UNIVERSITÉ DE GENÈVE

hepia
Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève

ETUDE DE LA CONNECTIVITE DES ETANGS EN MILIEU URBAIN

Etudiante : Vanessa Guglielmi

Responsables : M. Alain Dubois (UNIGE) et M. Beat Oertli (HEPIA)

Août 2012

TABLE DES MATIERES

1. **REMERCIEMENTS** 4

2. **INTRODUCTION** 4
   - 2.1 Présentation du stage 4
   - 2.2 Présentation du projet MARVILLE 4
   - 2.3 Présentation du travail 5
     - 2.3.1 Objectifs 5

3. **METHODOLOGIE** 6
   - 3.1 Situation géographique 6
   - 3.2 Données informatiques SIG 7
     - 3.2.1 Présentation des données 7
       - 3.2.1.1 Provenance 7
       - 3.2.1.2 Couches utilisées 7
     - 3.2.2 Préparation des données au géotraitement 8
   - 3.3 Géotraitement 9
     - 3.3.1 Cartes de résistance à la migration 9
     - 3.3.2 Cartes des chemins de moindre coût (connectivité fonctionnelle) 10
     - 3.3.3 Cartes de connectivité spatiale 11

4. **RÉSULTATS** 12
   - 4.1 Carte des milieux 12
   - 4.2 Cartes de résistance 13
   - 4.3 Cartes de connectivité spatiale 15
   - 4.4 Cartes des chemins de moindre coût 17
     - 4.4.1 Carte globale des chemins 17
     - 4.4.2 Carte des chemins croisés 18
     - 4.4.3 Test de fiabilité des chemins 18

5. **DISCUSSION** 19
   - 5.1 Analyse des différentes cartes obtenues 19
   - 5.2 Fiabilité du modèle de connectivité 20
   - 5.3 Améliorations possibles 25

6. CONCLUSION – PERSPECTIVES 26
7. RÉFÉRENCES 27
8. ANNEXES 28

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude 6

Figure 2 : Carte des milieux et obstacles 12

Figure 3 : Carte de résistance à la migration des amphibiens 13

Figure 4 : Carte de résistance à la migration des amphibiens (murs et bâtiments en valeur absolue). 13

Figure 5 : Carte de résistance à la migration des odonates 14

Figure 6 : Carte de connectivité spatiale entre les étangs: les amphibiens (dispersion max: 500 m) 15

Figure 7 : Carte de connectivité spatiale entre les étangs: les amphibiens (dispersion max: 1500 m) 15

Figure 8 : Carte de connectivité spatiale entre les étangs: les odonates (dispersion max: 1000 m) 16

Figure 9 : Carte de connectivité spatiale entre les étangs: les odonates (dispersion max 10'000 m) 16

Figure 10 : Carte des chemins migratoires hypothétiques des amphibiens 17

Figure 11 : Carte des chemins migratoires hypothétiques des odonates 17

Figure 12 : Carte des chemins migratoires croisés 18

Figure 13 : Différence de trajectoire entre les valeurs des barrières. 19

Figure 14 : Carte du trajet suivi pour le test de fiabilité du modèle 21

1. REMERCIEMENTS

Je tiens tout particulièrement à remercier M. Alain Dubois et M. Beat Oertli qui m'ont permis d'effectuer ce stage avec leur soutien et leur aide précieuse. Je remercie également le corps enseignement de la faculté SES de mettre à la disposition des étudiants une formation complémentaire en géomatique.

Je tiens à remercier les nombreux assistants à HEPIA et particulièrement Mme Christiane Ilg pour ses conseils lorsque j'avais des doutes, M. Benjamin Bergerot pour sa disponibilité et son aide sur le plan technique.

Un grand merci également aux experts consultés à savoir M. Daniel Küry, M. David Leclerc, M. Jérôme Pellet, M. Daniel Grand, Mme Sandrine Angélibert, Mme Eliane Demierre, M. Beat Oertli, pour leur participation.

Je remercie également l'équipe du SEMO et l'équipe du Conservatoire du jardin botanique, spécialement Mme Emanuelle Favre, d'avoir répondu à certaines de mes questions.

2. INTRODUCTION

2.1 Présentation du stage

Ce stage a débuté au mois d'avril 2012 pour se terminer fin août. Il s'inscrit dans le cadre du certificat complémentaire en géomatique décerné par la faculté SES de l'université de Genève. Il a été effectué en collaboration avec l'institut Terre-Nature-Environnement de l'école HEPIA et proposé par M. Beat Oertli dans le cadre du projet MARVILLE.

2.2 Présentation du projet Marville

L'urbanisation croissante du canton de Genève représente un problème de taille en ce qui concerne la biodiversité des étangs. La modification territoriale qu'il en résulte est particulièrement problématique pour la composition des espèces. En effet, en plus d'isoler les sites de vie importants et de réduire leur taille (Joly et al. 2003), le déplacement entre les sites en est aussi affecté.

Le projet MARVILLE se concentre principalement sur les petits étangs que nous pouvons trouver en milieu urbain. Ceux-ci se concentrent particulièrement dans les parcs publics, les écoles ou les jardins privés. Afin d'avoir des points de comparaison, des étangs en milieu suburbain et rural seront également étudiés.
L'étude approfondie de certains étangs en milieu urbain mettra en valeur des recommandations pratiques quant à la gestion de ces étangs permettant ainsi d'optimiser leur potentiel pour la conservation de la nature (Oertli, 2011).

Précisément, il s'agira d'échantillonner entre 60 et 100 étangs répartis sur le canton de Genève afin de réaliser un inventaire des macroinvertébrés benthiques, des

amphibiens, des libellules adultes (odonates) et des plantes aquatiques. Des mesures de variables environnementales telles que la température de l'eau, la conductivité, l'oxygène dissout et le pH.
L'analyse statistique des données conduira à juger du pouvoir explicatif des variables environnementales sur la biodiversité. La connectivité sera étudiée à l'aide des SIG.
Tout cela conduira à la rédaction d'un manuel destiné aux gestionnaires.

2.3 Présentation du travail

2.3.2 Objectifs

En utilisant le logiciel de cartographie ArcGIS 10, nous nous sommes fixé les objectifs suivants : la réalisation d'une carte de résistance sur la base des différents milieux et obstacles présents sur le secteur. De là, nous allons analyser la connectivité qu'il existe entre les étangs du secteur. Les cartes ainsi obtenues nous permettront d'élaborer des chemins hypothétiques selon lesquels les amphibiens et les odonates se déplaceront.
Ceci nous conduira à évaluer la pertinence d'un modèle de connectivité et de chemins migratoires, s'il apparaît possible de se baser simplement sur la modélisation informatique afin de prévoir la migration d'espèces et finalement, quels sont les points forts et les points faibles d'une telle méthode.

3 METHODOLOGIE

3.1 Situation géographique

Le présent travail se déroule sur un secteur d'environ 10 km2 à l'Est du canton de Genève.

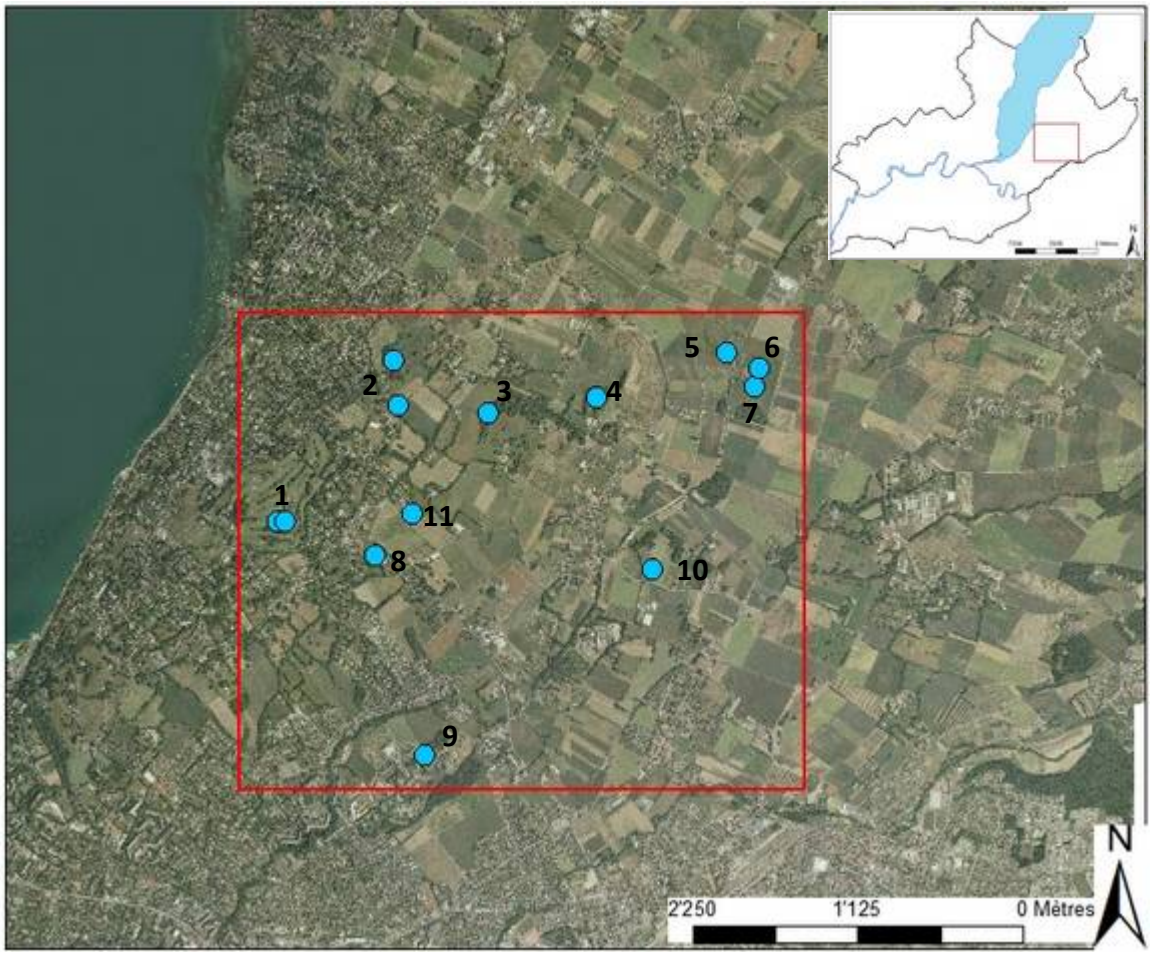


Fig 1 : Situation géographique de notre zone d'étude. En bleu, les étangs présents sur le secteur :

1. Etangs du Golf de Bessinge
2. Etangs de la Hoirie Borel
3. Le Miolan
4. Marais du Château
5. Marais du Sionnet
6. Réserve des Creuses
7. Etang du Pré de l'Oie
8. Etang de M. Foëx
9. Etang de la Clinique Bel-Air
10. Etang relais 1 (Est)
11. Etang relais 2 (Ouest)

3.2 Données informatiques SIG

3.2.1. Présentation des données

3.2.1.1. Provenance :

Les données utilisées pour ce travaillent proviennent en majorité de la base de donnée du cadastre Genevois (www.sitg.ch) disponible par la connexion en réseau par ArcGIS 10. Nous avons également utilisé des données provenant du conservatoire du jardin botanique et des données informatiques créées spécialement pour le projet MARVILLE, disponible auprès d'HEPIA (couche points de localisation des étangs étudiés).

3.2.1.2 Couches utilisées :

De nombreuses couches ont été utilisées pour mener à bien la réalisation des différentes cartes. Ci-dessous un bref récapitulatif des différentes couches utilisées ainsi qu'une brève description.

- **CJB.SIPV_MN_CARTO_TOT (Polygone)** : Couche regroupant les différents milieux du canton de Genève. Couche fournie par le conservatoire du jardin botanique.

- **sde_sig.SITG.CAD_DOMROUTIER_REVET_NIV0 (Polygones) :** Couche représentant le domaine routier au niveau du sol.

- **sde_sig.SITG.GMO_GRAPHE_ROUTIER (Polyligne) :** Couche mettant en avant le tracé des différentes routes du canton.

- **sde_sig.SITG.CAD_COUVERTURE_SOL_BASSE (Polygone) :** Couche définissant les différents types de nature du sol présents sur le territoire genevois. Couche ressemblant à celle du jardin botanique mais moins précise en ce qui concerne la végétation.

- **sde_sig.SITG.CAD_BATIMENT_HORSOL (Polygones) :** Couche représentant l'emprunte des bâtiments hors-sol. Contient la hauteur des bâtiments.

- **sde_sig.SITG.CAD_OBJETDIVERS (Polylignes) :** Couche contenant les objets du domaine privé ne pouvant être répertoriés dans la couche « couverture du sol ».

- **sde_sig.SITG.LCE_GRAPHE_EAU_ECOMORPHOLOGIE (Polylinges) :** Couche représentant le tracé des cours d'eau contenant en attributs les caractéristiques écomorphologiques.

- **sde_sig.SITG.LCE_GRAPHE_EAU (Polylignes) :** Couche reprenant le tracé complet des cours d'eau (à l'air libre et enterrés-canalisés).

- **Etangs (points):** Couche localisant les étangs étudiés dans le cadre du projet. (relevé GPS par l'institut Terre-Nature-Environnement)

Nous avons également utilisé une couche de type « Points » regroupant les étangs étudiés pour le projet à laquelle nous avons ajouté deux étangs pas étudiés mais qui pourraient jouer un rôle important.

Il est important de noter que toutes ces couches sont complémentaires les unes aux autres et qu'il a été nécessaire de les utiliser chacune à un moment ou à un autre de notre travail.

Remarque importante : la pente n'a pas été prise en compte pour ce travail.

3.2.2 Préparation des données au géotraitement :

Après avoir sélectionné les différentes couches ainsi que les différents objets dont nous allons nous servir pour construire la carte de résistance, il a fallu apporter quelques modifications. Pour commencer, nous devons construire la carte de base qui servira à l'élaboration de la carte de résistance définitive.

Nous sommes partis de la carte des milieux du jardin botanique car il s'agit de la carte la plus précise concernant le type de milieu. Nous l'avons considérée comme « carte de fond » sur laquelle on ajoute les différents objets présents sur le secteur. Pour ajouter ces différents objets, nous avons dû les extraire à partir des autres couches à disposition. Par exemple, concernant la migration des amphibiens, il a été jugé important de tenir compte des trottoirs considérés comme obstacle à leur migration. Or, l'élément « trottoir » est disponible sur la couche « couverture du sol ». Il a donc fallu extraire les trottoirs de cette couche et les superposer à la carte des milieux. Malheureusement, il n'y a aucune information concernant l'abaissement éventuel du trottoir ce qui constitue une légère source d'erreur.
Chaque élément extrait constituera une nouvelle couche.

Pour obtenir une carte de résistance (format raster), nous devons travailler principalement sur des polygones. Or, certains attributs, notamment concernant les routes et les cours d'eau, ne sont disponibles que sur les couches en format polylignes. En effet, nous avons accordé une importance au type de routes présentes sur le secteur étudié (route principale, route secondaire et route de quartier) ainsi que la largeur du cours d'eau (ruisselet, ruisseau, rivière, fleuve). Nous avons extrait la chaussée de la couche « domaine routier » pour les routes et les cours d'eau de la couche « couverture du sol ». Cette étape effectuée, nous avons réalisé une jointure « par emplacement » afin de faire correspondre les attributs des polylignes aux nouveaux polygones. La condition a été de transférer tous les attributs de la couche

polyligne la plus proche des polygones. Si nous n'avons pas rencontré de problème pour les cours d'eau, nous avons eu quelques soucis concernant le transfert des attributs du graphe routier sur la chaussée. Ce qui a conduit à un remodelage important des routes afin de les attribuer correctement mais manuellement.

Nous avons également considéré les murs et les marches d'escaliers comme obstacle à la migration des amphibiens et des odonates. Ces deux objets appartiennent à la couche « objets divers » qui est de type polyligne. Il nous a donc fallut en faire des polygones. Pour cela, deux solutions s'offrent à nous : soit nous utilisons l'outil de transformation disponible dans ArcGIS 10 dans la Toolbox « gestion de données » (« Data management ») soit nous créons un buffer autour des lignes. Dans notre cas, nous avons utilisé un buffer. Cette solution nous a permis d'exagérer l'épaisseur des murs et de faire des polygones uniquement sur les escaliers. Nous détaillerons cette idée dans le chapitre suivant.

Les éléments réunis, nous avons réalisé un clip sur le secteur étudié, permettant de découper toutes les couches présentes sur un secteur donné. Pour ce faire, il faut créer un périmètre à l'aide de l'outil « dessin » que nous transformons en entité afin de pouvoir l'utiliser comme « forme du clip ».

3.3 Géotraitement

3.3.1. Carte de résistance à la migration:

Une fois que toutes nos données sont prêtes pour la réalisation de la carte de résistance, nous devons d'abord réaliser une « carte de résistance vecteur ». En effet, la carte de résistance se présente sous format raster. Il s'agit d'une grille dont chaque cellule a une valeur de résistance attribuée. Cette valeur de résistance dépend du milieu que l'animal traverse ou de l'obstacle qu'il rencontre (dans ce cas, il s'agira d'une difficulté à surmonter). Pour ce faire, nous avons donc superposé toutes nos couches créées dans la préparation des données et faire une union entre elles. L'union permet de regrouper sur une couche toutes les couches utilisées en conservant tous les attributs de tous les éléments de toutes les couches.
Il est important de noter que le coût dépensé par un individu d'un des deux groupes pour se déplacer entre deux sites n'est pas linéaire et dépend principalement du milieu traversé (Joly P. et al. (2003)).
Ainsi, grâce à la participation de différents experts en amphibiens et odonates, nous avons pu attribuer à chaque objet et milieux une valeur de résistance allant de 1 à 10. L'ordre d'attribution a également été important car, un polygone pouvant être à la fois « herbe » et « eau » ou « bâti » et « bâtiment », la dernière valeur attribuée doit être la valeur définitive. Nous avons donc attribué les éléments dans l'ordre suivant :

Milieu → Cours d'eau → Etang →Piscine → mur → trottoir →escalier → route (hiérarchie) → bâtiment (pour les odonates : par hauteur)

Les valeurs de résistance sont enregistrées dans un nouveau champ de notre couche « union ».
Remarque : en ce qui concerne les route, nous avons considéré que plus la hiérarchie est élevée, plus il y a de traffic.
Une fois que les valeurs de résistance ont été attribuées, nous avons converti la carte union en raster en utilisant le champ « Résistance » comme valeurs de cellule et nous effectuons une résolution de 1.00 mètre.
Afin que la cellule obtienne la bonne valeur de résistance, il faut que son centre soit occupé par l'élément qui nous intéresse. C'est pourquoi, nous avons effectué un buffer autour des murs : l'épaisseur des murs convertis en polygone n'excédait pas 30 cm. La probabilité qu'un élément aussi petit tombe au milieu de la cellule est relativement faible. Grace au buffer de 80 cm, nous avons exagéré l'épaisseur des murs à 1.60 m. Avec ce procédé, nous sommes sûrs que le mur tombe au milieu de la cellule. Toutefois, ce procédé conduit à quelques erreurs cartographiques : le recouvrement d'un petit trottoir par le buffer du mur par exemple. C'est pourquoi nous avons attribué le trottoir après le mur. Le polygone à la fois trottoir est mur aura la résistance du trottoir. De plus, grâce au buffer le mur est toujours présent. Un autre problème est la formation de murs continus. Des passages relativement étroits encadrés de deux murs deviennent des barrières infranchissables. Pour contourner ce problème, il faut reprendre la couche des murs « bufferisés » et découper ces emplacements. Une fois la carte de résistance format vecteur réalisée, nous la convertissons en raster afin d'obtenir la carte qui nous permettra de réaliser le reste de nos cartes.

Nous avons réalisé en tout trois cartes de résistance : une pour les odonates et deux pour les amphibiens. Concernant ces derniers, nous avons établis une carte avec la valeur moyenne en utilisant les notes attribuées par les experts pour les murs et bâtiments et une deuxième où on les considère comme « barrières absolue » (Joly P. et al. (2003)) avec une valeur de résistance très élevée (10'000). Ce cas ne s'applique pas au groupe des odonates car aucun élément n'est considéré comme « barrière absolue » dans notre liste. Ceci sera expliqué dans le chapitre 3.2.2 : carte des chemins de moindre coût.

3.3.2 Carte des chemins de moindre coût (connectivité fonctionnelle)

Afin d'avoir une idée de la connectivité fonctionnelle qu'il existe entre les étangs de notre secteur, il a fallu établir des chemins « de moindre coût ». Ces chemins représentent le trajet entre une source et une (ou plusieurs) destination suivi par l'amphibien ou l'odonate afin qu'il lui coûte un minimum d'effort. A chaque fois que l'animal traverse une cellule, il dépense un certain coût en effort, correspondant au coefficient de résistance enregistré lors de la création de la carte de résistance. Le coût total dépensé entre deux étangs correspond à la somme cumulée des résistances de l'étang source à la destination et doit être le plus faible possible.
Les chemins de moindre coût s'appuient sur deux cartes différentes :

- une carte de distance de coût qui va cumuler les coûts autour d'une source en fonction des valeurs de résistance sans tenir compte d'une direction.

- Une carte d'antécédence de coût qui va favoriser une direction permettant d'effectuer un chemin peu coûteux. Dans ce cas, le programme tient compte de la valeur des cellules qui entourent la cellule dans laquelle l'animal se trouve.

Les deux cartes sont construites à partir de la carte de résistance.

Ces chemins vont nous permettre de suivre un tracé hypothétique de la migration d'espèce. Ceci nous aidera à localiser des emplacements se trouvant sur le chemin de migration nécessitant un aménagement particulier.

Cependant, comme ces chemins tiennent compte d'un coût cumulé, il sera peut être moins coûteux de traverser un obstacle possédant une résistance de 10 plutôt que de la contourner. C'est pourquoi les chemins ont été faits à partir des deux cartes de résistance. Nous avons pu observer quelques différences, notamment avec le contournement des murs par certains endroits. C'est pourquoi, afin de contourner ce problème, nous avons effectué une carte où les murs et les bâtiments ont une résistance très élevée.

3.3.3 Carte de connectivité spatiale:

Les cartes de connectivité spatiale ne sont en fait que des cartes de distance de coût auxquelles nous avons attribué un coût limite. Pour les amphibiens, leur capacité de dispersion varient entre de moins de 100 m à plus de 1500 m (Lehtinen et al. 1999) mais nous choisissons comme valeur minimale 500 m et comme valeur maximale 1500 m. Pour notre étude, nous choisissons 1000 m comme valeur minimale et 10'000 m comme valeurs maximale (Oertli B, comm. Oral).
Selon Ray (1999), le coût limite est calculé par la multiplication de la capacité de dispersion maximale du groupe avec le coût minimal présent sur la carte.

Coût limite (coût) = capacité de dispersion max (m) x coût minimum (coût /m)

Il va en résulter une carte représentant les secteurs au sein desquels l'amphibien ou l'odonate sera capable de se déplacer pour trouver un point d'eau.

4 RESULTATS

4.1 Carte des milieux

Une fois toutes les données regroupées sur une même interface, nous obtenons une carte avec tous les milieux et obstacles qui vont servir à la construction des cartes de résistance et de connectivité spatiale et fonctionnelle. La même carte des milieux est utilisée pour le groupe des amphibiens et des odonates.

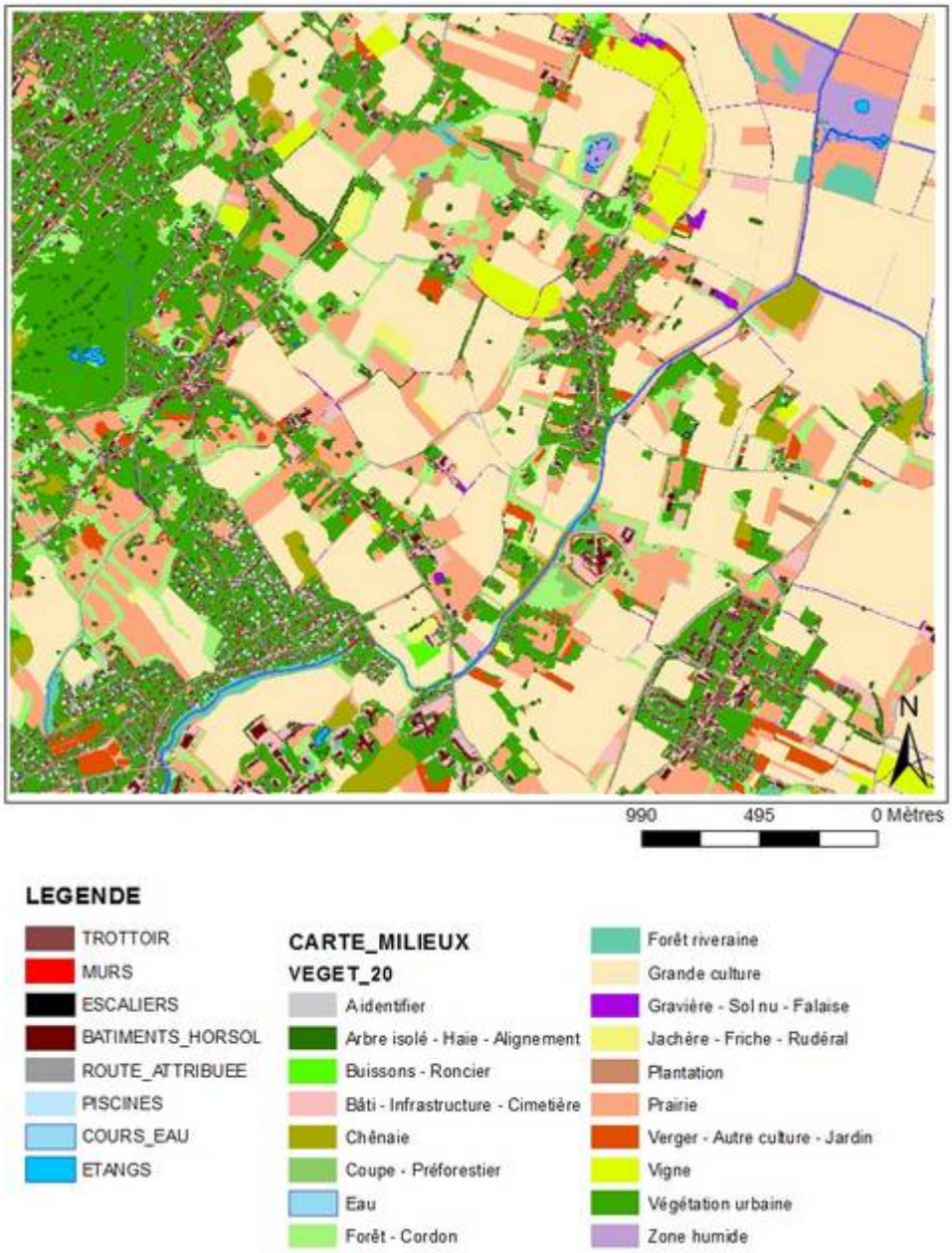


Fig 2: Carte des milieux et obstacles nécessaires à la construction des cartes de connectivité et des chemins migratoires.

4.2 Cartes de résistance:

Comme mentionné précédemment, nous avons obtenus deux cartes de résistance différentes pour les amphibiens et une carte pour les odonates.

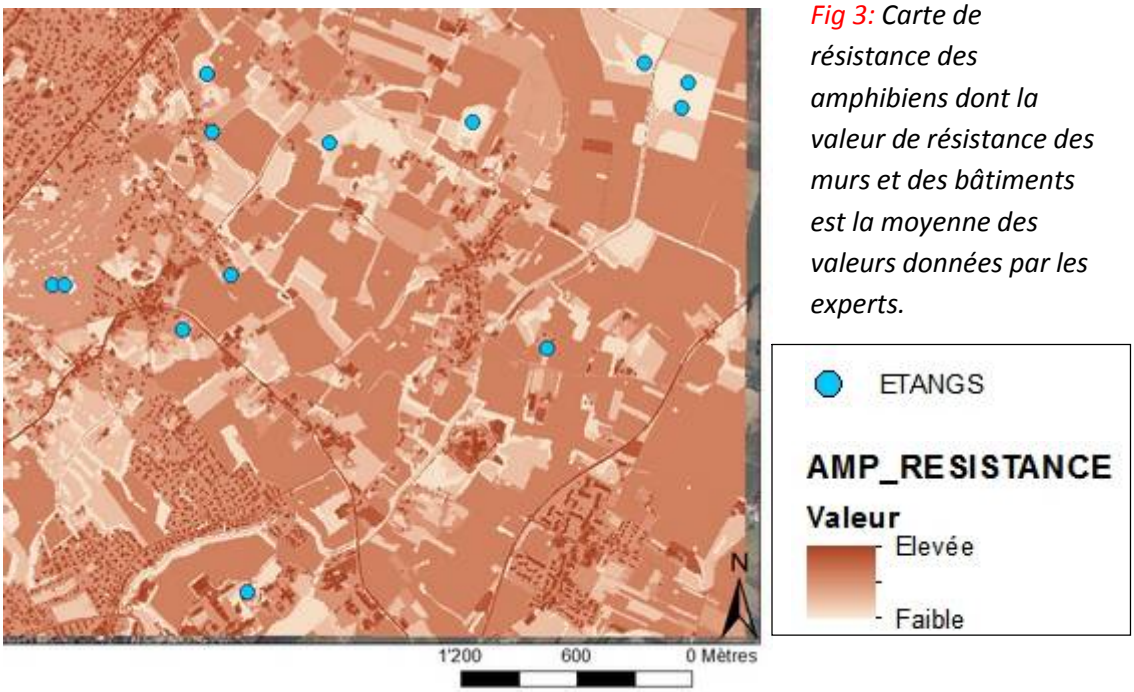


Fig 3: Carte de résistance des amphibiens dont la valeur de résistance des murs et des bâtiments est la moyenne des valeurs données par les experts.

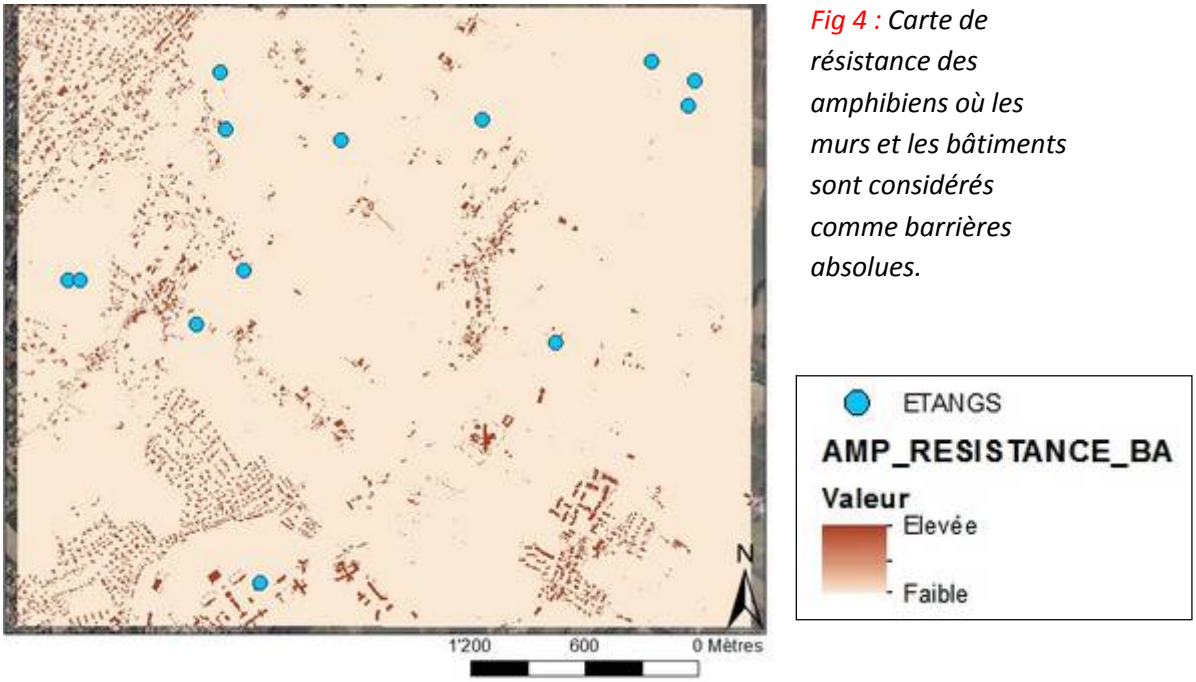


Fig 4 : Carte de résistance des amphibiens où les murs et les bâtiments sont considérés comme barrières absolues.

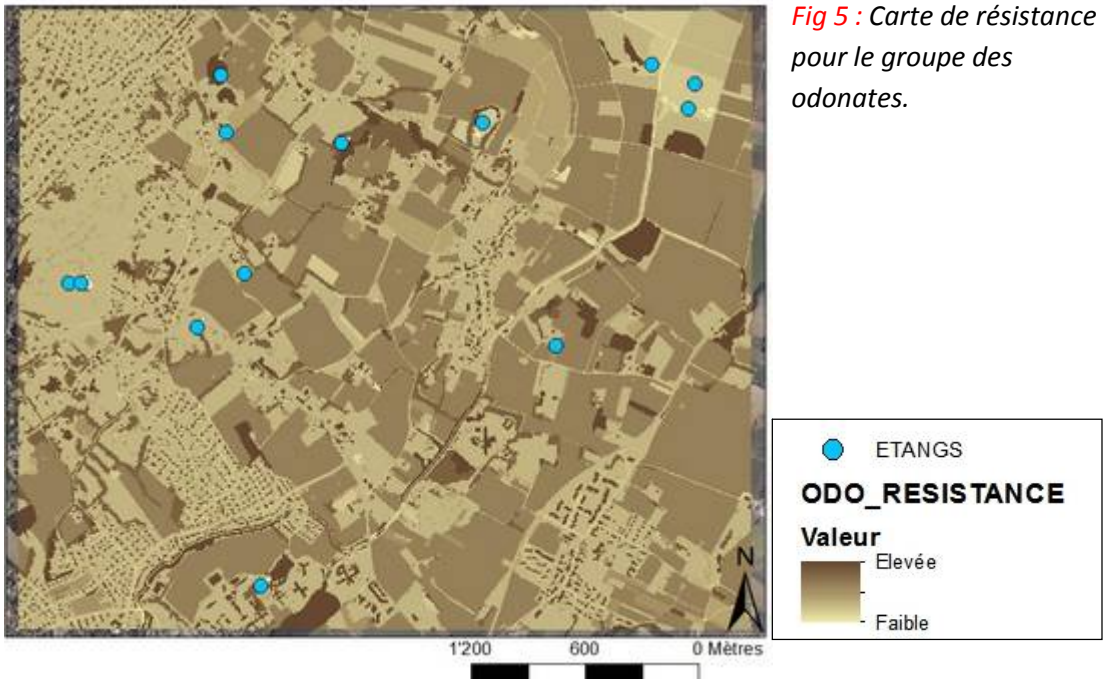


Fig 5 : Carte de résistance pour le groupe des odonates.

Pour des raisons évidentes de lisibilité, nous avons effectué toutes nos cartes en utilisant la carte de résistance où les murs et les bâtiments sont des « barrières absolues » mais nous avons décidé de les afficher sur la carte de résistance avec les valeurs des experts.

Il n'a pas été nécessaire d'établir une carte de résistance contenant des barrières absolue pour les odonates. En effet, un mur ou un bâtiment représente, certes, un obstacle, mais grâce à leur faculté de vol, ceux-ci peuvent être largement évité, du moins dans le secteur étudié (car absence d'habitation dense).

4.3 Cartes de connectivité spatiale

Nous avons donc généré quatre cartes de connectivité spatiale, deux par groupe (une pour chaque dispersion maximale).

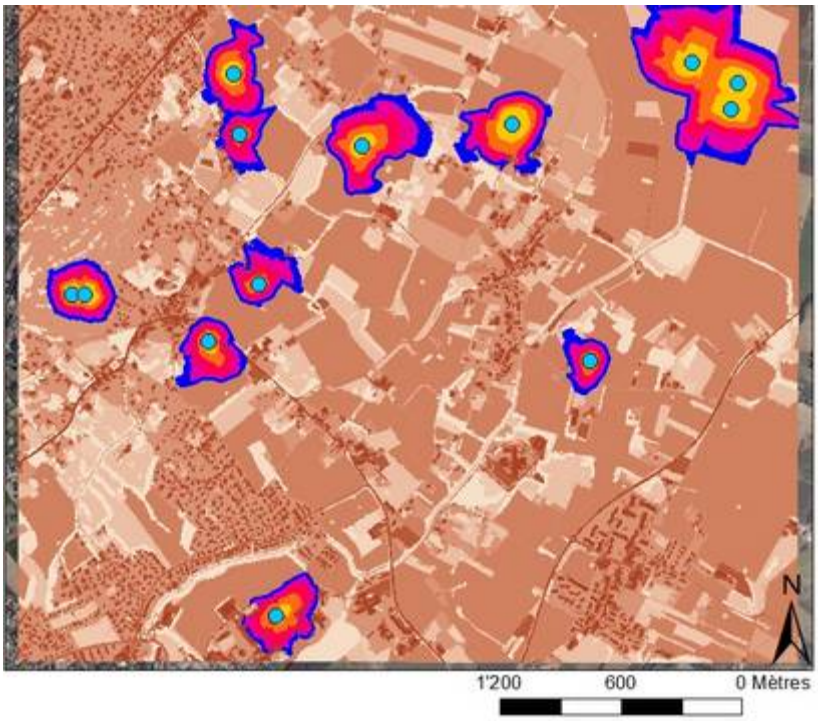


Fig 6: Carte de connectivité spatiale entre les étangs du secteur pour les amphibiens.

Distance de dispersion maximale : 500 m.

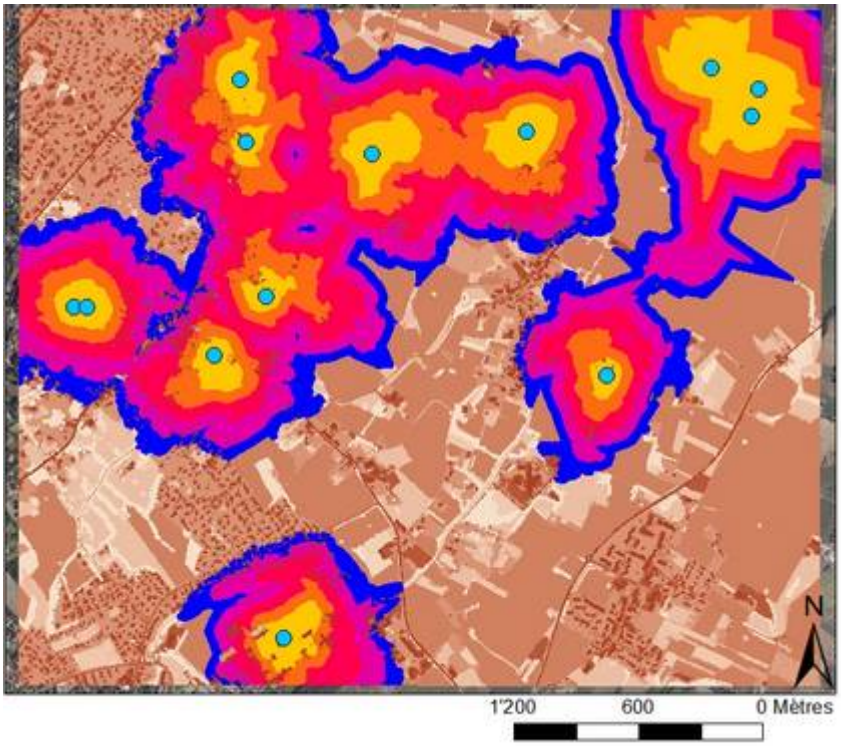


Fig 7: Carte de connectivité spatiale pour les amphibiens entre les étangs du secteur.

Distance de dispersion maximale : 1500 m.

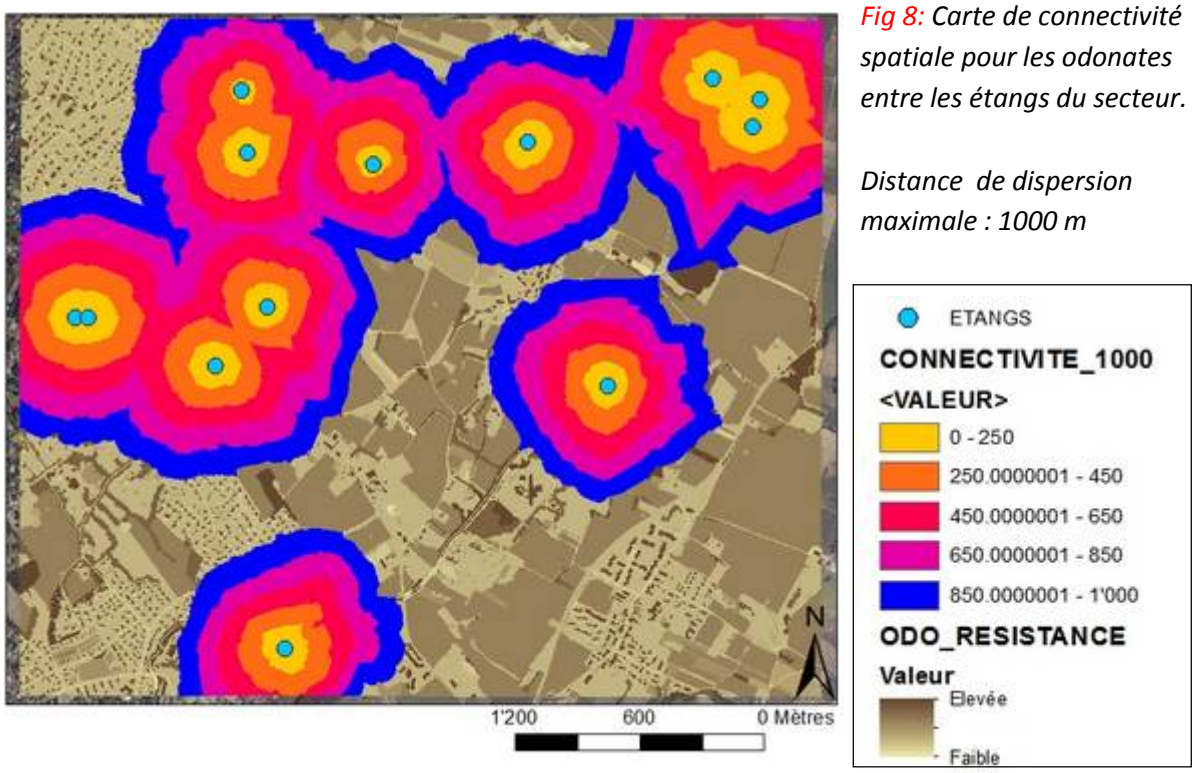


Fig 8: Carte de connectivité spatiale pour les odonates entre les étangs du secteur.

Distance de dispersion maximale : 1000 m

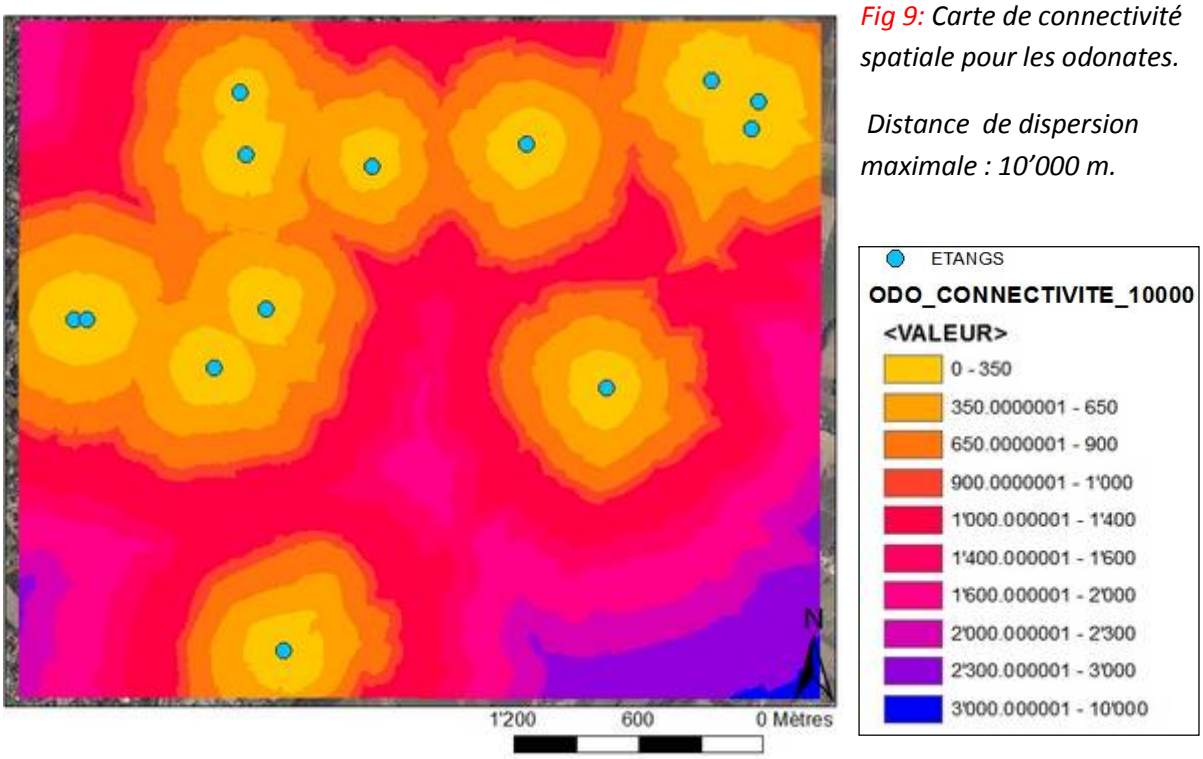


Fig 9: Carte de connectivité spatiale pour les odonates.

Distance de dispersion maximale : 10'000 m.

4.4 Carte des chemins de moindre coût

4.4.1 Cartes globales des chemins

Comme dit au chapitre 3.3.2, les chemins de moindre coût sont construits à partir des cartes de distance et d'antécédence de coût. A chaque fois, nous sommes partis d'un étang source vers les autres étangs du secteur, ce qui a donné lieu à 14 cartes différentes. Pour le présent rapport, nous décidons de présenter une carte regroupant tous les chemins hypothétiques pour les deux groupes.

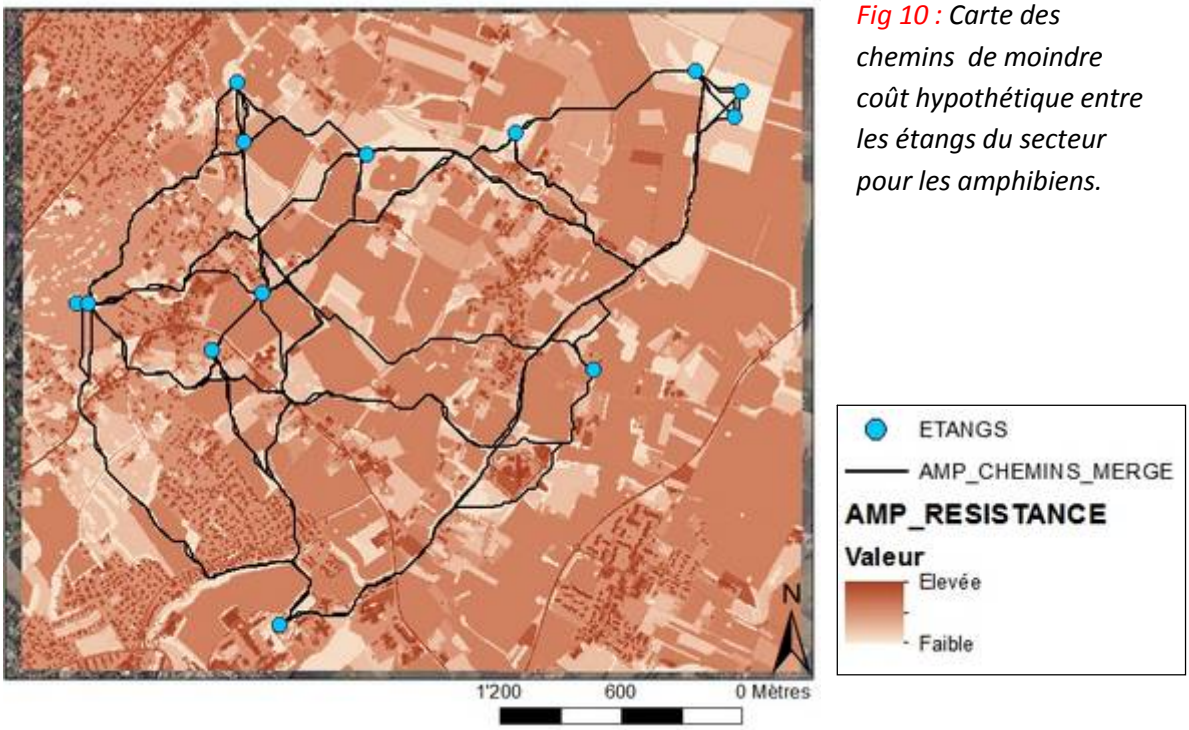


Fig 10 : Carte des chemins de moindre coût hypothétique entre les étangs du secteur pour les amphibiens.

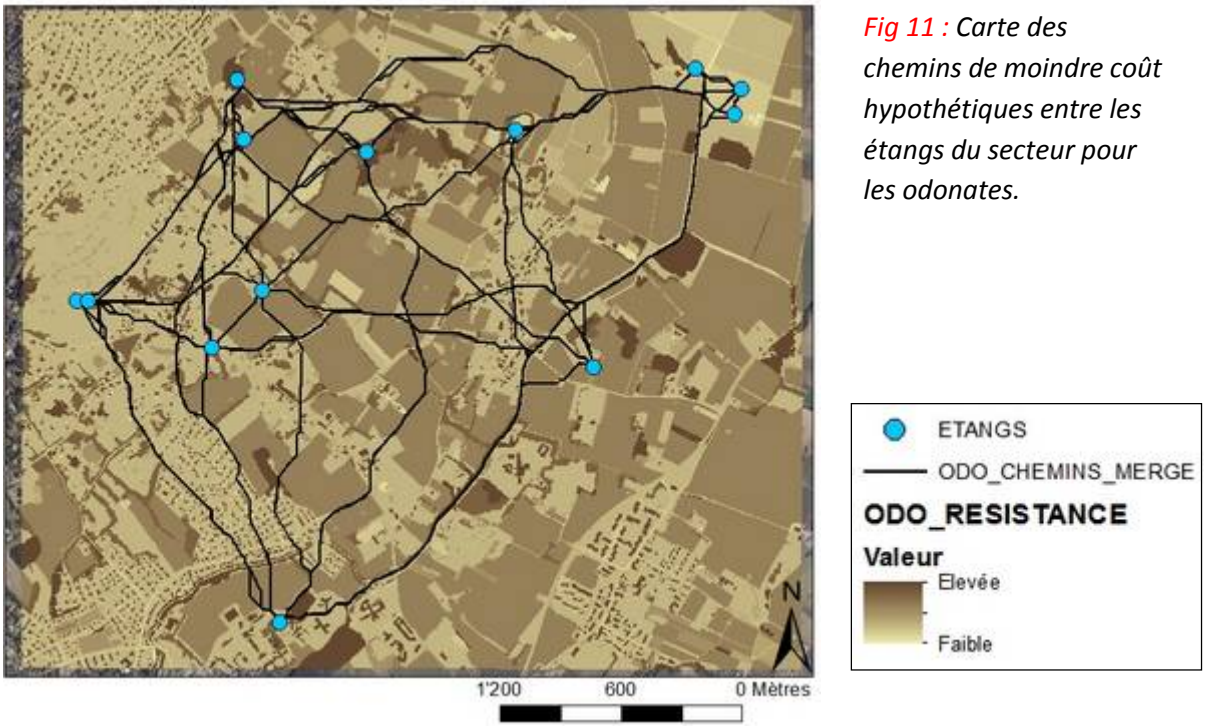


Fig 11 : Carte des chemins de moindre coût hypothétiques entre les étangs du secteur pour les odonates.

4.4.2 Carte croisée amphibiens et odonates

Afin d'avoir une idée des différences de migration qu'il peut y avoir entre les deux groupes, nous générons une carte sur laquelle nous superposons les chemins des odonates et les chemins des amphibiens.

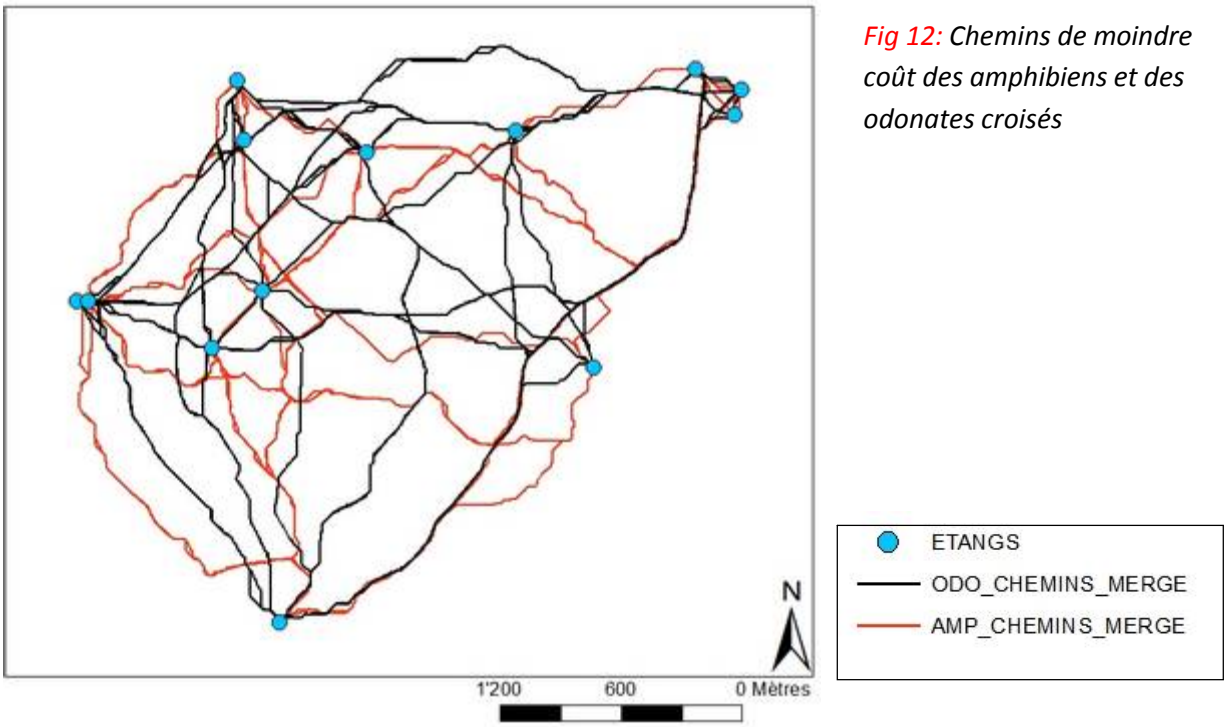


Fig 12: Chemins de moindre coût des amphibiens et des odonates croisés

4.4.3 Test de fiabilité des chemins

Tout cela reste très théorique. Afin d'avoir une idée de la faisabilité des trajets, nous avons décidé d'en suivre un à pied. Notre trajet est celui reliant la réserve des Creuses (Nord-Est) au Golf de Bessinge (extrême Ouest). Ce chemin nous a semblé approprié car il s'agit de celui qui présente la plus grande diversité de milieu, passant de milieu très rural à un milieu urbain.
Nous avons suivi le chemin de moindre coût hypothétique d'un amphibien car ce sont eux qui vont être confrontés à d'éventuelles micro structures non représentées sur aucune couche du cadastre genevois (voir chapitre 5.2 : Fiabilité du modèle).

5 DISCUSSION

5.1 Analyse des différentes cartes obtenues

Dans l'ensemble, nous avons obtenu des résultats satisfaisants pour chaque étape.
Le fait d'avoir utilisé des valeurs de résistance très élevées pour les murs et les bâtiments à la place des valeurs fournies par les experts pour le groupe des amphibiens n'a pas une grande influence sur les cartes en elle-même. Toutefois, il a été nécessaire de faire cette modification car nous avons effectivement remarqué à un point précis du secteur, une modification de chemin suite à la réattribution des valeurs.

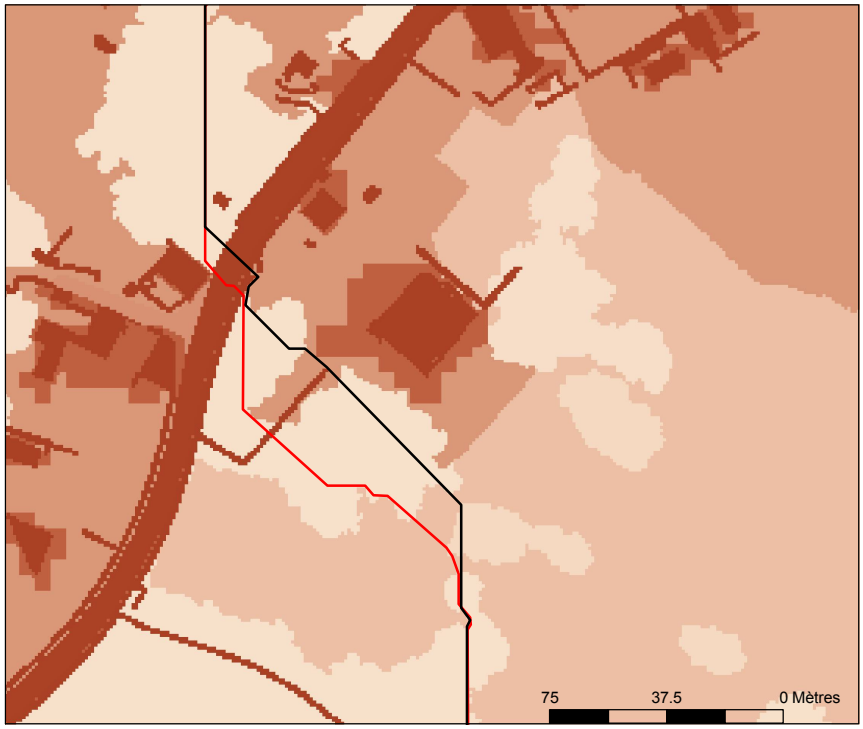


Fig 13: Différence de trajet.

En rouge : le chemin de moindre coût effectué par l'amphibien avec la valeur des experts pour les murs et bâtiments.

En noir : Trajet de moindre coût effectué avec les valeurs de résistance très élevées.

On remarque bien qu'il y a une différence dans la trajectoire effectuée : le chemin rouge traverse clairement deux murs.

N'oublions pas que notre carte de résistance a été construite sur la base de valeurs fournies par des experts. Les notes compilées restant toutefois assez homogène, il y a, par endroit, quelques notes qui sortent du lot et modifient la moyenne (d'où le calcul de l'écart type).

Concernant la connectivité, on remarque sans grande surprise que, plus la dispersion est importante, mieux les étangs sont connectés. Toutefois, on remarque qu'il y a toujours un étang particulièrement isolé des autres. Il s'agit de celui de la clinique Bel-Air au sud du secteur. Contrairement au cas des odonates, même si la dispersion est maximale pour les amphibiens, selon notre modèle, l'étang ne présente pas de liens avec les autres étangs du secteur. Par conséquent, si une espèce se trouvant dans les autres étangs se trouve aussi dans l'étang de la clinique Bel-Air, il faut revoir à la hausse la capacité de dispersion de cette espèce.

Les cartes de connectivité nous indiquent certes la façon dont sont connectés les étangs, mais nous remarquons qu'en plus, des couloirs de circulation écologiques apparaissent naturellement. Déjà, à partir des cartes de connectivité nous avons une idée du chemin que va emprunter un amphibien ou un odonate.

Concernant les chemins de moindre coût, il est important de noter ceci :
Le chemin de moindre coût a pour but de montrer le passage le moins coûteux en termes d'effort. Par conséquent, il n'y a pas d'indication sur la distance totale que ce trajet représente. Ainsi, un chemin peu coûteux en termes d'effort pourra faire, par exemple, le double de la capacité de dispersion maximale d'un animal. Cette observation se remarque notamment sur nos cartes de chemin de coût où, surtout dans le cas des amphibiens, tous les trajets ont tendance à contourner les zones d'habitation puisqu'il s'agit là des milieux les plus résistants.

Nous pouvons remarquer des différences significatives en ce qui concerne les trajectoires des chemins pour le groupe des amphibiens et ceux du groupe des odonates. Les trajectoires des odonates sont plus directes. Rappelons que ces derniers volent et les principaux obstacles auxquels ils sont confrontés sont ceux se trouvant en hauteur contrairement aux amphibiens, plus sensibles aux changements de milieux comme le passage d'un cours d'eau.
De la même façon, selon notre modèle, les odonates ont tendance à traverser les zones habitées.

5.2 Fiabilité du modèle

En admettant que la capacité de dispersion ne soit pas un critère décisif quant à la migration d'une espèce d'amphibien, il nous a donc fallu effectuer nous-même un des chemins afin de se rendre compte les type de milieux que rencontrerait un amphibien.

La fiabilité du modèle va donc dépendre de plusieurs facteurs :

- Est-ce que le trajet va être valable durablement ?
- Existe-t-il des micros structures non répertoriée dans les couches SIG ?
- Y a-t-il des changements significatifs dans le paysage depuis la dernière mise à jour qui empêcheraient ce trajet d'être suivi ?

N'oublions pas que ce chemin se tient sur une largeur de 1.00 m (dimension d'un pixel). Il a dons été relativement difficile de le suivre exactement, notamment en passant dans les bois.
Toutefois, nous sommes parvenus à faire le trajet et voici ce qu'il en ressort :

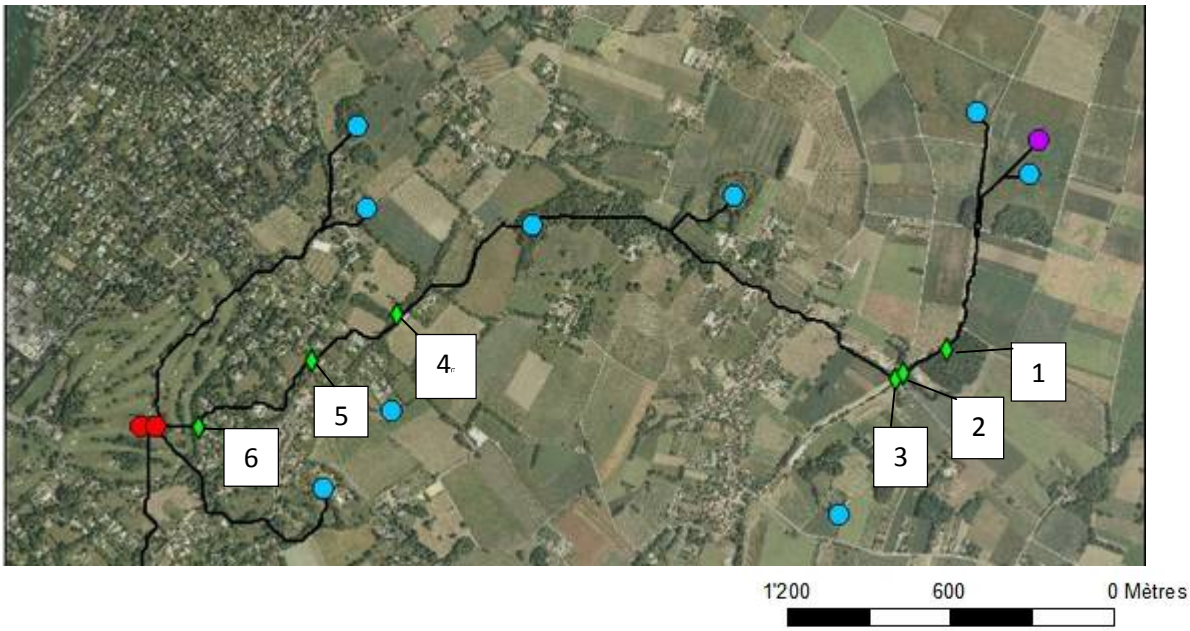


Fig 14 : Trajet suivi à pied, reliant la réserve des Creuses (point violet) et les étangs du golf de Bessinge (points rouges). Les losanges verts représentent les points GPS où ont été prises les photos qui suivent.

Photo 1 :

Voici le premier milieu qui serait suivi par notre amphibien selon notre modèle. Il s'agit de la rivière la Seymaz, qui entre dans la catégorie « cours d'eau » et « zone humide ». Selon le modèle, l'amphibien se déplacerait en suivant la rivière sur environ 700 m.

Photo 2 :

Selon notre modèle, l'amphibien quitterait la rivière pour remonter vers le Nord-Ouest par cet endroit (environ). La pente en ce point est plus faible qu'ailleurs.

Photo 3 :

On peut remarquer toutefois, qu'en certains points, la pente est non seulement très raide mais également recouverte partiellement de béton, ce qui constituerait une barrière casi absolue pour un amphibien. Notre chemin ne passe pas par cet endroit mais il aurait été faux si cela avait été le cas.

Photo 4 :

Ici, la route est bordée d'un côté par cette bande herbeuse et de l'autre par un trottoir. Notre chemin suit cette bande herbeuse et ne traverse la route qu'au dernier moment. Nous n'avons pas relevé si le trottoir est abaissé ou non au point où il traverse la route.

Photo 5 :

Il s'agit là de l'entrée dans une propriété. On ne le voit pas sur la photo mais il y a un mur qui s'arrête net juste sur la droite de cette photo. Notre chemin passe juste à côté. L'amphibien se trouve ici confronté à une double difficulté : la première est le léger rebord non répertorié dans les couches utilisées. Il s'agit donc d'une micro structure qui freinerait la migration. La deuxième difficulté est la légère pente. En effet, le chemin continue à l'intérieur de la propriété (qui est entourée d'un grillage avec des

ouvertures en losange standard, ne représentant pas un obstacle insurmontable pour un amphibien de taille modérée).

Photo 6 :

Il s'agit là de l'entrée dans le Golf. Nous sommes ici confrontés à la même difficulté que la photo précédente, à savoir un rebord et une pente d'inclinaison variable sur une bonne portion du pourtour du golf. En plus, nous remarquons la présence d'un grillage à large ouverture (environ 10-15 cm de hauteur sur 10 cm de large). En soit, il ne représente pas un obstacle conséquent. Le problème est que, par endroit, ce grillage est doublé d'un grillage plus fin (ouverture d'environ 2 à 4 cm). A ce moment, suivant l'espèce qui effectuerait ce trajet, ceci représenterait une barrière conséquente (voir absolue).

En ce qui concerne notre « chemin-test », le trajet semble fiable sur la plupart de sa longueur. Attention toutefois à d'éventuel reclassement de certaines parcelles qui pourrait passer du statut « terre agricole » à « terrain constructible ». Nous avons relevé comme micros structures les différents type de grillages rencontré autour des propriétés et les petits rebords de route. Cela même, les propriétés sont souvent entourées de haie épaisse qui nous empêche de passer. Toutefois, un amphibien peut les traverser sans problème.

Cependant, la notion de chemin de coût cantonne l'animal à suivre un trajet précis sur une largeur définie. Or, nous le savons bien, il n'est pas possible de déterminer à l'avance quel chemin suivra telle espèce d'amphibien ou telle espèce d'odonates avec précision. C'est pourquoi le chemin de moindre coût peut nous aider à voir comment

l'animal va se comporter face à un obstacle plutôt que le chemin suivie pour une migration.

Afin de vérifier la validité du modèle, nous décidons d'effectuer, à l'aide de l'outil « couloir » de la toolbox « spatial analyst », une zone de déplacement entre deux étangs « test » en utilisant la distance de coût maximale pour chacun des groupes. Il en ressort que les chemins suivent effectivement des couloirs (voir Annexes).

5.3 Améliorations possibles

Si nous voulons pousser le modèle à un réalisme extrême, il faudrait créer une couche supplémentaire sur les rebords de route et les grillages qui, selon la taille de leur trous. En fonction de l'espèce qui migre, les grillages à trou fin constitueraient une barrière importante, voir absolue si le grillage est enfoncé dans le sol.

L'utilisation de la pente apparaît comme une possibilité afin d'affiner et corriger le modèle, bien que nous ne nous trouvions pas en région montagneuse, il apparaît important d'en tenir compte. Selon notre trajet test, de nombreux points de passage sont des pentes relativement importantes mais de faible hauteur.

Des expériences concernant le niveau de résistance d'une route pourraient être menées afin de confirmer s'il s'agit de barrière effective ou pas. Une expérience faite sur les abeilles et leur réticence à traverser des routes (Bhattacharya et al. (2002)) montre que les abeilles évitent de traverser les routes. Effectuer une expérience semblable en notant des odonates, les relâchant sur un site et voir si on les retrouve sur un autre site nous donnerait une indication quant à la résistance que représentent les routes. Ainsi, nous pourrions revoir à la baisse ou à la hausse la résistance de ces obstacles.
De la même façon, la question se pose pour les amphibiens. En effet, le type de route ne suffit pas (une route cantonal peut être large mais peu fréquentée suivant le lieu où on se trouve). Travailler donc par tronçon avec le type et un attribut contenant le taux de fréquentation créerait une subdivision supplémentaire et changerait sans doute le trajet de l'amphibien. A cela, il serait intéressant d'ajouter le taux de mortalité pour chaque groupe en relation avec le type de route.

Pour pousser l'observation encore plus loin, en effectuant des cartes de chemins pour une migration nocturne. De la même façon qu'expliqué précédemment, il y aurait un taux de fréquentation différents pour un même tronçon que ce soit de jour ou de nuit.

6 CONCLUSION – PERSPECTIVE

Malgré l'urbanisation de la zone, on remarque que nos étangs restent connectés à l'exception de l'étang de la clinique Bel-Air et des trois étangs de la réserve des Creuses, tous isolés dans le secteur. Cependant, toute la zone Nord apparaît connectée sur la base d'une capacité de dispersion maximale.

Le chemin test suivi avec une attention toute particulière, révèle que certains éléments mériteraient d'être ajoutés dans le cadre d'une étude de migration par chemin de coût, comme les grillages et des rebords de route.
Il serait également intéressant de vérifier ces chemins lorsque nous ajoutons aux variables la valeur de la pente. A la suite de nos observations, il est fort à parier que le chemin ne divergerait pas énormément.

Il ressort de notre étude qu'établir un chemin de moindre coût ne constitue pas une solution pour l'étude de la migration des amphibiens ou des odonates. En effet, il existe trop de variables influençant les chemins parcourus.
Bien que les modélisations donnent des résultats crédibles, dans une étude dont le but est de voir comment se déplace un individu, son sens de migration, ou même les étangs les mieux connectés, il est préférable de travailler avec la notion de couloir. Ceux-ci tolèrent une certaine marge d'erreur en définissant une zone de passage plutôt qu'un trajet rectiligne. Le chemin de coût intervient pour le comportement face aux obstacles rencontrés. Cependant, les chemins de moindre coût suivent bien les couloirs naturels. Ils peuvent donc être servis afin de déterminer le lieu d'un aménagement particulier qui permettrait de faciliter la migration des espèces et qui constituerait une sorte d'étape « relais ».

Face à de telles observation, la méthode la plus sûre pour avoir une idée du trajet suivi par un amphibien ou un odonate serait le suivi par GPS, entrer les données sur ArcGIS et les comparer au modèle.

7 REFERENCES

Oertli B (2011), Mares et étangs urbains: hot-spots de biodiversité au cœur de la ville ?

Lehtinen R.M., Galatowitsch S.M. and Tester J. R. (1999) Consequences of habitat loss and fragmentation for wetland amphibian assemblages, WETLANDS, 19, pp. 1-12.

Ray N. (1999), Etude de la migration des amphibiens et de la connectivité entre étangs à l'aide d'un Système d'Information Géographique, diplôme.

Bhattacharya M, Primack R. B. and Gerwein J. (2002) Are roads and railroads barriers to bumblebee movement in a temperate suburban conservation area ?,Biological Conservation 109, pp. 37-45.

Joly P., Morand C. and Cohas A. (2003), Habitat fragmentation and amphibians conservation : building a tool for assessing landscape matrix connectivity. C.R. Biologies 326, pp. 132-139

8 ANNEXES

8.1 Tableaux des notations des experts: Amphibiens

Remarque concernant les notations: Les cases rouge représente les valeurs ignorées dans le calcul de la moyenne (« NoData » ou valeurs se distinguant fortement des autres et modifiant à elles seuls la moyenne). Pour le cas où deux valeurs ont été données pour un milieu, une moyenne des deux notes a été effectuée.

NOM de l'obstacle	BO	DK	DL	ED	JP	SA	MOYENNE	ECART TYPE
Alluvion	1	1	1	1	1	3	1.3	0.8
buissons-roncier	2	2	1	2	1	2	1.7	0.5
arbres isolé, haie, alignement	2	2	1	3	1	1	1.7	0.8
Forêt - Cordon	2	2	1	1	1	1	1.3	0.5
Chênaie	2	2	1	2	1	1	1.5	0.5
Coupe-Préforestier	2	2	3	2	1	3	2.2	0.8
Plantation	2	3	1	3	3	2	2.3	0.8
Verger - culture de petite taille	2	2	1	4	1	4	2.3	1.4
Forêt riveraine	2	1	1	1	1	1	1.2	0.4
Etang	1	1	1	1	1	1	1.0	0.0
ruisselet	7	1	2	2	1	5	1.5	0.6
ruisseau	8	1	4	4	1	6	4.0	1.7
rivière	9	5	7	6	1	8	7.0	1.6
fleuve	10	6	10	10		8	8.8	1.8
Grande culture	6	5	4	6	9	6	5.4	0.9
Sol nu	6	4	4	2	9	6	5.0	1.2
Jachère - Friche - Rudéral	2	2	1	2	1	4	2.0	1.1
Pinède	2	4	4	2	1	2	2.5	1.2
Pelouse sèche	5	4	4	3	5	4	4.2	0.8
Prairie	3	2	3	3	1	4	2.7	1.0
Vigne	3	4	3	4		6	4.0	1.2
Végétation urbaine	3	4	4	3	7	6	4.5	1.6
Zone humide	1	1	1	1	1	1	1.0	0.0
Bâti-infrastructure-cimetière	7	8	5	6	9	8	7.2	1.5
Autoroute	10	9	10	10	10	10	9.8	0.4
route primaire	8	8	10	9	9	8	8.7	0.8
route secondaire	5	4	8	7	7	6	6.2	1.5
route de quartier	3	4	5	6	5	5	4.7	1.0
chemin de fer	6	5	10	8		7	7.2	1.9
Bâtiments	10	10	10	10	10	10	10.0	0.0
trottoir	9	10	9	8		8	8.8	0.8
piscine	10	8	10	10	10	10	9.7	0.8
mur	10	4	10	10	10	10	10.0	0.0
escalier	10	8	10	8	10	9	9.2	1.0

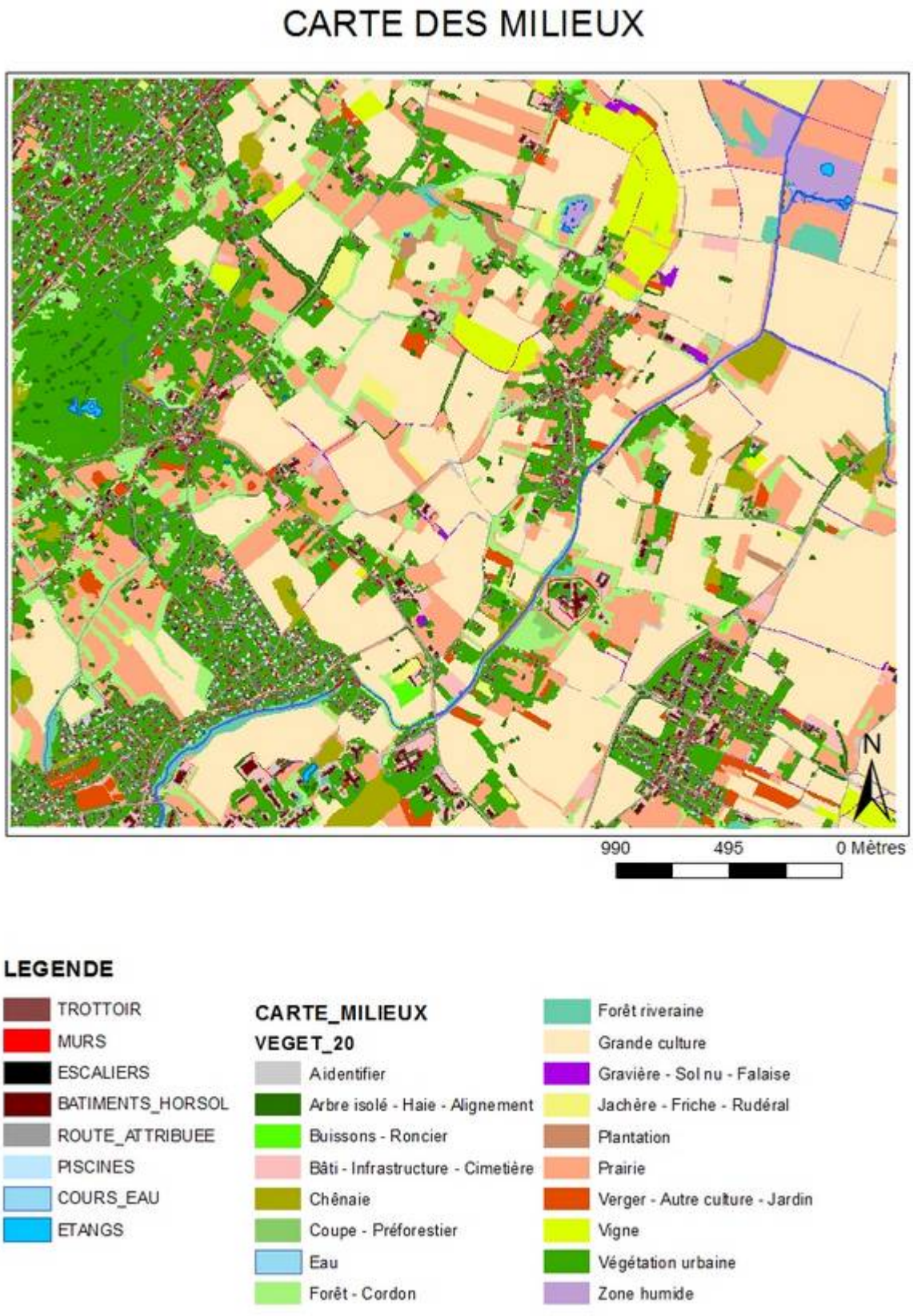
BO=Beat Oertli ; DK=Daniel Küry ; DL=David Leclerc ; ED = Eliane Demierre ; JP=Jérôme Pellet ; SA = Sandrine Angélibert

8.2 Tableaux des notations des experts: Odonates

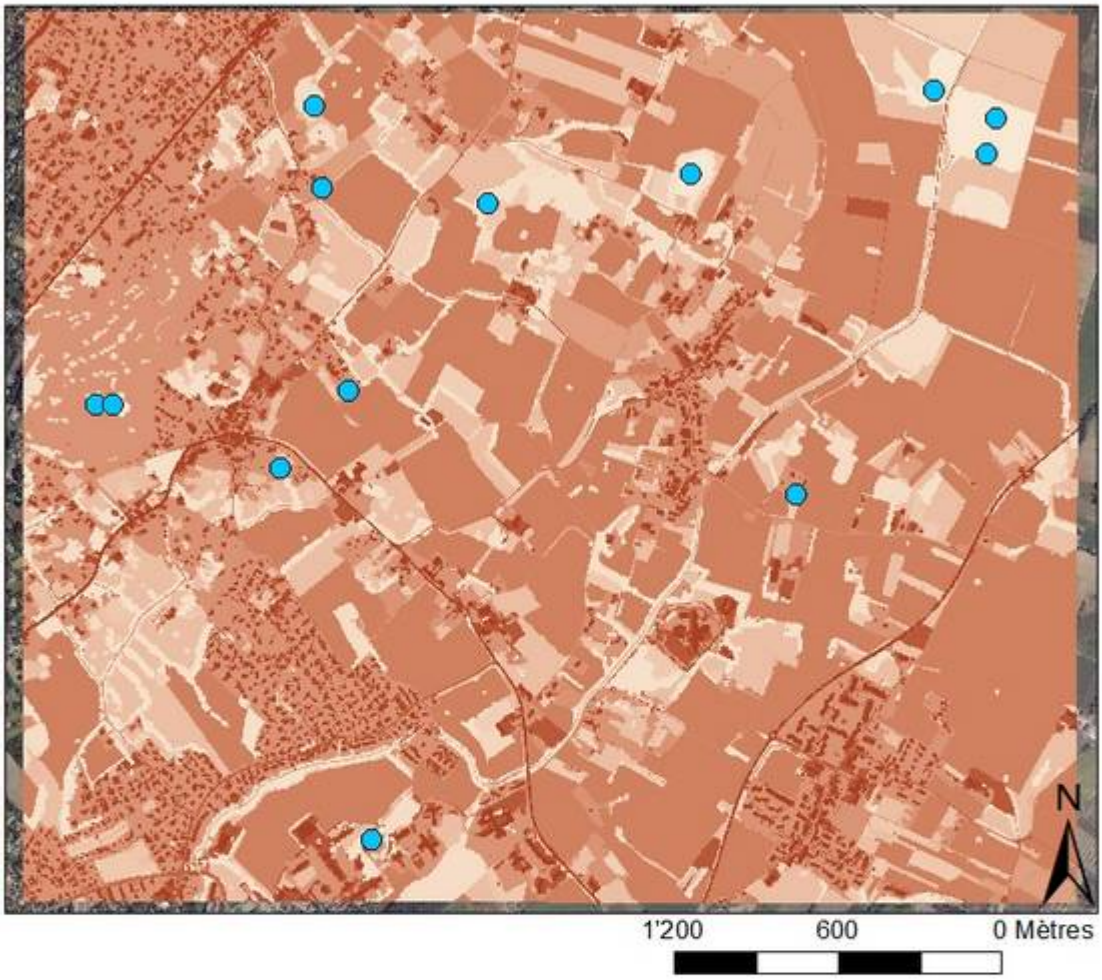
NOM de l'obstacle	BO	DG	DK	DL	SA	MOYENNE	ECART TYPE
Alluvion	1		1	1	1	1	0.0
buissons-roncier	2	1	2	2	1	1.6	0.5
arbres isolé, haie, alignement	3	1	2	2	1	1.8	0.8
Forêt - Cordon	4	2	3	3	1	2.6	1.1
Chênaie	7	3	4	4	3	3.5	0.6
Coupe-Préforestier	5	2	3	3	2	3	1.2
Plantation	5	3	3	3	3	3.4	0.9
Verger - culture de petite taille	7	2	3	1	2	2	0.8
Forêt riveraine	4	5	2	4	1	3.2	1.6
Etang	1	1	1	1	1	1	0.0
ruisselet	1	1	1	1	1	1	0.0
ruisseau	1	1	1	1	1	1	0.0
rivière	1	1	1	1	1	1	0.0
fleuve	2	2	1	2	1	1.6	0.5
Grande culture	2	3	3	1	2	2.2	0.8
Sol nu	1	2	1	1	1	1.2	0.4
Jachère - Friche - Rudéral	2	2	1	1	1	1.4	0.5
Pinède	4	4	2	1	3	2.8	1.3
Pelouse sèche	2	2	2	1	1	1.6	0.5
Prairie	2	2	2	1	1	1.6	0.5
Vigne	2	2	2	1	2	1.8	0.4
Végétation urbaine	3	1	2	1	1	1.6	0.9
Zone humide	2	1	2	1	1	1.4	0.5
Bâti-infrastructure-cimetière	1	2	2	1	2	1.6	0.5
Autoroute	3	2	2	2.5	3	2.5	0.5
route primaire	2	1	2	1	2	1.6	0.5
route secondaire	1	1	2	1	2	1.4	0.5
route de quartier	1	1	2	1	2	1.4	0.5
chemin de fer	1		2	1	2	1.5	0.6
Bâtiments							
Bâtiment H1	5	3	2	3	2	3	1.2
Bâtiment H2	7	4	2	7	3	3	1.0
Bâtiment H3	8	5	3	8.5	4	4	1.0
Bâtiment H4	9	7	5	9.5	5	7.1	2.1
trottoir	1	1	2	1	1	1.2	0.4
piscine	1	1	1	1	1	1	0.0
mur	2	2	2	1	2	1.8	0.4
escalier	2		2	1	3	2	0.8

BO=Beat Oertli ; DG=Daniel Grand ; DK=Daniel Küry ; DL=David Leclerc ; SA=Sandrine Angélibert

8.3 Cartes obtenues par modélisation SIG



AMPHIBIENS: CARTE DE RESISTANCE



LEGENDES

ETANGS

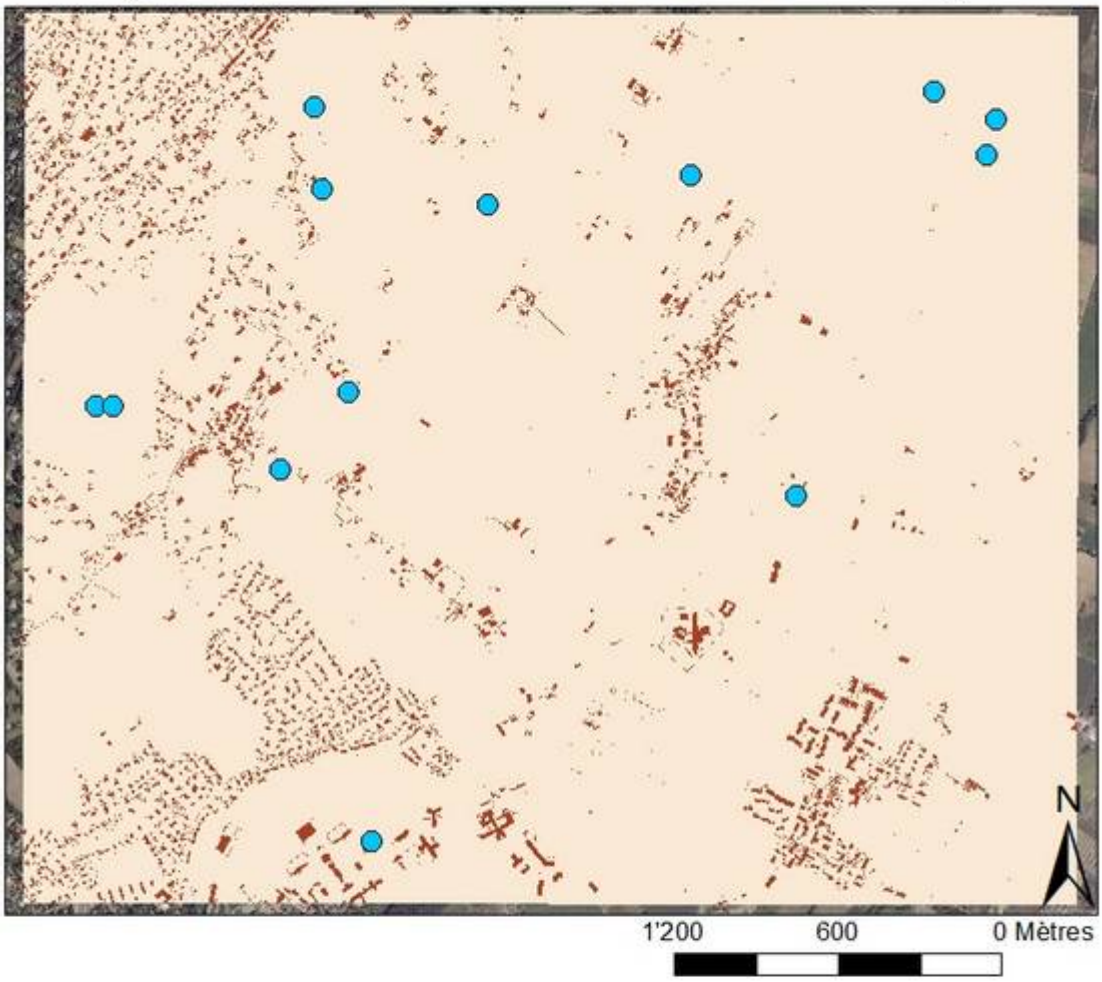
AMP_RESISTANCE

Valeur

Elevée

Faible

AMPHIBIENS: CARTE DE RESISTANCE
(murs et bâtiments en barrières absolues)



LEGENDES

ETANGS

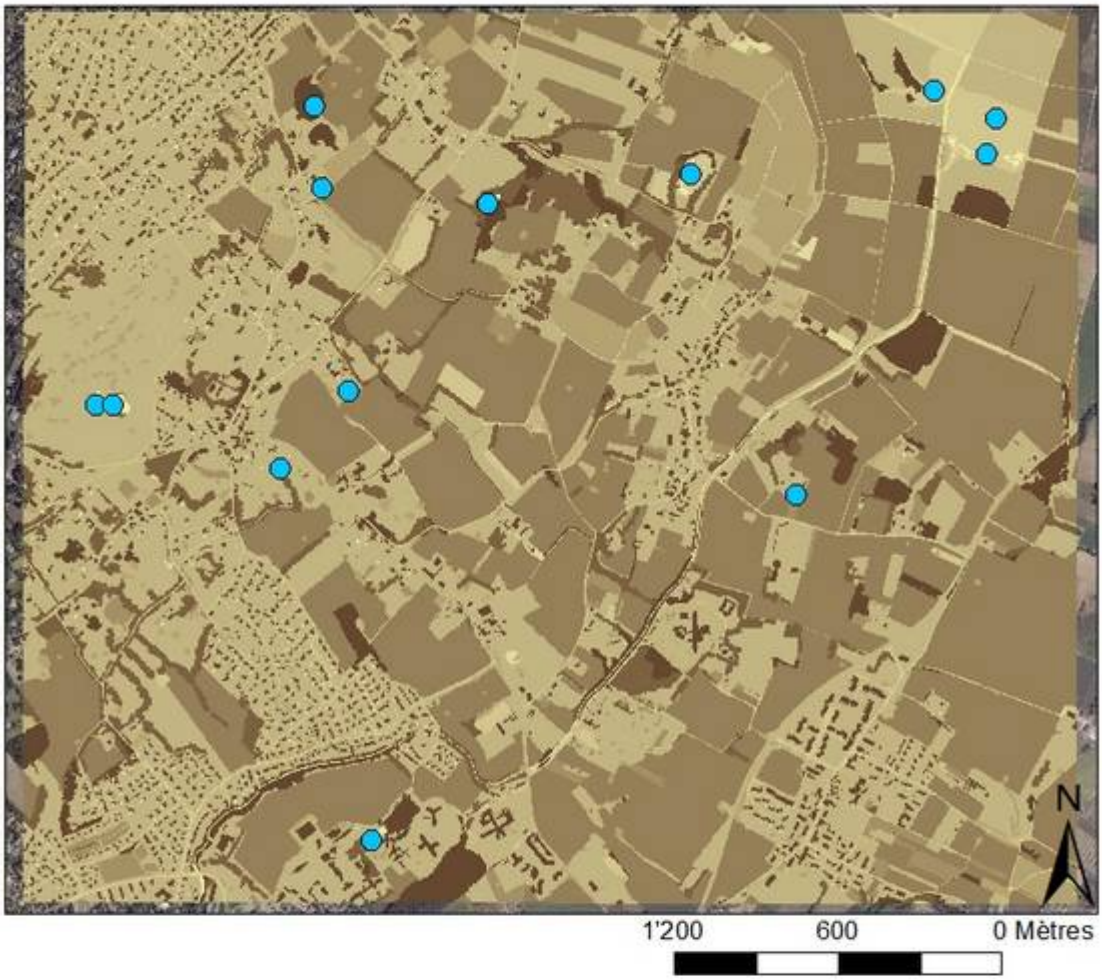
AMP_RESISTANCE_BA

Valeur

Elevée

Faible

ODONATES: CARTE DE RESISTANCE



LEGENDES

ETANGS

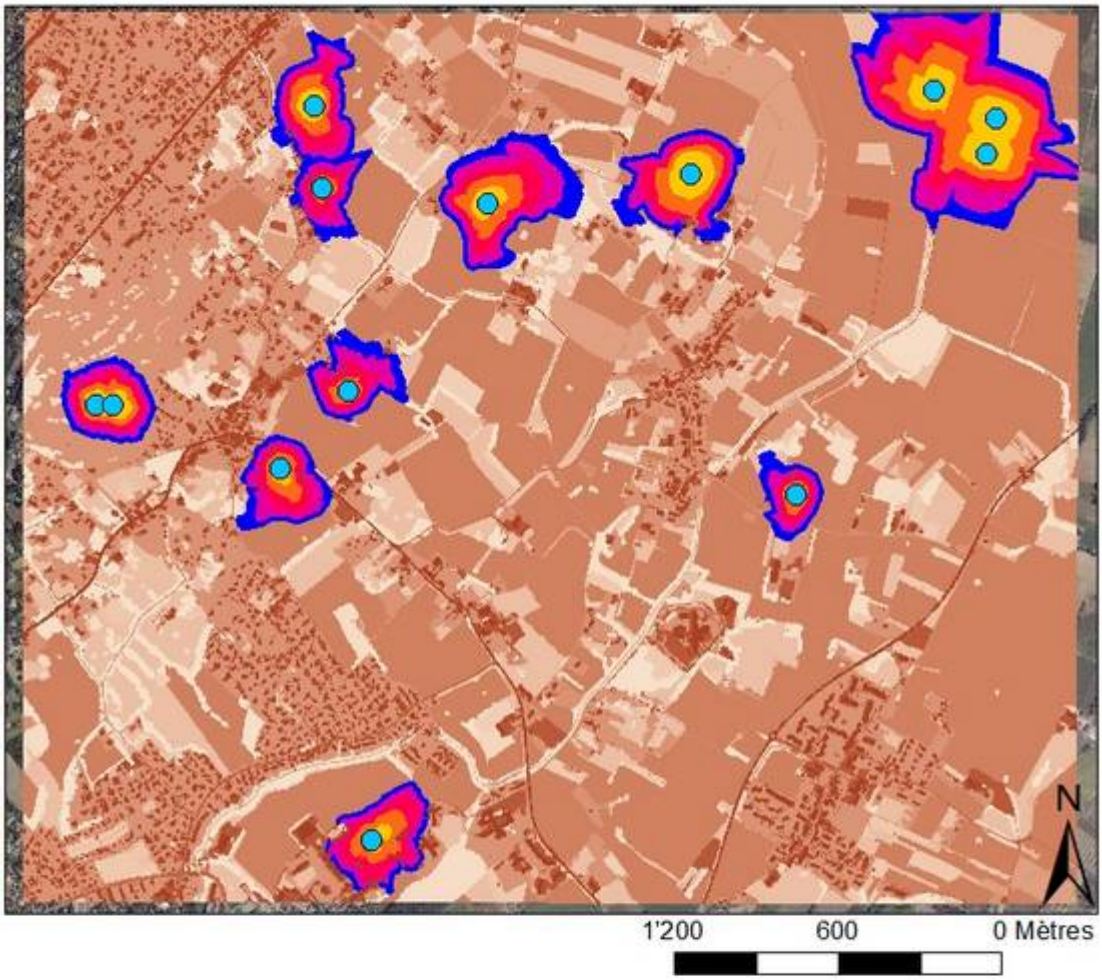
ODO_RESISTANCE

Valeur

Elevée

Faible

AMPHIBIENS: CARTE DE CONNECTIVITE (500 m)



LEGENDES

ETANGS

AMP_RESISTANCE

Valeur

Elevée

Faible

AMP_CONNECTIVITE_500

<VALEUR>

0 - 100

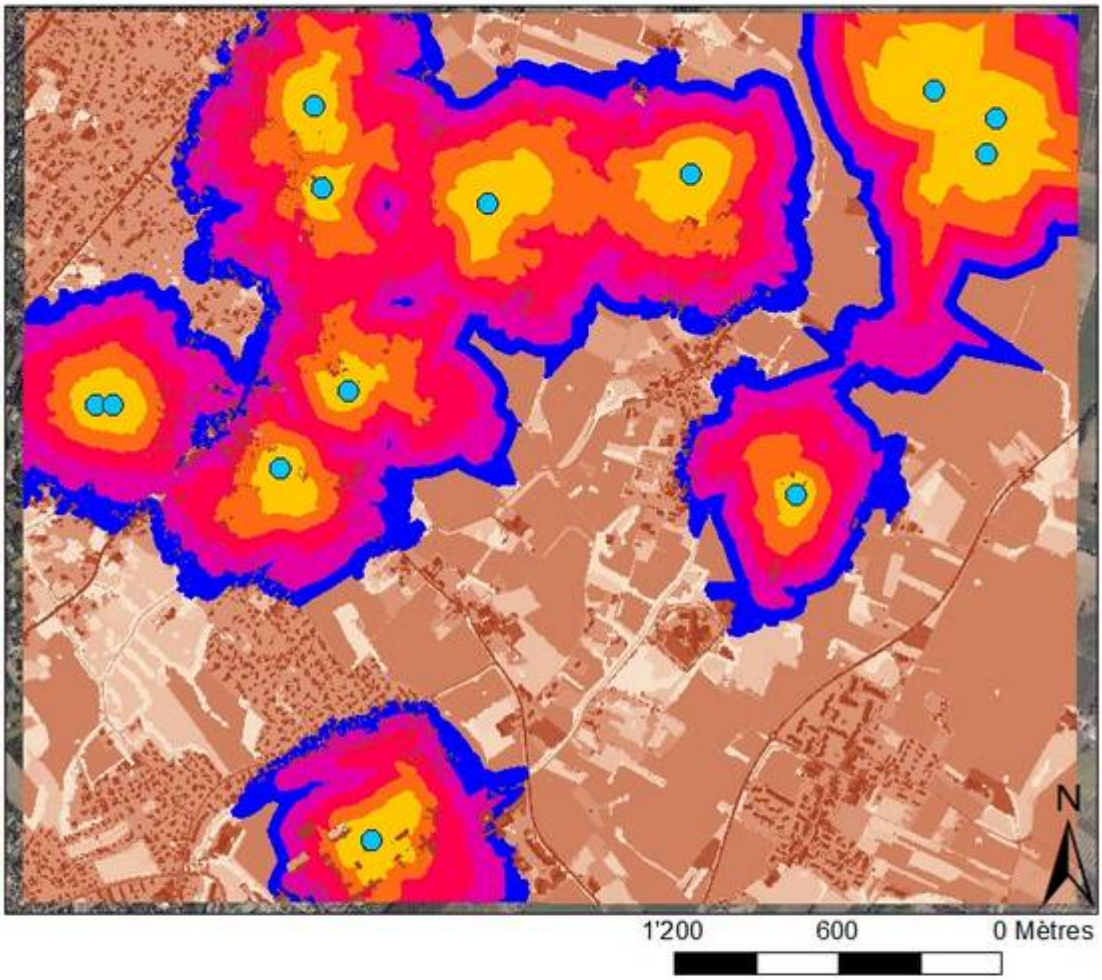
100.0000001 - 200

200.0000001 - 300

300.0000001 - 400

400.0000001 - 500

AMPHIBIENS: CARTE DE CONNECTIVITE (1500 m)



LEGENDES

ETANGS

AMP_RESISTANCE

Valeur

Elevée

Faible

AMP_CONNECTIVITE_1500

<VALEUR>

0 - 350

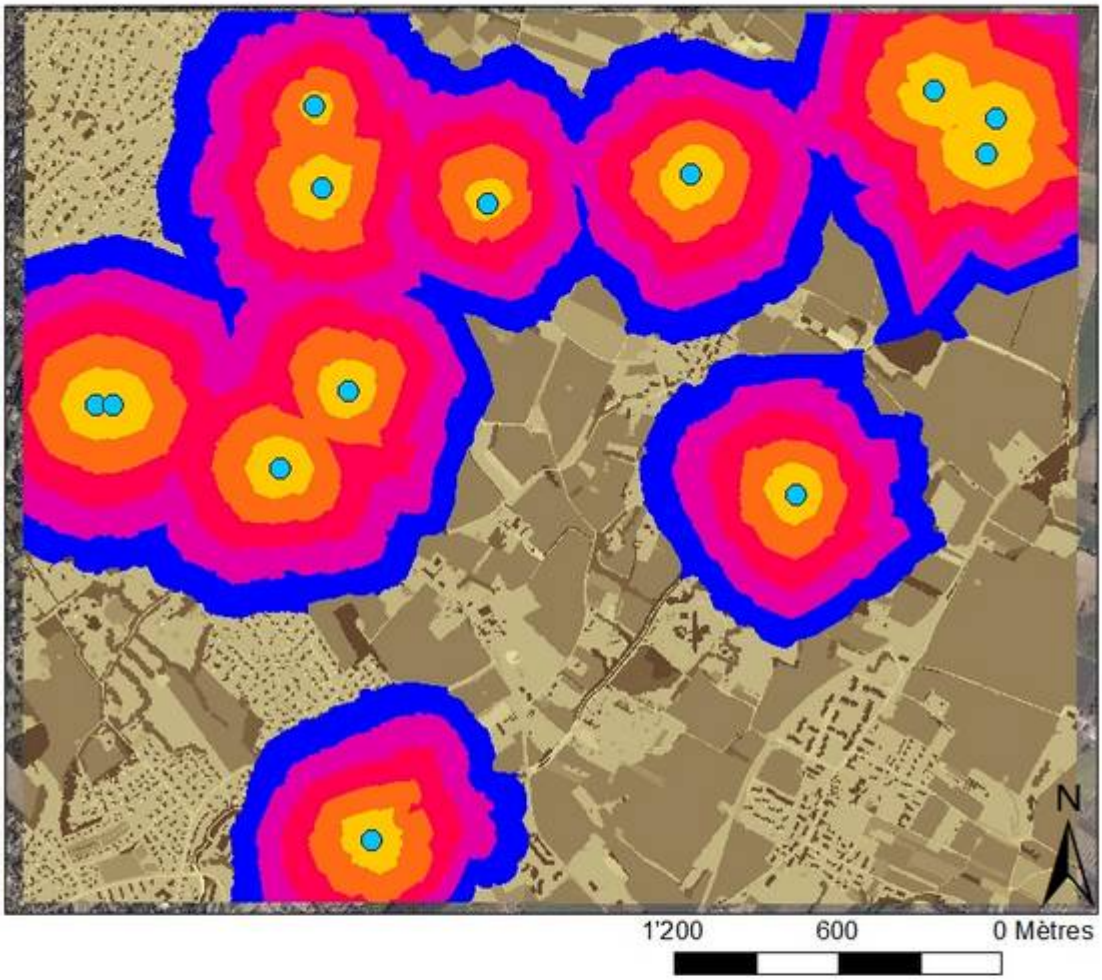
350.0000001 - 650

650.0000001 - 950

950.0000001 - 1'250

1'250.000001 - 1'500

ODONATES: CARTE DE CONNECTIVITE (1000 m)



LEGENDES

ETANGS

ODO_RESISTANCE

Valeur

Elevée

Faible

ODO_CONNECTIVITE_1000

<VALEUR>

0 - 200

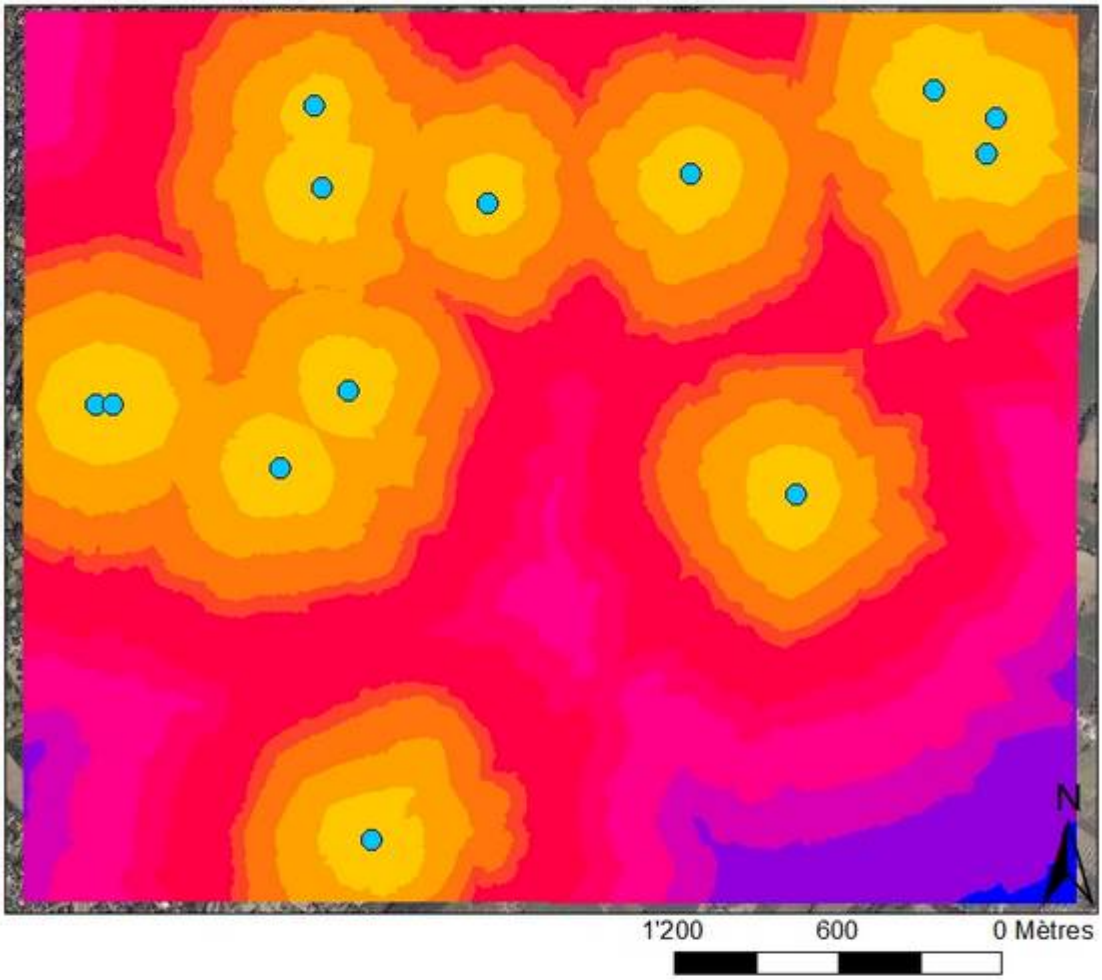
200.0000001 - 400

400.0000001 - 600

600.0000001 - 800

800.0000001 - 1'000

ODONATES: CARTE DE CONNECTIVITE (10'000 m)



LEGENDES

ETANGS

ODO_RESISTANCE

Valeur

Elevée

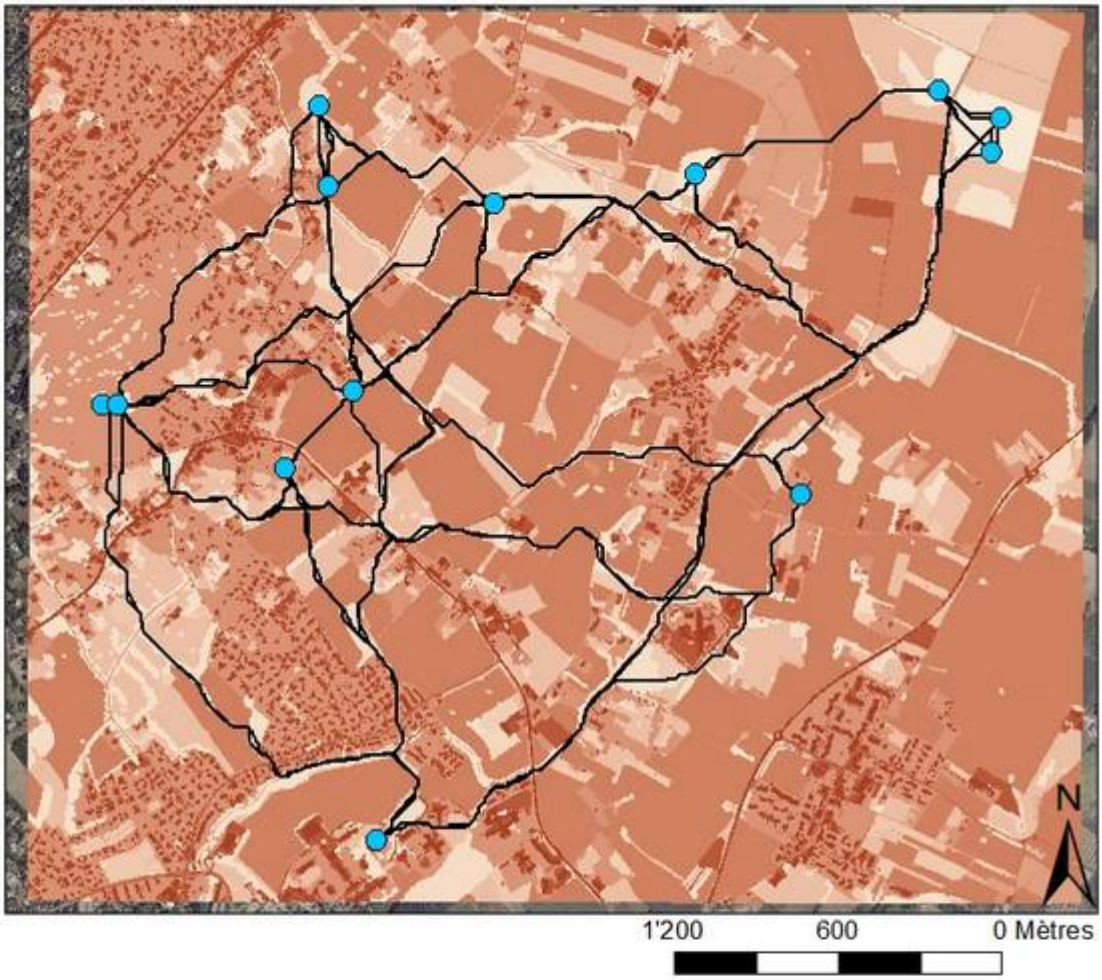
Faible

ODO_CONNECTIVITE_10000

<VALEUR>

- 0 - 350
- 350.0000001 - 650
- 650.0000001 - 900
- 900.0000001 - 1'000
- 1'000.000001 - 1'400
- 1'400.000001 - 1'600
- 1'600.000001 - 2'000
- 2'000.000001 - 2'300
- 2'300.000001 - 3'000
- 3'000.000001 - 10'000

AMPHIBIENS: CARTE DES CHEMINS



LEGENDES

ETANGS

AMP_CHEMINS_MERGE

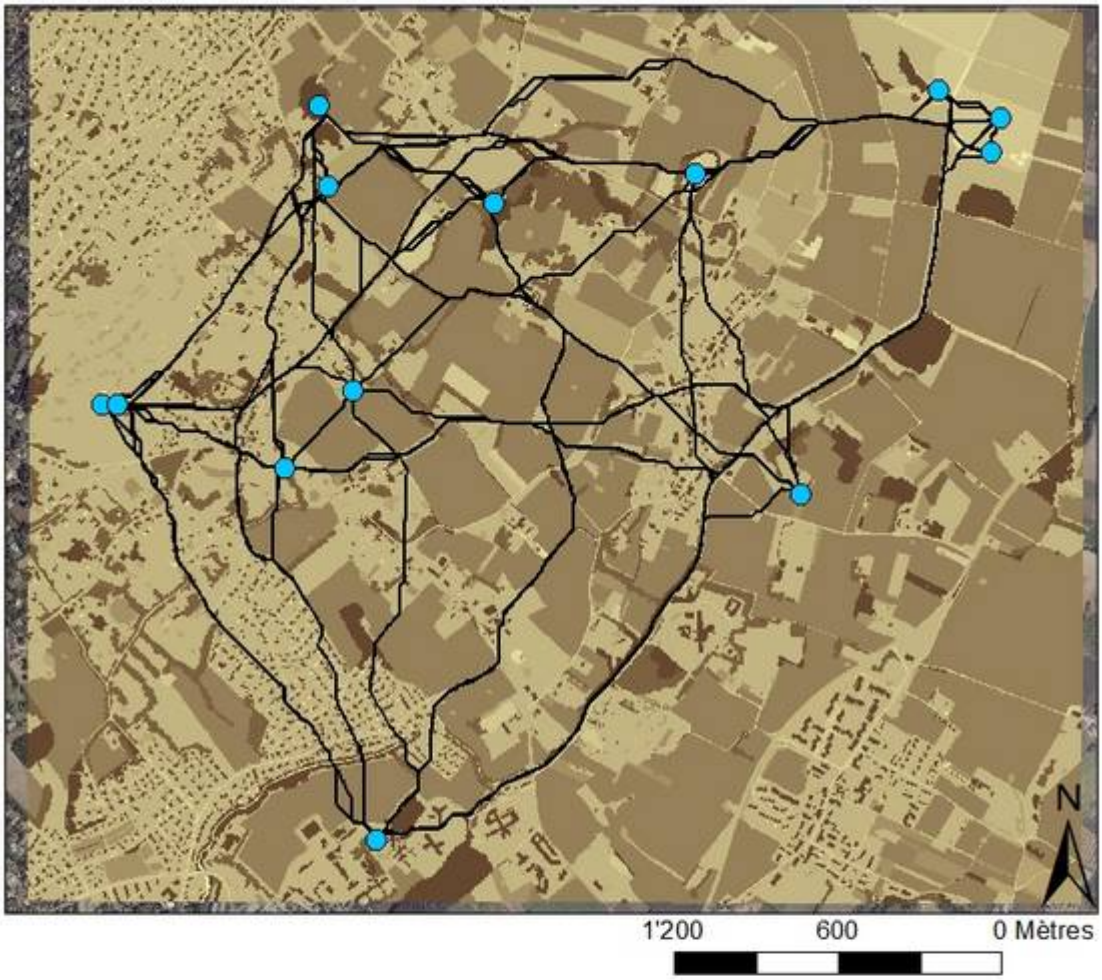
AMP_RESISTANCE

Valeur

Elevée

Faible

ODONATES: CARTE DES CHEMINS



LEGENDES

ETANGS

ODO_CHEMINS_MERGE

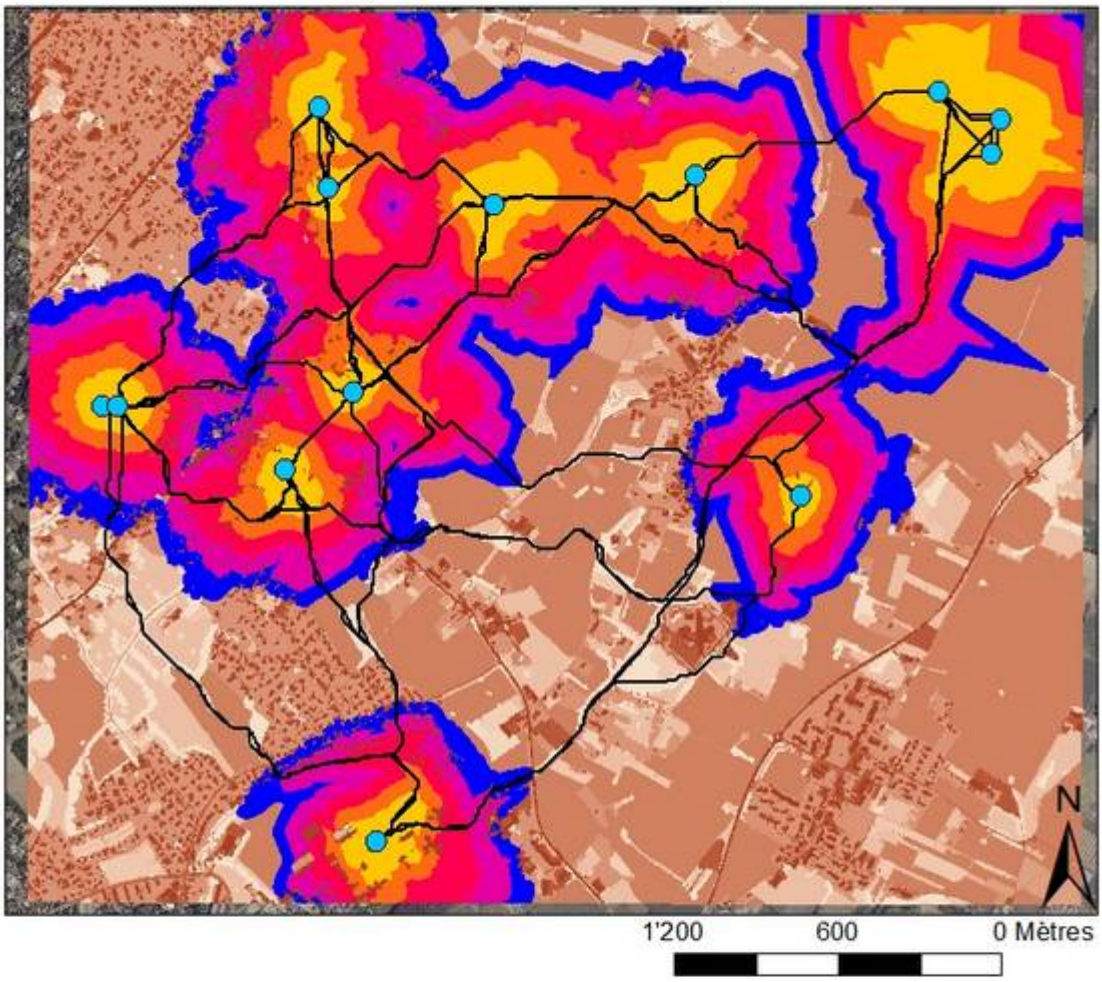
ODO_RESISTANCE

Valeur

Elevée

Faible

AMPHIBIENS: CARTES DE CONNECTIVITE (1500 m)
(avec les chemins)



LEGENDES

ETANGS

AMP_CHEMINS_MERGE

AMP_CONNECTIVITE_1500

<VALEUR>

- 0 - 350
- 350.0000001 - 650
- 650.0000001 - 950
- 950.0000001 - 1'250
- 1'250.000001 - 1'500

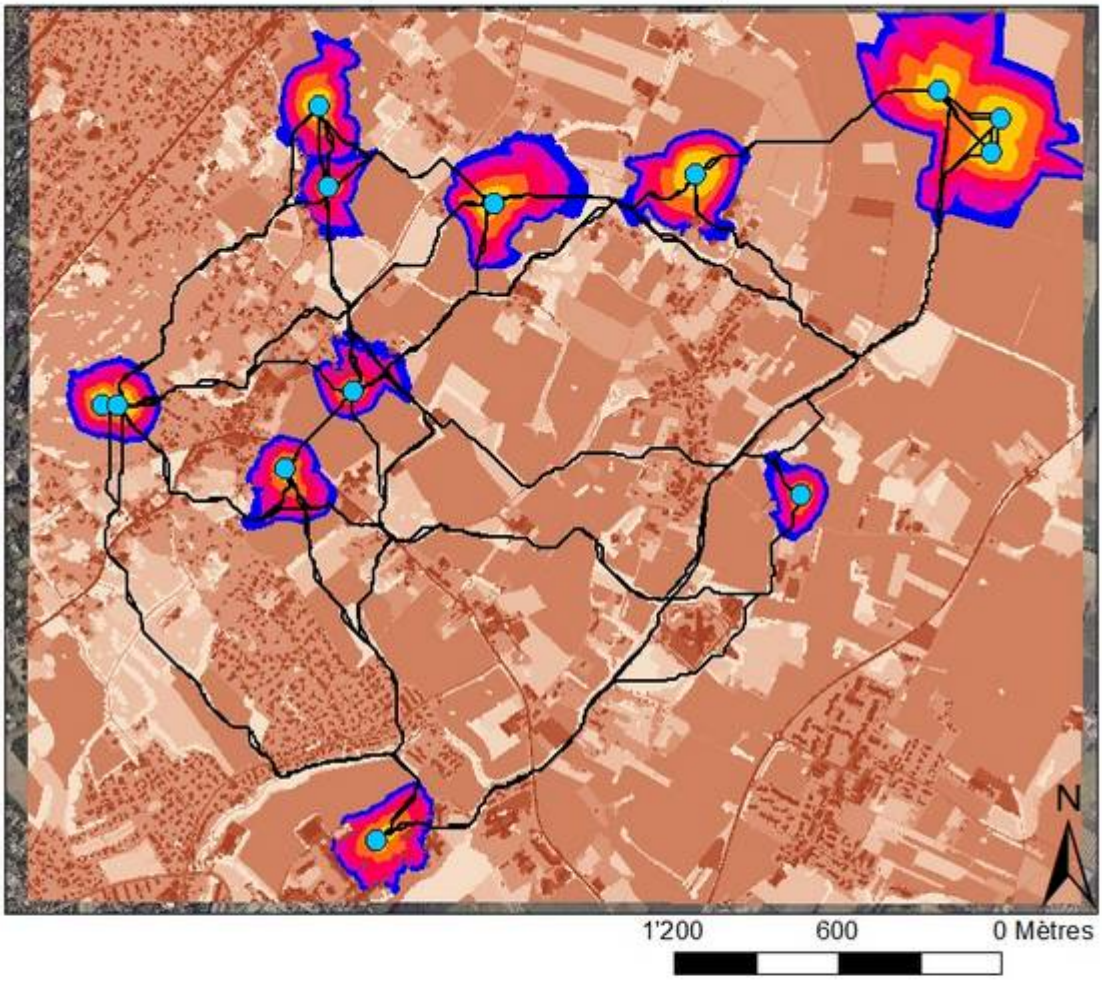
AMP_RESISTANCE

Valeur

Elevée

Faible

AMPHIBIENS: CARTES DE CONNECTIVITE (500 m)
(avec les chemins)



LEGENDES

ETANGS

AMP_CHEMINS_MERGE

AMP_CONNECTIVITE_500

<VALEUR>

- 0 - 100
- 100.0000001 - 200
- 200.0000001 - 300
- 300.0000001 - 400
- 400.0000001 - 500

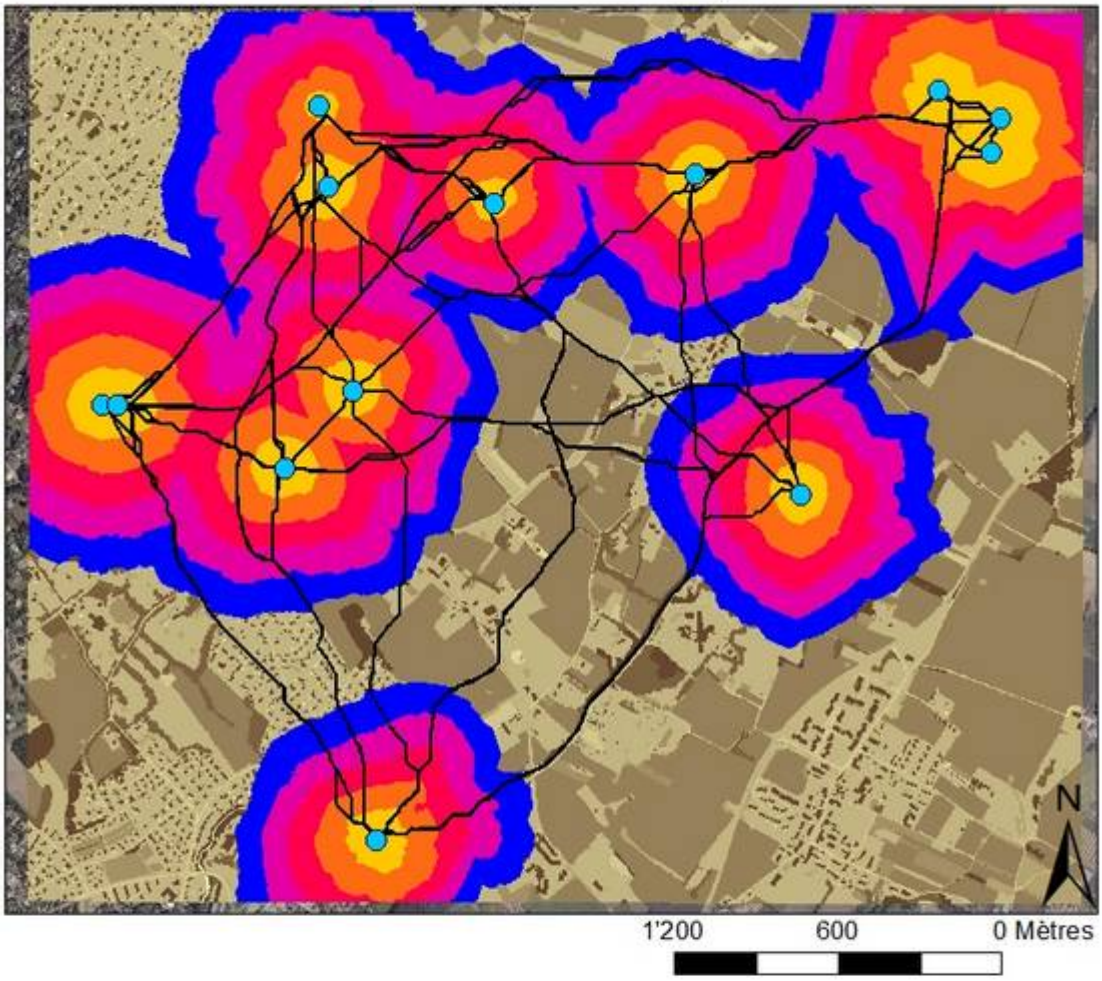
AMP_RESISTANCE

Valeur

Elevée

Faible

ODONATES: CARTES DE CONNECTIVITE (1000 m)
(avec les chemins)



LEGENDES

ETANGS

ODO_CHEMINS_MERGE

ODO_CONNECTIVITE_1000

<VALEUR>

- 0 - 200
- 200.0000001 - 400
- 400.0000001 - 600
- 600.0000001 - 800
- 800.0000001 - 1'000

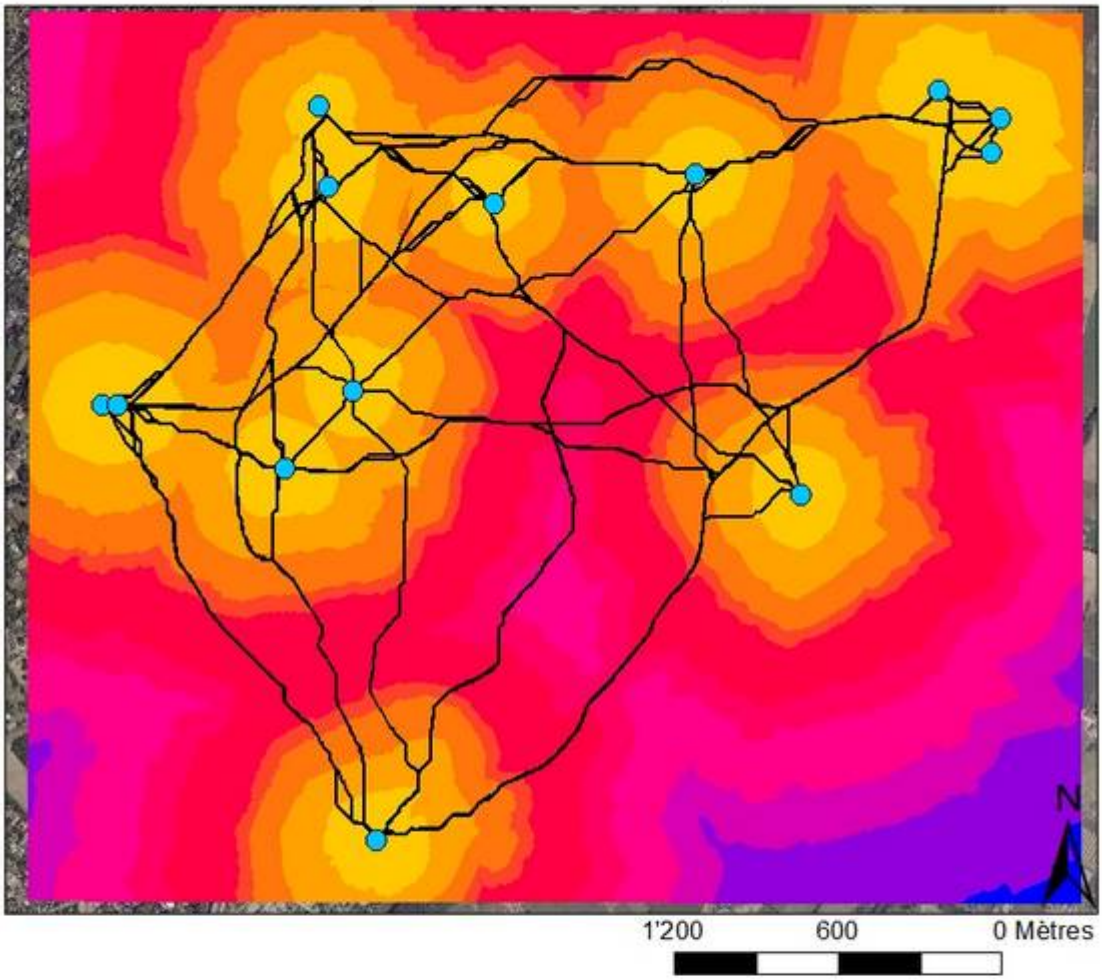
ODO_RESISTANCE

Valeur

Elevée

Faible

ODONATES: CARTES DE CONNECTIVITE (10'000 m)
(avec les chemins)



LEGENDES

ETANGS

ODO_CHEMINS_MERGE

ODO_RESISTANCE

Valeur

Elevée

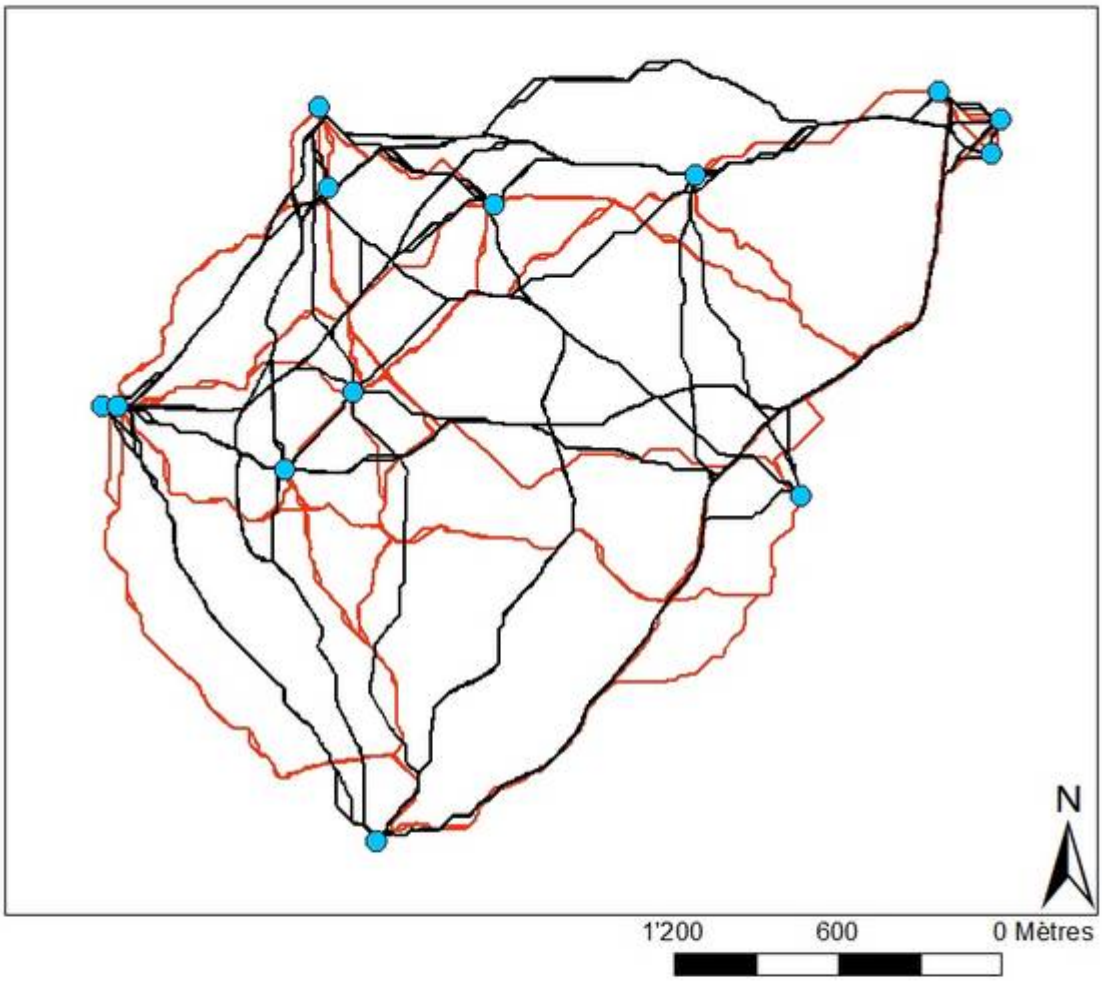
Faible

ODO_CONNECTIVITE_10000

<VALEUR>

- 0 - 350
- 350.0000001 - 650
- 650.0000001 - 900
- 900.0000001 - 1'000
- 1'000.000001 - 1'400
- 1'400.000001 - 1'600
- 1'600.000001 - 2'000
- 2'000.000001 - 2'300
- 2'300.000001 - 3'000
- 3'000.000001 - 10'000

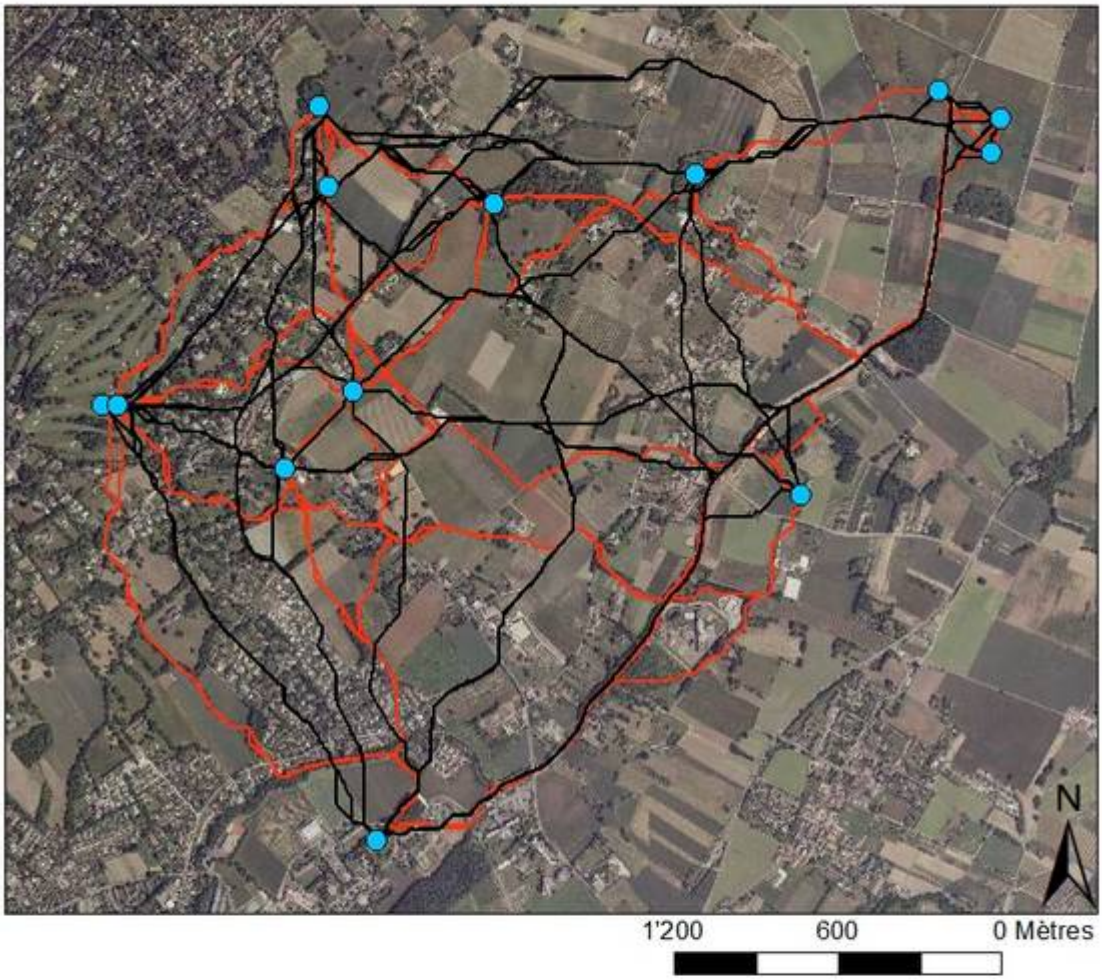
CARTE DES CHEMINS CROISES



LEGENDES

- ETANGS
- ODO_CHEMINS_MERGE
- AMP_CHEMINS_MERGE

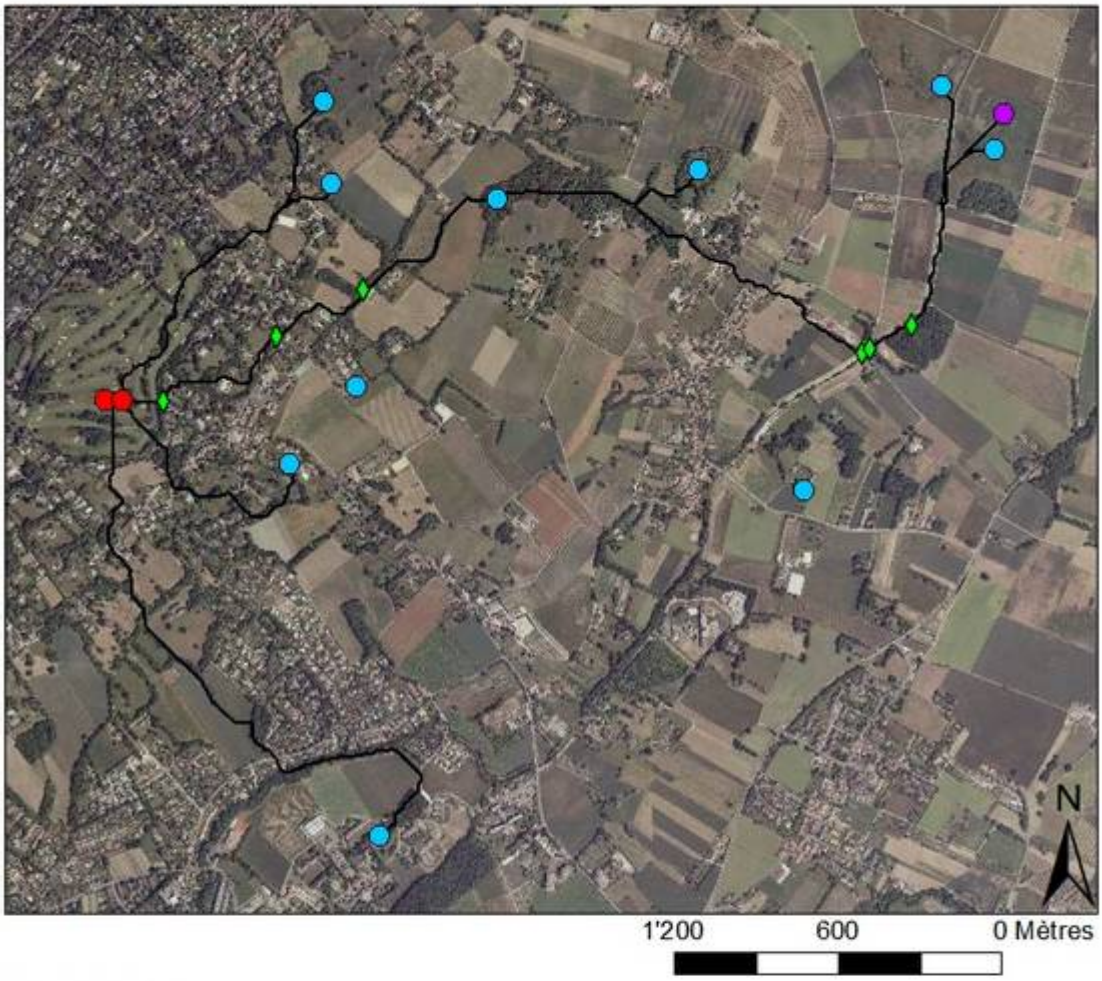
CARTE DES CHEMINS CROISES



LEGENDES

- ETANGS
- ODO_CHEMINS_MERGE
- AMP_CHEMINS_MERGE

AMPHIBIENS: TRAJET SUIVI



LEGENDES

- GPS_PT
- AMP_SOURCE_GOLF1

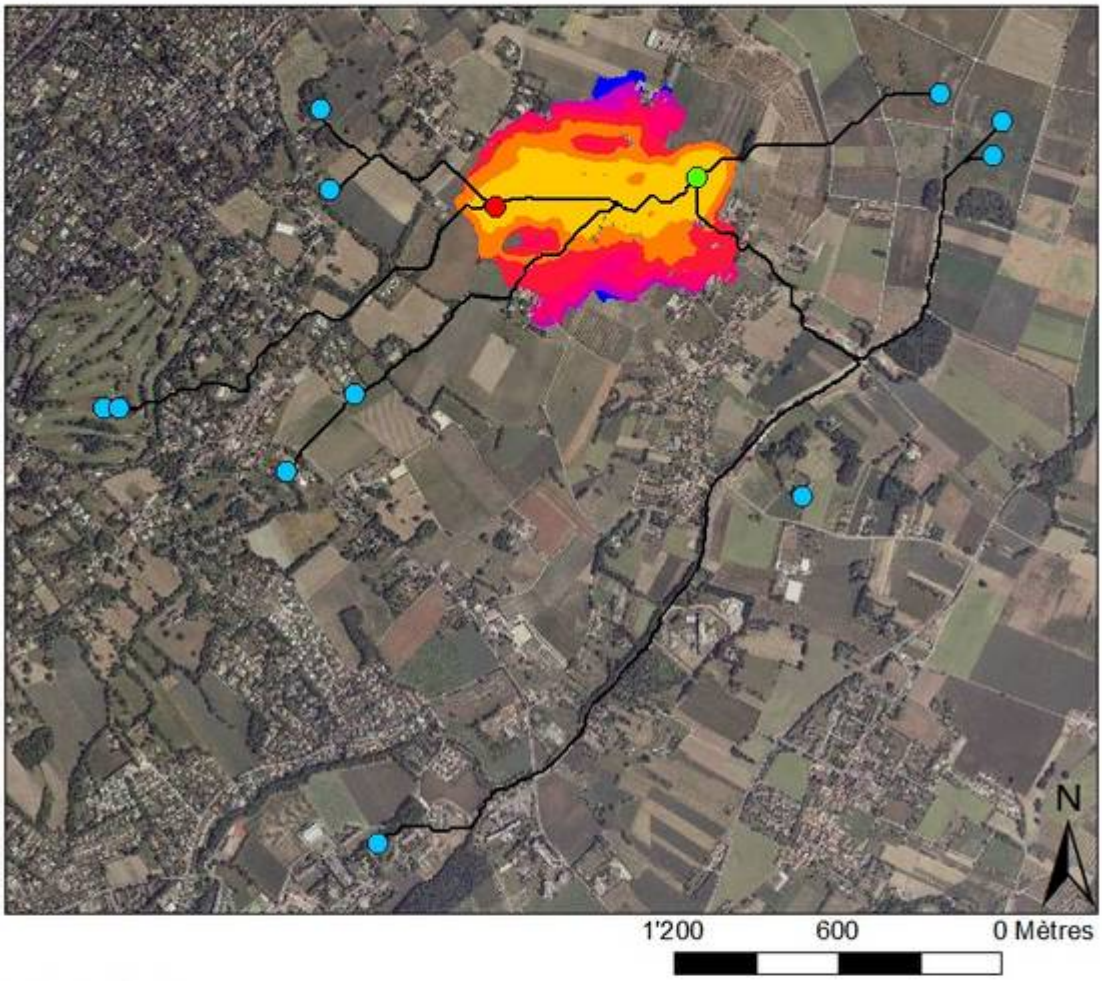
ETANGS

- <toutes les autres valeurs>

etangs_Nom

- Etang du Golf de Bessinge (1)
- Etang du Golf de Bessinge (2)
- Réserve des Creuses

AMPHIBIENS: COULOIR RELIANT LE MARAIS DU CHATEAU AU MIOLAN (distance de dispersion: 1500 m)



LEGENDES

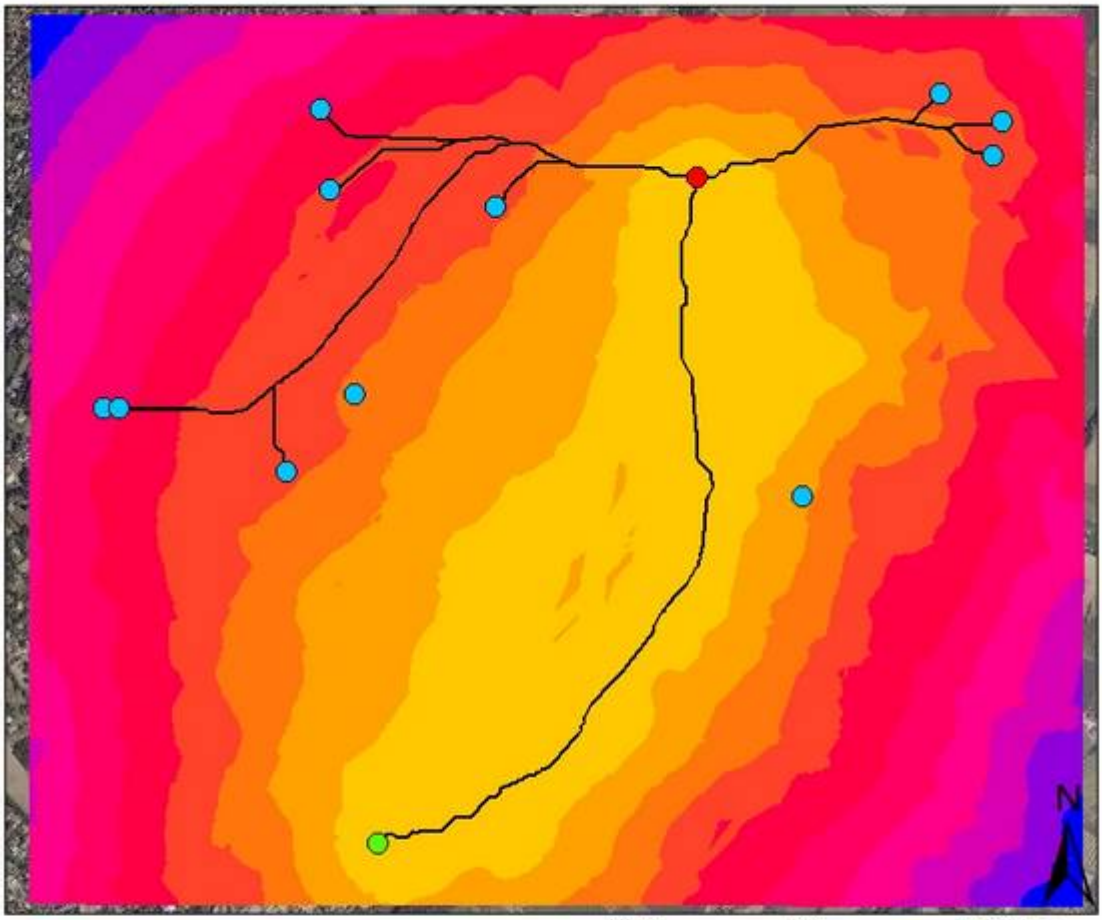
- LE_MIOLAN
- MARAIS_DU_CHATEAU
- ETANGS
- AMP_SOURCE_CHATEAU

AMP_COULOIR_MIOLAN_CHATEAU

<VALEUR>

- 1'188.870972 - 1'490.015849
- 1'490.01585 - 1'791.160726
- 1'791.160727 - 2'092.305603
- 2'092.305604 - 2'393.45048
- 2'393.450481 - 2'694.595357
- 2'694.595358 - 2'995.740234

ODONATES: COULOIR RELIANT LE MARAIS DU CHATEAU
A LA CLINIQUE BEL-AIR (distance de dispersion: 10'000 m)



1'200 600 0 Mètres

LEGENDES

- BEL_AIR
- MARAIS_DU_CHATEAU
- ETANGS
- ODO_SOURCE_CHATEAU

ODO_COULOIR_CHATEAU_BELAIR

<VALEUR>

- 4'131.239258 - 4'686.705957
- 4'686.705958 - 5'242.172656
- 5'242.172657 - 5'797.639355
- 5'797.639356 - 6'353.106055
- 6'353.106056 - 6'908.572754
- 6'908.572755 - 7'464.039453
- 7'464.039454 - 8'019.506152
- 8'019.506153 - 8'574.972852
- 8'574.972853 - 9'130.439551
- 9'130.439552 - 9'685.90625