

Table des matières

1.	Introduction.....	5
1.1.	Contexte	5
1.2.	Objectifs du stage	6
2.	Outils et Analyses	6
2.1.	Présentation des données.....	6
2.2.	Fragstats	12
2.2.1.	Préparation des données	12
2.2.2.	Réglages et options	14
2.2.3.	Proposition de <i>metrics</i>	20
2.3.	Model builder	29
2.4.	Conefor	31
2.4.1.	Préparation des données	32
2.4.2.	Réglages et options	34
2.4.3.	Fichiers de sortie	35
2.5.	Combinaison de <i>Fragstats</i> et <i>Conefor</i>	41
2.6.	Guidos toolbox	45
2.6.1.	Préparation des données	46
2.6.2.	Réglages et options	47
2.6.3.	Fichiers de sortie	49
3.	Conclusions.....	53
3.1.	Limites et perspectives pour <i>Fragstats</i>	54
3.2.	Limites et perspectives pour <i>Conefor</i>	54
3.3.	Limites et perspectives pour <i>Guidos Toolbox</i>	55
3.4.	Recommandations.....	56
4.	Conclusions personnelles du stage	58
5.	Remerciements	59
6.	Bibliographie.....	59
7.	Annexes	61

Liste des figures

Figure 1 : Carte des milieux naturels du canton de Genève.	7
Figure 2 : Carte des milieux naturels de Genève en 6 catégories, variante 1, rasterisation à 20m.	9
Figure 3 : Carte des milieux naturels de Genève en 6 catégories, variante 2, rasterisation à 20m.	9
Figure 4 : Carte des milieux après rastérisation à 5 mètres. Des lignes blanches horizontales sont visibles.	10
Figure 5 : Carte de la commune de Veyrier en 6 catégories (variante 2), raster à 5 mètres.	11
Figure 6 : Fenêtre d'importation de raster dans <i>Fragstats</i>	12
Figure 7 : Règle de voisinage du pixel rouge. Les pixels en vert sont considérés comme voisins. A gauche, « 4 cells neighborhood rule ». A droite, « 8 cells neighborhood rule ».....	14
Figure 8 : Commune de Veyrier, fichier « Patch_ID » créé par <i>Fragstats</i> . Chaque pixel se voit attribuer comme valeur le numéro du patch auquel il appartient. Une couleur par patch.	15
Figure 9 : Résultats de <i>Fragstats</i> avec <i>No sampling</i> choisi au niveaux classe (<i>Class</i>) et territoire (<i>Landscape</i>). PLAND=Percentage of Landscape et TA=Total Area, tous deux en hectares.	16
Figure 10 : PLAND de la commune de Veyrier, tableau de résultats pour le Girec no 2.....	16
Figure 11 : Girecs de la commune de Veyrier.	17
Figure 12 : Veyrier, Metric « Class Area » dans un rayon de 50 mètres pour la catégorie 2 (forêts). Les hautes valeurs en vert et les basses en rouge.....	18
Figure 13 : Zoom sur la carte des 6 classes. On voit bien la lisière (barre bleue) entre forêt et culture au centre.	19
Figure 14 : Surface de Core. Moving window. Matrice edge depth 1. La barre bleue correspond à la lisière.	19
Figure 15 : Surface de Core. Moving window. Matrice edge depth 2.....	20
Figure 16 : Raster (à 5 mètres) en 6 catégories de la commune de Veyrier et limites des Girecs.....	21
Figure 17 : CAI de la classe forêt suite à une moving window circulaire d'un rayon de 50 mètres autour de chaque pixel. Les zones vert foncé indiquent qu'il n'y a que du Core area de forêt dans ce rayon. Les numéros des Girecs se rapportent au Tableau 2 et à la Figure 11.	22
Figure 18 : Indice CONNECT représentant toutes les classes. Rayon de recherche : 30m. Rayon de moving window : 50m. Zones non colorées (trous) = 0%. Les valeurs sont reclassées en 5 tranches de pourcentages.....	24
Figure 19 : Indice IJI au niveau Landscape. Rayon de moving window : 50m. Zones non colorées = 0%.	25
Figure 20 : Indice CONTAG représentant toutes les classes. Rayon de moving window : 50m. Zones non colorées = 0%.	26
Figure 21 : Deux répartitions possibles d'une zone de 9 pixels en 3 classes de 3 pixels chacune.	28
Figure 22 : Indice SIDI. Rayon de moving window : 50m. Zones non colorées = 0.	28
Figure 23 : Model Builder de découpe de raster avec itération.	30
Figure 24 : Mode de calcul de la probabilité de déplacement d'un patch à l'autre. Le chemin le plus probable est utilisé. Dans ce cas, il est plus probable de passer de A à B par C plutôt que de ne pas passer par C.	31
Figure 25 : Représentation des trois fractions de l'indice PC pour un système simple.	32
Figure 26 : Exemple de table d'information des polygones.....	33
Figure 27 : Exemple de table de connexion des polygones.	33
Figure 28 : Illustration de la correspondance entre distance et probabilité.....	34
Figure 29 : Fenêtre de lancement du programme Conefor	35

Figure 30 : Exemple de fenêtre des résultats globaux de <i>Conefor</i>	36
Figure 31 : Zones de forêt (en vert) pour la commune de Veyrier utilisées dans <i>Conefor</i>	36
Figure 32 : Surface des patches forêts analysés avec <i>Conefor</i>	37
Figure 33 : Importance des patches, indice PC global.....	38
Figure 34 : Importance des patches, indice IIC global.....	38
Figure 35 : Importance des patches, indice PC – fraction intra	39
Figure 36 : Importance des patches, indice PC – fraction flux	39
Figure 37 : Importance des patches, indice PC – fraction connect	40
Figure 38 : Importance des polygones forêt, indice IIC global.	41
Figure 39 : Matrice Edge depth pour Fragstats.....	42
Figure 40 : Qualité des patches de la commune de Veyrier avec un Edge depth fixe de 30 mètres.	43
Figure 41 : Qualité des patches de la commune de Veyrier avec un Edge depth suivant la matrice aménagée.....	44
Figure 42 : Importance des patches. Indice PC. Attribut de qualité calculé avec Fragstats.....	44
Figure 43 : Représentation des diverses catégories de la <i>Guidos Toolbox</i>	45
Figure 44 : Outil <i>Con</i> de ArcMap. Configuration pour la préparation du raster à la <i>Guidos Toolbox</i> ...	46
Figure 45 : En vert, pixels de la classe forêt de la commune de Veyrier.....	47
Figure 46 : Option transition : Activée (On) à gauche et Off à droite	48
Figure 47 : Codes des différentes catégories de l'analyse MSPA.....	48
Figure 48 : Réglages MSPA	48
Figure 49 : Carte des forêts de Veyrier après classement de l'outil MSPA.	49
Figure 50 : Combinaison des cartes de forêts et des milieux ouverts de la commune de Veyrier. Codes Girecs ; 1:Sierne-Petit-Veyrier, 2:Vessy-Grande-Fin, 3:Veyrier-village, 4:Veyrier-Marais, 5:Pinchat-La Tour, 6:Grand-Donzel, 7:Bois-de-Veyrier, 8:Tournettes, 9:Rasses, 10:Pinchat-Sur-Rang.....	50
Figure 51 : Proportion de la surface des Girecs entrant dans les catégories MSPA	51
Figure 52 : Composition des catégories MSPA d'intérêt normalisée sur 100%.	51
Figure 53 : Carte MSPA de Genève sur les forêts, milieux ouverts et cultures. Raster à 20m.....	52

1.Introduction

1.1. Contexte

Les Conservatoire et Jardin botaniques (CJB) de la Ville de Genève sont un musée actif dans la conservation des espèces végétales, notamment grâce à des collections vivantes et d'herbier¹. L'unité des systèmes d'informations géographiques (SIG) est notamment responsable de la production de cartes et données associées aux différents projets de recherche des CJB. Une autre de ses attributions est la création et la mise à jour d'une carte des milieux naturels du canton de Genève. Cette compétence s'intègre en particulier au système d'informations du territoire genevois (SITG)² afin de compléter les bases de données concernant les milieux naturels. Spécifiquement, le projet de « Système d'Informations du Patrimoine Vert » (SIPV)³ consiste à mettre en œuvre un « Système d'information à référence spatiale (SIRS) de la biodiversité de la région genevoise ».

Dans le cadre de la gestion du patrimoine naturel, il est important de pouvoir analyser le territoire dans son entier en tenant compte de sa configuration entre les divers éléments (naturels ou non) qui le composent. Le territoire peut être décrit comme une zone hétérogène de terrain composée de grappes de différents écosystèmes en interaction les uns avec les autres (Forman & Gordon, 1986). Une définition commune du territoire peut le définir comme une mosaïque de patches interconnectés (McGarigal & Marks, 1994). Comme le territoire est une combinaison d'éléments connectés et variables dans le temps, il est nécessaire de pouvoir suivre les évolutions de celui-ci afin d'affiner au mieux les décisions à prendre concernant l'aménagement du territoire, la gestion de l'environnement ou d'éventuelles mesures de conservation.

L'analyse de la composition du territoire et en particulier des milieux naturels est donc nécessaire pour bien saisir leur niveau d'implication dans le fonctionnement global et des interactions y prenant part. Il faut donc s'intéresser tant à la répartition des divers milieux ainsi qu'à leur connectivité en tant que continuum. Il a été montré que les résultats et l'interprétation de l'analyse de la complexité du territoire sont directement dépendants de l'étendue et de la résolution du territoire (Turner et al., 1989 ; Stein et al., 2001). Il faut donc adapter ces facteurs lors de l'analyse d'un territoire en fonction des objectifs principaux de l'étude.

De nombreux indicateurs de fragmentation et de connectivité ont été développés dans le but d'analyser l'état d'un territoire. La littérature est très fournie et chaque publication ou presque aborde le sujet sous un angle légèrement différent et propose donc un panel d'indicateurs relativement large (voir notamment Cushman, 2008 ou Wu, 2002). Malgré tout, certains indicateurs sont plus largement utilisés et plus pertinents pour l'analyse du territoire (Uuemaa, 2009) et c'est donc ces derniers qui sont explorés dans ce rapport.

¹ www.ville-ge.ch/cjb

² <http://ge.ch/sitg/>

³ www.ville-ge.ch/cjb/sipv

1.2. Objectifs du stage

C'est au sein de l'équipe SIPV des CJB que s'est déroulé ce stage du certificat de géomatique dont l'objectif principal était de proposer une sélection d'indicateurs de fragmentations (*metrics*) à retenir qui puissent être comparables entre des zones géographiques particulières afin d'évaluer le potentiel et la valeur des zones naturelles du canton. Pour cela, l'idée est d'explorer les possibilités du programme *Fragstats* (voir Outils et Analyses) pour étudier la fragmentation des milieux naturels du canton de Genève. Le but est de proposer une démarche explorant les impératifs et les limites du programme en l'incorporant dans divers processus de traitement ArcGIS basés sur la carte des milieux naturels. De plus, ces indicateurs devraient être également comparables dans le temps pour une zone donnée afin de suivre les évolutions éventuelles de la fragmentation, de la structure du paysage et de la connectivité du paysage dans le temps.

L'objectif du stage étant exploratoire, il s'est affiné durant les premières semaines dans l'idée d'évaluer l'utilisation possible d'autres programmes disponibles d'analyse de la connectivité du territoire. Le choix s'est porté sur les programmes *Conefor* et *Guidos Toolbox* (voir Outils et Analyses).

2.Outils et Analyses

Liste des outils

- L'outil principal utilisé lors de ce stage est *ArcGIS* 10.1 (ESRI) pour tous les traitements de la carte des milieux naturels, la préparation des données pour *Fragstats* et *Conefor* et la visualisation des résultats des analyses.
- *Fragstats* v4.2.1.601 (McGarigal, K., S.A.Cushman and E.Ene. 2012. FRAGSTATS v4)
- *Conefor* v2.6 (Saura & Torné 2009)
- *Guidos Toolbox* (Vogt, P. 2014)

2.1. Présentation des données

Les traitements sont effectués sur la carte des milieux naturels (MNCS) du canton de Genève. Il s'agit d'une couche de polygones des différents types de milieux naturels, ainsi que d'éléments du cadastre (Figure 1). La couche se compose, au moment du stage (novembre 2014 – janvier 2015), de 256'422 polygones répartis en 84 catégories de milieux représentés par un code numérique (CODE_MN). Ce code fait référence à une liste d'attributs plus complète comprenant, par exemple, le nom du milieu, des informations phyto-sociologiques ou encore la typologie du Guide des milieux naturels de Suisse (Delarze et Gonseth, 2008). La carte couvre tout le territoire genevois, ainsi qu'un buffer de 150 mètres sur sol français et vaudois.

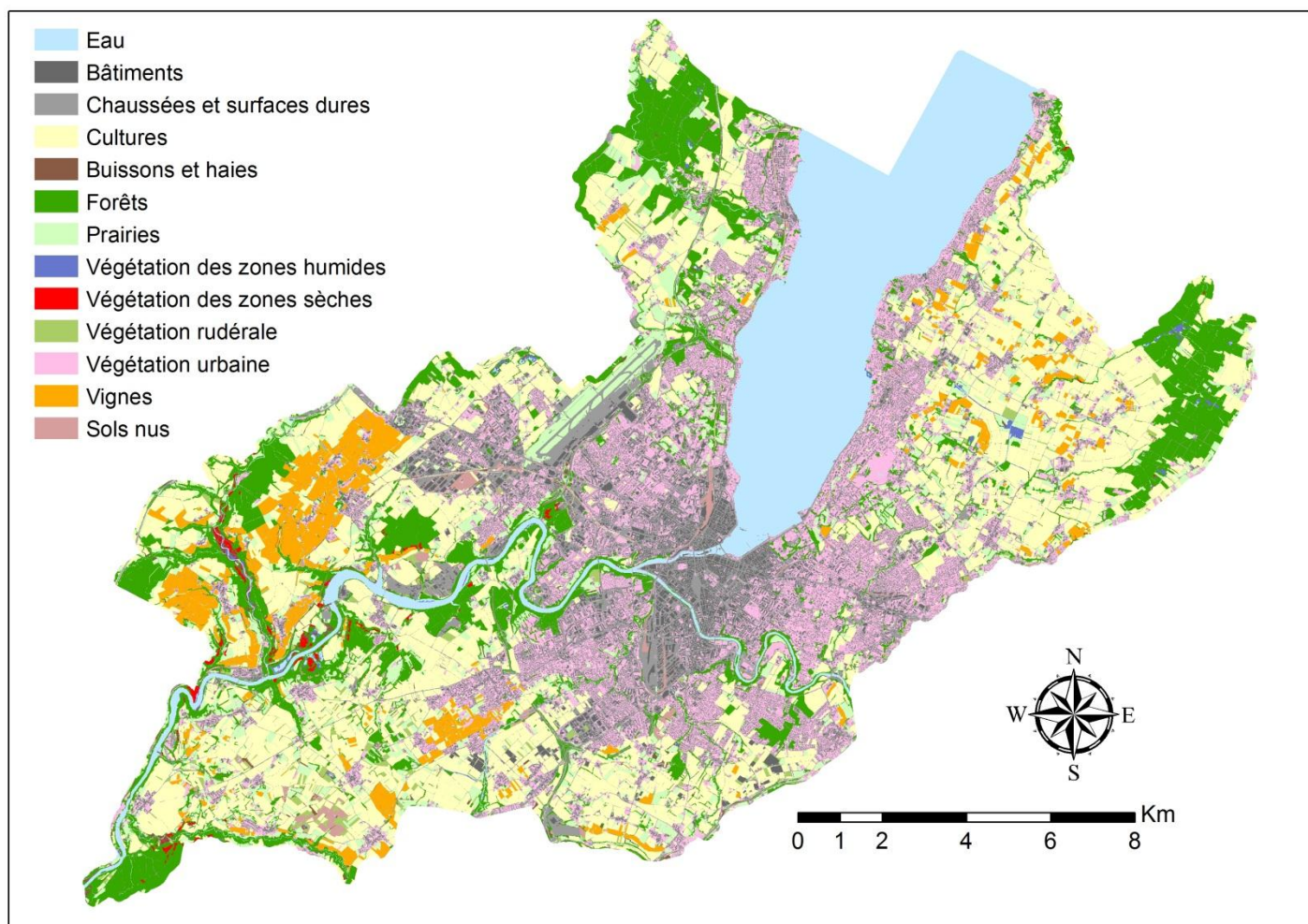


Figure 1 : Carte des milieux naturels du canton de Genève.

Afin de pouvoir analyser la carte des milieux naturels, un regroupement des différentes catégories en un nombre réduit de catégories plus générales est effectué (voir annexe 1). Par exemple, les catégories saulaie blanche (code 605), hêtraie mésophile (code 609) ou encore les chênaies (codes 612, 613, 614, 615), entre autres, sont groupées dans la catégorie « Forêts ».

Afin de définir les catégories regroupées, nous nous sommes basés sur les sous-réseaux élaborés dans le cadre du réseau écologique genevois (REG). Ce REG est commandité par la Direction Générale de la Nature et du Paysage (DGNP) et réalisé par le Bureau d'études biologiques Raymond Delarze. Nous avons rencontré les exécutants de ce projet, Raymond Delarze et Fabien Fivaz, le 4 décembre 2014 à la DGNP avec les responsables du canton afin de voir comment le travail des CJB peut s'articuler en parallèle de la création de ce réseau. La nécessité d'une base de travail commune permettant des analyses cohérentes et complémentaires nous a donc mené à utiliser les regroupement des catégories du REG comme base de réflexion.

A noter que cette étape est sujette à interprétation et à analyse par un expert. En effet, selon le milieu, l'espèce ou le but visé par l'analyse, un polygone ne sera pas traité dans le même sous-réseaux. La décision du nombre de sous-réseaux à prendre en considération ainsi que l'attribution de chaque polygone à un sous-réseau ou à un autre varie selon l'étude envisagée. La catégorisation

dépend notamment des espèces étudiées, de la surface de la zone d'intérêt ou de toute autre considération pour l'élaboration d'une carte pertinente et fonctionnelle. L'interprétation finale des résultats sera donc différente mais non la méthodologie pour y arriver. La méthodologie du stage n'étant pas influencée par la suite par ce choix, puisque le but est d'explorer les possibilités d'analyse de la fragmentation du territoire, deux regroupements possibles sont présentés.

Le premier exemple est basé sur les sous-réseaux du REG.

Variante 1 : les catégories sont regroupées en 6 sous-réseaux (Figure 2):

- | | |
|---|-------------------------------------|
| • Agricole | - 8 catégories de la carte initiale |
| • Bâti | - 15 catégories |
| • Forêt | - 21 catégories |
| • Humide (eaux libres et milieux humides) | - 14 catégories |
| • Milieux ouverts | - 20 catégories |
| • Sec | - 6 catégories |

Variante 2 : le deuxième exemple propose une approche un peu différente (Figure 3).

- | | |
|----------------------|-----------------|
| • Cultures | - 8 catégories |
| • Eau | - 5 catégories |
| • Forêts | - 24 catégories |
| • Milieux ouverts | - 26 catégories |
| • Surfaces dures | - 14 catégories |
| • Végétation urbaine | - 7 catégories |

Pour utiliser ces regroupements dans ArcMap, il faut une table de correspondance (feuille excel en l'occurrence, voir annexe 1) entre le CODE_MN utilisé dans la couche de milieux naturels et un nouveau code correspondant aux six sous-réseaux. Ensuite, il suffit de faire un *Join* entre la couche de polygones et la table contenant les nouveaux codes sur la base du CODE_MN pour lier les tables.

Ici, un choix arbitraire a été fait afin de pouvoir comprendre l'application et les intérêts de chaque programme testé. Pour la suite des traitements, c'est donc la variante 2 à 6 classes (Figure 3) qui a été utilisée.

L'utilisation de la carte des milieux naturels dans le programme *Fragstats* (chapitre 2.2) nécessite de rasteriser la carte des milieux. La carte des milieux a d'abord subi un traitement *Dissolve* (*Data Management Tools – Generalization*) sur le code de sous-réseau, puis l'outil *Polygon to Raster* (*Conversion Tools – To Raster*) est utilisé pour obtenir un raster de résolution à 5 mètres. Cette échelle permet de garder une précision suffisante en cas d'analyse d'une commune ou d'un quartier et est également utilisable sur l'ensemble du canton. Le code de sous-milieu est attribué comme valeur pour chaque pixel avec la méthode « *Maximum_Combined_Area* ».

Le processus de rasterisation pose cependant de légers problèmes. La présence de polygones très petits ou de forme très allongée ou tentaculaire donne des lignes horizontales de pixels, de la valeur du polygone « fautif », non présentes sur la carte des milieux naturels (Figure 4).

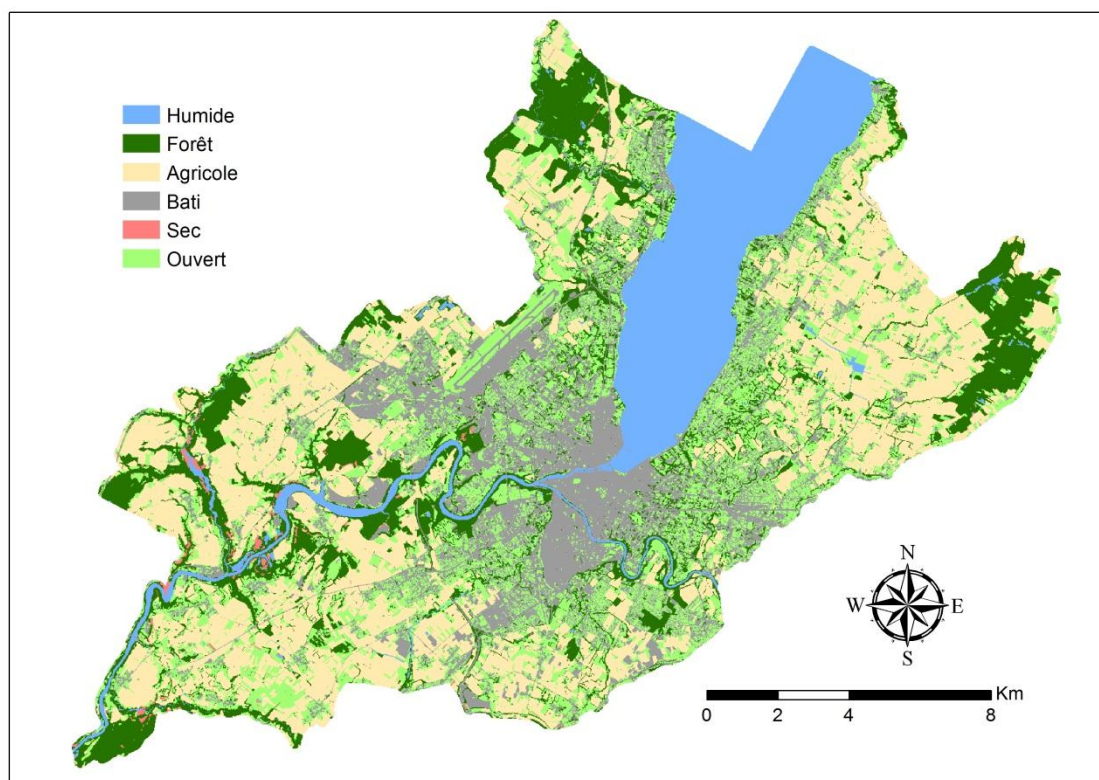


Figure 2 : Carte des milieux naturels de Genève en 6 catégories, variante 1, rasterisation à 20m.

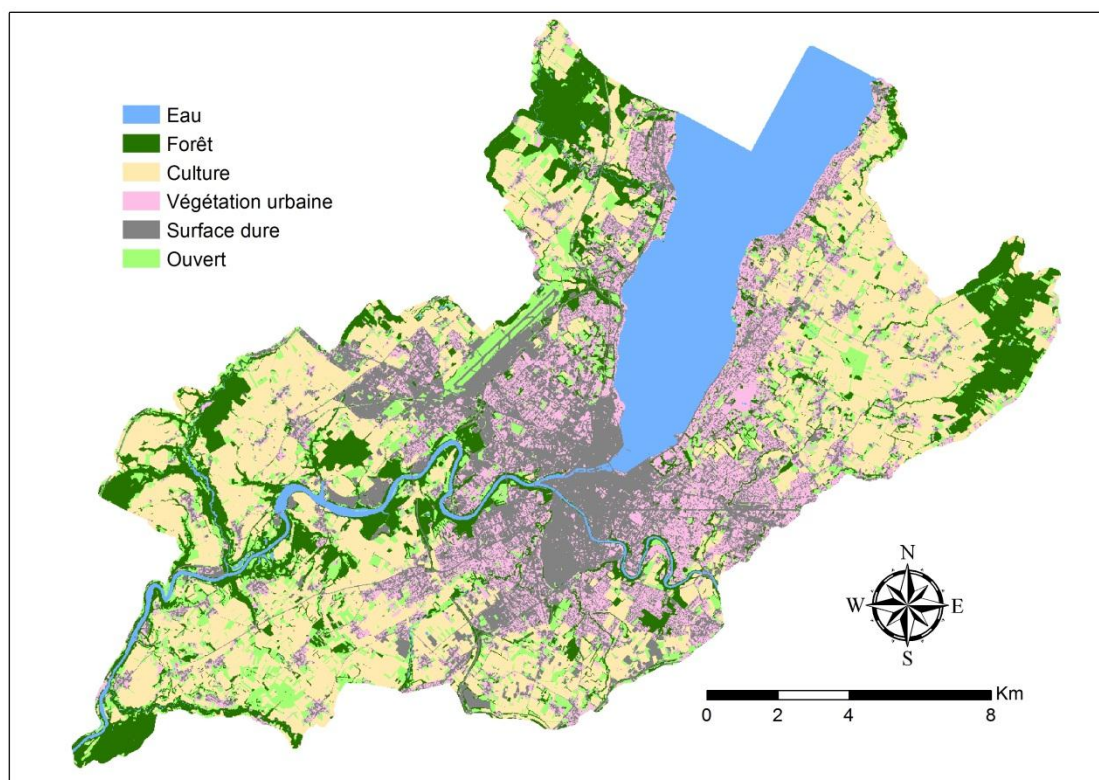


Figure 3 : Carte des milieux naturels de Genève en 6 catégories, variante 2, rasterisation à 20m.

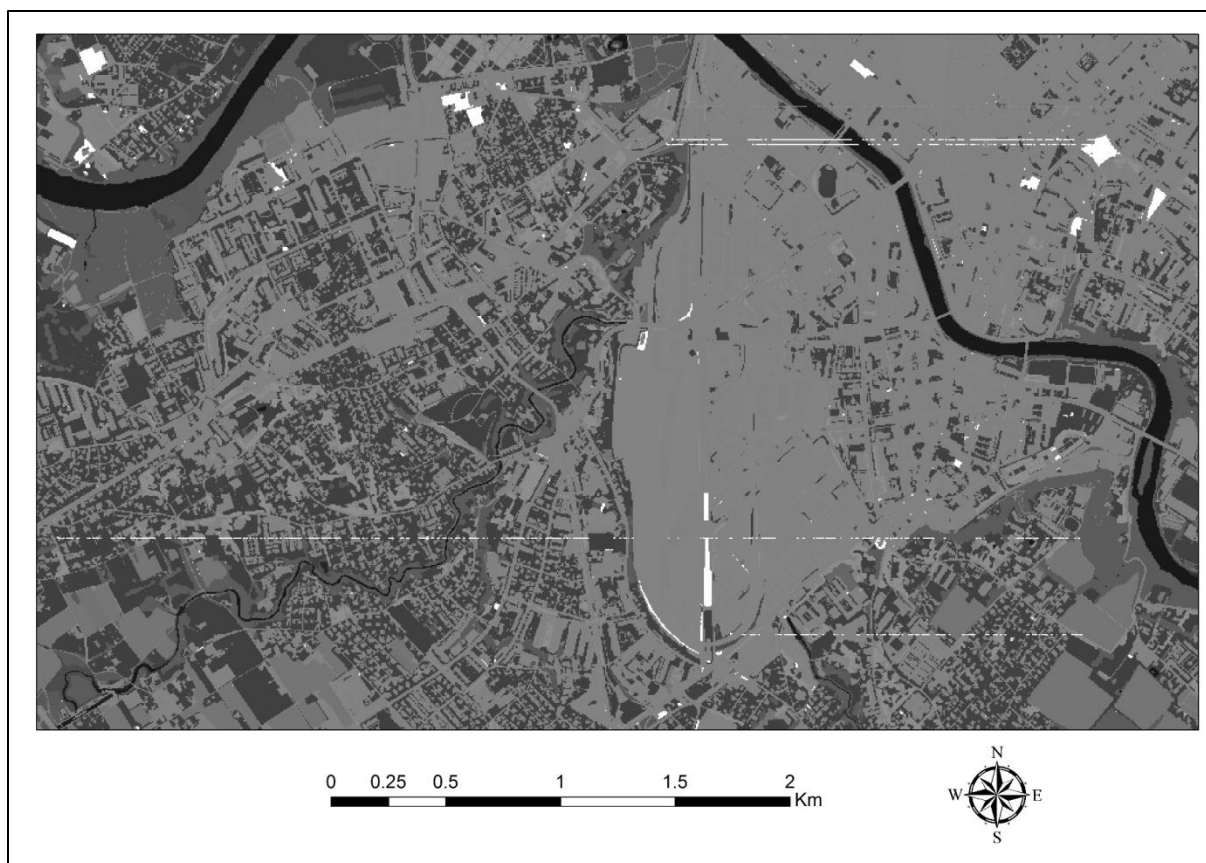


Figure 4 : Carte des milieux après rasterisation à 5 mètres. Des lignes blanches horizontales sont visibles.

Sachant que les problèmes apparaissent toujours à cause des mêmes polygones, mais dépendent également de la résolution, plusieurs solutions sont possibles. Une solution consiste à se débarrasser des objets problématiques de deux manières différentes. Pour les objets très petits (par exemple plus petits que 5 m²), on peut les fusionner avec le voisin partageant la plus grande proportion de leur périmètre (fonction *Eliminate* ; *Data Management Tools – Generalization* dans *ArcMap*). Pour les polygones tentaculaires du domaine routier ou de forme trop allongée posant problème, la solution est de les couper en deux ou plus petits polygones. Le nombre de manipulations à faire pour ce type de polygone reste assez restreint (par exemple, un seul pour la commune de Veyrier). Pour l'ensemble du canton, on pourrait imaginer découper les polygones du domaine routier par les limites communales avec l'outil *Clip* (*Analysis Tools - Extract*) pour réduire leur portée.

La carte suivante (Figure 5) est un raster de la commune de Veyrier qui sert de base de travail pour les tests des programmes *Fragstats* et *Conefor*. Pour extraire la commune de Veyrier de la couche de tout le canton, l'outil *Make Feature Layer* (*Data Management Tools – Layers and Table Views*) a été utilisé. La résolution est de 5 mètres et la catégorisation choisie est la variante 2. Le choix de travailler sur une seule commune découle de la plus grande rapidité des traitements et de l'interprétation plus intuitive des résultats des divers outils que cela permet. Sur la carte des milieux naturels, la commune de Veyrier, de 649 hectares, se compose de 12'166 polygones. Après la catégorisation (variante 2) en 6 classes, la composition de la commune est présentée dans le Tableau 1.



Tableau 1 : Composition de la commune de Veyrier en 6 classes.

	Surface du territoire	Nombre de polygones
Culture	23%	51
Eau	2%	19
Forêt	15%	62
Ouvert	8%	163
Surface dure	23%	841
Végétation urbaine	29%	1'294
Total	100%	2'430

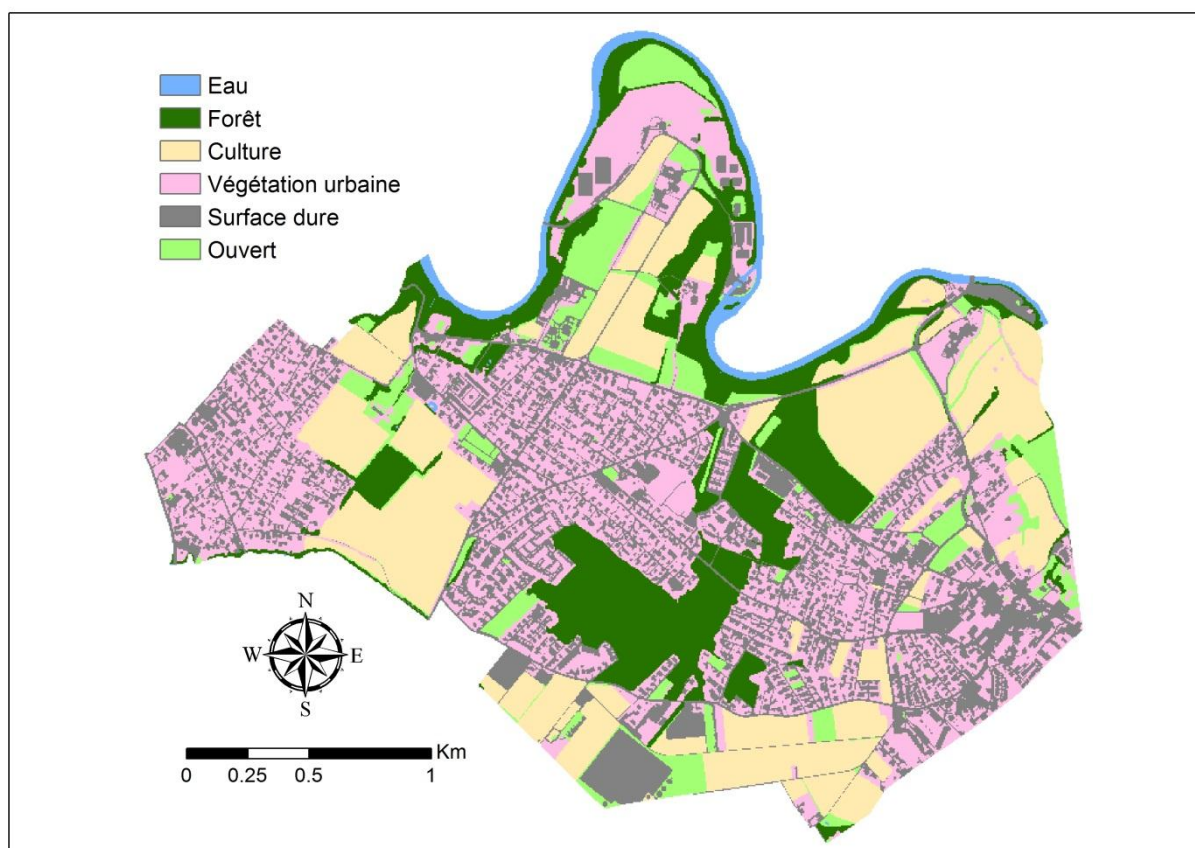


Figure 5 : Carte de la commune de Veyrier en 6 catégories (variante 2), raster à 5 mètres.

2.2. Fragstats

Fragstats est un programme proposant une approche raster pour analyser la fragmentation du territoire. Un grand nombre d'indicateurs de fragmentation (*metrics*) sont disponibles et permettent les analyses désirées. C'est parmi ces *metrics* que seront choisis les quelques indicateurs faisant l'objet de ce stage. *Fragstats* (v4.2.1.601) peut accepter les fichiers ESRI grid, mais la version utilisée ici de ArcMap (v. 10.1) est trop récente pour *Fragstats* et les analyses sont donc faites en convertissant les rasters en GeoTIFF (.tif) pour les importer dans *Fragstats*.

2.2.1. Préparation des données

Dans ArcMap, pour transformer le raster en tif, *Export Data* est utilisée. Ici, la valeur « 7 » a été donnée comme NoData, ainsi *Fragstats* ne tiendra pas compte des pixels hors de la zone d'intérêt puisque seules les valeurs de 1 à 6, correspondant aux 6 catégories, sont présentes dans ce raster. La valeur « 7 » est un choix arbitraire de l'utilisateur et une autre valeur pourrait être indiquée.

Dans la fenêtre principale de *Fragstats*, le bouton « *Add Layer* » permet de sélectionner le fichier à ajouter. Après avoir choisi le fichier GeoTIFF, il reste la Background value à informer. Dans ce cas, la valeur 0 est choisie plutôt que 999 comme indiqué par défaut car la visualisation sur ArcMap des fichiers de sortie sera problématique avec des valeurs de 1 à 6 puis 999. En effet, la symbologie *Stretched* sera influencée par cet écart de valeurs à cause du *Background* à 999. De plus, aucun pixel d'intérêt ne contient la valeur 0 et le choix de la valeur *Background* n'a pas d'influence sur les calculs du programme. Pour les analyses visées ici, le Background ne sera pas utilisé. Pour plus d'informations, voir le manuel fourni avec *Fragstats*⁴.

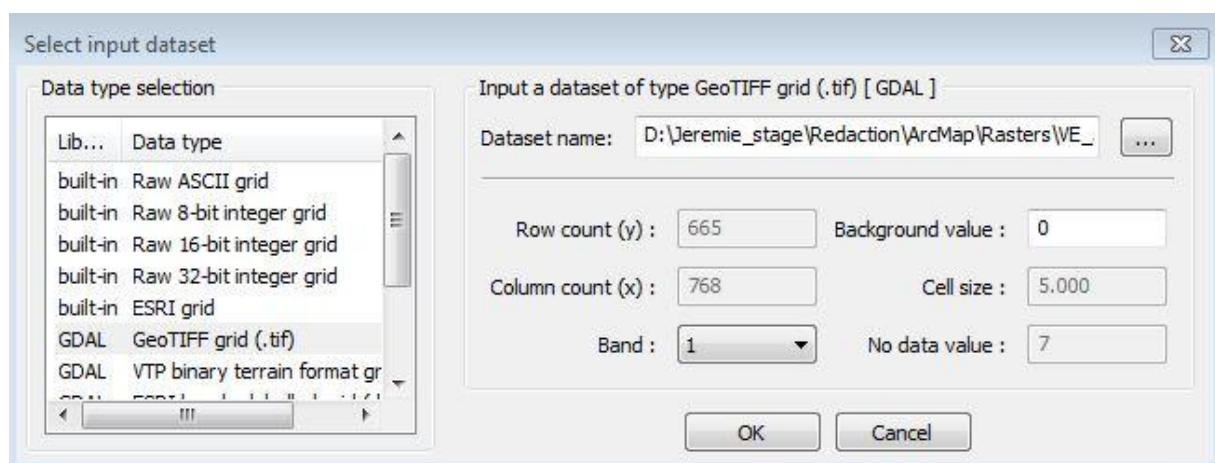


Figure 6 : Fenêtre d'importation de raster dans *Fragstats*.

⁴ <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>

Common tables

On peut ensuite, de manière optionnelle, spécifier les « *Common tables* ». Il y a 4 différentes tables que l'on peut spécifier qui doivent être des fichiers texte.

Class descriptors

Il s'agit d'un fichier texte avec une extension .fcd (non obligatoire mais utile pour une organisation claire des fichiers, tout comme pour les autres fichiers texte utilisés dans *Fragstats*) contenant une description des catégories présentes dans le raster à analyser. Chaque « colonne » est séparée des autres par une virgule.

- ID : valeur d'une classe/catégorie du paysage à analyser
- Name : nom descriptif de la classe en question. Ne doit pas contenir de virgule.
- Enabled : soit *true* soit *false*. Permet d'activer (*true*) ou non (*false*) la représentation de la classe dans les résultats. La classe est malgré tout prise en compte dans les calculs.
- IsBackground : soit *true* soit *false*. Spécifie si la classe fait partie de l'arrière-plan ou non. Si une classe est définie comme *Background*, alors les calculs ne sont pas effectués pour celle-ci mais sa surface est prise en compte dans la surface totale pour le calcul de certains *metrics*.

Le fichier pour la commune de Veyrier en 6 catégories se présente ainsi :

ID, Name, Enabled, IsBackground

1,eau,true,false

2,forets,true,false

3,cultures,true,false

4,vegetation urbaine,true,false

5,surfaces dures,true,false

6,milieux ouverts,true,false

Edge depth

Il s'agit d'un fichier texte avec une extension .fsq qui n'est utile que si l'on sélectionne des *metrics* de la catégorie *Core Metrics*. Il indique, pour chaque couple de milieux, quelle est la profondeur, en mètres, de la bordure n'étant pas comprise dans la zone centrale (*Core Area*) du patch en question. La première ligne concerne la première classe avec chaque influence des autres classes en colonne. L'ordre des classes est celui indiqué par la ligne « *CLASS_LIST_NUMERIC* » qui n'est pas obligatoirement dans l'ordre croissant mais la construction de la matrice doit correspondre à l'ordre choisi. Par exemple, dans l'exemple suivant, si un patch de forêt (classe 2 ; 2^{ème} ligne de la matrice) est commune à un patch de culture (classe 3), alors la profondeur de la bordure à cette jointure sera de 30 mètres. A noter que la matrice peut très bien être asymétrique et que donc la forêt ne « pénètre » pas de la même façon dans les milieux de culture (ligne 3, colonne 2 ; 20 mètres). Il est également possible de n'utiliser qu'une profondeur commune pour tous les patches. Pour des exemples de l'influence des *Edge depth*, voir paragraphe *moving window* et Figures 13 à 15.

FSQ_TABLE

CLASS_LIST_NUMERIC(1, 2, 3, 4, 5, 6)

0,0,0,0,0,0

20,0,**30**,30,40,20

20,**20**,0,20,30,10

0,10,0,0,10,0

0,0,0,0,0,0

20,30,20,20,30,0

Class	Eau	Forêt	Culture	Vég. urbaine	Sur. dure	Ouvert
Eau	0	0	0	0	0	0
Forêt	20	0	30	30	40	20
Culture	20	20	0	20	30	10
Vég. urbaine	0	10	0	0	10	0
Sur. dure	0	0	0	0	0	0
Ouvert	20	30	20	20	30	0

Il est possible, si un fichier *Class descriptors* a été indiqué, de remplacer la ligne « CLASS_LIST_NUMERIC » par « CLASS_LIST_LITERAL() » en indiquant le nom de chaque classe spécifié à la deuxième colonne du fichier *Class descriptors*.

Edge contrast et Similarity

Ces deux tables se construisent exactement de la même manière que la table *Edge depth*. Elles ne sont utiles que si l'on sélectionne certains *metrics* des catégories « Edge » et « Contrast », ce qui n'a pas été le cas dans ce rapport.

2.2.2. Réglages et options

General options

On indique ici la règle de voisinage. On peut considérer 4 ou 8 pixels voisins d'un pixel (Figure 7). Les pixels voisins sont ceux qui feront partie d'un même patch lors des analyses par *Fragstats*. L'option « 8 cells neighborhood rule » a été choisie ici pour sa plus grande cohérence vis-à-vis des interactions entre milieux sur le terrain.



Figure 7 : Règle de voisinage du pixel rouge. Les pixels en vert sont considérés comme voisins. A gauche, « 4 cells neighborhood rule ». A droite, « 8 cells neighborhood rule »

On indique également le dossier de sauvegarde des résultats si l'on veut les sauvegarder automatiquement après chaque analyse.

Sampling strategy

Il y a 7 stratégies d'échantillonnage (*sampling strategy*) différentes (une sans stratégie, 3 exhaustive et 3 partielles). Ici, seules 3 de ces méthodes sont explorées : *No sampling*, *User provided tiles* et *Moving window*.

Les autres stratégies s'interprètent de la même façon que la stratégie *User provided tiles*.

Les indicateurs/*metrics* peuvent être calculés à trois niveaux différents : Patch, Class et Landscape.

- Les *Patches* correspondent plus ou moins aux polygones. Deux pixels voisins (voir General options) de la même catégorie (même valeur de pixel) font partie du même patch.
- *Class* correspond à l'ensemble des patches d'une même catégorie. Par exemple tous les patches des milieux ouverts font partie de la même classe (*Class*).
- *Landscape* correspond à l'ensemble des Patches et des Classes composant le paysage étudié.

No sampling

Comme pour toutes les autres options d'échantillonnage, les cases *Patch*, *Class* et *Landscape metrics* sont à cocher si on sélectionne un *metric* de la catégorie correspondante. Cette stratégie calcule les *metrics* sélectionnés pour chaque Patch et/ou Classe ainsi que pour La zone étudiée dans son ensemble.

On peut également demander de générer un fichier TIF (*Generate patch ID file*), basé sur la carte importée, avec, comme valeur de pixel, le numéro de Patch attribué par *Fragstats*. Ce numéro peut ensuite servir pour faire un *Join* dans ArcMap avec les différents résultats obtenus lors des analyses au niveau Patch. Il est nécessaire d'utiliser *Build Raster Attribute Table* (*Data Management Tools – Raster – Raster Properties*) dans ArcMap pour pouvoir lier le raster avec une table de résultats. Il est possible de sauvegarder tous les résultats de *Fragstats* sous forme de fichiers texte aisément importables dans ArcMap.

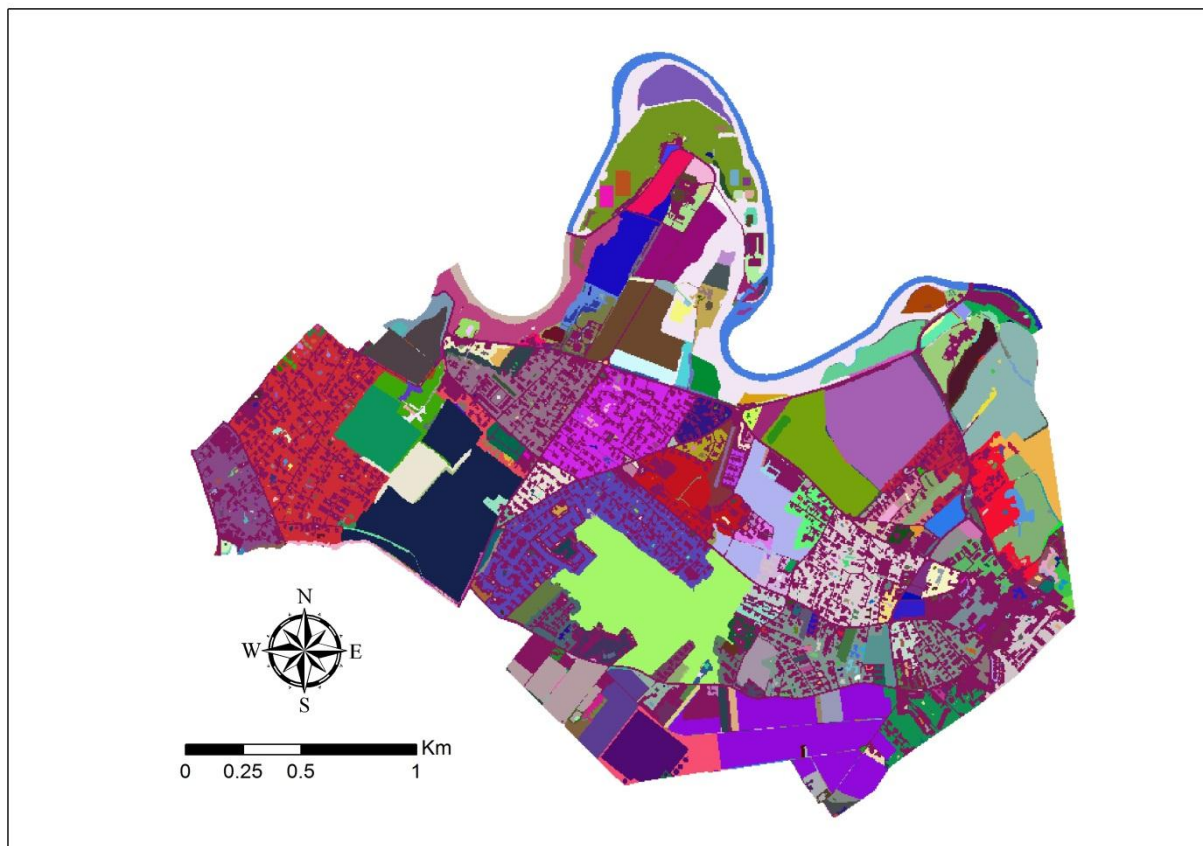


Figure 8 : Commune de Veyrier, fichier « Patch_ID » créé par *Fragstats*. Chaque pixel se voit attribuer comme valeur le numéro du patch auquel il appartient. Une couleur par patch.

La Figure 9 montre les tableaux de résultats en sortie de *Fragstats* avec *No sampling* choisi au niveaux classe (Class) et territoire (Landscape). Les metrics calculés sont le pourcentage du territoire occupé par chaque classe (PLAND) et la surface totale du *Landscape* (TA). Dans ce cas, les indicateurs sont purement descriptifs et signifient, par exemple, que la commune de Veyrier possède une surface de 649 hectares dont 15% sont de la forêt (même données que dans le Tableau 1).

Patch	Class	Landscape
	LID	TYPE
1	D:\Jeremie_stage\Re\ eau	2.3101
2	D:\Jeremie_stage\Re\ forets	15.4496
3	D:\Jeremie_stage\Re\ surfaces dures	23.0528
4	D:\Jeremie_stage\Re\ milieux ouverts	7.9142
5	D:\Jeremie_stage\Re\ vegetation urbaine	28.3982
6	D:\Jeremie_stage\Re\ cultures	22.8750

Patch	Class	Landscape
	LID	TA
1	D:\Jeremie_stage\Re	649.5300

Figure 9 : Résultats de *Fragstats* avec *No sampling* choisi au niveaux classe (Class) et territoire (Landscape).
PLAND=Percentage of Landscape et TA=Total Area, tous deux en hectares.

User provided tiles

Littéralement « tuiles fournies par l'utilisateur » Cette option permet d'effectuer les analyses en fournissant un fichier contenant des tuiles, des subdivisions ou tout découpage d'intérêt du paysage. Le fichier à fournir doit aussi être un raster d'un des formats acceptés par *Fragstats*.

Pour l'exemple, la subdivision infracommunale des sous-secteurs statistiques des Girec⁵ (Groupe interdépartemental de représentation cartographique), correspondant à des quartiers, a été rasterisée (*Polygon to Raster*, 5 mètres, *Maximum Combined Area*) pour la commune de Veyrier (Figure 11).

Les résultats sont groupés par tuile/division et présentés sous forme de tableau. Par exemple, le Girec numéro 2 est composé de 23% de forêts (Figure 10).

Patch	Class	Landscape
	LID	TYPE
1	tile_0002	eau
2	tile_0002	forets
3	tile_0002	surfaces dures
4	tile_0002	milieux ouverts
5	tile_0002	vegetation urbaine
6	tile_0002	cultures

Figure 10 : PLAND de la commune de Veyrier, tableau de résultats pour le Girec no 2.

⁵http://ge.ch/sitg/sitg_catalog/data_details/FEFC147C-9526-4893-92BE-598C21305E11/pdf/FEFC147C-9526-4893-92BE-598C21305E11.pdf

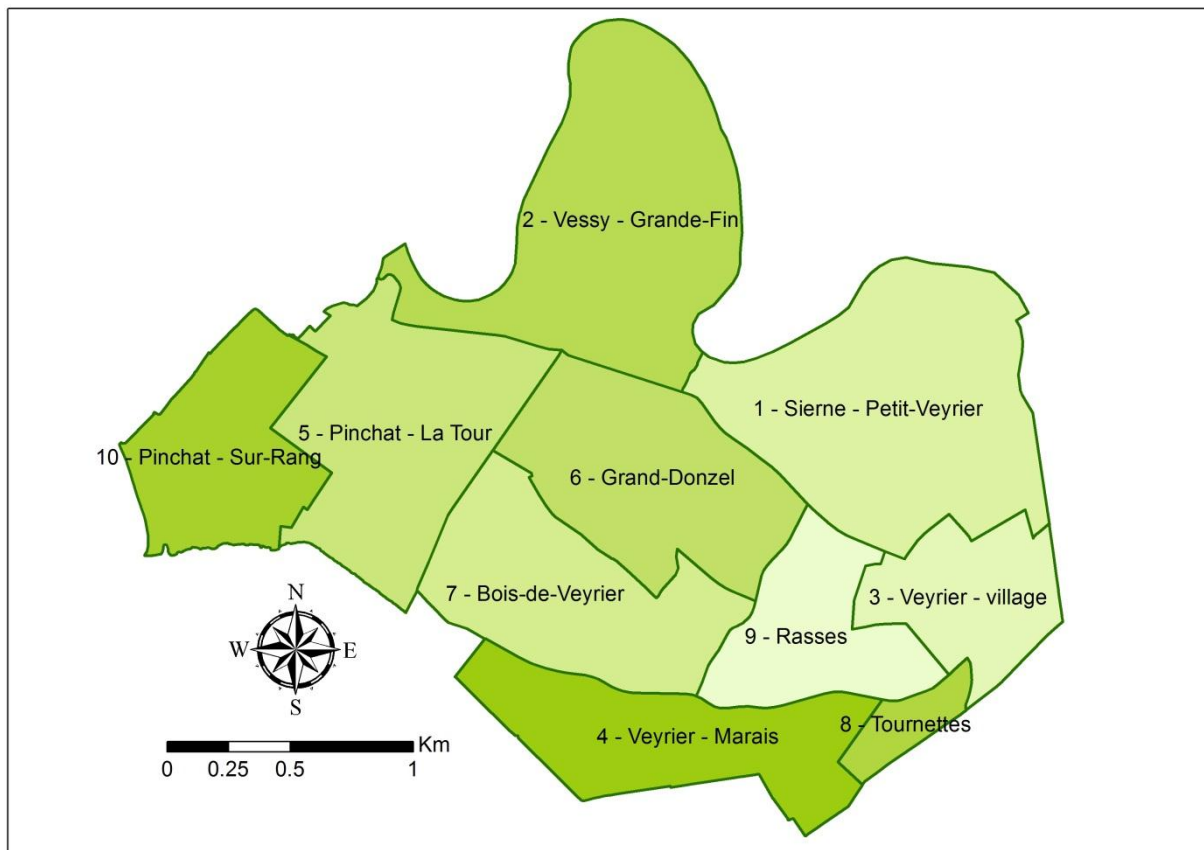


Figure 11 : Gires de la commune de Veyrier.

Moving window

La troisième option explorée est la stratégie *Moving window*. Cette option ne permet que de travailler au niveau *Class* ou *Landscape*. *Fragstats* va calculer, pour chaque pixel dans le paysage, les *metrics* demandés sur une zone particulière (*window*) et créer une carte avec la valeur attribuée à chacun. Pour définir quelle zone autour du pixel sera prise en compte pour le calcul, on peut choisir entre une zone ronde d'un rayon à définir ou un carré de côté à définir également. Tous deux sont évidemment centrés sur chaque pixel successivement. Si l'on veut obtenir les données pour l'entier de la zone étudiée, il faut précédemment créer un buffer autour de cette zone d'au moins la distance indiquée comme rayon pour la *moving window*. En effet, la valeur d'un pixel n'est calculée que si toute la zone de recherche couvre également d'autres pixels. Afin de créer ces buffer non pas sur une seule commune ou Girec, pour lequel l'outil ArcMap *Buffer (Analysis Tools - Proximity)* suffit, j'ai créé un Model Builder (chapitre 2.3) adapté.

Les cartes en sorties sont des fichiers TIF qui représentent la valeur de chaque pixel du paysage étudié. Pour les *metrics* au niveau *Landscape*, une seule carte est produite tandis que pour les *metrics* au niveau de la classe, les pixels sont calculés mais ne tiennent compte que d'une seule catégorie à la fois. Pour les 6 catégories précédemment définies on aura donc 6 cartes produites. Par exemple, la Figure 12 représente la surface de forêt comprise dans un rayon de 50 mètres autour de chaque pixel.

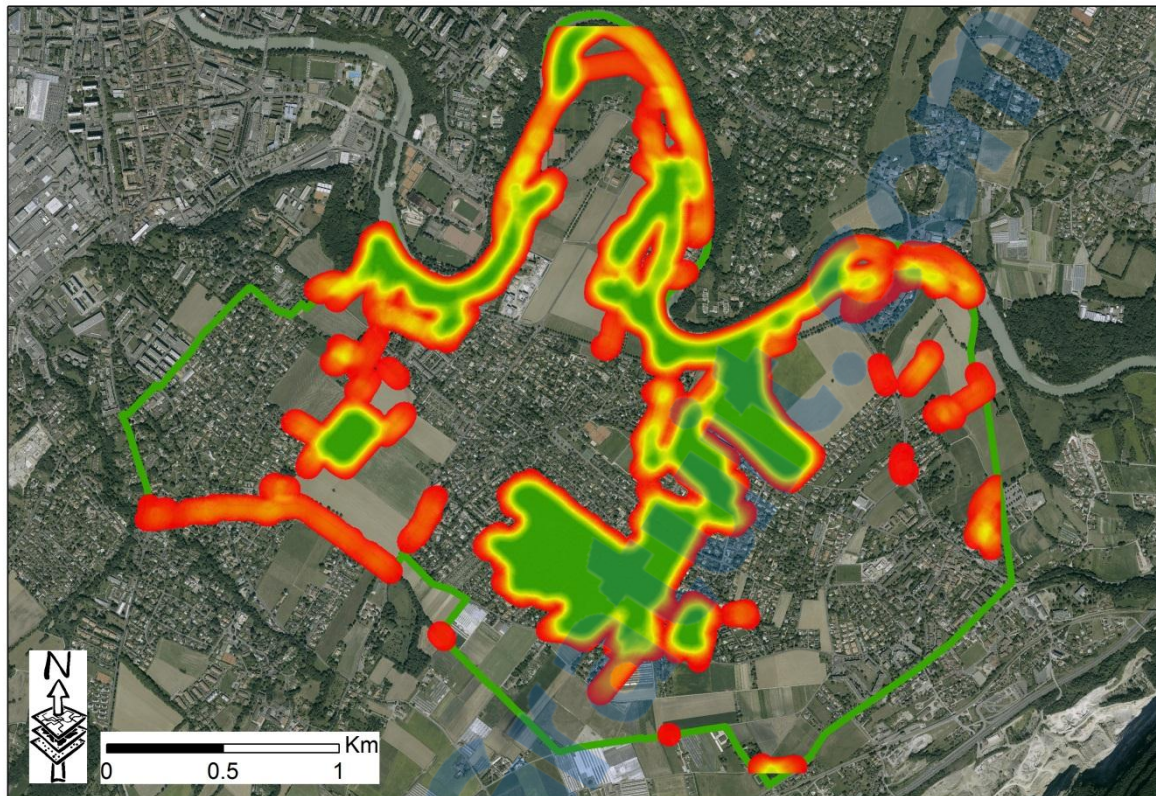


Figure 12 : Veyrier, Metric « Class Area » dans un rayon de 50 mètres pour la catégorie 2 (forêts). Les hautes valeurs en vert et les basses en rouge.

Pour comprendre l'influence de la matrice Edge depth, un exemple avec moving window d'un rayon de 50 m a été lancé. On regarde une zone composée principalement d'un grand patch forêt et d'un grand patch cultures (Figure 13). Ensuite, l'indice Core Area de *Fragstats* est calculé. Pour chaque pixel, il indique quelle est la surface de Core présente dans la window pour une valeur maximale (moving window entièrement composée de Core de 0.7925 hectares). Deux matrices de edge depth différentes ont été utilisées.

La première (Matrice 1) ne contient que des 0. C'est-à-dire qu'il n'y a pas d'effet de bord et que le 100% des forêts, par exemple, est considéré comme Core. Le résultat (Figure 14) montre que les pixels à la lisière ont une window composée à environ 50% de Core (forêt sur moitié gauche et cultures à droite).

La deuxième matrice se compose également uniquement de 0, sauf pour la combinaison forêt-culture. La forêt ne « pénètre » pas dans les cultures mais les cultures imposent une bordure de 50 mètres à tout patch forêt contigu à un patch culture. Le résultat pour la surface de Core est très différent de la première matrice (Figure 15). Comme la « frontière » du Core de la forêt est maintenant repoussée de 50 mètres à gauche de la lisière, les pixels de la lisière ont une valeur de Core Area presque à 0 puisque les pixels de Core les plus proches sont dorénavant situés à la limite du rayon de la moving window.



Figure 13 : Zoom sur la carte des 6 classes. On voit bien la lisière (barre bleue) entre forêt et culture au centre.

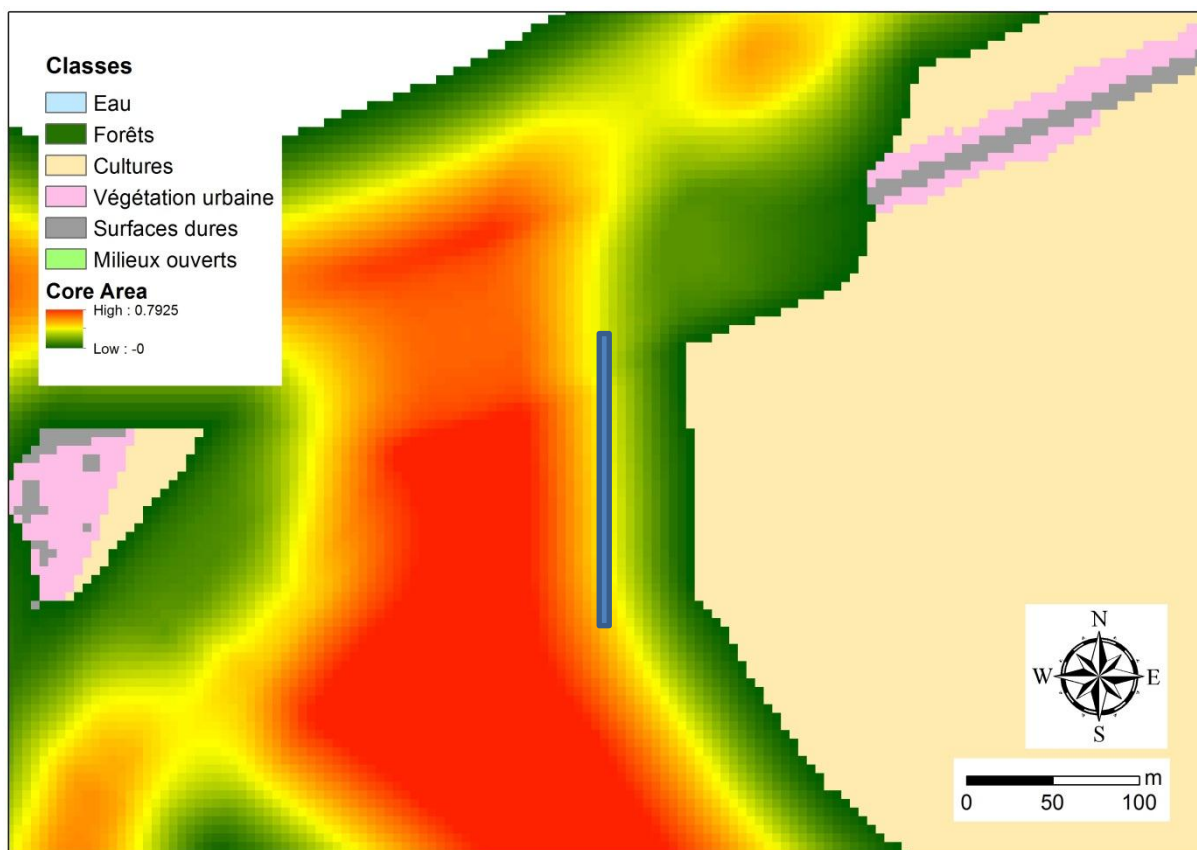


Figure 14 : Surface de Core. Moving window. Matrice edge depth 1. La barre bleue correspond à la lisière.

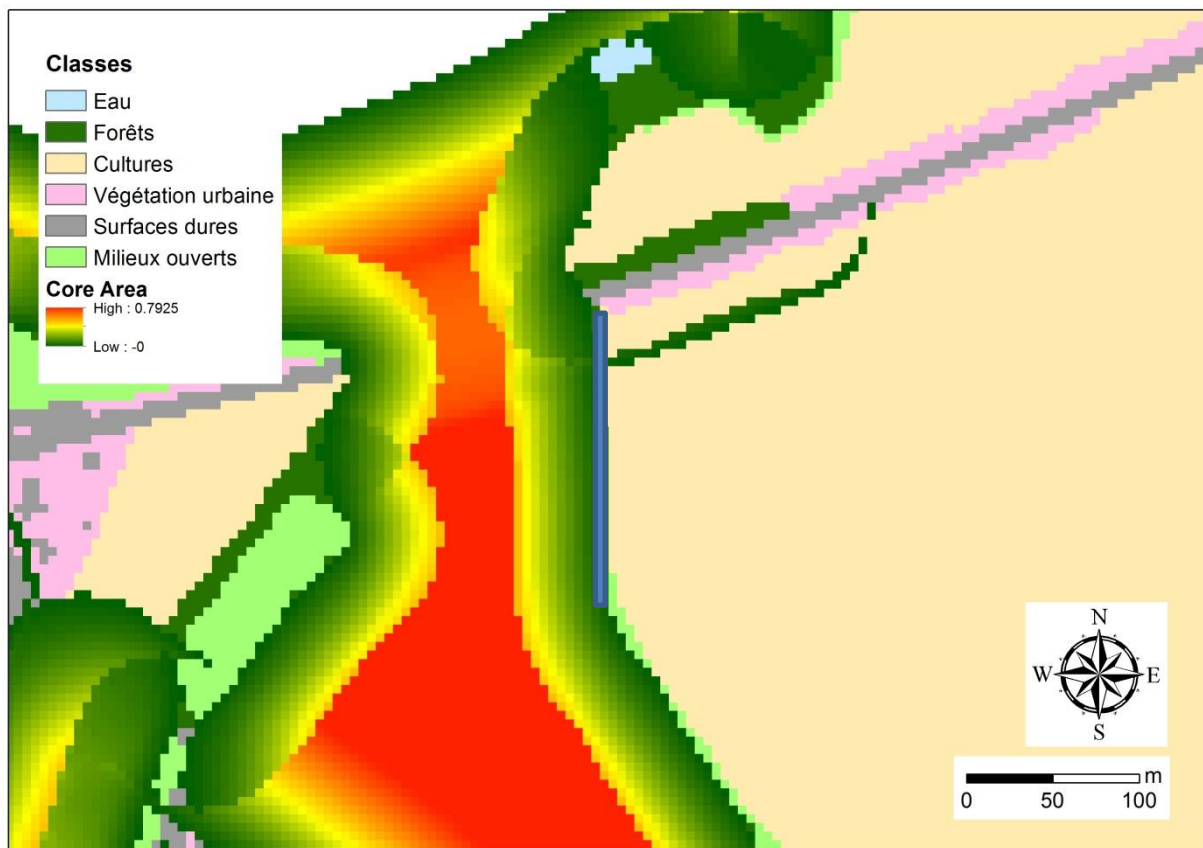


Figure 15 : Surface de Core. Moving window. Matrice edge depth 2.

2.2.3. Proposition de metrics

Afin de pouvoir utiliser un indicateur sur la carte des milieux naturels, il faut qu'il puisse être interprété de manière consistante sur l'ensemble de la zone étudiée. Les indicateurs à privilégier doivent donc être comparables entre différents Girecs, communes ou zones à étudier. Dans cette optique, les indicateurs calculés en valeur normalisée et non absolue sont bien plus intéressants. En effet, un indicateur pouvant prendre des valeurs entre 0 et 1 est bien plus parlant pour un suivi du territoire qu'un indicateur n'ayant pour limite, par exemple, que la surface de la zone étudiée. Il serait alors difficile de comparer la valeur de deux zones différentes.

Un examen de la littérature permet néanmoins de dégager quelques tendances sur les indicateurs les plus couramment utilisés et ayant un potentiel discriminant plus important. Après lecture des articles suivants (Cushman 2008 ; Uuemaa 2013 ; Wu 2002) ou du projet Diacofor (Avon et Bergès, 2013) les indicateurs suivants ont été retenus comme convenant à l'analyse de la carte des milieux naturels :

- Core Area Index (CAI)
- Connectance Index (CONNECT)
- Interspersion and Juxtaposition Index (IJI)
- Contagion Index (CONTAG)
- Simpson's Diversity Index (SIDI)



Toutes les cartes qui représentent des indices *Fragstats* effectués avec l'option « moving window » ont été faite avec un rayon de 50 mètres autour de chaque pixels, c'est-à-dire sur une zone de 7'854m² (0.7 ha).

La plupart de ces indices étant calculés pour chaque Girec, la Figure 16 montre la commune de Veyrier en 6 classes et les limites de chaque Girec.



Figure 16 : Raster (à 5 mètres) en 6 catégories de la commune de Veyrier et limites des Girecs.

Core Area Index (CAI)

Cet indice calcule le pourcentage de la surface de chaque patch étant considérée comme faisant partie de son « noyau » (Core). Le Core du patch est défini soit par une matrice de Edge depth ou par une valeur fixe.

CAI s'applique au niveau *Patch*. Dans ce cas, il est descriptif et donne une idée de la valeur en Core Area de chaque patch. Aux niveaux *Class* et *Landscape*, on prend la moyenne pondérée de l'indice CAI. En effet, le Core Area Weighted Mean (CAI_AM) permet de pondérer la moyenne en fonction de la taille de chaque patch. Il quantifie donc la Core Area pour toute une classe ou tout le territoire en pourcentage de la surface totale respectivement de la classe ou du territoire.

Comme cet indice est en pourcentage, il est donc aisément comparable d'une zone à l'autre.

La Figure 17 a été produite avec la matrice des *Edge depth* donnée en exemple plus haut avec le processus moving window. D'autres résultats peuvent être obtenus au niveau de la classe ou du paysage en entier. Par exemple, le Tableau 2 récapitule l'indice CAI_AM par Girec aux niveaux *Class*

et *Landscape*. Par exemple, 19.75% de la forêt des Bois de Veyrier est en Core Area mais seulement 3.54% de la surface total (toutes classes confondues) est en Core Area.

Tableau 2 : Core Area Index Weighted Mean

Girec (n°)	CAI_AM niveau Class (%)						CAI_AM niveau Landscape (%)
	cultures	eau	forêts	milieux ouverts	surfaces dures	végétation urbaine	
Bois-de-Veyrier (7)			19.75	0.26	7.50	0.66	3.54
Grand-Donzel (6)			1.80		21.73	1.62	6.47
Pinchat - La Tour (5)	14.96	0.07	1.13	0.25	7.74	1.16	8.91
Pinchat - Sur-Rang (10)		0.01			15.25	4.40	8.35
Rasses (9)	0.23		0.18		2.47	0.93	8.54
Sierne - Petit-Veyrier (1)	9.47	2.83	3.92	0.70	12.09	1.17	10.62
Tournettes (8)	0.08				2.89	1.53	1.43
Vessy - Grande-Fin (2)	3.27	6.95	1.95	1.43	2.32	6.63	7.05
Veyrier - Marais (4)	8.20	0.02		0.64	4.07	0.27	5.68
Veyrier - village (3)	1.07			0.11	15.23	0.42	2.02

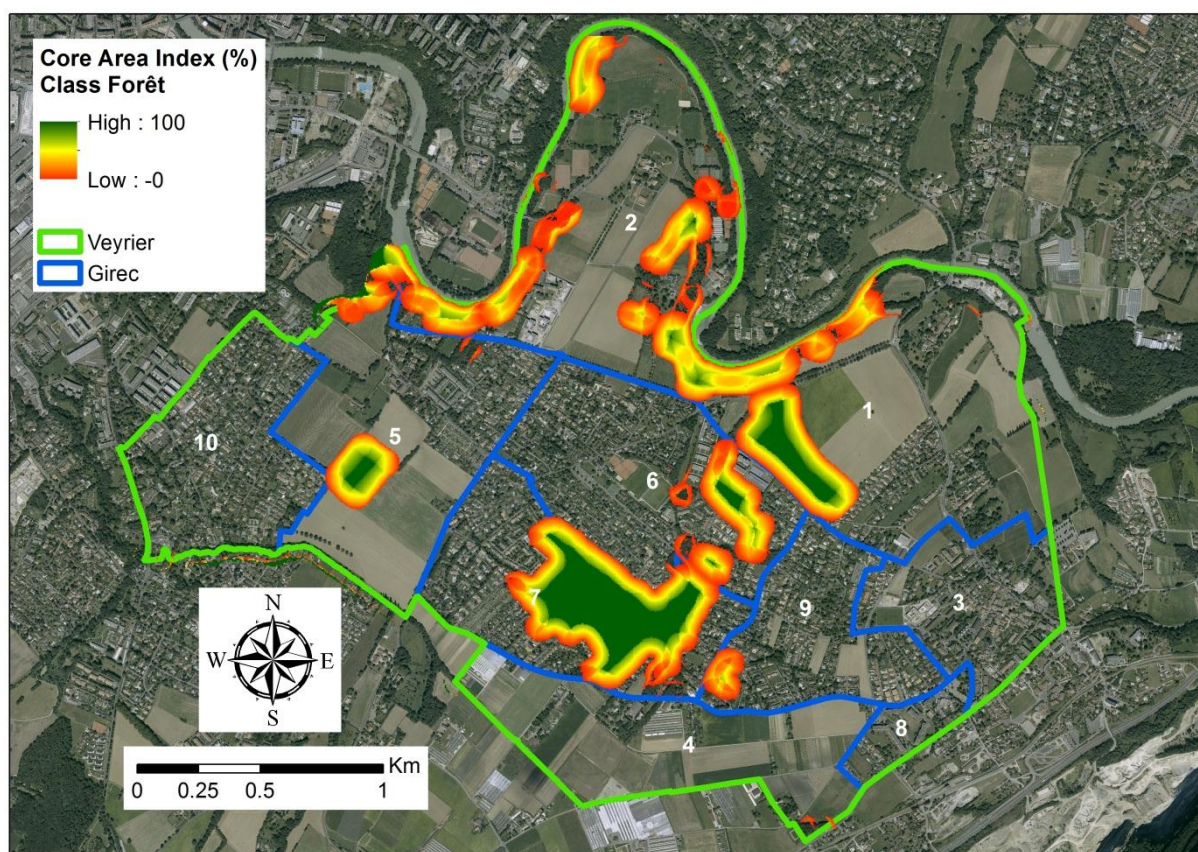


Figure 17 : CAI de la classe forêt suite à une moving window circulaire d'un rayon de 50 mètres autour de chaque pixel. Les zones vert foncé indiquent qu'il n'y a que du Core area de forêt dans ce rayon. Les numéros des Girecs se rapportent au Tableau 2 et à la Figure 11.

Connectance Index (CONNECT)

Cet indice est la proportion de liaison entre tous les patchs. Il faut spécifier une distance seuil de recherche autour de chaque patch. CONNECT est compris entre 0 (aucune connexion entre les patchs d'une classe ou un seul patch présent) et 100 (tous les patchs de la classe sont connectés).

CONNECT est utilisé au niveau *Class* ou *Landscape* (Tableau 3).

Un rayon de recherche des patchs connectés doit être indiqué. Pour l'exemple, le rayon est de 30 mètres, pour une moving window de 50 m de rayon. La carte faite avec la moving window (Figure 18) montre pour chaque pixel son taux de connexion avec d'autres patchs de la même classe dans un rayon de 30 mètres. Sur le tableau suivant, on peut remarquer les différences de l'indice CONNECT pour les classes de deux Girecs. On remarque notamment que les milieux ouverts sont fortement connectés à Pinchat mais peu à Vessy.

Tableau 3 : Connectance Index des Girecs Pinchat-Sur-Rang et Vessy-Grande-Fin.

	Pinchat - Sur-Rang	Vessy - Grande-Fin
Classe	CONNECT	
eau	0	46.67
forets	9.52	20
surfaces dures	2.80	3.16
milieux ouverts	33.33	4.34
végétation urbaine	7.14	5.05
cultures	50	10
Niveau Landscape	3.23	3.90

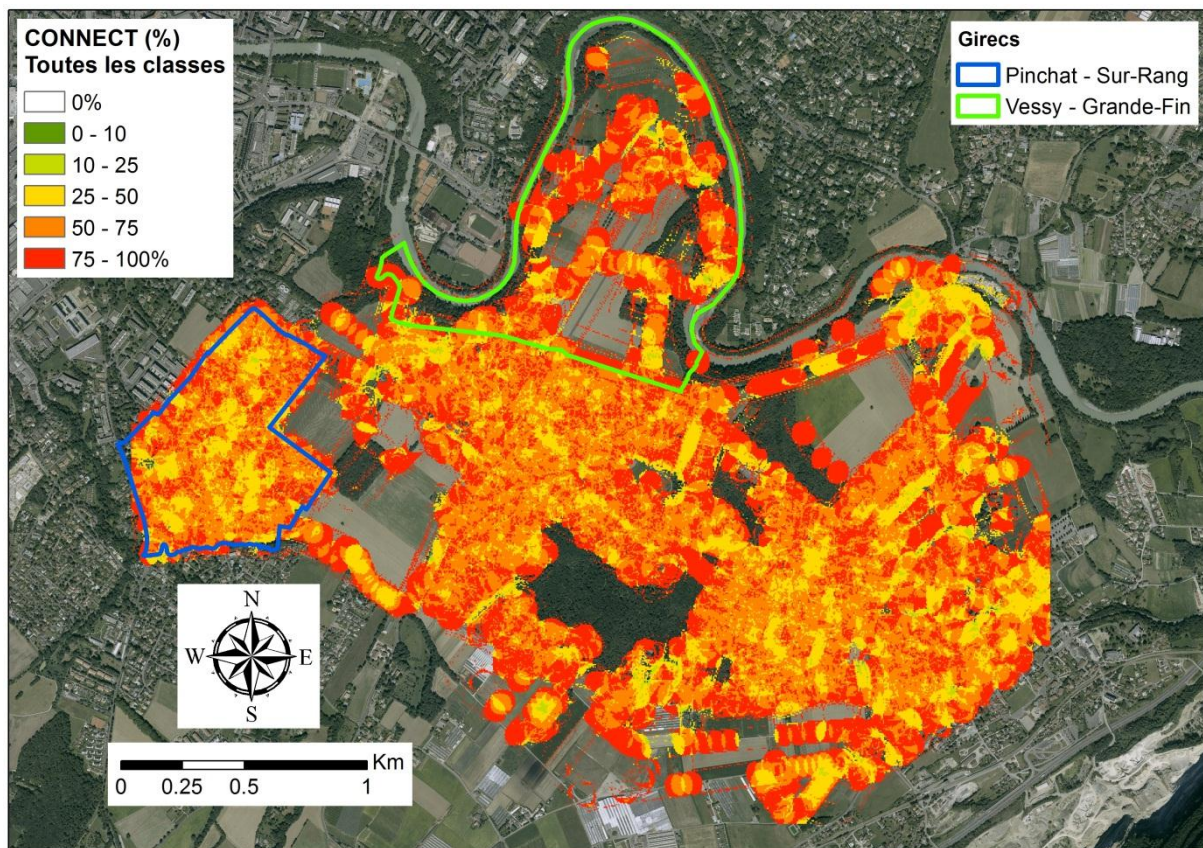


Figure 18 : Indice CONNECT représentant toutes les classes. Rayon de recherche : 30m. Rayon de moving window : 50m. Zones non colorées (trous) = 0%. Les valeurs sont reclassées en 5 tranches de pourcentages.

Interspersion and Juxtaposition Index (IJI)

Cet indice IJI (McGarigal and Marks 1995) tend à diminuer si le paysage est très agrégé. Une agrégation élevée signifie que les pixels d'une même classe sont très regroupés au sein du territoire. Un indice IJI élevé signifie donc le contraire, c'est-à-dire que les pixels d'une classe sont éparpillés sur le territoire. Il mesure en quelque sorte la richesse du voisinage des différents types de patches. Il est compris entre 0 (si la classe du patch n'est adjacente qu'au maximum à une autre classe) et 100 (quand la classe partage ses « frontières » également entre toutes les autres classes).

L'indice IJI est utilisé aux niveaux *Class* ou *Landscape*.

La Figure 19 présente cet indice au niveau *Landscape* en *moving window*. Les zones non colorées ont une agrégation maximale dans le rayon de la moving window. Le centre des forêts ou des champs n'est pas connecté à une autre classe tandis que les zones ne contenant que des surfaces dures et de la végétation urbaine (surtout les zones villas) sont également très agrégées d'après la définition de l'indice, d'où un indice nul.

Les zones peu agrégées sont les lisières ou bordures proches de plusieurs patches de classes différentes. D'après le Tableau 4, on voit que les Girecs Pinchat-Sur-Rang ou Rasses ont une faible valeur IJI. Cela signifie que ces quartiers sont très agrégés. En effet, on remarque qu'ils ne sont composés presque uniquement des classes Surfaces dures et végétation urbaine. Le Girec Vessy-

Grande-Fin est quant à lui peu agrégé car sa composition est relativement hétérogène. Pour ce dernier, la même constatation peut être faite grâce à l'indice CONNECT car les différentes classes sont peu connectées à leurs semblables (Tableau 3).

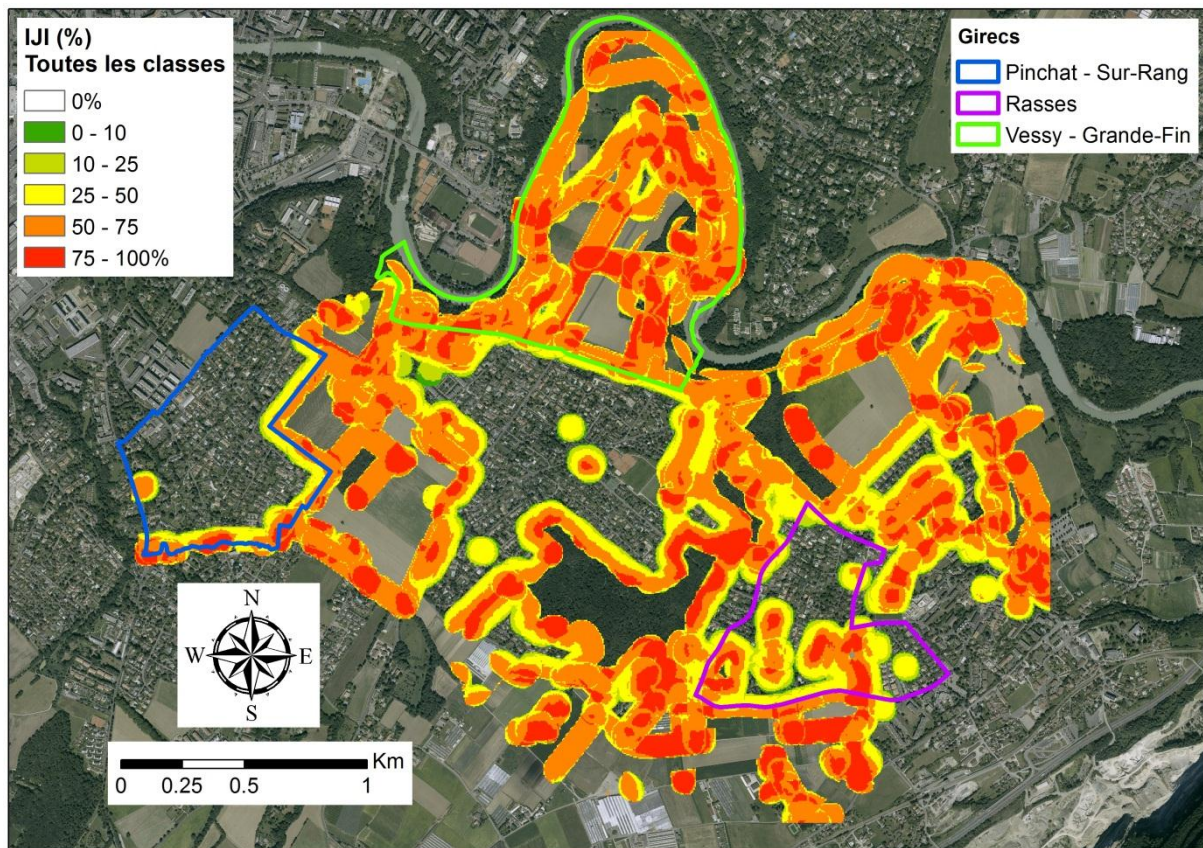


Figure 19 : Indice IJI au niveau Landscape. Rayon de moving window : 50m. Zones non colorées = 0%.

Contagion Index (CONTAG)

Cet indice est une mesure utile de l'agrégation du territoire (O'Neill et al. 1988). En résumé, CONTAG est basé sur la probabilité de trouver un pixel de la classe A à côté de la classe B. CONTAG est compris entre 0 (aucune agrégation) et 100 (agrégation maximale).

CONTAG est utilisé au niveau *Landscape*.

Cet indice est très similaire à IJI car il représente l'agrégation (d'ailleurs les deux cartes sont très similaires) mais est également affecté par la dispersion des patches. On remarque principalement que les zones villas n'ont pas un indice de 0 car les différents patches y sont dispersés bien qu'étant fortement agrégés alors que l'indice IJI ne tient compte que de l'agrégation. Les zones à haute valeur CONTAG sont agrégées et présentent une grande dispersion des classes. De plus, CONTAG est fortement affecté par la résolution de l'image (McGarigal et al., 2012). Plus le grain sera fin, plus CONTAG sera grand. Ceci est dû à la méthode de calcul qui tient compte de la proximité des pixels à l'intérieur d'un même patch. Enfin, CONTAG et IJI ont tendance à être inversement proportionnels comme on peut le voir sur le Tableau 4 de l'indicateur IJI où le Girec avec le plus petit IJI (Pinchat-Sur-Rang) possède l'indice CONTAG le plus élevé.

Tableau 4 : Indices IJI et CONTAG pour les différents Girecs au niveau Landscape.

Girec	IJI	CONTAG
Vessy -Grande-Fin	82.78	39.11
Sierne - Petit-Veyrier	72.02	44.70
Pinchat - La Tour	60.98	49.70
Pinchat - Sur-Rang	6.97	63.08
Grand-Donzel	29.64	40.76
Bois-de-Veyrier	39.70	41.84
Rasses	19.67	47.16
Veyrier - village	36.31	46.16
Veyrier - Marais	65.90	58.02
Tournettes	20.03	49.68

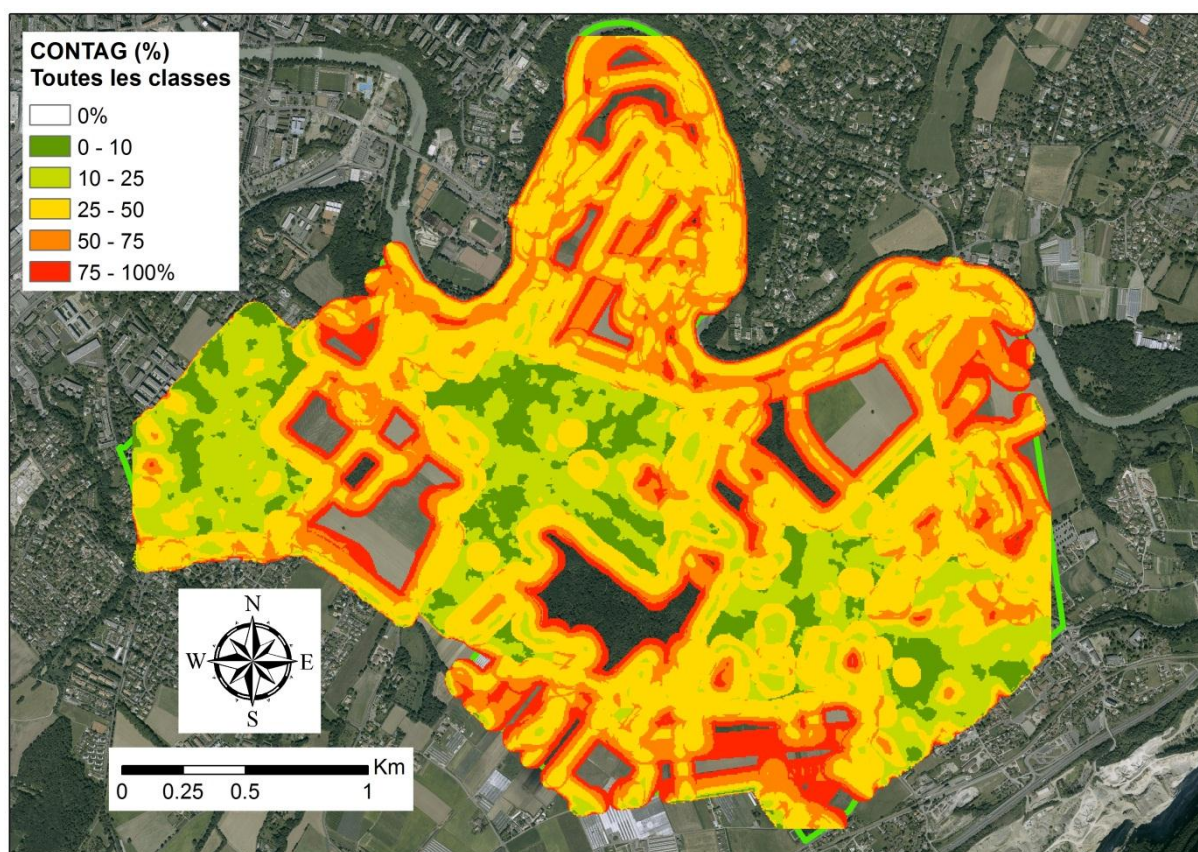


Figure 20 : Indice CONTAG représentant toutes les classes. Rayon de moving window : 50m. Zones non colorées = 0%.

Simpson's Diversity Index (SIDI)

Cet indice est très similaire au « Shannon's diversity index » (Shannon and Weaver, 1949) mais est moins sensible à la présence de catégories rares. De plus, au contraire de ce dernier, il est borné entre 0 et 1, ce qui le rend plus facilement comparable entre des zones différentes. C'est un indice de diversité (Simpson 1949) qui mesure plutôt la composition du territoire (Turner 1990a). En résumé, cet indice mesure la probabilité que deux pixels pris au hasard tombent dans deux classes différentes. On a donc : 0=aucune diversité et 1=forte diversité.

Cet indice ne se calcule qu'à l'échelle du paysage et est donc encore plus sensible au choix de la catégorisation des milieux. Il mesure la diversité et les zones non colorées sont bien celles n'étant constituées que d'une seule classe (comme le centre des forêts ou des champs). Les lisières et les zones de rencontre de plusieurs classes de patches sont les plus diversifiées.

Les observations faites avec les indices précédents se confirment à la lecture du tableau suivant. Le Girec le plus diversifié est Vessy-Grande-Fin (SIDI = 0.82) et le moins diversifié est Pinchat-Sur-Rang (SIDI=0.49). Cela signifie qu'il y a une probabilité de 82% que deux pixels pris au hasard appartiennent à deux différentes classes à Vessy. Sachant que Pinchat-Sur-Rang est composé à 60% de végétation urbaine et à presque 38% de surfaces dures (on met de côté les 2% restant pour une meilleure lisibilité du calcul), l'indice est calculé ainsi :

$$SIDI = 1 - \sum_{k=1}^n (P_k^2)$$

P_k est la proportion de la classe k dans le paysage. Dans le cas de Pinchat-Sur-Rang, on calcule donc SIDI ainsi :

$$SIDI = 1 - (0.6^2 + 0.38^2) = 0.4956$$

Le résultat est bien conforme au 49% du Tableau 5.

Tableau 5 : Indice SIDI pour les différents Girecs au niveau Landscape.

Girec	SIDI
Vessy -Grande-Fin	0.82
Sierne - Petit-Veyrier	0.75
Pinchat - La Tour	0.68
Pinchat - Sur-Rang	0.49
Grand-Donzel	0.62
Bois-de-Veyrier	0.67
Rasses	0.61
Veyrier - village	0.65
Veyrier - Marais	0.61
Tournettes	0.56

Cet indice est un donc un très bon moyen de résumer la diversité du paysage étudié. Cependant, il ne décrit que la diversité et non l'agrégation. En effet, les situations A et B (Figure 21) se calculent exactement de la même façon pour l'indice SIDI ont 67% de probabilité que deux pixels pris au hasard appartiennent à deux classes différentes.

$$SIDI = 1 - ((1/3)^2 + (1/3)^2 + (1/3)^2) = 67\%$$



Figure 21 : Deux répartitions possibles d'une zone de 9 pixels en 3 classes de 3 pixels chacune.

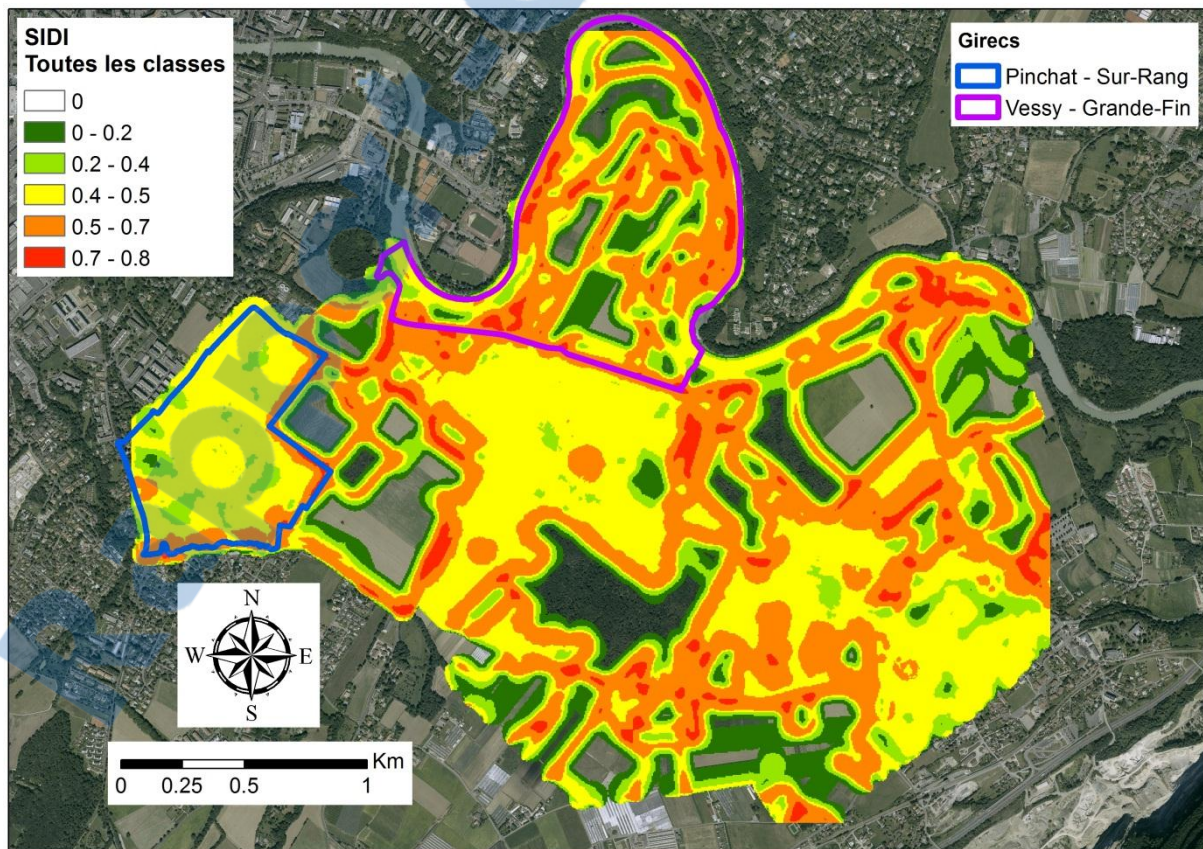


Figure 22 : Indice SIDI. Rayon de moving window : 50m. Zones non colorées = 0.

Remarques

Pour tous ces indicateurs, la moving window était de 50 mètres dans le but de comprendre le fonctionnement de chaque indice en comparant les diverses carte. En jouant sur le rayon, on peut obtenir des résultats peut-être plus crédibles lors de l'étude d'une classe particulière. Il est en effet peu logique de restreindre le rayon à 50 mètres si l'on étudie des espèces pouvant percevoir les différents habitats ou se déplacer au-delà de cette limite.

Les tableaux présentés ne sont que des exemples de ce que ces indices peuvent montrer. En effectuant les indices avec l'option « User provided Tiles », on peut toujours résumer la valeur des indices au niveau des subdivisions (comme les Girecs) et/ou des classes.

2.3. Model builder

J'ai également créé un *Model Builder* simple permettant d'extraire, à partir d'un raster de base et d'une couche vectorielle de découpe, un fichier TIF pour chaque subdivision voulue (commune ou Girec par exemple). Le but étant de créer tous les rasters nécessaires à une analyse locale par le programme *Fragstats* en une seule manipulation. Comme il faut pouvoir utiliser ces rasters avec l'analyse en « moving window », la création d'un buffer est nécessaire. Lors d'un traitement itératif, le nom de sortie doit changer à chaque fois sinon, dès la deuxième itération, le modèle s'arrête puisque un fichier portant le même nom est déjà présent. Les champs à renseigner sont les suivants :

Raster_In : Raster d'entrée à découper.

Feature_In : Couche d'entrée pour la découpe du raster. Chaque objet de la couche produira un fichier TIF en découpant le raster.

Group_By_Field : Le champ indiqué ici contient les valeurs qui seront utilisées pour donner un nom différent à chaque raster de sortie en fonction du polygone utilisé pour la découpe. Par exemple, si un champ "Numero" est indiqué et que le "Nom de sortie" est "D:\Commune_%Value%.tif", alors le fichier TIF de la commune numéro 6645 se trouvera à l'emplacement D:\ et se nommera "Commune_6645.tif".

Taille_du_buffer : Indiquer ici la taille voulue pour le buffer (zone tampon) autour de chaque polygone de la couche d'entrée.

Nom_de_sortie : Nom et destination des fichiers de sortie.

Le nom doit impérativement contenir %Value%.tif avec le cheminement du dossier de destination.

Par exemple : C:\Users\Jeremie\Documents\Rasters\Communes_%Value%.tif

La structure du Model Builder est illustrée à la Figure 23. L'outil d'itération (*Iterate Row Selection*) produit, pour chaque polygone de la couche vectorielle, un buffer puis découpe le raster, grâce à l'outil *Extract by Mask*, pour produire un fichier TIF correspondant au polygone de découpe augmenté du buffer.

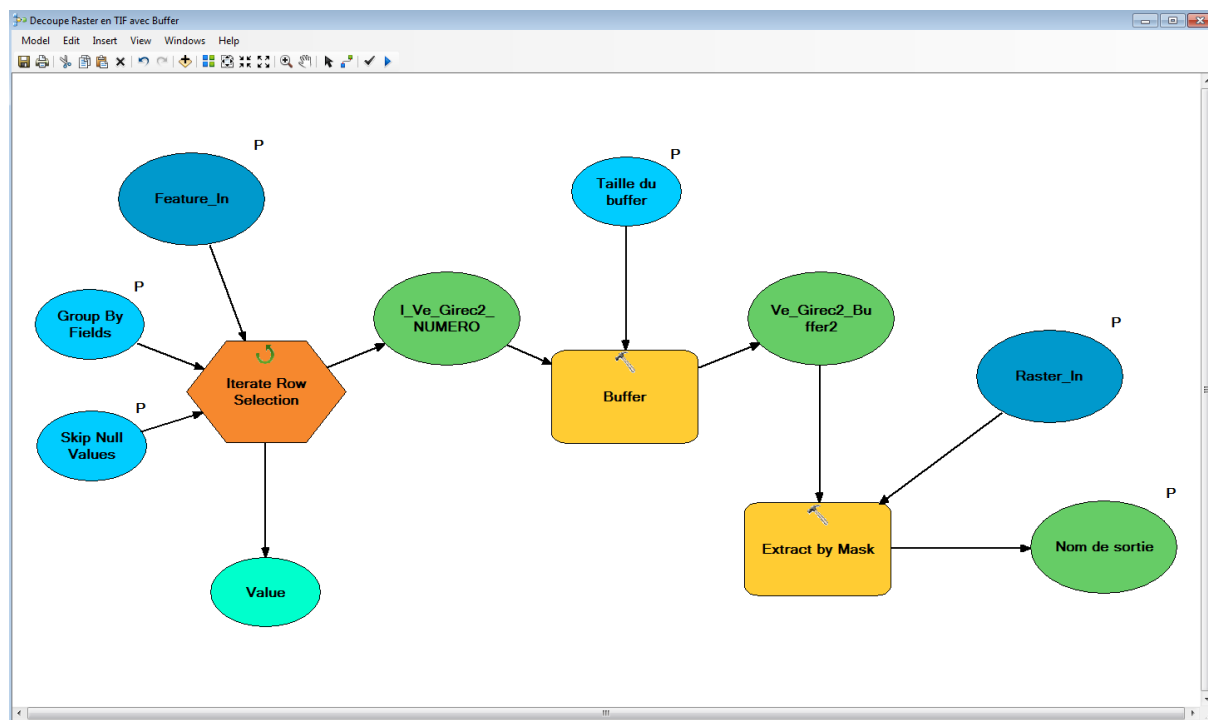


Figure 23 : Model Builder de découpe de raster avec itération.

2.4. Conefor

Le programme *Conefor* permet d'analyser la connectivité globale d'un paysage et de dégager l'importance de chaque élément quant à cette connectivité. Il exprime donc, pour un sous-réseau particulier, la perte que l'élément considéré représenterait pour la connectivité dans son entier. Un certain nombre d'indicateurs peuvent être calculés par *Conefor* mais, selon le manuel d'instruction, deux de ces indices (IIC et PC) sont principalement intéressants. En effet, les autres sont trop spécifiques et n'abordent que certains aspects bien particuliers de la connectivité.

Seuls ces deux indices ont donc été testés avec la carte des milieux naturels. *Conefor* base ses calculs sur une valeur de qualité par patch. Celle-ci peut être simplement la surface, un indicateur de fragmentation ou toute autre valeur évaluant la qualité de chaque patch en fonction des objectifs visés par l'étude. Les indicateurs sont répartis en deux groupes : Binaires ou Probabilistes. Les indices binaires considèrent que deux patches sont connectés ou non. Les modèles de connexion probabilistes considèrent non pas la présence d'une liaison, mais la probabilité de passer d'un patch à l'autre.

L'indice binaire recommandé est *l'Integral Index of Connectivity* (IIC; Pascual-Hortal and Saura 2006) qui considère le chemin le plus court entre chaque paire de patch.

L'indice probabiliste recommandé est *le Probability of Connectivity* (PC ; Saura and Pascual-Horta 2007) qui considère la probabilité maximale de passer d'un patch à un autre, même si ce chemin passe par d'autres patches (Figure 24).

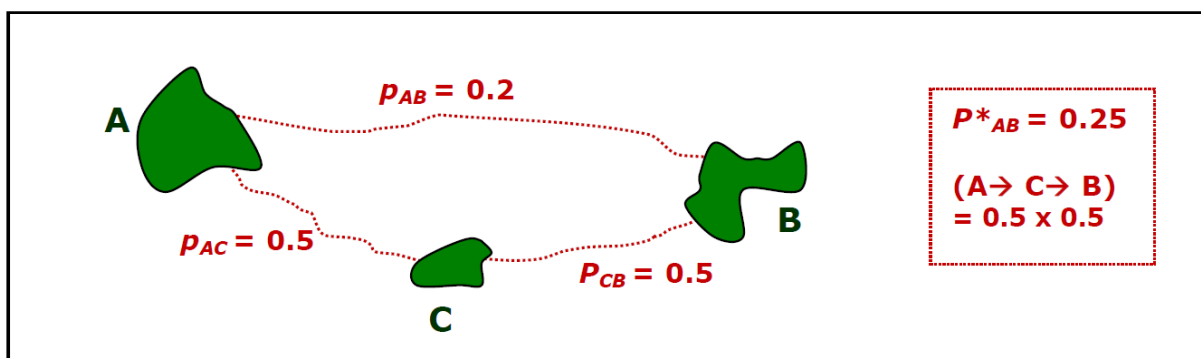


Figure 24 : Mode de calcul de la probabilité de déplacement d'un patch à l'autre. Le chemin le plus probable est utilisé. Dans ce cas, il est plus probable de passer de A à B par C plutôt que de ne pas passer par C.

Le mode de calcul de ces deux indices est similaire. En effet, le résultat pour chaque patch peut être présenté comme le pourcentage de diminution de l'indice global (PC ou IIC) lorsque l'on enlève le patch k.

$$dPC(\%) = 100 * (PC - PC_{\text{after}})/PC$$

Par exemple $dPC_k = 13 \%$ signifie que l'indice global de connectivité baisserait de 13% si on enlève le patch numéro k. Il est également possible d'obtenir les valeurs absolues avant et après le retrait du patch en question.

Ces deux indices sont également composés de trois fractions représentant divers fonctionnements d'un patch et montrant de quelle façon un patch contribue à la connectivité globale du territoire. A

noter que l'on peut toujours remplacer PC par IIC dans les formules suivantes. La démarche est en effet la même pour les deux indices.

$$dPC_k = dPCintra_k + dPCflux_k + dPCconnector_k$$

Ces trois fractions peuvent être interprétées ainsi :

- Intra : « Quantité de qualité » que fourni le patch k (connectivité intra-patch)
- Flux : Flux de toutes les connections du patch k avec les autres patches.
- Connector : comment le patch k contribue à la connectivité globale entre les autres patches comme zone relais.

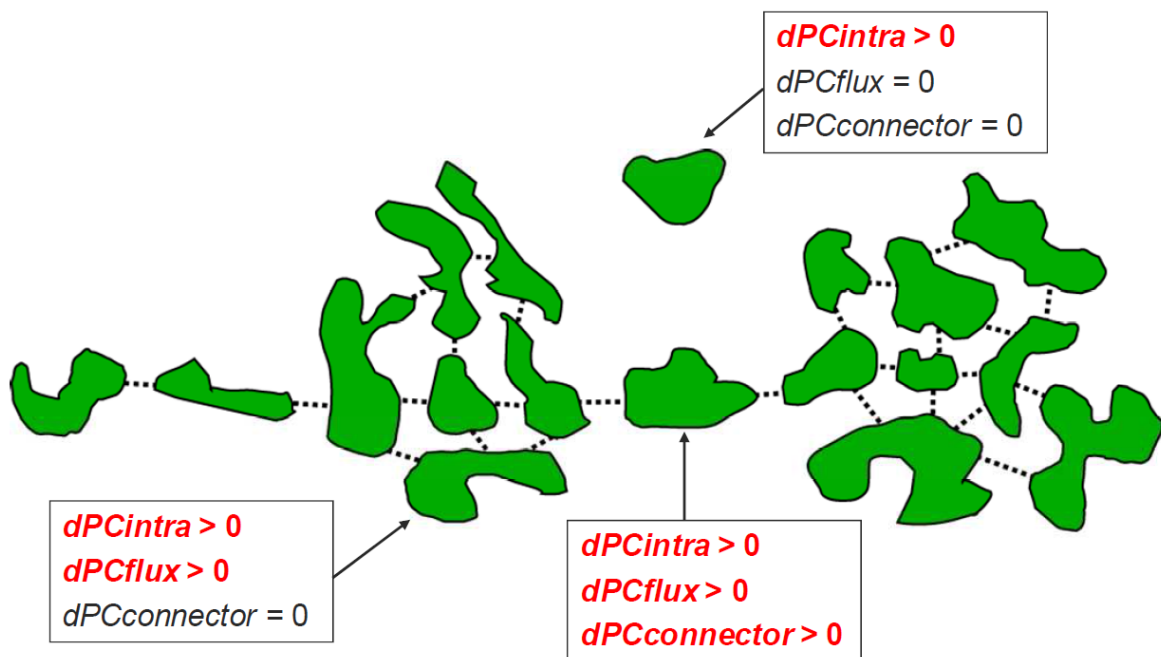


Figure 25 : Représentation des trois fractions de l'indice PC pour un système simple.

2.4.1. Préparation des données

Conefor peut travailler autant avec une couche raster qu'avec une couche vectorielle. Il faut « simplement » lui préparer deux fichiers d'entrée en format texte.

Fichier d'information des polygones

Le premier fichier est un fichier de description des patches/nœuds (nodes) d'une structure très simple. Le séparateur décimal doit être un point et aucun séparateur de milliers ne doit être présent. De plus, il doit se terminer par une ligne vide. Ces deux conditions sont les mêmes pour le fichier des connexions. Le fichier *node* est composé de deux colonnes. La première contient le numéro du patch et la deuxième la valeur (surface, qualité, importance,...) du patch.

Une troisième colonne est possible si l'option « There are NODES TO ADD » est sélectionnée. Dans ce cas, un « 1 » signifie que le patch est présent dans la situation de base et que le résultat indiquera la perte de connectivité en cas de retrait de celui-ci. Si on insère un « 0 », cela signifie que le patch n'est

pas présent dans la situation globale de base et le résultat sera le pourcentage d'augmentation de la connectivité si on ajoute ce patch au réseau.

Par exemple, dans la table suivante (Figure 26), le patch 28 n'est pas présent à la base et on veut tester son potentiel pour la connectivité globale.

24	241.9736843	1
25	561.2706733	1
26	1068.186281	1
27	43673.61942	1
28	65333.24589	0
29	16271.65984	1
30	1124.899846	1
31	1652.101304	1
32	480.8752967	1
33	407.9028196	1

Figure 26 : Exemple de table d'information des polygones.

Fichier de connexion des polygones

Le fichier doit indiquer les connexions existantes entre les diverses paires de polygones possibles. Il peut s'agir soit de distance (entre les centroïdes ou la plus courte distance entre les bords de chaque polygone) soit de probabilité de connexion entre deux polygones. Seule l'option de distance euclidienne de bord à bord est testée ici. La création d'un fichier de connexion sur des bases probabilistes, par exemple le chemin de moindre coût, doit être réalisé par des experts. En effet, comme pour le regroupement des catégories, cela dépend des objectifs particuliers de l'étude. Le programme *PathMatrix* (Ray 2005) peut permettre de construire un tel fichier de chemin de moindre coût.

Le fichier de connexions est composé de trois colonnes. Les deux premières comprennent les numéros de patches de toutes les paires connectées entre elles. La dernière contient soit la distance soit la probabilité de connexion. A noter que si toutes les connexions possibles ($n*(n-1)/2$) ne sont pas renseignées, il faut cocher l'option « Partial ». Par exemple, le fichier suivant est un fichier partiel puisque le patch 1 n'est notamment pas connecté au 4. La troisième colonne donne les distances (en mètres) bord à bord entre les polygones.

1	2	410.061990174
1	3	725.312653648
1	5	634.612450911
1	6	519.279577150
1	23	680.483061487
1	61	928.378039304
2	3	334.673237536
2	5	578.269242680
2	6	333.944025936
2	9	937.244978890
2	19	927.553306619
2	23	372.278450947
2	28	940.872495617
2	61	720.152899919
2	62	820.812704962
3	4	697.798075216
3	5	446.428394412

Figure 27 : Exemple de table de connexion des polygones.

Extension ArcMap

Pour la création des deux fichiers nécessaires, il existe une extension pour ArcMap, disponible avec Conefor⁶. Cette extension réalise, par l'intermédiaire de l'outil *Distances* d'ArcMap, les fichiers au format désiré par Conefor. Une option permet d'indiquer un seuil de distance au-delà duquel les distances ne sont pas calculées. Pour les tests suivants, un seuil à 1000 mètres a été choisi. Il faut également indiquer quel champ de la table attributaire de la couche est pris en compte comme attribut de qualité.

2.4.2. Réglages et options

La Figure 29 montre la fenêtre de lancement de Conefor. Après avoir signifié les fichiers d'entrée (ici concernant le sous-réseau forêt de la commune de Veyrier avec la surface du polygone en attribut), il faut sélectionner les indices (IIC et PC dans ce cas). On peut indiquer un seuil de distance au-delà duquel les connexions ne seront pas prises en compte. Si le fichier de connexion est en distance, Conefor calcule les probabilités pour l'indice PC basées sur une relation exponentielle entre une distance et une probabilité indiquées par l'utilisateur. Dans cet exemple (Figure 29), une distance de 200 mètres est considérée comme une probabilité de 50% de connexion.

$$p_{ij} = e^{-k \cdot d_{ij}}$$

p_{ij} est la probabilité de connexion entre les patches i et j . d_{ij} est la distance entre les patches i et j . k est une constante dépendante de la valeur « distance-probabilité » de l'utilisateur.

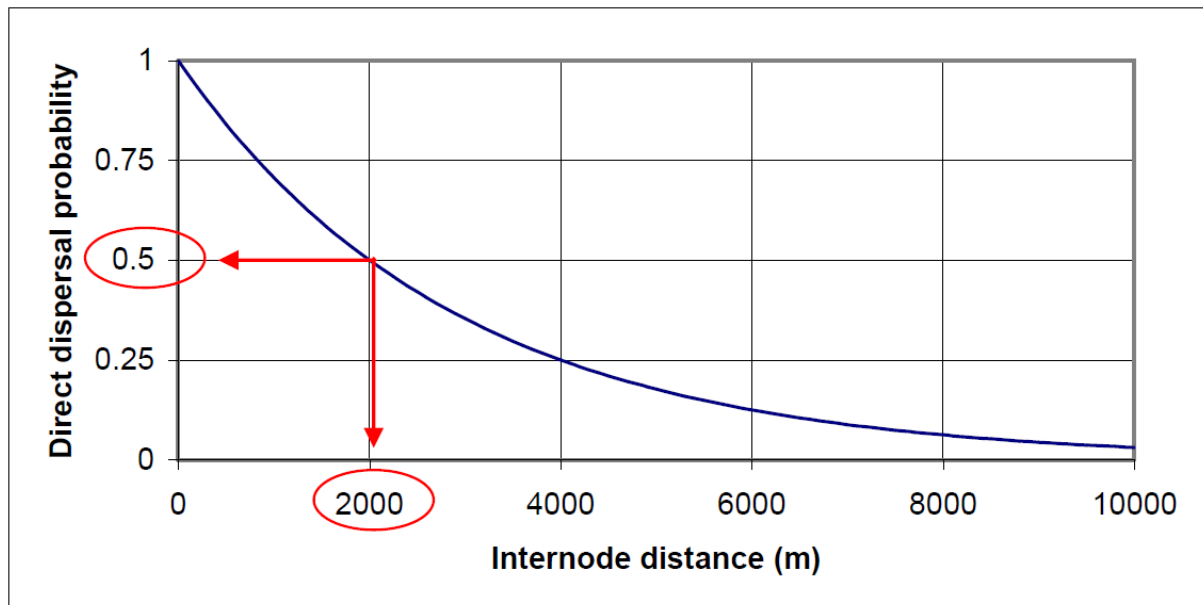


Figure 28 : Illustration de la correspondance entre distance et probabilité.

⁶ http://www.jennessent.com/arcgis/conefor_inputs.htm

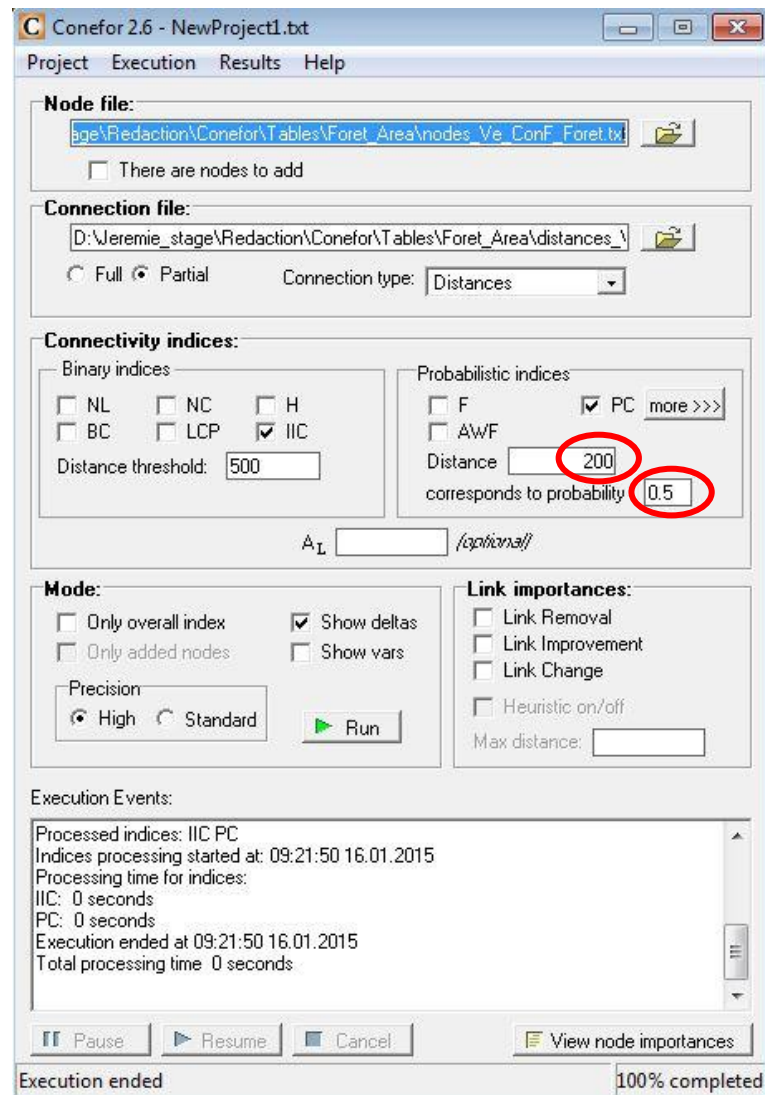


Figure 29 : Fenêtre de lancement du programme Conefor

2.4.3. Fichiers de sortie

Les résultats sortent sous forme de fichier texte contenant les valeurs calculées pour chaque polygone. Les résultats sont donc facilement visualisables dans ArcMap après avoir fait un *Join* avec la table des résultats.

La valeur globale de connectivité est également calculée, ce qui est très intéressant pour pouvoir comparer une connectivité pour une zone pour deux périodes différentes. L'exemple de résultat global montre les indices IIC et PC mais leur valeur de numérateur (IIC_{num} et PC_{num}). Il se trouve que l'indice global PC (ou IIC), compris entre 0 et 1 et donc très utile pour comparer des zones différentes, se calcule de la façon suivante :

$$PC = PC_{num} / A^2$$

« A » correspond à la valeur maximale de l'attribut si un seul patch occupait toute la surface du territoire étudié. Par exemple, si l'attribut est la surface du patch, alors A est la surface du territoire dans son ensemble. C'est ensuite cet indice PC (ou IIC) qui sera diminué (ou augmenté) de x% par tel ou tel patch.

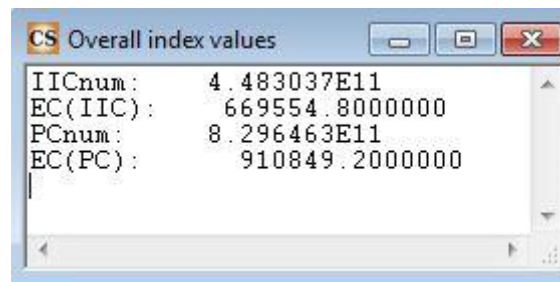


Figure 30 : Exemple de fenêtre des résultats globaux de *Conefor*.

Les tests pour *Conefor* ont été réalisés sur le sous-réseau forêts (Figure 31) de la commune de Veyrier.

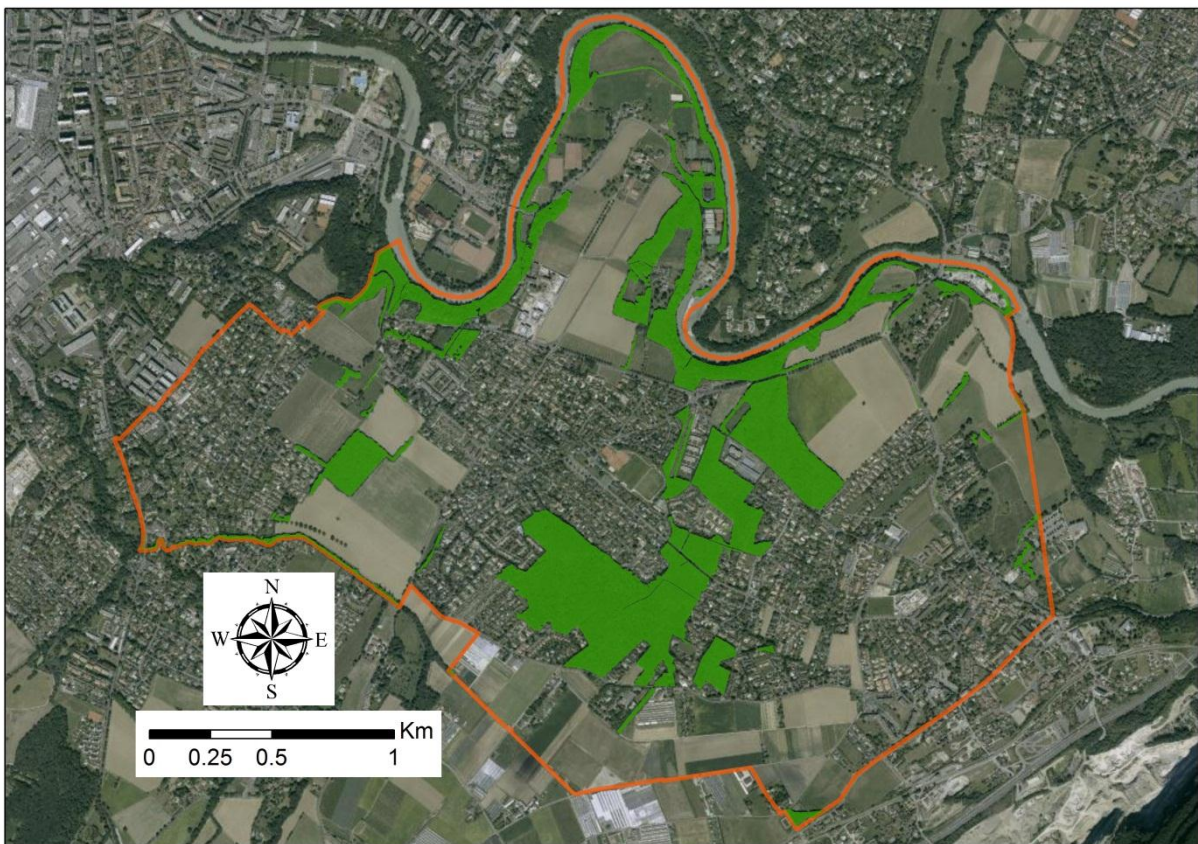


Figure 31 : Zones de forêt (en vert) pour la commune de Veyrier utilisées dans *Conefor*.

Le choix a été fait de prendre la surface pour examiner les diverses options de *Conefor*. La surface, et donc la quantité d'habitat qu'un patch fournit au paysage global est d'interprétation assez intuitive et permet donc de mieux dégager les avantages et les limites du programme.

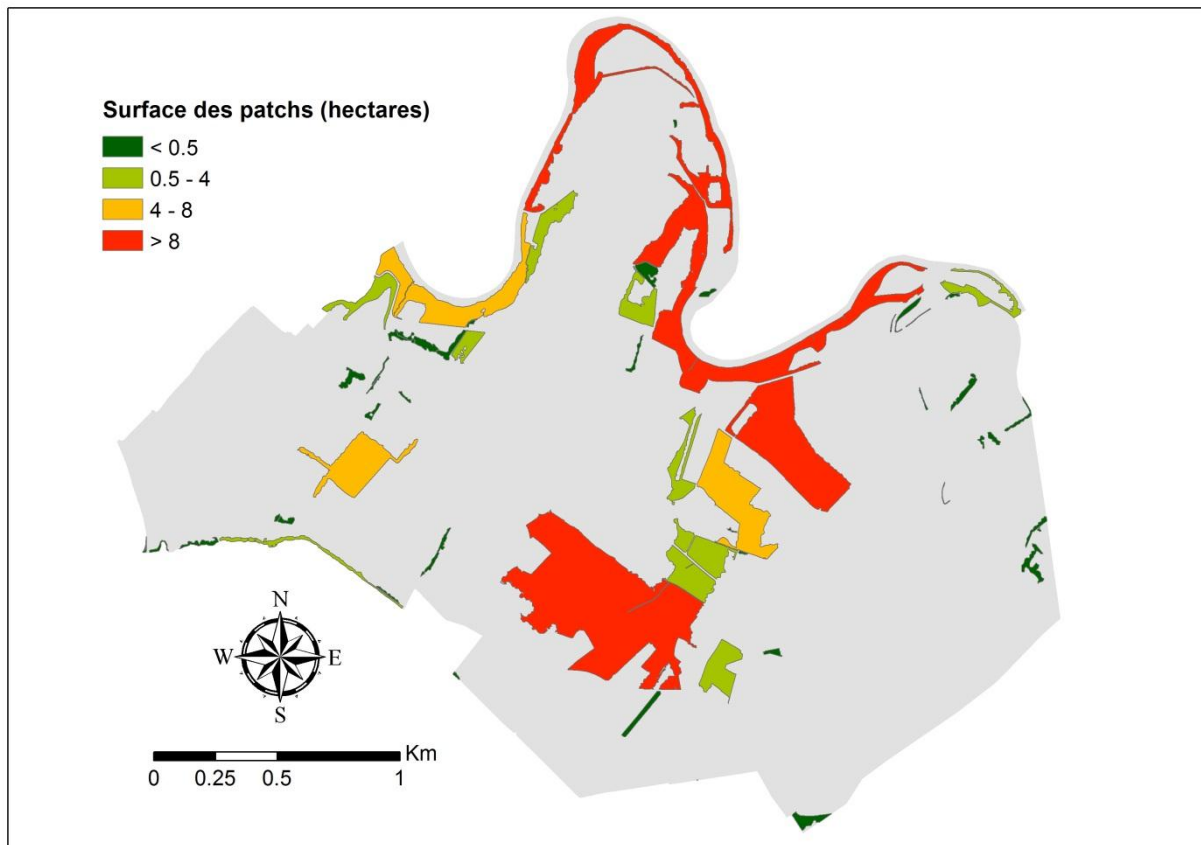


Figure 32 : Surface des patches forêts analysés avec Conefor.

Les figures suivantes ont été créées avec un seuil à 500m pour l'indice IIC et une probabilité de connexion de 50% pour une distance de 200 mètres pour le calcul de l'indice PC. La comparaison des indices IIC (Figure 34) et PC (Figure 33) sont flagrantes car certains patches sont bien plus importants avec la méthode probabiliste que par les distances linéaires.

Les cartes montrant les trois fractions de l'indice PC (*intra*, *flux* et *connect*) permet de comprendre un peu mieux comment fonctionnent ces fractions.

Pour la fraction *intra* (Figure 35), les patches les plus grands sont évidemment ceux qui fournissent le plus grand habitat.

La fraction *flux* (Figure 36), la moins intuitive à interpréter, montre plutôt quels patches sont importants quant à la « quantité » de qualité (de surface dans ce cas) passant par le patch et étant liée au reste du réseau.

La fraction *connect* (Figure 37) est par contre relativement évidente puisqu'elle montre l'importance de chaque patch quant à la connectivité globale mais d'un point de vue purement fonctionnel. En effet, cet indice donne l'importance du patch en tant que « stepping stone » et c'est donc plus la géométrie que la qualité intrinsèque du patch qui influence cet indice. Il n'est pas très surprenant de voir que les patches les plus « tentaculaires » ont le plus d'importance pour cette fraction.

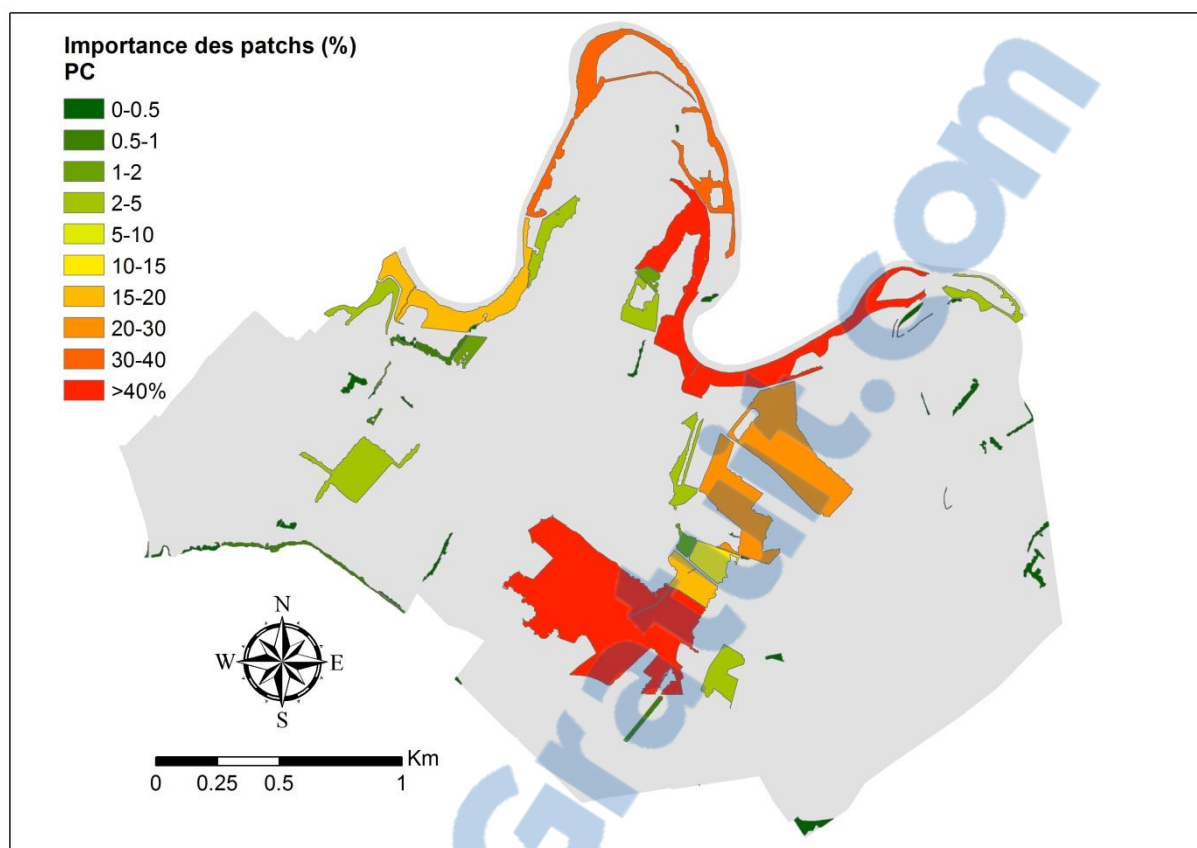


Figure 33 : Importance des patches, indice PC global

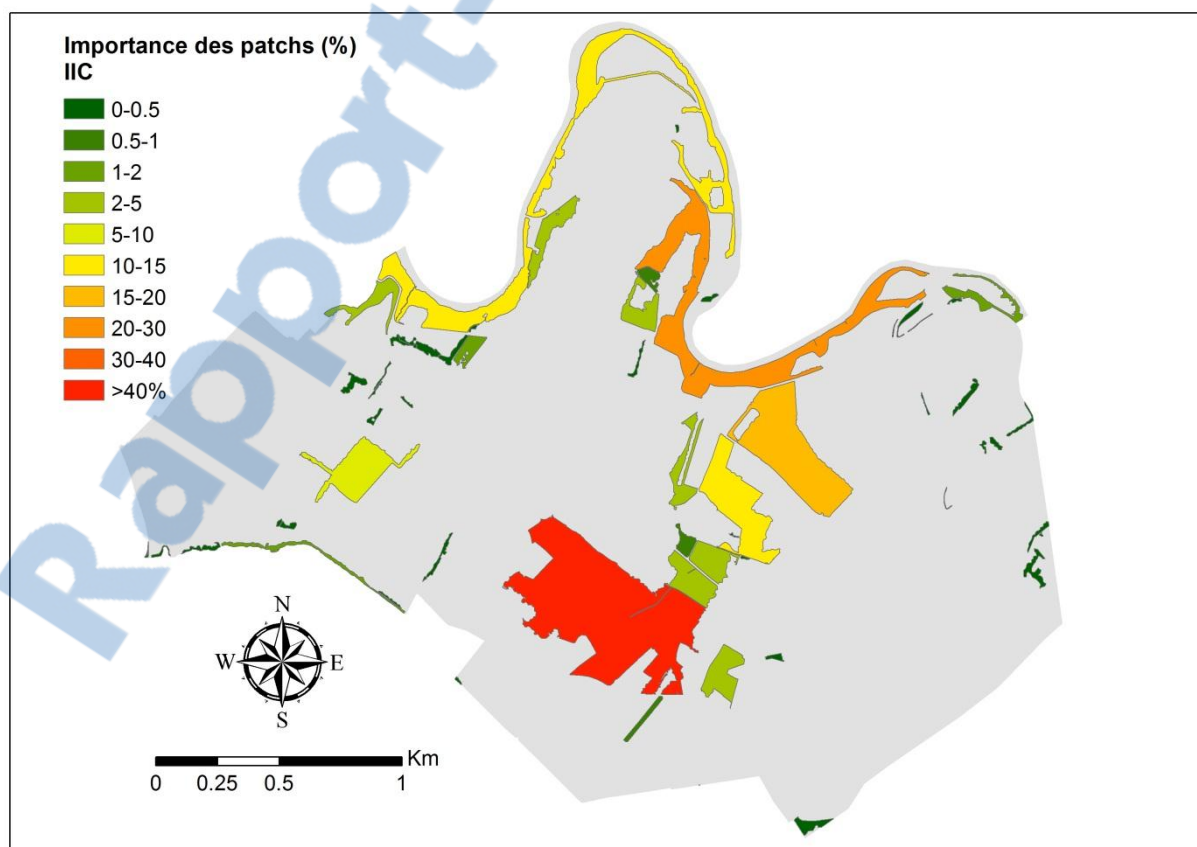


Figure 34 : Importance des patches, indice IIC global

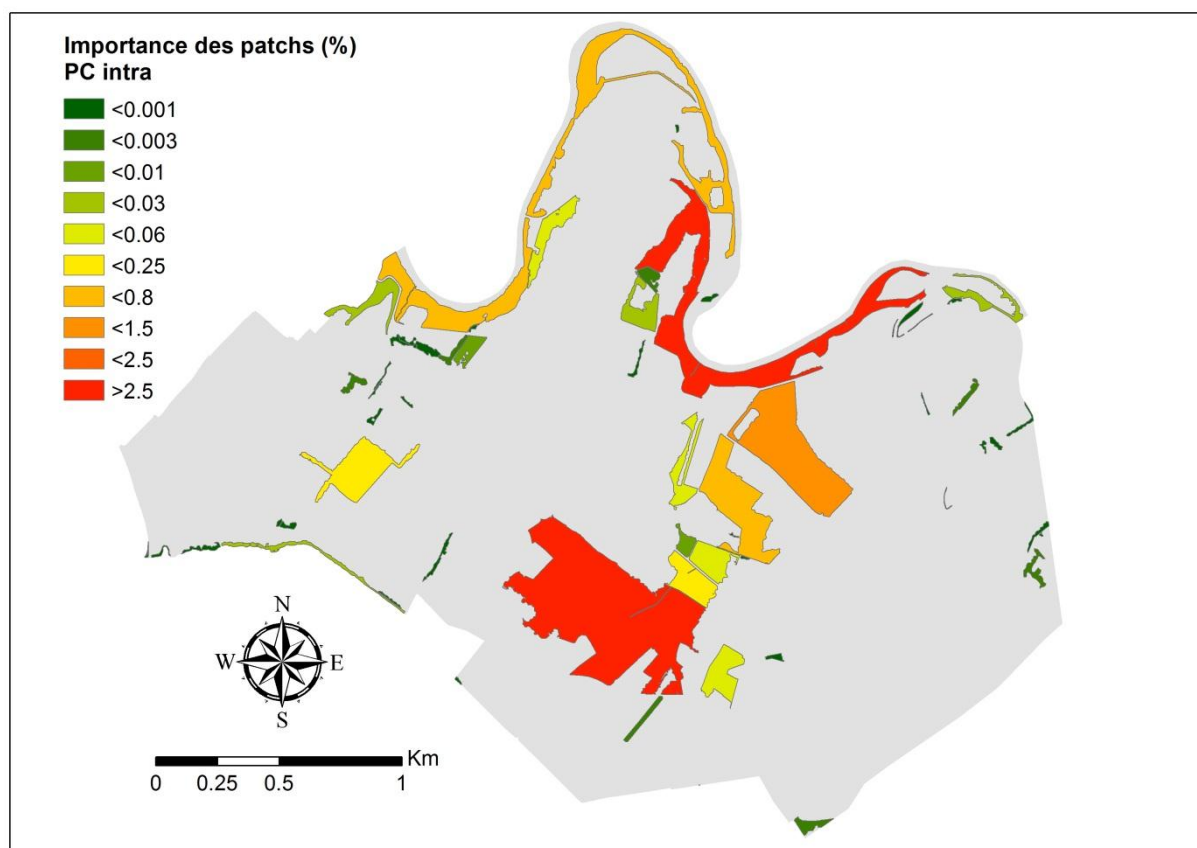


Figure 35 : Importance des patches, indice PC – fraction intra

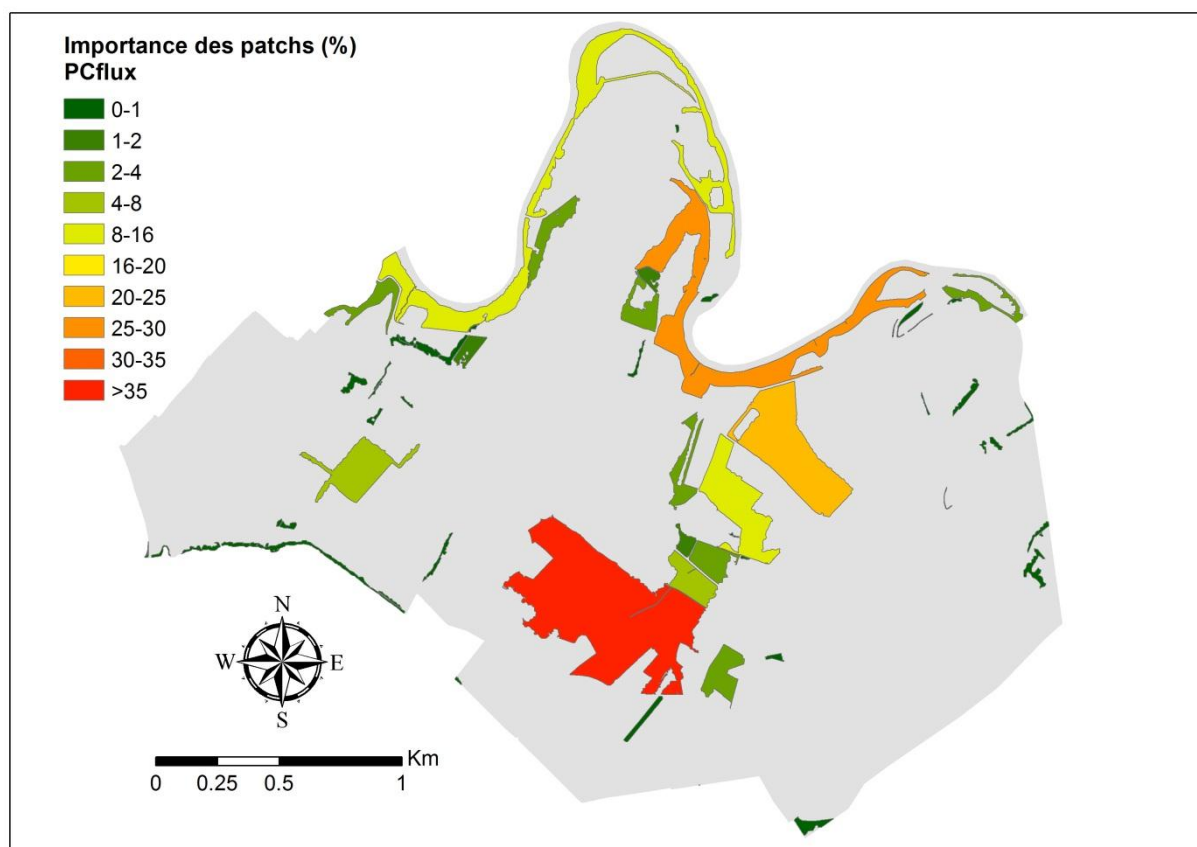


Figure 36 : Importance des patches, indice PC – fraction flux

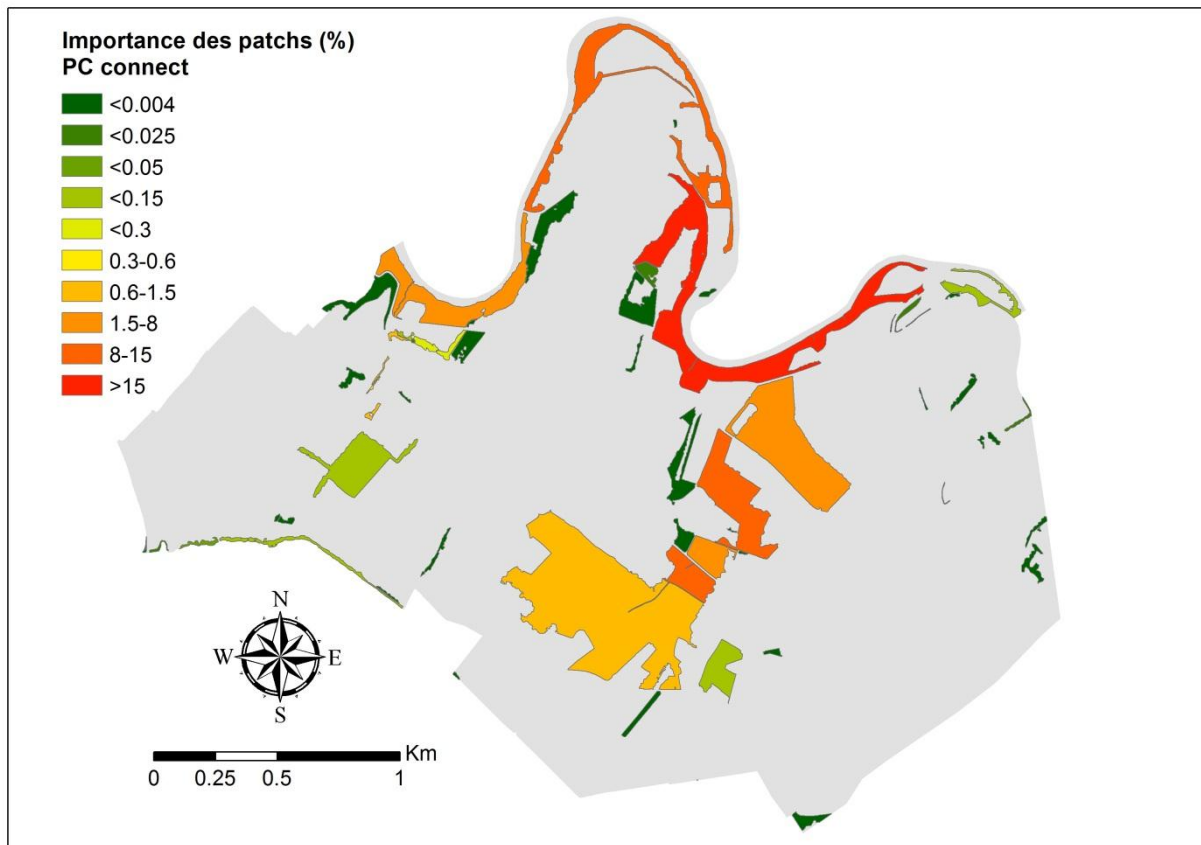


Figure 37 : Importance des patches, indice PC – fraction connect

L'indice IIC a également été calculé pour les forêts de tout le canton de Genève (Figure 38). Le temps de préparation est important. En effet, l'extension pour ArcMap de préparation des fichiers Conefor a eu besoin de 1 heure 36 minutes pour préparer les deux fichiers pour les 4'342 objets des forêts du canton et les 153'390 liaisons avec un seuil de distance de 1'000 mètres de chaque polygone. L'analyse Conefor, quant à elle, uniquement pour l'indice IIC avec un seuil à 500 mètres, a eu besoin de 7 heures 45 minutes. Pour cette analyse, l'attribut de qualité des polygones était la surface. Les polygones faisant le plus baisser la connectivité globale sont donc principalement les polygones ayant une grande surface et/ou étant très longs et digités.

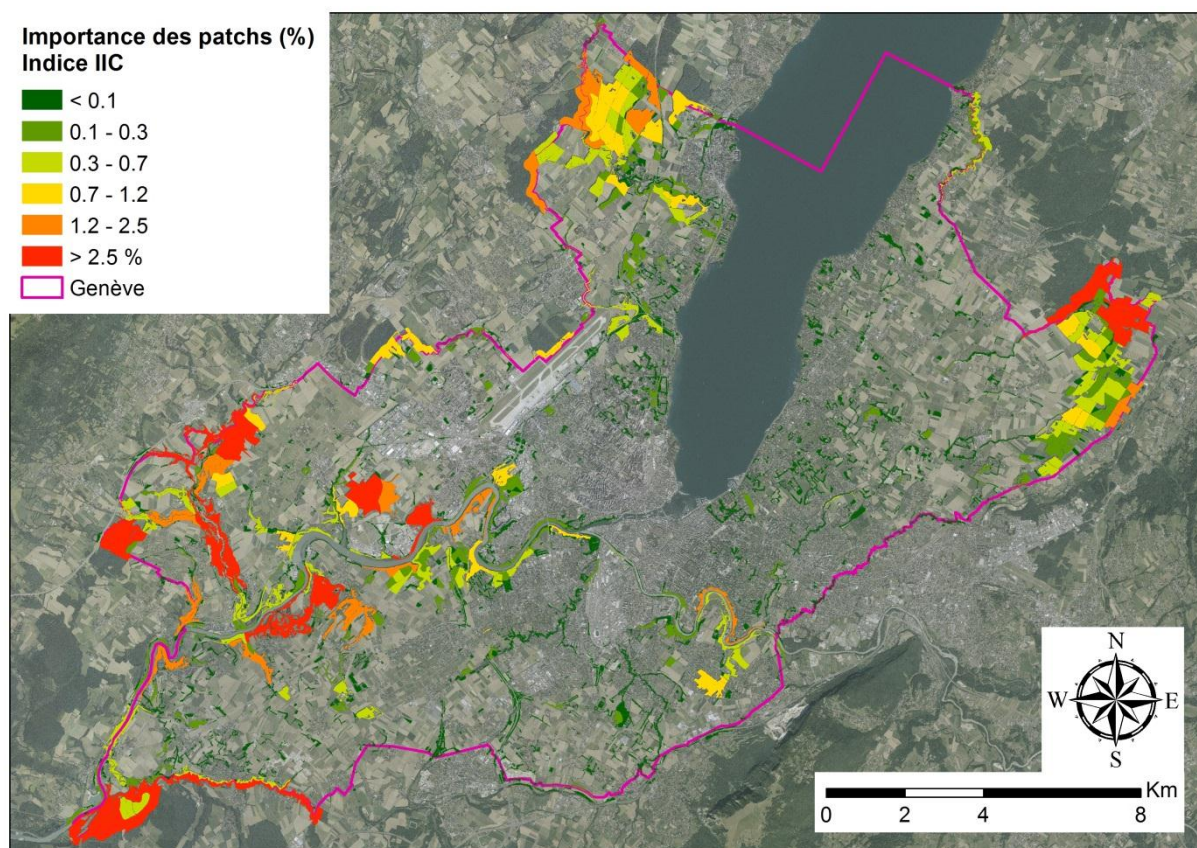


Figure 38 : Importance des polygones forêt, indice IIC global.

2.5. Combinaison de *Fragstats* et *Conefor*

Conefor étudie l'importance de chaque patch pour la connectivité globale du paysage. Pour juger de l'importance de chaque patch, un attribut de qualité doit être renseigné. Pour essayer d'utiliser les indices de *Fragstats* avec *Conefor*, toute une procédure sur *ArcMap* est nécessaire.

Un indice de qualité a ainsi été calculé de la façon suivante :

Pour chaque patch, les indices *Fragstats Core Area Index* (CAI) et *Patch Area* (PA) ont été calculés. Ensuite, des pondérations de 0 à 4 ont été attribuées pour chacun des deux indices selon les correspondances du Tableau 6 puis additionnées pour une qualité de patch allant de 1 à 8.

Tableau 6 : Pondérations pour l'indice de qualité des patches.

Pondération	CAI	PA (hectares)
0	0	
1	0 – 0.1	< 0.5
2	0.1 – 0.25	0.5 – 4
3	0.25 – 0.5	4 – 8
4	>0.5	> 8

Pour les patches de grande surface, le CAI dépend principalement de la forme du patch. De plus, tous les patches trop petits pour avoir un *Core Area*, à cause du *Edge depth*, se voient attribuer la valeur 0. C'est pour cela qu'une valeur a également été donnée pour la taille du patch, considérant ainsi

l'apport en surface d'habitat que procure chaque patch pour le territoire et pas seulement sa géométrie. Ces deux attributs sont donc complémentaires.

Les pondérations sont bien entendu un peu arbitraires mais inspirées de la méthodologie du projet Diacofor (Avon et Bergès, 2012-2014) et pourraient être attribuées différemment afin de mieux représenter la qualité de chaque patch. Cette étape fait partie des processus experts nécessaires à l'élaboration d'un modèle pertinent (voir chapitre 3, Conclusions).

Les indices ont été calculés avec deux matrices de *Edge depth* différentes. Un Edge depth fixe de 30 mètres et la matrice ci-dessous (Figure 39). Le résultat de la qualité des patches est visible Figure 40 et Figure 41.

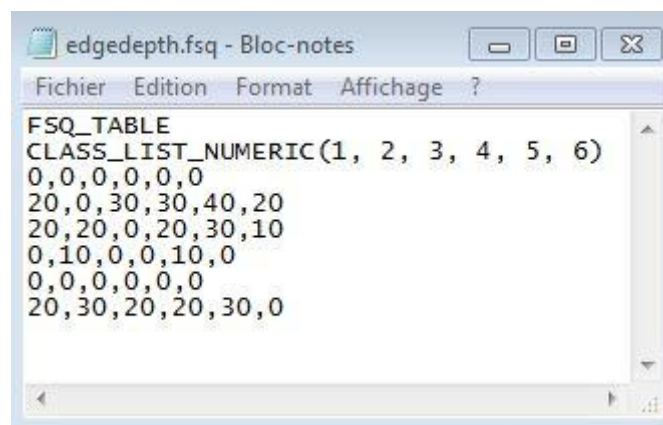


Figure 39 : Matrice Edge depth pour Fragstats.

Les résultats ont ensuite été traités dans *Excel* pour former une table utilisable dans *ArcMap* contenant les numéros identifiants les patches du fichier formé par *Fragstats* (Figure 8).

Afin de pouvoir lier la qualité des patches avec la couche des milieux naturels, les traitements suivants ont été nécessaires dans *ArcMap*. Le raster des patches venant de *Fragstats* était décalé d'un pixel vers l'ouest. L'outil *Shift* (*Data Management Tools – Projections and Transformations - Raster*) permet de faire une translation afin de recalculer le raster sur les couches d'origines (Figure 5).

Ensuite, le raster des patches a été vectorisé grâce à l'outil *Raster to Polygon* (*Conversion Tools – from Raster*) en suivant le contour « en escalier » du raster. La valeur des pixels (en fait le numéro de patch) servant de regroupement pour former les polygones.

Certains patches sont alors séparés en plusieurs polygones car deux pixels se touchant coin à coin étaient considérés comme voisins dans *Fragstats* (voir options de *Fragstats*). L'outil *Dissolve* sur le numéro de patch permet de n'avoir plus qu'un polygone multipart dans ces cas.

La table de qualité des patches a alors été importée pour être jointe (*Join* par le numéro de patch) avec la nouvelle couche de polygones.

Le but est toujours d'utiliser la couche des milieux naturels (MNCS) telle que présentée au début de ce rapport. Pourtant, à cause de la rasterisation nécessaire à *Fragstats*, ces deux couches ne sont plus exactement superposées. Un certain nombre de polygones ont été perdus ou déformés lors des traitements successifs.

Afin de transmettre la valeur qualité aux polygones MNCS, l'outil *Feature to Point (Data Management Tools - Features)* est utilisé. Il permet de générer un point par polygone de la couche qualité. L'option « inside » permet de forcer le point à se trouver alors à l'intérieur du polygone associé. De plus, les points gardent la même table attributaire que la couche « qualité ».

Ceci permet, avec l'outil *Spatial Join (Analysis Tools - Overlay)*, de lier les points (et donc la valeur de qualité associée à chaque polygone) avec les polygones de la couche MNCS. Les quelques polygones MNCS n'ayant pas « reçu » de point, car trop petits et ayant disparus à la rasterisation, se sont vus attribuer la qualité minimale (=1) avec *Field Calculator*.

La couche MNCS est dès lors prête à être utilisée avec *Conefor*.



Figure 40 : Qualité des patches de la commune de Veyrier avec un Edge depth fixe de 30 mètres.

Lorsque le Edge depth est fixé à 30 mètres pour tous les patches, il y a moins de patches avec une haute qualité (Figure 40). Cela vient du fait que la matrice aménagée « dégrade » moins certaines classes comme l'eau, les surfaces dures et la végétation urbaine. Ainsi, les patches de ces classes possèdent souvent un Core Area Index plus important et ont donc un indice de qualité supérieur.

Les démarches pour analyser la connectivité avec Conefor avec l'attribut de qualité du Edge depth fixe à 30 mètres ont ensuite été lancées sur la classe forêt de Veyrier. La Figure 42 montre l'importance de ces patches.



Figure 41 : Qualité des patches de la commune de Veyrier avec un Edge depth suivant la matrice aménagée.

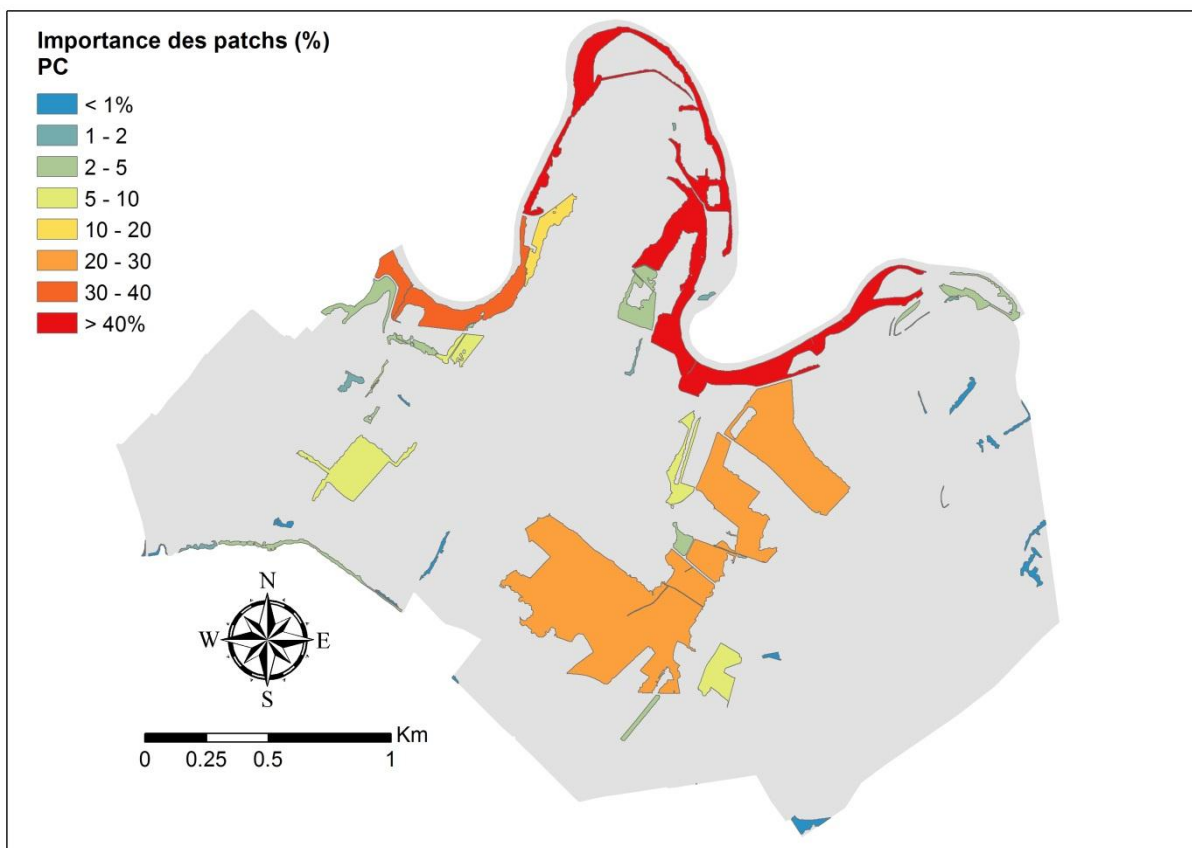


Figure 42 : Importance des patches. Indice PC. Attribut de qualité calculé avec Fragstats.

2.6. Guidos toolbox

Guidos Toolbox (Graphical User Interface for the Description of image Objects and their Shapes) est un groupe d'outils descriptifs de rasters. L'outil MSPA (Morphological Spatial Pattern Analysis), permet de décrire la géométrie et la connectivité des composants d'une image ou d'un paysage. Cet outil permet une description de la structure du paysage avec un résultat visuel intéressant basé sur le principe du « Core Area ». Le résultat est une carte d'un seul sous-réseau où chaque pixel se voit attribuer une valeur correspondant à une des 7 catégories définies par le programme (Figure 43).

- Core : Noyau, zone d'intérêt restante après avoir enlevé la bordure.
- Edge : Bordure externe des objets Core
- Perforation : Bordure interne des objets Core
- Islet : Ilot isolé et trop petit pour avoir du Core Area
- Bridge : Pont entre deux zones Core différentes
- Loop : Boucle reliant deux zones de la même zone Core
- Branch : Branche connectée d'un seul côté à un Core, Perforation, Bridge ou Loop

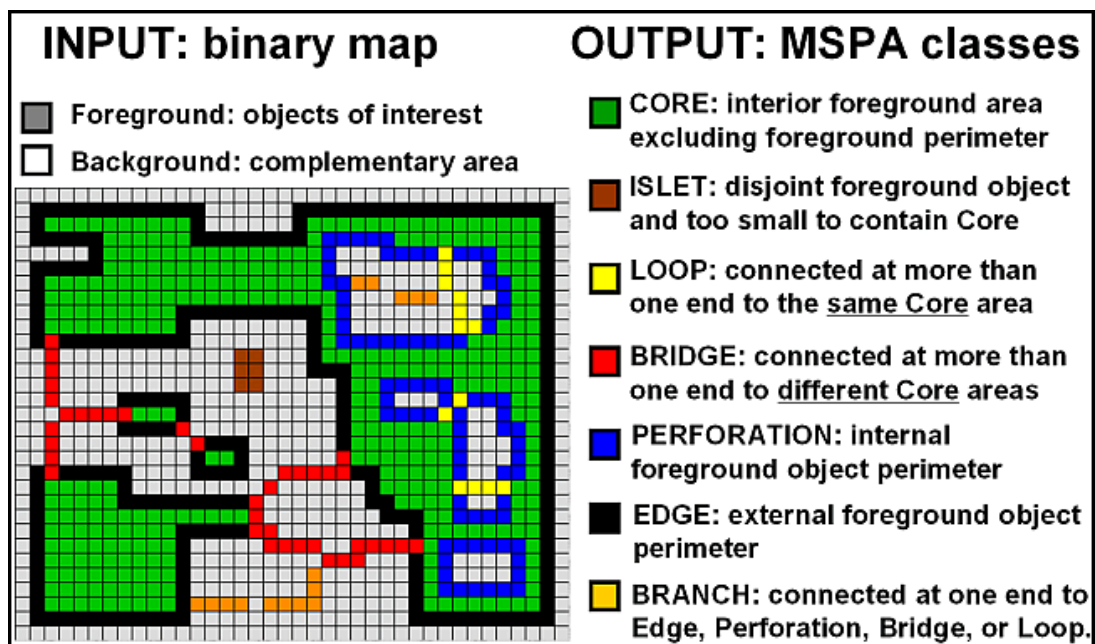


Figure 43 : Représentation des diverses catégories de la Guidos Toolbox.

Les composants principaux de MSPA sont :

- Détecter les structures connectées
- Détection des « trous » dans les zones principales
- Détection des « Core Area »
- Détection des connecteurs entre Cores

2.6.1. Préparation des données

L'outil MSPA nécessite de transformer la carte des milieux en un Raster 8 bytes en format GeoTiff avec les considérations suivantes :

Tableau 7 : Valeurs des pixels pour l'importation dans *Guidos Toolbox*.

Valeur du pixel	Signification
0	No data
1	Hors de la zone étudiée
2	Zone étudiée (correspondant à un sous-réseau défini précédemment)

La carte pour tester le programme est le raster à 5 mètres de la commune de Veyrier (Figure 5).

L'outil *Con* de *ArcMap* (*Spatial Analyst Tools - Conditional*) est utilisé pour transformer la carte au format désiré. Par exemple, pour faire un traitement sur la catégorie « Forêts » (code = 2), on donne la valeur 2 à tous les pixels de la classe forêt et la valeur 1 aux autres classes.

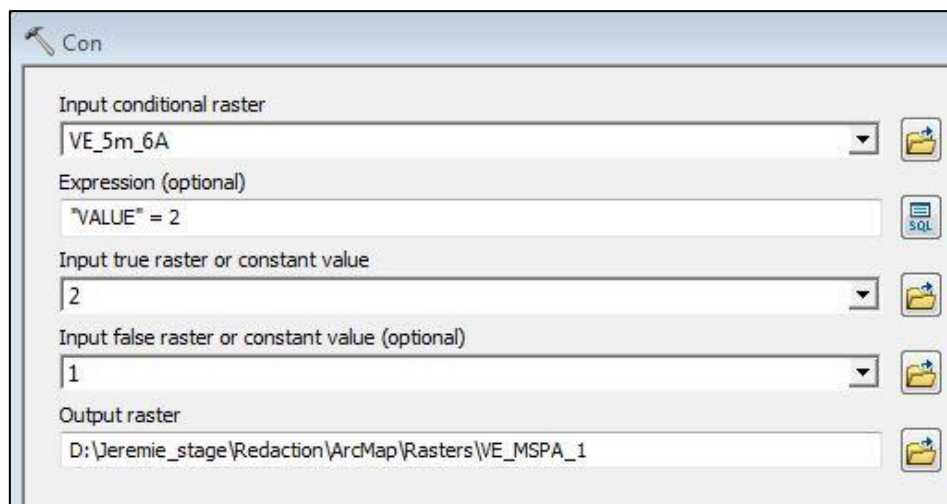


Figure 44 : Outil *Con* de *ArcMap*. Configuration pour la préparation du raster à la *Guidos Toolbox*.

Il faut encore l'exporter en TIFF avec *No Data* = 0 pour pouvoir l'utiliser dans la *Guidos Toolbox*.

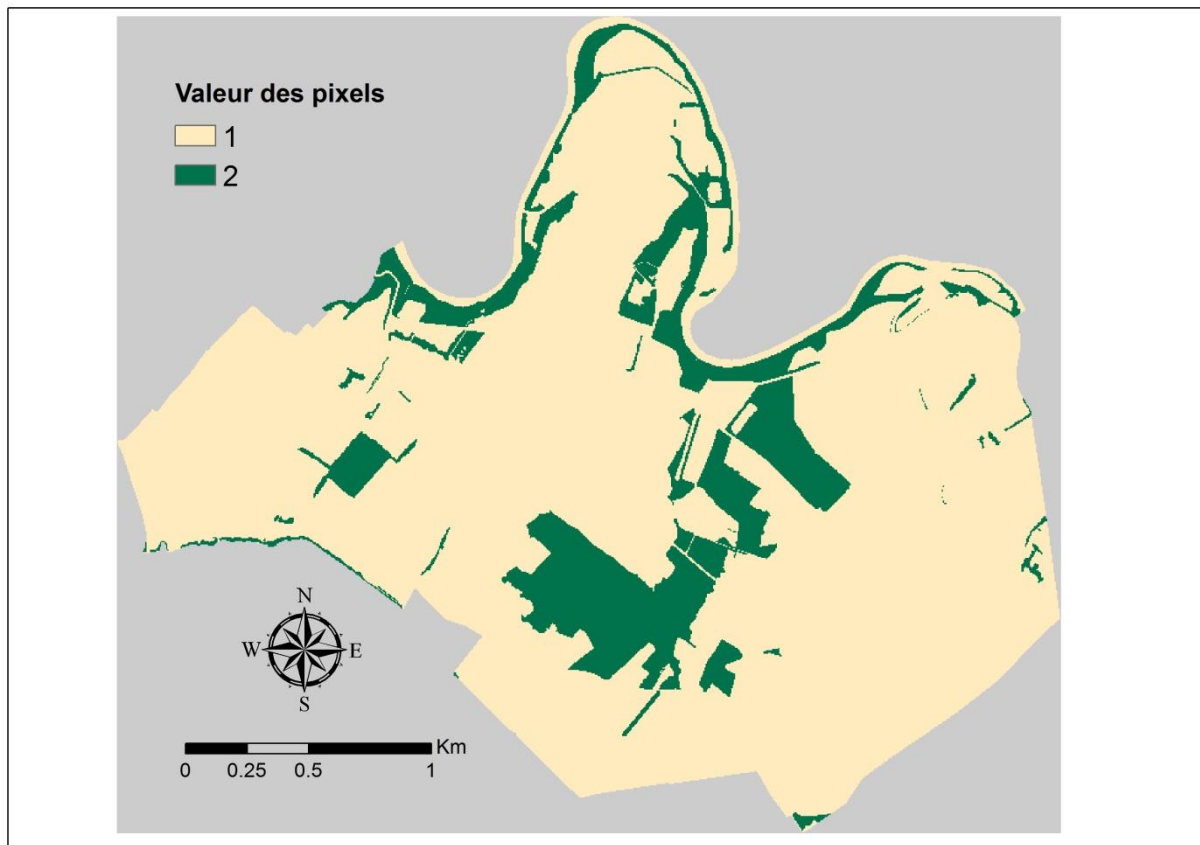


Figure 45 : En vert, pixels de la classe forêt de la commune de Veyrier.

2.6.2. Réglages et options

Il y a 4 options à régler avant de lancer l'analyse.

FGConn : définit le voisinage d'un pixel par 8 (si coché) ou par 4 pixels (voir Figure 7).

Edge Width : définit la bordure autour des « Core Area » en nombre de pixels. Dépend donc de l'échelle de rasterisation et peut aller de 1 à 10 (donc de 5 à 50 mètres pour la carte test).

Transition : On (si coché) connecte les Core Area entre elles. Off, connecte les bordures entre elles (Figure 46). La différence est plus visuelle que conceptuelle. Il faut décider si les bordures (en noir) sont visuellement plus importantes que, par exemple, les ponts (en rouge).

Intext : On (si coché), donne un code différent, par exemple pour deux bordures, selon qu'elles se trouvent sur le bord extérieur d'une « Core Area » ou sur le bord d'une perforation. Si l'option est sur Off, alors le même code est gardé pour chaque type de catégorie, qu'il soit « externe » ou « interne ». La Figure 47, colonne de droite, montre les codes que peuvent prendre les pixels. Par exemple, si *Intext* est cochée, un pixel Edge aura une valeur de 103 en bord interne et 3 en externe. Si *Intext* est désactivée, un pixel Edge prendra uniquement la valeur 3.

La configuration testée est présentée à la Figure 48.

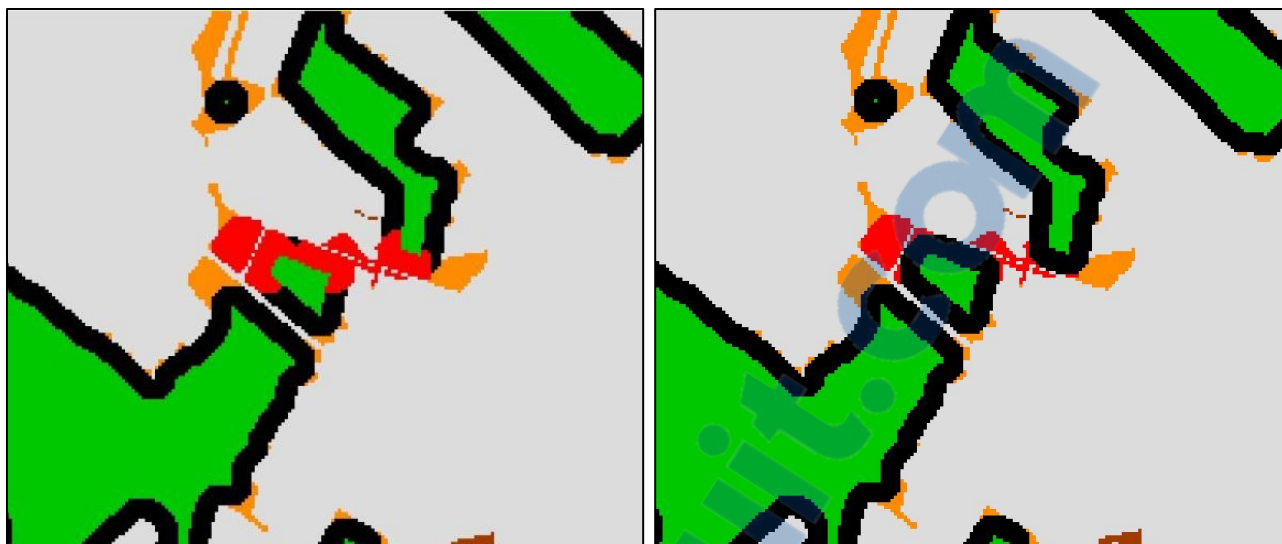


Figure 46 : Option transition : Activée (On) à gauche et Off à droite

Class	Color	RGB	Value [byte] internal/external
1) Core		000/200/000	117 / 17
2) Islet		160/060/000	109 / 9
3) Perforation		000/000/255	105 / 5
4) Edge		000/000/000	103 / 3
5a) Loop		255/255/000	165 / 65
5b) Loop in Edge		255/255/000	167 / 67
5c) Loop in Perforation		255/255/000	169 / 69
6a) Bridge		255/000/000	133 / 33
6b) Bridge in Edge		255/000/000	135 / 35
6c) Bridge in Perforation		255/000/000	137 / 37
7) Branch		255/140/000	101 / 1
Background		220/220/220	100 / 0
Missing		255/255/255	129 / 129

Resulting MSPA class names, color codes, and byte values of a given foreground pixel.

Figure 47 : Codes des différentes catégories de l'analyse MSPA

MSPA SETTINGS

FGConn [8/4] ☒	EdgeWidth [pixels] 6	Transition [On/Off] ☒	Intext [On/Off] ☐
--	----------------------------	---	--

Figure 48 : Réglages MSPA

2.6.3. Fichiers de sortie

Les cartes obtenues, en format TIF, sont directement visualisables dans *ArcMap*. La Figure 49 montre le résultat pour les forêts de la commune de Veyrier. Les zones vertes sont des *Core Area* tandis que les zones rouges sont des forêts connectant des zones « Core » mais trop étroites pour en faire elles-même partie.

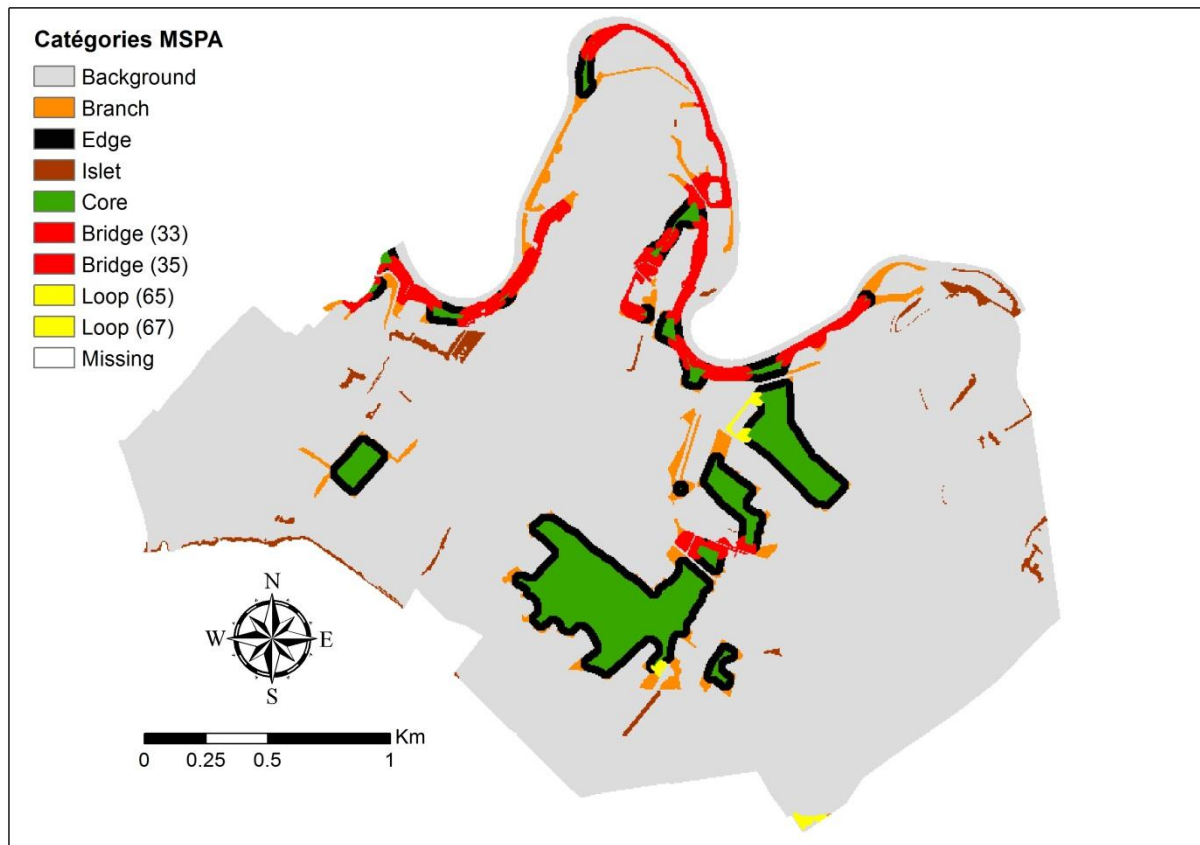


Figure 49 : Carte des forêts de Veyrier après classement de l'outil MSPA.

En effectuant la même démarche avec d'autres sous-réseaux, on peut ensuite tenter de superposer les différentes cartes obtenues (pour l'exemple, raster A et B). Pour cela, on peut facilement utiliser l'outil *Con* sur le raster A avec Value = 0 (pour sélectionner le Background, donc ce qui n'appartient pas à cette classe) ; Valeur si vrai = raster B ; Valeur si faux=raster A.

Cette opération donne une combinaison des deux rasters. Cette démarche est possible car les deux rasters sont basés sur des sous-réseaux sans chevauchement. En fusionnant les deux rasters, on obtient une unique couche utilisable pour produire des statistiques particulières. On peut éventuellement utiliser l'outil *Con* si on veut transformer une catégorie en *Background* ou en fusionner deux de signification proche.

Enfin, pour obtenir une table liée avec chaque Girec, on fait un *Raster to Polygon* puis un *Union* (*Analysis Tools - Overlay*) avec la couche des Girec (ou des communes ou de toute autre subdivision désirée). Ceci permet de faire ensuite des statistiques sur la zone souhaitée. Par exemple, si les rasters des classes forêts et milieux ouverts sont ajoutés l'un à l'autre, (Figure 50), quelle surface de chaque Girec est composée de *Core Area*. Quelques statistiques descriptives possibles sont

présentées (Figure 51 et Figure 52). On veut savoir quelle est la composition de chaque Girec pour les catégories de MSPA (exception faite des 0-Background, 129-Missing et 3-Bordure).

L'outil MSPA a également été utilisé sur tout le canton pour les forêts, les milieux ouverts et les cultures. Les trois cartes MSPA ont été superposées (Figure 53) afin de faire ressortir visuellement les zones à forte connectivité pour ces trois sous-réseaux.

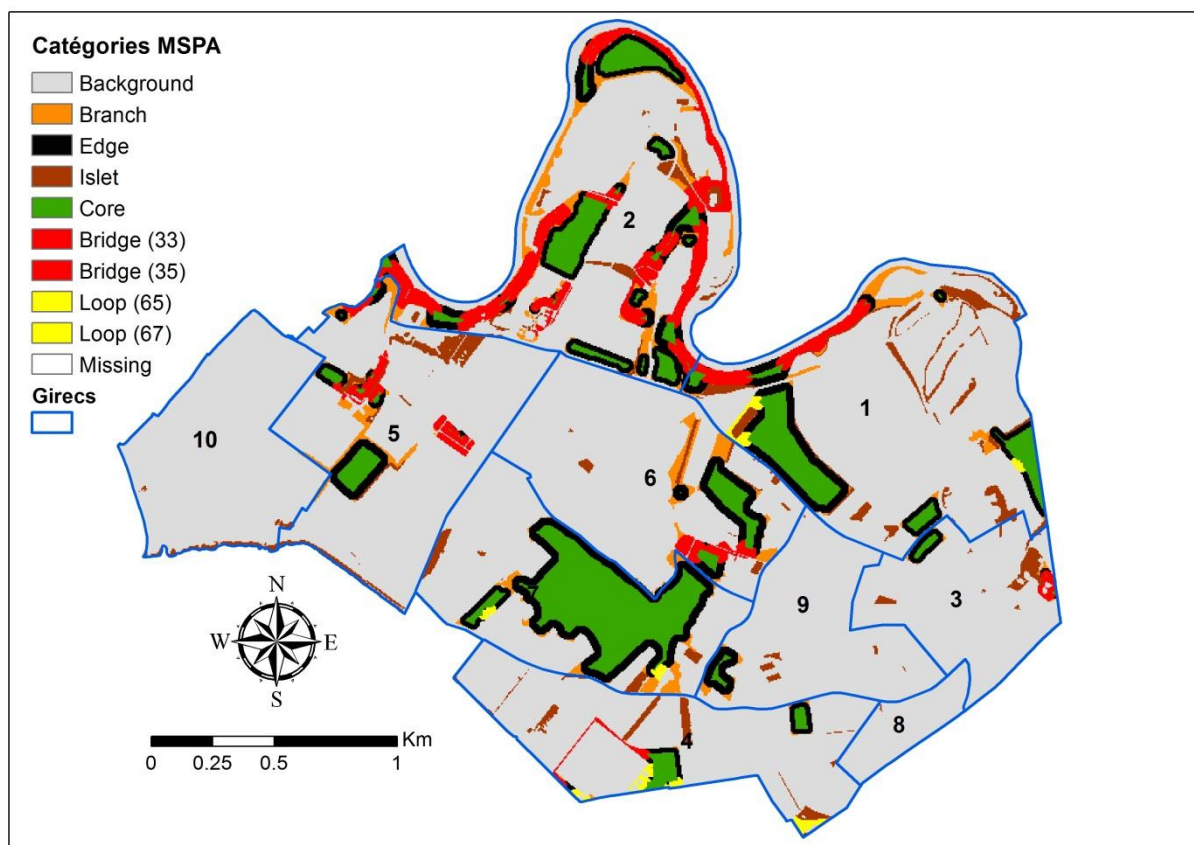


Figure 50 : Combinaison des cartes de forêts et des milieux ouverts de la commune de Veyrier. Codes Girecs ; 1:Sierne-Petit-Veyrier, 2:Vessy-Grande-Fin, 3:Veyrier-village, 4:Veyrier-Marais, 5:Pinchat-La Tour, 6:Grand-Donzel, 7:Bois-de-Veyrier, 8:Tournettes, 9:Rasses, 10:Pinchat-Sur-Rang.



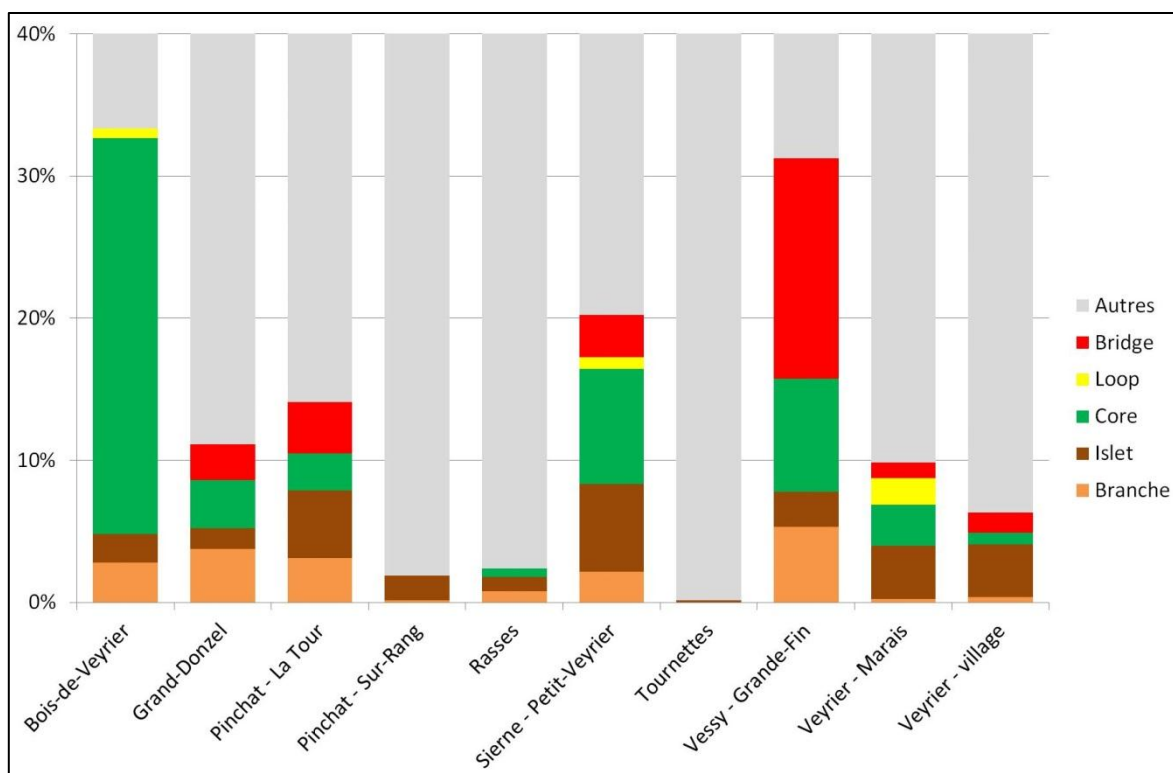


Figure 51 : Proportion de la surface des Girecs entrant dans les catégories MSPA

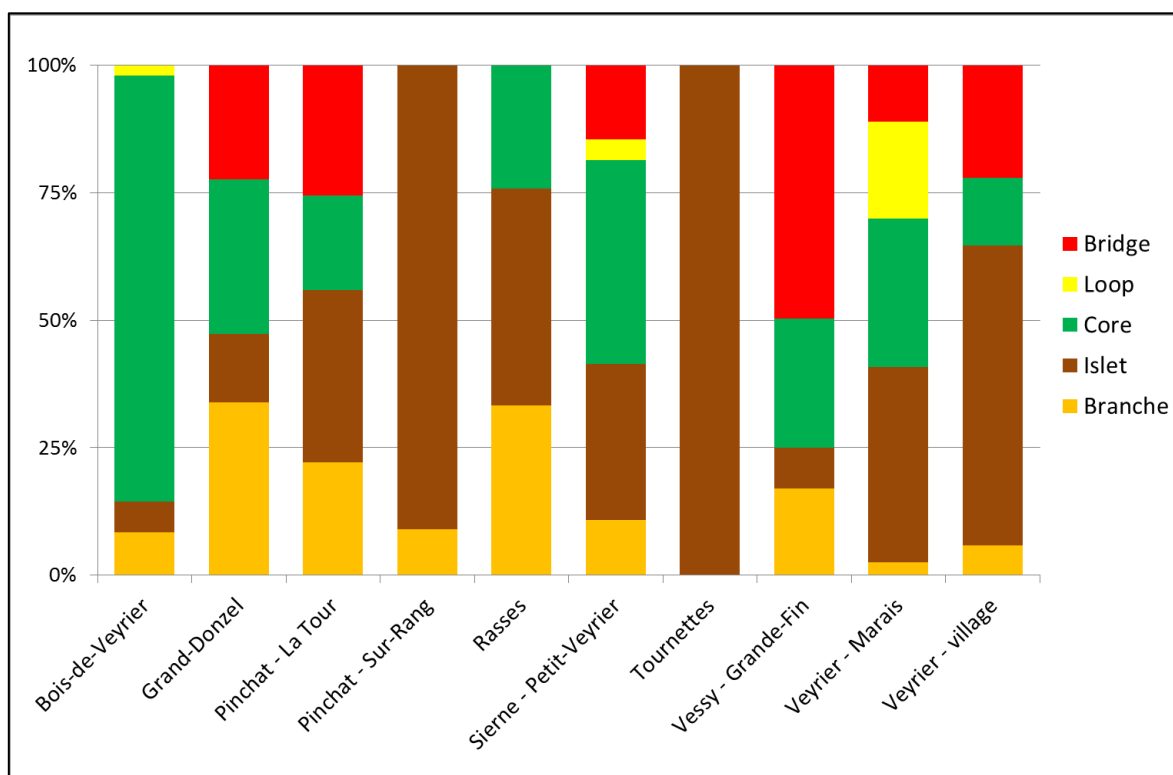


Figure 52 : Composition des catégories MSPA d'intérêt normalisée sur 100%.

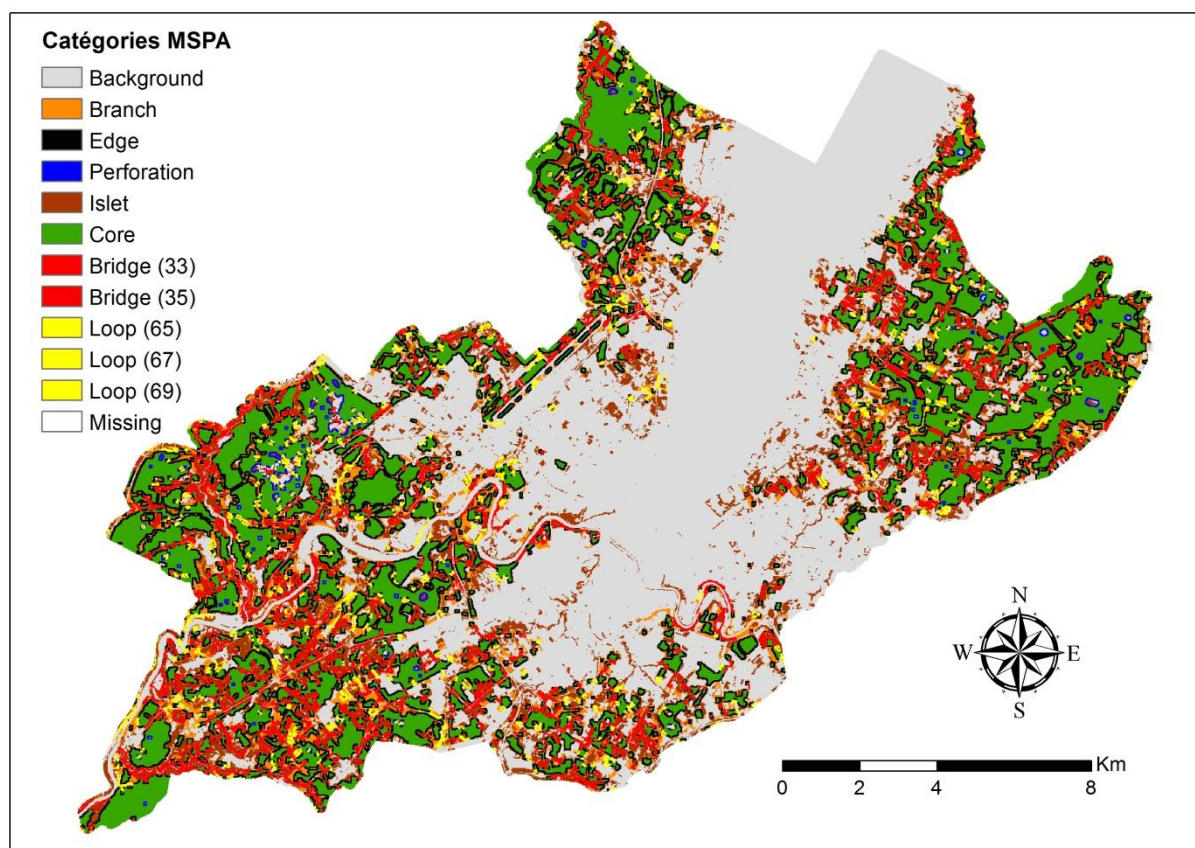


Figure 53 : Carte MSPA de Genève sur les forêts, milieux ouverts et cultures. Raster à 20m.

3. Conclusions

D'une manière générale, la combinaison des programmes *Fragstats*, *Conefor* et *Guidos Toolbox* fournit un grand nombre d'outils adaptés à l'analyse de la fragmentation et de la connectivité d'un territoire.

La limite principale de l'utilisation de ces outils se trouve principalement dans la catégorisation des milieux naturels en sous-réseaux. En effet, selon que l'on considère que tel milieu appartient à un sous-réseau, la structure entière du paysage peut être modifiée d'un point de vue fragmentation / connectivité. Une réflexion sur les buts recherchés par un projet est absolument nécessaire pour obtenir des résultats les plus fidèles possible à la réalité du terrain. Un des critères principaux à prendre en compte est les espèces/genres ou groupements/associations écologiques visés par l'analyse des milieux. Les caractères fondamentaux et la dynamique d'une population ne sont pas les mêmes selon que l'on s'intéresse à la flore dans son entier, des grands arbres à feuilles caduques ou des groupes de poacées par exemple. De même, les déplacements d'oiseaux, de grands mammifères ou de batraciens sont très différents et nécessitent une approche adaptée à chaque organisme étudié.

Le même raisonnement s'applique à la définition des « Core area ». En effet, la matrice des valeurs *Edge depth* de *Fragstats* influence évidemment fortement le comportement des différents patches les uns vis-à-vis des autres. Il en va de même pour les probabilités de connexion des patches pour les analyses avec *Conefor*. Pour mieux prendre en compte la réalité du terrain, une définition pertinente des freins qu'imposent certains milieux à la connectivité d'autres sous-réseaux est nécessaire. Ainsi, le programme pourra mieux évaluer les situations où la ligne droite n'est pas le chemin le moins coûteux, mais que deux patches sont connectés plus efficacement en contournant un obstacle.

Enfin, le choix d'une valeur de qualité à appliquer comme attribut pour *Conefor* semble également devoir être soumis à une démarche experte. Mais là encore, le but particulier d'une étude influence d'une manière fondamentale le choix de cet attribut. Dans le cas de l'analyse de la connectivité des milieux naturels dans leur ensemble, le choix d'un attribut simple sera certainement plus raisonnable pour deux raisons. D'abord, un attribut de qualité simple sera plus souvent commun à un grand nombre de milieux donc sans être trop spécifique et ne se basant sur des caractéristiques pertinentes que pour un certain nombre de milieux. Ensuite, un attribut simple pourra être interprété d'une manière plus globale et traduit plus facilement dans le cadre de décisions quant à des zones à protéger ou dans une démarche de communication.

Ces outils peuvent donc être engagés comme moyen d'analyse de la structure et de la connectivité du paysage au niveau de la gestion du territoire. Pour les organismes s'occupant de la gestion du territoire, comme la DGNP ou le SITG, ces outils permettent de dégager des tendances et de mettre le doigt sur d'éventuelles zones à protéger prioritairement dans le but de conserver une connectivité globale satisfaisante. Il s'agit donc d'outils utiles au suivi d'aspects particuliers de la qualité du territoire. Les communes pourraient également y trouver un intérêt à leur échelle. En effet, les processus experts (chapitre 3.4) influencent les analyses mais peuvent être adaptés aux besoins et aux situations spécifiques à chaque commune dans la gestion de leur territoire.

3.1. Limites et perspectives pour *Fragstats*

Fragstats propose un grand nombre d'indicateurs utiles mais dont l'interprétation n'est pas toujours évidente. Cependant, certains permettent d'atteindre les objectifs de répétabilité et de comparaison permettant d'en faire une utilisation rationnelle et pratique. Les différentes manières de calculer les indices (*moving window*, subdivisions, niveau *Class* ou *Landscape*) de *Fragstats* permettent d'adapter le programme à tout projet. Le nombre des indicateurs disponibles est également un atout à condition d'évaluer les tenants et les aboutissants de chaque indice choisi.

Fragstats est donc particulièrement flexible et permet d'appréhender des objectifs sous différents points de vue. A mon sens, les principales limites de *Fragstats* sont l'obligation de travailler en raster et sa complexité.

En effet, en travaillant à partir de la carte vectorielle des milieux naturels, toute rastérisation fait perdre de la précision et rend un retour des valeurs calculées à la carte des milieux naturels un peu compliquée.

La complexité des indices de *Fragstats*, leur nombre et leur diversité peuvent rendre difficile un choix pertinent d'indicateur en fonction de la situation.

3.2. Limites et perspectives pour *Conefor*

Conefor apporte une réponse flagrante et compréhensible à la question de savoir quelle zone est importante pour la connectivité des espèces dans les réseaux de milieux naturels du canton. Les résultats sont visuellement très facilement appréhendés et ce programme permet donc de fournir des données concrètes pour d'éventuelles décisions quant à la conservation des milieux naturels.

Cependant, le choix de l'attribut de qualité est fondamental et devra être adapté à chaque étude ou projet. L'attribut surface donne une bonne idée de la surface habitable disponible pour une espèce, mais ne tient pas compte du voisinage de chaque patch du sous-réseau étudié. Un indice qualitatif sera donc une approche plus intéressante puisqu'il permet de prendre en compte des facteurs plus fins et judicieux.

Les trois fractions des indices de *Conefor*, prises séparément, peuvent fournir diverses informations sur la connectivité. La fraction *Intra* ne représente « que » la valeur intrinsèque de chaque patch, valeur qui est connue puisque indiquée par l'utilisateur.

Par contre, la fraction *Connector* indique clairement quel patch est important pour la structure de la connectivité. Sa force est d'indiquer les zones relais (*stepping stones*) importantes sans considération de la valeur intrinsèque du patch.

Enfin, la fraction Flux se situe un peu entre les deux autres puisqu'elle indique la « quantité de qualité » transitant par le patch en question, ce qui en fait la fraction la plus analytique et la moins descriptive des trois. Elle est donc plus représentative de la connectivité que les deux autres puisqu'elle ne met aucun aspect de la connectivité de côté comme le font les deux autres.

De plus, il faudrait également se pencher sur la création de fichiers de connexion basé sur des probabilités plutôt que sur des distances en ligne droite, ce qui semble plus en adéquation avec les réalités du terrain. Par exemple, une plante dont les graines sont dispersées par des rongeurs ne sera pas bien « connectée » avec un patch de l'autre côté d'une rivière même si il est plus proche qu'un patch situé de l'autre côté d'un champ. Ceci est d'autant plus important que des différences importantes sont constatées entre les méthodes probabilistes et linéaires. De plus, les méthodes de création de chemins de moindre coût peuvent incorporer la notion de barrières. On peut ainsi considérer qu'une route est un obstacle infranchissable pour certains animaux.

Conefor est à utiliser au moins au niveau de la commune. En utilisant les Girecs, par exemple, le territoire sera trop petit pour que la connectivité globale soit représentative des flux naturels. La surface d'un Girec est trop petite pour que se dégage des tendances comparables d'une zone à l'autre. Les indices sont calculés de manière très rapide au niveau de la commune. En effet, aucune analyse n'a pris plus de 5 secondes à être effectuée. Au niveau du canton, les différentes étapes du processus sont bien plus longues mais la vue globale qu'offre cette approche est particulièrement pertinente par rapport aux réalités de connexion des milieux naturels.

3.3. Limites et perspectives pour *Guidos Toolbox*

La *Guidos Toolbox*, apporte un moyen simple et relativement rapide de décrire la structure du territoire. Son aspect visuel clair et synthétique en fait un bon outil de communication, à l'instar de *Conefor*.

Un avantage du programme MSPA est qu'il peut préparer, à partir de la carte analysée, les fichiers nécessaires aux analyses dans *Conefor*. Cependant, il faut noter que seules deux catégories MSPA seront prises en compte dans ce processus. La catégorie « Core » sera associée aux nœuds (node) de *Conefor* tandis que les « Bridges » constitueront les liens (links) de *Conefor*. Pour plus de détails, voir la documentation de la *Guidos Toolbox*.

Ce programme, par son analyse de la composition du paysage, fournit une lecture de la fragmentation visuellement très forte et parlante. Il permet d'identifier très rapidement les zones d'intérêt à surveiller. Ces zones, principalement celles définies comme des « Bridge » connectant les zones de « Core » peuvent ensuite être étudiée d'une manière plus approfondie. Cependant, il reste uniquement descriptif et ne devrait pas être utilisé comme un outil d'analyse complexe mais plutôt comme une mise en lumière des zones à bon potentiel de connectivité.

Par exemple, on peut effectuer cette procédure sur tout le canton de Genève avec la carte des 6 catégories en visualisant les classes forêts, milieux ouverts et cultures simultanément (Figure 53). Ainsi, il est intéressant de remarquer que l'ouest de la rive gauche possède un grand nombre de zones de connexions des milieux naturels.

3.4. Recommandations

Rastérisation

Pour l'utilisation de ces trois programmes et l'analyse de la fragmentation et de la connectivité des milieux naturels de Genève, l'échelle idéale de travail se situe entre la commune et le canton. Pour l'étude d'une commune, la rastérisation pourra être assez fine tant que le regroupement des milieux naturels reste assez large. En effet, si tous les types de milieux sont conservés, il sera très difficile de dégager des tendances de connectivité. La résolution idéale pour la rastérisation, selon moi, est différente selon l'échelle de travail.

Niveau commune → 5 mètres

Niveau canton → 20 mètres

Cependant, si *Fragstats* est utilisé, je recommanderai même la rastérisation à 5 mètres pour le canton. Le travail de nettoyage de la carte des milieux naturels est certes plus important mais l'avantage est de pouvoir ensuite effectuer des statistiques par Girec sans perdre de précision. Pour des indices calculés au niveau *Landscape* sur tout le canton, la résolution à 20m sera bien suffisante.

Echelle de travail

Pour *Fragstats*, si l'option **moving window** est utilisée alors le traitement au niveau de la commune semble idéal mais si possible avec un buffer de la taille du rayon de la moving window pour éviter les pertes aux bordures. Sur tout le canton, le traitement est très lourd et long à réaliser et n'est donc pas recommandé. Pour les autres traitements, l'idéal est d'utiliser l'option « **User provided tiles** » avec les Girecs. Les calculs d'indices sont rapides et les Girecs sont des entités suffisamment petites pour dégager des tendances même au niveau d'une seule commune.

Pour *Guidos Toolbox*, une fois la rastérisation effectuée, le traitement de tout le canton ne pose pas de problème et ne prend que quelques secondes. A moins de n'être focalisé que sur une région particulière ou de travailler avec une rastérisation très fine, il est judicieux de traiter le canton en une seule fois, évitant certains effets de bord à la limite des communes par exemple.

Pour *Conefor*, le traitement sur tout le canton peut être intéressant mais tant la préparation des fichiers que l'analyse elle-même sur un très grand nombre de polygones nécessite beaucoup de temps (voir chapitre 2.4.3). Cependant, une fois le traitement fini, on a l'avantage de voir apparaître la connectivité pour tout le territoire genevois. Ainsi, si le temps de calcul n'est pas une limite, il est beaucoup plus réaliste d'effectuer les analyses de la connectivité sur la zone la plus extensive possible puis de visualiser les résultats de manière ciblée. En effet, il est préférable de limiter au maximum les effets de bordure.

Processus experts

La création d'un fichier de probabilités et non simplement de distances entre les polygones pour l'analyse avec *Conefor* devrait également être une démarche à approfondir. Elle pourrait mener à une situation bien plus proche de la réalité grâce aux notions de « **coûts** » de **déplacement** au travers des divers milieux et des éventuels obstacles ou barrières entravant ces déplacements.

L'**attribut de qualité** utilisé dans *Conefor* pourrait certainement être utilisé d'une manière plus optimale. En effet, la rasterisation nécessaire pour utiliser *Fragstats* fait perdre une partie, bien que limitée, des polygones de la carte des milieux naturels. Une première solution serait de trouver une succession de traitements *ArcMap* permettant une meilleure correspondance entre les patches analysés par *Fragstats* et les polygones de la couche des milieux naturels. Sinon, on peut imaginer calculer (par exemple avec *Field Calculator*) directement l'indice de qualité dans *ArcMap* avec les différents outils à disposition. Cette deuxième solution semble envisageable si l'indice de qualité est plutôt simple. Par exemple, le « Shape Index » calculé par *Fragstats* et réalisable dans *ArcMap* car il ne dépend que du périmètre (P) et de la surface (A) du patch ($\text{Shape_Index} = 0.25 \cdot P / \sqrt{A}$).

L'attribut de qualité élaboré ici (chapitre 2.5) montre bien que son choix influence beaucoup les résultats de *Conefor*. En effet, en comparant la Figure 33 (indice PC, attribut de qualité surface du patch) avec la Figure 42 (indice PC, attribut de qualité composite), on remarque que l'importance des différents polygones ne dépend plus presque uniquement de leur taille. Le résultat montre donc une structure plus fine de la connectivité avec l'attribut de qualité composite et reflète probablement mieux l'importance de chaque polygone pour la connectivité globale. Cependant, l'avantage d'utiliser un attribut plus simple à calculer est de pouvoir travailler directement avec les polygones de base de la carte des milieux naturels.

La **catégorisation**, tout comme le « coût des distance » et le choix de l'attribut de qualité, est un processus qui nécessite une approche adaptée à chaque situation en fonction des espèces ou des milieux étudiés, ainsi que des buts visés par le projet. D'après les tests réalisés lors de ce stage, une catégorisation à 6 classes est un peu réductrice de la réalité du terrain. Une catégorisation en 13 classes, comme sur la Figure 1, sera certainement plus judicieuse et réaliste.

Enfin, le choix d'une valeur fixe pour toutes les classes d'un **Edge depth** ou d'une matrice élaborée dépend également des buts visés. Pourtant, à l'échelle du canton, une valeur fixe est suffisante puisque le but sera de dégager des tendances globales n'étant que peu influencées par de petites variations du Edge depth entre certains milieux. La profondeur « classique » de 50 mètres, pour le canton, reste donc un bon compromis.

Choix des indicateurs

Les indicateurs recommandés sont récapitulés dans le Tableau 8.

Tableau 8 : Indicateurs de Fragstats sélectionnés.

Indice	Niveau d'application
Core Area Index (CAI et CAI_AM)	Patch, Class, Landscape
Connectance Index (CONNECT)	Class, Landscape
Interspersion and Juxtaposition Index (IJI)	Class, Landscape
Contagion Index (CONTAG)	Landscape
Simpson's Diversity Index (SIDI)	Landscape

Ces cinq indicateurs sont tous bornés (entre 0 et 1 ou 0 et 100) et permettent donc les comparaisons dans le temps ou entre des zones différentes. Pour une analyse globale de la fragmentation et de la composition du paysage, je recommanderais d'utiliser le **Simpson's Diversity Index (SIDI)** pour l'analyse de la diversité du paysage. Il sera au mieux utilisé en conjonction avec le **Contagion Index (CONTAG)** qui complètera l'analyse par une appréciation de l'agrégation et de la dispersion des patchs du territoire.

4. Conclusions personnelles du stage

Durant ce stage, j'ai beaucoup appris sur le fonctionnement des divers outils SIG et les concepts sous-jacents. J'ai systématiquement eu besoin d'adapter la carte des milieux naturels aux différents besoins des autres programmes. Ces manipulations des outils SIG étaient en « aller-retour » entre la nécessité de préparer les données pour un programme particulier et les traitements à effectuer afin de visualiser et combiner ensuite les résultats avec les impératifs d'ArcMap.

La nature exploratoire de l'objectif du stage était un défi permanent et stimulant. Le fait de devoir trouver sans cesse des solutions à de nouveaux obstacles est une excellente motivation. Cette alternance problème-solution (ou non parfois..) m'a poussé à devoir chercher des moyens variés pour gérer les contraintes des différents programmes.

Après les divers modules de la formation du certificat de géomatique, le stage m'a clairement permis d'ancrer de nombreuses notions dans un cadre appliqué à un projet concret. J'ai ainsi pu appliquer beaucoup d'outils introduits lors de la formation et de notions fondamentales pour la compréhension des SIG.

Le fait de devoir apprivoiser de nouveaux programmes et de les faire fonctionner autour d'ArcGIS a donc nécessité de faire appel à des connaissances variées, notamment obtenue pendant les cours, ainsi qu'à mon nouveau meilleur ami : l'aide en ligne d'ArcGIS !

D'autre part, l'accueil et le soutien reçu dans l'équipe étaient formidables et m'ont permis de ne jamais me sentir perdu.

5. Remerciements

Je remercie tout particulièrement :

Nicolas Wyler et **Pascal Martin** qui m'ont accueilli dans leur équipe et qui m'ont particulièrement bien encadré.

Anne-Laure Maire et **Mathieu Chevalier** qui ont partagé leur grand bureau vide de bon cœur.

Mamoudou Diallo avec qui j'ai échangé de nombreuses informations vitales sur ArcGIS.

6. Bibliographie

Avon C., L.Bergès. 2013. Outils pour l'analyse de la connectivité des habitats. Projet J Diacofor.

Cushman, S.A., K.McGarigal and M.C.Neel. 2008. Parsimony in landscape metrics: Strength, universality, and consistency. *Ecological Indicators* 8-5: 691-703

Delarze, R., Y.Gonseth. 2008. *Guide des milieu naturels de Suisse*. Rossolis. Bussigny

Forman, R.T.T. and M.Gordon. 1986. *Landscape Ecology*. John Wiley and Sons, New York.

McGarigal, K., S.A.Cushman, and E.Ene. 2012. FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. Available at the following web site:
<http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>

McGarigal, K. and B.J.Marks. 1994. Fragstats: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure.

O'Neill, R.V., J.R. Krummel, R.H. Gardner, G. Sugihara, B. Jackson, D.L. DeAngelis, B.T. Milne, M.G. Turner, B. Zygmunt, S.W. Christensen, V.H. Dale, and R.L. Graham. 1988. Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology* 1: 153-162

Pascual-Hortal, L. and S.Saura. 2006. Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation. *Landscape Ecology* 21: 959-967

Saura, S. and L.Pascual-Hortal. 2007. A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: Comparison with existing indices and application to a case study. *Landscape and Urban Planning* 83: 91-103

Saura, S. and L.Rubio. 2010. A common currency for the different ways in which patches and links can contribute to habitat availability and connectivity in the landscape. *Ecography* 33 : 523-537

Saura, S. & J. Torné. 2009. Conefor Sensinode 2.2: a software package for quantifying the importance of habitat patches for landscape connectivity. *Environmental Modelling & Software* 24: 135-139.
www.conefor.org

Shannon, C., and W.Weaver. 1949. *The mathematical theory of communication*. Univ. Illinois Press, Urbana

Simpson, E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nature* 163: 688

Soille, P, Vogt, P. 2008. Morphological segmentation of binary patterns. *Pattern Recognition Letters* 30, 4:456-459

Stein, A., J.Riley and N.Halberg. 2001. Issues of scale for environmental indicators. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 87: 215-232

Turner, M.G. 1990a. Spatial and temporal analysis of landscape patterns. *Landscape Ecology* 4: 21-30

Turner, M.G., R.V.O'Neill, R.H.Gardner and B.T.Milne. 1989. Effects of changing spatial scale on the analysis of landscape pattern. *Landscape Ecology* 3: 153-162

Uuemaa, E., M.Antrop, J.Roosaare, R.Marja and Ü.Mander. 2009. Landscape metrics and indices: an overview of their use in landscape research. *Living Reviews in Landscape research* 3: 1

Vogt, P. 2014. GuidosToolbox (Graphical User Interface for the Description of image Objects and their Shapes): Digital image analysis software collection available at the following web site: <http://forest.jrc.ec.europa.eu/download/software/guidos>

Wu, J., W.Shen, W.Sun and P.T.Tueller. 2002. Empirical patterns of the effects of changing scale on landscape metrics. *Landscape Ecology* 17(8): 761-782

7. Annexes

Annexe 1 : Tableau de correspondance des codes des milieux naturels (CODE_MN) avec les classes des catégorisations (variantes 1 et 2).

Carte des milieux naturels		Regroupement; variante 1		Regroupement; variante 2	
CODE_MN	VEGETATION	Code sous-réseau 1	Catégorie 1	Code sous-réseau 2	Catégorie 2
101	Eau calme	1	Humide	1	Eau
107	Eau courante	1	Humide	1	Eau
201	Rivage avec végétation	1	Humide	6	Ouvert
203	Roselière	1	Humide	6	Ouvert
206	Végétation des rives d'eau courante	1	Humide	6	Ouvert
208	Magnocariçaie	1	Humide	6	Ouvert
211	Prairie humide	1	Humide	6	Ouvert
214	Mégaphorbiaie marécageuse	1	Humide	6	Ouvert
215	Végétation annuelle temporairement inondée	1	Humide	6	Ouvert
218	Rivage sans végétation	1	Humide	1	Eau
301	Alluvion des rivières	1	Humide	1	Eau
302	Glarier	1	Humide	1	Eau
403	Gazon et terrain de sport	6	Ouvert	4	Végétation urbaine
404	Talus et bord de routes	6	Ouvert	6	Ouvert
406	Pelouse sèche médio-européenne	4	Sec	6	Ouvert
407	Pelouse mi-sèche médio-européenne	4	Sec	6	Ouvert
408	Prairie grasse	6	Ouvert	6	Ouvert
409	Prairie de fauche de basse altitude	6	Ouvert	6	Ouvert
410	Prairie extensive de qualité	6	Ouvert	6	Ouvert
411	Prairie extensive	6	Ouvert	6	Ouvert
412	Pâturage de basse et moyenne altitude	6	Ouvert	6	Ouvert
413	Friche à graminée	6	Ouvert	6	Ouvert
414	Prairie embroussaillée	4	Sec	6	Ouvert
416	Pelouse arborée	6	Ouvert	4	Végétation urbaine
501	Ourlet	2	Forêt	2	Forêt
505	Coupe forestière	2	Forêt	2	Forêt
510	Haie basse	6	Ouvert	2	Forêt
515	Buissons mésophiles ou thermophiles	4	Sec	2	Forêt
516	Roncier	6	Ouvert	2	Forêt
517	Stade arbustif préforestier	2	Forêt	2	Forêt
518	Saulaie buissonnante alluviale	1	Humide	2	Forêt
519	Saulaie buissonnante marécageuse	1	Humide	2	Forêt
601	Plantation de feuillus	2	Forêt	2	Forêt
602	Plantation de conifères	2	Forêt	2	Forêt
603	Arbre(s) isolé(s)	2	Forêt	4	Végétation urbaine
604	Forêt inondable	2	Forêt	2	Forêt
605	Saulaie blanche	2	Forêt	2	Forêt
606	Aulnaie	2	Forêt	2	Forêt
607	Frênaie humide et de pente	2	Forêt	2	Forêt
609	Hêtraie mésophile	2	Forêt	2	Forêt

Certificat de géomatique 2014

610	Forêt de feuillus mélangés	2	Forêt	2	Forêt
611	Cordon d'espèces ligneuses	2	Forêt	2	Forêt
612	Chênaie à charmes	2	Forêt	2	Forêt
613	Chênaie à charmes à gouet	2	Forêt	2	Forêt
614	Chênaie à charmes à herbes-aux-goutteux	2	Forêt	2	Forêt
615	Chênaie à charmes à molinies	2	Forêt	2	Forêt
619	Forêt secondaire de robiniers	2	Forêt	2	Forêt
623	Pinède	4	Sec	2	Forêt
626	Forêt mixte à feuillus et conifères	2	Forêt	2	Forêt
701	Terrain piétiné et rudéral	6	Ouvert	6	Ouvert
708	Rudéral à annuelles et pluriannuelles	6	Ouvert	6	Ouvert
801	Pépinière	3	Agricole	3	Cultures
802	Pépinière de feuillus	3	Agricole	3	Cultures
803	Pépinière de conifères	3	Agricole	3	Cultures
804	Verger haute tige	6	Ouvert	6	Ouvert
805	Verger basse tige	3	Agricole	3	Cultures
806	Vigne	3	Agricole	3	Cultures
807	Grande culture	3	Agricole	3	Cultures
808	Culture herbacée, maraîchère	3	Agricole	3	Cultures
809	Jardin potager individuel	6	Ouvert	6	Ouvert
811	Jachère florale	6	Ouvert	6	Ouvert
901	Bâtiment	5	Bati	5	Surface dure
902	Serre	5	Bati	5	Surface dure
903	Route revêtue	5	Bati	5	Surface dure
904	Gravière	6	Ouvert	6	Ouvert
905	Sol nu sans végétation	6	Ouvert	6	Ouvert
906	Voie ferrée	5	Bati	5	Surface dure
908	Trottoir	5	Bati	5	Surface dure
909	Ilôt	5	Bati	5	Surface dure
910	Place d'aviation	5	Bati	5	Surface dure
911	Bassin STEP	5	Bati	5	Surface dure
912	Objets durs divers	5	Bati	5	Surface dure
913	Hangar/dépôt agricole temporaire	5	Bati	5	Surface dure
919	Ilot routier végétalisé	5	Bati	4	Végétation urbaine
924	Piscine	5	Bati	5	Surface dure
999	Chemin végétalisé	6	Ouvert	6	Ouvert
1000	Chemin	5	Bati	5	Surface dure
1001	Cimetière	6	Ouvert	5	Surface dure
1002	Végétation des sols argileux calcaires	3	Agricole	3	Cultures
1003	Massif entretenu	5	Bati	4	Végétation urbaine
1004	Bosquet arboré urbain	2	Forêt	4	Végétation urbaine
1005	Paroi rocheuse et éboulis	4	Sec	6	Ouvert
1006	Alignement d'arbres en bordure de route	2	Forêt	4	Végétation urbaine
4444	Surface dure	5	Bati	5	Surface dure