Projet d'agglo franco-valdo-genevois

CAHIER N°13-4

Essai de cartographie des habitats naturels

Mars 2010

CRFG comité régional franco-genevois

FEDER

Cartographie des milieux naturels dans le périmètre Vuache - Sion - Laire

RAPPORT TECHNIQUE

V 1.6

Auteurs :

Karin ALLENBACH[3]

Julien BURNIER[1]

Anthony LEHMANN[2, 3]

Pascal MARTIN[1]

Nicolas RAY[2, 3]

Nicolas WYLER[1]

[1]Conservatoire et Jardin botaniques, [2]Université de Genève, [3]UNEP/DEWA/GRID-Europe

Avec l'appui de :

L'Équipe du Projet d'agglomération, le Comité de Projet et les partenaires

UNIVERSITÉ DE GENÈVE

CONSERVATOIRE ET JARDIN BOTANIQUES

UNEP GRID Europe

Cartographie des milieux naturels dans le périmètre Vuache-Sion-Laire

1. Résumé

Lors de la signature de la charte de l'agglomération franco-valdo-genevoise, les différents partenaires se sont engagés à préserver les espaces naturels et agricoles, ainsi que leur interconnexion.

Pour mener une politique de gestion du territoire soucieuse des écosystèmes, il est impératif de pouvoir s'appuyer sur des données précises d'inventaire et de cartographie des milieux naturels. Au niveau du périmètre d'agglomération, seule une carte d'occupation du sol est disponible. Elle a été réalisée sur la base d'images satellites et comporte une douzaine de classes qui concernent les milieux naturels, que ce soit au niveau des milieux forestier, des milieux liés à l'hydrologie ou les milieux ouverts.

Cette première information se doit d'être précisée pour l'environnement naturel afin de dégager les trois continuums (jaune-vert-bleu) utiles à sa gestion.

Les moyens techniques actuels, couplés à la précision des photos aériennes et satellitaires disponibles, nous permettent de proposer une démarche semi-automatique de cartographie des milieux naturels rapide, reproductible et coûteuse.

Objectifs :

- Dresser une carte des milieux naturels d'un périmètre prioritaire (Vuache-Sion-Laire, 113 km^2) de l'agglomération au 1/10'000 qui soit un outil de décision pour les gestionnaires de l'environnement et les politiques. L'objectif est d'avoir enfin une vision globale qui permette de définir des priorités de conservation, de suivre les modifications du paysage, de planifier les aménagements et de gérer l'environnement.
- Identifier les corridors biologiques, afin de maintenir un maximum de connexions entre les écosystèmes, les populations et les individus et ainsi améliorer leur conservation.
- Finalement, il s'agira d'évaluer l'utilité, la méthode et les moyens nécessaires à l'extension de la cartographie des milieux naturels et des corridors à l'ensemble du périmètre de l'agglomération, franco-valdo-genevoise, toujours à l'échelle du 1/10'000^{ième}.

Méthode :

Dans un premier temps, nous allons recenser, exploiter et mettre en commun l'ensemble des données existantes (images satellites, photos aériennes, données du Système d'Information du Territoire Genevois, RDG, …). Celles-ci seront complétées par des relevés de terrain spécifiquement acquis.

Nous définirons une typologie des milieux naturels à cartographier en fonction de leur importance dans la gestion de l'environnement, de leur représentativité spatiale, ainsi que de l'échelle finale de rendu. Nous alimenterons une table de conversion entre les dénominations françaises et suisses (CORINE Biotope, Natura2000 et Delarze & Gonseth 2008 essentiellement). Une hiérarchisation de cette typologie sera proposée afin de permettre un changement d'échelle spatiale par intégration hiérarchique.

La cartographie semi-automatisée et multi-sources de la couverture du sol sera basée sur l'ensemble des données existantes. Cette procédure se déroule en plusieurs étapes qui affinent progressivement la qualité de la cartographie :

La carte d'occupation du sol est segmentée (découpée) en unités plus petites selon leurs caractéristiques spectrales. La phase la plus délicate est alors de renseigner correctement ces unités (par ex. forêts de chêne, forêt de sapin, marais…). Pour ce faire, des matrices expertes basées sur les cartes de végétation disponibles, les données environnementales

(topographie, géologie, pédologie, humidité, orientation, …) et les valeurs spectrales issues des images satellites définissent l'intervalle de valeurs qui correspond aux milieux à cartographier (enveloppe environnementale et géographique).

Pour chaque unité segmentée précédemment une prédiction de son appartenance à tel ou tel milieu naturel est alors possible. Si cette unité paysagère a des caractéristiques spectrales et environnementales très proches des données obtenues dans les matrices, elle est alors renseignée automatiquement. Pour les unités susceptibles d'appartenir à deux milieux naturels (ou plus), une validation experte sur les orthophotos devrait fixer les règles qui permettent de lever l'ambiguïté. Enfin pour les unités présentant des valeurs différentes de celles attendues, des vérifications de terrain seront effectuées. Ces vérifications auront en partie lieu dans une phase préparatoire pour valider les premières analyses, puis pour finaliser les zones délicates à cartographier semi-automatiquement. Durant cette dernière phase, nous nous appuierons également sur des experts locaux.

Cette procédure à l'avantage de réduire considérablement le temps de vérification sur le terrain qui est l'élément limitant dans les réalisations cartographiques de qualité.

Finalement, des données au niveau spécifique pour la flore seront synthétisées afin d'enrichir la connaissance du territoire et d'affiner les différents continuums.

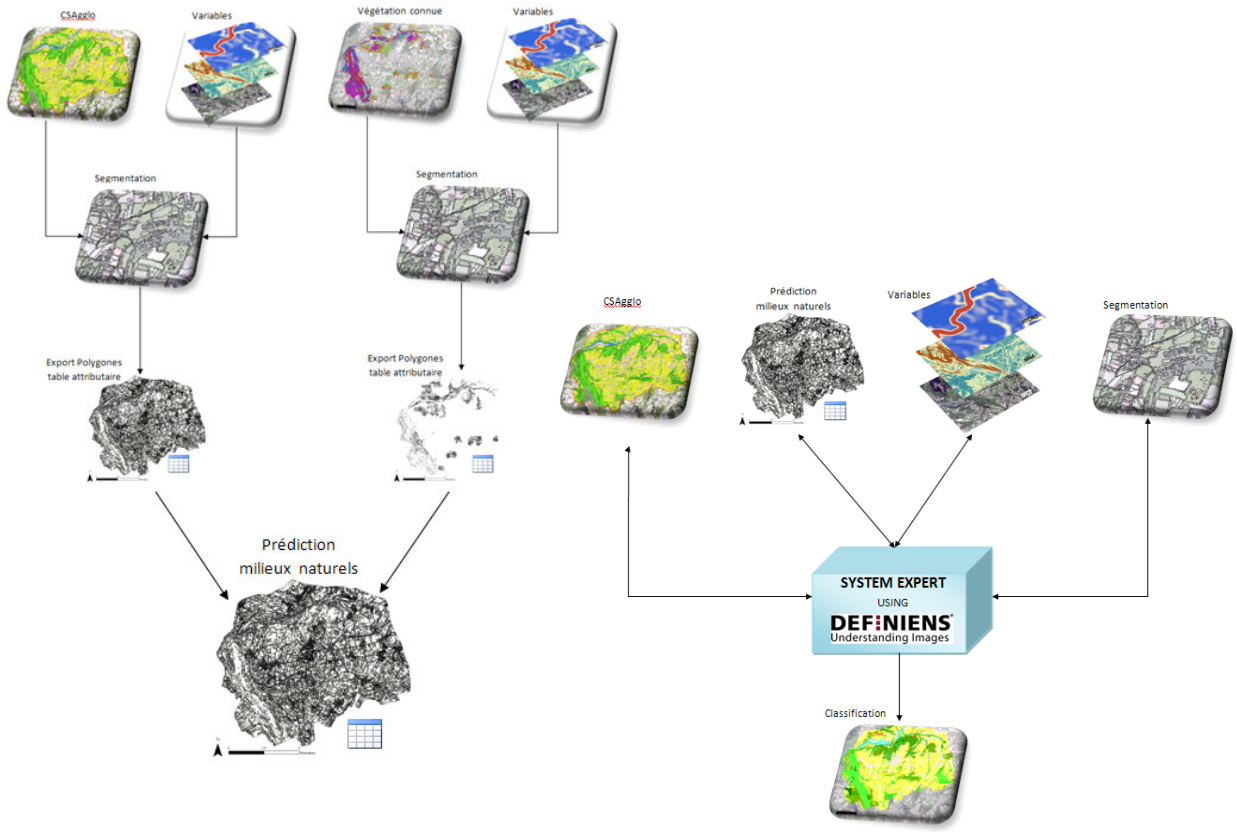
Conclusions :

Nous sommes en mesure de réaliser une cartographie précise des milieux naturels de l'agglomération dans un laps de temps relativement réduit. Cet outil d'aide à la décision pourra être actualisé ponctuellement selon des procédures d'alertes à définir afin d'assurer le suivi des milieux naturels. Ceci essentiellement en fonction de nouvelles données disponibles (nouvelles campagnes d'acquisition) ou de nouveaux besoins (nouveaux projets).

Différents produits finaux pourront être proposés selon les besoins des décideurs et des gestionnaires.

Avantages majeurs:

- La qualité des images satellites et des orthophotos disponibles au niveau de l'agglomération (campagne 2009);
- La précision de la carte d'occupation du sol;
- Le lot de données environnementales disponibles;
- Les relevés de terrain déjà présents dans les diverses institutions partenaires;
- Les possibilités de mises à jour rapides.
- La méthode de cartographie semi-automatique proposée.



Organigramme de la méthodologie proposée pour la cartographie des milieux naturels dans l'agglomération franco-valdo-genevoise.

Citation de ce rapport :

Allenbach K., Burnier J., Lehmann A., Martin P., Ray N. & Wyler N. 2010. Cartographie des milieux naturels dans le périmètre Vuache-Sion-Laire: Rapport technique. DGAT-Projet d'Agglo.

Table des matières

1. RÉSUMÉ 3

2. INTRODUCTION 9

2.1. Objectifs 10

3. CARTOGRAPHIE ET DONNEES EXISTANTES SUR LA VEGETATION 12

3.1. Définition des milieux naturels 12

3.2. Listes des milieux connus 12

3.2.1. Données existantes 12

3.2.2. Méthode de compilation des données cartographiques existantes 12

3.2.3. Méthode et acquisition terrain 13

3.2.4. La typologie des milieux retenus 17

4. CARTE DE COUVERTURE DU SOL CSAGGLO 21

4.1. Légende 21

4.2. Intégration de la CSAgglo 22

4.2.1. Imprécision de classification 22

4.2.2. Simplification de la légende 23

4.2.3. Zones non classifiées 25

4.2.4. Décalage (département de l'Ain) 26

5. METHODE DE CARTOGRAPHIE PROPOSEE 27

5.1. Situation géographique 27

5.2. Organigrammes de la méthode 28

5.2.1. Phase 1 : MODELISATION 28

5.2.2. Phase 2 : CLASSIFICATION (Système Expert) 29

5.3. Variables spectrales utilisées 30

5.4. Variables topographiques utilisées 30

5.4.1. Comparaison ASTER Gdem versus MNA (IGN) 30

5.4.2. Calcul d'indices topographiques 32

5.5. Cartes de densité et distance aux rivières 33

5.5.1. Carte de densité 33

5.5.2. Carte de distances aux rivières 34

5.6. Phase I : Modélisation 36
5.6.1. Segmentation avec Definiens 36
5.6.2. Exportation de la segmentation 37
5.6.3. Modélisation GRASP dans Splus 38

5.7. Phase II : Segmentation et classification (système expert) 42
5.7.1. Couches images utilisées 42
5.7.2. Couches vectorielles utilisées 42
5.7.3. Segmentation et classification : niveau CSAgglo 42
5.7.4. Segmentation MilieuxNat_VSL 43
5.7.5. Classification MilieuxNat_VSL 44
5.7.6. Zones sans classification CSAgglo (étape intermédiaire) 45
5.7.7. Fusion des classes communes sur le périmètre VSL 45
5.7.8. Nettoyage des objets < 9 pixels (225 m^2) 45
5.7.9. Nettoyage automatique des erreurs principales 45
5.7.10. Identification manuelle d'erreurs 45
5.7.11. Exportation du résultat 45
5.7.12. Corrections manuelles (ArcMap) 46

6. RESULTATS 47

6.1. Cartographie finale 47

6.2. Statistiques 48

6.3. Continuums jaune, vert, bleu et combinaison 49

7. EVALUATION DES RESULTATS 56

8. PERSPECTIVES D'AMELIORATION DE LA METHODE 61

8.1. Imagerie satellitaire 61
8.1.1. SPOT5 2.5 m de résolution 61
8.1.2. Classification des ombres, SPOT 62

8.2. Données environnementales et sur la végétation connue 64

8.3. Système expert 64

8.4. Validation 65

9. MODELISATION DU DEPLACEMENT DES ESPECES 66

9.1. Introduction et méthodes 66

9.2. Cartes de coût 66

9.3. Résultats des analyses 69
9.4. Utilisations possibles des approches CircuitScape et LCP 73
9.5. Limitations et données nécessaires 73
10. CONCLUSIONS 75
11. PERSPECTIVES 76
12. CHOIX BIBLIOGRAPHIQUE 78
13. LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX 80
14. ANNEXES 82
14.1. Annexe 1 : Nomenclature CORINE Land Cover 82
14.2. Annexe 2: Procédure (ruleset) phase 2 (classification) 85
14.3. Annexe 3 : Critères de classification 91
14.4. Annexe 4: Matrices de contingence 96

2. Introduction

Le Projet d'agglomération franco-valdo-genevois s'articule autour de trois grands volets complémentaires: l'urbanisation, la mobilité, et l'environnement. A l'horizon 2030, selon la Charte du Projet signée en 2007, le développement de ces volets doit permettre de construire une agglomération …

- **compacte**, capable d'accueillir le développement et de répondre aux besoins de mobilité sans gaspiller les ressources environnementales;
- **multipolaire**, en rééquilibrant la répartition de l'habitat et des emplois et en valorisant les atouts spécifiques des sites locaux;
- **et verte**, en préservant ses paysages, son agriculture dynamique et ses zones naturelles et en assurant une forte présence de la nature en ville.

Le schéma d'agglomération considère le paysage, ses composantes naturelles et agricoles comme le socle vert de la future "métropole verte et multipolaire", et prend en compte ces éléments comme étant aussi structurants pour le développement que l'urbanisation ou les transports. La Charte insiste également sur le point que "tous les territoires partenaires de l'agglomération ont conscience de ces enjeux et font de la préservation de l'environnement, des espaces agricoles et naturels sensibles une première priorité de leur planification."

Dans cette perspective, le projet d'agglomération s'est fixé plusieurs objectifs spécifiques et a défini des engagements vis-à-vis de l'environnement à prendre en compte dans le cadre de l'élaboration du schéma d'agglomération. La prise en compte de la connaissance et de la gestion des milieux naturels dans ce périmètre s'intègre directement dans les priorités des actions à mener.

En effet, depuis de nombreuses années, les autorités françaises et suisses du bassin genevois se sont impliquées dans la gestion de leur espace naturel. Toutes ces démarches ne peuvent s'entreprendre qu'à partir d'une connaissance des sites, des espèces et des menaces. L'information cartographique des habitats naturels existants est donc un préalable nécessaire et incontournable à la mise en place des politiques de gestion de l'environnement.

Dans la région genevoise des données cartographiques existent déjà. Cependant leur hétérogénéité tant temporelle que qualitative empêche toute utilisation transfrontalière. Par exemple la dernière carte des milieux naturels de l'ensemble de l'agglomération FVG date des années 70-80. Il s'agissait de la carte de végétation du bassin genevois au 1/50'000ème (Hainard et al., 1973). Des données localisées plus récentes existent telles que les cartes de végétation réalisées à des échelles communales (5'000 – 12'500). Par contre, aucun document ne permet actuellement de couvrir l'ensemble du périmètre de l'agglomération et cela avec des terminologies communes et compréhensibles par l'ensemble des acteurs.

L'initiative de produire une carte de couverture du sol de l'agglomération était un premier pas significatif et nécessaire à la mise en place d'un référentiel communs. Il est temps maintenant de fournir les outils adaptés à la problématique de gestion des milieux naturels. Pour cela le travail exposé ici est l'exemple parfait de ce qu'il est possible de réaliser à l'échelle de l'agglomération.

Notre cartographie des milieux naturels dans un des périmètres prioritaires de l'agglomération est simultanément un outil d'aide à la décision pour les autorités politiques régionales et un outil de gestion pour les responsables locaux.

La cartographie des milieux naturels (habitats) occupe une place centrale dans la pyramide de l'information nécessaire à la gestion et la conservation de la biodiversité et de ses services (Figure 1). La pyramide de l'information est un concept simple et puissant pour convaincre de l'intérêt des différents domaines d'activité de partager les données sources et les méthodes pour informer de manière spatiale et quantitative les gestionnaires et les décideurs de chaque domaine d'activité. Ainsi chacun reste mettre à bord tout en bénéficiant des apports possibles des autres disciplines.

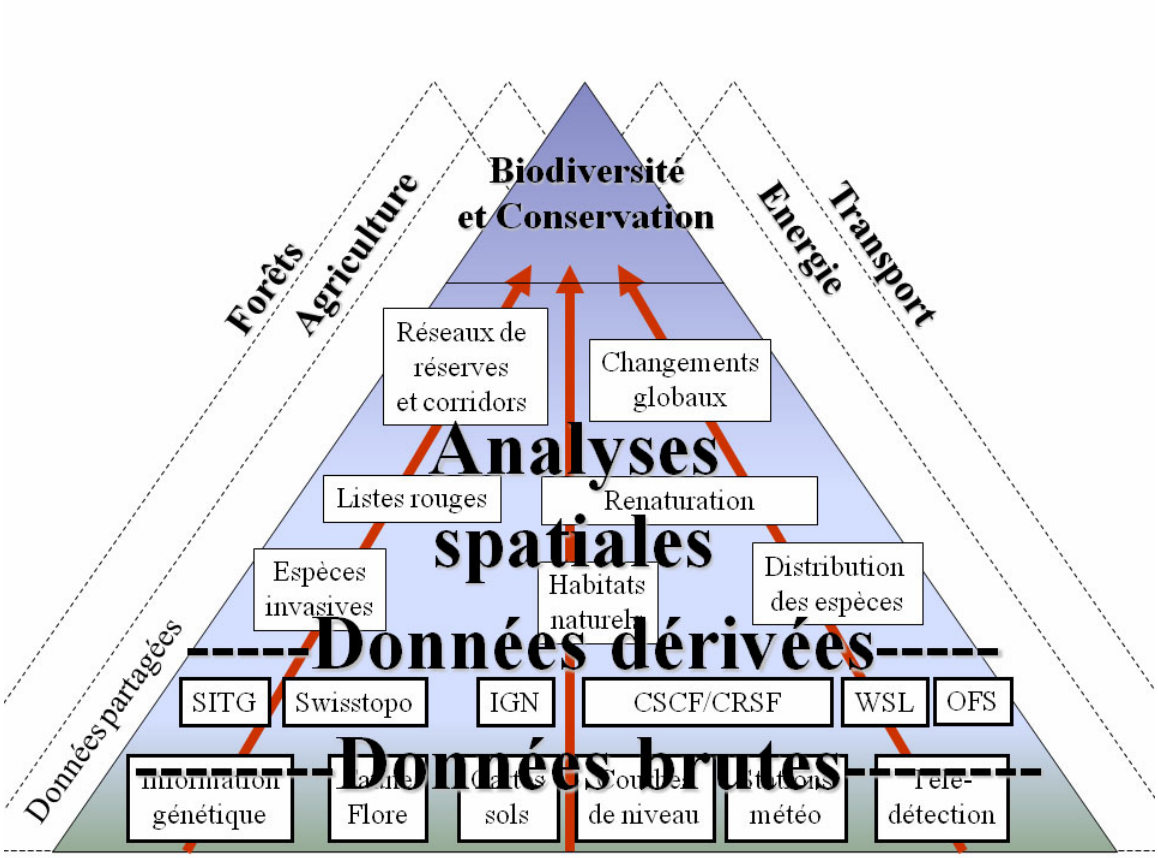


Figure 1 : Pyramides de l'Information où différentes disciplines peuvent partager des données de base et des méthodes d'intégration tout en gardant leur objectif propre.

Les enjeux de la conservation sur un territoire comme celui de l'agglomération FVG sont les mêmes que dans bien d'autres régions du monde. Ainsi une bonne connaissance des outils et méthodes développées ailleurs s'avèrent être très utiles pour gagner un temps précieux dans l'établissement de systèmes d'information capables de répondre aux exigences de communication claire et rapide de notre époque dans le domaine de la nature et du paysage. Les enjeux sont ceux de la lutte contre les espèces invasives, la protection des espèces menacées, la renaturation des écosystèmes perturbés par les activités humaines, la mise en place de réseaux et de corridors pour favoriser le déplacement des espèces dans un contexte où les changements climatiques vont jouer un rôle de plus en plus importants.

2.1. Objectifs

L'objectif principal de ce projet est d'acquérir une carte des milieux naturels du périmètre prioritaire Vuache-Sion-Laire (VSL) du projet d'agglomération de manière évolutive. A cet effet, les modules suivant ont été développés:

- Une méthode pour la création du document cartographique, basée notamment sur l'exploitation des données existantes (images satellites, orthophotos, données du SITG, terrain, …);
- Une classification selon la typologie du Guide des milieux naturels de Suisse (Delarze et al., 2008) qui soit en accord avec la typologie CORINE Biotope.

Ces données actualisées pourront être confrontée aux cartes anciennes. Ces dernières ont été harmonisées afin de permettre des comparaisons multi-temporelles.

Cet inventaire de détail a donc pour objectifs d'identifier, localiser et présenter les richesses paysagères du périmètre VSL sur le plan de la nature (écosystèmes). Une évaluation de la valeur des différents

éléments de ces patrimoines devra permettre de les classer en fonction de leur intérêt en termes de conservation et/ou de restauration. Ces résultats pourront figurer sur des cartes thématiques qui permettent de visualiser les sites en relation avec leur intérêt réel ou potentiel et/ou leur degré de perturbation.

Dans un deuxième temps, ce référentiel territorial sera exploité dans l'analyse des corridors biologiques existants ou potentiels, afin de garantir les flux d'espèces et ainsi pérenniser leur conservation.

Finalement, il s'agira d'évaluer la pertinence du résultat et de son extension à l'échelle de l'entier du périmètre de l'agglomération.

3. Cartographie et données existantes sur la végétation

3.1. Définition des milieux naturels

Le terme milieux naturels a l'avantage d'évoquer quelque chose pour tout le monde même si sa définition reste très variable. Pour le grand public les milieux naturels sont les zones où l'on se promène le week-end, l'homme de la rue commencera ainsi par penser 'forêt', 'montagne', 'pré' ou 'prairie'. Pour les écologues, le terme milieux naturels se transformera tout de suite en biotope et se dressera alors une liste de caractéristiques physico-chimiques et de biocénoses associées (faune et flore). Pour le gestionnaire de l'environnement ces milieux sont les espaces qui abritent des espèces animales et végétales à protéger.

Dans le cadre de ce projet, nous retiendrons comme milieu naturel, les portions de territoire sur lesquelles une végétation spontanée ou sub-spontanée se développe. Ces milieux abritent une faune et une flore qu'il est important de conserver. Nous ne nous plaçons donc pas uniquement dans le cadre des réserves, mais bien au niveau de tous les biotopes susceptibles de jouer un rôle dans la préservation de notre environnement naturel, quels que soient leurs situations (forêt, zone alluviale, zone agricole, zone périurbaine, …).

3.2. Listes des milieux connus

3.2.1. Données existantes

Au niveau du périmètre Vuache-Sion-Laire (VSL) de l'agglomération franco-valdo-genevoise (FVG) diverses données cartographiques existent déjà. Pour localiser et identifier les milieux naturels les principales sources sont :

- La carte de couverture du sol de l'agglomération présentée en 2009 et basée sur une analyse spectrale de différentes images satellites spot (résolution 5 m). Les classes qui concernent les milieux naturels sont très génériques avec 3 grand thèmes : les surfaces agricoles, les surfaces vertes en milieu urbain et les surfaces boisées;
- Les cartes des milieux naturels de Werdenberg qui datent des années 80-90 pour le canton de Genève. Il s'agit de cartes de végétation réalisées à l'échelle communale (5'000 – 12'500), ainsi que d'une synthèse au 25'000 réalisée à partir de ces documents en 2000 par Werdenberg et Hainard. Ces données sont d'une part, relativement anciennes et réalisées manuellement, et d'autre part, ne représentent pas l'ensemble des milieux naturels soumis à des mesures de protection. L'ensemble des documents papier a été vectorisé, homogénéisé et synthétisé à l'échelle cantonale. En outre, une adaptation des légendes a été menée pour être compatible avec Delarze et Gonseth (2008);
- Différentes cartes de périmètres localisés, (marais de l'Etournel, vallon de la Laire, Massif du Vuache, saulaies…). Ces données ont été récupérées auprès des institutions compétentes, des associations et des bureaux d'études spécialisés. Ces cartes sont très précises et devront être converties dans les classes de milieux naturels retenus pour la couverture de l'agglomération.
- Pour le canon de Genève, la carte des surfaces de compensation écologique (SCE) gérée par le service cantonal de l'agriculture qui couvrent les prairies extensives, les prairies peu intensives, les jachères florales et les haies et bosquets champêtres. Ces données sont actualisées annuellement.

3.2.2. Méthode de compilation des données cartographiques existantes

Avec l'appui de la FRAPNA Haute Savoie et de la DGNP, les différents propriétaires de données (surfaciques et ponctuelles) ont pu être sollicité. Au total plus d'une centaine de données ont été récupérées. En effet, certaines zones d'importance disposent d'information multiples avec des échelles, des dates et des précisions différentes. Les dénominations des milieux naturels ont été standardisées en appellation Delarze et CORINE Biotope (http://www.espaces-

naturels.fr/natura_2000/outils_et_methodes/corine_biotope/version_pdf), cela afin de respecter au mieux les terminologies françaises et genevoises. A la fin de cette étape, ce sont 21 km^2 de sites connus pour 1'300 objets qui se répartissent en 42 classes de milieux naturels. Les données existantes (Figure 2) sont très regroupées au Nord, vallon de la Laire et marais de l'Etournel, ainsi qu'à l'Ouest avec le Massif du Vuache.

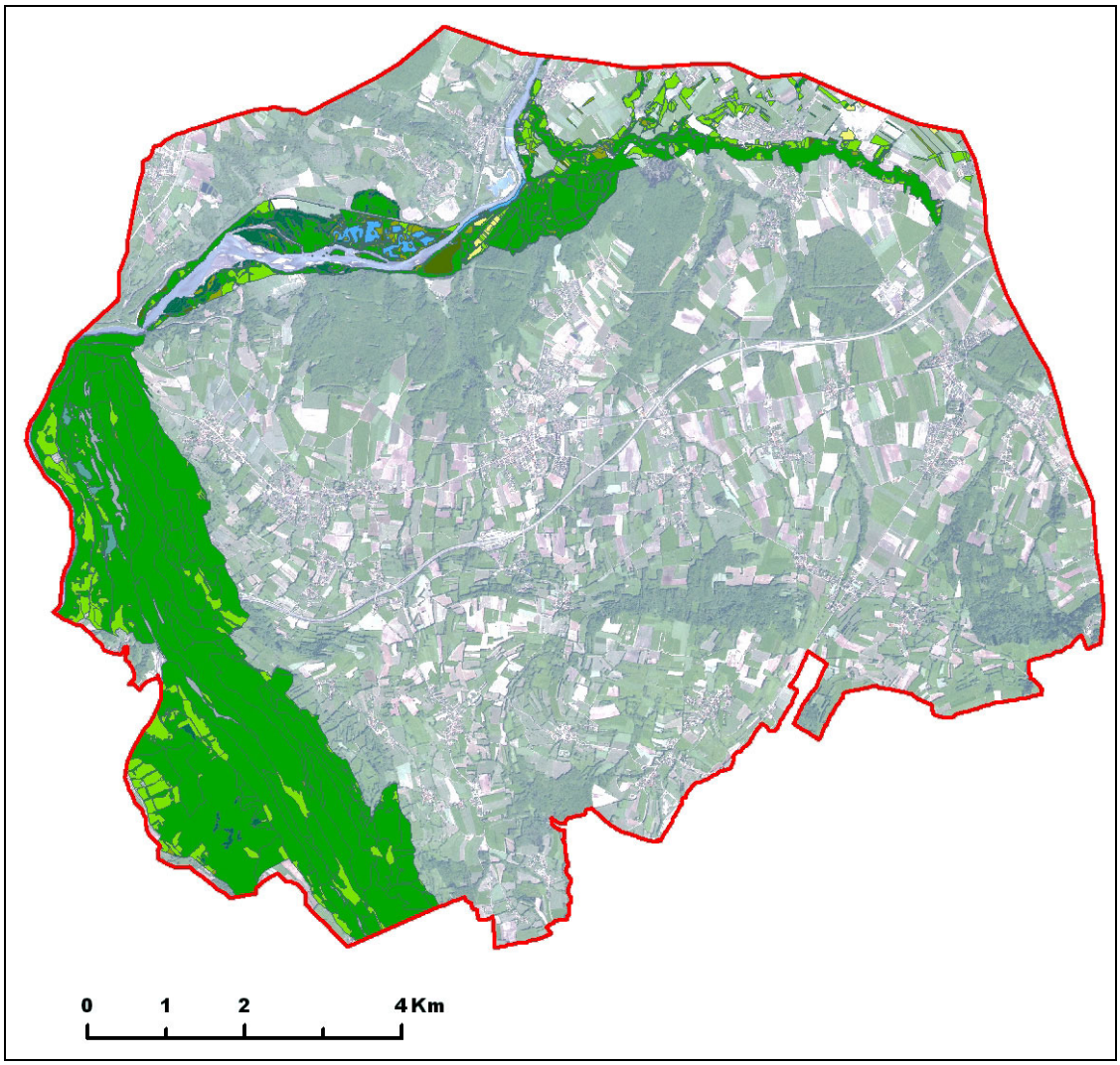


Figure 2 : Carte des données initialement disponibles.

3.2.3. Méthode et acquisition terrain

La majorité des données regroupées concernaient les sites déjà connus pour leur importance dans la gestion des milieux naturels. Or le périmètre Vuache-Sion-Laire est majoritairement à vocation agricole. Il était donc nécessaire de disposer de données représentatives du paysage de la partie agricole et d'augmenter le nombre de données disponibles, ainsi que de mieux répartir l'échantillonnage du connu. Pour ce faire, les CJB ont développé et mis en place une technique de relevés de terrain concernant les milieux naturels avec l'aide des associations du projet d'agglomération (Pro Natura GE, Apollon 74 et FRAPNA Haute Savoie). Dans le cadre de la méthode de cartographie semi-automatique utilisée dans ce projet, l'idée était de pouvoir renseigner directement les polygones issus de la segmentation (le découpage de la zone en objets uniformes spectralement, voir chapitre 'Segmentation'). L'avantage majeur est d'avoir des objets déjà spatialement délimités pour aller sur le terrain. Ainsi tout naturaliste

compétent est rapidement capable de renseigner des surfaces importantes car la phase de levée terrain est déjà réalisée en amont via la segmentation.
Plusieurs méthodes de caractérisation de ces polygones sur le terrain ont été testées durant le mois de juillet 2009 (GPS, tablette graphique, carte papier).
La méthode la plus pratique se base sur des cartes papier représentant les polygones numérotés à renseigner, que les observateurs devront retrouver sur le terrain à l'aide d'un fond orthophoto. Un des avantages majeurs de cette méthode est de s'affranchir des systèmes de référencement (français ou suisse) lors des relevés de terrain. Une liste des milieux naturels potentiels a été dressée par les CJB à partir des données déjà connues et d'une connaissance empirique de la zone (chapitre 'Méthode et acquisition terrain'). Les milieux retenus étaient ceux susceptibles d'être suffisamment importants en superficie pour être représentables à l'échelle de la carte finale.

Détails de la technique :
Un maillage à 500m. (grid 500) a été créé englobant le secteur d'étude, ceci a servi à générer les cartes de terrain plus précises (Figure 3).

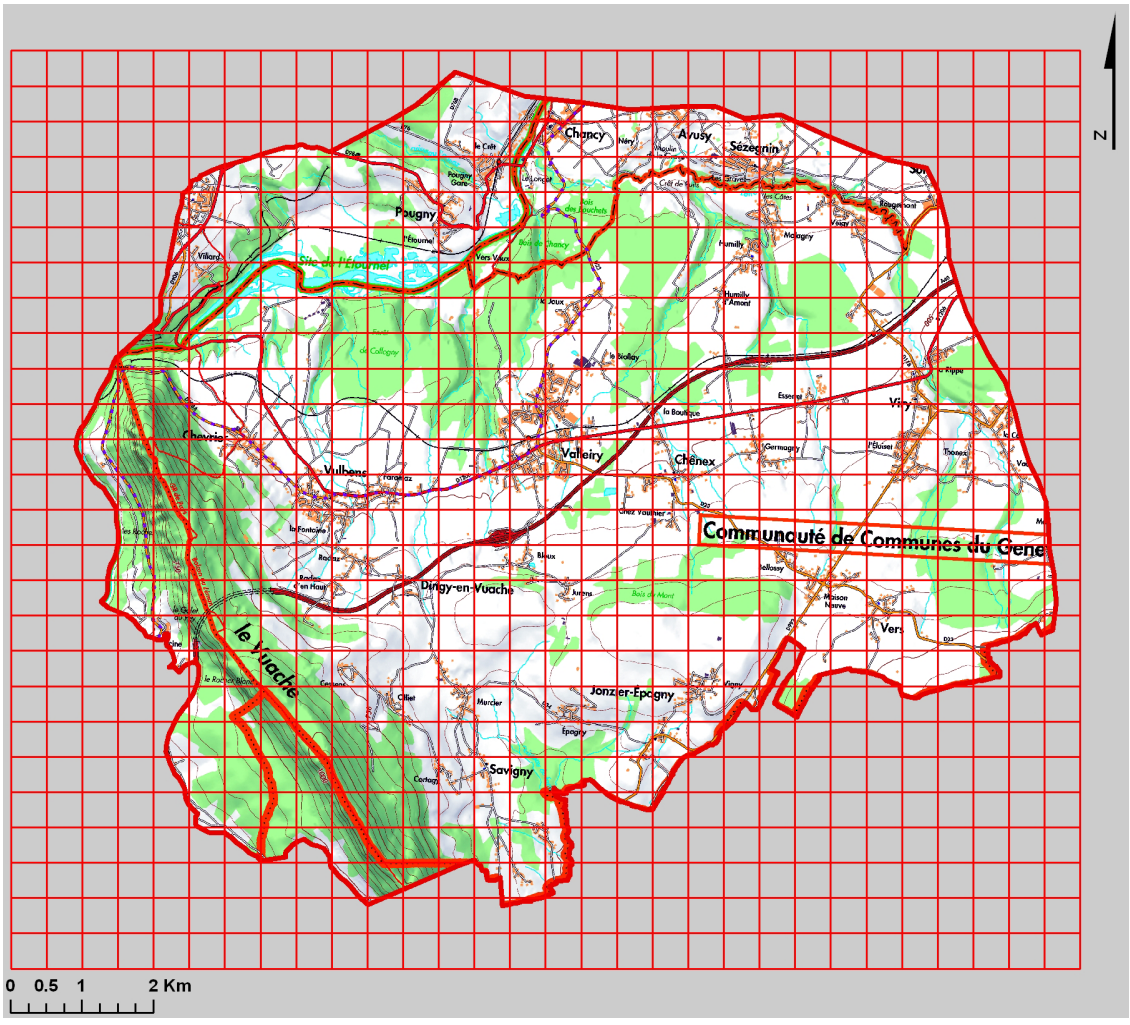


Figure 3 : Maillage à 500m. (grid 500) englobant le secteur d'étude.

Ensuite, afin de s'y retrouver plus facilement, le secteur d'étude a été fractionné en six zones (Figure 4) :

Zone 1 : Vuelbens–Etournel

Zone 2 : Valleiry–Chancy

Zone 3 : Viry

Zone 4 : Vuache

Zone 5 : Digny–Jonzier–Savigny

Zone 6 : Vers

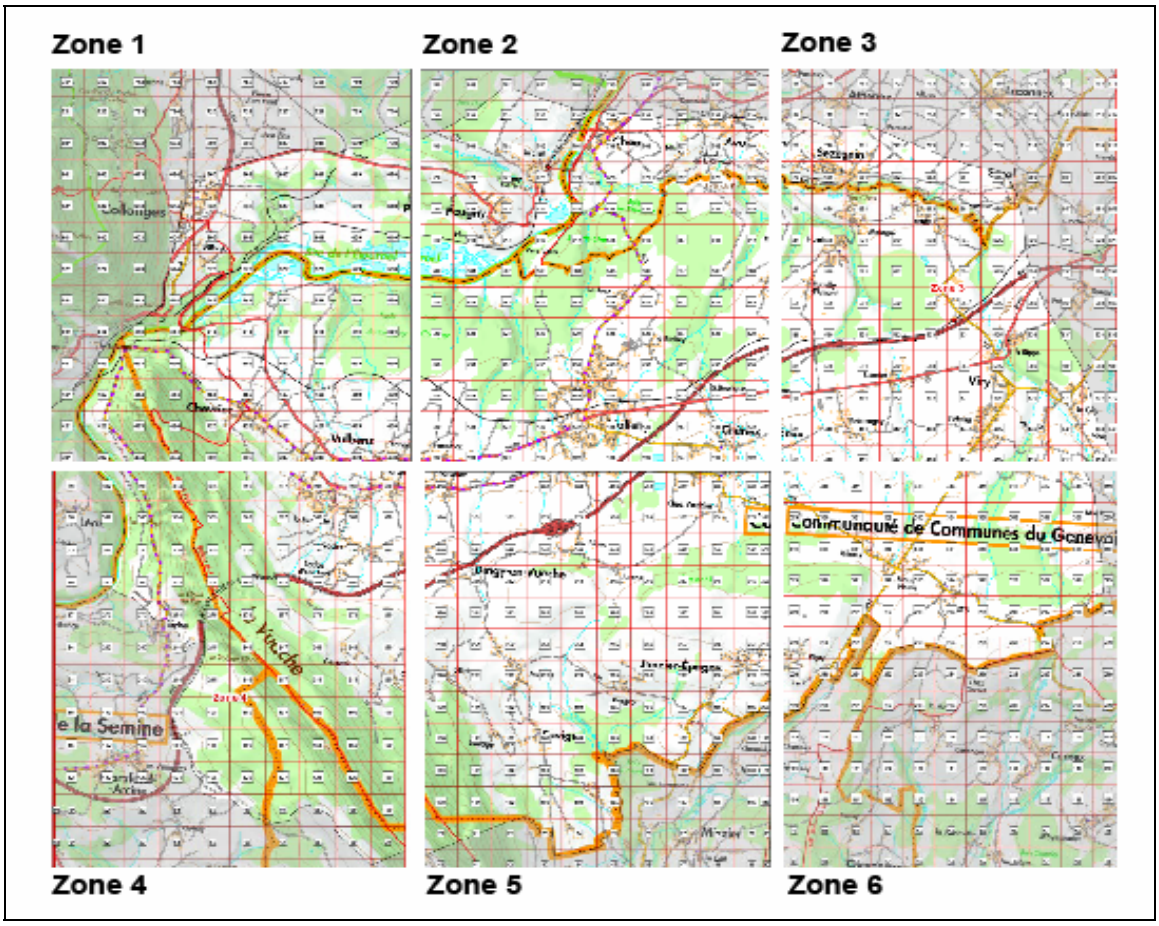


Figure 4 : Les six zones du secteur d'étude avec la numérotation des carrés 500 m.

Puis grâce à l'extension Mapbook (Map Series Maker) de ArcMap, 779 cartes (une carte par carré de 500 m) ont été produites puis exportées au format pdf. Voir exemples d'une carte de levée terrain dans les Figure 5 et 6 ci-dessous.

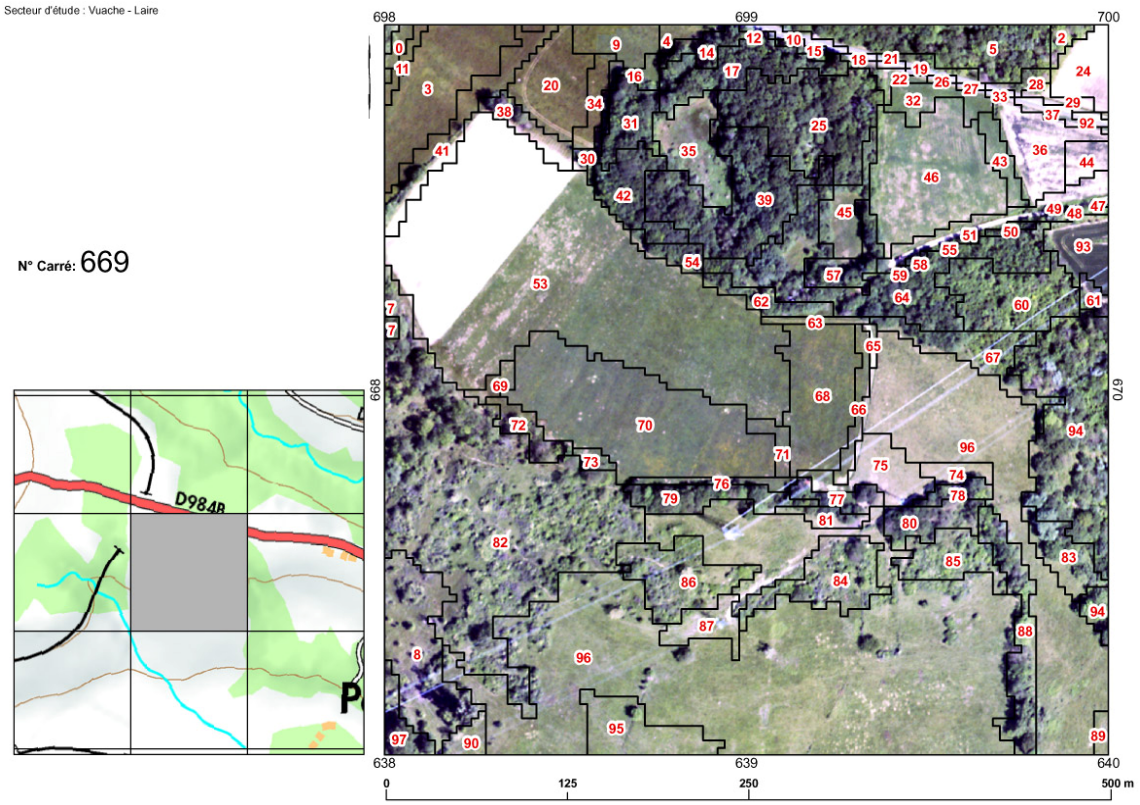


Figure 5 : Exemple de carte de terrain, le carré 669 dans la zone 1 (Vuelbens-Etournel).

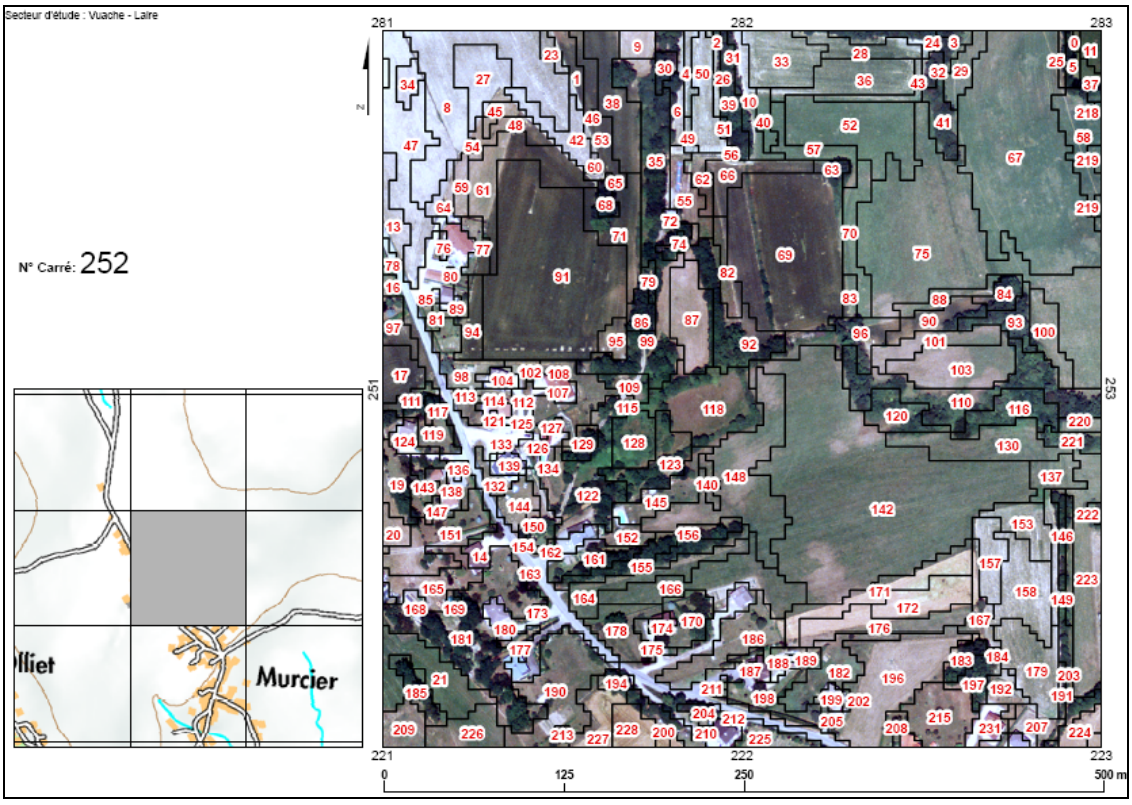


Figure 6 : Exemple de carte de terrain, le carré 252 dans la zone 5 (Digny-Jonzier-Savigny).

Un point important lors de la génération de ces cartes a été de garder un lien entre la numérotation des segments par carré de 500 m (allant généralement de 0 à 150) avec la numérotation originale des entités du shapefile de la segmentation totale. Ce problème a été résolu en ajoutant dans la table d'attribut de la segmentation originale une colonne correspondant au numéro de carré dans lequel ils se trouvent ainsi que la numérotation des objets par carré, ceci dans le but d'effectuer la saisie des relevés au retour du terrain.

La saisie des code MN sur le terrain s'effectue à l'aide de fiches de relevé, sur lesquelles il est extrêmement important d'indiquer le numéro de carré dans lequel on se situe. Il suffit ensuite d'indiquer le code MN à coté du numéro du polygone observé. Il est donc nécessaire d'avoir une fiche de relevé par carré de 500 m.

3.2.4. La typologie des milieux retenus

Il est nécessaire de définir les milieux naturels selon une appellation standard. Nous avons choisi d'utiliser comme point de départ les classes des milieux naturels de Suisse publiées par Delarze et Gonseth (2008). Cette typologie à l'avantage d'être découpée en niveaux hiérarchiques, ce qui facilite les changements d'échelles des produits. De plus, une correspondance avec d'autres typologies (CORINE Biotope, NATURA 2000, Ellenberg …) existe et facilite l'intégration des données existantes sur Genève, puis à terme des données disponibles dans le périmètre français de l'agglomération.

Les données des milieux naturels de Delarze et Gonseth (2008) sont systématiquement accompagnées d'informations environnementales utiles à la cartographie et à la reconnaissance sur le terrain via les espèces caractéristiques (Figure 7).

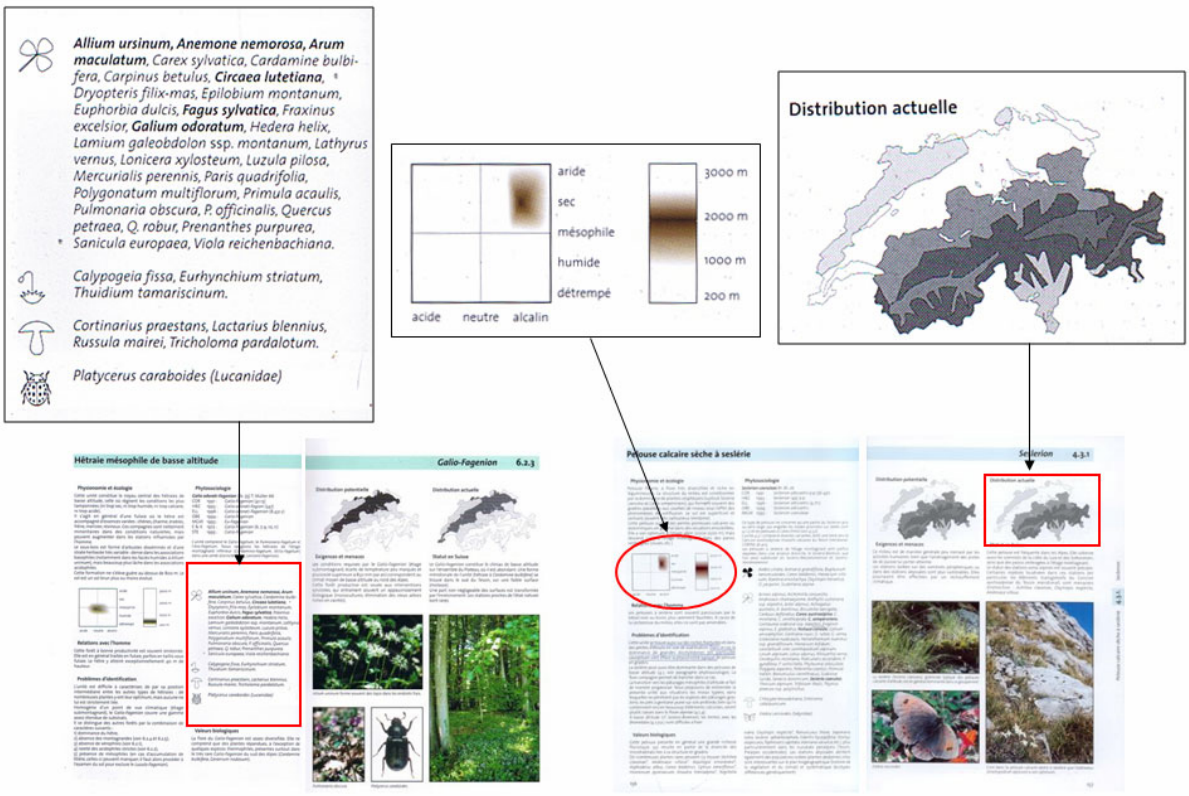


Figure 7 : Exemple de fiche de milieu avec entouré en rouge les listes d'espèces caractéristiques et fréquentes, les conditions stationnelles d'humidité, d'acidité et d'altitude où ils se rencontrent, et des cartes de distribution actuelle de ces milieux.

Sur la base de cette classification des milieux naturels, nous avons extrait les types de milieux existants sur le périmètre VSL à différents niveaux d'analyse (Tableau 1; Document téléchargeable ici).

Catégories terrain	Sous-catégories	Nom	Code MN	Description	Espèce indicatrice	Nv. Delarze	COR 1991
Eaux libres		Eau avec végétation immergée	1	Formation de plantes vivant immergées dans l'eau	Charophytes (algues)	1.1.1	22.44
		Eau avec végétation flottante	2	Formation de plantes non fixées, flottant à la surface de l'eau ou juste en dessous	Lentille d'eau	1.1.3	22.411
Rivages et lieux humides		Roselière lacustre	3	Formation des bords des plans d'eau calmes, ramenés dans l'eau en permanence	Roseaux, Massettes, Joncs	2.1.2.1	53.1
		Roselière terrestre	4	Formation succédant à la roselière lacustre ou développant dans les marais ou sur les rives périodiquement exondées des cours d'eau	Roseaux, Joncs	2.1.2.2	53.16
		Formation à Marisque	5	Formation de transition entre Roselière et Magnocariçaie, colonie dense de marisque	Marisque (*Cladium mariscus*)	2.2.1.2	53.3
		Magnocariçaie	6	Formation avec grandes touffes de laîches espacées (touradons). Inondation occasionnelle, sol humide en permanence	Laiches (carex)	2.2.1.1	53.2
		Saulaie marécageuse	7	Manteau et bosquets de saules arbustifs en forme de boules présents dans **les cuvettes marécageuses** (pour **saulaies alluviales au des rives** >> voir n° réf 31), **habituellement en bordure des roselières terrestres.**	Saule à oreillette, Saule cendré, Bouleau, etc	5.3.7	44.92
		Mégaphorbiaie marécageuse	8	Formation de hautes herbes formants des cordons en bordures des cours d'eau, forêt marécageuse et prairies humides	Reine des prés	2.3.3	37.1
		Végétation de grandes annuelles nitrophiles (Bidention)	9	Formation à dominance d'Asteracea et de polygonacea, sol humide et riche en nitrates	Bident triparti	2.5.2	22.33 + 24.52
Prairies	Prairies humides	*>S' **impossibilité** de distinguer **les 2 propositions**, indiquer le n° de réf. >*	10	Prairie humide indéterminée			
		Praine à Molinie	11	Pres à litière ou comme la canche bleue (*Molinia caerulea*)	Canche bleue, Molinie littorale	2.3.1	37.31
		Prairie à Populage	12	Prairies et pâturages humides à végétations luxuriante (présents également le long des petits ruisseaux)	Populage (*Caltha palustris*)	2.3.2	37.21
	Prairies-pâturées ou fauchées	*>S' **impossibilité** de distinguer **les 2 propositions**, indiquer le n° de réf. >*	13	Prairie de pâture ou de fauche (si non parvenu à les distinguer)			
		Prairie de fauche	14	Tapis herbacé dense et continu (plusieurs coupes par années)	Fromasse (*Arrhenatherum elatius*)	4.5.1	38.22
		Prairie de pâture	15	Tapis herbacé discontinu, dominance de plantes à stolons (gazonnement par bétail)	Crépide, Véronique	4.5.3	38.1
	Pelouse	Gazon artificiel, terrains de sport, milieu urbain, etc.	16	Pelouses artificielles, ensemencement après terrassement, prairie temporaire ou terre ensilée, etc.	Pâturin, Ivraie, Agrostide	4.0.2	
		Talus de route	16b	Ensemencement après terrassement à basse altitude		4.0.3	
	Prairies sèches	*>S' **impossibilité** de distinguer **les 2 propositions**, indiquer le n° de réf. >*	17	Prairie sèche indéterminée			
		Pelouse sèche médio-européenne + végétation des dalles calcaires	18	Tapis de graminées discontinu (Xerobromion) + végétation de dalles rocheuses	Brome, Crassulescentes	4.1 + 4.2.2	34.11 - 34.33
		Pelouse mi-sèche médio-européenne (mesic)	19	Tapis herbacé continu de graminées **et présence de légumineuses**	Brome, Trèfle, Esparcette	4.2.4	34.32
Friches			20	Talus, terres agricoles à l'abandon, sols riches en nutriment et relativement secs	Ombellifères, Silybme, Origan, Onopordo, Verge d'or, Tanaisie	4.6.+7.1.4.+7.1.5 +7.1.6 .6.2.4	87.2
Rochers, éboulis		Alluvions	21	Végétation herbacée clairsemée sur cailloux (galets, sables grossiers (bords des cours d'eau)	Epilobe de Fleischer	3.2.1	24.22
		Eboulis	22	végétation de pierriers	Tabouret, Saxifrage	3.3	61
		Gravières	22b	Gravières artificielles, exploitation			
Strate arbustive		Mégaphorbiaie	23	Biotope pionnier à potentiel forestier	Belladone, Epilobe ..	5.2	31.8712
		Roncier	23b	Biotope pionnier, abandon cultural	**Roncier**, Epilobes...	5.3.4	
		Buissons - arbustes	24	Formation arbustive, manteaux forestiers, recolonisation de lisières	Prunellier, Aubépine, Cornouiller, Noisetier ..	5.3.2+5.3.3+5.3.5	31.812
		Cordon boisé « bois haie »	25	Cordon d'espèces ligneuses (arbres + buissons), couloir potentiel pour la faune	Charme, Chêne, Laiche	6.3.3.1	
Forêts	Sylviculture de feuillus	Plantation de feuillus	26	Sylviculture peu diversifiée ou pépinière (ne comprend pas les **arbres fruitiers = n° réf 40**)		6.0.1 + 8.1.1	83.32
	Sylviculture de conifères	*>S' **impossibilité** de distinguer **les 2 propositions**, indiquer le n° de réf. >*	27	Sylviculture peu diversifiée mais indéterminée de conifères		6.0.2 + 8.1.2	83.31
		Plantation de pins	28	Sylviculture de pins			
		Plantation de sapins ou d'épicéas	29	Sylviculture de sapins ou d'épicéas			
	Forêts humides	Forêts mixtes de bords de rivières (zones humides mais non inondables)	30b	Bas de pentes, ripisylve			
	Forêts inondables	*>S' **impossibilité** de distinguer **les 3 propositions**, indiquer le n° de réf. >*	30	Formations présentes aux bords et dans les plaine d'inondation des cours d'eau non distincts			
		Saulaie blanche des rives et saulaie buissonnante alluviale	31	Formations présentes sur **les rives** ou colonisant les **bancs d'alluvions** dans le **lit** des cours d'eau (voir **n° réf 6** pour les saulaies marécageuses). Le couvert est souvent discontinu dans la saulaie alluviale.	Saule blanc, Saule drapé et Saule pruineux	6.1.2 + 5.3.6	44.13 + 44.11
		Aulnaie alluviale	32	Cordon boisé en amont de la saulaie alluviale résultant de la colonisation de la plaine d'inondation.	Aulne, Frêne d'hiver (*F. hyemalis*)	6.1.3	44.2
		Frênaie humide	33	En marge de la plaine d'inondation des cours d'eau. Comprend une grande variété d'essences	Frêne, Chêne rouvre, Orme, Tilleul	8.1.4	44.3
	Forêts mixtes à prédominance de feuillus	*>S' **impossibilité** de distinguer **les 2 propositions**, indiquer le n° de réf. >*	34	Forêt mixte indéterminée			
		Hêtraie claire des milieux ardes et hêtraie tempérée de basse altitude	35	Prédominance du hêtre sur les autres essences de feuillus en présence	Céphalanthère, Gaillet, Hêtre	8.2.1+8.2.3	41.16+41.13
		Hêtraie à sapin de l'étage montagnard	36	Formation où domine le hêtre avec mélange d'épicéa ou et du sapin en proportions variables	Hêtre, Sapin blanc, Epicéa	8.2.5	41.18
		Tillaie	37	Prédominance du Tilleul	Tilleul	8.3.2	41.45
		Chênaie à charmes	38	Chênaie de plaine	Chêne sessile, rouvre	8.3.3	41.2
		Forêt mixte à prédominance de Chêne	38b	peu, voir pas de Charme			
		Chênaie acidophile	38c	Chênaie à sous-bois pauvre en buissons mais tapis herbacé bien développé	Chêne, **Pteridium aquilinum**	8.3.6	41.5
		Chênaie buissonnante (-touss)	39	Chênaie des coupes rocheuses	Chêne pubescent	8.3.4	41.71
		Forêt secondaire de robiniers	40	Formation secondaire résultant souvent de plantation. Peut aussi coloniser spontanément des friches et des décombres (plante grimpantes souvent abondantes)	Robinier, Sumac (*Rhus typhina*)	8.3.9	83.324
	Forêts mixtes ou uniformes à prédominance de conifères	Pinède de transition	41	Forêt mixte à **prédominance de Pins**	Pin sylvestre, Chênes et autres essences de feuillus		
		Pinède à Molinie	41b	Pinède d'arbres bas et clairsemés à **grandes graminées**	Pin sylvestre, **Molinia arundinacea**	8.4.1	42.54
		Pinède	41c	Forêt claire à dominance de pins dans les **milieux extrêmes** défavorables aux autres essences, **arides**	Pin sylvestre		
		Pessière, Sapinière	42	Form. de l'étage montagnard pouvant descendre localement à 500m avec mélange épicéas et sapins	Epicea, sapin	8.6.1	42.11-13
Plantations, champs, cultures		Verger de fruitiers	43	Espace de terrain dévolu à la culture d'arbres fruitiers		8.1.4 + 8.1.5	83.15 - 83.22
		Vigne	44	Lianes de la famille des *Vitaceae* cultivées pour leurs fruits en grappes, le raisin		8.1.6	83.21
		Culture sarclée, jardin, petits fruits	45	Petites cultures particulières occupant des surfaces restreintes de terrain		8.2.3 + 8.1.7	82
		Culture intensive maraîchère	46	Surfaces pour la production de légumes, fruits, herbes et fleurs destinés à l'alimentation		8.2.1	82
		Culture intensive céréale	47	Surfaces vouées à la production céréalière		8.2.1	82

Tableau 1 : Liste des milieux naturels retenus pour les relevés de terrain avec code de saisie (MN) et équivalence Delarze et Corine Biotope. Document téléchargeable ici.

Après des journées de test de la technique, six journées de terrain ont été effectuées dans le cadre de ce mandat par des membres d'associations françaises (Frapna Haute Savoie, Apollon74) et Suisse (Pro Natura Genève). Cette technique a permis de renseigner 11,8 km^2, 1'675 objets pour 42 milieux naturels différents.

Ces données ont été ajoutées aux données déjà disponibles. Au total, l'apprentissage du modèle semi-automatisé de cartographie s'appuie sur 32 km2, 2'990 objets et 62 classes de milieux naturels (Figure 8).

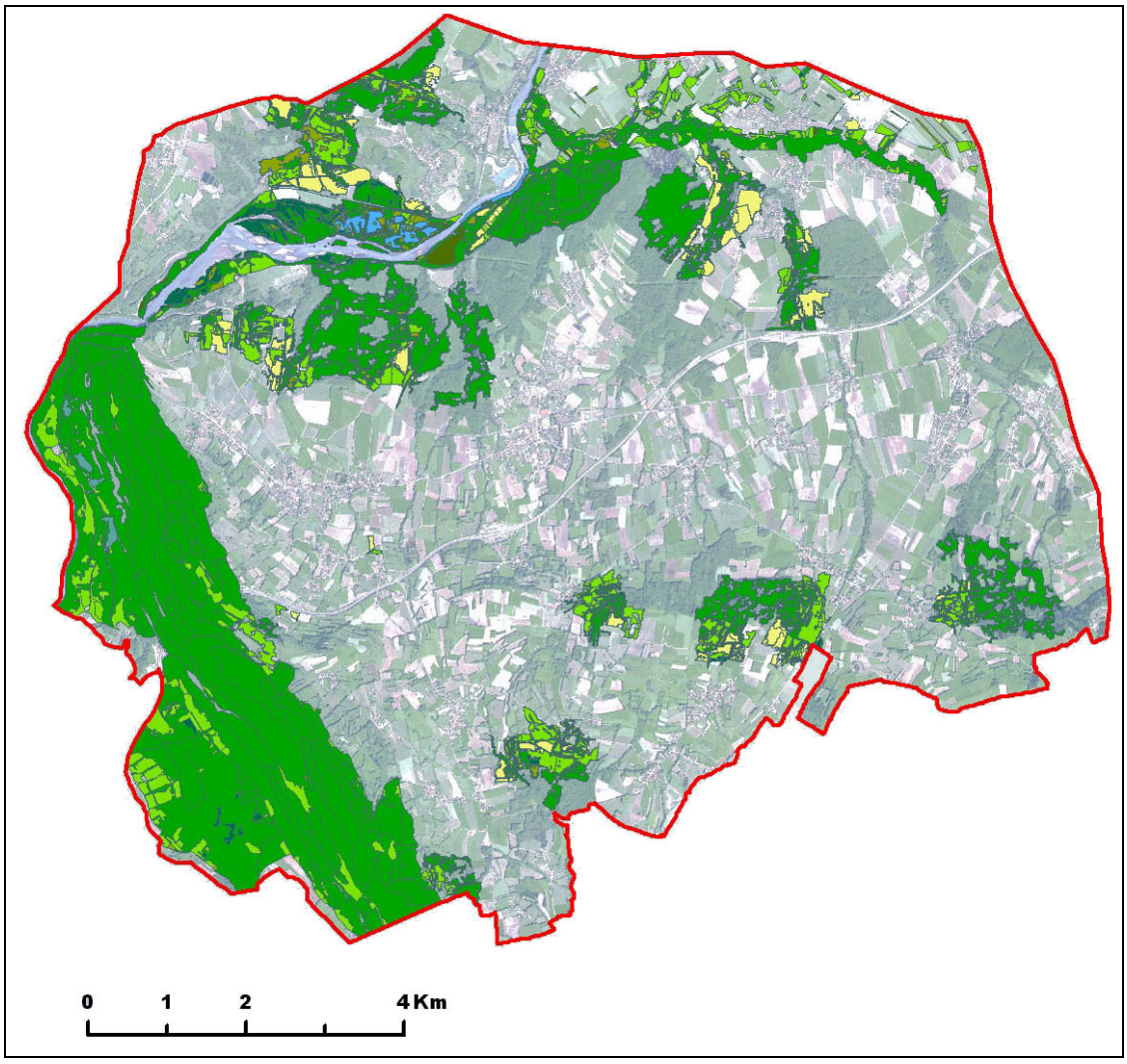


Figure 8 : Données sur les milieux naturels regroupées et acquises durant le projet.

On note une meilleure répartition des zones connues suite à l'inventaire complémentaire de terrain en particulier dans le domaine agricole.

4. Carte de couverture du sol CSAgglo

La mosaïque SPOT printemps-été 2004-2005 (à 5-10m de résolution; Figure 9), le modèle numérique d'altitude (MNA[1]), ainsi que des couches vectorielles du cadastre ont servi à l'élaboration de la carte de couverture du sol de l'agglomération (CSAgglo).

La méthodologie s'inspire de l'expérience genevoise sur la cartographie de la couverture du sol à très haute résolution du canton de Genève, à partir d'imagerie aérienne. Ces couches sont toutes deux disponibles sur le Système d'Information du Territoire Genevois (SITG; www.sitg.ch).

La méthode cartographique est dite multisources (vectorielle, spectrale), semi-automatique, et effectuée par analyse en mode objet.

Une cartographie à 26 classes a ainsi pu être dérivée, constituant une couche harmonisée pour l'ensemble de l'agglomération (Figure 10).

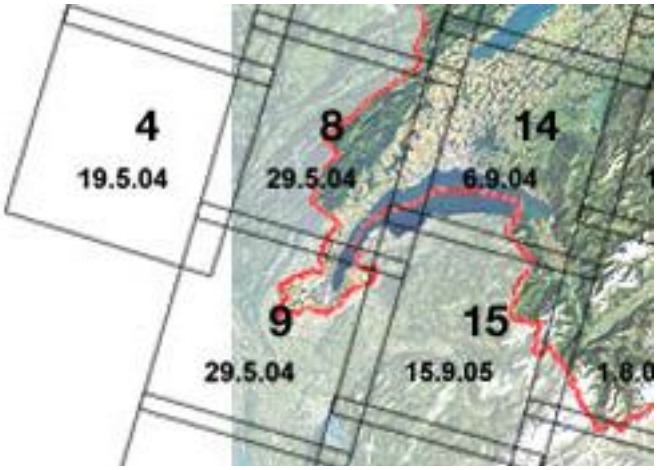


Figure 9 : Scènes SPOT recouvrant le périmètre AFVG avec leurs dates d'acquisition.

4.1. Légende

Forêt
- forêt feuillus
- forêt mixte
- forêt conifères

Surface Agricole
- culture intensive - peu dense
- culture intensive - dense
- pâturage de montagne
- surfaces vertes
- terre labourée
- verger, vigne

Surfaces avec Peu de Végétation
- roche nue/éboulis
- végétation peu abondante

Urbain et Surfaces Dures
- bâtiment: < 80 m2
- bâtiment: 80-500 m2
- bâtiment: >500 m2
- chemin de fer
- routes
- parkings
- pourtour des bâtiments
- autres surfaces dures
- terrain de sport

Végétation Urbaine
- végétation urbaine: gazon
- végétation urbaine: mixte
- végétation urbaine: arbre

Autres
- rivière
- lac et étang
- neige

[1] MNA à 50 m de résolution fourni par l'IGN.

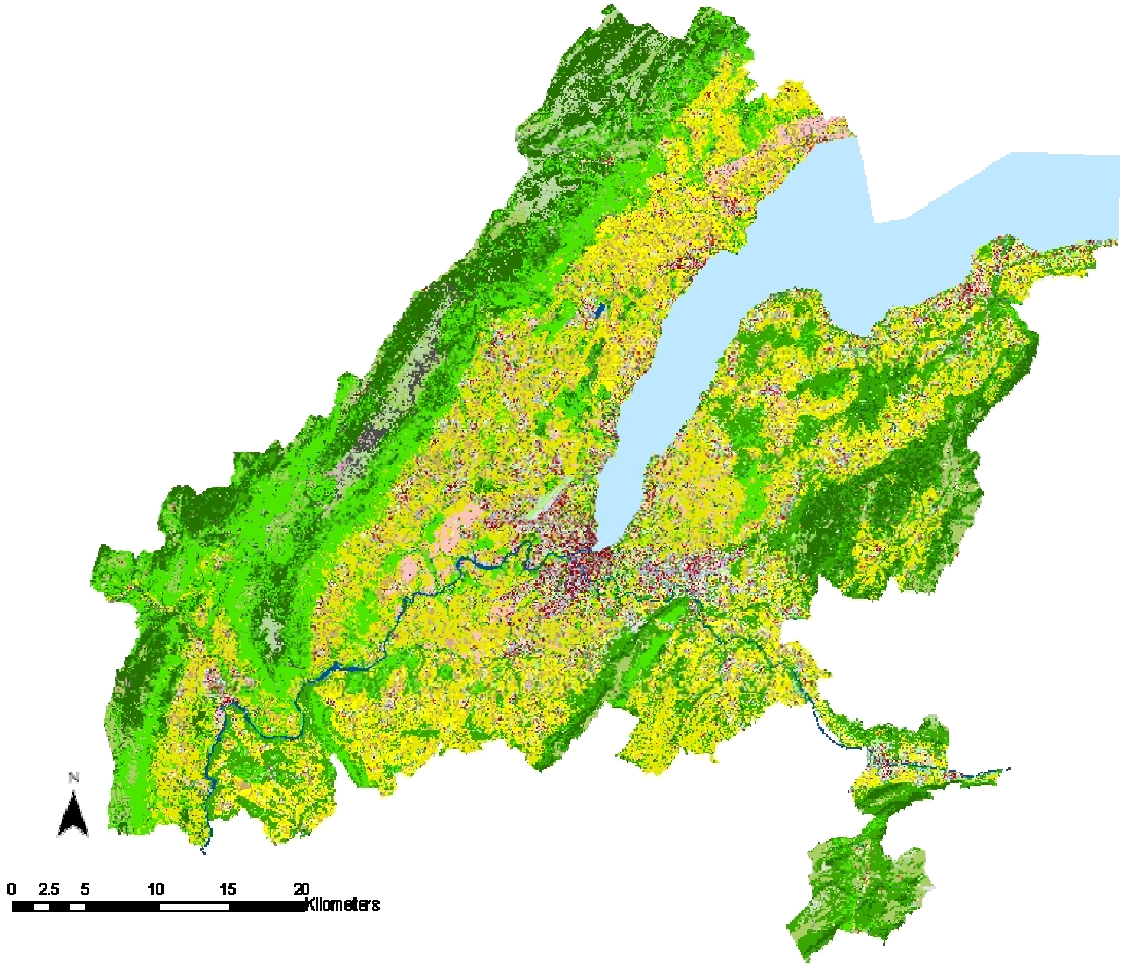


Figure 10 : Carte de couverture du sol de l'agglomération franco-valdo-genevoise (légende à 26 classes).

4.2. Intégration de la CSAgglo

La cartographie des milieux naturels s'inscrit comme première application directe dérivée de la CSAgglo, à laquelle elle doit être entièrement compatible.

Afin d'intégrer la cartographie CSAgglo à notre méthodologie, une adaptation de la légende et des corrections manuelles grossières ont été nécessaires.

4.2.1. Imprécision de classification

CSAgglo est un produit global centré sur les thèmes d'utilisation et de couverture du sol (de type CORINE). Certaines imprécisions de classification, importantes pour la cartographie des milieux naturels, ont ainsi pu être observées.

Effectivement, en l'absence d'un modèle numérique de hauteur[2] il est très difficile de distinguer certaines surfaces herbeuses de forêts de feuillus, uniquement à partir de l'imagerie SPOT, conduisant à un certain nombre d'erreurs de classification.

Les faiblesses les plus importantes, influençant directement l'identification des milieux naturels, sont l'absence de certains cordons boisés, des erreurs de classification de surface herbeuse en surface arborée, et vice-versa et enfin la confusion entre les champs agricoles et les prairies naturelles et pâturages.

Egalement, les zones ombragées, influençant la distinction entre les conifères et les feuillus, n'ont pas été prises en considération. Certaines confusions entre ces deux classes sont alors possibles.

4.2.2. Simplification de la légende

Afin de faciliter l'intégration de la CSAgglo dans notre démarche, une simplification de la légende s'est révélée utile (Tableau 2).

Ainsi les classes dites « urbaines » ont toutes été regroupées sous la classe « à ignorer », sauf la classe « pourtour de bâtiment » constituée de mixels (pixels mélangés de végétation et surfaces dures) qui a été conservée.

La classe "neige" a été supprimée, puisqu'il s'agit d'une classe non pérenne, et associée à la classe "végétation clairsemée".

Finalement, toutes les cultures ont été regroupées, sauf les vergers que l'on a préféré ignorer.

Cs_Agglo		AggloVSL_simple		segmentation_VSL
Classes	***Description[3]***	***Regroupement***	***Code***	***Class_name***
< 80 m2	Dérivé du shp	Bâtiment	1	à ignorer
80-500	Dérivé du shp	Bâtiment	1	à ignorer
> 500	Dérivé du shp	Bâtiment	1	à ignorer
Chemin de fer	Dérivé du shp	Chemin de fer	1	à ignorer
Culture dense	Ndvi + élevé	**Terre arable**	**3**	**Terre arable**
Culture peu dense	Ndvi – élevé	**Terre arable**	**3**	**Terre arable**
Classes	***Description[4]***	***Regroupement***	***Code***	***Class_name***
Forêt conifères	Peut être surestimé dans les zones d'ombre	**Forêt conifères**	**4**	**Forêt conifères**
Forêt feuillus		**Forêt feuillus**	**5**	**Forêt feuillus**
Forêt mixte	Mélange feuillus-conifères	**Forêt mélangée**	**6**	**Forêt mélangée**

[2] Le MNH (modèle numérique de hauteur) est égal à la différence entre le MNA (modèle numérique d'altitude) et le MNS (modèle numérique de surface).
[3] Description très générale sur la méthode de classification, la source ou la définition de la classe.
[4] Description très générale sur la méthode de classification, la source ou la définition de la classe.

Cs_Agglo		AggloVSL_simple		segmentation_VSL
Lac et étang	Eaux stagnantes (shp, classif. auto&manuelle)	**Plans d'eau**	**7**	**Plans eau**
Neige	neige effémaire (classe à supprimer)	**Végétation clairsemée**	**17**	**Végétation clairsemée**
Parking	shp	Parking	1	à ignorer
Pourtour de bâtiment	Classe mixte (mixel végétation-béton)	**Tissu urbain**	**9**	**Tissu urbain**
Pâturage de montagne	Surface herbeuse à partir d'une certaine altitude	**Pelouse et pâturage naturels**	**-**[5]	**-**
Rivière	Délimitation assez grossière (aucune distinction des zones alluviales végétalisées)	**rivière**	**10**	**rivière**
R.nue/éboulis	Les gravières peuvent être comprises dans cette classe (délimitées manuellement)	Roche	1	à ignorer
Route	shp	Route	1	à ignorer
Surface dure		Surface dure	1	à ignorer
Surface verte	A proximité de la zone habitée et cultivée (y compris Golf délimités à la main)	**Prairie**	**14**	**Prairie**
Classes	***Description***[6]	***Regroupement***	***Code***	***Class_name***
Terrain sport		Terrain sport	1	à ignorer
Terre ouverte	Souvent terre agricole labourée	**Terre arable**	**3**	**Terre arable**
Verger	Vignes et vergers	Vigne et verger	1	à ignorer
Végétation peu abondante	Cette classe se retrouve plutôt en altitude et est moins végétalisée qu'un pâturage, voir même pas du tout (≈sol nu).	**Végétation clairsemée**	**17**	**Végétation clairsemée**

[5] La classe « pâturage de montagne » était absente de la classification pour le périmètre VSL (critère d'altitude)
[6] Description très générale sur la méthode de classification, la source ou la définition de la classe.

Cs_Agglo		AggloVSL_simple		segmentation_VSL
Végétation urbaine gazon[7]	Polygones adjacents aux bâtiments et pourtour de bâtiment avec un certain NDVI, très lumineux	**Espace vert urbain ; gazon**	**19**	**Evu**[8] **gazon**
Végétation urbaine arbre	Polygones adjacents aux bâtiments et pourtour de bâtiment avec un certain NDVI, moins lumineux	**Espace vert urbain ; arbre**	**18**	**Evu arbre**
Végétation urbaine mixte	Classe intermédiaire entre Evu gazon et Evu arbre.	**Espace vert urbain: mixte**	**20**	**Evu mixte**

Tableau 2 : Regroupement des classes CSAgglo en utilisant une nomenclature compatible avec la légende européenne CORINE landcover (voir annexe 1, http://www.ifen.fr/bases-de-donnees/occupation-des-sols-corine-land-cover/nomenclature.html).

Seuls les thèmes de CSAgglo utiles pour la cartographie des milieux naturels seront retenus pour la segmentation (cf chapitre Segmentation) (en bleu dans le Tableau 2), soit:

1. Espace vert urbain ; arbre;
2. Espace vert urbain ; gazon;
3. Espace vert urbain ; mixte;
4. Forêt conifères;
5. Forêt feuillus;
6. Forêt mélangée;
7. Pelouse et pâturage naturels;
8. Plan d'eau;
9. Prairie;
10. Rivière;
11. Terre arable;
12. Tissu urbain;
13. Végétation clairsemée.

4.2.3. Zones non classifiées

Il a fallu également composer avec des zones non classifiées tombant dans le secteur Vuache-Sion-Laire (Figure 11). Les raisons de ces hiatus sont multiples :

A : Les rivières Rhône et Arve n'ont pas été classifiées dues à la délimitation des départements sur les rives (cf. couches vectorielles du SITG);

[7] Les catégories gazon, arbre et mixte sont très approximatives, principalement distinguées par un critère de luminosité.

[8] Espace Vert Urbain.

B : Zone absente du périmètre officiel de l'agglomération franco-valdo-genevoise.

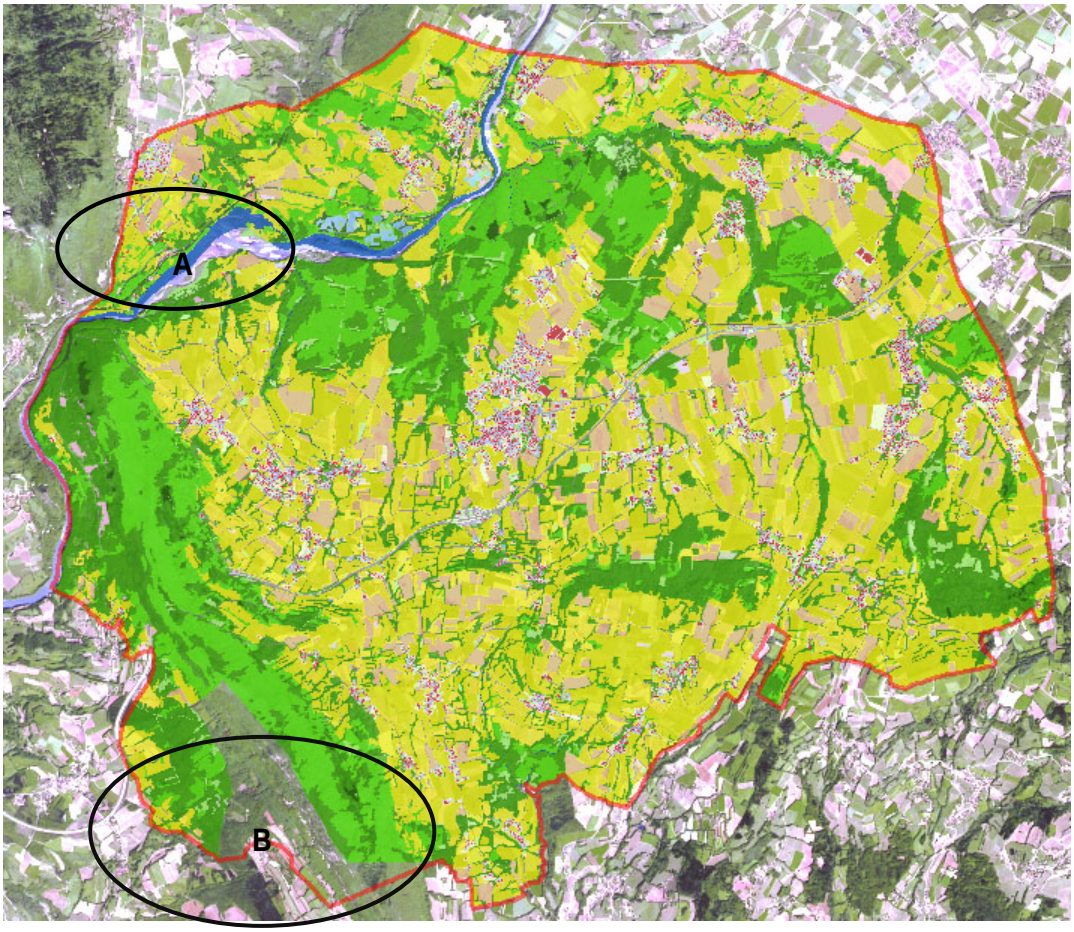


Figure 11 : Zones non couvertes par la CSAgglo.

4.2.4. Décalage (département de l'Ain)

L'utilisation de la version beta de la CSAgglo a révélé un léger décalage entre la classification et l'image SPOT, pour le département de l'Ain, générant un certain nombre d'objets supplémentaires lors de la phase de segmentation. Ce problème devrait être corrigé dans la version finale.

5. Méthode de cartographie proposée

5.1. Situation géographique

Le périmètre d'étude comprend des massifs montagneux et des territoires de plaine situés entre l'Arve et le Rhône. Délimité par le Vuache et la Laire d'ouest en est, il s'étend de Chancy, au nord, au Mont de Sion au sud et s'inscrit entièrement dans la scène SPOT datant du 29 mai 2004 (Figure 12).

D'une surface de 113 km^2, approximativement 5.5 % du périmètre total de l'agglomération franco-valdo-genevoise (2'062 km^2) est représenté.

Composé de grandes entités agricoles, d'espaces adjacents aux cours d'eau, d'un continuum vert important, le tout entrecoupé par l'autoroute A40, la zone d'étude s'est révélée être représentative de l'ensemble de l'agglomération pour développer notre méthodologie (Figure 12).

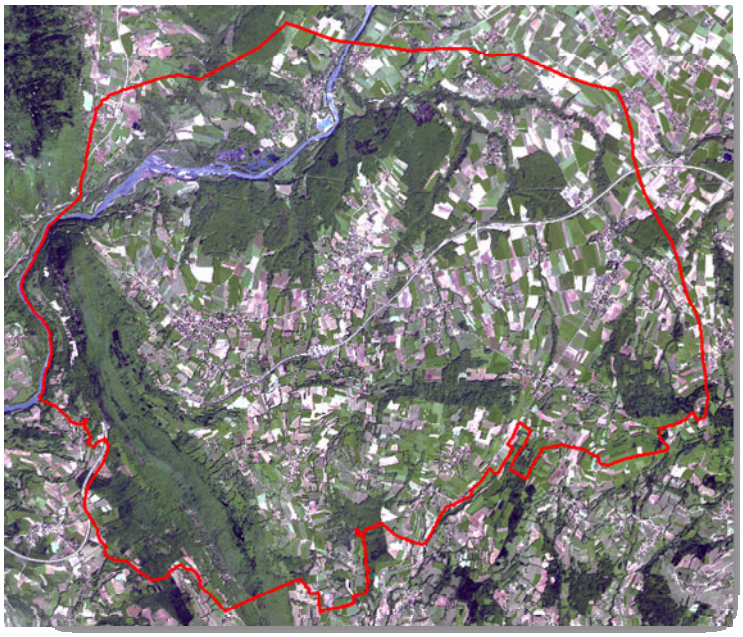


Figure 12 : Périmètre d'étude VSL superposé à la scène SPOT (29 mai 2004).

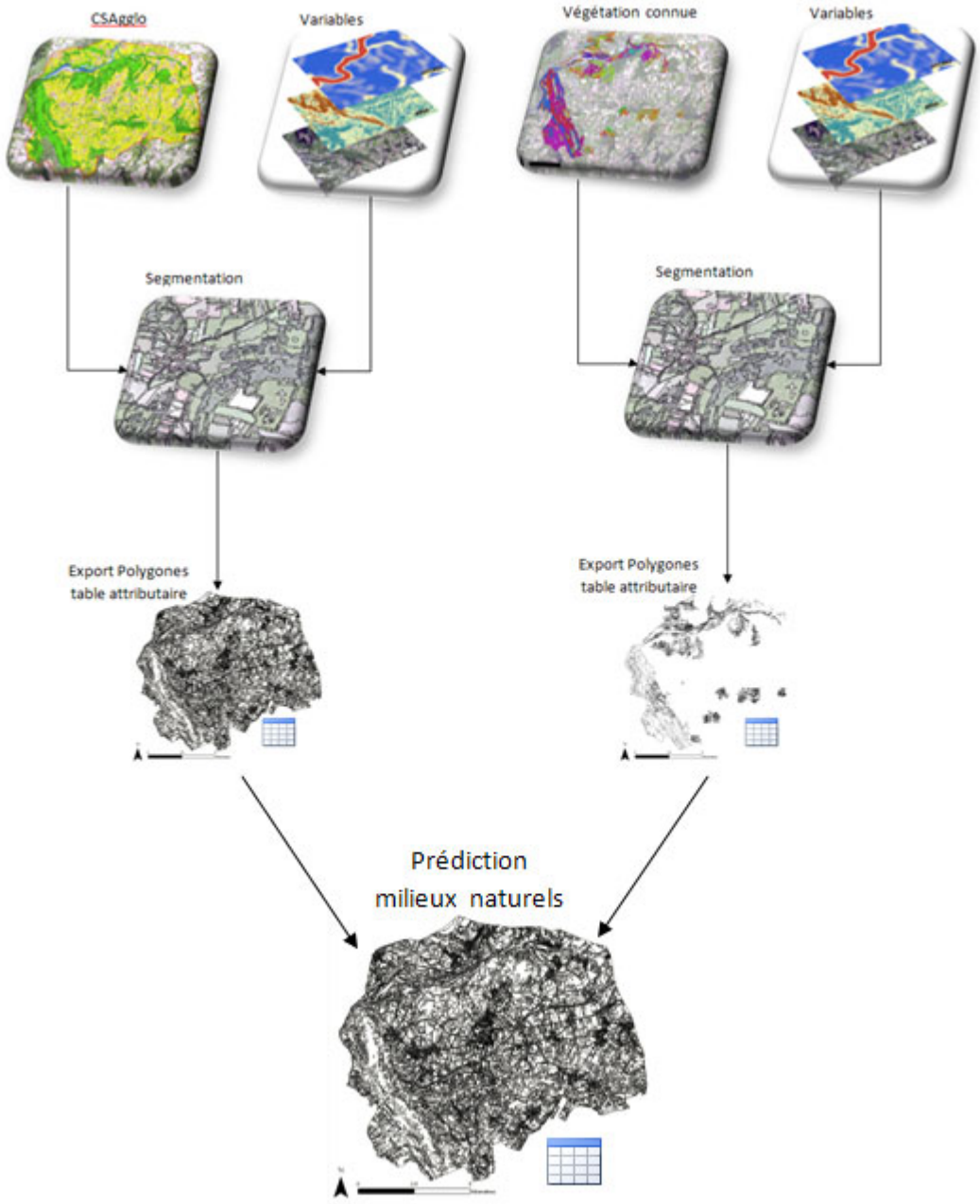
Dans le contexte d'un développement rapide et important de la région, la carte des milieux naturels est nécessaire pour évaluer l'impact d'une urbanisation future accompagnée de ses effets de fragmentation sur le paysage.

En vue de préserver la biodiversité, il est impératif de maintenir une continuité paysagère et des connexions biologiques. Cette carte permettra d'identifier des zones de conflits entre l'extension de l'urbanisation et les entités naturelles ou agricoles à préserver.

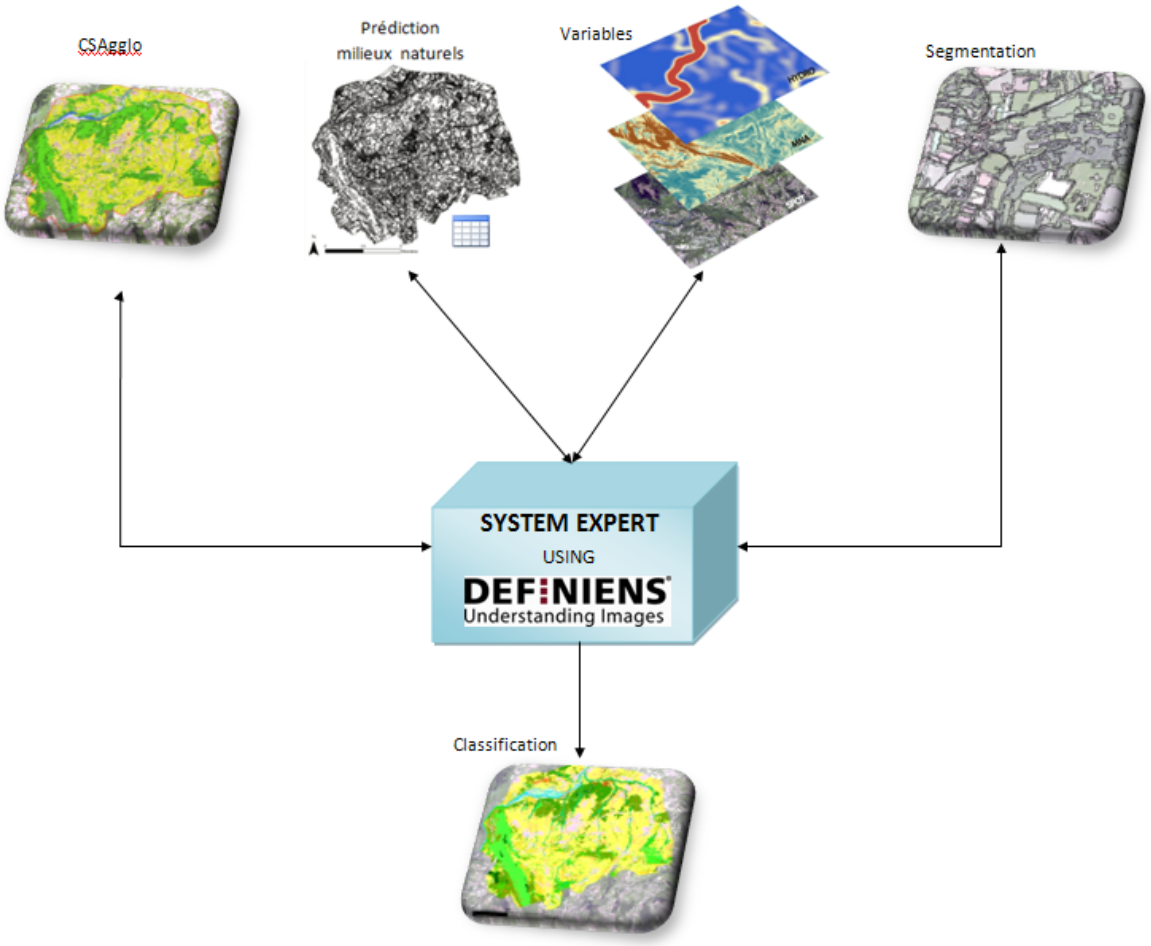
Contribuant ainsi à une gestion du territoire responsable et avisée, cette carte permettra de sensibiliser les acteurs de l'aménagement à la préservation des milieux naturels et permettra ainsi de lutter contre le fractionnement et le mitage du paysage par l'urbanisation.

5.2. Organigrammes de la méthode

5.2.1. Phase 1 : MODELISATION



5.2.2. Phase 2 : CLASSIFICATION (Système Expert)



5.3. Variables spectrales utilisées

Bien que des orthophotos à 50 cm de résolution soient disponibles à l'échelle de l'agglomération, les données spectrales ont toutes été dérivées de la scène SPOT datant du 29 mai 2004 d'une résolution de 5 m.

Plusieurs raisons ont orienté ce choix :

- Compatibilité avec la CS_agglo (produite à partir de la mosaïque SPOT 2004-2005 cf. Figure 9)
- Etendue de la zone d'étude. Uniquement pour le secteur Vuache-Sion-Laire, représentant ~5 % du périmètre AFVG, il aurait fallut traiter près de 137 orthophotos (~131 tuiles, 1 km*1 km, pour la Haute-Savoie et l'Ain, ainsi que ~6 tuiles, 3 km*3 km, pour Genève). Un travail à cette échelle nécessiterait une puissance de calcul importante, probablement des traitements sectorisés dus aux variations spectrales entre les différentes tuiles, augmentant considérablement le temps nécessaire à sa réalisation et son coût.
- Absence de bandes dans le spectre de l'infrarouge pour les orthophotos disponible sur le territoire français.

L'utilisation de l'imagerie SPOT aura permis d'extraire les bandes :

- Rouge (R)
- Vert (V)
- Bleu (B)
- Proche Infrarouge (PIR)
- Infrarouge moyen (MIR)

Et les indices suivants :

- NDVI[9] PIR-R / PIR + R
- Brillance R + B + V / 3

5.4. Variables topographiques utilisées

5.4.1. Comparaison ASTER Gdem versus MNA (IGN)

Deux modèles numériques d'altitude sont disponibles pour cette zone, il s'agit du MNA (50 m de résolution) fournit par l'IGN ou l'ASTER *Global Digital Elevation Map* d'une résolution approximative de 30 m, dérivé de scènes multispectrales ASTER fournit par le METI[10] et la NASA (Figure 13).

[9] Normalized Difference Vegetation Index.
[10] Japan's Ministry of Economy, Trade and Industry.

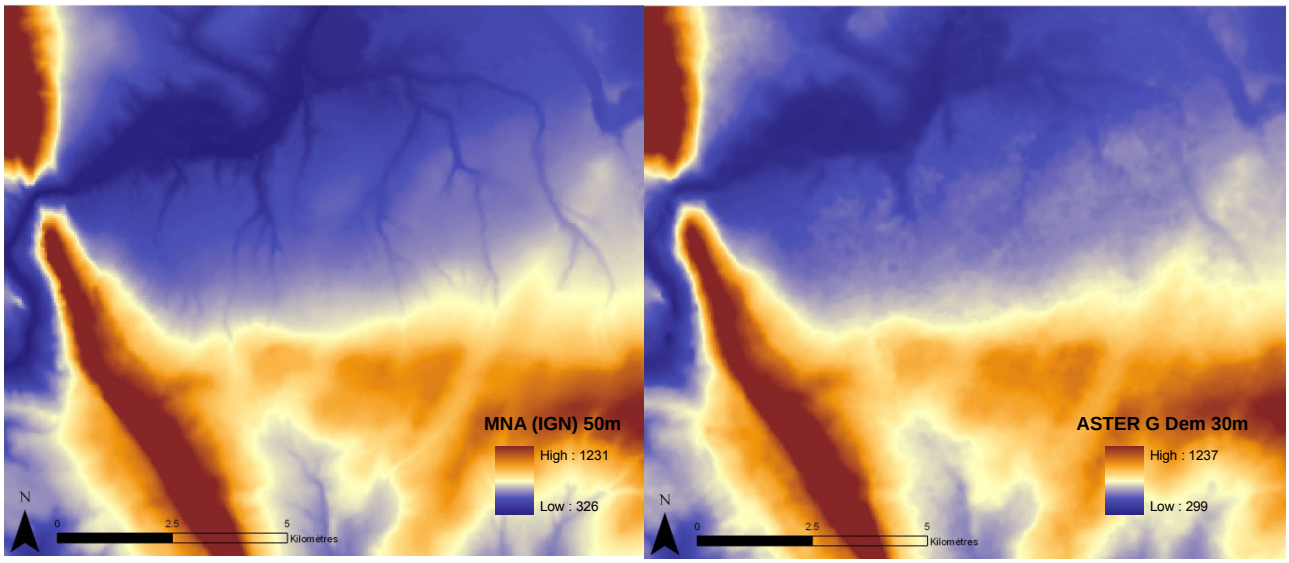


Figure 13 : MNA disponibles sur le périmètre, IGN à gauche, ASTER à droite.

Bien que la résolution soit meilleure pour le second, le MNA fourni par l'IGN semble plus précis, mettant en évidence des structures invisibles sur *ASTER Gdem*.

Il a malheureusement été impossible de les comparer au MNT fournit par Swisstopo, car ce dernier ne recouvrait qu'une toute petite portion de la zone d'étude.

La différence entre le MNA (IGN) et Aster G DEM montre une variation de plus de 277 mètres (+ 98 m et – 179 m; Figure 14).

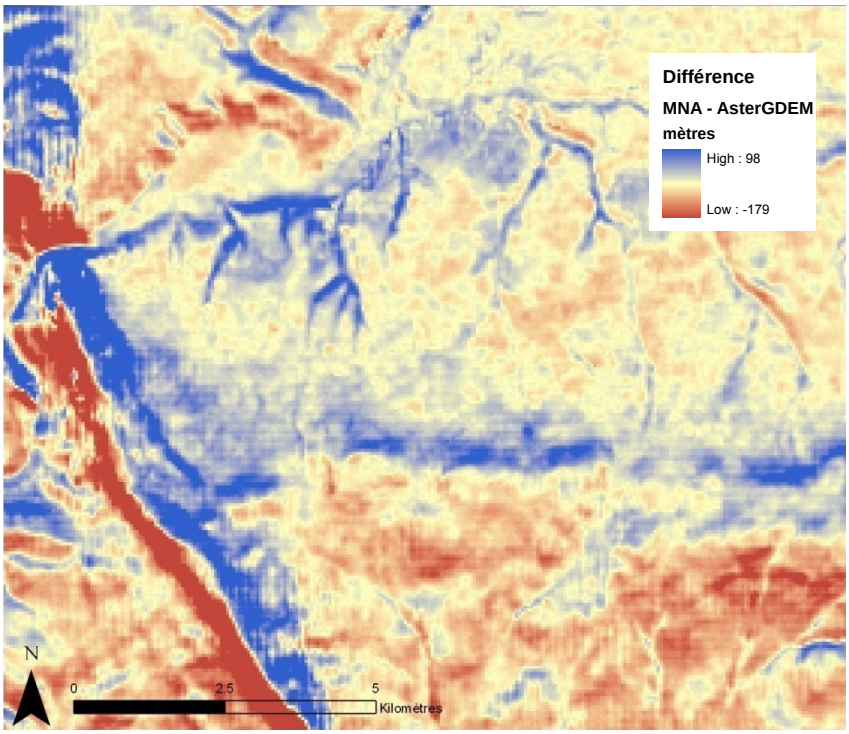


Figure 14 : Différences d'altitudes entre les deux MNA.

Les différences les plus marquées se situent sur les flancs du Vuache et dans les vallées des ruisseaux de Couvatannaz, de Vosogne, de Chênex etc. Le MNA AsterGDEM semble avoir été lissé par rapport au MNA de l'IGN.

Par conséquent, les couches topographiques suivantes ont toutes été dérivées du modèle de terrain fournit par l'IGN:

- Pente;
- Exposition nord (norditude: gradient nord-sud));
- Exposition est (estitude: gradient est-ouest);
- Ombrage.

5.4.2. Calcul d'indices topographiques

Différents indices topographiques ont été calculés sur le MNA à 50 m de résolution, à l'aide de l'extension Jenness Enterprise Topographic Position Index[11]. Seuls les indices topographiques calculés dans un rayon de 100 m et 1000 m ont été retenus (Figure 15 et Figure 16).

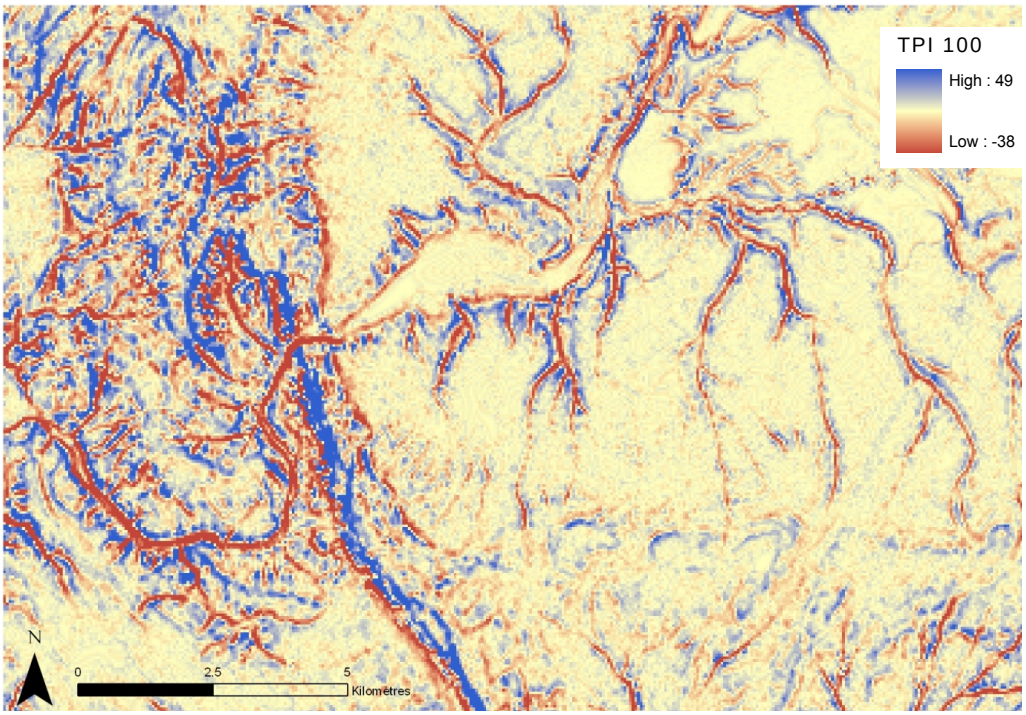


Figure 15 : Indice topographique dans un rayon de 100 mètres.

[11] Jenness, J. 2006. Topographic Position Index (tpi_jen.avx) extension for ArcView 3.x, v. 1.3a. Jenness Enterprises. Available at: http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm.

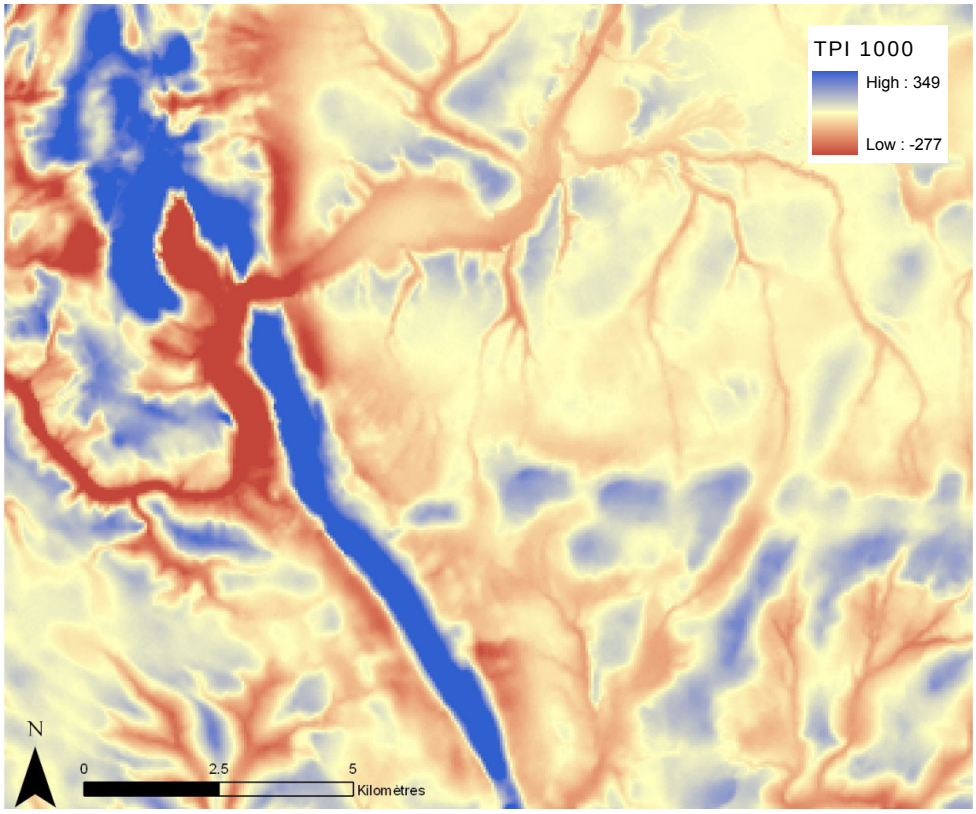


Figure 16 : Indice topographique dans un rayon de 1000 mètres.

5.5. Cartes de densité et distance aux rivières

5.5.1. Carte de densité

Un poids distinct a été attribué aux différents types de cours d'eau, en fonction de leur importance, obtenant ainsi une carte de densité de rivières (Figure 17).

Poids appliqué aux différentes catégories :

- Le Rhône : 100;
- Catégorie 3 : 60 (la Valserine, les Usses);
- Catégorie 4 : 50 (L'Allondon, L'Aire, Le Fornant, l'Annaz…);
- Catégorie 5 : 25 (ruisseau de Chênex, Le Longet, le Nant Trouble, ruisseau de Couvatannaz, …);
- Catégorie 6 : 10 (ruisseau des Foges, ruisseau des Coppets, ruisseau Vosogne, …).

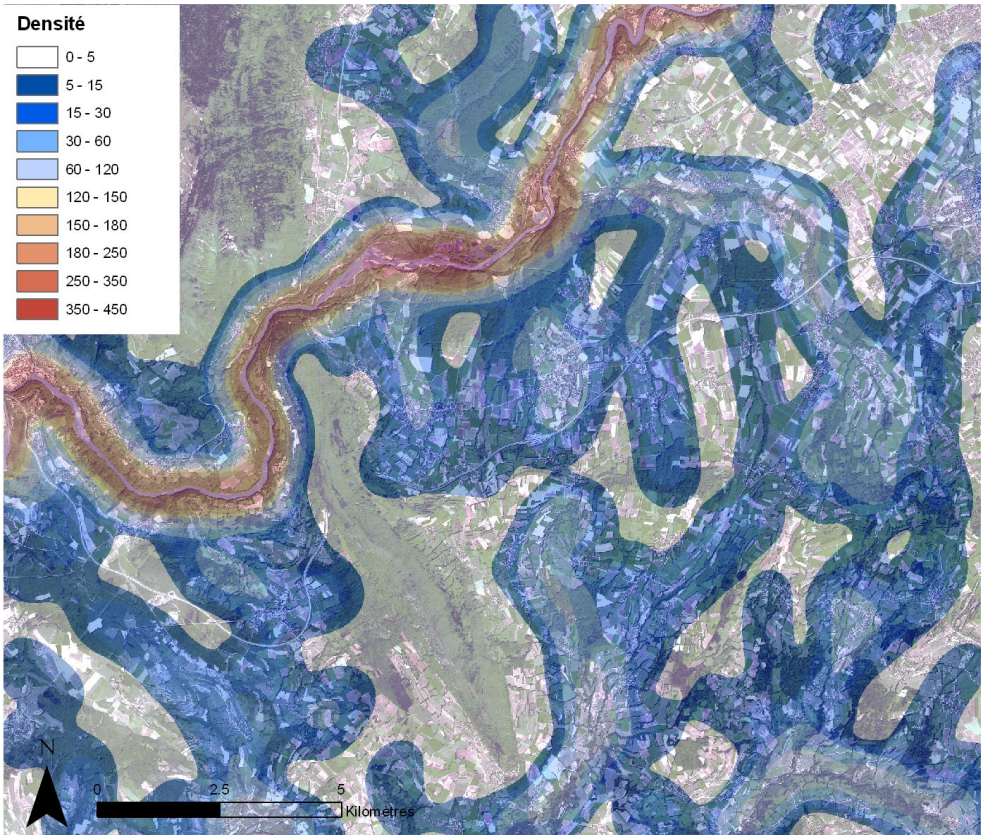


Figure 17 : Carte de densité de rivières.

5.5.2. Carte de distances aux rivières

A partir des couches vectorielles, une carte de distance euclidienne de 0 à 500 m a été dérivée pour l'ensemble des rivières (Figure 18). En revanche, pour le Rhône, une distance plus importante a été retenue (de 0 à 1000 m; Figure 19).

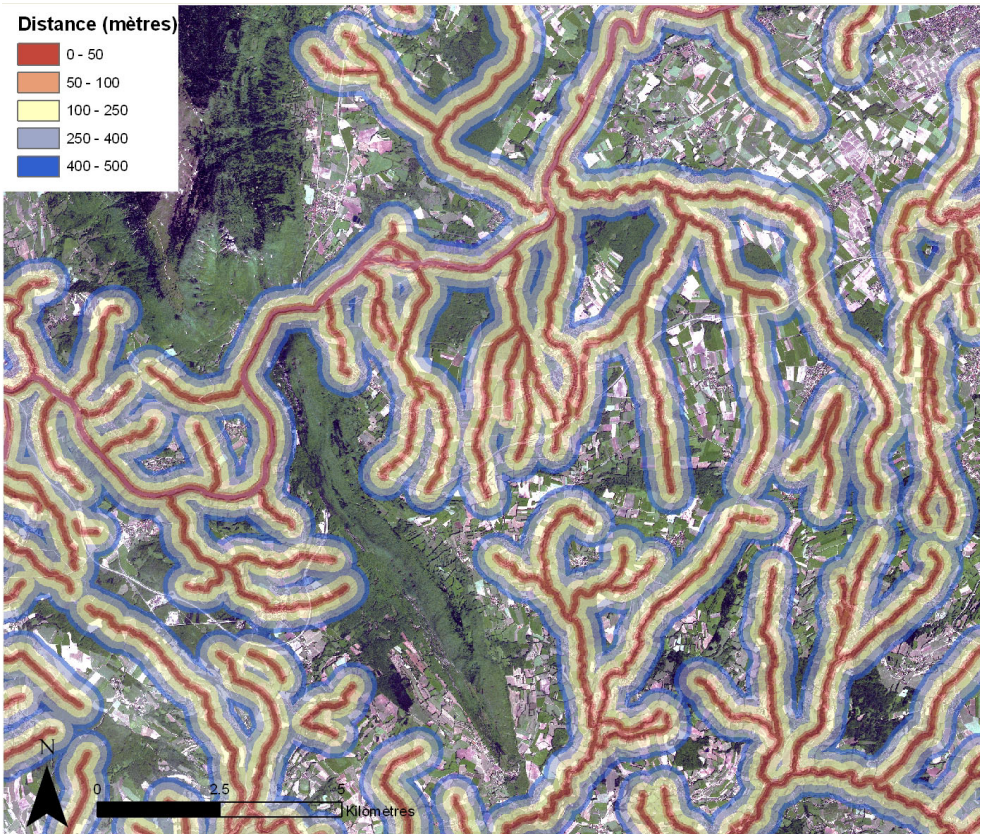


Figure 18 : Carte de distances aux rivières (jusqu'à 500 mètres).

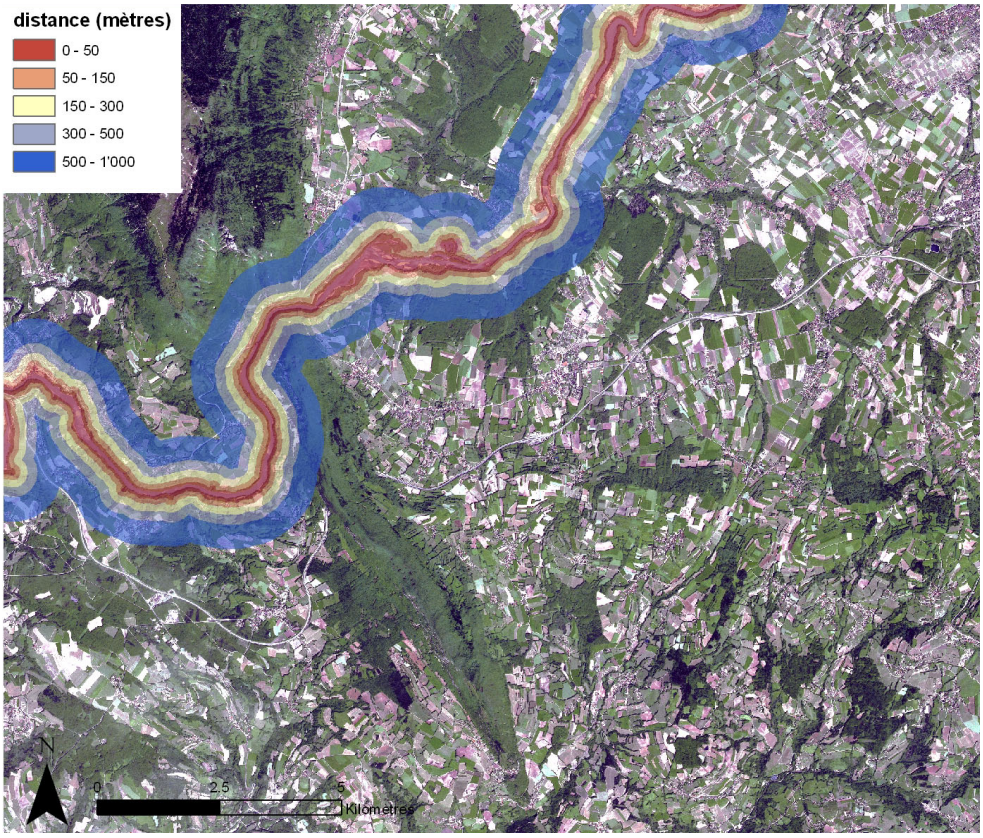


Figure 19 : Carte de distance au Rhône (jusqu'à 1000 mètres).

5.6. Phase I : Modélisation

Avant la segmentation, nous avons veillé à ce que toutes les couches se superposent parfaitement à l'imagerie satellitaire, afin d'éviter d'engendrer un grand nombre d'objets insignifiants lors de la phase de segmentation de l'image.

5.6.1. Segmentation avec Definiens

Couches images utilisées :

- Scène SPOT[12] (Bleu, vert, rouge, PIR, MIR, NDVI);
- MNA (altitude, pente, tpi100, tpi1000, expositions nord et est, ombrage);
- RIVIERES (Densité, distances au Rhône et autres rivières).

Couches vectorielles utilisées[13] :

- Délimitation de la zone d'étude (aoi);
- Couche recensant la végétation connue (cjb);
- CSAgglo simplifiée et partiellement corrigée (cs_agglo).

Procédure 1

1. Segmentation et classification de l'image SPOT (5-10 m de résolution) en fonction des classes de couverture du sol (cs_agglo);
2. Segmentation unique à l'intérieur des objets utiles à la cartographie des milieux naturels : Aoi[14], evu arbre, evu gazon, evu mixte, forêt conifères, forêt feuillus, forêt mélangée, plans eau, prairie, rivière, terre arable, tissu urbain, végétation clairsemée (Figure 20);

[12] Datant du 29 mai 2004

[13] Lorsqu'une couche vectorielle est introduite dans *DEFINIENS*, le logiciel la pixélise afin qu'elle se superpose parfaitement à l'image de référence

[14] Cette classe correspond à des zones non classifiées dans la carte de couverture du sol tombant dans le périmètre VSL

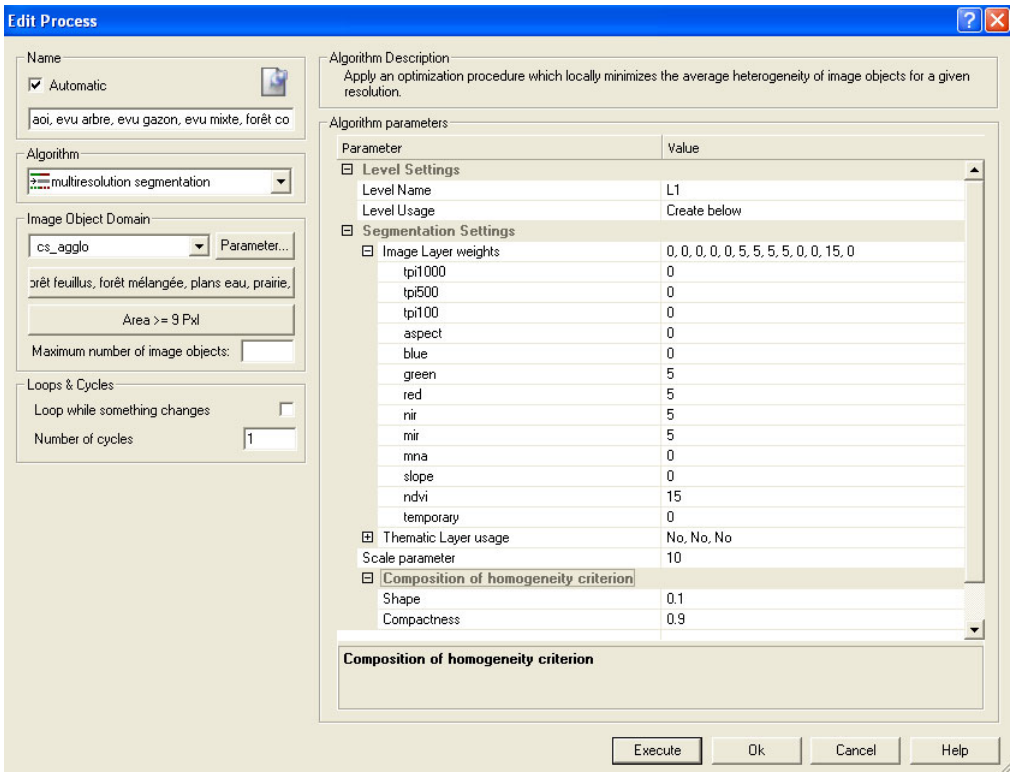


Figure 20 : Critères choisis pour la segmentation du secteur VSL.

3. Fusion des polygones spectralement similaires à l'intérieur de chaque classe;
4. Classification des ombres;
5. Export.

Procédure 2

1. Segmentation de l'image SPOT (5-10m de résolution) en fonction de la couche recensant la végétation connue (cjb), selon les mêmes critères appliqués précédemment;
2. Export.

5.6.2. Exportation de la segmentation

Le logiciel *Definiens* permet d'exporter très facilement et rapidement les polygones accompagnés d'une table attributaire pouvant contenir tous les paramètres disponibles dans le logiciel.

Il est possible d'y associer des indices (par ex. brillance), la moyenne ou la déviation standard des différentes couches (ndvi, rouge, tpi, pente…), les classifications (CSAgglo, ombre, …), les textures à tous les niveaux de segmentation (CSAgglo, milieux naturels, cjb), etc.

Il a dès lors été décidé d'exporter un maximum d'information, à ce stade de l'analyse, nous permettant ainsi de réduire considérablement les temps de calcul lors de l'étape suivante (à l'aide du logiciel *ArcGis*).

5.6.3. Modélisation GRASP dans Splus

Variables spectrales utilisées

Plusieurs variables spectrales ont été préparées afin de tester leur relation avec la présence des habitats naturels cartographiés dans le passé, et compilés au chapitre précédent. Il s'agit de la bande proche infrarouge (PIR), infrarouge moyen (MIR), rouge, verte et bleu, ainsi que l'indice NDVI et la Brillance.

Variables topographiques utilisées

Les variables topographiques choisies dans le cadre de cette étude pilote sont toutes dérivées du modèle numérique de hauteur (DHM) agrégé à une résolution de 5 m. Il s'agit donc de l'altitude, de l'ombrage, de la pente, de l'indice topographique à 100 m et 1000 m.

Variables géométriques utilisées

Les variables géométriques décrivent la forme des unités segmentées en terme de surface, de border index et de shape index.

Modèles statistiques des milieux en fonction des variables explicatives

Les habitats cartographiés servent de base pour établir la relation statistique avec les caractéristiques spectrales et environnementales qui les caractérisent. On utilise l'outil GRASP (Lehmann et al. 2002; 2003) dans Splus pour sélectionner un modèle statistique décrivant la relation entre chaque habitat et son environnement (Figure 21).

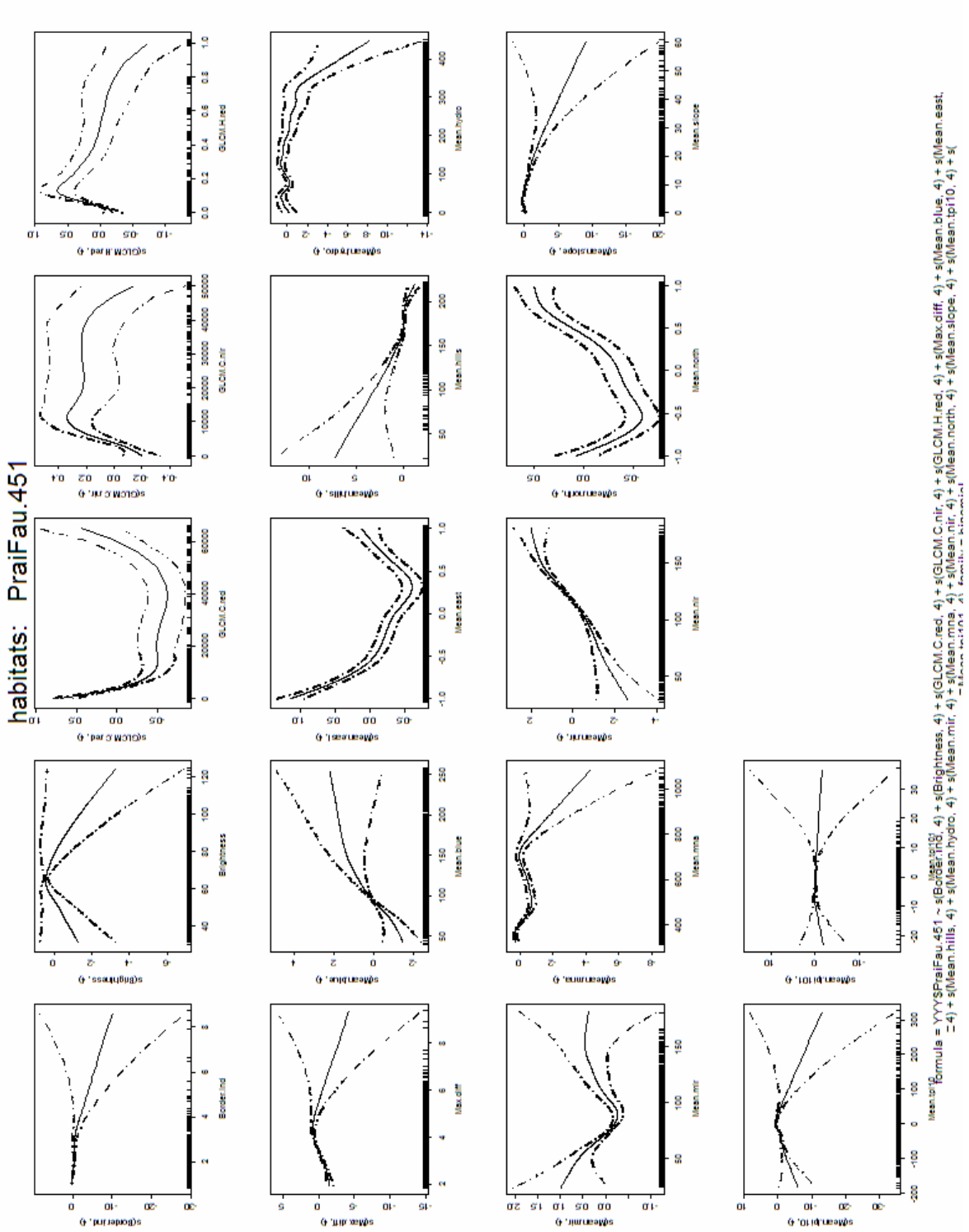


Figure 21 : Modèle GRASP avec les courbes de réponse expliquant la distribution des prairies de fauche (4.5.1).

Les modèles binomiaux en présence-absence d'habitat ont été sélectionnés en utilisant la méthode de sélection CROSS décrite dans Maggini et al. (2006). Les variables corrélées au-delà d'un coefficient r de 0.8 ont été exclues de la procédure de sélection. Le poids des observations des absences a été modifié afin de leur donner le même poids total que celui des présences. Les modèles ont été validés par

validation simple et croisée avec les statistiques de corrélation (r), et d'aire sous la courbe (ROC) (Figure 22).

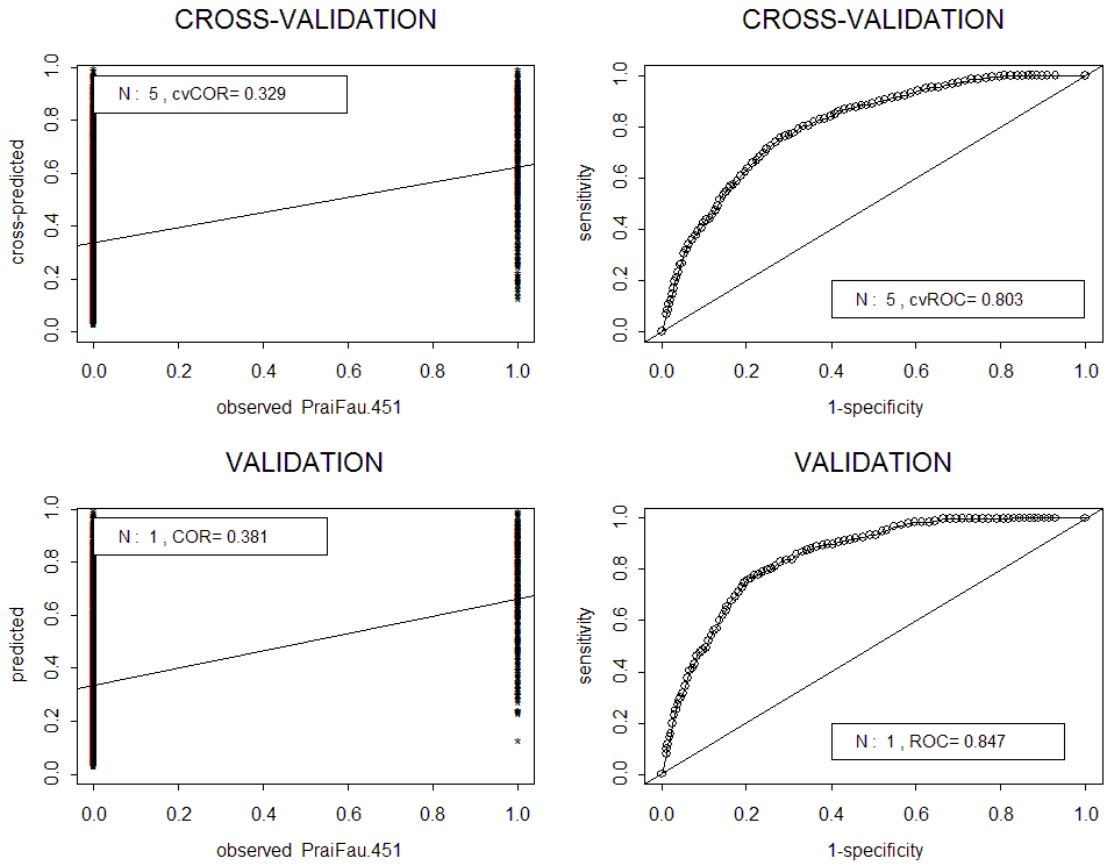


Figure 22 : Validation simple et croisée du modèle des prairies de fauche (4.5.1).

Prédiction spatiales de la distribution des milieux

L'idée principale de l'approche proposée est de modéliser la relation spectro-environnementale pour évaluer la probabilité d'occurrence de chaque habitat au sein de chaque polygone (Figure 23). Ainsi plus un polygone ressemble spectralement et environnementalement à ce milieu plus le score final de cet habitat dans ce polygone sera élevé. La comparaison des scores pour chaque habitat dans chaque polygone permettra ensuite de proposer d'attribuer l'habitat le plus probable au polygone tout en maintenant l'information sur les autres habitats possibles. Il sera possible aussi de ne pas attribuer d'habitat si le polygone est trop éloigné spectralement.

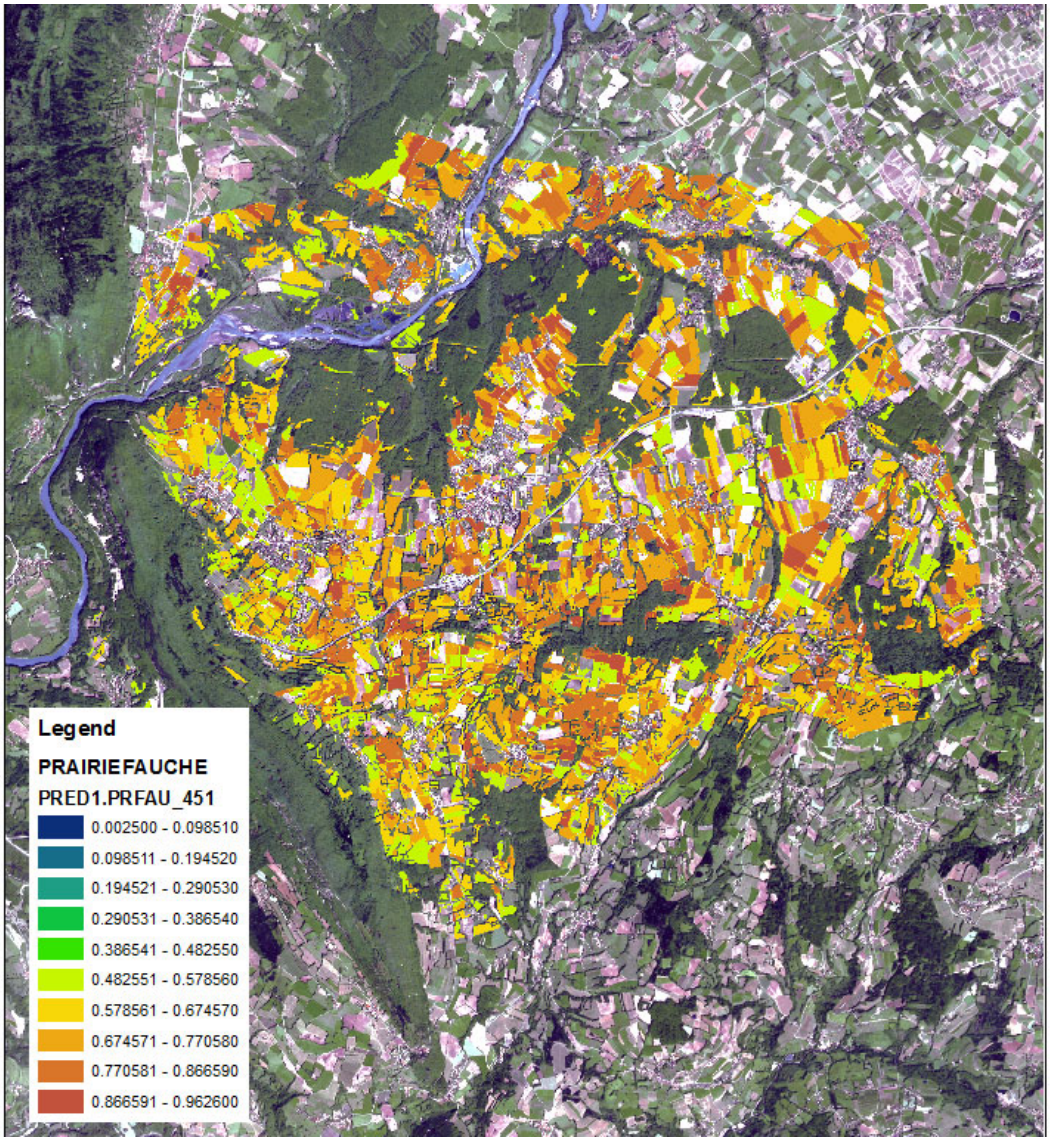


Figure 23 : Prédiction spatiale pour le milieu 4.5.1 (prairie de fauche).

Ces valeurs de prédiction sont intégrées dans le système expert comme une règle possible d'attribution.

5.7. Phase II : Segmentation et classification (système expert)

Le système expert a été mis en place directement dans *Definiens* (Figure 24). Cela permet d'implémenter les sets de règles et de tester directement le résultat à l'écran.

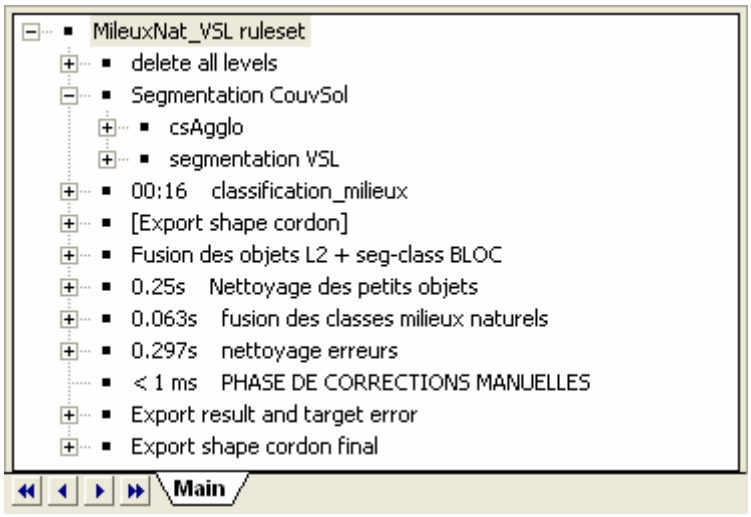


Figure 24 : Extrait de la fenêtre "Process Tree" dans le logiciel DEFINIENS résumant les principales étapes du "système expert".

5.7.1. Couches images utilisées[15]

- Scène SPOT[16] (Bleu, vert, rouge, PIR, MIR, NDVI)
- MNA (altitude, pente, tpi100, tpi1000, expositions nord et est, ombrage)
- RIVIERES (Densité, distances au Rhône et autres rivières)

5.7.2. Couches vectorielles utilisées

- Délimitation de la zone d'étude (aoi)
- Prédiction des différents milieux sur la première segmentation (SegPred)
- CSAgglo simplifiée et partiellement corrigée (cs_agglo)

5.7.3. Segmentation et classification : niveau CSAgglo

La première segmentation de l'image SPOT est basée uniquement sur l'association des couches vectorielles cs_agglo, aoi et SegPred[17] de manière à ce que ces informations puissent être exploitées par la suite et que la carte finale soit totalement compatible avec la CSAgglo.

→ Niveau **CSAgglo 52'016 objets**

[15] S'assurer que toutes les images se superposent parfaitement à la scène SPOT, afin d'éviter la création d'un grand nombre d'objets insignifiants lors de la segmentation.
[16] Datant du 29 mai 2004.
[17] Prédiction des milieux sur 1ère segmentation (phase 1).

Tous les objets ont ensuite été classifiés selon la légende simplifiée de CSAgglo (Figure 25).

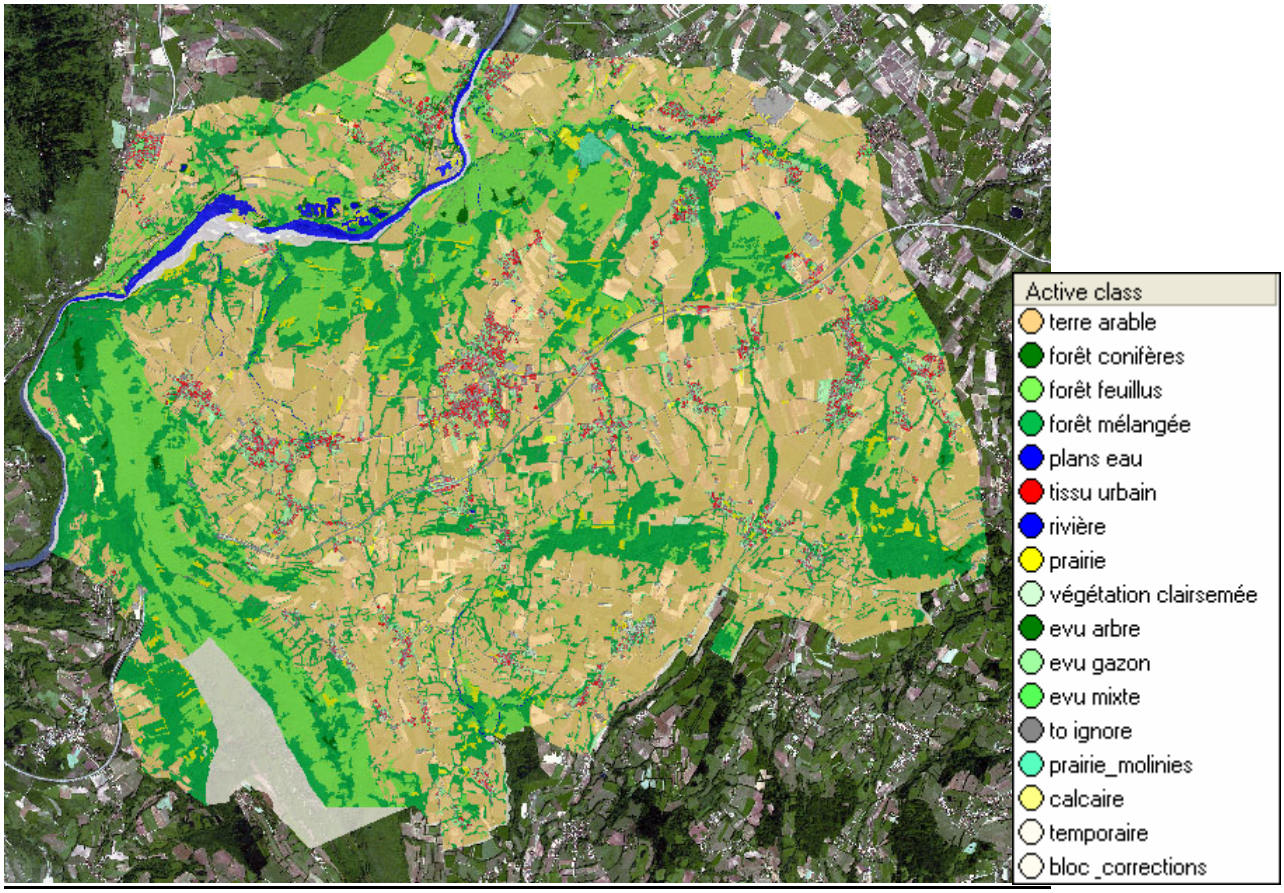


Figure 25 : Classification niveau CSAgglo.

14 classes[18] : terre arable, forêt conifères, forêt feuillus, forêt mélangée, plans eau, tissu urbain, rivière, prairie, végétation clairsemée, evu arbre, evu gazon, evu mixte, prairie_molinies[19], calcaire.

5.7.4. Segmentation MilieuxNat_VSL

Critères de segmentation appliqués à l'intérieur des objets du niveau CSAgglo (Figure 26).

[18] Les classes "temporaire" et "bloc_correction" sont des zones sans classification CSAgglo comprises dans le périmètre d'étude VSL.

[19] Classe obtenue par correction manuelle de la CSAgglo

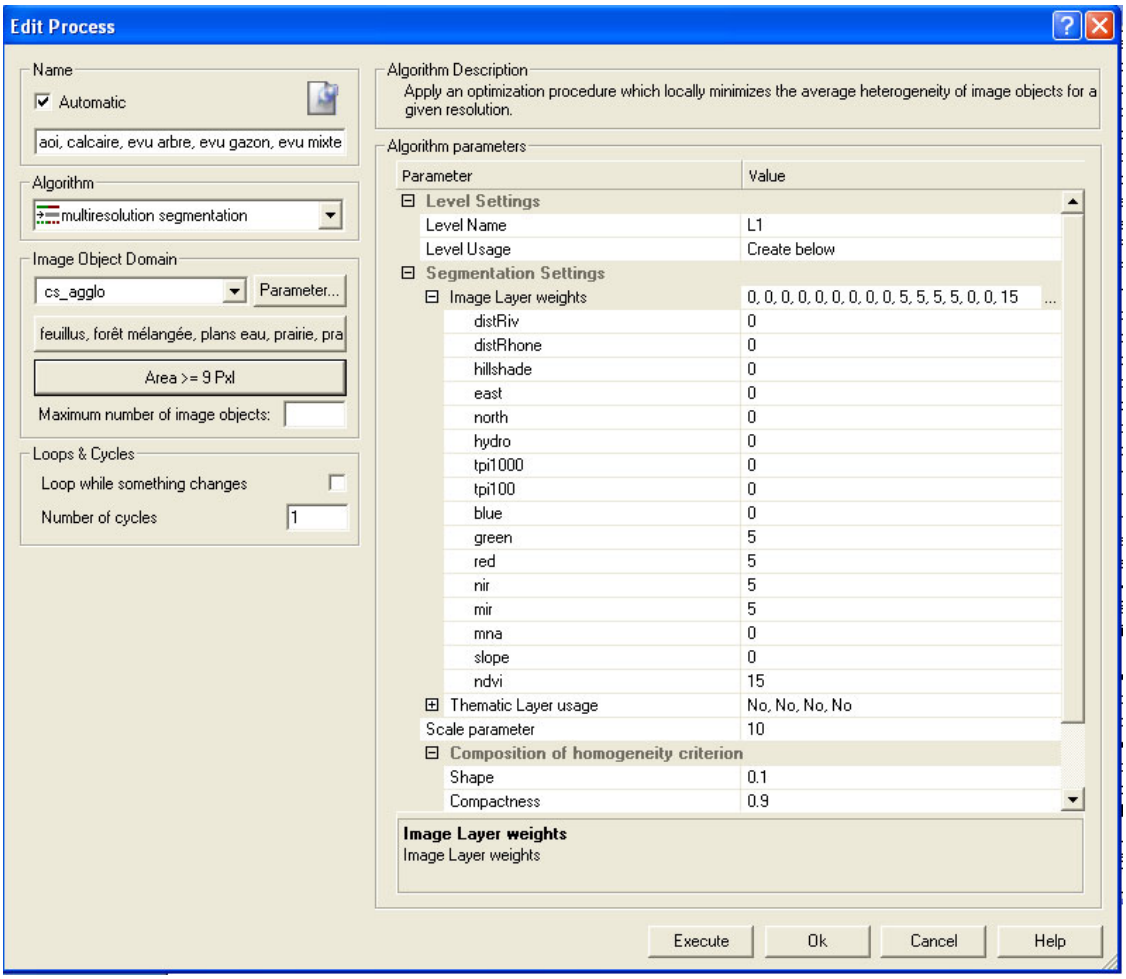


Figure 26 : Exemple de set de règles pour une classe de milieux naturel.

→ Niveau 1 (**L1**): **69'431 objets** (dont 19'637 < 9 pixels).

5.7.5. Classification MilieuxNat_VSL

Finalement, 29 classes ont été définies en combinant les prédictions évaluées à partir du modèle, ainsi que l'information spectrale fournie par l'imagerie SPOT, le MNA, la proximité aux rivières, les thèmes de couverture du sol et enfin le contexte des objets (voisinage, super-objets) voir Annexe 3 : Critères de classification.

29 classes : tissu urbain, végétation urbaine, alluvion, céréale, arbuste, aulnaie, chênaie buissonnante, chênaie à charmes, prédominance de chênaie, eau avec végétation, forêt mixte, forêt riveraine, hêtraie, paroi calcaire, pâturage, pelouse mi-sèche, pelouse sèche, pinède à molinies, plantation de conifères, prairie de fauche, roncier, roselière, rudéral, saulaie blanche, saulaie buissonnante, végétation nitrophile, eau, végétation, pas de végétation.

5.7.6. Zones sans classification CSAgglo (étape intermédiaire)

Des étapes intermédiaires se sont révélées nécessaires pour la segmentation et la classification des hiatus de la CSAgglo.

Après avoir fusionné tous les objets classifiés au niveau L1, les zones sans classification dérivée de la CSAgglo ont été re-segmentées et re-classifiées indépendamment.

Si dessous une brève description des différentes étapes :

Niveau 2 (L2) : **26'988 objets**

Classification et fusion des classes sur l'ensemble de la zone d'étude sauf zone non classifiées dans la cs_agglo (B).

Segmentation du bloc au niveau 2 (B) :**28'169 objets**

Poids des couches :

vert, rouge, PIR : 3

MIR : 1

Pente : 1

NDVI : 5

Scale parameter : 10

Shape (forme) : 0.1

Compactness (compacité) : 0.5

5.7.7. Fusion des classes communes sur le périmètre VSL

Après classification de tout le périmètre VSL (y.c. hiatus CSAgglo), tous les objets adjacents de même classe ont été fusionnés (**26'457 objets**).

5.7.8. Nettoyage des objets < 9 pixels (225 m^2)

Les objets < 9 pixels (225 m^2) seront agrégés à leur voisinage s'ils partagent au moins un quart de leur contour.

5.7.9. Nettoyage automatique des erreurs principales

Certaines erreurs typiques ont pu être corrigées de manière automatique à l'aide de règle de voisinage. Ces erreurs sont principalement dues à la confusion existant entre des classes similaires (céréales, prairie de fauche…).

Exemple :

Correction des petits objets "céréales" en lisière d'objets de grande taille « prairie de fauche ».

5.7.10. Identification manuelle d'erreurs

A ce stade, plus de 100 objets mal classifiés ont été identifiés manuellement afin de pouvoir les corriger par la suite dans ArcMap.

5.7.11. Exportation du résultat

Au final, la couche vectorielle obtenue comprend **26'457 objets** classifiés en 29 classes (Figure 27).

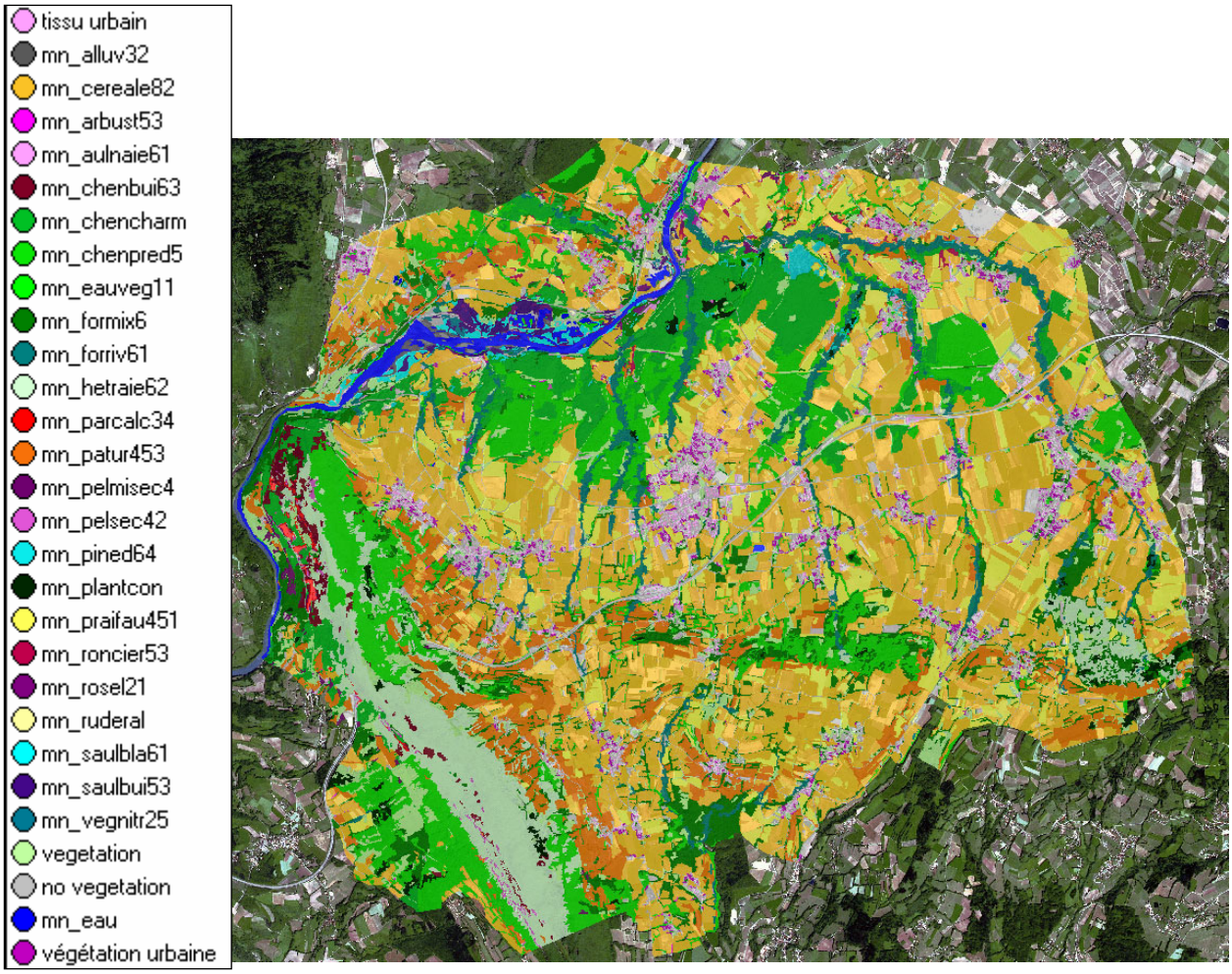


Figure 27 : Classification automatique des milieux naturels.

5.7.12. Corrections manuelles (ArcMap)

Certains milieux trop peu représentés (cf. partie 'Méthode de compilation des données cartographiques existantes'), tels que les vergers de haute tige, les vignes, les prairies humides … ont été ajoutés manuellement dans la carte de végétation produite par la classification.

Une réflexion a été portée sur la symbologie des milieux cartographiés afin de rendre la carte papier la plus compréhensible possible.

6. Résultats

6.1. Cartographie finale

La carte finale comprend 8'723 objets cartographiés répartis en 34 catégories, dont 31 concernent les milieux naturels (Figure 28). Les catégories Tissu urbain, Urbain + infrastructure et Eau libre sont les 3 catégories non considérées comme milieu naturel. Une classe de Végétation à identifier est cartographiée, elle concerne les objets, souvent de petite surface, que le système expert n'a pas réussi à attribuer à une classe. Ce sont environ 900 objets représentant environ cent hectares qui doivent être identifiés. Afin de réduire ces zones inconnues nous avons réalisé une reconnaissance des milieux naturels à partir des photographies aériennes disponibles. En l'espace de 3 journées de travail cela nous a permis d'identifier une grande partie de ces objets qui sont principalement des zones de végétation urbaine très mixtes. Néanmoins 153 objets restent à identifier ce qui représente 8,2 ha soit 0,07 % du périmètre. Ce très faible pourcentage de surfaces non identifiées par le système expert est plutôt positif. Un traitement supplémentaire de photo-interprétation couplé à quelques vérifications de terrain ciblées doit permettre de rapidement identifier ces objets.

Cette cartographie semi automatisée peut dans un second temps être améliorée par une combinaison à certaines cartes officielles telles que le domaine routier ou les cours d'eau cela afin de redessiner clairement des contours utiles pour le repérage. Dans notre approche nous avons par exemple re-identifier l'ensemble des routes suffisamment larges pour apparaître sur les pixels SPOT. Au passage le résultat est bon car les grands axes (autoroute A40, départementale 1206 et 992, voie ferrée …) sont bien visibles.

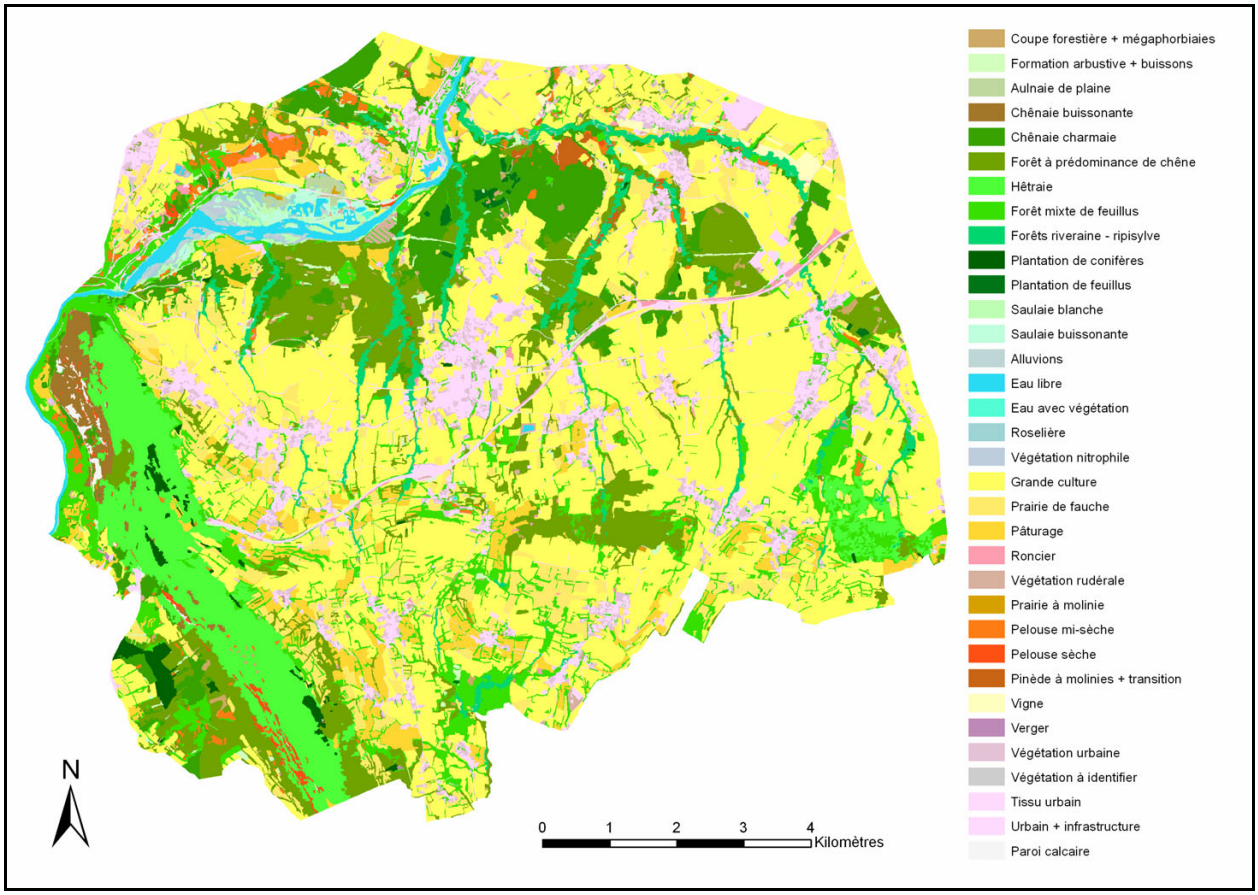


Figure 28 : Carte finale des milieux naturels du périmètre Vuache-Sion-Laire.

L'allure générale de la carte respecte très bien la connaissance de terrain que l'on peut avoir. Les grands ensemble de milieux sont bien retrouvés (Vuache, Etournel, Vallon de la Laire, Forêts de Collogny…). Les points les plus importants concernent la précision qui est apporté dans la délimitation de ces ensemble et la cartographie des zones du domaine agricole. Les sites remarquables sont déjà relativement bien connus et délimités alors que les sites de moindre importance, que l'on trouve dans le domaine agricole, sont ignorés des données cartographiques existantes. Par exemple la carte met bien en avant l'ensemble du réseau de cordons boisés qui en plus de leur impact visuel dans la paysage sont les points de passage pour une partie importante de la faune. Dans le domnaine dédié à l'agriculture deux zones se distinguent nettement, grâce à la carte, une zone à agriculture intensive orientée Est-Ouest entre les forêts de Collogny-les Grands Bois-le bois des Ouilles et le mont Sion (Vulbens, Valleiry, Viry) qui présente peu de connexions forestières hormis le long des principales rivières (Nant de Vosogne, Nant d'Hiver, Ruisseau de l'Essert, Ruisseau de la Mallouet, Ruisseau de Couvatannaz, Ruisseau de Chênex, Ruisseau des Foges et Laire). L'autre zone avec un faciès nettement plus marqué en bocage pour le versant Sud-Est du Vuache et la zone au Sud du mont de Sion (Savigny, Jonzier-Epagny, Vers). Dans cette région on rencontre tout un maillage de cordons boisés qui dlimitent de petites surfaces agricoles vouées à la fauche ou au pâturage extensif. Une telle délimitation de ces aspects pasyager n'est possible qu'avec une cartographie suffisament précise comme celle proposée ici.

6.2. Statistiques

Le tableau suivant présente un résumé pour chaque milieu de sa représentativité au sein du périmètre VSL, que ce soit en terme de surface absolue ou pondérée (Tableau 3).

Milieu	Delarze	COR	Objets	% Obj.	Surf. (ha)	% Surf.
Alluvions	3.2.1	24.22	50	0.57%	26.7	0.24%
Aulnaie de plaine	6.1.3	44.2	231	2.65%	77.4	0.69%
Chênaie buissonante	6.3.4	41.71	32	0.37%	22.9	0.20%
Chênaie charmaie	6.3.3	41.2	454	5.20%	4114.5	36.48%
Coupe forestière et mégaphorbiaies	5.2	31.8712	51	0.58%	102.7	0.91%
Eau avec végétation	1.1	22.44 + 22.42 + 22.411	261	2.99%	692.2	6.14%
Eau libre			468	5.37%	1219.1	10.81%
Forêt à prédominance de chêne	6.3		18	0.21%	128	1.14%
Forêt mixte de feuillus	6		50	0.57%	9.6	0.09%
Forêts riveraine - ripisylve			1417	16.24%	960.7	8.52%
Formation arbustive et buissons	5.3.5 + 5.3.3	31.872 + 31.811	130	1.49%	291	2.58%
Grande culture	8.2.1	82	31	0.36%	719	6.38%
Hêtraie	6.2.1 + 6.2.3	41.16 + 41.13	36	0.41%	20.2	0.18%
Paroi calcaire	3.4.1	62.151 + 62.152	242	2.77%	511.7	4.54%

Milieu	Delarze	COR	Objets	% Obj.	Surf. (ha)	% Surf.
Pâturage	4.5.3	38.1	169	1.94%	105.6	0.94%
Pelouse mi-sèche	4.2.4	34.32	108	1.24%	38.4	0.34%
Pelouse sèche	4.2.2	34.33	32	0.37%	30.1	0.27%
Pinède à molinies et de transition	6.4.1	42.54	47	0.54%	73.1	0.65%
Plantation de conifères	6.0.2	83.31	468	5.37%	685.8	6.08%
Plantation de feuillus	6.0.1	83.32	136	1.56%	44.9	0.40%
Prairie à molinie	2.3.1	37.31	62	0.71%	22.6	0.20%
Prairie de fauche	4.5.1	38.22	261	2.99%	60.3	0.53%
Roncier	5.3.4		78	0.89%	46.3	0.41%
Roselière	2.1.2	53.1	61	0.70%	36.1	0.32%
Saulaie blanche	6.1.2	44.11	30	0.34%	13.7922	0.12%
Saulaie buissonante	5.3.6 + 5.3.7	44.11	1195	13.70%	695.9	6.17%
Tissu urbain	9		1225	14.04%	143.3	1.27%
Urbain et infrastructure			1088	12.47%	278.4	2.47%
Végétation à identifier			153	1.75%	8.2	0.07%
Végétation nitrophile	2.5.2	22.33 + 24.52	87	1.00%	30.5	0.27%
Végétation rudérale	7.1	87.2	13	0.15%	4	0.04%
Végétation urbaine			11	0.13%	19.9	0.18%
Verger haute tige	8.1.4	83.15 + 83.22	5	0.06%	3.7	0.03%
Vignes	8.1.6	83.21	23	0.26%	40.5	0.36%
Total			**8723**		**11278**	

Tableau 3 : Statistiques sur les milieux cartographiés.

6.3. Continuums jaune, vert, bleu et combinaison

A partir de la cartographie complète, nous pouvons dériver des produits secondaires comme les cartes des continuums. Cette notion de continuum est une information synthétique très utile pour mettre en évidence les ruptures des connexions biologiques. En effet, chacun des continuums représente un ensemble d'habitats potentiels pour un cortège d'espèces animales ou végétales. Dans le bassin genevois, comme dans la majorité des pays limitrophes, les continuums jaune (les milieux ouverts) et bleu sont ceux sur lesquels les pressions en terme d'aménagement sont les plus fortes.

Le continuum jaune met en évidence tous les milieux ouverts, principalement liés à la zone agricole (Figure 29). Nous constatons que ce continuum est le plus important en terme de surface occupée. Nous pouvons également représenter un continuum compris dans ce dernier, mais uniquement pour les sites naturels sensibles associées aux milieux secs (prairies sèches et pinède; Figure 30). Ces milieux sont en effet des réservoirs fondamentaux pour la gestion de la biodiversité. De multiples espèces affiliées à ces écosystèmes sont menacées nationalement et font l'objet de mesures de conservation prioritaires en France comme en Suisse. Ces milieux sont tous concernés par les mesures de la Directive Habitat Natura2000.

Figure 29 : Continuum jaune du périmètre VSL.

Le continuum sec se compose des sites de pinède à molinie (*Molinio-Pinion*), des pelouses mi-sèches et sèches (*Meso* et *Xerobromion*) (Figure 30). Nous avons ajouté à ce continuum les dalles et parois calcaire du versant ouest du Vuache, car ces milieux présentent dans leur grande majorité des inclusions localisées de pelouses xérothermiques. Le continuum proposé montre bien l'importance du Vuache comme colonne Nord-Sud ainsi que les coteaux méridionaux du Jura, autour du site de Coteaux d'En Paradis (ZNIEFF de type 1, cf. lien vers fiche pdf). L'autre site d'importance majeure pour la conservation le Crêt de puits et des Teppes de la Repentance, autre ZNIEFF de type 1, est bien mis en évidence par la carte ainsi que les sites satellites de moindre surface le long de la Laire et dans la commune d'Humily.

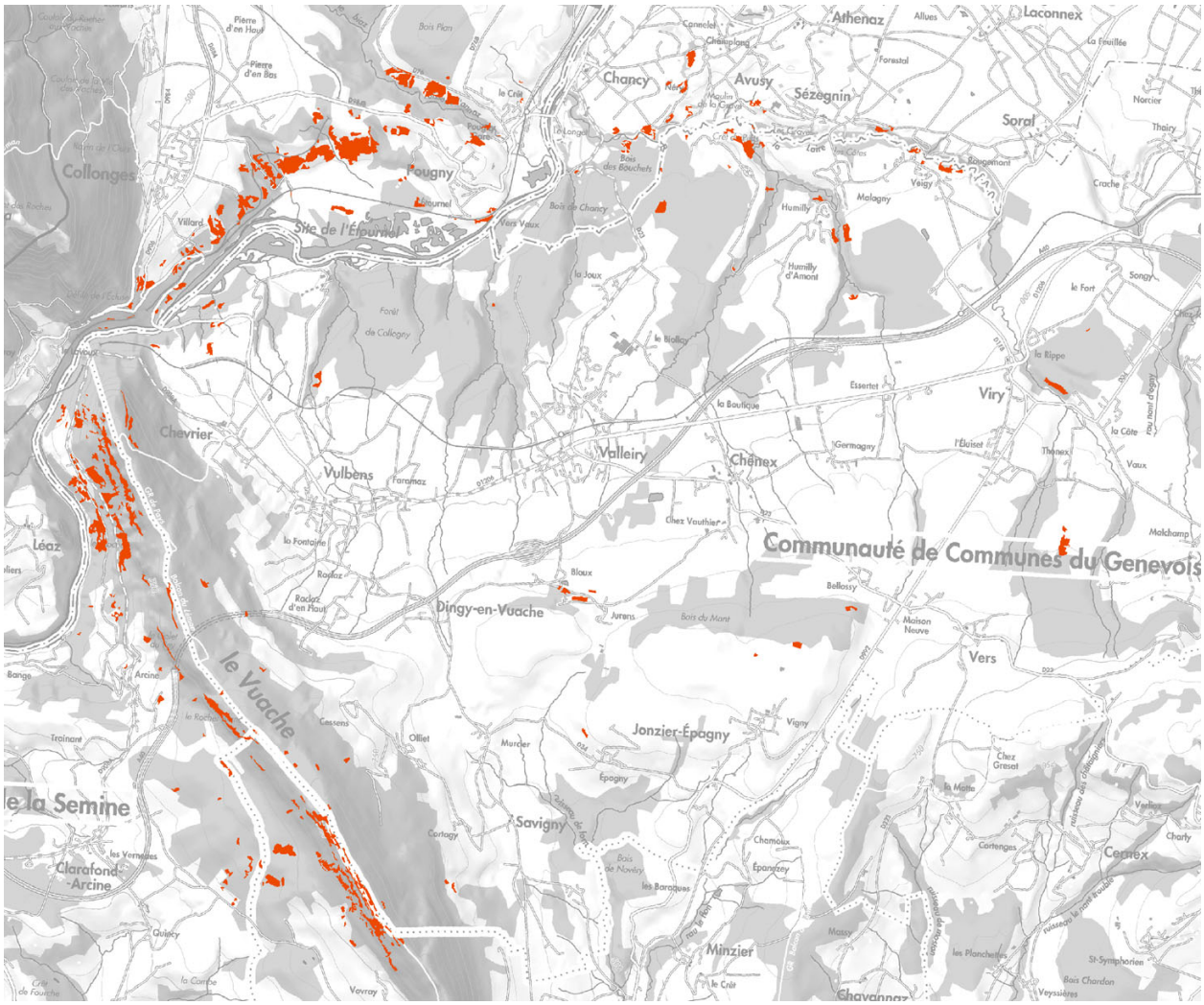


Figure 30 : Continuum sec du périmètre VSL.

Les enjeux de conservation de ces milieux secs sont prioritaires pour un grand nombre d'espèces végétales et animales (Aster amelle, Ophioglosse, Bacchante, Damier de la Succise, Crapaud Sonneur à ventre jaune…). Face à de tels enjeux, nous pensons que pour être la plus juste et donc la plus utile possible, notre cartographie de ces habitats demande des vérifications de terrain ainsi que des retours d'experts pour les sites de faible surface. Cette cartographie semi automatique à l'avantage d'orienter les politiques de conservation et d'aménagement à des échelles transfrontalières et communales. Cependant à l'échelle des sites eux même la précision (1/10'000) est insuffisante pour garantir l'exactitude des contours et des calculs de surface de ces milieux. Dans de tels cas notre carte doit servir d'ancrage pour réaliser des levés de terrain plus précis.

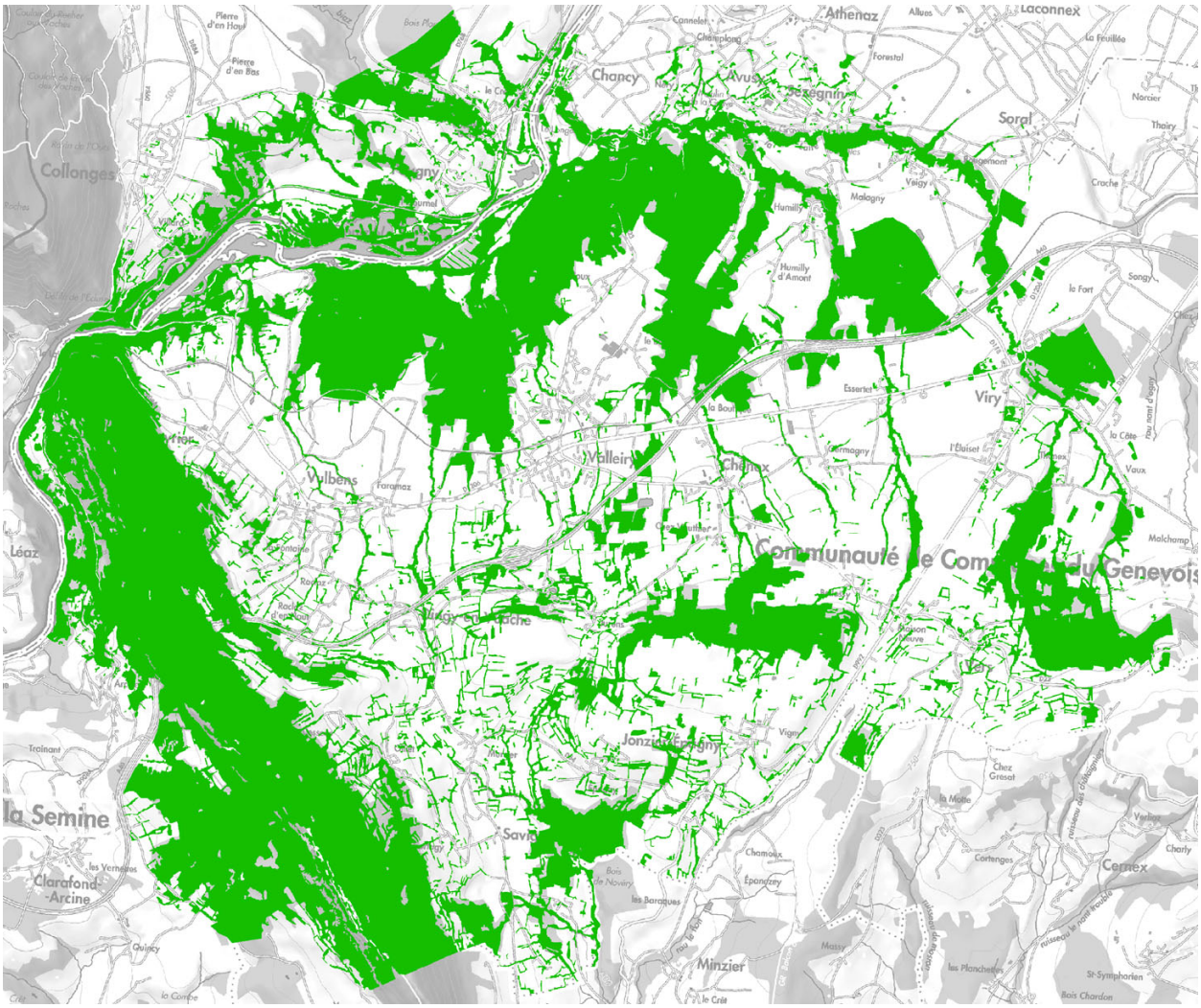


Figure 31 : Continuum vert du périmètre VSL.

La Figure 31 présente le continuum vert lié aux milieux forestiers. Les grands blocs forestiers continus sont bien respectés, mais le plus intéressant est la mise en évidence du réseau de bosquets, haies et cordons forestiers qui jalonnent le territoire. Sans rentrer dans le détail des milieux qui forment ce continuum vert (chênaie, hêtraie, forêt riveraine…), cette trame verte est beaucoup plus précise, à l'échelle de ce territoire, que les données disponibles jusqu'à présent.

Une des difficultés dans l'identification des faciès forestiers a été la prise en compte des forêts riveraines. Ces forêts ont en effet des compositions et des géométrie spatiale très différentes, allant du simple cordon d'aulne qui suit les petits cours d'eau dans le domaine agricole, aux formations mixtes à frênes, érables, ormes et tilleuls que l'on rencontre dans les pentes escarpées des rivières plus importantes. Nous avons ainsi créé une catégorie de milieu forêt riveraine qui regroupe l'ensemble des types forestiers en proximité des rivières. Une partie de ces surfaces est sans doute de la chênaie à charme, ainsi elle aurait pu être classé dans la catégorie correspondante. Par conséquent, cette catégorie doit donc être plutôt considérée comme indicative d'un caractère plus hygrophile et non comme un milieu à part entière. De la même manière, nous avons regroupé sous la terminologie 'forêt mixte de feuillus' l'ensemble des zones forestières qui n'étaient pas classées comme des faciès bien marqués (hêtraie, chênaie). Cela correspond par exemple sur le terrain à des zones de bordures présentant des espèces plus héliophiles comme le robinier ou le merisier, ou à des zones perturbées par l'homme. Pour rappel, la formation climacique du bassin genevois serait, vu la saisonnalité marquée et le caractère assez sec (moins de 900

mm de pluie annuellement), de la chênaie à charme dans les zones en dessous de 600-800 m et de la hêtraie au dessus de cette limite.

Enfin, le continuum bleu reprend tous les milieux liés à l'hydrologie, que ce soit de l'eau courant ou stagnante (Figure 32).

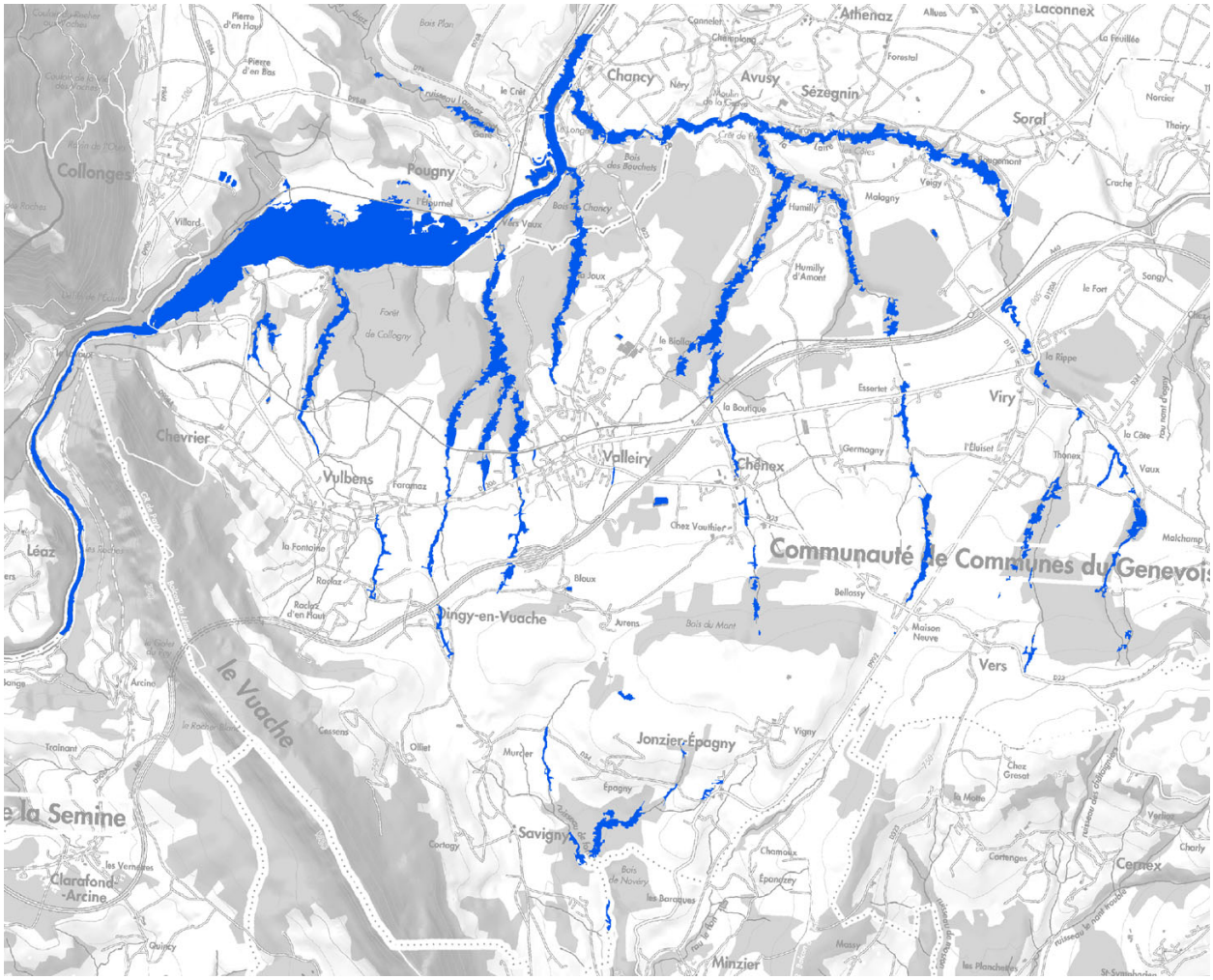


Figure 32 : Continuum bleu du périmètre VSL.

Pour ce continuum, nous avons considéré l'ensemble des milieux de bords d'eau (forêt riveraine en particulier, saulaies, roselière, végétation nitrophile …), ainsi que l'eau libre et l'eau avec végétation immergée. Nous retrouvons l'intérêt des marais de l'Etournel (voir lien) et leur importance spatiale comme réservoir pour les connexions biologiques. A l'échelle du périmètre entier, nous avons réussi à mettre en évidence le réseau de cordons boisés et forêts qui entourent les différentes rivières. Pour les sites plus ponctuels, notre approche, basée sur des images satellites prise en période estivale, ne parvient pas à mettre en évidence les mares forestières, car elles sont en grande partie masquées par le couvert ligneux. De plus, ces sites sont souvent de taille réduite, ce qui rend leur distinction très difficile de manière automatisée. De la même manière, les zones de prairies humides (*Molinion* et *Calthion*) n'ont pas pu être modélisées par manque de données d'apprentissage. Ces sites sont très importants car ils abritent une importante quantité d'espèces menacées, orchidées en particulier, qui font l'objet de mesures de protection tant en France qu'en Suisse. La mauvaise résolution du modèle numérique d'altitude (30 m) utilisé n'a pas permis de mettre en évidence les zones de dépressions dans les milieux

prairiaux, où ces milieux se rencontrent. A l'avenir, un intérêt particulier doit être porté à l'acquisition de sites de référence (pour permettre la modélisation) et à l'obtention d'un modèle numérique d'altitude commun (Français-Suisse) et précis (1 m). Pour les sites des mares forestières, un recensement de terrain par les associations locales et une mise en commun des informations doit permettre de renseigner le produit cartographique proposé ici.

En combinant les différentes cartes des continuums, nous obtenons une carte en 6 couleurs (certains continuums se superposent) facilement compréhensible par le plus grand nombre (Figure 33). Nous retrouvons les grands ensemble paysagers connus avec l'importance du défilé de Fort l'écluse et les zones forestières proche du pont Carnot comme goulet d'étranglement pour la connexion entre les deux grands ensembles forestiers de ce périmètre. Nous constatons également l'importance des cordons forestiers de bords de rivière (Couvatannaz, Vosogne, Chênex, Laire…) pour assurer la connexion entre la partie plus extensive du sud de la zone avec les contreforts du Jura au nord-ouest de Pougny et la zone de plaine de Chancy-Sézegnin-Soral.

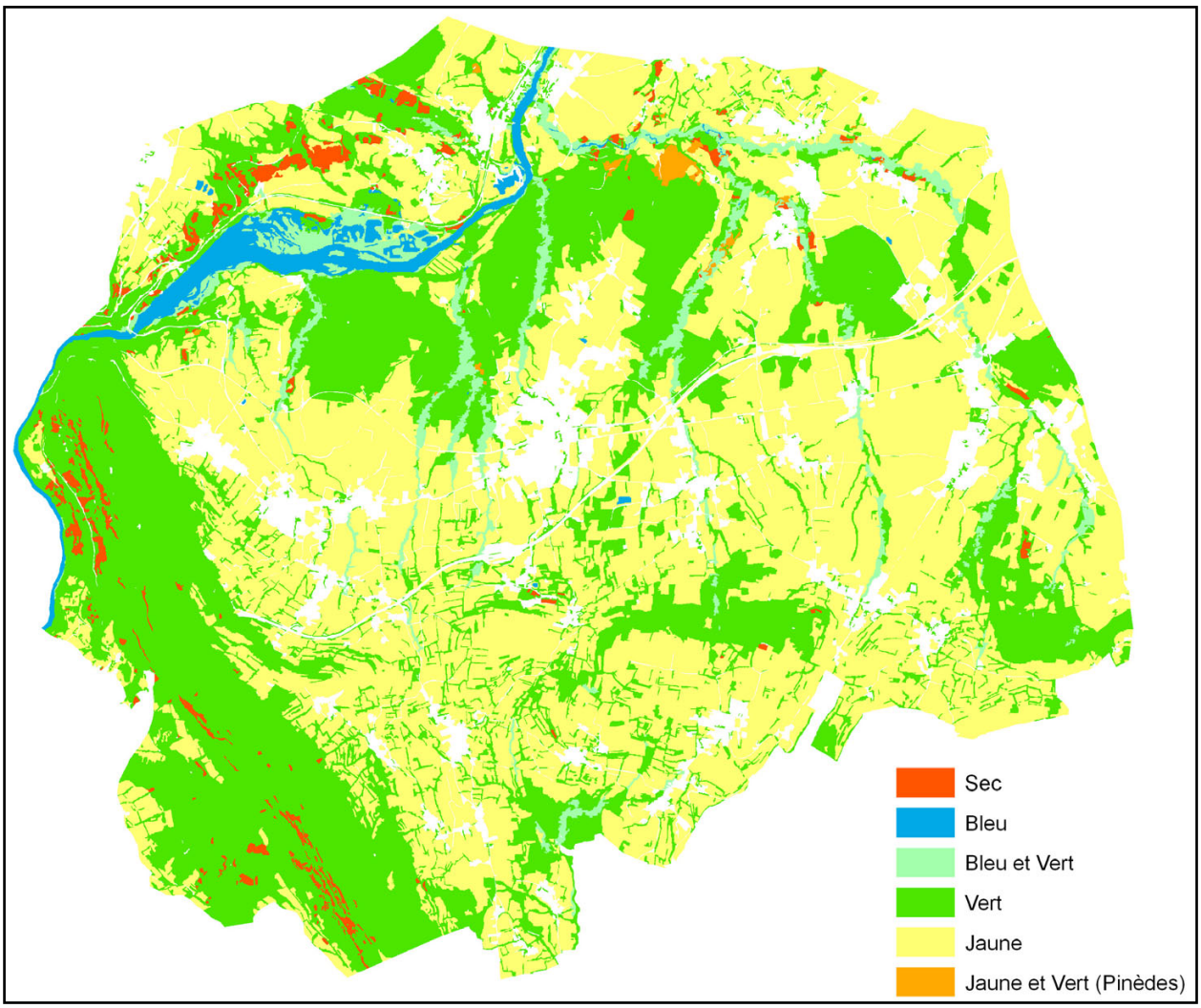


Figure 33 : Carte des continuums du périmètre VSL.

Il est possible pour les décideurs politiques et les futurs aménagements du territoire de proposer une carte synthétique des milieux naturels soumis à la directive Habitats Natura 2000. Ces outils découlent facilement de la cartographie précise des milieux naturels.

Nous avons utilisé la version la plus actuelle de la réglementation Française (http://natura2000.environnement.gouv.fr/habitats/idxhab.html) pour définir les habitats prioritaires et les habitats reconnus d'intérêt.

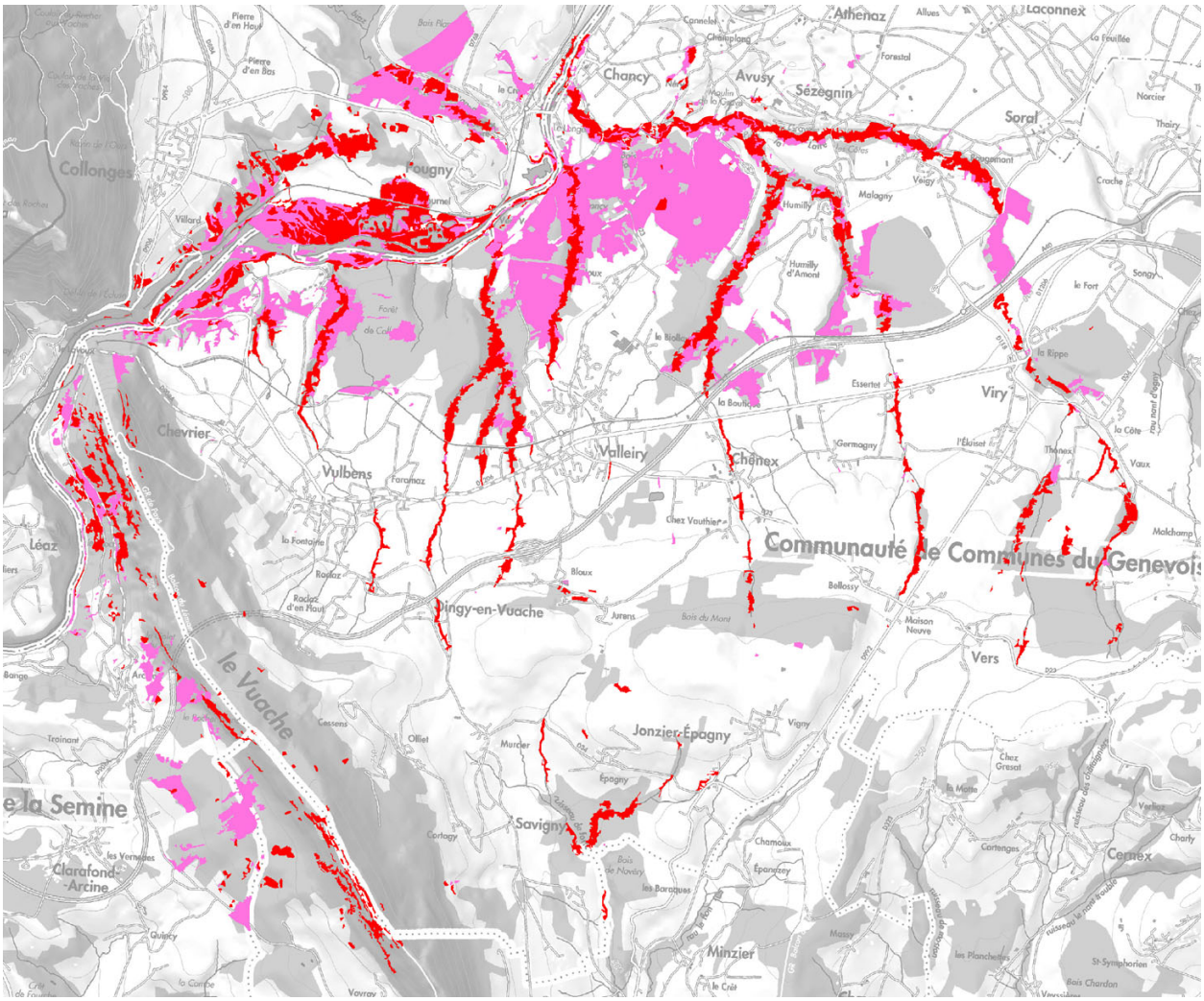


Figure 34 : Représentation synthètique des sites Natura 2000 avec en rouge les habitats prioritaires et en rose les habitats soumis à la réglementation Natura 2000.

7. Evaluation des résultats

Dans un premier temps, nous avons comparé la carte obtenue par notre méthode avec les données de base existantes sur la végétation.

Pour ce faire, nous avons généré aléatoirement deux sets de points répartis géographiquement dans les milieux connus (10 et 40 points par milieu). Nous avons ensuite comparé ces localités avec le milieu présent sur notre carte. Le coefficient de similarité obtenu est de 0.7. Ce résultat considéré comme moyen peut s'expliquer notamment par les différences d'échelles et de résolution qui existent entre les données de base et notre carte. En effet, 36 % des objets avaient été cartographiés à des échelles soit inférieures, soit supérieures au 10'000^{ième}. D'autre part, un certain nombre de données datent et l'évolution des milieux (thématiquement ou géométriquement) peut également expliquer une partie de la différence.

Nous avons donc mis en place une seconde méthode de validation basée sur une matrice de confusion, aussi appelé tableau de contingence (Caloz R. et Collet C., 2001). Cette méthode compare le résultat de la classification à la réalité à partir d'un échantillonnage aléatoire de points de contrôle situés dans chaque milieu connu.

La matrice de confusion permet le calcul d'une série de paramètres statistiques obtenus à partir des totaux des colonnes (référence) et des lignes (classification) qui indiquent le degré de concordance pour chacun des thèmes analysés ou de manière globale avec le coefficient Kappa (variant généralement entre 0 et 1 ou 0 et 100 %). Nous avons utilisé l'extension kappa_stats.avx pour Arcview 3.2 pour les calculs (http://www.jennessent.com/arcview/kappa_stats.htm).

La qualité de la cartographie est évaluée sur une légende simplifiée à 16 thèmes (Tableau 4). Pour chacun des thèmes retenus, une quinzaine de points sont générés aléatoirement à l'aide de l'extension HawthsTools pour ArcGIS (Beyer, 2004). Les points non couverts par les orthophotos (ou non clairement identifiables sur la mosaïque SPOT) sont supprimés. Nous avons donc considéré 233 points au total.

CLASSES	CODE	CONTRÔLE QUALITE
alluvions	1	1
buissons	2	2
coupe forestière	33	
aulnaie	3	3
saulaie	23	
saulaie buissonnante	24	
culture	4	4
chênaie buissonnante	5	5
chênaie à charme	6	
forêt à prédominance de chêne	7	
forêt mixte	10	
forêt riveraine	11	
hêtraie	12	
eau libre	8	6
eau avec végétation	9	
paroi calcaire	13	7
pâturage	14	8
prairie de fauche	19	
pelouse mi sèche	15	9
pelouse sèche	16	
prairie à molinies	37	
pinède à molinies	17	10
plantation de conifères	18	11
plantation de feuillus	36	
roncier	20	12
végétation rudérale	22	
roselière	21	13
végétation nitrophile	25	
pas de végétation	26	14
tissu urbain	28	
végétation urbaine	32	15
verger	34	16

Tableau 4 : Légende simplifiée pour le contrôle de qualité.

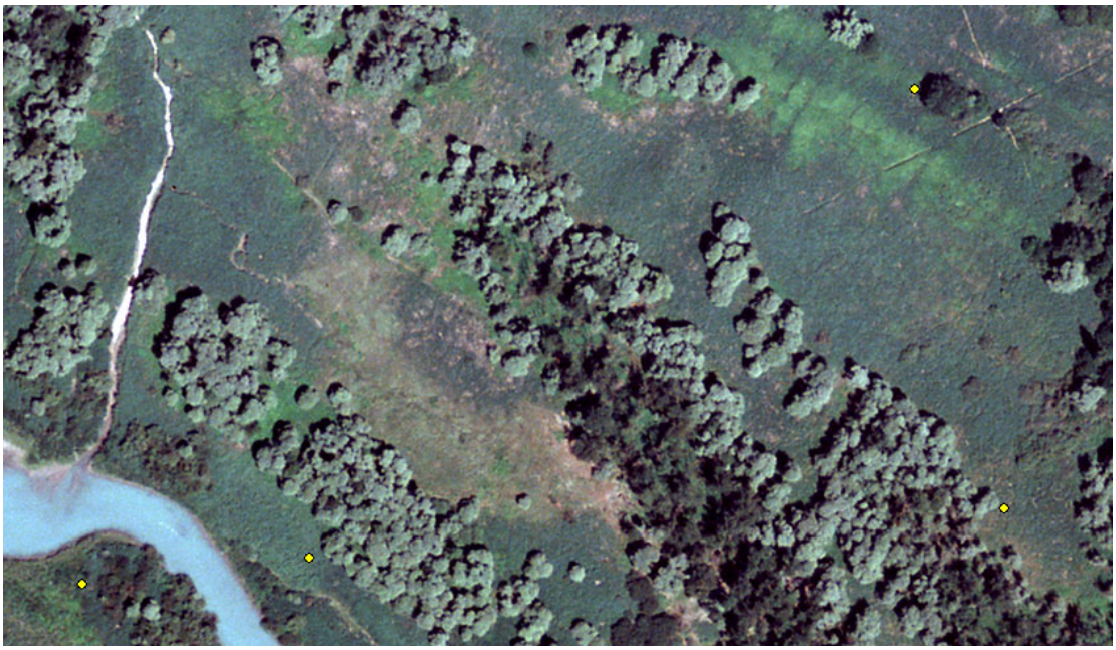
A partir de ce jeu de points, deux personnes indépendantes ont évalué par photo-interprétation sur les orthophotos à haute résolution et la mosaïque Spot le milieu probable. Cet examen visuel a permis de constituer le set de référence. Malgré l'utilisation d'une légende simplifiée, la photo-interprétation des thèmes de type "végétation herbeuse" (pelouse, prairie, pâturage, champs) ou "végétation hydrophile" (roselière, aulnaie-saulaie) est souvent difficile. Les deux évaluations montrent clairement des résultats subjectifs, avec un coefficient kappa variant de près de 9 % sur le même échantillonnage.

Exemples de points (en jaune) douteux à identifier par photo-interprétation :

1) Aulnaie/saulaie ou buissons:

2) Pelouse sèche/mi-sèche ou pâturage:

3) Roselières ou végétation herbeuse:



En annexe, on trouvera les deux matrices de contingences issues des deux évaluations (annexe 14.4). Ces matrices établissent le nombre de cas où le milieu a été mal prédit (omission) et le nombre de cas où un milieu a été prédit alors que c'était autre chose (commission).

Les confusions fréquentes concernent:

1) Pâturages classifiés comme culture, pelouse, végétation rudérale ou tissu urbain;
2) Pelouses classifiées comme roselières ou comme buissons;
3) Feuillus classifiés comme aulnaie-saulaie ou pinède;
4) Cultures classifiées comme feuillus ou pâturages;
5) Buissons classifiés comme aulnaie-saulaie;
6) Roselières classifiées comme alluvions ou aulnaie-saulaie;

Les matrices de confusion montrent les thèmes les plus problématiques, caractérisés par des valeurs minimales d'exactitude de production (EP), et les confusions possibles avec d'autres thèmes (distribution des points en colonnes).

Les descripteurs de qualité du Tableau 5 indiquent que les erreurs d'omissions sont les plus fréquentes. Néanmoins, la classification est bonne avec un kappa moyen de 90 %. Cela indique que la qualité globale de la classification est très satisfaisante.

Statistiques globales	**Expert 1**	**Expert 2**	**MOYENNE**
Exactitude	(203/233) 0.87	(222/233) 0.95	(425/466) 0.91
Taux de mauvaise classification	(30/233) 0.13	(11/233) 0.05	(41/266) 0.15
Sensibilité	0.87	0.95	0.91
Spécificité	0.99	0.997	0.99
Taux d'erreur par omission	0.13	0.05	0.09
Taux d'erreur par commission	0.0086	0.0031	0.006
Kappa	**0.86**	**0.95**	**0.9**

Tableau 5 : Statistiques globales de qualité.

Les confusions les plus fréquentes (pâturage-culture, pelouse-roselière-pâturage, aulnaie/saulaie-buisson) pourraient provenir de la difficulté à identifier par photo-interprétation certains thèmes cartographiés. Afin de lever le doute, la méthode d'évaluation nécessiterait une vérification sur le terrain par des experts (voir chapitre suivant). La confusion entre pâturage et culture est relativement peu importante, car ces milieux restent dans le continuum jaune (agricole). Les confusions les plus critiques sont celles qui touchent les roselières et les sites de pelouses, car ce sont deux milieux à forte valeur biologique.

8. Perspectives d'amélioration de la méthode

8.1. Imagerie satellitaire

8.1.1. SPOT5 2.5 m de résolution

La segmentation pourrait être améliorée en utilisant une image de meilleure résolution (par exemple SPOT5 2.5 mètres…).

Ci-dessous le résultat de la recherche d'images SPOT disponibles pour le périmètre d'agglomération à une résolution de 2.5 mètres (Figure 35).

80% du périmètre est recouvert par une seule image datant du 9 septembre 2006, si nous voulons couvrir totalement le périmètre nous devrons combiner des images d'années et saisons très différentes, surtout pour la partie la plus occidentale.

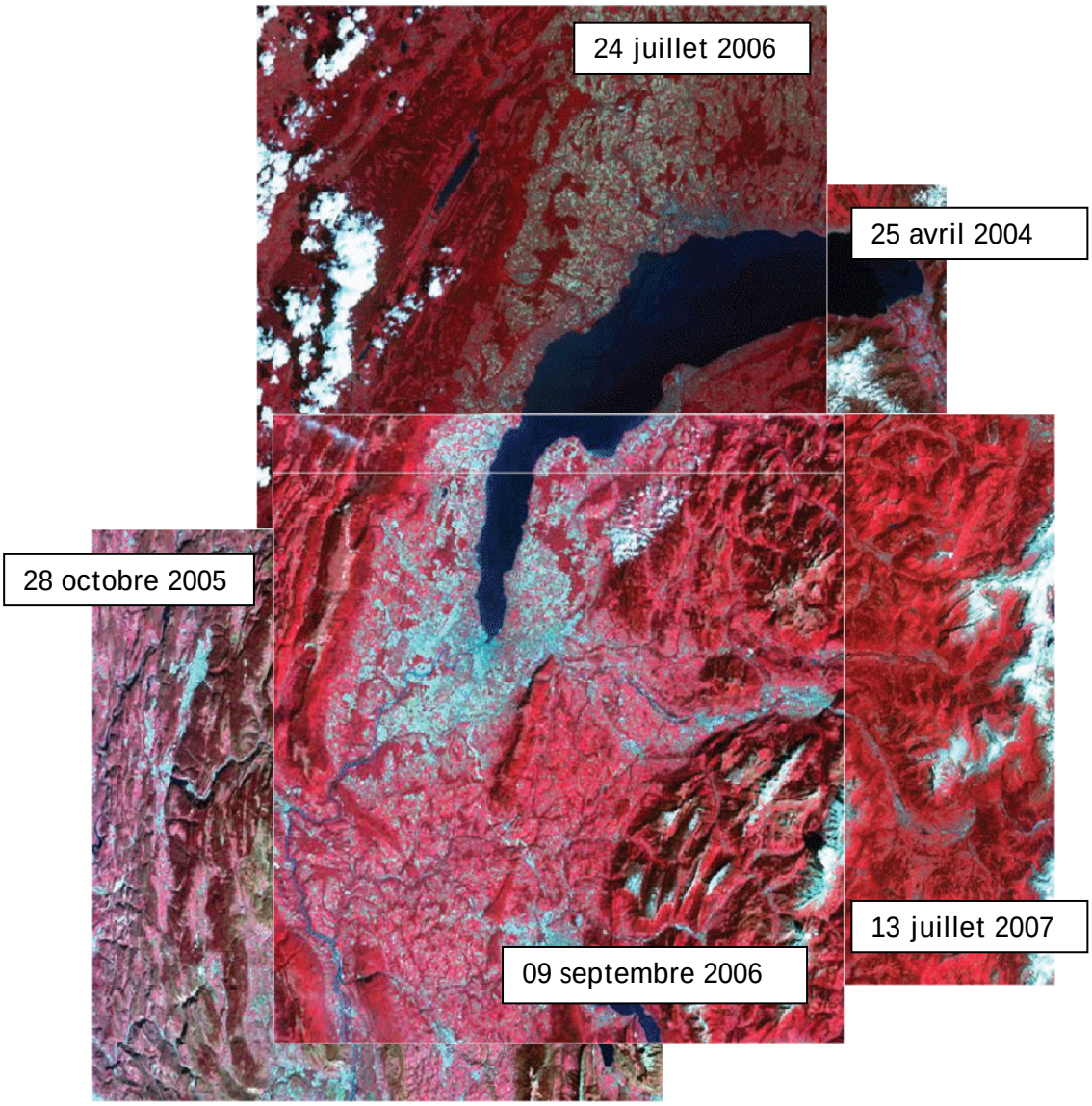
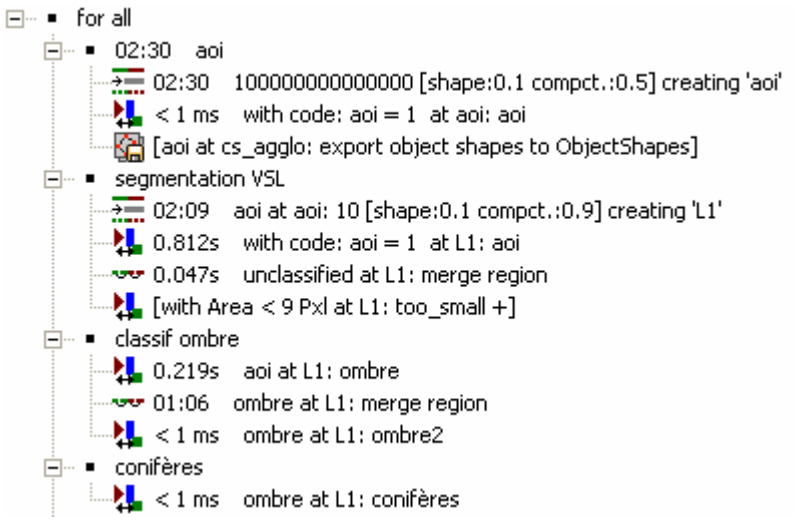


Figure 35 : Mosaïque SPOT5 à 2.5 mètre de résolution couvrant le périmètre d'agglomération franco-valdo-genevoise.

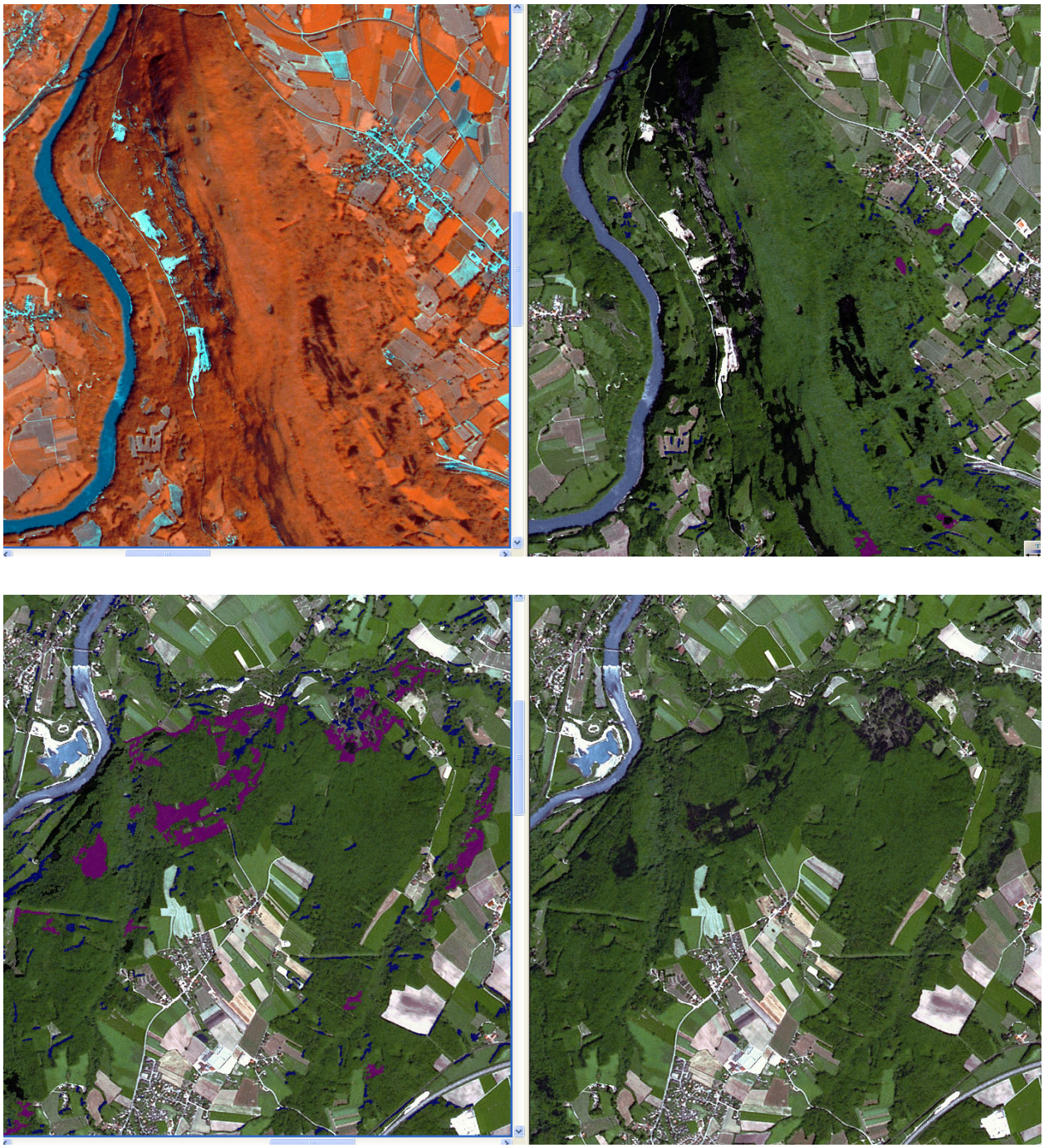
8.1.2. Classification des ombres, SPOT

Sur l'image SPOT, les ombres se présentent généralement le long des cordons boisés ou le long des lisières de forêt (objets longiligne de surface réduite) ou sur les flancs boisés des reliefs (Figure 36). Elles sont difficilement distinguables des forêts de conifères (également très sombres). Nous avons donc testé la procédure suivante pour améliorer la classification.

Etapes (06.11.09) :



1) Segmentation + classification aoi
2) Segmentation L1
3) Classification des ombres
    a. Ombre de manière générale (bleu):
        i. BrillanceCalc < 180
        ii. Nir > 70
        iii. Indice de brillance au carré = IB2 = pir2 + r2 < 15500
    b. Fusion de tous les objets ombre
    c. Ombre2 (sur les flancs du Vuache par ex), noir :
        i. Pente > 13.5
    d. Conifères sur surfaces plane (violet) :
        i. Aire > 4000
        ii. Longueur/largeur < 3.5



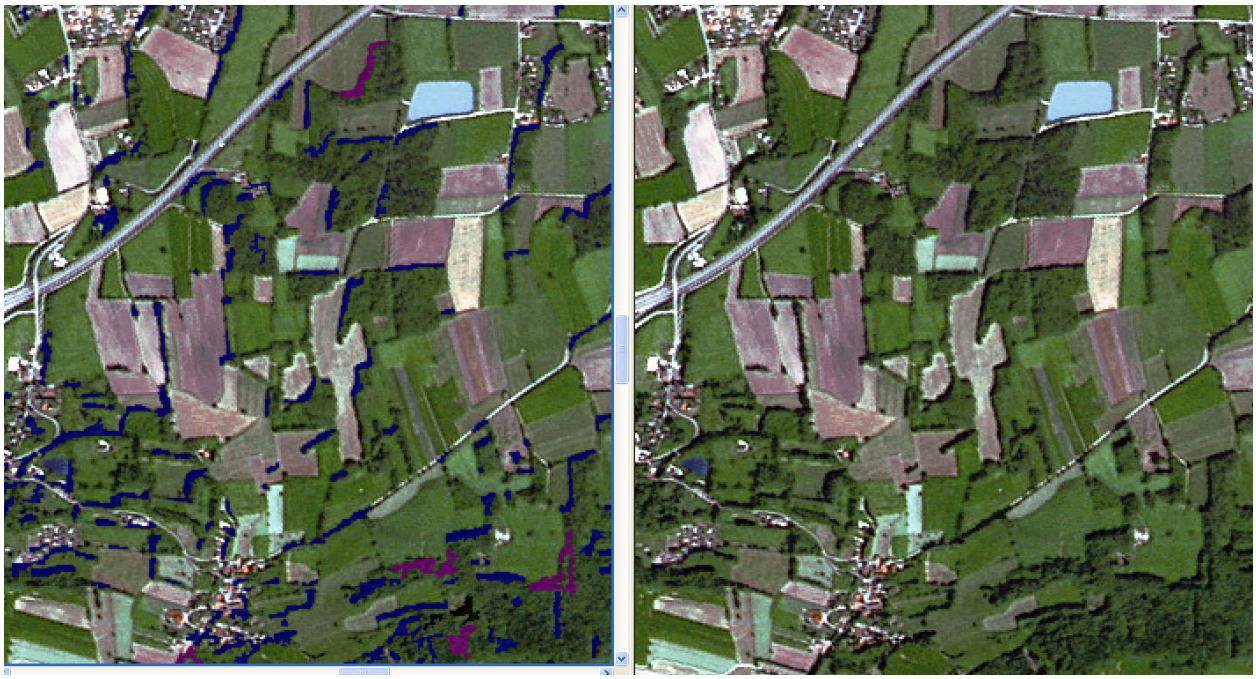


Figure 36 : Exemples de problèmes avec les ombres portées.

Cette approche mériterait une amélioration. En effet, il reste encore certaine confusion entre conifères et ombres.

Une seconde possibilité de mise en œuvre serait d'exclure de la classification tous les polygones identifiés comme 'ombre'. Ensuite, on applique le système expert au solde des polygones. Finalement, les polygones 'ombre' sont attribués au polygone adjacent avec lequel il partage la plus grande frontière ou la plus grande surface. En outre, nous pourrions tenir compte de la hauteur respective des polygones (attribution au polygone plus bas) et/ou de l'orientation (en fonction de l'heure de prise de vue de l'image).

8.2. Données environnementales et sur la végétation connue

Une grande partie du mandat (20 %) s'est passée à collecter les données existantes sur la végétation, ainsi qu'à compléter ces inventaires sur des zones moins prospectées. Enfin, un travail d'harmonisation, tant thématique que spatial, a été entrepris afin de rendre ces données compatibles et utilisables. La mise ne place d'un SI-Nature au niveau cantonal, ou au niveau de la région permettrait de disposer "en temps réel" des données sur les milieux naturels connus dans un référentiel commun. Outre de diminuer drastiquement les coûts initiaux, ce système d'informations permettra d'assurer les mises à jours de cette carte des milieux naturels.

De plus, comme exprimé précédemment, l'utilisation d'un modèle numérique d'altitude plus précis (1 m), nous permettrait de distinguer certains milieux beaucoup plus finement (zones de dépressions humides par exemple) et surtout de mieux exprimer l'ensemble des la variabilité topographique du périmètre de l'agglomération.

8.3. Système expert

Pour le système expert, il s'agirait de définir des ensembles biogéographiques au niveau de l'entier du périmètre d'agglomération. Ces domaines permettraient de découper en 3 à 5 zones l'agglomération selon des caractéristiques physiques (climat, géologie, topographie), mais également anthropiques (démographie, transport, utilisation du sol). En outre de réunir des conditions environnementales homogènes, ces espaces devraient être géographiquement continus.

A l'intérieur de chacun de ces domaines, un set de règles spécifique sera défini uniquement pour les milieux rencontrés. Cela nous permettra d'éviter de devoir définir un set de règles unique, que l'on devrait ensuite appliquer sur tout le territoire pour tous les milieux potentiels.

8.4. Validation

En terme de validation, nous avons procédé par photo-interprétation à partir d'un set de points (localités) tirés au hasard dans les différents milieux cartographiés.

Cette approche pourrait avantageusement être complétée par une validation terrain. Nous pouvons utiliser le même set de points stratifiés et procéder à des vérifications directement sur le terrain. Cette méthode à l'avantage d'être plus fiable, bien qu'elle soit moins avantageuse en terme de ressources.

La suite de l'évaluation suivrait la même procédure avec la production des matrices de contingence.

9. Modélisation du déplacement des espèces

9.1. Introduction et méthodes

La carte de milieux naturels peut également servir à modéliser les mouvements potentiels des espèces. La zone d'étude est en effet fragmentée, avec une mosaïque de milieux qui peuvent constituer des habitats favorables ou défavorables, des zones d'évitement, voir des barrières complètes pour le mouvement. Suivant l'espèce étudiée, la connectivité entre les habitats ou les populations peut donc être très variables suivant les habitats considérés et les éléments du paysage (la matrice) qui sépare ces habitats. Dans un paysage fragmenté, de nombreuses études ont montré que la viabilité des populations animales dépend de la connectivité dite "fonctionnelle", c'est-à-dire de la perméabilité du paysage face aux mouvements des individus (Baguette, 2004). Cette connectivité influence le succès de la migration et des dispersions. La connectivité est déterminée d'une part par la "résistance" qui présente les différentes occupations du sol aux mouvements, et d'autre part par la configuration de ces éléments paysagers.

Les dernières avancées techniques des SIG permettent depuis peu d'intégrer les caractéristiques spatiales du paysage aux mouvements potentiels des animaux. Une de ces techniques est la modélisation basée sur les chemins de moindre coût (CMC) (LCP, *least-cost path analysis*) qui a l'avantage de se baser sur un jeu d'hypothèses biologiques limité et dont les résultats peuvent informer de manière utile les décisions de gestion du paysage et de la faune (Adriaensen et al. 2003; Ray et al., 2002; Verbeylen et al. 2003). Le principe de cette approche est de construire une carte raster de friction (également appelée carte de résistance ou carte de coût) dont chaque pixel présente une valeur liée à l'occupation du sol et à son effet supposé sur le mouvement d'une espèce. Deux types de mesure peuvent alors être dérivés de cette carte de friction: le chemin de moindre coût entre deux points (ou zones) donnés et la mesure de la surface de coût accumulé à partir d'un point donné. Ces deux mesures et leurs applications ont fait l'objet de nombreuses publications scientifiques.

Un des désavantages de la méthode par CMC est qu'elle considère exclusivement l'unique chemin de moindre coût pour calculer la connectivité supposée entre deux ou plusieurs localisations. Il est réaliste de penser que les individus en mouvement ne suivent pas tous ce chemin particulier, mais se dispersent dans le paysage à travers de multiples voies de dispersion. Pour palier à cela, une récente approche basée sur la théorie des circuits (*CircuitScape*) permet de considérer toutes les voies possibles de dispersion dans le paysage et offre potentiellement des indices de connectivité plus réalistes (McRae, 2006; McRae et Beier, 2007; McRae et al., 2008). Pour cette approche, l'analogie se définit comme deux pôles électriques, l'un positif et l'autre négatif, qui seraient disposés sur deux localisations dans le paysage. Le flux électrique entre ces deux pôles couvre alors tout le paysage, mais est fortement influencé localement par la résistance des divers éléments paysagers, cette résistance étant équivalente à la friction de la méthode CMC.

Notre intention dans ce chapitre est de démontrer par quelques exemples le potentiel de ces deux approches pour la modélisation des corridors faunistiques dans la zone VSL. Nous utiliserons pour cela une carte de coût basée sur l'écologie du crapaud commun (*Bufo bufo*). Le choix de ces coûts a été obtenu à travers une étude précédente portant sur la connectivité des petits plans d'eau du canton de Genève (Ray et al., 2002). Nous discuterons finalement de la nécessité d'obtenir des données réalistes pour la construction des cartes de friction pour chaque espèce considérée, un processus qui nécessite généralement de rassembler et d'exploiter les connaissances terrain des experts faunistiques.

9.2. Cartes de coût

La première étape de la modélisation des corridors est la traduction des classes d'occupation du sol en coûts relatifs de mouvement. Cette étape aboutit à une carte de friction raster qui est la carte de base pour les deux méthodes proposée (CMC et CircuitScape). Il est important de mentionner qu'une carte de friction est spécifique à une espèce donnée puisque cette carte représente les contraintes écologiques et physiologiques de l'espèce en mouvement dans le paysage.

Le choix des coûts à attribuer à chaque occupation du sol va déterminer en grande partie le résultat final, et il est donc primordial que ce choix soit le mieux informé possible. Deux possibilités existent pour obtenir une carte de friction. La première consiste à utiliser les informations de présence/absence d'une espèce dans la région concernée, et éventuellement d'abondance, pour obtenir une carte d'habitat

potentiel (*habitat suitability*) de l'espèce. De nombreuses méthodes statistiques existent pour obtenir de telles cartes, mais il est nécessaire d'avoir un échantillonnage suffisamment élevé pour obtenir une carte pertinente. Si cette carte d'habitat potentiel est probabiliste (exprimée en pourcent, les valeurs représentant alors la probabilité de trouver l'espèce dans chaque pixel), il est alors possible de faire l'hypothèse que ces probabilités sont corrélées négativement à la friction de mouvement. A une forte probabilité d'occurrence correspond une valeur de friction faible, et inversement. La carte de friction est alors obtenue en re-classifiant la carte d'habitat potentiel.

La deuxième méthode s'applique lorsque les données d'échantillonnage ne sont pas suffisamment abondantes pour espérer en tirer une carte de coût statiquement correcte. Il s'agit de la grande majorité des cas, surtout lorsque l'espèce est peu étudiée et/ou peu abondante dans la région d'étude (notamment espèces rares et/ou menacées). Dans ce cas, un système expert est alors nécessaire. Il s'agit d'exploiter la connaissance terrain d'experts faunistiques qui sont en mesure d'attribuer des valeurs relatives de facilité/difficulté de mouvement pour chaque occupation du sol. Cet exercice est généralement difficile car différents experts auront des opinions différentes et il s'agira d'exploiter et de rassembler au mieux toutes ces informations. Des données de la littérature peuvent compléter les opinions d'experts et amener à une carte de coût la plus informée possible.

Pour démontrer l'utilisation de la méthode sur la zone VSL, nous nous sommes basés sur le scénario de coût existant du crapaud commun (Tableau 6). Cette espèce a une grande propension à l'habitat forestier, mais peut se mouvoir également dans d'autres types de milieux. L'écologie de cette espèce se traduit donc par des faibles coûts pour les milieux de forêt et un coût élevé pour les milieux agricoles et secs. Les coûts relatifs de mouvement sont codés entre 1 et 16. L'autoroute et le Rhône sont considérés comme barrières infranchissables et ont de fait un coût "infini". La carte de coût a été générée à une résolution spatiale de 10 m.

Code MN	Description	Scénario de coûts 1	Scénario de coûts 2
1	Alluvions	5	100
2	Formation arbuste et buissons	1	1
3	Aulnaie de plaine	1	1
4	Grande culture	10	100
5	Chênaie buissonnante	1	1
6	Chênaie charmaie	1	1
7	Forêt à prédominance de chêne	1	1
8	Eau libre	20	100
9	Eau avec végétation	20	100
10	Forêt mixte de feuillus	1	1
11	Forêts riveraine - ripisylve	1	1
12	Hêtraie	1	1
13	Paroi calcaire	10	100
14	Système prairial extensif	10	100
15	Pelouse mi-sèche	5	100
16	Pelouse sèche	5	100
17	Pinède à molinies + transition	1	1
18	Plantation de conifères	1	1
19	Système prairial intensif	8	100
20	Roncier	13	100
21	Roselière	3	100
22	Végétation rudérale	2	100
23	Saulaie blanche	1	1
24	Saulaie buissonnante	1	1
25	Végétation nitrophile	5	100
26	Urbain + infrastructure + sol nu	20	100
28	Tissu urbain	20	100
30	Non classé	No Data	No Data
31	Végétation à identifier	1	1
32	Végétation urbaine	2	100
33	Coupe forestière + mégaphorbiaies	1	1
34	Verger	4	100
36	Plantation de feuillus	1	1
37	Prairie à molinie	3	100

Tableau 6 : Coûts relatifs de mouvements attribués aux classes d'occupation du sol selon les deux scénarios testés.

La carte de friction est présentée dans la Figure 37, avec les localisations d'observation de trois espèces d'amphibien dans la région (Fournisseur de données : LPO74). Pour la démonstration de la méthode, nous avons également choisi deux petites zones de forêt (indiquées dans la Figure 37) utilisées dans les analyses suivantes comme départ et arrivée des corridors modélisés. Notons que les données

d'observations reçues à ce jour ne permettent en aucun cas de les prendre en compte pour affiner la carte de coûts, car il y a une grande incertitude sur la qualité des données et sur la pertinence statistique de l'échantillonnage terrain.

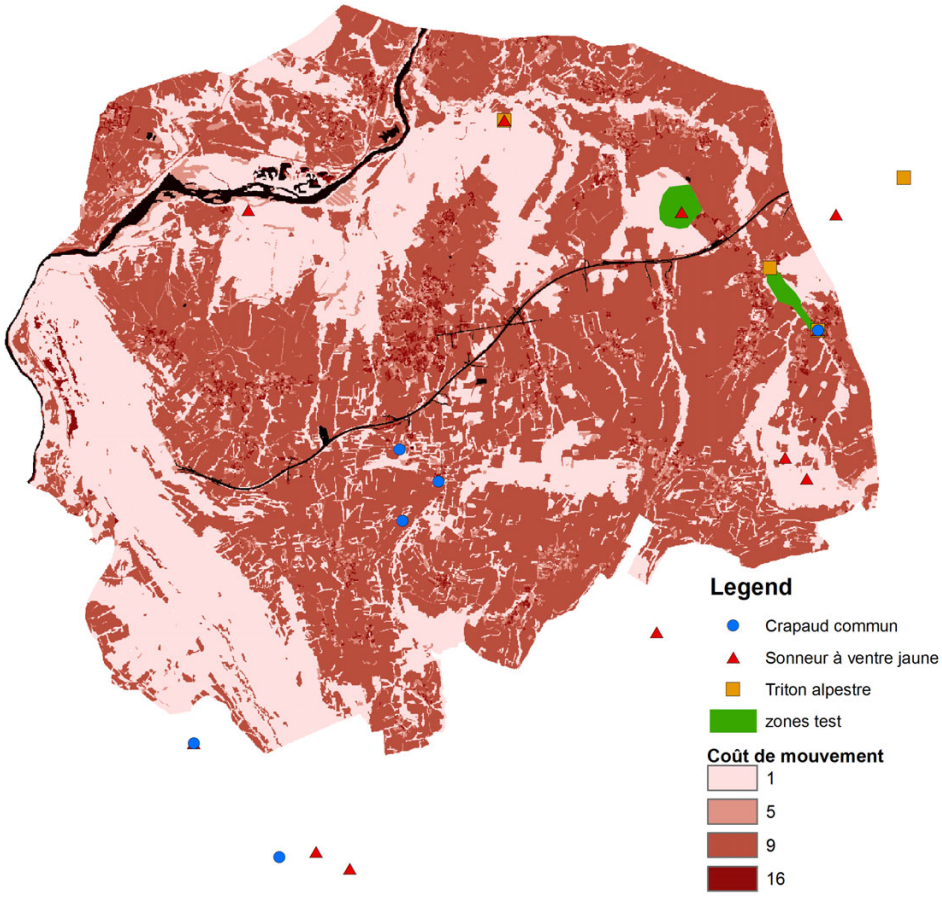


Figure 37 : Carte de coûts aux mouvements avec données d'observations pour trois espèces d'amphibiens. Les deux polygones testés pour les analyses de corridors sont en vert. L'autoroute et le Rhône sont représentés en noir.

9.3. Résultats des analyses

La Figure 38A montre le chemin de moindre coût obtenu entre les deux polygones en utilisant le scénario de coût pour *B. bufo*. Comme attendu, ce chemin passe essentiellement par le cordon boisé quasi continu du continuum vert. Le corridor (couleurs jaune à rouge) sous-jacent représente un *buffer* calculé en unités de coûts (et non de distance). Ce corridor permet d'incorporer une "largeur" du chemin qui dépasse le seul pixel. Ceci permet d'introduire une certaine incertitude quant à la localisation de ce chemin.

Dans la Figure 38B, l'analyse *CircuitScape* permet de mettre en évidence les localisations sensibles (*pinch points*) où le mouvement est potentiellement le plus concentré. Ces localisations représentent les endroits où la connectivité entre les deux polygones est la plus ténue: si ces localisations venaient à être

détériorées ou interrompues par une barrière, la connectivité se réduirait fortement. On remarque plusieurs cordons boisés présentant un fort potentiel de mouvement, ce qui n'était pas mis en évidence par l'approche du chemin de moindre coût. Il est intéressant de constater que les quelques observations d'amphibiens sont dans la zone proche du chemin de moindre coût.

La Figure 39 présente les mêmes analyses, mais cette fois entre deux autres polygones. La dispersion se produit alors uniquement au sud de l'autoroute. Le chemin de moindre coût (Figure 39A) montre la connexion entre un certain nombre de régions boisées qui sont ici plus fragmentées que dans la région du nord de l'autoroute. L'approche *CircuitScape* (Figure 39B) confirme cette fragmentation en montrant un grand nombre de *pinch points* et de nombreuses voies de dispersion possibles.

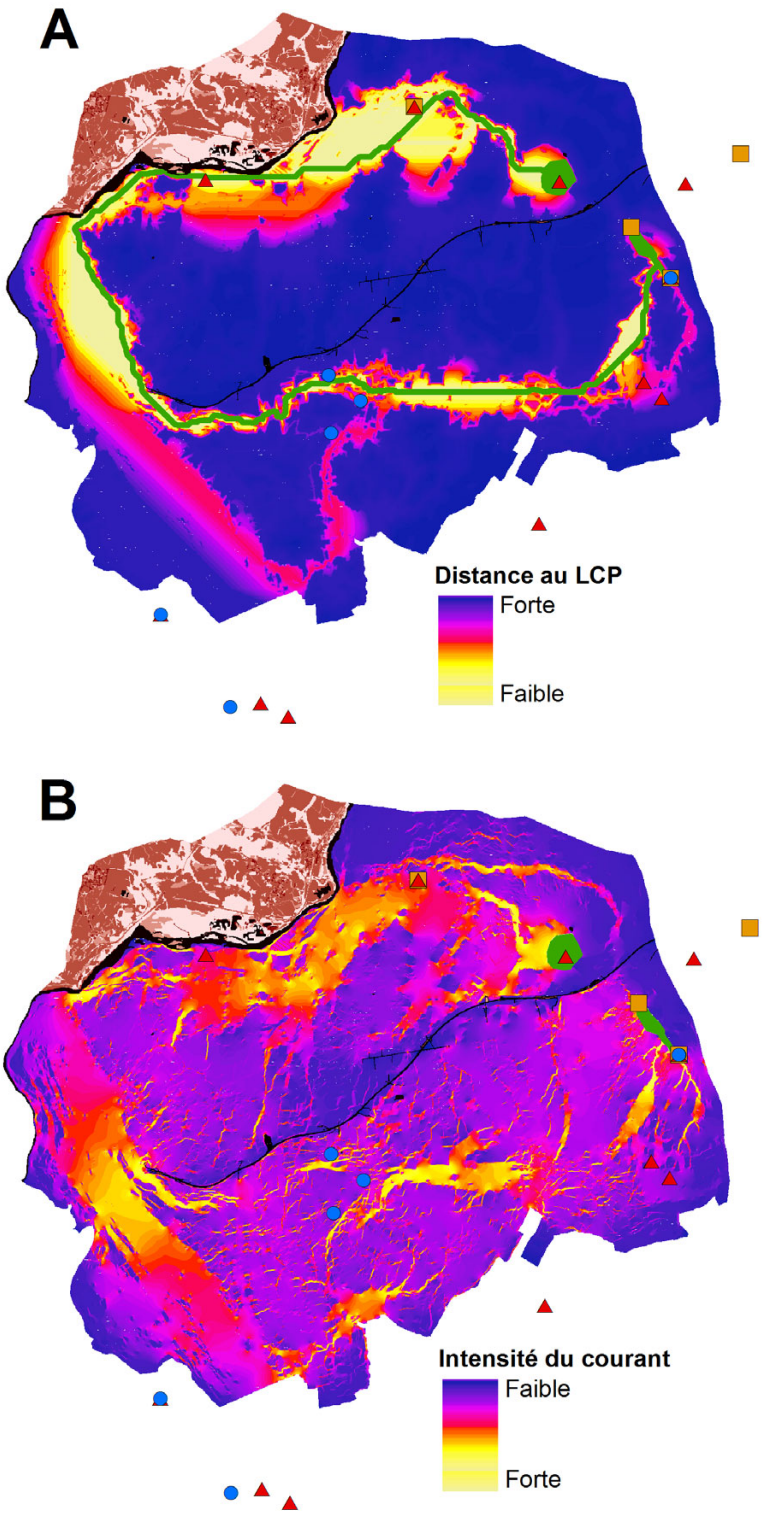


Figure 38 : Résultats des analyses corridors appliquées à la carte de coût Crapaud, entre les deux polygones. (A) Chemins de moindre coût LCP (trait vert) et distance au LCP; (B) CircuitSCAPE et intensité du courant (les zone jaunes indiquent une intensité maximum).

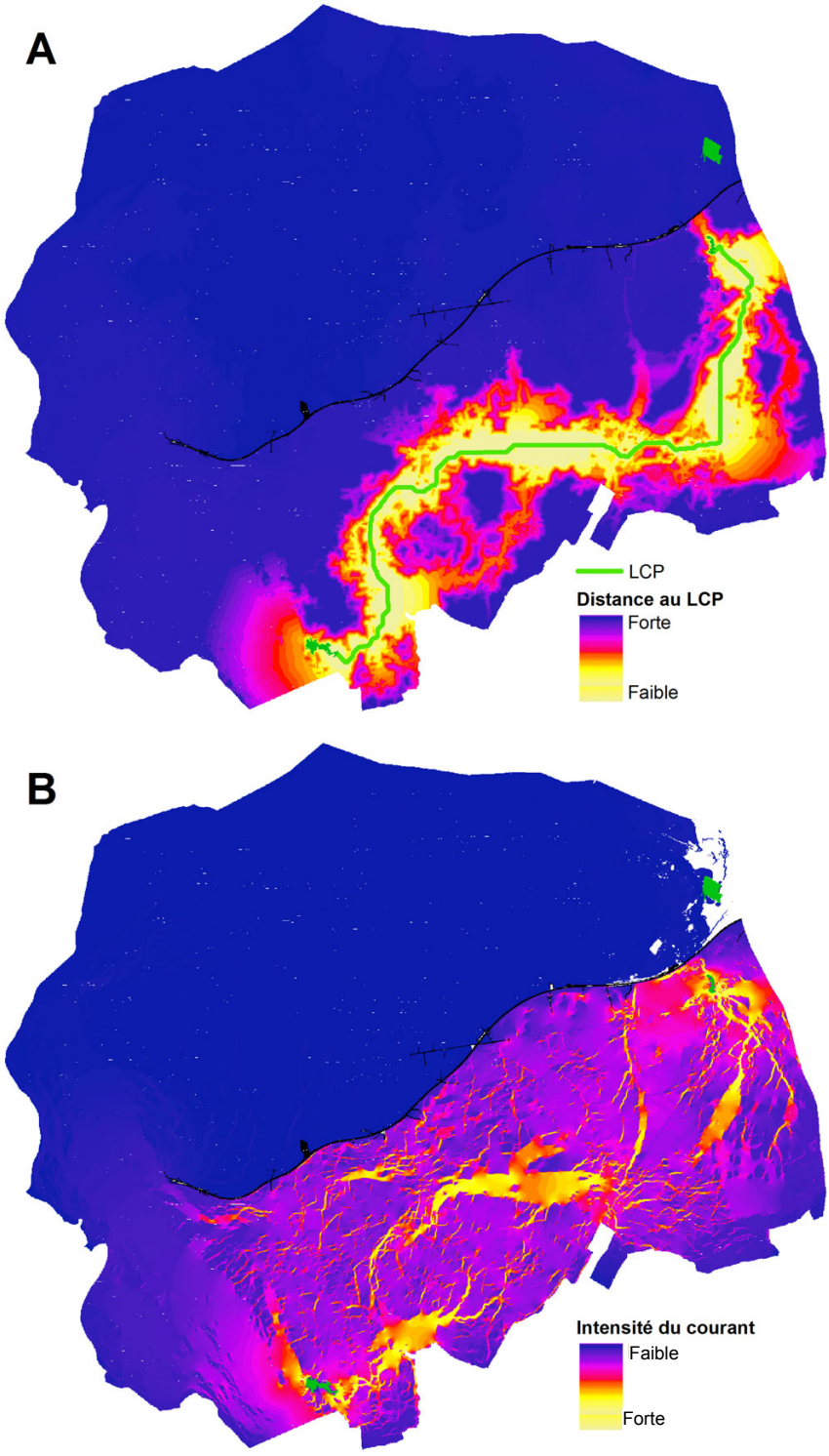


Figure 39 : Autre exemple de résultats des analyses corridors entre deux polygones arbitraires. (A) Chemins de moindre coût LCP (trait vert) et distance au LCP; (B) CircuitSCAPE et intensité du courant (les zone jaunes indiquent une intensité maximum).

9.4. Utilisations possibles des approches *CircuitScape* et *LCP*

Le but des analyses discutées précédemment était d'expliquer et de visualiser les potentialités de deux approches utilisées fréquemment pour l'analyse de la connectivité spatiale. La quantification de la connectivité entre un ou plusieurs éléments du paysage est un complément très intéressant aux approches de terrain et aux connaissances des experts faunistiques et floristiques. Plusieurs applications de ces méthodes peuvent être envisagées pour l'aide à la décision dans le domaine de la gestion de la faune et/ou du paysage:

- **Détermination du corridor optimal entres certaines localisations**. Le chemin de moindre coût permet de calculer ce corridor et de le comparer entre plusieurs espèces.
- **Détermination des localisations sensibles à fort potentiel de connexion**. L'approche *CircuitScape* peut mettre en évidence les zones (*pinch points*) qui participent le plus fortement à la connectivité entre deux éléments du paysage. La détérioration de ces zones peut donc avoir un grand impact sur la connectivité du paysage. Si cette connectivité veut être maintenue, ces zones sont donc à considérer comme prioritaire dans une démarche de protection des mouvements de l'espèce considérée.
- **Détermination de l'impact de la fragmentation du paysage ou d'une nouvelle barrière (clôture, route, etc).** Les approches présentées permettent très facilement de construire divers scénarios paysagers et de quantifier leurs impacts sur la connectivité de la zone d'étude. En incorporant, par exemple, une nouvelle route, un changement d'occupation du sol, ou toute autre barrière au mouvement, il est possible de quantifier la perte de connectivité occasionnée.
- **Localisation et types des passages à faune**. Même si la connaissance terrain est ici primordiale, il est possible d'utiliser ces approches pour déterminer la localisation optimale d'un passage à faune. En testant plusieurs scénarios alternatifs, le gain de connectivité peut ainsi être quantifié et comparé entre ces scénarios.
- **Détermination des zones à échantillonner**. La détermination du chemin de moindre coût et des *pinch points* peut potentiellement permettre de localiser les fortes concentrations théoriques d'individus en mouvement. Ces zones sont donc des bons candidats pour des visites de terrain visant à observer ou échantillonner des individus.
- **Calculs de connectivité entre population ou individus**. Le domaine scientifique de la génétique du paysage (*landscape genetics*) vise à comprendre comment les contraintes du paysage sur le mouvement d'une espèce donnée influencent la diversité génétique de la population de cette espèce. Les approches LCP et *CircuitScape* sont alors très utiles car elles permettent de quantifier la distance paysagère entre individus ou sous-populations qui ont été échantillonnés génétiquement. En utilisant et comparant plusieurs scénarios de friction, il est alors possible de mieux comprendre quels éléments du paysage influencent les mouvements d'une espèce. L'écologie de l'espèce est alors mieux comprise, ce qui peut faciliter sa conservation.

9.5. Limitations et données nécessaires

Aussi séduisantes visuellement que sont ces approches spatiales, il est important de comprendre leurs limites et leurs domaines d'applicabilité. Tout d'abord, les résultats sont fortement liés aux valeurs de la carte de friction. Ces valeurs doivent donc être déterminées avec le plus grand soin. Dans une possible analyse ultérieure complète de la zone VSL, et potentiellement de toute la zone de l'agglomération, un système expert devra être mis en place. La consultation d'expert est donc un élément très important qu'il conviendra de mener au mieux en prenant en compte également l'incertitude sur l'écologie de certaines espèces. Selon l'espèce, une revue de la littérature devra être menée pour en extraire toute information utile pour augmenter le réalisme de la carte de friction.

La résolution de la carte de friction est également importante. Cette résolution doit être liée à l'écologie de l'espèce et à la perception (grain) qu'a l'espèce du paysage. Par exemple, une résolution à l'hectare serait trop faible pour un amphibien et de nombreuses barrières à son mouvement ne seraient pas prises en compte. Une carte à 5 m de résolution, par contre, serait adéquate pour un amphibien, mais

certainement trop détaillée pour le cerf. D'une manière générale, lorsqu'on est intéressé par plusieurs espèces, il est conseillé d'utiliser la résolution maximum possible, tout en s'assurant que le temps de calcul avec des cartes haute résolution reste raisonnable.

Les résultats des paragraphes précédents montraient des corridors calculés entre deux localisations. Même s'il est possible de faire les mêmes démarches en considérant simultanément plusieurs localisations, il reste indispensable de choisir certaines localisations pour les calculs. Celles-ci doivent donc être bien choisies afin de montrer la connectivité entre des éléments du paysage qui ont un sens du point de vue de la gestion.

Chaque carte de friction étant spécifique à une espèce (ou à un groupe d'espèces dont l'écologie et les caractéristiques des mouvements sont considérées comme similaires), l'analyse devient plus compliquée lorsque plusieurs espèces écologiquement très différentes doivent être prises en compte dans des scénarios de gestion. Cependant, des méthodes existent pour "fusionner" les corridors calculés indépendamment pour plusieurs espèces. Il conviendra d'explorer ces différentes méthodes et leurs contraintes avant de commencer les analyses finales propres à chaque espèce.

10. Conclusions

Modélisation de la distribution potentielle des milieux

La méthode employée dans cette étude est maintenant bien rodée et donne des résultats satisfaisants compte tenu des faibles gradients environnementaux présents sur un territoire restreint comme celui du canton de Genève ou de l'agglomération. De nouvelles approches de modélisation encore plus performantes comme les Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS) ou les Boosted Regression Tree (BRT) pourraient toute fois être testées et/ou utilisées dans les études suivantes.

Les prédictions issues des modèles aident à identifier les habitats, mais ne sont toutefois pas suffisants. L'approche experte qui combine les prédictions avec d'autres informations utiles semble être un excellent compromis.

Cartographie finale

La qualité de la carte proposée est très bonne en regard des données environnementales disponibles : imagerie SPOT relativement ancienne et modèle numérique d'altitude grossier. La mise en commun des données de terrain sur les milieux naturels a permis de tisser un réseau de personnes clefs pour ce périmètre Vuache-Sion-Laire, mais également pour l'ensemble de l'agglomération FVG. La confiance entre les partenaires est maintenant acquise et à l'avenir le partage des informations ne peut que s'effectuer plus efficacement.

La modélisation combinée dans le système expert a réussi à délimiter, pour l'ensemble de la zone, les contours de toutes les formations naturelles. Avant ce projet, la connaissance cartographique se limitait aux données des cartes topographiques, à la couverture du sol et à quelques cartes précises, mais ponctuelles, pour les sites naturels les plus connus. Notre approche sur une trentaine de milieux naturels différents semble un bon compromis entre le coût et les possibilités d'usage offertes par la suite (des données précises au 10'000ème pour le technicien de terrain à des cartes simplifiées pour les décisions politiques à grande échelle).

Certains milieux naturels d'importance n'ont cependant pas pu être traités (mares forestières et prairies humides par exemple) et d'autres nécessiteraient des compléments de terrain (pelouses sèches) pour que la cartographie soit la plus exhaustive et la plus correcte possible. Gageons que les institutions en charge de l'environnement, aidées par les associations locales, participeront à ces étapes finales.

Mouvements des espèces – modélisation des corridors

La connectivité entre les milieux naturels, notamment à travers les mouvements de faune, participe grandement au maintien de la viabilité des populations. Les méthodes de modélisation de corridors de mouvement, comme l'approche par chemin de moindre coût ou l'approche basée sur la théorie des circuits, permettent de visualiser et quantifier ces corridors. Ces approches se basent sur la re-classification d'une carte d'occupation du sol en carte de friction (ou de coût), permettant de traduire l'hétérogénéité du paysage en contraintes aux mouvements pour une espèce donnée. La cartographie fine des milieux naturels, telle que présentée dans ce rapport participe à rendre la modélisation des corridors plus réaliste.

Les applications de ces approches de modélisation à la gestion du paysage et de la faune sont nombreuses: détermination du corridor optimal entres certaines localisations, détermination des localisations sensibles à fort potentiel de connexion, détermination de l'impact de la fragmentation du paysage ou d'une nouvelle barrière (clôture, route, etc.), localisation et types des passages à faune, détermination des zones à échantillonner, calculs de connectivité entre population ou individus en lien avec la diversité génétique, etc. Une application correcte de ces méthodes nécessite néanmoins d'avoir d'une part une carte détaillée de la végétation à une échelle adéquate pour les espèces étudiée, et, d'autre part, de rassembler un maximum d'information écologique sur ces espèces (à partir de la littérature et d'une cohorte d'experts faunistiques).

11. Perspectives

A la vue de cette étude et de l'étude pilote précédente (Allenbach et al. 2009), nous pensons que les résultats présentés permettent d'entreprendre la cartographie des habitats naturels sur l'ensemble du canton de Genève, ainsi que sur son agglomération.

Toutefois, nous nous attendons à ce que:

- le travail de terrain reste nécessaire pour certains habitats et pour la validation;
- certains habitats resteront difficiles voir impossibles à modéliser;
- il faudra sans doute procéder par sous-régions pour pouvoir adapter la procédure aux différentes conditions rencontrées.

Nous sommes donc prêts à entreprendre la création des cartes similaires pour le canton et l'agglomération. Il faudra pour ceci être averti le plus tôt possible de la demande d'un tel mandat afin que nous puissions réunir la meilleure équipe possible.

Cette étude prouve définitivement qu'il est possible d'obtenir une carte des milieux naturels de l'agglomération. Cette première étape devrait être complétée par le développement de cartes décrivant l'environnement de l'ensemble de la zone de l'agglomération genevoise, comme par exemple les variables topographiques dérivées de l'altitude, des cartes climatiques, géologiques et pédologiques.

Cette première étape ouvrira les portes d'une véritable stratégie d'analyse des données environnementales pour le canton et son agglomération (phase 2; Figure 40):

- Corridors: migration, flux de gènes … ;
- Réseau de réserves : représentativité, exhaustivité, priorité, complémentarité… ;
- Etablissement de listes rouges par le calcul des aires d'occupation;
- Analyse de l'impact des changements climatiques sur la distribution des espèces;
- Pour les décideurs, alerte environnementale : gradation de zones environnementales (à surveiller, à préserver urgemment, etc.);
- Visualisation d'alternatives (si mauvais choix de développement).

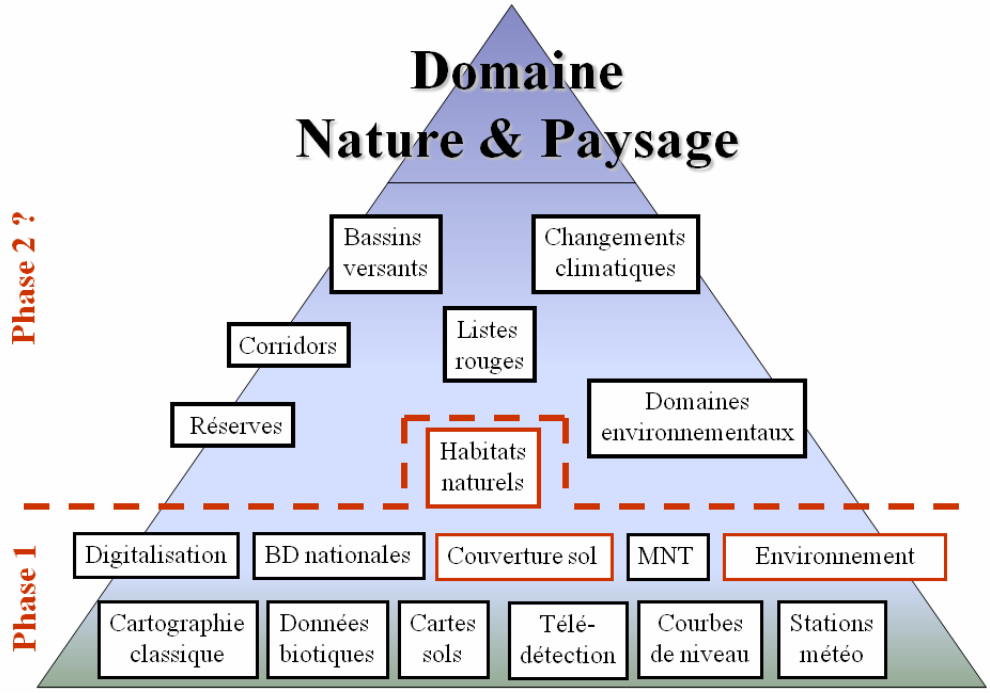


Figure 40 : Les deux phases proposées pour l'établissement d'un système d'analyse de la nature et du paysage du canton et de son agglomération.

L'établissement de bonnes cartes des milieux naturels à l'échelle du canton et de son agglomération va permettre le développement d'analyses fines des structures importantes du paysage favorisant la mobilité de la faune (talus, lisière, écotone, corridors). Dans la perspective d'une agglomération approchant le million d'habitants dans les décennies à venir, la pression sur la faune, la flore sauvage et leurs habitats naturels va nettement s'accroître. Seule une prise en compte rapide des changements des paysages permettra de maintenir un réseau d'habitats nécessaires au maintien d'un maximum de biodiversité.

Une fois la carte des habitats lancée, nous pourrons commencer à développer des applications métiers permettant aux services en charge de la gestion de la nature et de la planification du territoire d'accéder rapidement aux informations utiles sur les espèces rares, les habitats protégés et les corridors importants.

12. Choix bibliographique

Adriaensen F., Chardon J.P., Blust G.D., Swinnen E., Villalba S., Gulinck H. & Mathyssen E. (2003). The application of least-cost modelling as a functional landscape model. Landscape and Urban Planning, 64, 233–247.

Allenbach K., Lehmann A., Martin P., & Wyler N. (2009). Cartographie des habitats naturels du canton de Genève: Etude pilote. DGNP. Genève.

Baguette M. (2004) The classical metapopulation theory and the real, natural world: a critical appraisal. Basic and Applied Ecology, 5, 213–224.

Beyer H. L. (2004). Hawth's Analysis Tools for ArcGIS. Available at http://www.spatialecology.com/htools.

Caloz R. et Collet C. (2001). Précis de télédétection vol. 3 Traitement numériques d'images de télédétection. Presses de l'Université du Québec. pp. 386.

Chatelain C., Juge R., Lachavanne J.-B., Wyler N., Latour C. & Bernard N. (2002). Inventaire, cartographie, et évaluation des patrimoines naturels et architectural de la commune de Genthod. Commune de Genthod. Genève.

Conseil Fédéral suisse (2003). Ordonnance sur la mensuration officielle (OMO), Berne, 18 p.

Conseil Fédéral suisse (2003). Ordonnance technique du DDPS sur la mensuration officielle (OTEMO), Berne, 39p.

Definiens developper 7, reference book.

Delarze R. et Lehmann A. (2006). Contribution of the Habitalp methodology to the detection of Natura 2000 habitats. Habitalp project Interreg 3B publication.

Delarze, R. et Gonseth Y. (2008). Guide de milieux naturels de Suisse: Ecologie, menaces, espèces caractéristiques. Rossolis. Bussigny.

EC 2001. Corine Biotope Manual. European Commission report.

Ellenberg H. (1988). Vegetation ecology of central Europe. Cambridge University Press. Cambridge.

Groom G., Mücher C. A., Ihse M. & Wrbka T. (2004). Remote sensing in landscape ecology: Experiences and perspectives in a European context. Landscape Ecology 20(6): 627-644.

Hainard P.et Tcheremissinoff G. (1973). Notice abrégée de la carte de végétation du bassin genevois. Saussurea. 4: 69-87.

Hainard P., Lebeau R. & Tchérémissinoff G. (1973). Carte de la végétation du Bassin genevois (échelle 1: 50'000).

Hainard, P. et Tcheremissinoff G. (1973). Notice abrégée de la carte de végétation du bassin genevois. Saussurea. 4: 69-87.

Harayama A. et Jaquet J.-M. (2004). Cartographie semi-automatisée et multisources de la couverture du sol dans le Canton de Genève. Géomatique Suisse 8/2004.

Jaquet J.-M., Couderq S., Allenbach K., Jodry A. & Klaus R., 2008. Cartographie à haute résolution de la couverture du sol du Canton de Genève. Rapport final du mandat décerné par la Direction Cantonale de la Mensuration Officielle au groupement GeoDataNetwork + UNEP-GRID Europe. 75 pages, 9 annexes.

Jaquet J.M. (2002). Cartographie multi-sources de la couverture du sol (Périmètre du plan directeur genevois). CouvSolGE, version 1.1x. Uted-S. Genève.

Kluser S. (2000). Elaboration d'une carte de couverture du sol par interprétation semi-automatisée de l'espace colorimétrique d'orthophotos. Travail de diplôme (non publié). Université de Genève. Genève.

Lachavanne J.-B. et Juge R. (2001). Environnement de Vandoeuvres: Un bilan. Commune de Vandoeuvres. Genève.

Latour C. (2002). Quelques résultats du projet de cartographie floristique du canton de Genève. Mémoires de la Société Botanique de Genève. 3: 51-62.

Latour C. (2005). Cartographie floristique du canton de Genève. Thèse. Université de Genève. Genève.

Lehmann A., Overton J. M. & Austin M. P. (2002). Regression models for spatial prediction: Their role for biodiversity and conservation. Biodiversity and Conservation. 11 (12): 2085-2092.

Lehmann A., Overton J. M. & Leathwick J. R. (2003). GRASP: Generalized Regression Analysis and Spatial Prediction. Ecological Modelling. 160 (1-2): 165-183.

McRae B.H., Dickson B. G., Keitt T. H., & Shah V. B. (2008). Using circuit theory to model connectivity in ecology and conservation. Ecology 10: 2712-2724.

McRae B.H. et Beier P. (2007). Circuit theory predicts Gene flow in plant and animal populations. Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA 104:19885-19890.

McRae B.H. (2006). Isolation by resistance. Evolution 60:1551-1561.

Maggini R., Lehmann A., Zimmermann N.E. & Guisan A. (2006). Improving generalized regression analysis for spatial predictions of forest communities. Journal of Biogeography 33: 1729-1749.

Mertz P. (2000). Pflanzengesellschaften Mitteleuropas und der Alpen : Erkennen, Bestimmen, Bewerten : ein Handbuch für die vegetationskundliche Praxis. Ecomed. Landsberg.

Moser D.M., Gygax A., Baümler B., Wyler N. & Palese R., 2002. Plantes vasculaires menacées en Suisse. Listes rouges nationale et régionales. OFEFP. Berne.

Ray N., Lehmann A. & Joly P. (2002). Modeling spatial distribution of amphibian populations: a GIS approach based on habitat matrix permeability. Biodiversity and Conservation, 11, 2143–2165.

Rouse J.W. et al. (1974). Monitoring the vernal advancement and retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation. pp. 371

Theurillat J.P. et Latour C. (1995). Diversité et état de la flore du canton de Genève. Saussurea. 26: 37-49.

Theurillat J.P. et Spichiger R. (1989). Cartographie floristique du canton de Genève. Saussurea. 20: 35-37.

Theurillat J.P. et Spichiger R. (1990). Cartographie floristique du canton de Genève 2. Saussurea. 21: 17-19.

Theurillat J.P. et Spichiger R. (1993). Cartographie floristique du canton de Genève 3. Saussurea. 24: 53-54.

Theurillat J.P. et Spichiger R. (1995). Cartographie floristique du canton de Genève 4. Saussurea. 26: 113-116.

Theurillat J.P., von Arx B. & Corbetta E. (1990). Liste des plantes vasculaires du canton de Genève. Saussurea. 21: 21-36.

Verbeylen G., Bruyn L.D., Adriaensen F. & Mathyssen E. (2003) Does matrix resistance influence Red squirrel (Sciurus vulgaris L. 1758) distribution in an urban landscape? Landscape Ecology, 18: 791–805.

Werdenberg K. et Hainard P. (2000). Les paysages végétaux du canton de Genève. Conservatoire et Jardin botaniques de Genève.

Wisard J.-P. 2004. La nouvelle vision de la couverture du sol à Genève. Géomatique Suisse 8.

Wyler N., Martin P., Allenbach K. & Lehmann A. (2009). Système d'Information du Patrimoine Vert: Apports de la télédétection et des modèles statistiques pour l'automatisation de la cartographie des milieux naturels. Géomatique Expert. 70: 90-96.

13. Liste des figures et tableaux

Figure 1 : Pyramides de l'Information où différentes disciplines peuvent partager des données de base et des méthodes d'intégration tout en gardant leur objectif propre. 10

Figure 2 : Carte des données initialement disponibles. 13

Figure 3 : Maillage à 500m. (grid 500) englobant le secteur d'étude. 14

Figure 4 : Les six zones du secteur d'étude avec la numérotation des carrés 500 m. 15

Figure 5 : Exemple de carte de terrain, le carré 669 dans la zone 1 (Vuelbens–Etournel). 16

Figure 6 : Exemple de carte de terrain, le carré 252 dans la zone 5 (Digny–Jonzier–Savigny). 16

Figure 7 : Exemple de fiche de milieu avec entouré en rouge les listes d'espèces caractéristiques et fréquentes, les conditions stationnelles d'humidité, d'acidité et d'altitude où ils se rencontrent, et des cartes de distribution actuelle de ces milieux. 18

Figure 8 : Données sur les milieux naturels regroupées et acquises durant le projet. 20

Figure 10 : Carte de couverture du sol de l'agglomération franco-valdo-genevoise (légende à 26 classes). 22

Figure 11 : Zones non couvertes par la CSAgglo. 26

Figure 13 : MNA disponibles sur le périmètre, IGN à gauche, ASTER à droite. 31

Figure 14 : Différences d'altitudes entre les deux MNA. 31

Figure 15 : Indice topographique dans un rayon de 100 mètres. 32

Figure 16 : Indice topographique dans un rayon de 1000 mètres. 33

Figure 17 : Carte de densité de rivières. 34

Figure 18 : Carte de distances aux rivières (jusqu'à 500 mètres). 35

Figure 19 : Carte de distance au Rhône (jusqu'à 1000 mètres). 35

Figure 20 : Critères choisis pour la segmentation du secteur VSL. 37

Figure 21 : Modèle GRASP avec les courbes de réponse expliquant la distribution des prairies de fauche (4.5.1). 39

Figure 22 : Validation simple et croisée du modèle des prairies de fauche (4.5.1). 40

Figure 23 : Prédiction spatiale pour le milieu 4.5.1 (prairie de fauche). 41

Figure 24 : Extrait de la fenêtre "Process Tree" dans le logiciel DEFINIENS résumant les principales étapes du "système expert". 42

Figure 25 : Classification niveau CSAgglo. 43

Figure 26 : Exemple de set de règles pour une classe de milieux naturel. 44

Figure 27 : Classification automatique des milieux naturels. 46

Figure 28 : Carte finale des milieux naturels du périmètre Vuache-Sion-Laire. 47

Figure 29 : Continuum jaune du périmètre VSL. 50

Figure 30 : Continuum sec du périmètre VSL. 51

Figure 31 : Continuum vert du périmètre VSL. 52

Figure 32 : Continuum bleu du périmètre VSL. 53

Figure 33 : Carte des continuums du périmètre VSL. 54

Figure 34 : Représentation synthètique des sites Natura 2000 avec en rouge les habitats prioritaires et en rose les habitats soumis à la réglementation Natura 2000. 55

Figure 35 : Mosaïque SPOT5 à 2.5 mètre de résolution couvrant le périmètre d'agglomération franco-valdo-genevoise. 61

Figure 36 : Exemples de problèmes avec les ombres portées. 64

Figure 37 : Carte de coûts aux mouvements avec données d'observations pour trois espèces d'amphibiens. Les deux polygones testés pour les analyses de corridors sont en vert. L'autoroute et le Rhône sont représentés en noir 69

Figure 38 : Résultats des analyses corridors appliquées à la carte de coût Crapaud, entre les deux polygones. (A) Chemins de moindre coût LCP (trait vert) et distance au LCP; (B) CircuitSCAPE et intensité du courant (les zone jaunes indiquent une intensité maximum). 71

Figure 39 : Autre exemple de résultats des analyses corridors entre deux polygones arbitraires. (A) Chemins de moindre coût LCP (trait vert) et distance au LCP; (B) CircuitSCAPE et intensité du courant (les zone jaunes indiquent une intensité maximum). 72

Figure 40 : Les deux phases proposées pour l'établissement d'un système d'analyse de la nature et du paysage du canton et de son agglomération. 77

Tableau 1 : Liste des milieux naturels retenus pour les relevés de terrain avec code de saisie (MN) et équivalence Delarze et Corine Biotope. Document téléchargeable ici. 19

Tableau 2 : Regroupement des classes CSAgglo en utilisant une nomenclature compatible avec la légende européenne CORINE landcover (voir annexe 1, http://www.ifen.fr/bases-de-donnees/occupation-des-sols-corine-land-cover/nomenclature.html). 25

Tableau 3 : Statistiques sur les milieux cartographiés. 49

Tableau 4 : Légende simplifiée pour le contrôle de qualité. 57

Tableau 5 : Statistiques globales de qualité. 60

Tableau 6 : Coûts relatifs de mouvements attribués aux classes d'occupation du sol selon les deux scénarios testés. 68

14. Annexes

14.1. Annexe 1 : Nomenclature CORINE Land Cover

Cette base vectorielle est produite par photo-interprétation humaine d'images satellites (Landsat, SPOT, IRS,…) d'une précision de 20 à 25 mètres issues des projets IMAGE2000[6] et IMAGE2006[7]. L'ensemble des explications et des données sont accessibles : http://www.ifen.fr/bases-de-donnees/occupation-des-sols-corine-land-cover/telechargement-des-donnees.html. La vocation de CORINE Land Cover est cartographique et concerne uniquement les unités de paysage suffisamment grandes pour être reconnues sur les données satellitaires.

Attention, la nomenclature CORINE Biotope est beaucoup plus précise et se réfère aux milieux naturels existants donc à des objets sur le terrain beaucoup plus réduits, voir lien http://www.espaces-naturels.fr/natura_2000/outils_et_methodes/corine_biotope/version_pdf. Les identifiants hiérarchiques sont totalement différents entre ces deux systèmes.

Schéma de principe de la photo-interprétation

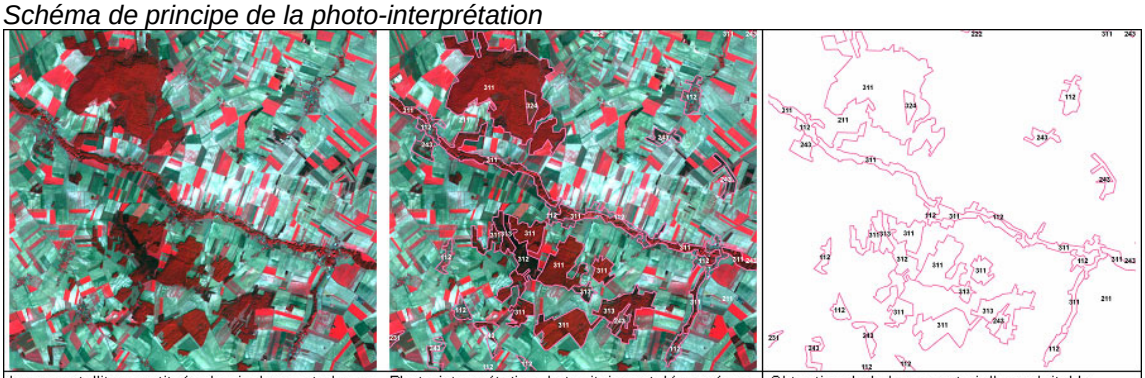


Image satellite constituée de pixels ayant chacun une couleur	Photo-interprétation, le territoire est découpé en polygones	Obtention de la base vectorielle exploitable, chaque polygone a un code CORINE Land Cover

Nomenclature

Elle s'articule suivant trois niveaux, avec 44 postes au niveau 3, 15 au niveau 2 et 5 au premier niveau :

1 Territoires artificialisés

11 Zones urbanisées

111 Tissu urbain continu

112 Tissu urbain discontinu

12 Zones industrielles ou commerciales et réseaux de communication

121 Zones industrielles et commerciales

122 Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés

123 Zones portuaires

124 Aéroports

13 Mines, décharges et chantiers

131 Extraction de matériaux

132 Décharges

133 Chantiers

14 Espaces verts artificialisés, non agricoles

141 Espaces verts urbains

142 Équipements sportifs et de loisirs

2 Territoires agricoles

21 Terres arables

211 Terres arables hors périmètres d'irrigation

212 Périmètres irrigués en permanence

213 Rizières

22 Cultures permanentes

221 Vignobles

222 Vergers et petits fruits

223 Oliveraies

23 Prairies

231 Prairies

24 Zones agricoles hétérogènes

241 Cultures annuelles associées aux cultures permanentes

242 Systèmes culturaux et parcellaires complexes

243 Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants

244 Territoires agro-forestiers

3 Forêts et milieux semi-naturels

31 Forêts

311 Forêts de feuillus

312 Forêts de conifères

313 Forêts mélangées

32 Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée

321 Pelouses et pâturages naturels

322 Landes et broussailles

323 Végétation sclérophylle

324 Forêt et végétation arbustive en mutation

33 Espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation

331 Plages, dunes et sable

332 Roches nues

333 Végétation clairsemée

334 Zones incendiées

335 Glaciers et neiges éternelles

4 Zones humides

41 Zones humides intérieures

411 Marais intérieurs

412 Tourbières

42 Zones humides maritimes

421 Marais maritimes

422 Marais salants

423 Zones intertidales

5 Surfaces en eau

51 Eaux continentales

511 Cours d'eau et voies d'eau

512 Plans d'eau

52 Eaux maritimes

521 Lagunes littorales

522 Estuaire

523 Mers et océans

Echelle d'utilisation au 1/100 000ème

14.2. Annexe 2: Procédure (ruleset) phase 2 (classification)

Segmentation CS_agglo

CSAgglo
multiresolution segmentation: 100000000000000 [shape:0.1 compct.:0.5] creating 'cs_agglo'
assign class: with code: aoi = 1 at cs_agglo: aoi
merge region: unclassified at cs_agglo: merge region

Classification CS_agglo

assign class: with code: cs_agglo = 1 at cs_agglo: to ignore
assign class: with code: cs_agglo = 3 at cs_agglo: terre arable
assign class: with code: cs_agglo = 4 at cs_agglo: forêt conifères
assign class: with code: cs_agglo = 5 at cs_agglo: forêt feuillus
assign class: with code: cs_agglo = 6 at cs_agglo: forêt mélangée
assign class: with code: cs_agglo = 7 at cs_agglo: plans eau
assign class: with code: cs_agglo = 9 at cs_agglo: tissu urbain
assign class: with code: cs_agglo = 10 at cs_agglo: rivière
assign class: with code: cs_agglo = 14 at cs_agglo: prairie
assign class: with code: cs_agglo = 17 at cs_agglo: végétation clairsemée
assign class: with code: cs_agglo = 18 at cs_agglo: evu arbre
assign class: with code: cs_agglo = 19 at cs_agglo: evu gazon
assign class: with code: cs_agglo = 20 at cs_agglo: evu mixte
assign class: with code: cs_agglo = 98 at cs_agglo: prairie_molinies
assign class: with code: cs_agglo = 99 at cs_agglo: calcaire
assign class: aoi with Mean distRhone < 0 at cs_agglo: bloc

Segmentation VSL

multiresolution segmentation: aoi, calcaire, evu arbre, evu gazon, evu mixte, forêt conifères, forêt feuillus, forêt mélangée, plans eau, prairie, prairie_molinies, rivière, terre arable, tissu urbain, végétation clairsemée with Area >= 9 Pxl at cs_agglo: 10 [shape:0.1 compct.:0.9] creating 'L1'

Classification_milieux

remove classification: at L1: remove classification
assign class: with code: aoi = 1 at L1: aoi
merge region: unclassified at L1: merge region
classification: aoi at L1: vegetation
classification: aoi at L1: no vegetation
classification: at L1: mn_alluv32
classification: at L1: mn_eau
classification: at L1: mn_eauveg11
classification: at L1: mn_rosel21
classification: at L1: mn_aulnaie61
classification: at L1: mn_forriv61
classification: at L1: mn_saulbui53
classification: at L1: mn_saulbla61
classification: at L1: mn_vegnitr25
classification: at L1: mn_formix6
classification: at L1: mn_chenbui63
classification: at L1: mn_hetraie62
classification: at L1: mn_chenpred5
classification: at L1: mn_chencharm
classification: at L1: mn_plantcon
classification: loop: at L1: plantacon2
assign class: plantacon2 at L1: mn_plantcon
classification: at L1: mn_pined64
assign class: with Existence of super objects prairie_molinies (1) = 1 at L1: mn_pined64
assign class: no vegetation, vegetation with Existence of super objects terre arable (1) = 1 at L1: mn_cereale82
[classification: no vegetation, vegetation at L1: mn_cereale82]
classification: at L1: mn_patur453
classification: at L1: mn_praifau451
classification: at L1: mn_parcalc34
assign class: with Existence of super objects calcaire (1) = 1 at L1: mn_parcalc34

classification: at L1: mn_arbust53
classification: at L1: mn_roncier53
classification: at L1: mn_ruderal
classification: at L1: mn_pelmisec4
classification: at L1: mn_pelsec42
assign class: vegetation with PATUR_453: SegPred >= 0.97 at L1: mn_patur453
classification: vegetation at L1: foretMixte
assign class: no vegetation, vegetation with Existence of super objects tissu urbain (1) >= 1 at L1: tissu urbain
classification: vegetation at L1: végétation urbaine
classification: vegetation at L1: foretMixte2

TEMP [Export shape cordon]

classification: foretMixte, foretMixte2, mn_arbust53, mn_chencharm, mn_chenpred5, mn_formix6, mn_forriv61, mn_hetraie62 at L1: mn_cordon53
[merge region: mn_cordon53 at L1: merge region]
export vector layers: mn_cordon53 at L1: export object shapes to ObjectShapes

Fusion des objets L2

copy image object level: at L1: copy creating 'L2' above
fusion
merge region: mn_alluv32 at L2: merge region
merge region: mn_arbust53 at L2: merge region
merge region: mn_aulnaie61 at L2: merge region
merge region: mn_buisson53 at L2: merge region
merge region: mn_cereale82 at L2: merge region
merge region: mn_chenbui63 at L2: merge region
merge region: mn_chencharm at L2: merge region
merge region: mn_chenpred5 at L2: merge region
merge region: mn_eauveg11 at L2: merge region
merge region: mn_eau at L2: merge region
merge region: loop: mn_formix6 at L2: merge region
merge region: mn_forriv61 at L2: merge region
merge region: mn_hetraie62 at L2: merge region
merge region: mn_parcalc34 at L2: merge region
merge region: mn_patur453 at L2: merge region
merge region: mn_pelmisec4 at L2: merge region
merge region: mn_pelsec42 at L2: merge region
merge region: mn_pined64 at L2: merge region
merge region: mn_plantcon at L2: merge region
merge region: mn_praifau451 at L2: merge region
merge region: mn_roncier53 at L2: merge region
merge region: mn_rosel21 at L2: merge region
merge region: mn_ruderal at L2: merge region
merge region: mn_saulbla61 at L2: merge region
merge region: mn_saulbui53 at L2: merge region
merge region: mn_vegnitr25 at L2: merge region
merge region: végétation urbaine at L2: merge region
merge region: foretMixte at L2: merge region
merge region: foretMixte2 at L2: merge region
merge region: tissu urbain at L2: merge region
merge region: no vegetation at L2: merge region
merge region: vegetation at L2: merge region

TRAITEMENT DU BLOC HORS PERIMETRE AGGLO

Segmentation bloc

assign class: with Existence of super objects bloc (1) = 1 at L2: bloc
merge region: bloc at L2: merge region
delete image object level: at L1: delete
multiresolution segmentation: bloc at L2: 10 [shape:0.1 compct.:0.5]

Classification bloc

classification: bloc at L2: bloc_chenpred5
classification: bloc at L2: bloc_hetraie62
classification: bloc at L2: bloc_cereale82
classification: bloc at L2: bloc_patur453
classification: bloc_patur453 at L2: bloc_pelsec42
classification: bloc_cereale82 at L2: bloc_chenbui63
assign class: bloc at L2: bloc_patur453

Fusion classes communes

merge region: bloc_cereale82, mn_cereale82 at L2: merge region
merge region: bloc_chenbui63, mn_chenbui63 at L2: merge region
merge region: bloc_chenpred5, mn_chenpred5 at L2: merge region
merge region: bloc_hetraie62, mn_hetraie62 at L2: merge region
merge region: bloc_patur453, mn_patur453 at L2: merge region
merge region: bloc_pelsec42, mn_pelsec42 at L2: merge region
merge region: foretMixte, foretMixte2, mn_formix6 at L2: merge region

Assign classes communes

assign class: bloc_cereale82 at L2: mn_cereale82
assign class: bloc_chenbui63 at L2: mn_chenbui63
assign class: bloc_chenpred5 at L2: mn_chenpred5
assign class: bloc_hetraie62 at L2: mn_hetraie62
assign class: bloc_patur453 at L2: mn_patur453
assign class: bloc_pelsec42 at L2: mn_pelsec42
assign class: foretMixte, foretMixte2 at L2: mn_formix6

Fusion des classes milieux naturels

merge region: mn_alluv32 at L2: merge region
merge region: mn_arbust53 at L2: merge region
merge region: mn_aulnaie61 at L2: merge region
merge region: mn_buisson53 at L2: merge region
merge region: mn_cereale82 at L2: merge region
merge region: mn_chenbui63 at L2: merge region
merge region: mn_chencharm at L2: merge region
merge region: mn_chenpred5 at L2: merge region
merge region: mn_eauveg11 at L2: merge region
merge region: mn_eau at L2: merge region
merge region: loop: mn_formix6 at L2: merge region
merge region: mn_forriv61 at L2: merge region
merge region: mn_hetraie62 at L2: merge region
merge region: mn_parcalc34 at L2: merge region
merge region: mn_patur453 at L2: merge region
merge region: mn_pelmisec4 at L2: merge region
merge region: mn_pelsec42 at L2: merge region
merge region: mn_pined64 at L2: merge region
merge region: mn_plantcon at L2: merge region
merge region: mn_praifau451 at L2: merge region
merge region: mn_roncier53 at L2: merge region
merge region: mn_rosel21 at L2: merge region
merge region: mn_ruderal at L2: merge region
merge region: mn_saulbla61 at L2: merge region
merge region: mn_saulbui53 at L2: merge region
merge region: mn_vegnitr25 at L2: merge region
merge region: végétation urbaine at L2: merge region
merge region: tissu urbain at L2: merge region
merge region: no vegetation at L2: merge region
merge region: vegetation at L2: merge region

Nettoyage des petits objets

classification: with Area <= 9 Pxl at L2: too_small
assign class: too_small with Rel. border to tissu urbain >= 0.25 at L2: tissu urbain
assign class: too_small with Rel. border to végétation urbaine >= 0.25 at L2: végétation urbaine
assign class: too_small with Rel. border to mn_cereale82 >= 0.5 at L2: mn_cereale82
assign class: too_small with Rel. border to mn_patur453 >= 0.5 at L2: mn_patur453
assign class: too_small with Rel. border to mn_praifau451 >= 0.5 at L2: mn_praifau451
assign class: too_small with Rel. border to mn_alluv32 >= 0.5 at L2: mn_alluv32
assign class: too_small with Rel. border to mn_arbust53 >= 0.5 at L2: mn_arbust53
assign class: too_small with Rel. border to mn_aulnaie61 >= 0.5 at L2: mn_aulnaie61
[assign class: too_small with Rel. border to mn_buisson53 >= 0.5 at L2: mn_buisson53]
assign class: too_small with Rel. border to mn_chenbui63 >= 0.5 at L2: mn_chenbui63
assign class: too_small with Rel. border to mn_chencharm >= 0.5 at L2: mn_chencharm
assign class: too_small with Rel. border to mn_chenpred5 >= 0.5 at L2: mn_chenpred5
assign class: too_small with Rel. border to mn_eauveg11 >= 0.5 at L2: mn_eauveg11
assign class: too_small with Rel. border to mn_eau >= 0.5 at L2: mn_eau
assign class: too_small with Rel. border to mn_formix6 >= 0.5 at L2: mn_formix6
assign class: too_small with Rel. border to mn_forriv61 >= 0.5 at L2: mn_forriv61
assign class: too_small with Rel. border to mn_hetraie62 >= 0.5 at L2: mn_hetraie62
assign class: too_small with Rel. border to mn_parcalc34 >= 0.5 at L2: mn_parcalc34
assign class: too_small with Rel. border to mn_pelmisec4 >= 0.5 at L2: mn_pelmisec4
assign class: too_small with Rel. border to mn_pelsec42 >= 0.5 at L2: mn_pelsec42
assign class: too_small with Rel. border to mn_pined64 >= 0.5 at L2: mn_pined64
assign class: too_small with Rel. border to mn_plantcon >= 0.5 at L2: mn_plantcon
assign class: too_small with Rel. border to mn_roncier53 >= 0.5 at L2: mn_roncier53
assign class: too_small with Rel. border to mn_rosel21 >= 0.5 at L2: mn_rosel21
assign class: too_small with Rel. border to mn_ruderal >= 0.5 at L2: mn_ruderal
assign class: too_small with Rel. border to mn_saulbla61 >= 0.5 at L2: mn_saulbla61
assign class: too_small with Rel. border to mn_saulbui53 >= 0.5 at L2: mn_saulbui53
assign class: too_small with Rel. border to mn_vegnitr25 >= 0.5 at L2: mn_vegnitr25
assign class: too_small with Rel. border to vegetation >= 0.5 at L2: vegetation
assign class: too_small with Rel. border to no vegetation >= 0.5 at L2: no vegetation
grow region: loop: mn_alluv32, mn_arbust53, mn_aulnaie61, mn_buisson53, mn_cereale82, mn_chenbui63, mn_chencharm, mn_chenpred5, mn_cordon53, mn_eauveg11, mn_eau, mn_formix6, mn_forriv61, mn_hetraie62, mn_parcalc34, mn_patur453, mn_pelmisec4, mn_pelsec42, mn_pined64, mn_plantcon, mn_praifau451, mn_roncier53, mn_rosel21, mn_ruderal, mn_saulbla61, mn_saulbui53, mn_vegnitr25, no vegetation, prairie_molinies, tissu urbain, végétation urbaine, vegetation at L2: <- too_small

Fusion des classes mn

merge region: mn_alluv32 at L2: merge region
merge region: mn_arbust53 at L2: merge region
merge region: mn_aulnaie61 at L2: merge region
merge region: mn_buisson53 at L2: merge region
merge region: mn_cereale82 at L2: merge region
merge region: mn_chenbui63 at L2: merge region
merge region: mn_chencharm at L2: merge region
merge region: mn_chenpred5 at L2: merge region
merge region: mn_eauveg11 at L2: merge region
merge region: mn_eau at L2: merge region
merge region: loop: mn_formix6 at L2: merge region
merge region: mn_forriv61 at L2: merge region
merge region: mn_hetraie62 at L2: merge region
merge region: mn_parcalc34 at L2: merge region
merge region: mn_patur453 at L2: merge region
merge region: mn_pelmisec4 at L2: merge region
merge region: mn_pelsec42 at L2: merge region
merge region: mn_pined64 at L2: merge region
merge region: mn_plantcon at L2: merge region
merge region: mn_praifau451 at L2: merge region
merge region: mn_roncier53 at L2: merge region
merge region: mn_rosel21 at L2: merge region
merge region: mn_ruderal at L2: merge region
merge region: mn_saulbla61 at L2: merge region
merge region: mn_saulbui53 at L2: merge region
merge region: mn_vegnitr25 at L2: merge region
merge region: végétation urbaine at L2: merge region
merge region: foretMixte at L2: merge region

merge region: foretMixte2 at L2: merge region
merge region: tissu urbain at L2: merge region
merge region: no vegetation at L2: merge region
merge region: vegetation at L2: merge region

Nettoyage erreurs typiques

classification: mn_patur453 at L2: corr_pelmisec
classification: mn_cereale82 at L2: corr_pelmisec
assign class: corr_pelmisec at L2: mn_pelmisec4
classification: no vegetation at L2: corr_alluv
assign class: corr_alluv at L2: mn_alluv32
classification: vegetation at L2: corr_eau
assign class: corr_eau at L2: mn_eau

forêts riveraines

classification: vegetation at L2: corr_vegurb
assign class: corr_vegurb at L2: végétation urbaine
merge region: végétation urbaine at L2: merge region
classification: loop: mn_buisson53, mn_chenbui63, mn_chencharm, mn_chenpred5, mn_formix6, mn_hetraie62, mn_saulbla61, mn_saulbui53, vegetation at L2: corr_foretriv
assign class: corr_foretriv at L2: mn_forriv61
merge region: mn_forriv61 at L2: merge region

céréales

classification: mn_ruderal at L2: corr_cereal3
classification: mn_cereale82 at L2: corr_noveg
classification: mn_cereale82, mn_patur453, mn_praifau451 at L2: corr_roncier
assign class: corr_roncier at L2: mn_roncier53
merge region: mn_roncier53 at L2: merge region
assign class: corr_noveg with Mean ndvi <= -0.05 at L2: no vegetation
merge region: no vegetation at L2: merge region
assign class: corr_noveg with Mean ndvi >= -0.05 at L2: vegetation
merge region: vegetation at L2: merge region
classification: mn_cereale82 at L2: corr_patur
assign class: corr_patur at L2: mn_patur453
merge region: mn_patur453 at L2: merge region
classification: mn_cereale82 at L2: corr_pfauche
assign class: corr_pfauche at L2: mn_praifau451
merge region: mn_praifau451 at L2: merge region
patures et prairie fauche
classification: mn_patur453 at L2: corr_cereal
classification: mn_praifau451 at L2: corr_cereal
classification: mn_patur453 at L2: corr_foretmix2
assign class: corr_foretmix2 at L2: mn_formix6
merge region: mn_formix6 at L2: merge region

Sans végétation

classification: no vegetation at L2: corr_parcalc
assign class: corr_parcalc at L2: mn_parcalc34
merge region: mn_parcalc34 at L2: merge region
classification: no vegetation at L2: corr_saulbla
assign class: corr_saulbla at L2: mn_saulbla61
merge region: mn_saulbla61 at L2: merge region
classification: no vegetation at L2: corr_eauveg
assign class: corr_eauveg at L2: mn_eauveg11
merge region: mn_eauveg11 at L2: merge region
classification: no vegetation at L2: corr_cereal
assign class: corr_cereal3, corr_cereal at L2: mn_cereale82
merge region: mn_cereale82 at L2: merge region

Généralisation

classification: mn_chencharm at L2: corr_chenpred
classification: mn_chenpred5, mn_hetraie62 at L2: corr_foretmix1
assign class: corr_chenpred at L2: mn_chenpred5
assign class: corr_foretmix1 at L2: mn_formix6
merge region: mn_chenpred5 at L2: merge region
merge region: mn_formix6 at L2: merge region

Affinage

classification: mn_formix6 at L2: corr_chenpred2
assign class: corr_chenpred2 at L2: mn_chenpred5
merge region: mn_chenpred5 at L2: merge region
classification: mn_formix6 at L2: corr_hetraie2
assign class: corr_hetraie2 at L2: mn_hetraie62
merge region: mn_hetraie62 at L2: merge region
classification: mn_chenpred5, mn_formix6, mn_hetraie62 at L2: corr_chencharm2
assign class: corr_chencharm2 at L2: mn_chencharm
merge region: mn_chencharm at L2: merge region

Végétation

classification: vegetation at L2: corr_foretmix3
assign class: corr_foretmix3 at L2: mn_formix6
merge region: mn_formix6 at L2: merge region

Bordures de la zone d'étude

classification: at L2: pasnet
grow region: loop: mn_alluv32, mn_arbust53, mn_aulnaie61, mn_buisson53, mn_cereale82, mn_chenbui63, mn_chencharm, mn_chenpred5, mn_cordon53, mn_eauveg11, mn_eau, mn_formix6, mn_forriv61, mn_hetraie62, mn_parcalc34, mn_patur453, mn_pelmisec4, mn_pelsec42, mn_pined64, mn_plantcon, mn_praifau451, mn_roncier53, mn_rosel21, mn_ruderal, mn_saulbla61, mn_saulbui53, mn_vegnitr25, no vegetation, prairie_molinies, tissu urbain, végétation urbaine, vegetation at L2: <- pasnet

14.3. Annexe 3 : Critères de classification

Alluvion :

Tous les objets classifiés dans la cs_agglo en tant que:

- Plans eau
- Rivière
- Prairie

Qui remplissent tous les critères suivants:

- Distance au Rhône < 200
- Pente < 3
- Brillance > 135
- NDVI < 0

Arbuste :

Tous les objets classifiés dans la cs_agglo en tant que :

- Evu arbre
- Evu gazon
- Evu mixte
- Forêt feuillus
- Forêt mélangée
- Prairie
- Végétation clairsemée

Qui remplissent tous les critères suivants :

- NDVI > 0
- Prédiction > 0.93

Aulnaie :

Tous les objets classifiés dans la cs_agglo en tant que :

- Plans eau
- Rivière
- Forêt feuillus
- Forêt mélangée

Qui remplissent tous les critères suivants :

- NDVI > 0
- Prédiction > 0.8
- Distance au Rhône < 200

Buisson:

Tous les objets classifiés dans la cs_agglo en tant que :

- Evu arbre
- Evu gazon
- Evu mixte
- Forêt feuillus
- Forêt mélangée
- Prairie
- Végétation clairsemée

Qui remplissent tous les critères suivants :

- NDVI > 0
- Prédiction > 0.92

Céréales:

Tous les objets classifiés dans la cs_agglo en tant que :

- Evu gazon
- Evu mixte
- Prairie
- Végétation clairsemée

Dont la prédiction dépasse 0.65

Chênaie buissonnante :

Tous les objets classifiés dans la cs_agglo en tant que :

- Evu arbre
- Evu gazon
- Evu mixte
- Forêt feuillus
- Forêt mélangée
- Végétation clairsemée

Qui remplissent tous les critères suivants :

- NDVI > 0
- Prédiction > 0.94
- Pente > 7

Chênaie à charmes

Tous les objets classifiés dans la cs_agglo en tant que :

- Evu arbre
- Forêt feuillus
- Forêt mélangée

Qui ne soient pas déjà classifiés en :

- Aulnaie
- Forêt riveraine
- Saulaie buissonnante
- Saulaie blanche
- Roselière

Qui remplissent tous les critères suivants :

- NDVI > 0
- Prédiction > 0.69

Prédominance de chênaie

Tous les objets classifiés dans la cs_agglo en tant que :

- Forêt conifères
- Evu arbre
- Forêt feuillus
- Forêt mélangée

Qui ne soient pas déjà classifiés en :

- Forêt riveraine

Et qui remplissent tous les critères suivants :

- NDVI > 0
- Prédiction > 0.76
- Altitude < 900m

Eau libre

Objets qui remplissent tous les critères suivants :

- NDVI < 0
- NIR < 51

Eau avec végétation

Tous les objets classifiés dans la cs_agglo en tant que :

- Plans eau
- rivière

Et qui remplissent tous les critères suivants :

- NDVI > -0.24
- Prédiction > 0.94

Forêt mixte

Tous les objets classifiés dans la cs_agglo en tant que :

- Evu arbre
- Forêt feuillus
- Forêt mélangée
- Forêt conifères

Qui ne soient pas déjà classifiés en :

- Forêt riveraine
- Saulaie buissonnante
- Saulaie blanche
- Roselière

Qui remplissent tous les critères suivants :

- NDVI > 0
- Prédiction > 0.62

Forêt riveraine

Tous les objets classifiés dans la cs_agglo en tant que :

- Evu arbre
- Forêt conifères
- Forêt feuillus
- Forêt mélangée
- Plans eau
- Rivière
- Terre arable

Qui remplissent tous les critères suivants :

- NDVI > 0
- Distance aux rivières < 60
- Pente < 17
- TPI100 < -0.7

Hêtraie

Tous les objets classifiés dans la cs_agglo en tant que :

- Evu arbre
- Forêt conifères
- Forêt feuillus
- Forêt mélangée

Qui remplissent tous les critères suivants :

- NDVI > 0
- Prédiction > 0.89
- Altitude > 600m

Paroi calcaire

Tous les objets classifiés dans la cs_agglo en tant que :

- To ignore
- Forêt feuillus
- Forêt mélangée

Qui remplissent tous les critères suivants :

- NDVI < 0.09
- Brillance > 100
- Pente > 10
- Exposition est <0.4
- Prédiction > 0.91

Pâturage

Tous les objets classifiés dans la cs_agglo en tant que :

- Evu gazon
- Evu mixte
- Terre arable
- Végétation clairsemée

Qui remplissent tous les critères suivants :

- NDVI > -0.04
- Pente > 8
- Prédiction > 0.66

Pelouse mi-sèche

Tous les objets classifiés dans la cs_agglo en tant que :

- Evu gazon
- Evu mixte
- Forêt feuillus
- Forêt mélangée
- Prairie
- Terre arable
- Végétation clairsemée

Qui remplissent tous les critères suivants :

- NDVI > 0
- 93 < brillance >110
- Prédiction > 0.85

Pelouse sèche

Tous les objets classifiés dans la cs_agglo en tant que :

- Evu gazon
- Evu mixte
- Forêt feuillus
- Forêt mélangée
- Prairie
- Terre arable
- Végétation clairsemée

Qui remplissent tous les critères suivants :

- 93 < brillance >110
- Prédiction > 0.88

Pinède

Tous les objets classifiés dans la cs_agglo en tant que :

- Evu arbre
- Evu gazon
- Forêt conifères
- Forêt feuillus
- Forêt mélangée
- Prairie
- Prairie_molinies
- Végétation clairsemée

Qui remplissent tous les critères suivants :

- NDVI > 0
- Prédiction > 0.97
- Pas plantation de conifères

Plantation de conifères

Tous les objets classifiés dans la cs_agglo en tant que :

- Evu arbre
- Forêt conifères
- Forêt feuillus
- Forêt mélangée

Qui remplissent tous les critères suivants :

- NDVI > 0
- Area > 4005
- Brillance < 175
- Pas pinède à molinies
- Length/Width < 3
- Distance au Rhône > 100
- Vert < 81
- Ombrage > 130
- Pente < 17

+ Agrégation des plus petits objets remplissant les mêmes critères s'ils touchent cette classe !

Prairie de fauche

Tous les objets classifiés dans la cs_agglo en tant que :

- Evu gazon
- Evu mixte
- Prairie
- Terre arable
- Végétation clairsemée

Qui remplissent tous les critères suivants :

- 90 < brillance >135
- Prédiction > 0.85

Roncier

Tous les objets classifiés dans la cs_agglo en tant que :

- Evu gazon
- Evu mixte
- Forêt mélangée
- Prairie
- Terre arable
- Végétation clairsemée

Qui remplissent tous les critères suivants :

- Area < 5000
- Altitude < 600
- Pas forêt riveraine
- Touchant d'au moins 1/3 la classe céréales
- Prédiction > 0.79
- NDVI > 0

Roselière

Tous les objets classifiés dans la cs_agglo en tant que :

- Plans eau
- Rivière
- Terre arable

Qui remplissent tous les critères suivants :

- Distance au Rhône < 200
- Pente < 2.8
- Pas eau libre
- Prédiction > 0.8

Rudéral

Tous les objets classifiés dans la cs_agglo en tant que :

- Prairie
- Terre arable
- Végétation clairsemée

Qui remplissent tous les critères suivants :

- Area < 3500
- Brillance > 170
- Prédiction > 0.76
- Distant d'au moins 105m à eau libre
- NDVI < 0.05

Saulaie blanche

Tous les objets classifiés dans la cs_agglo en tant que :

- Forêt conifères
- Forêt feuillus
- Forêt mélangée
- Plans eau
- Prairie
- Rivière

Qui remplissent tous les critères suivants :

- Prédiction > 0.85
- Distant au Rhône < 300
- Pente < 16.5
- NDVI > 0

Saulaie buissonnante

Tous les objets classifiés dans la cs_agglo en tant que :

- Forêt conifères
- Forêt feuillus
- Forêt mélangée
- Plans eau
- Prairie
- Rivière
- Terre arable

Qui remplissent tous les critères suivants :

- Distance au Rhône < 200
- Pente < 16.5
- Prédiction > 0.7
- NDVI > 0

Végétation nitrophile

Tous les objets classifiés dans la cs_agglo en tant que :

- Evu gazon
- Evu mixte
- Plans eau
- Prairie
- Rivière
- Terre arable
- Végétation clairsemée

Qui remplissent tous les critères suivants :

- Prédiction > 0.945
- NDVI > 0

Prairie à molinies

Tous les objets classifiés dans la cs_agglo en tant que :

- Evu gazon
- Evu mixte
- Plans eau
- Prairie
- Rivière
- Terre arable
- Végétation clairsemée

Qui remplissent tous les critères suivants :

- Prédiction > 0.945
- NDVI > 0

Ainsi que les objets identifiés manuellement dans la cs_agglo "prairie_molinies"

Végétation urbaine

Tous les objets classifiés dans la cs_agglo en tant que :

- Evu arbre
- Evu gazon
- Evu mixte
- Touchant d'au moins 2/3 les objets de la classe "tissu urbain"

14.4. Annexe 4: Matrices de contingence

Expert N°1:

Données de référence en colonne, données de la classification en ligne, coefficients d'exactitude de production EP et d'utilisation EU.

ID	alluv.	buisson	aulnaie-saulaie	cult.	feuillus	eau	calcaire	pâtu.	pelouse
alluvions	12	0	0	0	0	0	0	0	0
buissons	0	15	0	0	0	0	0	0	0
aulnaie-saulaie	0	3	8	0	3	0	0	0	0
culture	0	0	0	11	0	0	0	3	0
feuillus	0	0	0	1	14	0	0	0	0
eau	0	0	0	0	0	15	0	0	0
calcaire	0	0	0	0	0	0	15	0	0
pâturage	0	0	0	2	0	0	0	13	0
pelouse	0	0	0	0	0	0	1	5	7
pinède	0	0	0	0	2	0	0	0	0
plantation	0	0	0	0	0	0	0	0	0
rudérale	0	0	0	0	0	0	0	1	0
roselière	0	0	0	0	0	0	0	0	3
tissu urbain	0	0	0	0	0	0	0	1	0
végétation urbaine	0	0	0	0	0	0	0	0	0
verger	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	12	18	8	14	19	15	16	23	10
EP	1.00	**0.83**	1.00	**0.79**	**0.74**	1.00	0.94	**0.57**	**0.70**

ID	pinède	planta.	vég. rudérale	roselière	tissu urbain	vég. urbaine	verger	TOTAL	EU
alluvions	0	0	0	1	0	0	0	13	0.92
buissons	0	0	0	0	0	0	0	15	1.00
aulnaie-saulaie	0	0	0	1	0	0	0	15	0.53
culture	0	0	0	0	0	0	1	15	0.73
feuillus	0	0	0	0	0	0	0	15	0.93
eau	0	0	0	0	0	0	0	15	1.00
calcaire	0	0	0	0	0	0	0	15	1.00
pâturage	0	0	0	0	0	0	0	15	0.87
pelouse	0	0	0	0	0	0	0	13	0.54
pinède	11	0	0	0	0	0	0	13	0.85
plantation	0	15	0	0	0	0	0	15	1.00
rudérale	0	0	14	0	0	0	0	15	0.93
roselière	0	0	0	11	0	0	0	14	0.79
tissu urbain	0	0	1	0	12	1	0	15	0.80
végétation urbaine	0	0	0	0	0	15	0	15	1.00
verger	0	0	0	0	0	0	15	15	1.00
TOTAL	11	15	15	13	12	16	16	233	
EP	1.00	1.00	0.93	**0.85**	1.00	0.94	0.94		

Expert N° 2:

ID	alluv.	buisson	aulnaie-saulaie	cult.	feuillus	eau	calcaire	pâtu.	pelouse
alluvions	13	0	0	0	0	0	0	0	0
buissons	0	13	0	0	0	0	0	0	2
aulnaie-saulaie	0	0	15	0	0	0	0	0	0
culture	0	0	0	15	0	0	0	0	0
feuillus	0	0	0	0	15	0	0	0	0
eau	0	0	0	0	0	15	0	0	0
calcaire	0	0	0	0	0	0	15	0	0
pâturage	0	0	0	5	0	0	0	10	0
pelouse	0	1	0	0	0	0	0	0	12
pinède	0	0	0	0	0	0	0	0	0
plantation	0	0	0	0	1	0	0	0	0
rudérale	0	0	0	0	0	0	0	1	0
roselière	0	0	0	0	0	0	0	0	0
tissu urbain	0	0	0	0	0	0	0	0	0
végétation urbaine	0	0	0	0	0	0	0	0	0
verger	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	13	14	15	20	16	15	15	11	14
EP	1.00	0.93	1.00	**0.75**	0.94	1.00	1.00	0.91	**0.86**

ID	pinède	planta.	vég. rudérale	roselière	tissu urbain	vég. urbaine	verger	TOTAL	EU
alluvions	0	0	0	0	0	0	0	13	1.00
buissons	0	0	0	0	0	0	0	15	**0.87**
aulnaie-saulaie	0	0	0	0	0	0	0	15	1.00
culture	0	0	0	0	0	0	0	15	1.00
feuillus	0	0	0	0	0	0	0	15	1.00
eau	0	0	0	0	0	0	0	15	1.00
calcaire	0	0	0	0	0	0	0	15	1.00
pâturage	0	0	0	0	0	0	0	15	**0.67**
pelouse	0	0	0	0	0	0	0	13	0.92
pinède	13	0	0	0	0	0	0	13	1.00
plantation	1	13	0	0	0	0	0	15	**0.87**
rudérale	0	0	14	0	0	0	0	15	0.93
roselière	0	0	0	14	0	0	0	14	1.00
tissu urbain	0	0	0	0	15	0	0	15	1.00
végétation urbaine	0	0	0	0	0	15	0	15	1.00
verger	0	0	0	0	0	0	15	15	1.00
TOTAL	14	13	14	14	15	15	15	233	
EP	0.93	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		