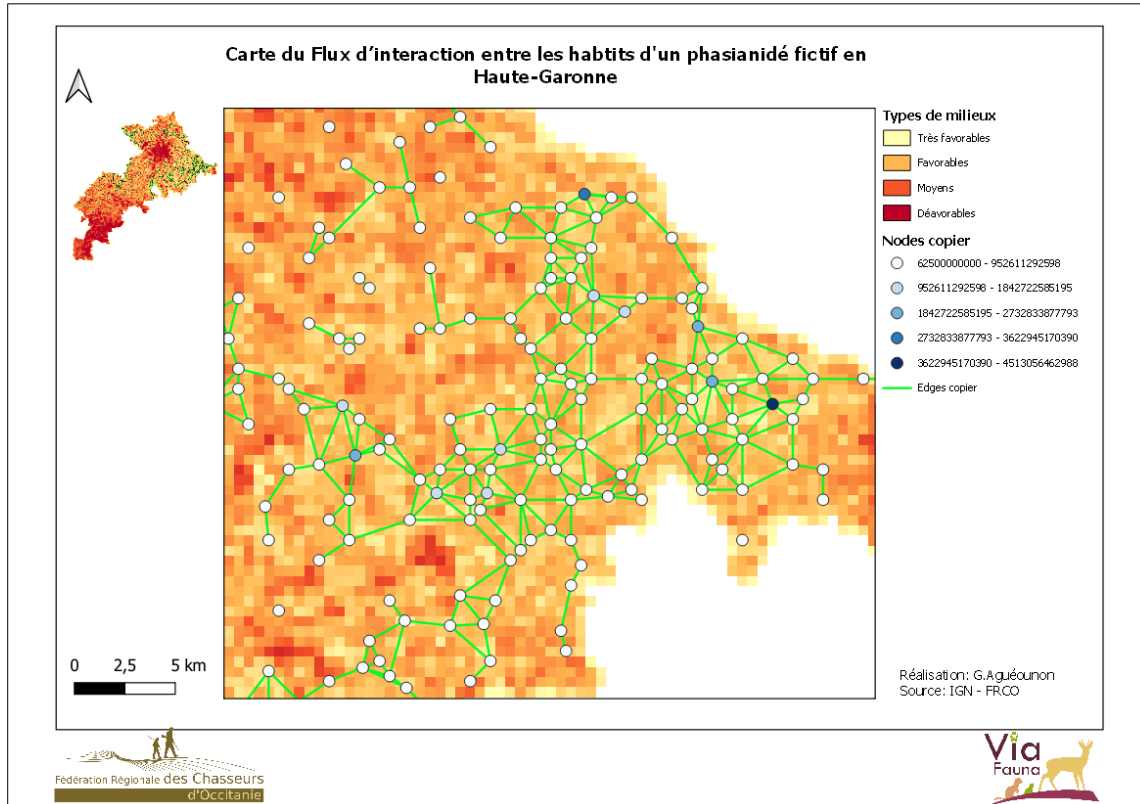


Figure 21 : Carte du Flux d'interaction entre les habitats d'un phasianidé fictif en Haute-Garonne.

Cette carte (cf. figure 21) présente le flux d'interaction potentiel entre les habitats. Plus un habitat proche des autres et plus, il sera foncé. Les habitats clairs correspondent à ceux qui sont éloignés les uns des autres. Cette métrique nous montre les habitats qui peuvent avoir potentiellement le plus d'interaction avec les autres. À condition, de ne pas avoir des milieux défavorables qui empêchent le lien.

6 Discussion et perspective

6.1. Approche « espèce » par perméabilité

L'approche « espèces » est une approche fonctionnelle qui offre une analyse adaptée à une espèce bien précise. Elle permet de mettre en avant les fonctionnalités d'un réseau écologique en s'appuyant sur les capacités de déplacements de l'espèce cible et son intérêt pour les différents milieux du paysage. Elle permet de prendre en compte les traits fonctionnels (écologiques et éthologiques) de l'espèce cible et offre la possibilité d'étudier chaque sous-trame individuellement (Locquet et Clauzel, 2018). Bien que nous l'ayons ici appliquée à des espèces animales, cette approche peut également être mobilisée pour identifier les zones potentielles de dispersion des végétaux (Hilty, et al., 2012). L'approche « espèces » rend possible l'analyse des milieux situés dans le champ de dispersion de l'espèce étudié et s'intéressent à l'ensemble de ces milieux sans faire la distinction entre eux. C'est-à-dire les milieux qui présentent des éléments favorables au déplacement de l'espèce et ceux qui freinent ou empêchent le déplacement (François, et al., 2010) sont tous pris en compte dans l'analyse. En effet, c'est une approche qui permet de mettre en relief ces zones de fragmentation difficilement franchissables afin d'identifier les corridors écologiques. Ceci offre la possibilité aux scientifiques de connaître les lieux où des aménagements pourraient être envisagés pour créer ou restaurer des continuités écologiques (Allen, et al., 2016). Ce type d'analyse pourrait également être utilisé pour vérifier l'impact potentiel d'un aménagement sur un territoire. Pour cela, il faut intégrer à l'analyse les aménagements potentiels et tester leur perméabilité pour l'espèce cible. C'est exactement ce qu'a réalisé la Fédération Régionale des chasseurs avec le Projet Via Fauna.

Cette approche est particulièrement appropriée dans les cas où il est nécessaire d'identifier et restaurer le réseau écologique pour une espèce ; car elle évalue les milieux qui sont favorables pour l'espèce et ceux qui lui sont défavorables, ce qui permet d'envisager des mesures adaptées dans la gestion de ladite espèce. De plus, la prise en compte de l'approche « espèces » pour analyser le réseau écologique, peut apparaître comme étant plus communicante pour dialoguer avec les acteurs du territoire et leur faire part des enjeux liés à la fragmentation des habitats (Liénard et Clergeau, 2011). Ce type de lecture n'est pas évident avec l'approche « habitat », car, étant centré sur les habitats remarquables, il ne prend pas en compte les habitats ordinaires qui peuvent pourtant être utilisés par un certain nombre d'espèces.

- Les limites

Cette approche « espèce » présente néanmoins certaines limites. Tout d'abord, les résultats dépendent fortement de la qualité et de la précision des données utilisées en entrée. Si ces dernières manquent de précision, cela peut créer un biais dans l'analyse finale. Plusieurs auteurs s'accordent pour reconnaître que la qualité de l'analyse dépend des connaissances techniques sur les méthodes et de la disponibilité des données (Amsallem, et al., 2010). Cela suppose qu'il peut y avoir des biais au cours de la réalisation de ces méthodes, mais également qu'elles ne sont pas aisément reproductibles puisqu'elles supposent de mobiliser des données et

connaissances en SIG plus précises. Tout d'abord, il peut y avoir un biais du fait de la qualité des données sur les espèces utilisées.

En effet, seules les espèces documentées et connues sont étudiées, ce qui exclut les autres espèces, qui peuvent présenter un intérêt pour leur conservation. Si une espèce cible, dispose d'assez peu d'informations (relevés ou inventaire), la modélisation s'appuie principalement sur des connaissances théoriques telles que les exigences écologiques, la distance de dispersion ainsi que sur les préférences paysagères des différentes espèces. Les comportements des individus ou leur adaptation face aux différents milieux sont ici difficiles à prendre en compte, bien qu'il ait été montré que ce dernier peut influencer la perméabilité du milieu étudié (Jolivet, et al., 2015). De plus, le choix des coefficients de résistance est délicat, d'une part parce que l'on manque d'informations sur le degré réel de résistance des milieux, et d'autre part, parce qu'ils sont conditionnés par le choix des données (distance de dispersion, taille de pixels) qui peuvent entraîner des biais. Il est vrai que les valeurs de résistances doivent être faibles pour les milieux favorables et élevés pour les milieux défavorables, mais le choix de cette valeur est souvent relativement arbitraire. Cependant, une norme a été identifiée dans la littérature, les valeurs de résistances contrastées entre les milieux favorables et défavorables étaient plus pertinentes que des valeurs rapprochées (Clauzel, et al., 2013).

L'approche « espèce » ne permet pas de prendre en compte plusieurs espèces. C'est pourquoi il est nécessaire de s'appuyer sur des espèces « parapluies », dont la surface du domaine vital est suffisante pour que leur protection facilite la protection d'autres espèces. Ou dans le cas de cette étude que nous avons réalisé sur une espèce emblématique dont la gestion cynégétique interpelle tous les acteurs du territoire. Et enfin, son élaboration à l'échelle d'un grand territoire tel qu'une région s'avère relativement longue, ce qui peut ne pas convenir aux temporalités des acteurs de terrains.

6.2. Graphe paysager et Graphab

Les graphes paysagers constituent un moyen de caractériser la connectivité fonctionnelle des habitats. Ils sont utilisés de plus en plus par les chercheurs en écologie du paysage et commencent à être exploités dans des perspectives opérationnelles (Pereira et al., 2011). Les graphes paysagers offrent un intérêt dans le cadre de la définition des trames vertes et bleues, car ils peuvent être considérés comme des représentations cartographiques simplifiées de réseaux écologiques. En effet, bien qu'ils conduisent à des visualisations permettant de représenter les continuités écologiques, leur objectif n'est pas simplement d'ordre cartographique. En tant que modèles de représentation des réseaux écologiques, les graphes paysagers doivent tout d'abord être confrontés à la réalité de terrain, pour ne pas être simplement limités à des propositions descriptives. D'où l'importance d'une démarche de validation sur le terrain de nos résultats. Par le biais de cette démarche de validation, les graphes paysagers peuvent fournir des indicateurs explicatifs vis-à-vis de la perdrix rouge, de sa distribution et à même de la structure de sa population (Foltête et al., 2012). Ils peuvent constituer une première approche avant d'autres investigations, vers des analyses à caractère démographique ou génétique (Luque et al., 2012). Inversement, les besoins cartographiques liés aux trames vertes et bleues ne peuvent pas être totalement satisfaits par l'usage des graphes paysagers tels qu'ils sont appliqués actuellement, notamment en raison des limites inhérentes aux distances de moindre coût (Sawyer et al., 2011). En effet, sur graphab, il est presque impossible de se lancer dans un traitement avec des distances métriques ou de coût trop élevé.

Ce qui limite énormément son utilisation dans certains cas ; comme avec des espèces à forte dispersion.

Les graphes paysagers se veulent simples et opérationnelles, étant donné que les outils informatiques sont disponibles et accessibles pour tout le monde, chercheurs comme non chercheurs. Mais, néanmoins, il faut une maîtrise des concepts sous-jacents de « Java », des propriétés des graphes et des métriques de connectivité. Ce qui n'est pas à la portée de tout le monde.

7 Conclusion

Cette étude sur la modélisation des continuités écologiques de la sous-trame des milieux cultivés, nous a permis de comprendre l'importance d'adapter chaque méthode à son contexte. La méthodologie d'approche pour cette modélisation est totalement différente de celle des sous-trames forestières. Cela montre la complexité qu'impose la création d'un modèle en écologie, et plus particulière avec une espèce à enjeux. L'approche « espèce » reste assez simple à comprendre et apporte une vision de la fonctionnalité d'un paysage. Ce qui en fait un réel outil d'aide à la décision. Les graphes paysagers, eux aussi, apportent des solutions complémentaires dans la mise en place de la trame verte et bleue. Mais malheureusement, ils ne sont actuellement davantage exploités que par les chercheurs et non, par les praticiens de l'aménagement.

En ce qui concerne le résultat de la modélisation obtenu dans le cadre de cette étude, nous suggérons qu'il serait aussi intéressant d'améliorer le modèle en ajoutant d'autres variables comme le type d'agriculture, par exemple : agriculture biologique vs conventionnelle.

Ce stage à la Fédération Régionale d'Occitanie, fut aussi l'occasion pour nous de découvrir le monde professionnel et plus particulièrement celui des associations. Nous avons pu échanger avec les responsables de divers projets tel que Via Fauna, Mileoc (restauration de mares et autres milieux lentiques en Occitanie) et CORRIBIOR. Cela nous a permis de voir le rôle déterminant des SIG dans la réalisation de ces projets. Ce fut aussi l'occasion de réaliser diverses tâches avec des logiciels comme Qgis et Graphab et de découvrir de nouvelles bases de données tel que le Registre Parcellaire Graphique, d'utiliser de nouveau logiciel comme graphab. Durant notre séjour à la Fédération Régionale des Chasseurs d'Occitanie, chaque jour était un véritable apprentissage à la vie professionnelle.

Références Bibliographiques

- Allen, C. H., Parrott L., Kyle C., 2016. An individual-based modelling approach to estimate landscape connectivity for bighorn sheep (*Ovis canadensis*). *PeerJ*, 4, e2001.
- Amsallem J., Deshayes M., Bonneville M., 2010. Analyse comparative de méthodes d'élaboration de trames vertes et bleues nationales et régionales, Sciences eaux & territoire, la revue d'Irstea, No.03, 40-45.
- Ascroft M.B., Major R.E., 2013. Importance of matrix permeability and quantity of core habitat for persistence of a threatened saltmarsh bird, *Austral Ecology*, 38, 326-337.
- Avon C., Bergès L., Roche P., 2014, Comment analyser la connectivité écologique des trames vertes ? Cas d'étude en région méditerranéenne. *Sciences Eaux & Territoires*, No.14, 14-19.
- Barnosky A.D., Matzke N., Tomiya S., Wogan G.O.U., Swartz B., Quental T.B., Marshall C., McGuire J.L., Lindsey E.L., Maguire K.C., 2011. Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature* 471, 51-57.
- Bergès L., Roche P., Avon C., 2010. Corridors écologiques et conservation de la biodiversité, intérêts et limites pour la mise en place de la Trame verte et bleue, *Sciences Eaux & Territoires*, No.3, 34-39.
- Bernier A., Théau J., 2013. Modélisation de réseaux écologiques et impacts des choix méthodologiques sur leurs configurations spatiales : analyse de cas en Estrie (Québec, Canada), *Vertig O*, [En ligne], Controverses environnementales : expertise et expertise de l'expertise, Vol.13 No.2 URL : <http://vertigo.revues.org/14105>
- *Biodiversité : Présentation et enjeux*. (s. d.). Ministère Écologie Énergie Territoires. Consulté 5 avril 2022, à l'adresse <https://www.ecologie.gouv.fr/biodiversite-presentation-et-informations-cles>
- Cécile H. Albert J. Chaurand., 2018. Comment choisir les espèces pour identifier des réseaux écologiques cohérents entre les niveaux administratifs et les niveaux biologiques ? *Sciences Eaux & Territoires*, INRAE, Trame verte et bleue : la continuité écologique en marche dans les territoires, pp.26-31.
- Chouquer G., 2003. Françoise Burel et Jacques Baudry, *Écologie du paysage. Concepts, méthodes et applications. Études rurales*, 167-168, 329-333.
- Clauzel C., Bonneville C., 2019. Apports de la modélisation spatiale pour la gestion de la trame verte et bleue. *Cybergeo: European Journal of Geography*.
- Cormier L., Lajarte A. B. D., Carcaud N., 2010. La planification des trames vertes, du global au local : Réalités et limites. *Cybergeo: European Journal of Geography*.
- Dehouck H., Amsallem J., 2017. Analyse des méthodes de précision des continuités écologiques à l'échelle locale en France. Irstea – UMR TETIS, Centre de ressources Trame verte et bleue, 96p.

- Dulvy N.K., Pacoureau N., Rigby C.L., Pollom R.A., Jabado R.W., Ebert D.A., Finucci B., Pollock C.M., Cheek J., Derrick D.H., 2021. Overfishing drives over one-third of all sharks and rays toward a global extinction crisis. *Current Biology* 31, 4773-4787.e8.
- Foltête J.-C., Clauzel C., Girardet X., Tournant P., Vuidel G., 2012. Modélisation des réseaux écologiques par les graphes paysagers. *Revue internationale de géomatique* 22, 641–658
- Francoeur, L.-G., 2012. Environnement—L’Anthropocène, l’ère des déséquilibres. *Le Devoir*. <https://www.ledevoir.com/environnement/339851/environnement-l-anthropocene-l-ere-des-desequilibres>
- François E., Amsellem J., Deshayes M., 2010. L’intégration du principe de continuité écologique dans les schémas de cohérence territoriale (SCOT) analyse de 21 expériences de Scot, *Sciences Eaux & Territoires*, No.3, 110-115.
- *Geospatial Analysis 6th Edition, 2021 update—De Smith, Goodchild, Longley and Colleagues.* (s. d.). Consulté 10 mai 2022, à l’adresse
- Green R.E., 1983.Spring dispersal and agonistic behaviour of the red-legged partridge (*Alectoris rufa*). *Journal of Zoology London* 201: 541-555.
- Hilty J. A., Jr W. Z. L., Merenlender, A. M., *Corridor Ecology: The Science and Practice of Linking Landscapes for Biodiversity Conservation*. Island Press, 2012.
- <https://www.spatialanalysisonline.com/HTML/index.html>
- Jolivet L., Cohen M., Ruas A., 2015. Évaluation des conséquences d’aménagements d’infrastructures sur les déplacements d’animaux. Définition et expérimentation d’un modèle de simulation agent. *Cybergeo: European Journal of Geography*.
- Krosby M., Breckheimer, I., John P. D., Singleton P. H., Hall S. A., Halupka K. C., Gaines W. L., Long, R. A., McRae B. H., Cosentino B. L., Schuett-Hames J. P., 2015. Focal species and landscape “naturalness” corridor models offer complementary approaches for connectivity conservation planning. *Landscape Ecology*, 30(10), 2121-2132.
- Kuefler D., Hudgens B., Haddad N. M., Morris W. F., Thurgate N., 2010. The conflicting role of matrix habitats as conduits and barriers for dispersal. *Ecology*, 91(4), 944-950.
- Le Roux M., Luque, S., Vincent S., Planckaert O., 2014. Intégration de la connectivité dans la gestion et la conservation des habitats. *Sciences Eaux & Territoires*, 14, 20-25.
- Liénard S., Clergeau P., (2011). Trame Verte et Bleue : Utilisation des cartes d’occupation du sol pour une première approche qualitative de la biodiversité. *Cybergeo: European Journal of Geography*.
- Locquet A., et Clauzel C., 2018 « Identification et caractérisation de la trame verte et bleue du PNR des Ardennes : comparaison des approches par habitat et par perméabilité des milieux », *Cybergeo: European Journal of Geography* [En ligne], Espace, Société, Territoire, document 877, mis en ligne le 07 décembre 2018, consulté le 20 avril 2022. URL : <http://journals.openedition.org/cybergeo/29864>.

- Maxwell S.L., Fuller R.A., Brooks T.M., Watson J.E.M., 2016. Biodiversity:
- McKibben, W., The End of Nature. *The New Yorker*. 1989. 226
- Mougnot C., & Meliin É., 2000. Entre science et action : Le concept de réseau écologique. *Nature Sciences Sociétés*, 8(3), 20-30.
- Opdam, P. Assessing the Conservation Potential of Habitat Networks. In K. J. Gutzwiller (Éd.), *Applying Landscape Ecology in Biological Conservation*, 2002. 381-404.
- Papet G. et Vanpeene S., *Graphes Paysagers et séquence ERC*. Comment intégrer les continuités écologiques à la séquence ERC avec les outils de graphes paysagers ? INRAE, 2020, 22 p
- Pereira M., Segurado P., Neves N., 2011. Using spatial network structure in landscape management and planning : A case study with pond turtles. *Landscape and Urban Planning*, vol. 100, 2011, p. 67-76.
- RICCI J.C., 1985. Influence de l'organisation sociale et de la densité sur les relations spatiales chez la Perdrix rouge. Conséquences démographiques et adaptatives. *Revue d'écologie* 40: 53-85.
- Sawyer SC, Epps CW, Brashares JS (2011) Placing linkages among fragmented habitats : do least-cost models reflect how animals use landscapes? *J Appl Ecol* 48:668–678
- Sordello R., 2017. Des continuités écologiques d'importance nationale aux trames vertes et bleues régionales : Quelles méthodes de prise en compte ? *Sciences Eaux & Territoires*, Articles hors-série 2017, 1-10.
- Steffen W., Crutzen P. J., McNeill J. R., 2007. The Anthropocene : Are Humans Now Overwhelming the Great Forces of Nature? *Ambio*, 36(8), 614-621.
- The ravages of guns, nets and bulldozers. *Nature News* 536, 143.

Table des matières

Annexes	ii
Annexe 1 : Mise à jour du RPG	ii
Annexe 2 : Habitat de l'espèce fictive Phasianidé de milieux cultivés	iii
Annexe 3 : Générer les points de départ et d'arrivée	ix
Annexe 4 : Générer habitat préférentiel.....	x

Annexes

Annexe 1 : Mise à jour du RPG

1. Mettre à jour le RPG avec l'ajout des Vignes et de Vergers.

Il faut créer une couche Vigne et Verger et la fusionner à la couche RPG. Pour ce faire :

Récupérer les vignes de la BDTPOPO et de la OCSGE

Sélection les Vignes de la BDTPOPO et enregistrer sous le nom Vigne_BDTPOPO

- Outil sélectionner les entités en utilisant une expression : vignes
- Sauvegarder les entités sélectionnées sous Vigne_BDTPOPO

Sélection les Vignes de OCSGE, penser à concaténer les codes CS et les US pour avoir le Code Vigne = CS2.1.3.US1.1. Enregistrer sous le nom Vigne_OCSGE

- Outil calculatrice : concat ("CODE_CS" || '.' || "CODE_US")
- Outil sélectionner les entités en utilisant une expression : CS2.1.3.US1.1
- Sauvegarder les entités sélectionnées sous Vigne_OCSGE

Fusionner Vigne_OCSGE et Vigne_BDTPOPO dans ce ordre et, puis regrouper en un polygone pour ensuite les fractionner en plusieurs polygones (Outil de morceaux unique à multiples morceaux).

- Vecteur - Outil de gestion de données – Fusionner des couches vecteurs
- Vecteur – Outil de géo traitement – Regrouper
- Vecteur – Outil de géométrie (Outil de morceaux multiples à morceaux unique), attention problème de traduction du logiciel, car l'action effectuer est bien de partie d'un morceaux unique vers un morceaux multiples.
- Outil calculatrice ajouter un champs "CODE" d'entier de valeur 21

Enregistrer sous le nom Vigne_union

Répéter la même opération pour les vergers = CS2.1.1.1.US1.1 et "CODE" verger égale 20. Enregistrer sous le nom Verger_union.

Faire une Fusion de Vigne_union et de Verger_union

- Vecteur – Outil de gestion de donnée – Fusionner des couches vecteurs

Enregistrer sous le nom Vigne_Verger_Fusion

Faire une Fusion de Vigne_Verger_Fusion et le RPG dans cet ordre.

Mettre à jour le champs "CODE_GROUP" du RPG en remplaçant les valeurs nulles en fonction du Code 20 et 21.

Enregistrer sous "NewRPG"

Annexe 2 : Habitat de l'espèce fictive Phasianidé de milieux cultivés

Cinq Indicateurs ont été choisis pour déterminer l'habitat du Phasianidé de milieux ouverts et cultivés.

1. Présence obligatoire au 100 ha : Blé - Orge - Autres céréales - Vigne
2. Pourcentage de Blé - Orge - Autres céréales - Vigne au 100 ha
3. Diversité culturelle au 100 ha
4. Longueur de limites parcellaires au 100 ha
5. Longueur de linéaire de haies au 100 ha

Tableau 1 : Culture obligatoire et culture utiles

Cultures obligatoires	Cultures utiles
Blé - Orge - Autres céréales - Vigne	Tournesol - Colza - Jachère - Vergers - Pois d'hiver - Divers

Prétraitement

Les opérations réalisées auront pour emprise le département de Haute-Garonne

2. Mettre à jour le RPG avec l'ajout des Vignes et de Vergers.

Il faut créer une couche Vigne et Verger et la fusionner à la couche RPG. Pour ce faire :

Récupérer les vignes de la BDTPOPO et de la OCSGE

Sélectionner les Vignes de la BDTPOPO et enregistrer sous le nom Vigne_BDTPOPO

- Outil sélectionner les entités en utilisant une expression : vignes
- Sauvegarder les entités sélectionnées sous Vigne_BDTPOPO

Sélectionner les Vignes de OCSGE, penser à concaténer les codes CS et les US pour avoir le Code Vigne = CS2.1.3.US1.1. Enregistrer sous le nom Vigne_OCSGE

- Outil calculatrice : concat ("CODE_CS" || '.' || "CODE_US")
- Outil sélectionner les entités en utilisant une expression : CS2.1.3.US1.1
- Sauvegarder les entités sélectionnées sous Vigne_OCSGE

Fusionner Vigne_OCSGE et Vigne_BDTPOPO dans ce ordre et , puis regrouper en un polygone pour ensuite les fractionner en plusieurs polygones (Outil de morceaux unique à multiples morceaux).

- Vecteur - Outil de gestion de données – Fusionner des couches vecteurs
- Vecteur – Outil de géo traitement – Regrouper

- Vecteur – Outil de géométrie (Outil de morceaux multiples à morceaux unique), attention problème de traduction du logiciel, car l'action effectuer est bien de partie d'un morceaux unique vers un morceaux multiples.
- Outil calculatrice ajouter un champs "CODE" d'entier de valeur 21

Enregistrer sous le nom Vigne_union

Répéter la même opération pour les vergers = CS2.1.1.1.US1.1 et "CODE" verger égale 20.
Enregistrer sous le nom Verger_union.

Faire une Fusion de Vigne_union et de Verger_union

- Vecteur – Outil de gestion de donnée – Fusionner des couches vecteurs

Enregistrer sous le nom Vigne_Verger_Fusion

Faire une Fusion de Vigne_Verger_Fusion et le RPG dans cet ordre.

Mettre à jour le champs "CODE_GROUP" du RPG en remplaçant les valeurs nulles en fonction du Code 20 et 21.

Enregistrer sous "NewRPG"

3. Création d'une grille de maille 1km*1km ayant pour emprise la zone d'étude
 - Vecteur – Outil de recherche – Créer une Grille (type de grille rectangle, L=1Km et l=1Km, choisir l'emprise)
 - Vecteur – Outil de recherche – Sélection par localisation (intersecte)
 - Sauvegarder les entités sélectionnées sous Grille
4. Création d'une couche Cultures obligatoires ayant pour emprise la zone d'étude

Sélection du Blé - Orge - Autres céréales – Vigne avec le Script de sélection

"CODE_GROUP" in ('1' , '3' , '4' , '21')

Sauvegarder les entités sélectionnées sous **Cultures_obligatoires**

5. Création d'une couche Cultures obligatoires et Cultures utiles avec une zone tampon de 5km.

Ici les opérations sont réalisées sur emprise de la Haute-Garonne avec une zone tampon de 5km

Sélection du de Blé - Orge - Autres céréales – Vigne - Tournesol - Colza - Jachère - Vergers - Pois d'hiver – Divers avec le Script de sélection

- Outil calculatrice

"CODE_GROUP" in ('1' , '3' , '4' , '5' , '6' , '11' , '20' , '21')

OR

"CODE_CULTU" in ('BOR' , 'BTA' , 'PHI')

Sauvegarder les entités sélectionnées sous Cultures_obligatoires_utiles

Rastérisé en fonction de couche vecteur Cultures_obligatoires_utiles à une résolution 5 m

- Outil calculatrice créer un champs Code avec des identifiants unique pour la rasterisation
 - Rasteur – conversion – Rastériser vecteur en raster
6. Création d'une couche haies ayant pour emprise la zone d'étude

Sélection les haies de la BDTOPO

Enregistrer sous le nom Haies

Traitements

1- Présence obligatoire de cultures

Donnée à utiliser

Couche de Blé - Orge - Autres céréales – Vigne

Grille de 1km × 1km

Opération à réaliser

Interception couche grille 1km*1km avec couche Cultures obligatoires

- Vecteur - Outil de géo traitement - Intersection

Outil supprimer les doublons

- Supprimer les doublons par attribut (Id et CODE_GROUP)

Count_distinct les cultures par maille

- Calculatrice - count_distinct("CODE_GROUP", group_by, "id")

Supprime encore les doublons

- Supprimer les doublons par attribut (Id et CODE_GROUP)

Renommer le champ CODE_GROUP « Classe 1 »

2- Pourcentage de cultures préférentielle

Donnée à utiliser

Couche de Blé - Orge - Autres céréales – Vigne

Grille de 1km × 1km

Opération à réaliser

Intersection couche grille 1km × 1km avec couche Cultures obligatoires, nom de la couche

- Vecteur - Outil de géo traitement - Intersection

Calculer les surfaces en ha pour les nouveaux polygones formés

- Calculatrice \$area / 10000

Calculer les surfaces totales par Maille grâce à l'outil agrégation

- Agrégation somme des surfaces en fonction des Id de la couche grille

Nous obtenons un nouveau champ normé : Sum_Surfaces

Jointure des Id de la couche intersection avec les Id de la couche Grille

- Propriété jointure des Id de la couche d'intersection et Id de la couche Grille

Créer une champ « Classe 2 » et classer en 5 classes à l'aide du résultat Sum_Surfaces

```

CASE WHEN "Sum_Surfaces" =0 and THEN 0
WHEN "Sum_Surfaces" >=0 and "Somme de S" < 25 THEN 1
WHEN "Sum_Surfaces" >=25 and "Somme de S" < 50 THEN 2
WHEN "Sum_Surfaces" >=50 and "Somme de S" < 75 THEN 3
WHEN "Sum_Surfaces" >=75 and "Somme de S" < 100 THEN 4
END

```

3- Diversité paysagère

Donnée à utiliser

Couche de Blé - Orge - Autres céréales – Vigne - Tournesol - Colza - Jachère - Vergers - Pois d'hiver – Divers + Zone tampon 5km

Grille de 1km × 1km

Opération à réaliser

Intersection couche grille 1km × 1km avec couche **Cultures_obligatoires_utiles**

- Vecteur - Outil de géo traitement - Intersection

Calcule d'indice de Shannon avec du plugin Lecos, utiliser la couche Cultures obligatoires et Cultures utiles avec une zone tampon de 5km avec la couche grille 1km*1km

Pour le plugin Lecos, il faut les bibliothèques python-numpy, python-scipy et python-imaging (library pip).

Donc installé OSGEO4W en choisissant l'installation avancée et après j'ai redémarré le PC.

En entrée, il faut la grille et la couche raster **Cultures_obligatoires_utiles**. Elle être plus grande que la grille, afin d'éviter les NA.

- Raster – Landscape Ecology (Lecos) – Landscape vector overlay – Shannon index

Le résultat se retrouve dans un nouveau appelé DIV_SH de la couche grille

Créer une champ « Classe 3 » et classer en 5 classes à l'aide du résultat DIV_SH

```

CASE WHEN "DIV_SH" ='0' and THEN 0
WHEN "DIV_SH" >='0' and "DIV_EV" < '0.25' THEN 1
WHEN "DIV_SH" >='0.25' and "DIV_EV" < '0.50' THEN 2
WHEN "DIV_SH" >='0.50' and "DIV_EV" < '0.75' THEN 3

```

```
WHEN "DIV_SH" >='0.75' and "DIV_EV" <= '1' THEN 4
END
```

4- Limites parcellaires

Donnée à utiliser

RPG + Vigne et Verger

Grille de 1km × 1km

Opération à réaliser

Interception la couche Maille avec les polygones couche RPG

- Vecteur - Outil de géo traitement - Intersection

Calculer les nouveaux périmètres en km par maille

- Calculatrice \$perimeter /1000

Calculer les périmètres totaux par Maille grâce à l’outil agrégation

- Agrégation somme des périmètres en fonction des Id de la couche grille

Nous obtenons un nouveau champ normé : Sum_Perimetre

Calculer les bordures parcellaires en enlevant 4 km du résultat obtenu.

- Calculatrice créer un nouveau champ Sum_Bordures = Sum_Perimetre – 4 km

Jointure des Id de la couche intersection avec les Id de la couche Grille

- Propriété jointure des Id de la couche d’intersection et Id de la couche Grille

Créer une champ « Classe 4 » et classer en 5 classes à l’aide du résultat Sum_Bordures

```
CASE WHEN "Sum_Bordures" =0 THEN 0
```

```
WHEN "Sum_Bordures" >='00,00' and "SUM_P" <'15,00' THEN 1
```

```
WHEN "Sum_Bordures" >='15,00' and "SUM_P" <'30,00' THEN 2
```

```
WHEN "Sum_Bordures" >='30,00' and "SUM_P" <'45,00' THEN 3
```

```
WHEN "Sum_Bordures" >='45,00' THEN 4
```

```
END
```

5- Linéaire de haies

Donnée à utiliser

Couche haie

Grille de 1km × 1km

Opération à réaliser

Interception lignes (couche haies) avec la couche grille

- Vecteur - Outil de géo traitement - Intersection

Calculer les nouvelles longueurs de haies en km

- Calculatrice \$length/1000

Calculer les longueurs totales par Maille grâce à l'outil agrégation

- Agrégation somme des longueurs en fonction des Id de la couche grille

Nous obtenons un nouveau champ normé : Sum_Longueurs

Jointure des Id de la couche intersection avec les Id de la couche Grille

- Propriété jointure des Id de la couche d'intersection et Id de la couche Grille

Créer un champ « Classe 5 » et classer en 5 classes à l'aide du résultat Sum_Longueurs

```
CASE WHEN "Sum_Longueurs" =0 THEN 0
```

```
WHEN "Sum_Longueurs" >='00,00' and "Somme de L" <'3,00' THEN 1
```

```
WHEN "Sum_Longueurs" >='3,00' and "Somme de L" <'6,00' THEN 2
```

```
WHEN "Sum_Longueurs" >='6,00' and "Somme de L" <'9,00' THEN 3
```

```
WHEN "Sum_Longueurs" >='9,00' THEN 4
```

```
END
```

7. Création d'une carte vecteur avec les notes de pondération

Jointure des ID des couches des indicateurs

Création d'un champ Note_totale qui est la somme des Classe1 + Classe 2 + Classe 3 + Classe 4 + Classe 5.

Création d'un champ Note_Pondérer qui est la somme des Classe1 +(2 × Classe 2) + (3 × Classe 3) + (2 × Classe 4)+ Classe 5.

Annexe 3 : Générer les points de départ et d'arrivée

Sélectionner la catégorie de mailles de 100 ha disposant de la note la plus élevée.

Regrouper des mailles uniques et non jointives grâce à un outil tampon positif de 1m puis faire un tampon négatif de -1m. (Opération de dilatation -érosion)

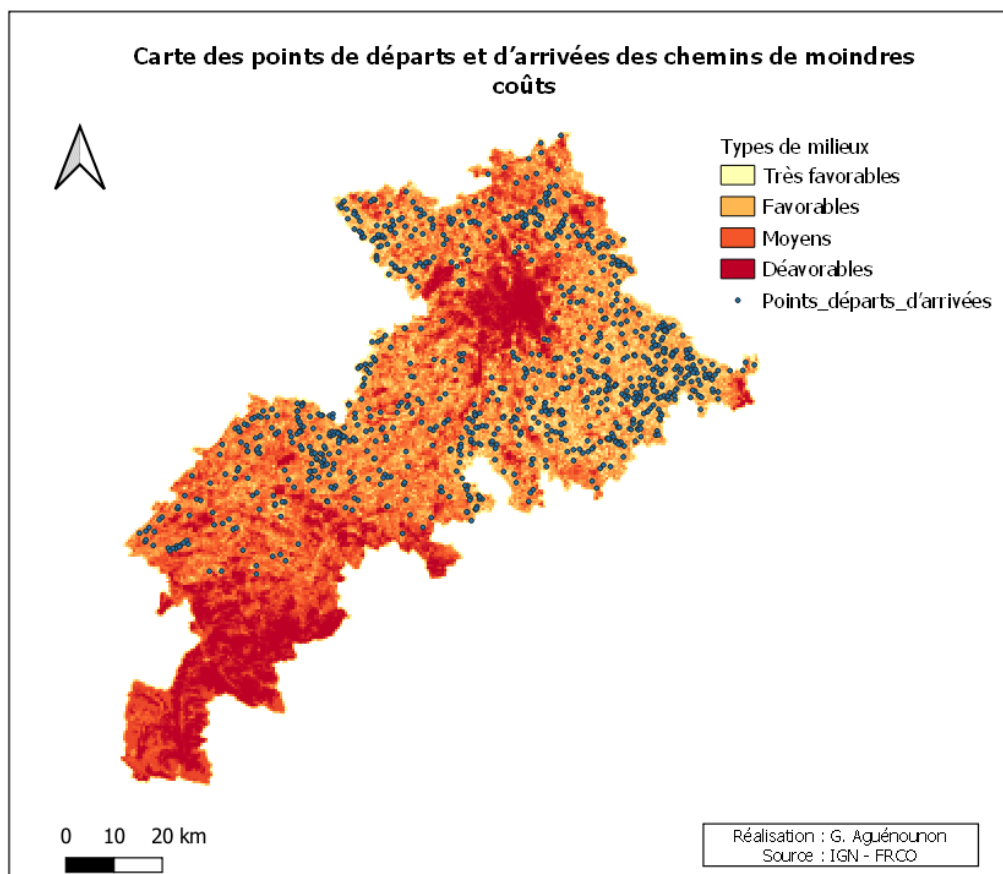
Utiliser l'outil de polygone unique à de polygones multiples pour rendre chaque polygone indépendant.

Dans ces habitats, calculer la superficie de l'habitat et attribuer un point par 1000 ha avec l'outil points aléatoire dans un polygone

Faire une l'intersection avec la couche cultures obligatoires (RPG) et les regrouper par identifiant de maille.

Refaire une opération de dilatation-érosion des parcelles sur un tampon de 5m qui sera redécoupé par les polygones d'habitats individuels.

Placer des points aléatoires dans ces polygones avec l'outil points aléatoire dans polygones.



Annexe 4 : Générer habitat préférentiel

Sélectionner les mailles de 25 ha qui intersecte avec les points de départ et d'arrivée (annexe 3) :

