



**UNIVERSITÉ
DE GENÈVE**



**Conservatoire
et Jardin botaniques
Genève**

CERTIFICAT COMPLÉMENTAIRE EN GÉOMATIQUE

Automatisation de la mise à jour de la carte des milieux naturels du canton de Genève

Mémoire de stage présenté par

Sophie KOMAROMI

Sous la direction du Docteur Pascal MARTIN (Ville de Genève) et la codirection du Docteur
Pierre LACROIX (UNIGE)

Janvier 2024

Remerciements

De nombreuses personnes m'ont permis d'aller au bout de ce travail, pour cela j'aimerais remercier sincèrement :

Pascal Martin : pour son encadrement, pour m'avoir suivi tout au long de mon mémoire, pour m'avoir redirigé en cas de besoin et pour ses conseils avisés.

Pierre Lacroix : pour avoir accepté la prise en charge de mon sujet de mémoire, me permettant d'aller au bout de mon projet.

José Lopez : pour ses réponses complètes à toutes les questions que j'ai pu avoir.

Alix Jornot : pour la relecture de mon travail et ses nombreux conseils tout au long de mon travail.

Et finalement le bureau de géomatique, qui m'a permis d'effectuer mon stage dans les meilleures conditions.

Résumé

Cette étude explore l'efficacité de l'automatisation avec FME dans la mise à jour et la généralisation de la carte MN. L'objectif est d'évaluer la capacité de cette approche à améliorer la précision des données cartographiques tout en limitant les temps de traitement.

Trois scripts FME ont permis la mise à jour. Le premier script identifie les changements de codes dans les données, le deuxième prépare les objets pour la mise à jour, et le troisième effectue la mise à jour en intégrant de nouveaux éléments. Ce travail explore également l'automatisation de la généralisation de la carte MN aux échelles 1:25'000 et 1:100'000.

La mise à jour automatique permet de limiter les erreurs topologiques ce qui réduit l'effort lié à leurs corrections. Cependant, il n'est pas encore possible de s'affranchir entièrement d'étapes d'édition à réaliser manuellement.

Les résultats de la généralisation se rapprochent de ceux obtenus à partir de ModelBuilder. Toutefois, il existe des différences dans la répartition de certaines catégories de milieux. Cet effet est dû aux différences dans les outils utilisés.

En conclusion, l'automatisation avec FME représente une avancée significative, mais une collaboration avec des experts et des ajustements méthodologiques sont essentiels pour une optimisation continue.

Mots clés : automatisation, carte MN, FME, script, topologie

Liste des sigles et abréviations

CAD	Cadastre
Carto MN	Carte des Milieux naturels de Genève
CJBC	Conservatoire et Jardin botaniques de Genève
DDPS	Le Département fédéral de la Défense, de la Protection de la Population et des Sports
DIT	Direction de l'information du territoire
DMO	Direction de la Mensuration Officielle
FME	Feature Manipulation Engine
OCAN	Office Cantonal de l'Agriculture et de la Nature
OCEau	Office cantonal de l'eau (OCEau)
OPD	Ordonnance sur les Paiements Directs
PER	Prestations Ecologiques Requises
PNUE	Programme des Nations-Unies pour l'Environnement
RAE	Réseaux Agro-Environnementaux
SAU	Surface Agricole Utile
SBS	Stratégie Biodiversité Suisse
SEMO	Service de la Mensuration Officielle
SGOI	Service de Géomatique et de l'Organisation de l'Information
SIPV	Système d'Information du Patrimoine Vert
SITG	Système d'Information du Territoire Genevois
SPB	Surfaces de Promotion de la Biodiversité
UNIGE	Université de Genève

Les fonctions des logiciels FME et ArcGIS Pro sont écrites en italique dans ce texte.

Table des matières

1	Introduction	1
1.1	Présentation de la structure d'accueil	1
1.2	Contexte et enjeux	1
1.3	Problématique	2
1.4	Objectifs	3
2	Historique	4
2.1	Carte des milieux naturels	4
2.2	FME	5
2.3	Surfaces de promotion de la biodiversité	6
3	Méthodologie	7
3.1	Mise à jour des données de la carte des milieux naturels de Genève	7
3.1.1	<i>Données utilisées pour la mise à jour</i>	7
3.1.2	<i>Processus général</i>	9
3.1.3	<i>Préparation</i>	11
3.1.4	<i>Mise à jour</i>	17
3.2	Mise à jour des données tierces	19
3.2.1	<i>Données tierces</i>	19
3.2.2	<i>Processus de l'intégration des SPB dans la mise à jour de la carte MN</i>	19
3.3	Généralisation et diffusion	22
3.3.1	<i>Données utilisées pour la généralisation</i>	22
3.3.2	<i>Processus de généralisation</i>	22
3.3.3	<i>Carte au 1:25'000</i>	22
3.3.4	<i>Carte au 1 : 100'000</i>	25
4	Résultats	26
4.1	Résultats de la mise à jour	26
4.1.1	<i>Résultats du contrôle des données (script 1)</i>	26
4.1.2	<i>Résultats de la préparation des données (script 2)</i>	26
4.1.3	<i>Résultats de la mise à jour (script 3)</i>	26
4.1.4	<i>Finalisation de la mise à jour</i>	28
4.2	Résultats de la généralisation	29
4.2.1	<i>Résultats de la carte au 1 : 25'000</i>	29
4.2.2	<i>Résultats de la carte au 1 : 100'000</i>	32
4.2.3	<i>Finalisation de la généralisation</i>	34
5	Discussion	35
5.1.1	<i>Performance de l'automatisation de la mise à jour</i>	35
5.1.2	<i>Processus de mise à jour des données tierces</i>	36
5.1.3	<i>Performance de la généralisation</i>	36
5.2	Limites du travail	37
5.3	Recommandations	37
6	Conclusion	38
7	Bibliographie	39
8	Annexes	i

Table des figures

Figure 1 : Schéma du concept général de la mise à jour de la carte MN, répondant aux exigences de l'Ordonnance sur la Mensuration Officielle (OMO, 1993)	5
Figure 2 : Processus général de la mise à jour de la carte MN et insertion du processus d'automatisation effectué sur FME	10
Figure 3 : Objets des deux couches créées. La première contient deux objets, colorés en vert. La seconde contient également deux objets, colorés en rouge.....	11
Figure 4 : Tables attributaires des couches 1 (haut) et 2 (bas) pour le test de la résolution et de la tolérance sur FME.....	12
Figure 5 : Zoom du processus général sur la préparation des couches pour la mise à jour de la carte MN sur FME	13
Figure 6 : Exemple d'une erreur survenue lors de l'utilisation de l'outil <i>AreaOnAreaOverlayer</i> . Les objets de la carte MN à mettre à jour (vert) sont décalés comparativement aux objets permettant la mise à jour (rouge). La superposition incomplète provoque la création d'un polygone d'interface. Lors des étapes de correction de la topologie, le polygone est supprimé, laissant un trou.	15
Figure 7 : Erreur provoquée dans ArcGIS Pro, corrigée dans FME. Dans ArcGIS Pro, le polygone créé par l'outil <i>Union</i> est automatiquement affecté à l'objet de gauche, n'appartenant pas à ce dernier. Dans FME le polygone créé est supprimé puis le polygone de droite est transformé pour corriger sa géométrie.	16
Figure 8 : Comparaison du résultat de l'union et de la réparation sur ArcGIS et sur FME. Dans le schéma, la couche des données cadastrales (rouge) est superposée par la couche obtenue suite à l'union (vert). Dans ArcGIS Pro, le polygone d'interface est directement réattribué à une couche (qui n'est pas forcément la couche initiale). Sur FME le polygone d'interface est supprimé et la géométrie du polygone est corrigée avec l'outil <i>AnchoredSnapper</i>	17
Figure 9 : Processus général de la mise à jour de la carte MN à partir des données du cadastre sur FME.....	18
Figure 10 : Processus de mise à jour de la carte MB CARTO_BRUTE_1 à partir des données de surfaces de promotion de la biodiversité.....	21
Figure 11 : Représentation de l'incrustation du nouveau quartier Belle-Terre lors de la mise à jour de la carte MN à partir des données CAD.	27
Figure 12 : Représentation de la différence du résultat final de mise à jour entre les cartes Updated_0 (bleu) et Updated_1 (rose).	28
Figure 13 : Représentation des conséquences de décalages importants au niveau du Foron lors de la mise à jour de la carte MN. À gauche est représenté la superposition entre la carte MN et la carte CAD (trait rouge), à droite est représenté le résultat de la mise à jour sur le logiciel FME.....	28
Figure 14 : Représentation de la disparition des catégories de milieux "gazon et bosquets urbains" et "prairies" au profit de la catégorie "surfaces dures" lors de la généralisation au 1 :25'000 effectuée sur FME (droite) comparativement à la généralisation effectuée via ModelBuilder d'ArcGIS Pro (gauche).	29
Figure 15 : Représentation de la différence de forme des polygones entre de la généralisation au 1 :25'000 effectuée sur FME (droite) comparativement à la généralisation effectuée via ModelBuilder d'ArcGIS Pro (gauche).	30

Figure 16 : Histogramme de l'évolution de l'aire des catégories de milieu entre la carte produite par ModelBuilder (MB) et celle produite sur FME	31
Figure 17 : Histogramme du pourcentage d'évolution de l'aire rapporté à la surface totale du canton des catégories de milieux entre la carte produite par ModelBuillder et celle produite sur FME	31
Figure 18 : Représentation de la différence de l'effet de bord entre la généralisation au 1:25'000 effectuée sur FME (droite) comparativement à la généralisation effectuée via ModelBuilder d'ArcGIS Pro (gauche) sur a commune de Satigny (GE).	32
Figure 19 : Histogramme de l'évolution de l'aire des catégories de milieu entre la carte produite par ModelBuilder et celle produite sur FME.....	33
Figure 20 : Histogramme du pourcentage d'évolution de l'aire rapporté à la surface totale du canton des catégories de milieux entre la carte produite par ModelBuillder et celle produite sur FME	33

Table des tableaux

Tableau 1 : Champs numériques de la carte des données cadastrales et leur fonction.....	8
Tableau 2 : Champs numériques de la carte MN brute et leur fonction.....	9
Tableau 3 : Typologie du code de la colonne MaJ, créée dans l'étape de préparation de la carte MN.	13
Tableau 4 : Champs numériques de la carte des surfaces de promotion de la biodiversité et leur fonction	19
Tableau 5 : Nombre d'objet obtenu pour l'attribut MaJ pour les cartes UNION_pr_Check_0 et UNION_pr_Check_1	26

1 Introduction

1.1 Présentation de la structure d'accueil

Le stage s'est déroulé aux Conservatoire et Jardin botaniques de Genève (CJBG) sur une période de cinq mois, du 15 août 2023 au 15 janvier 2024 à un taux de 80 %.

Les CJBG ont été créés en 1817 sous l'impulsion du botaniste genevois Augustin-Pyramus de Candolle (Mombrial et al., 2020). Le Conservatoire botanique est un lieu de recherche, de conservation et d'éducation. Les collections des CJBG constituent un patrimoine scientifique et culturel qui contribue au rayonnement international de Genève. En effet, le Conservatoire, grâce aux dons et à la recherche, détient l'un des herbiers majeurs au monde avec une collection de six millions d'échantillons enrichis par des collections d'une grande valeur, telles que l'herbier De Candolle. La bibliothèque est l'une des trois bibliothèques de science botanique les plus importantes avec une collection de 135'000 ouvrages et 4'500 journaux scientifiques rassemblant la quasi-totalité des imprimés traitants de la botanique systématique depuis le milieu du 18^e siècle (Ville de Genève, s. d.).

Le Jardin botanique se compose d'une collection vivante d'environ 16'000 espèces des cinq continents répartis sur 28 hectares (Mombrial et al., 2020).

Cette institution de la Ville de Genève constitue un centre de recherche tant à l'échelle locale, nationale qu'internationale. En effet, l'institution par ses missions qui visent à explorer, conserver, rechercher, transmettre et protéger conduit notamment la gestion et la mise en valeur des collections, la recherche scientifique, ainsi que les actions de conservation.

Localement, les CJBG rédigent des documents destinés à l'Office cantonal de l'agriculture et de la nature (OCAN) dans les domaines de la connaissance et de la préservation de la diversité végétale afin de préserver la flore sauvage indigène ainsi que les milieux naturels (Mombrial et al., 2020).

1.2 Contexte et enjeux

Le rapport de l'IPBES dresse en 2019 le constat du déclin accéléré de la biodiversité et des fonctions qui en sont associées. La perte de la biodiversité à l'échelle mondiale est le résultat des activités anthropiques. Aujourd'hui, 70 % de la surface terrestre, 40 % des océans et 50 % de l'étendue des cours d'eau sont altérés. Près d'un quart de toutes les espèces animales et végétales sont menacées d'extinction (Díaz et al., 2019). La perte de la biodiversité et donc la perte subséquente de la diversité génétique diminuent la résilience des écosystèmes face aux bouleversements climatiques provoquant une modification des processus sans précédent et des effets en cascade. Cela a pour effet de dégrader significativement les services écosystémiques, essentiels au maintien de la qualité de vie des populations humaines (Silvain, 2020).

La fragmentation des habitats causée par le changement d'affectation des terres est identifiée comme étant la cause majeure de la perte de la biodiversité au niveau mondial (Godron & Forman, 1983 ; Wilcox & Murphy, 1985 ; Noss, 1987). Historiquement, les efforts de protection de la nature se faisaient par la délimitation d'aires protégées pour maintenir les "Hotspots" de biodiversité. Toutefois, cette mesure ne s'est pas avérée suffisante (OFEV, 2019). De ce constat est née la notion de "Conservation" de la nature. Cette forme plus intégratrice de

préservation des milieux, leurs habitants et leurs fonctions liées inclut les populations humaines au cœur de la gestion (Noss & Harris, 1986).

En Suisse, le constat est le même, la biodiversité est dans un état insatisfaisant. Près d'un tiers des espèces évaluées et près de la moitié des milieux naturels sont aujourd'hui menacés (OFEV, 2019). Face à ce constat, la Suisse a développé de nombreuses stratégies pour augmenter l'état de la connaissance de l'état de la biodiversité et ainsi produire des outils visant à limiter la perte de la biodiversité sur son territoire (OFEV, 2017). Le Parlement a inscrit à son programme le 18 septembre 2008 l'élaboration d'une stratégie pour le maintien de la biodiversité (OCAN, 2018). La Stratégie Biodiversité Suisse (SBS) ainsi que son Plan d'action déclinent leur stratégie selon les accords internationaux signés par la Confédération. Ces accords engagent le pays à protéger et à valoriser les écosystèmes et les milieux naturels, en particulier ceux dignes de protection (OFEV, 2019).

À l'échelle cantonale, le Plan Biodiversité 2020-2023 décline son plan d'action en trois objectifs principaux : réhabiliter une infrastructure écologique de qualité, renforcer les liens de la population avec la nature et finalement, adapter l'aménagement du territoire selon la biodiversité. Pour maintenir sa biodiversité, le canton intègre à son Plan directeur que toute planification d'aménagement du territoire doit prendre en considération l'infrastructure écologique. Elle est représentée sous la forme d'une carte qui priorise le territoire selon qu'il est plus au moins favorable à la biodiversité, plus précisément s'il fait partie des 30 % du territoire prioritaires à la biodiversité. La carte de l'infrastructure écologique repose sur de nombreux critères dont la carte des milieux naturels du canton de Genève (OCAN, 2020). Par conséquent, la carte des milieux naturels (carte MN) doit être la plus précise possible pour garantir un outil d'aménagement du territoire fiable auprès des communes et du canton.

Les méthodes traditionnelles d'acquisition des données de couverture du sol, telles que les relevés de terrain, la revue de la littérature, l'interprétation de cartes et l'analyse de données sont chronophages, coûteuses et souvent décalées de la réalité du fait qu'elles sont longues à mettre en place (Xie et al., 2008). Ainsi, l'acquisition de données précises et de bonne qualité était encore jusqu'à peu un véritable défi jusqu'à l'arrivée et au développement de la technologie de télédétection. Elle offre un moyen pratique et économique d'étudier les changements de la couverture végétale, en particulier sur de vastes zones (Langley et al., 2001 ; Nordberg & Evertson, 2005). En 2011, l'utilisation de données cartographiques existantes et de données issues de la télédétection a permis de modéliser pour la première fois sur le canton de Genève, une carte couvrante des milieux naturels du canton (Martin & Pasche, 2015). Cette carte a permis d'augmenter les connaissances quant à la couverture du sol du canton et permet de spatialiser les milieux prioritaires à protéger dans les décisions d'aménagement du territoire.

1.3 Problématique

Selon l'Ordonnance sur la Mensuration Officielle (OMO, 1993), le canton de Genève à l'obligation de produire une couche d'information concernant la couverture du sol, d'après l'Ordonnance technique du Département fédéral de la défense, de la protection de la population et des sports (DDPS) sur la mensuration officielle (OTEMO, 1994). Pour pouvoir répondre aux exigences fédérales de l'OTEMO, la carte MN doit être mise à jour à partir des données sur les milieux naturels et des données cadastrales officielles fournies par la Direction de l'information du territoire (DIT) (Garonna et al., 2012).

Chaque année, la DIT fournit de nouvelles données cadastrales. Dans leur contrat les CJBG doivent produire une carte compilant la carte MN avec les nouvelles données de cadastre. Toutefois, la mise à jour de la carte MN est un travail manuel qui représente une charge de travail conséquente et qui est largement chronophage. La DIT ne travaille pas avec le même niveau de détail que les CJBG pour certaines catégories de milieux, telles que les prairies, les forêts et les pelouses. C'est pourquoi, lors de la mise à jour, il n'est pas possible d'écraser la carte MN avec les données de la DIT, mais il faut mettre en place de nombreuses règles d'importance échelonnant quels milieux sont mis à jour et lesquels ne le sont pas. De plus, la mise à jour a pour effet de créer de nombreuses erreurs topologiques, et ce particulièrement pour les arcs de cercle. Lors de la manipulation des données, des sommets ("vertex") sont modifiés ou ajoutés sur les objets, ce qui modifie l'équation qui les définit et par conséquent, modifie leur forme. Bien que cela ne soit pas forcément visible à l'œil nu, de nombreuses erreurs topologiques sont créées et doivent être réparées. Leur correction représente la majeure partie du travail de mise à jour. En dix ans, le nombre d'objets du cadastre a augmenté de 409 % (207'379 objets de cadastre sur 283'340 objets totaux) (Martin, 2023), ce qui rend le travail de mise à jour de la carte MN conséquent et ne permet pas toujours de la délivrer à temps. C'est ainsi une nécessité d'automatiser tout ou partie de la mise à jour de la carte MN pour pouvoir diffuser une carte précise et à jour, répondant ainsi aux exigences de l'Ordonnance sur la Mensuration Officielle (OMO, 1993). L'automatisation de la mise à jour se fait sur le logiciel Feature Manipulation Engine (FME). Travailler sur ce logiciel vient de l'idée d'unifier les outils de travail avec la DIT et de produire une méthode reproductible à chaque mise à jour.

Ce travail cherche à répondre aux questions suivantes :

- > Est-il possible d'automatiser tout ou partie la mise à jour de la carte MN ? Si oui, dans quelle mesure ?
- > L'automatisation effectuée sur le logiciel FME fonctionne-t-elle avec les nouvelles données produites par la DIT et par les CJBG ?
- > Le logiciel FME permet-il de limiter le nombre d'erreurs topologiques obtenues à la suite de la mise à jour ?

1.4 Objectifs

L'objectif principal de ce travail est d'automatiser la mise à jour de la carte MN à partir des données de cadastre fournies par la DIT en travaillant sur le logiciel FME. Plus spécifiquement, ce travail vise à produire un espace de travail répliquable pour chaque mise à jour de la carte MN, où seules les données en entrée seront à changer.

L'objectif secondaire de ce travail est d'automatiser la généralisation de la carte MN pour pouvoir la diffuser aux échelles : 1 : 25'000 et 1 : 100'000 sur le site du Système d'Information Territoire Genevois (SITG). Pour cela, un espace de travail répliquable est créé pour intégrer les corrections et mises à jour annuelles.

2 Historique

2.1 Carte des milieux naturels

En 2011, la création de la carte MN est née du constat qu'il n'existait pas de carte complète ni récente des milieux naturels sur le canton de Genève. De ce fait, les CJBG conjointement avec l'OCAN et l'Université de Genève (UNIGE) ont mené le projet de créer une carte couvrante du canton de Genève à l'échelle 1 : 10'000 basée sur l'orthophoto 2009 (Martin & Pasche, 2015).

Pour la modélisation de la carte MN, plusieurs étapes ont été nécessaires. La première a été de préparer les données. Elle a consisté en la création d'une couche d'apprentissage qui regroupe les données renseignant les milieux naturels issus de l'OCAN, des CJBG, de bureaux d'études, etc. qui ont ensuite été standardisées selon une typologie, largement inspirée de la typologie proposée par Delarze et al. (2015). Au total, la couche d'apprentissage contenait plus de 4'000 objets, répartis sur l'ensemble du canton. Ensuite, les objets homogènes du paysage ont été identifiés par segmentation d'image (information de couleur, hauteur de la végétation, etc.). Par la suite, 39 variables environnementales (géologie, pente, distance à l'eau, topologie, proche infrarouge, etc.) ont été identifiées et conservées pour l'analyse des profils environnementaux des milieux naturels retenus. Les profils environnementaux ont été modélisés à partir des variables environnementales croisées avec la couche d'apprentissage et avec la segmentation du canton. Cela a permis d'identifier les 10 variables permettant la meilleure discrimination des milieux naturels. À partir de ces variables, un jeu de règles pour l'identification automatisée des milieux naturels a été créé sur la base d'information de la couche d'apprentissage et a permis de décrire la relation entre chaque milieu naturel et son environnement. Une fois les relations connues, il a été possible d'intégrer les valeurs de prédiction comme une règle possible d'attribution des milieux naturels. Au total, 35 milieux naturels ont été classifiés. À cela ont été ajoutés les polygones non attribués, identifiés par photo-interprétation et les données connues (routes, bâtiments, toits, surfaces dures, Lac, Rhône, etc.). La couche finale comptait 74 catégories, était couvrante et se composait de 160'878 objets. En parallèle de la création de la carte sur les machines, 20 journées de terrains ont été nécessaires pour augmenter les données dans la couche d'apprentissage, identifier les milieux difficiles à caractériser dans le système et aussi valider la carte modélisée (CJBG, 2011).

À la suite de la création de la carte MN, le Service de la Mensuration Officielle (SEMO) a sollicité les CJBG et le PNUE/GRID-Genève pour produire une méthode de mise à jour automatique (en langage Python pour ArcGIS) de la carte de couverture du sol sur l'ensemble du canton de Genève à partir de la carte MN et des données cadastrales officielles (fig. 1) afin de répondre aux exigences de l'Ordonnance sur la Mensuration Officielle (OMO, 1993).

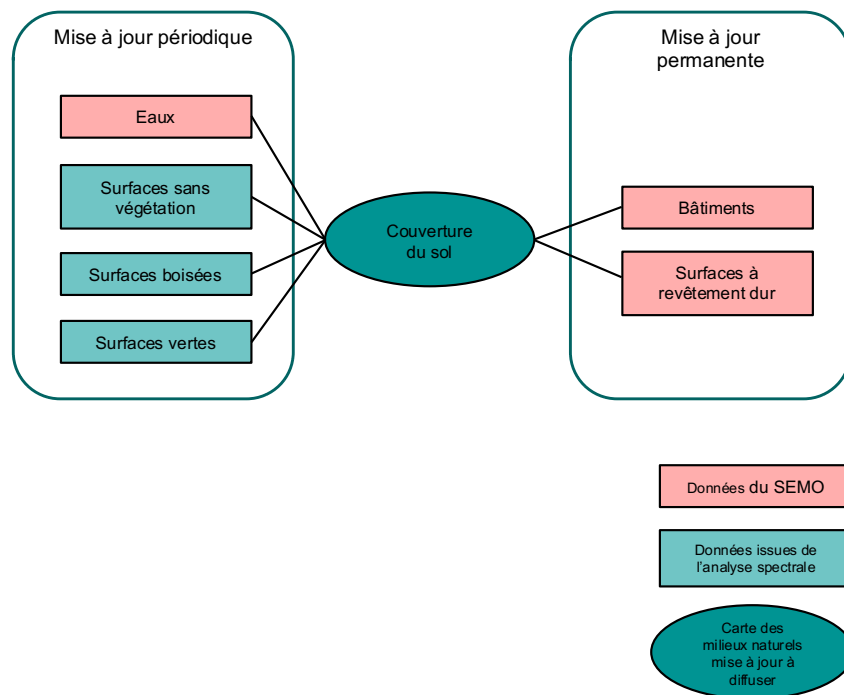


Figure 1 : Schéma du concept général de la mise à jour de la carte MN, répondant aux exigences de l'Ordonnance sur la Mensuration Officielle (OMO, 1993)

Pour leur intégration, les données fournies par la DIT doivent être compatibles avec le format de données des milieux naturels. Pour cela, la DIT prétraite ses données avant de les partager via un script FME créé et diffusé par Monsieur José Lopez de la DIT.

La carte MN est utilisée dans de nombreux contextes lors de l'identification des habitats pour l'infrastructure écologique, dans le cadre de la révision de plans localisés de quartiers, pour la mise en place de plans de gestion ou encore en tant que référentiel nature en ville. Ces utilisations ne nécessitent pas le niveau de détail de la carte « brute ». C'est pourquoi elle est aussi diffusée à quatre échelles, aux 1 :5'000, 1 :10'000, 1 :25'000, et 1 :100'000, sur le site internet du SITG. Le niveau des détails affichés à chaque échelle est basé sur une typologie emboîtable et évolutive (selon les besoins spécifiques) (Martin, 2023). Les milieux représentés sur les trois premières échelles bénéficient de fiches explicatives diffusées sur le serveur SITG.

Depuis sa création, la carte s'est améliorée tant spatialement que temporellement et qualitativement en relation avec de nombreux acteurs dont l'HEPIA. En 2012, la carte comportait 74 classes dont 65 étaient des classes de milieux naturels, 7 des classes de milieux artificiels et 2 des classes de milieux à renseigner. Actuellement, la carte MN comporte 117 catégories. Elle est mise à jour régulièrement et est composée de données provenant de 22 services communaux et cantonaux (Martin, 2023).

2.2 FME

Feature Manipulation Engine (FME) est une plateforme d'intégration de données développée par FME® Safe Software Inc. Il fournit une interface visuelle qui permet aux utilisateurs de concevoir et d'exécuter des flux de travail dans le but de transformer, convertir et intégrer des données spatiales et non spatiales. Ces flux de travail, appelés espaces de travail, sont

construits en regroupant une série de composants appelés “transformer”, dont chacun effectue des opérations spécifiques sur les données.

FME Workbench permet d’exploiter une grande diversité des types de données : fichiers Excel, bases de données, plan CAO, documents XML, API, SIG, images, cloud, nuages de point, BIM, 3D et même réalité augmentée, pour ne citer que ceux-ci. Le logiciel prend en charge des centaines de formats, garantissant que les données peuvent être lues à partir de leur source puis écrites dans le format de destination souhaité sans perte de fidélité. Cette capacité est particulièrement précieuse dans l’industrie géospatiale, où les données doivent souvent être converties entre différents systèmes et normes.

Un des points forts de FME Workbench est la possibilité de créer des flux de travail complexe de transformation de données sans avoir besoin d’un codage approfondi. Cependant, pour ceux qui souhaitent approfondir leurs connaissances, FME propose également des fonctionnalités de script Python, offrant davantage de flexibilité et d’extensibilité.

De plus, les nouvelles versions de FME sont capables de lire les scripts écrits sur des versions plus anciennes du logiciel. Ce qui assure une stabilité dans l’utilisation de l’outil (Safe Software Inc, 2023b).

2.3 Surfaces de promotion de la biodiversité

Par le passé, les efforts de préservation se sont principalement concentrés sur les habitats semi-naturels ou sur des espèces spécifiques. Cependant, il a été reconnu que les terres agricoles dans leur ensemble peuvent jouer un rôle crucial dans la conservation, parfois surpassant même l’importance des réserves naturelles (Krebs et al., 1999). La politique agricole suisse a pris conscience de ce potentiel et encourage la biodiversité depuis 1993 grâce à la création de surfaces de promotion de la biodiversité (SPB). Ces surfaces sont définies selon les critères des Prestations écologiques requises (PER) énoncés dans l’Ordonnance sur les paiements directs (OPD). Les exploitations agricoles sont tenues d’allouer au moins 7% de leur surface agricole utile (3.5% pour les cultures spéciales) aux SPB. Ces surfaces sont mises en place et entretenues par les exploitants agricoles. Elles se composent des prairies extensives, des jachères florales, des pâturages extensifs, ainsi que des haies et des vergers hautes tiges.

Les SPB peuvent être classées en deux niveaux de qualité en fonction des exigences de l’OPD, à savoir les niveaux de qualité I et II, qui se réfèrent respectivement à la qualité floristique ou aux structures favorisant la biodiversité (AGRIDEA, 2020). Les agriculteurs ont la possibilité de connecter ces SPB à travers des projets cantonaux appelés réseaux agro-environnementaux (RAE), favorisant la connectivité du territoire (AGRIDEA, 2018). Ces projets collectifs résultent de la collaboration de plusieurs agriculteurs dans une même zone, permettant la répartition des SPB sur la surface agricole utile (SAU) et facilitant la mise en réseau de biotopes servant de relais pour la faune et la flore. Les RAE contribuent également à renforcer l’attrait des SPB en mettant en place des mesures d’exploitation spécifiques (République et Canton de Genève et al., 2019). 40 % du territoire du canton de Genève est dédié aux activités agricoles, réparties intégralement au sein de neuf réseaux agro-environnementaux (République et Canton de Genève et al., 2019).

3 Méthodologie

3.1 Mise à jour des données de la carte des milieux naturels de Genève

Les traitements à l'échelle du canton peuvent être longs pour certains processus. Les essais de méthode et d'outils ont été effectués sur une seule commune pour limiter les temps de traitement. C'est la commune de Lancy qui a été retenue dans ce travail. Elle est considérée comme étant un échantillon représentatif des différents cas de figure obtenus sur l'ensemble du canton de Genève. Une fois la méthodologie considérée comme stable et correcte, les modèles ont été appliqués au canton entier.

La méthodologie appliquée pour la mise à jour de la carte MN est basée sur un document écrit par Pascal Martin (annexe 1). Il résume les étapes principales effectuées sur ArcMap. Les noms des couches produites dans ce travail sont basés sur les noms de ce document.

3.1.1 Données utilisées pour la mise à jour

Les données utilisées dans ce travail sont stockées dans des couches de données contenant plusieurs "shapefiles" de géométrie de type polygone. Les données sont produites par de nombreux organismes dont les CJBG pour la carte MN et la DIT pour les données du cadastre.

La DIT est le centre de compétence du SITG et l'entité référente pour la gestion des données du territoire genevois. Elle assure la direction, la surveillance et la vérification de la mensuration officielle, des cadastres du sous-sol et des restrictions de droit public à la propriété foncière. (*Direction de l'information du territoire (DIT), s. d.*)

Depuis 2021, la DIT fournit aux CJBG les données des objets appartenant au cadastre sous la forme d'une couche compatible à la typologie des données des CJBG. L'homogénéisation de la typologie des données a permis de faciliter le travail d'intégration qui se faisait couche par couche. La DIT travaille sur le logiciel FME (Safe Software Inc, 2023a) pour produire la couche à partager aux CJBG. Les données sont fournies sous forme d'un dossier contenant quatre fichiers : les données cadastrales officielles, les données au format compatible avec les CJBG, la table d'équivalence des légendes au format Excel et le script FME qui a permis de produire la couche utilisée par les CJBG à partir de la compilation de toutes leurs données.

La DIT obtient les données du cadastre à partir de relevés officiels opérés par des géomètres. Lors des relevés des espaces verts, la DIT utilise une typologie propre pour les identifier. Par la suite les surfaces concernées sont reportées dans la couche appelée "NATURE_SOL". Ces objets sont transmis dans la couche qui sert à la mise à jour de la carte MN. La DIT fournit une carte couvrante du canton selon la norme OTEMO, grâce à une étroite collaboration la DIT et les CJBG ont convenu d'une table d'équivalence où tous les milieux de la carte MN (CODE_MN) disposent d'une équivalence OTEMO.

Les objets de la couche des données cadastrales ont différents attributs, expliqués dans le tableau ci-dessous (tab. 1) :

Tableau 1 : Champs numériques de la carte des données cadastrales et leur fonction

Nom du champ	Fonction
EGID	Indicateur Fédéral de Bâtiment.
CODE_MN	Code des catégories. Permet de lier à la table MN_ATTRIBUT.
PROV	Provenance des objets. Permet de lier à la table MN_PROV et de faire des requêtes sur la priorité des objets qui se superposent.
NOM	Nom de l'objet s'il devait apparaître sur un plan.
Fme_feature_type	Nature de l'objet.

Les données relatives aux zones aquatiques (étangs, nants, plants d'eau, rivières et rus) sont actuellement fournies par trois entités administratives : l'Office cantonal de l'eau (OCEau), la DIT et le Système d'information du Patrimoine Vert (SIPV). Les données n'ont pas la même nature (type de géométrie) et ne sont actuellement pas prises en compte dans le processus de mise à jour de la carte MN.

Le SEVE effectue des plans de gestion sur certaines parcelles, et de ce fait produit des données spécifiques (objets ayant une PROV comprise entre 30 et 35). Ces dernières ne sont actuellement pas prises en compte dans la mise à jour de la carte MN.

La carte MN "brute" (appelée carte MN dans ce travail) comporte différents champs numériques, résumés dans le tableau ci-dessous (tab. 2) :

Tableau 2 : Champs numériques de la carte MN brute et leur fonction

Nom du champ	Fonction
CODE_MN	Code des catégories selon CJBG. Utilisé en interne. Permet de lier à la table MN_ATTRIBUT.
PROV	Provenance des objets selon organe/institution de diffusion. Permet de lier à la table MN_PROV et de faire des requêtes sur la priorité des objets qui se superposent.
CODE_MN1	Code égal à CODE_MN ou à un code spécifique à une provenance, par exemple les objets du SEVE ou de Lancy.
POURCENT_MN1	Valeur en % de l'occupation du CODE_MN1, utilisé dans le cas de mosaïque de milieux dans un même polygone.
CODE_MN2	Code faisant référence à la liste des CODE_MN de MN_ATTRIBUT pour le 2 ^e milieu naturel dans le polygone en question. Exception pour les cimetières qui obtiennent le code 1001.
POURCENT_MN2	Pareil que pour le POURCENT_MN1, mais dans ce cas pour le CODE_MN2.
REMARQUE	Champ de texte qui permet de stocker les informations spécifiques comme les remarques d'observation sur le terrain, les associations phytosociologiques ou des usages spécifiques.
Created_user	Champs automatiques qui permettent le suivi des modifications.
Created_date	
Laste_edited_user	
Laste_edited_date	
ABREV_MN	Abréviation du milieu selon la typologie du Guide des milieux naturels Delarze 2015 (en latin).
NOM_MN_BRUT	Nom du milieu selon la typologie du Guide des milieux naturels Delarze 2015.
TYPO_N1	Code qui réfère le 1 ^{er} niveau de la typologie du Guide des milieux naturels Delarze 2015.
TYPO_N2	Code qui réfère le 2 ^e niveau de la typologie du Guide des milieux naturels Delarze 2015.

3.1.2 Processus général

Le schéma ci-dessous (fig. 2) résume les étapes principales appliquées lors de la mise à jour de la carte MN à partir des données cadastrales fournies par la DIT. Actuellement, la mise à jour de la carte MN est entièrement effectuée à la main. L'automatisation, représentée par l'encadré vert sur le schéma, transcrit la méthode appliquée sur le logiciel FME. L'automatisation englobe le traitement des cartes brutes des données du cadastre et de la carte MN jusqu'à la fin du processus de mise à jour de la carte MN. La vérification de la topologie finale et la mise à jour des objets ne pouvant l'être sans une vérification manuelle sont des étapes qui ne peuvent pas être comprises dans le processus d'automatisation et sont donc effectuées manuellement.

Dans le schéma, la carte MN à mettre à jour est appelée "Données à MaJ" et les données fournies par la DIT sont les "Données pour MaJ".

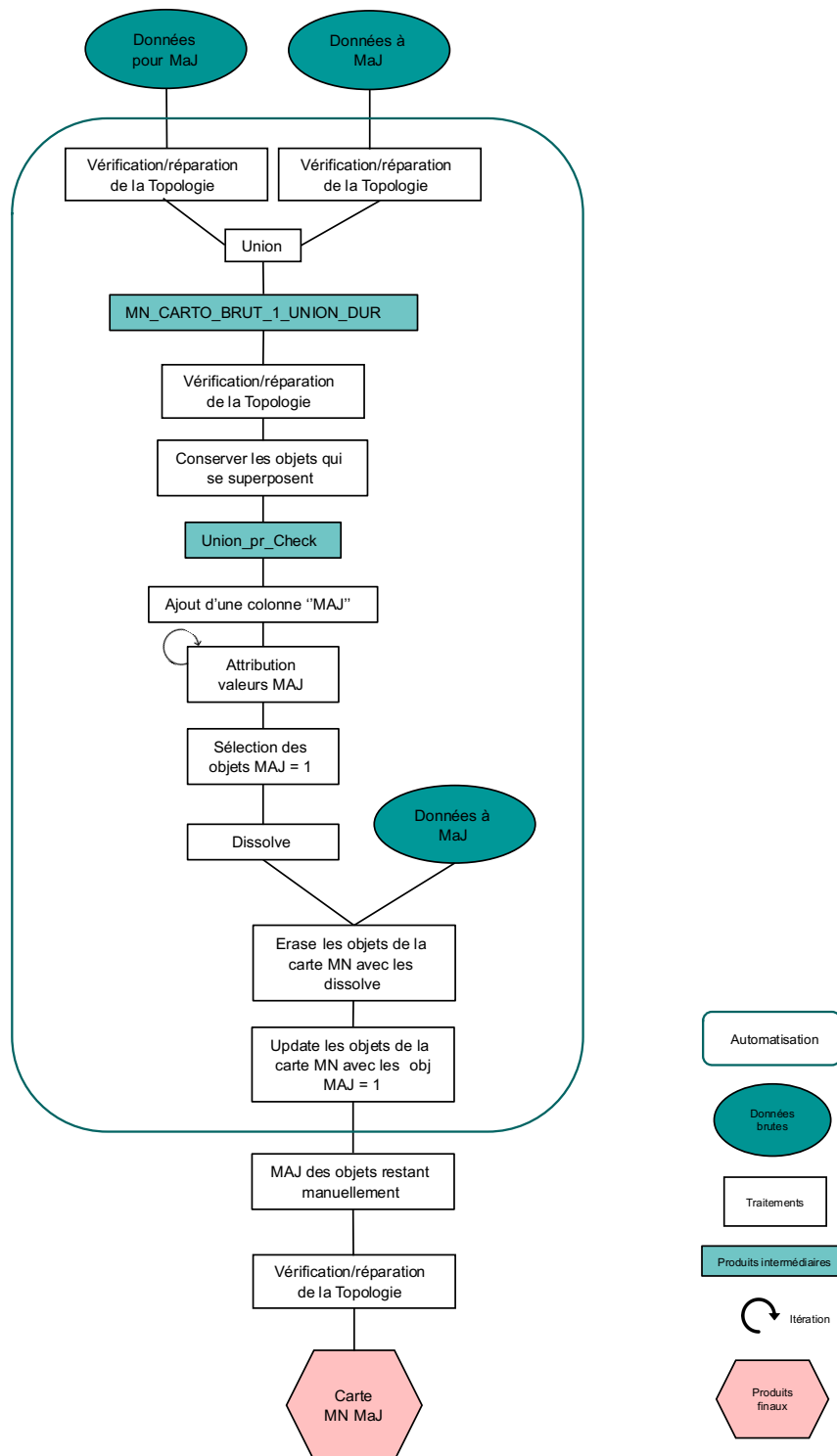


Figure 2 : Processus général de la mise à jour de la carte MN et insertion du processus d'automatisation effectué sur FME

3.1.3 Préparation

Résolution et tolérance

Il est important de comprendre comment fonctionnent la tolérance et la résolution des couches produites par le logiciel FME. La DIT et les CJBG travaillent respectivement avec une résolution de 0.0001 m et une tolérance de 0.0002 m. Pour comprendre comment sont gérés ces paramètres dans FME, deux couches ont été créées dans le logiciel ArcGIS Pro (Esri Inc, 2021). Chacune se composait de deux objets (fig. 3). Les objets de la première couche (en vert) sont deux polygones simples. La seconde couche (en rouge) se constitue de deux objets dont le premier chevauche ceux de la première couche et le deuxième objet, l'autre objet de la même couche.

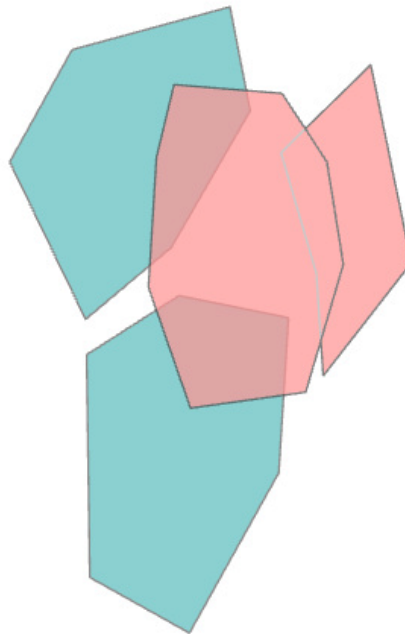


Figure 3 : Objets des deux couches créées. La première contient deux objets, colorés en vert. La seconde contient également deux objets, colorés en rouge.

Trois champs ont été créés pour chacune des deux couches (fig. 4). La colonne C5 est la colonne en commun entre la première et la deuxième couche. Une fois les couches créées, elles ont été insérées dans un script FME pour être manipulées par le transformateur *AreaOnAreaOverlay*. Le transformateur crée de nouveaux objets à l'endroit de la superposition. Au total, la couche intersectée contenait sept objets. La dernière étape a été d'exporter la couche sur ArcGIS Pro afin de vérifier la résolution et la tolérance des polygones générés par le logiciel FME. La résolution et la tolérance ne changent pas entre les passages de ArcGIS Pro à FME et inversement. Cela vient de la méthodologie utilisée. En effet, lors de l'écriture d'une nouvelle couche dans FME, elle est d'abord créée dans ArcGIS Pro en choisissant les paramètres de résolution et de tolérance, puis elle est complétée dans FME.

	OBJECTID *	Shape *	Shape_Length	Shape_Area	C1	C2	C5
1	1	Polygon Z	0,0047	0,000002	1	2	5
2	2	Polygon Z	0,004483	0,000001	1	2	5

	OBJECTID *	Shape *	Shape_Length	Shape_Area	C3	C4	C5
1	1	Polygon Z	0,00453	0,000001	3	4	5
2	2	Polygon Z	0,003459	0,000001	3	4	5

Figure 4 : Tables attributaires des couches 1 (haut) et 2 (bas) pour le test de la résolution et de la tolérance sur FME

Contrôle et préparation des données

Pour que la mise à jour puisse fonctionner avec les nouvelles données de la DIT, il est important de connaître les changements éventuels entre les données nouvellement fournies par la DIT et celles ayant permis de produire la dernière carte MN. Pour cela, un premier script FME (script : 1. Prise en main) permet de faire ressortir les changements de code (CODE_MN), l'évolution des surfaces, l'évolution des surfaces par type de milieu et aussi de suivre l'évolution du nombre d'objets. Par exemple, une catégorie de milieu qui aurait une large diminution de sa surface ou de son nombre d'objets reflète soit un changement dans l'aménagement du territoire soit des changements des pratiques de saisies de la DIT. Cette étape est nécessaire, pour une prise en main rapide de la nouvelle couche, mais également pour pouvoir adapter la méthodologie lors de l'attribution de la valeur de mise à jour (c.f. chapitre 3.1.3).

Le résultat du script prend la forme d'un tableau Excel composé de trois feuilles, qui résume les différents changements entre la version actuelle et l'ancienne version des données de la DIT.

Préparation des couches pour la mise à jour

Le but de ce script (script : 2. Préparation) est de ne garder que les objets qui se superposent entre la couche de la carte MN et les données de la DIT afin d'identifier quels objets de la carte MN doivent être remplacés par les objets du cadastre. Pour cela, un nouveau champ appelé "MaJ" (fig. 5) est rempli par l'application de règles typologiques (annexe 1) créées par Pascal Martin. En effet, il n'est pas possible de simplement remplacer tous les objets qui se superposent sur la carte MN par les objets de la DIT, car dans plusieurs cas, les données de la DIT ne sont pas aussi précises que les données de la carte MN.

Après la complétion du champ "MaJ", les objets sans valeur se sont vu attribuer soit la valeur de MaJ = 1 soit la valeur de MaJ = 0. À la suite du traitement de préparation, deux couches

sont générées : UNION_pr_Check_0 pour les objets restants ayant obtenus la valeur de MaJ = 0 et UNION_pr_Check_1 pour les objets restants ayant obtenus la valeur de MaJ = 1.

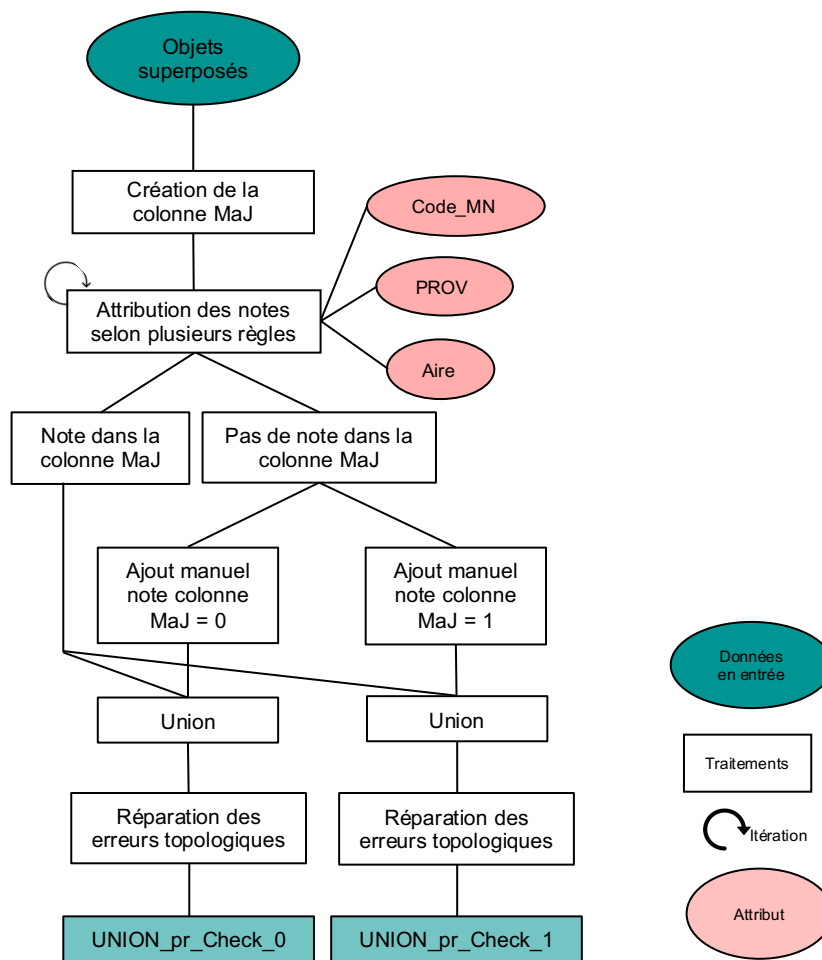


Figure 5 : Zoom du processus général sur la préparation des couches pour la mise à jour de la carte MN sur FME

À la fin de l'opération, la carte obtenue se compose des objets qui se superposent entre la carte MN et la carte de la DIT. Tous ont une valeur dans la colonne "MaJ". Les valeurs varient entre 0 et 2. Le tableau ci-dessous permet d'expliquer quel effet aura la mise à jour selon la valeur obtenue par l'objet (tab. 3) :

Tableau 3 : Typologie du code de la colonne MaJ, créée dans l'étape de préparation de la carte MN.

Valeur dans la colonne MaJ	Effet
0	Les objets de la DIT ne remplacent pas les objets de la carte MN
1	Les objets de la DIT remplacent ceux de la carte MN
2	Les objets doivent être contrôlés manuellement avant remplacement ou non dans la carte MN

Équivalent de l'outil Union d'ArcGIS Pro dans FME

C'est le Transformer *AreaOnAreaOverlayer* qui permet d'unir les couches dans FME et de déterminer quels objets se superposent. La première utilisation du Transformer n'a permis de joindre que partiellement les tables attributaires. Seule la couche ajoutée en premier dans le Transformer se composait de tous ses attributs. Contrairement à l'outil *Union* d'ArcGIS, le Transformer dans FME ne renomme pas automatiquement les colonnes. Ainsi, lorsque les champs des deux couches portent le même nom, seul un des deux est retenu, en l'occurrence ceux de la couche ajoutée en premier. Il faut donc renommer les champs portant le même nom entre les couches avant l'utilisation de l'outil pour conserver tous les champs dans la nouvelle table attributaire.

Le Transformer *AreaOnAreaOverlayer* a montré la présence de trous entre les polygones. En effet, lorsque des polygones se chevauchent ils sont divisés au niveau de leurs limites. Cela peut créer des objets intermédiaires lorsqu'il existe de légers décalages entre les données de la carte MN et les données cadastrales (fig. 6). Cela est particulièrement vrai pour les objets composés d'arc de cercle, du fait que les équations ne sont pas exactement les mêmes entre les données cadastrales et les données des milieux naturels. Les objets nouvellement créés ont des géométries corrompues et/ou des surfaces nulles, et sont écartés dans la suite du processus. Cette erreur est propre à l'outil *AreaOnAreaOverlayer*. Dans ArcGIS Pro l'outil *Union* ne produit pas ce type d'erreur. C'est pourquoi elle n'a pas été détectée directement.

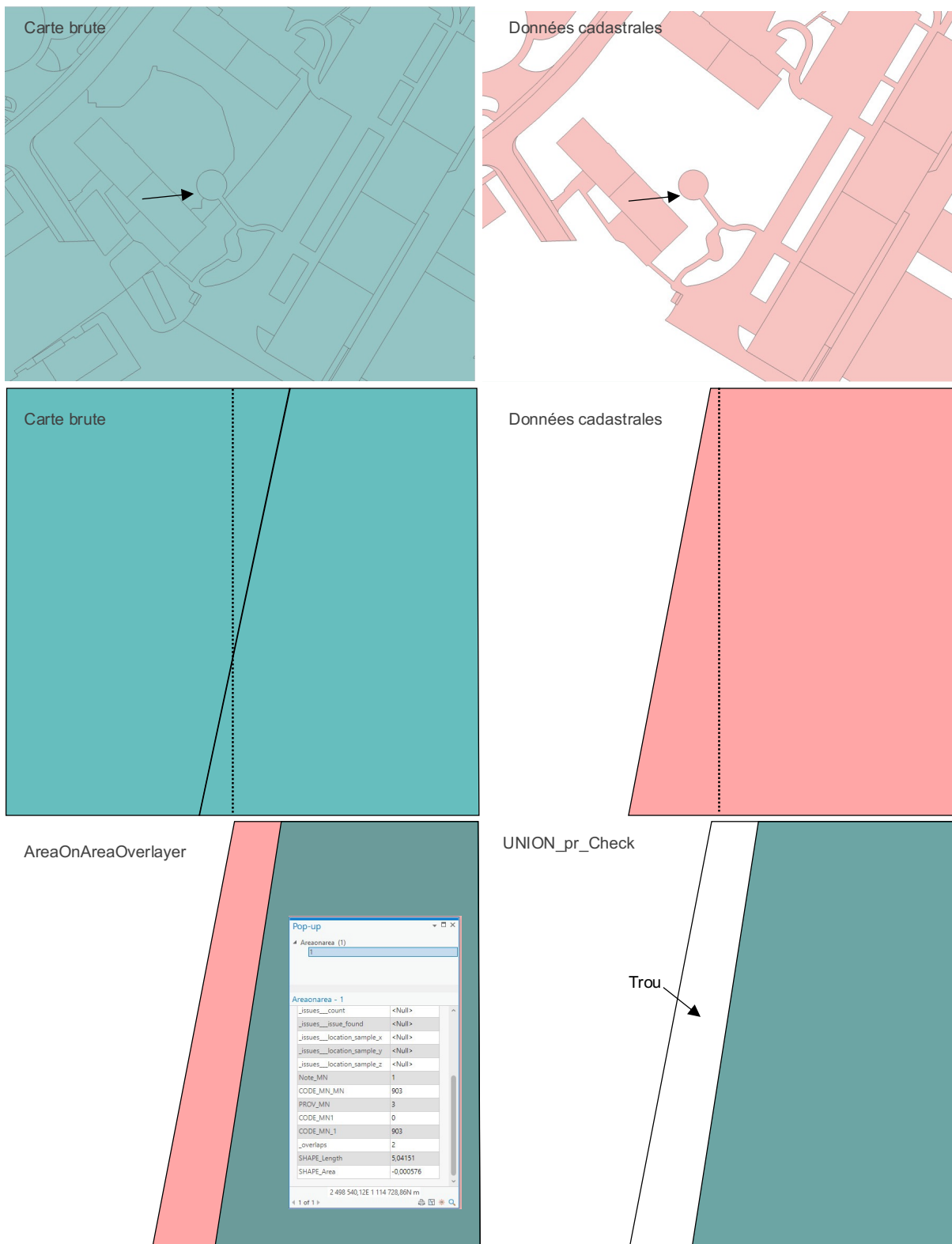


Figure 6 : Exemple d'une erreur survenue lors de l'utilisation de l'outil *AreaOnAreaOverlayer*. Les objets de la carte MN à mettre à jour (vert) sont décalés comparativement aux objets permettant la mise à jour (rouge). La superposition incomplète provoque la création d'un polygone d'interface. Lors des étapes de correction de la topologie, le polygone est supprimé, laissant un trou.

Pour corriger ce biais, plusieurs étapes ont été nécessaires. La première a été de supprimer les objets d'une aire plus petite ou égale à 1m². La seconde a été de regagner la géométrie la plus correcte possible en accrochant les objets issus de l'union (*AreaOnAreaOverlayer*) aux objets de la DIT avec le Transformer *AnchoredSnapper*. Les objets du cadastre sont considérés comme plus justes dans la mesure où ce sont des géomètres qui les produisent. Cette correction a permis de supprimer les trous créés par la suppression des polygones "d'interface" pour obtenir une géométrie plus précise, mais également pour limiter significativement les erreurs de topologie.

Une comparaison des résultats obtenus sur FME et ArcGIS Pro a permis de démontrer que la méthode appliquée sur FME corrige une erreur non détectée jusqu'à lors sur ArcGIS Pro (fig. 7). Lors de l'union sur ArcGIS Pro de la couche de la DIT et de la carte MN, le programme ne réaffecte pas à l'objet initial l'objet créé par la superposition. Toutefois, les données provenant du cadastre étant les plus précises, leur géométrie doit être respectée lors de la mise à jour.

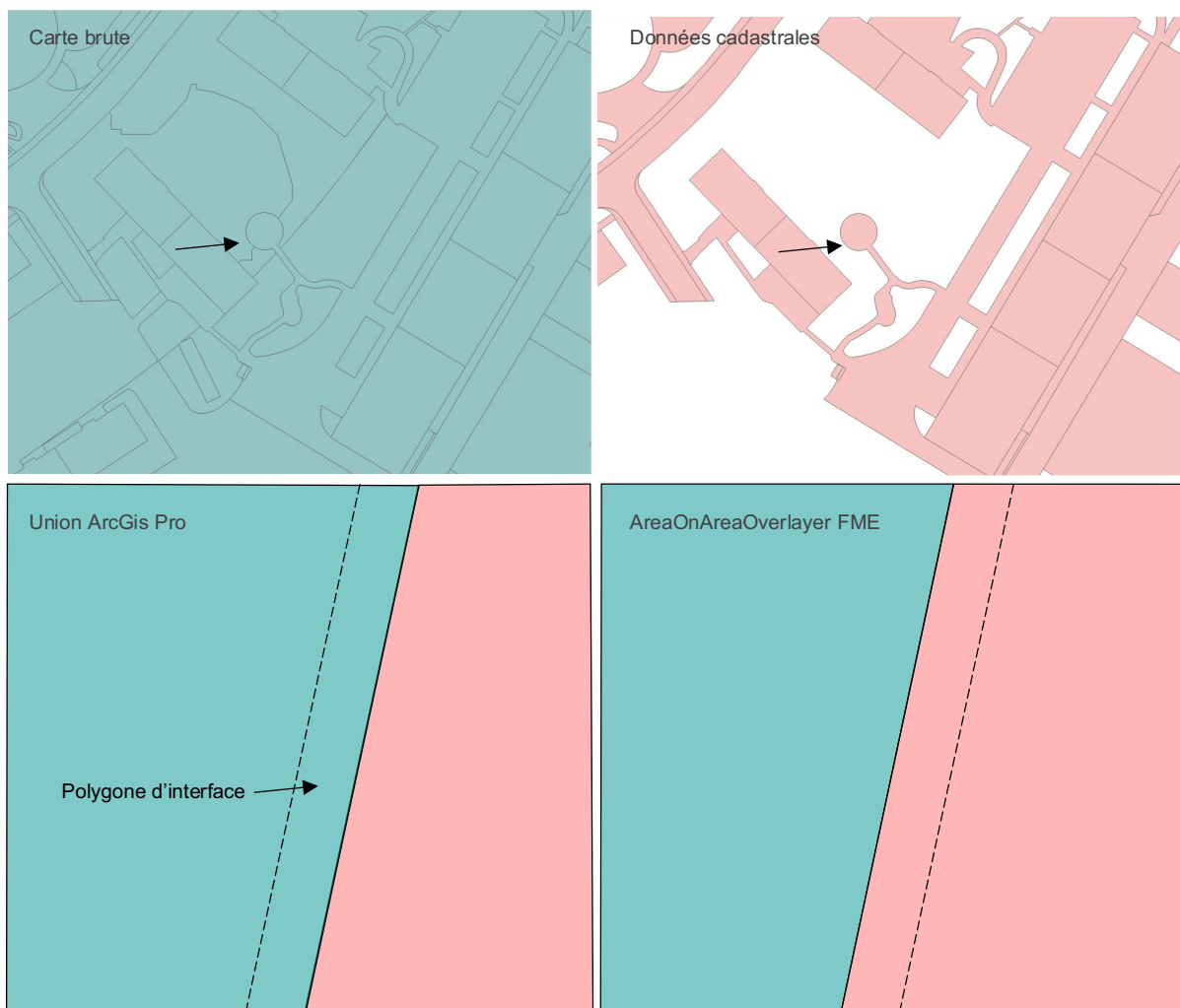


Figure 7 : Erreur provoquée dans ArcGIS Pro, corrigée dans FME. Dans ArcGIS Pro, le polygone créé par l'outil *Union* est automatiquement affecté à l'objet de gauche, n'appartenant pas à ce dernier. Dans FME le polygone créé est supprimé puis le polygone de droite est transformé pour corriger sa géométrie.

Bien que l'outil *AnchoredSnapper* permette de corriger la géométrie des objets au plus proche de la géométrie des objets du cadastre, il reste encore des décalages. La figure ci-dessous

(fig. 8) représente la différence de géométrie obtenue entre ArcGIS Pro et FME. La forme rouge représente un polygone issu des données cadastrales superposé par le résultat de l'union sur ArcGIS Pro ou sur FME (en vert). La réparation de la géométrie à l'aide de l'outil *AnchoredSnapper* permet de réduire l'espace entre la géométrie initiale et le produit de l'union des deux couches.

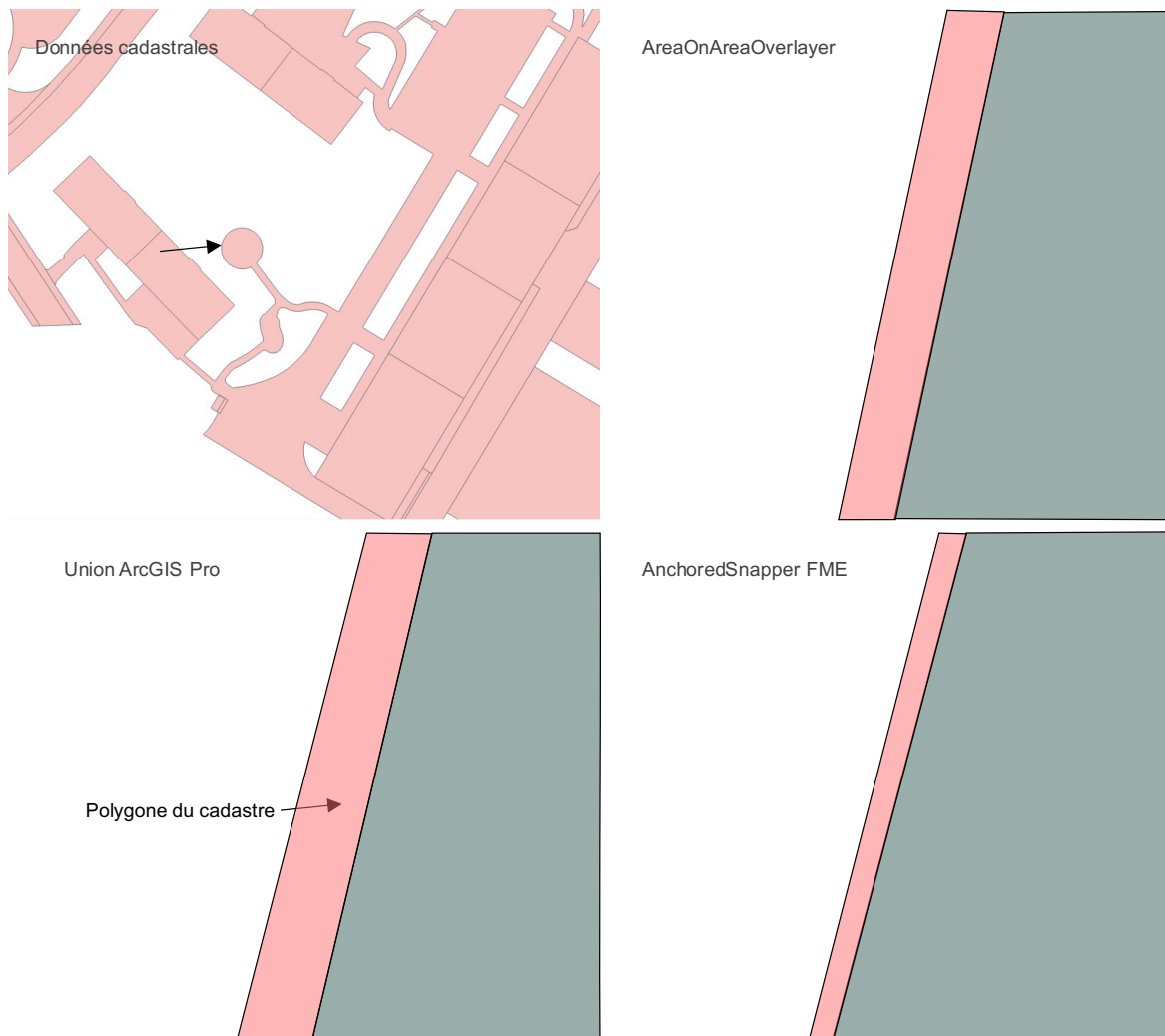


Figure 8 : Comparaison du résultat de l'union et de la réparation sur ArcGIS et sur FME. Dans le schéma, la couche des données cadastrales (rouge) est superposée par la couche obtenue suite à l'union (vert). Dans ArcGIS Pro, le polygone d'interface est directement réattribué à une couche (qui n'est pas forcément la couche initiale). Sur FME le polygone d'interface est supprimé et la géométrie du polygone est corrigée avec l'outil *AnchoredSnapper*.

3.1.4 Mise à jour

Le but de ce script (script : 3. MaJ) est de mettre à jour la carte MN à partir des objets des couches produites par le script de préparation (c.f. chapitre 3.1.3). Le processus de mise à jour (fig. 9) est répété pour les deux cartes : UNION_pr_Check_0 et UNION_pr_Check_1. Les objets de la carte MN sont remplacés par ceux issus des couches UNION_pr_Check ayant obtenus la valeur de MaJ = 1 et MaJ = 2.

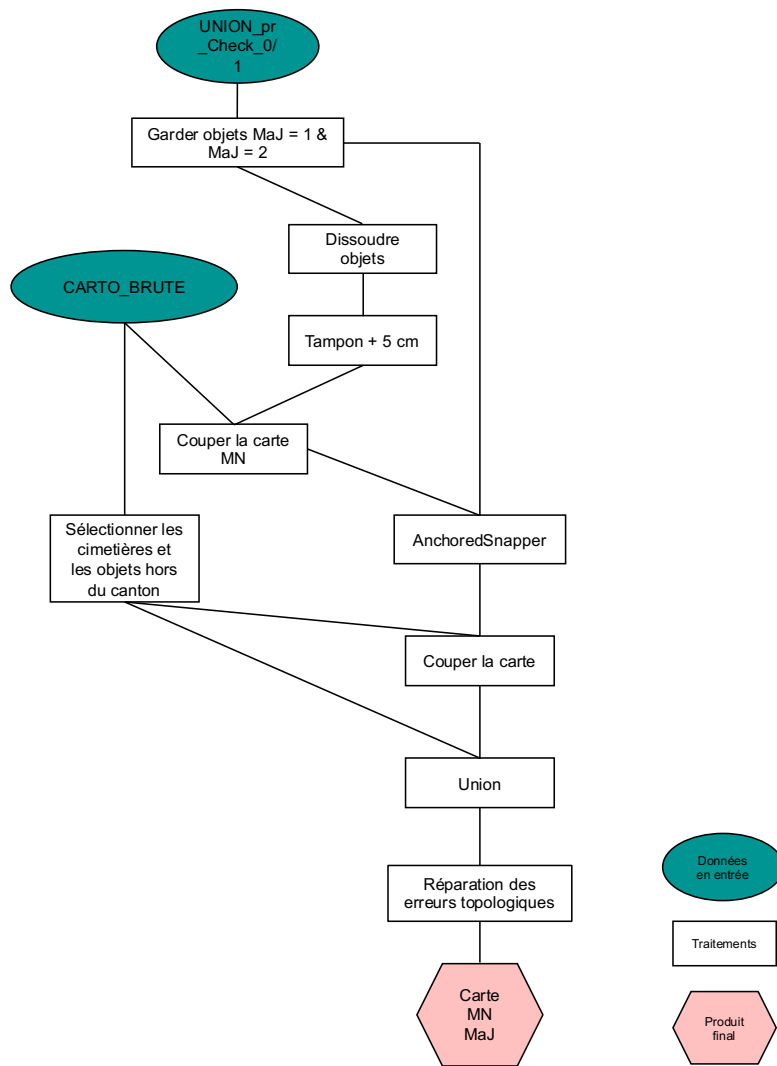


Figure 9 : Processus général de la mise à jour de la carte MN à partir des données du cadastre sur FME

AnchoredSnapper

Pour la mise à jour, les objets ayant obtenu la valeur de MaJ = 1 et MaJ = 2 des cartes UNION_pr_Check sont sélectionnés. Ils sont ensuite agrégés pour former une forme à “emporte-pièces”. Cette forme est utilisée pour couper la carte MN (CARTO_BRUTE_1). Le trou formé est comblé par les objets de MaJ = 1 et MaJ = 2 qui n’ont pas été agrégés.

Pour limiter au maximum les erreurs de topologie, une première réparation de la topologie est effectuée selon la méthodologie appliquée par la DIT. D’abord, une valeur de 0 est attribuée aux objets issus de la couche UNION_pr_Check et une valeur de 1 aux objets issus de la carte MN dans un nouveau champ appelé “Tol”. Cette valeur a une importance lors de la réparation de l’application de l’outil *AreaGapAndOverlapCleaner*. Les trous sont corrigés en priorisant la géométrie des objets issus de la couche UNION_pr_Check. Toutefois, à la suite de ce traitement, de nombreuses erreurs topologiques persistaient. Pour pallier cela, une nouvelle méthodologie a été appliquée à la suite des conseils de Monsieur José Lopez. Celle-ci consiste à l’application du Transformer *AnchoredSnapper*. Cet outil accroche des entités candidates, ici les objets de la carte MN à des entités d’ancrage, ici les objets issus des cartes UNION_pr_Check, considérés comme plus juste au niveau de leur géométrie. Les limites de la forme à emporte-pièces sont agrandies par la création d’un tampon de 5 cm. Ce qui a pour

effet de reculer de 5 cm les milieux adjacents sur la carte MN pour pouvoir ensuite les "raccrocher" aux objets sélectionnés pour la mise à jour (valeur de MaJ = 1 et MaJ = 2) avec l'outil *AnchoredSnapper* et ainsi préserver la géométrie des objets à mettre à jour, considérés comme plus justes.

3.2 Mise à jour des données tierces

3.2.1 Données tierces

Dans ce travail, les surfaces de promotion de la biodiversité (SPB) ont été intégrées dans le processus de mise à jour de la carte MN. Ces surfaces sont renseignées chaque semestre par les agriculteurs ou l'association AgriGenève via un outil en ligne ([lien](#)). L'outil permet de dessiner les SPB ainsi que de remplir les différentes informations liées à ces surfaces. La couche est traitée par l'OCAN qui corrige au besoin les géométries et complète les champs. La couche est ensuite diffusée sur le site SITG. Elle se compose des champs suivants (tab. 4) :

Tableau 4 : Champs numériques de la carte des surfaces de promotion de la biodiversité et leur fonction

Nom du champ	Fonction
ORACLE_ID	Code unique identifiant une parcelle
CODE_FED	Code fédéral déterminant d'une parcelle
TYPE	Affectation d'une parcelle
AFFECT_CANT	Affectation cantonale (+ détaillée) d'une parcelle
SAU	Parcelle se situant dans une surface agricole utile
SPB	Parcelle est une SPB
QII	Parcelle est de niveau de qualité II
CONTRATQI	Début du contrat niveau de qualité II
CONTRATQII	Début du contrat niveau de qualité II
RAE	Parcelle faisant partie d'un réseau agroenvironnemental
EXERCICE	Année de recensement
EXPL_GE_VD	Situation de l'exploitation

3.2.2 Processus de l'intégration des SPB dans la mise à jour de la carte MN

Le schéma ci-dessous (fig. 10) permet de résumer les étapes principales effectuées pour l'intégration des données tierces dans la mise à jour de la carte MN.

Le but principal de la mise à jour de la carte MN est d'inclure les SPB de manière automatisée afin de valoriser ces informations. De plus, les SPB peuvent être plus précises que certains milieux de la carte MN, ce qui permet d'affiner la donnée.

La couche regroupe les surfaces recensées de 2017 à 2023. Pour l'automatisation de la mise à jour, il a été décidé de garder les surfaces de l'année en cours ainsi que les deux années

précédentes (année -1, année -2). Lorsque les surfaces retenues des trois dernières années se superposent, c'est la plus récente qui est retenue.

À la suite de l'union des SPB avec la carte MN, seules les prairies extensives de QII et les jachères florales qui superposaient des prairies (CODE_MN de 408 à 410), des jachères florales (CODE_MN 811), des rudérales (CODE_MN de 701 à 713) ou encore des cultures (CODE_MN de 807 et 808) ont été retenues. À cette étape, il est possible d'identifier les SPB qui ne correspondent pas à ces critères pour pouvoir ensuite les traiter à la main.

Comme expliqué auparavant, l'outil *Union* de FME éclate les polygones qui ne se superposent pas parfaitement en plusieurs objets. Pour limiter cet effet, les objets ont été regroupés par leur attribut ORACLE_ID puis ont subi une succession de sélection permettant de supprimer les petits objets de moins de 10 m² et les objets fins calculés à partir du Shape Index (éq. 1) (Laurance & Yensen, 1991).

$$Shape\ Index = \frac{Périmètre}{2\sqrt{\pi}\ Aire} \quad (1)$$

Finalement, le script réattribue un code MN aux SPB retenues et remplit automatiquement la section des remarques en indiquant que c'est une SPB et en quelle année elle a été recensée (Exercice).

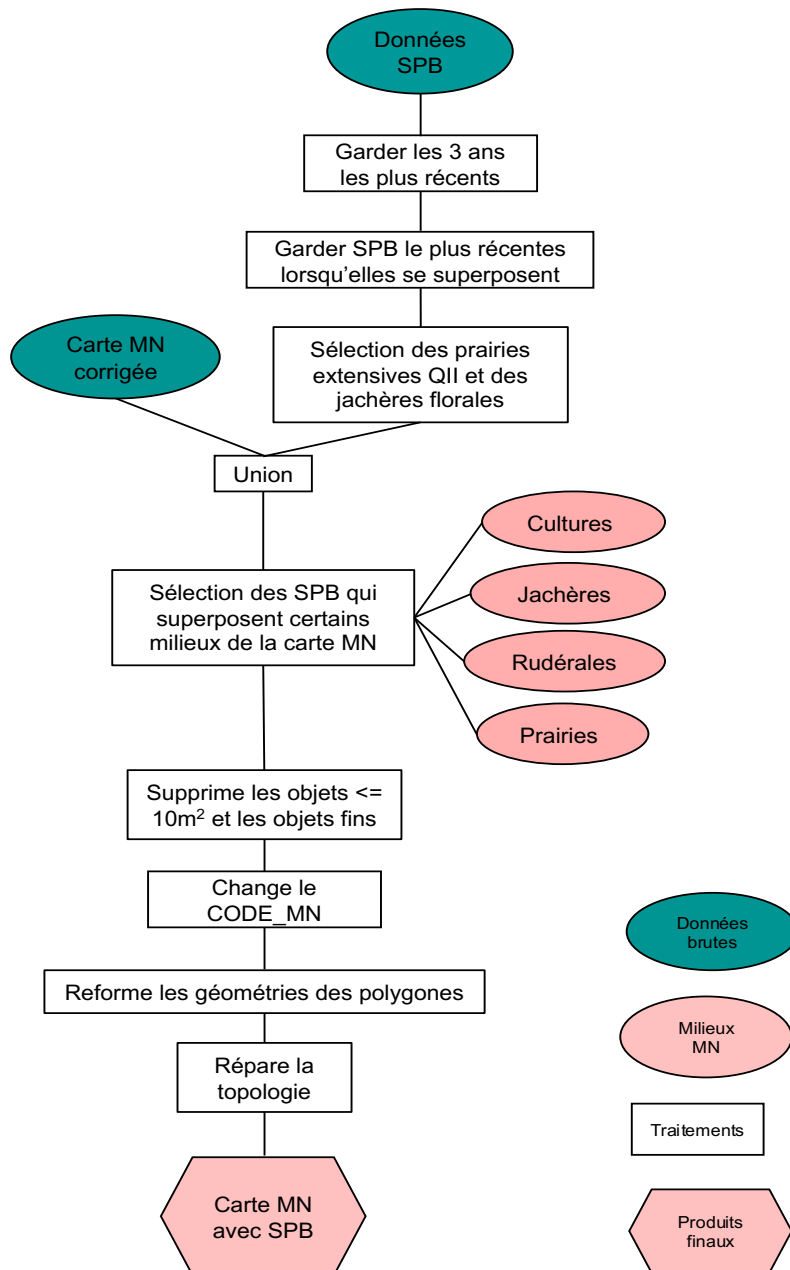


Figure 10 : Processus de mise à jour de la carte MB CARTO_BRUTE_1 à partir des données de surfaces de promotion de la biodiversité

3.3 Généralisation et diffusion

3.3.1 Données utilisées pour la généralisation

Les scripts nécessaires à la généralisation reposent sur des données réparties dans deux bases de données Esri : Ajout.gdb et Carto_MN.gdb.

La base de données Ajout.gdb comprend trois bases de données principales. La première base de données comprend les routes, les rivières et les chemins de fer principaux modifiés par un tampon selon s'ils sont destinés à la généralisation de la carte au 1:25'000 ou au 1:100'000. Un script FME permet de sélectionner les routes, rivières et voies ferrées principales et de les élargir de 10 m pour la carte au 1:25'000 et de 15 m pour la carte au 1:100'000. De plus, le script crée un attribut qui permet de les distinguer lors de leur utilisation. La seconde base de données comprend deux tables (Table_25 et Table_100) qui relient les tables attributaires aux codes utilisés dans les scripts. C'est un script FME créé par Nicolas Wyler qui prépare ces tables. La dernière comprend une couche du Lac, du Rhône et de l'Arve joints ainsi qu'une couche des communes du canton.

La base de données Carto_MN.gdb regroupe les cartes des milieux naturels au 1:5'000 et 1:10'000.

3.3.2 Processus de généralisation

La généralisation des cartes permet leur diffusion à différentes échelles sur le guichet cartographique SITG. Les cartes au 1:25'000 et 1:100'000 suivent le même processus de création. Seul le paramétrage des modèles change.

La généralisation se faisait à partir de scripts produit sur Model Builder d'ArcGIS. Toutefois, ces derniers ont un temps de traitement long, voire ne fonctionnent plus. Ce travail cherche à transcrire la procédure de généralisation et donc ces scripts sur FME.

Le but principal de la généralisation de la carte MN est de simplifier les milieux ainsi que les géométries des objets à chaque passage d'échelle afin que la donnée soit lisible de manière élargie.

Les traitements et processus des scripts pour la généralisation sont expliqués dans la suite du document.

3.3.3 Carte au 1:25'000

3.3.3.1 Script 1 Simplification

Le but principal de ce script est de simplifier la carte. Pour cela, les objets sont agrégés sur leur attribut CODE_25 (cf. ch. 3.3.3.4), les surfaces de 2'000 m² ou moins sont supprimées et rebouchées.

Le Model Builder est basé sur la carte MN "brute". Lors de sa traduction sur FME, il a été décidé de travailler à partir de la carte MN au 1:10'000 dans le but de minimiser les temps de traitement (moins d'objets), mais également de minimiser les changements de code qui pourraient survenir sur la carte brute et rendre le script non utilisable (c.f. § agrégation).

Les ellipses

La première étape du script est la réparation de la topologie selon la méthode appliquée par la DIT. Malgré la réparation de la topologie, une partie du canton bloquait la suite du processus. Selon les recommandations de Monsieur José Lopez, un *GeometryFilter* a été appliqué afin d'identifier les ellipses. Ces structures peuvent empêcher le bon fonctionnement de processus, ici le processus d'agrégation. Les ellipses ont été remplacées par des polygones formés de nombreuses arêtes avec le Transformer *ArcStroker*.

Agrégation

Une fois la topologie corrigée, le script utilise le Transformer *Dissolver* qui permet directement d'agréger les objets d'après leur attribut `CODE_25`. Toutefois, une fois lancé, l'outil bloquait et le message d'erreur n'était pas spécifique. Après plusieurs essais, il s'est avéré que l'erreur provenait du fait que le traitement d'autant d'objets était une opération lourde, et demandait beaucoup de mémoire vive (RAM). Plusieurs éléments ont été mis en place pour limiter l'apparition de cette erreur. Le premier a été de fractionner le nombre d'objets arrivant dans le Transformer *Dissolver*. Pour cela, les objets ont été séparés par leur attribut `CODE_25` puis ont été agrégés ensemble et unis par la suite. Le second a été d'ajouter de la mémoire vive sur l'ordinateur, le faisant passer de 16 Go de RAM à 32 Go.

Par la suite, il s'est avéré que les objets ne semblaient pas correctement agrégés par endroit, une erreur probablement due au volume de la donnée. Toujours dans l'idée d'alléger la donnée, mais également dans le but de pérenniser l'automatisation de la généralisation, il a été décidé de travailler non plus sur la carte MN brute, mais avec la carte MN au 1 : 10'000. Baser le script sur la carte au 1 : 10'000 permet de procéder en entonnoir, ce qui limite les erreurs et lisse la donnée.

3.3.3.2 Script 2 Généralisation

Ce script a pour but de généraliser la carte MN. Pour cela, les objets de la carte sont amalgamés puis ils sont lissés pour produire un nombre d'objets restreint aux géométries simplifiées ce qui facilite la visualisation de la carte à large échelle.

Généralisation des objets

Le Model Builder sur lequel ce script est basé généralise les objets de la carte en transformant la carte vectorielle en raster pour appliquer l'outil *MajorityFilter*. Celui-ci amalgame les objets entre eux puis l'outil *BoundaryClean* généralise les frontières du raster pour ensuite retransformer la carte en vecteur. Sur FME, la méthodologie a été traduite avec le Transformer *NumericRasterizer* en ce qui concerne la transformation de la carte vectorielle en raster. L'amalgamation des polygones a été effectuée à l'aide du Transformer *RasterConvolver*. Toutefois, ces étapes provoquaient des problèmes. Le premier était dans le choix de grouper ou non les objets selon leur attribut `CODE_25` lors de la rastérisation. Lorsque le choix était de ne pas grouper les objets, la généralisation puis la transformation du vecteur en raster permettaient d'obtenir un résultat cohérent avec celui obtenu à partir du Model Builder d'ArcGIS. Cependant, les objets obtenus ne possédaient plus d'informations dans leur table attributaire. Il n'était pas possible d'identifier quel objet appartenait à quelle catégorie. Lorsque les objets étaient groupés par leur attribut `CODE_25` afin de conserver leur identité, l'outil créait des superpositions par `CODE_25`, rendant inexploitable la couche. De plus, le logiciel bloquait la transformation du raster en vecteur. Cette méthodologie a été abandonnée.

Par la suite, le Transformer *AreaAmalgamator* a été appliqué pour s'affranchir du passage de la carte vectorielle en raster puis en carte vectorielle à nouveau et ainsi pour limiter les erreurs.

L'outil produit des triangles d'une largeur et d'une longueur spécifique pour amalgamer les polygones en entrée à leurs voisins selon différents paramétrages. Cet outil apporte des modifications importantes à la carte. Pour limiter le temps de traitement, le canton a été séparé en trois parties distinctes à partir des communes du canton. Cet outil dispose de nombreux paramètres d'ajustement. Par exemple, le mode d'amalgamation qui donne le choix entre de l'auto-amalgamation qui amalgame une géométrie polygonale contre elle-même, de l'amalgamation binaire qui fusionne différentes géométries polygonales et de l'auto-amalgamation binaire, qui combine les deux modes précédents (Safe Software Inc, s. d.-a). Les trois modes ont été testés simultanément, puis ont été comparés à la carte au 1 : 25'000 actuelle pour permettre de faire un choix. Dans ce travail, c'est le mode auto-amalgamation binaire qui a permis d'obtenir les meilleurs résultats. Pour paramétrer la valeur de longueur et de largeur des triangles, la méthode a cherché à se rapprocher du nombre d'objets obtenu avec le Model Builder initial. Le paramètre a été fixé à 5m pour la longueur et la largeur et de 50 m pour le paramètre de surface minimale des trous.

À la suite de la généralisation le Transformer *Generalizer* a été appliqué pour "lisser" la géométrie des polygones. Le "lissage" est basé sur l'algorithme Deveau. Il permet de modifier la forme des polygones en supprimant les sommets qui contribuent le moins à la forme globale de l'entité et en rajoute pour modifier les positions initiales (Safe Software Inc, s. d.-b). Les paramètres du *Generalizer* ont également été fixés selon une recherche exploratoire. La valeur de tolérance de généralisation est fixée à 30, le facteur de "lissage" est fixé à 30 et l'angle de "netteté" est fixé à 180.

3.3.3.3 Script 3 Trous

Ce script a pour but d'identifier les trous formés à la suite du processus de généralisation, pour leur attribuer un CODE_25 et pour les agréger au besoin.

La carte en sortie du script 2 possède de nombreux trous. La réparation des trous à l'aide du Transformer *AreaGapAndOverlapCleaner* ne parvient pas à reboucher les trous issus des suppressions d'objets ($\leq 2'000 \text{ m}^2$) se situant au bord de la carte, dans ce cas au bord du canton. Dans le but de fournir une carte couvrante, il a d'abord fallu créer des polygones à l'emplacement des trous. Pour se faire, une forme pleine, ici les communes agrégées, a été intersectée à la carte. Tous les objets ne possédant pas de superposition et donc qui représente les trous ont été sélectionnés. Pour attribuer une valeur d'attribut CODE_25 aux objets "trou", le Transformer *NeighborFinder* a été utilisé. Il permet d'attribuer les attributs de l'objet adjacent à l'objet en question. Une fois les attributs renseignés, les polygones ont été agrégés sur l'attribut CODE_25. Finalement, la couche a subi une réparation de sa topologie, toujours selon la méthode appliquée par la DIT, puis a été exportée pour la suite.

3.3.3.4 Script 4 Finalisation

Le but de ce script est d'intégrer les rivières, les routes et voies ferrées principales ainsi que le lac Léman, le Rhône et l'Arve et de joindre la table attributaire SIPV_MN_ATTRIBUT pour la visualisation de la carte.

Ajout des entités eau, routes et voies ferrées principales

Ces données sont issues du script "Cartes apport" produites sur FME. Au niveau du Lac, du Rhône et de l'Arve, le script découpe les entités au périmètre du canton élargi (+ 150m) les entités sont ensuite agrégées et un attribut "gridcode" est renseigné (1). En ce qui concerne les rivières, routes et voies ferrées principales, elles sont sélectionnées d'après leur hiérarchie

ou directement selon leur nom. Un tampon de 10 mètres est ajouté, les entités sont ensuite agrégées et un attribut "gridcode" est renseigné (12 = routes, 13 = voies ferrées).

Au niveau du Lac, du Rhône, de l'Arve, des routes, des rivières et des voies ferrées, le script 4 a imposé un ordre d'importance et donc un ordre d'apparition sur la carte finale pour éliminer les superpositions. Le Rhône, l'Arve et le Lac ont été découpés selon le tracé des rivières, des routes et des voies ferrées principales. Par la suite, les rivières principales ont été découpées selon les routes principales. Le résultat a ensuite été découpé selon le tracé des voies ferrées. Le tout a ensuite pu être intégré à la carte.

Table attributaire SIPV_MN_ATTRIBUT

La dernière étape du script consiste à joindre la table attributaire SIPV_MN_ATTRIBUT. La table attributaire contient le champ sur lequel la symbologie est appliquée à partir d'un fichier.lyrx créé par Pascal Martin qui contient le paramétrage de chaque milieu.

À noter que la généralisation se basait en premier lieu sur l'attribut MODELB_25 comme le ModelBuilder sur lesquels la méthodologie est basée. Toutefois, une fois produite, la carte a été visualisée sur le projet ArcGIS Pro à l'aide de la Collaboratrice scientifique Alix Jornot. Son expertise concernant le territoire genevois a permis de mettre en évidence plusieurs erreurs. Après discussion, ces erreurs provenaient de la table attributaire jointe. L'attribut MODELB_25 ne fonctionnait pas en "entonnoir", entre les CODE_10 jusqu'au MODELB_25. Cela avait pour effet d'attribuer de mauvais attributs lors de la jointure. De plus, certaines catégories de l'attribut MODELB_25 étaient fausses. Après un travail de réattribution/création des champs, il a été décidé de travailler avec l'attribut CODE_25 pour limiter le nombre d'attributs dans la table.

3.3.4 Carte au 1 : 100'000

La méthode appliquée pour la généralisation de cette carte est identique à la méthode de généralisation de la carte au 1 : 25'000, mais basée sur l'attribut CODE_100. Seuls quelques ajustements ont été apportés.

3.3.4.1 Script 1

Le script n'a pas pu partir de la carte au 1 : 10'000 du fait que certaines catégories de milieu (CODE_10) se séparent dans différentes catégories au niveau du CODE_100, telles que la catégorie "Sols et des Substrats nus" au niveau 1 :10'000 qui devient les catégories "Eaux et alluvions", "Milieux cultivés ou exploités", "Surfaces dures" et "Végétations herbacées". L'entonnoir n'étant pas respecté, l'attribution des milieux se ferait aléatoirement. C'est pourquoi, la généralisation s'est faite à partir de la carte au 1 :5'000.

3.3.4.2 Script 2

Ici, seuls quelques éléments ont changé en comparaison du script au 1 :25'000, mis à part cela les scripts sont similaires. En ce qui concerne l'outil *AreaAmalgamator*, la longueur et la largeur des triangles sont de 7 m. La surface minimale des trous passe à 100 m. Le tampon passe d'une valeur de 9 m à 15 m. En ce qui concerne le *Generalizer*, la valeur de tolérance de généralisation est fixée à 40.

4 Résultats

4.1 Résultats de la mise à jour

4.1.1 Résultats du contrôle des données (script 1)

Le script produit un fichier Excel de trois feuilles. Le fichier permet de mettre en évidence les changements de CODE_MN, l'évolution de l'aire des CODE_MN et l'évolution du nombre d'objets. Ce fichier Excel est mis à jour automatiquement après remplacement des données en entrée.

4.1.2 Résultats de la préparation des données (script 2)

Le tableau ci-dessous (tab. 5) résume le nombre d'objet obtenus pour les différentes valeurs de catégorie de l'attribut MaJ pour les couches UNION_pr_Check_0 et UNION_pr_Check_1

Tableau 5 : Nombre d'objet obtenu pour l'attribut MaJ pour les cartes UNION_pr_Check_0 et UNION_pr_Check_1

	UNION_pr_Check_0	UNION_pr_Check_1
Objets sans note de MaJ	3'921	3'921
Objets ayant une valeur de MaJ = 0	8'482	4'421
Objets ayant une valeur de MaJ = 1	191'815	195'876
Objets ayant une valeur de MaJ = 2	1'118	1'118

Le script tourne en 5 heures et 40 minutes sur une machine avec 32 Go de RAM.

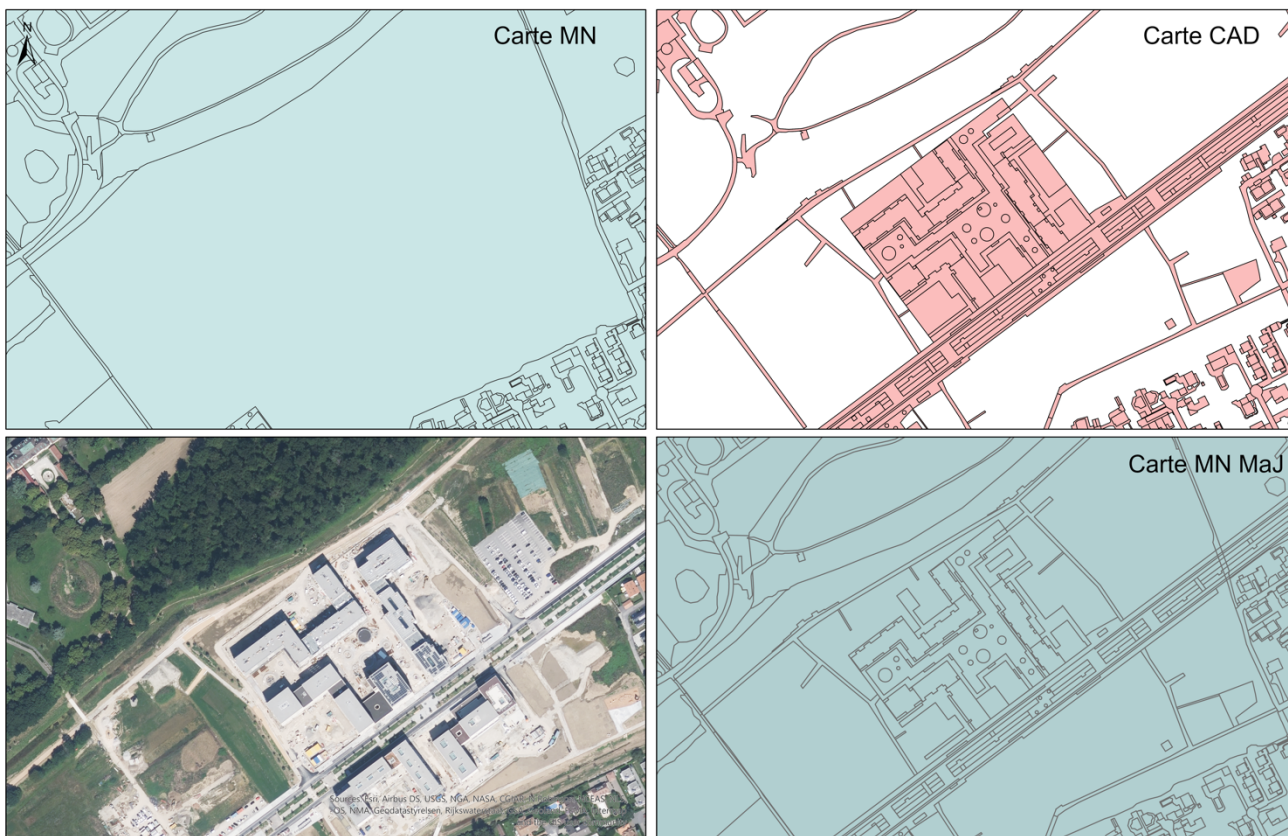
4.1.3 Résultats de la mise à jour (script 3)

Le script de mise à jour de la carte MN produit deux cartes selon si la mise à jour est basée sur la carte UNION_pr_Check_0 ou UNION_pr_Check_1. Les couches en sortie s'appellent Updated_0 et Updated_1.

Au total, le script tourne en 11 heures et 46 minutes.

Les cartes Updated_0 et Updated_1 ont été ouvertes dans un projet ArcGIS Pro pour appliquer les règles de topologie. Ces dernières engendrent 14 erreurs chacune.

La mise à jour a permis l'ajout de nouveaux objets du cadastre au sein de la carte MN. Ici, la figure 11 représente l'incrustation du nouveau quartier de Belle-Terre à Thônex (GE) au sein d'une surface agricole. Tous les éléments sont incrustés à part les chemins et les sentes qui n'ont pas été pris en compte dans le processus de mise à jour.



Cartographie de l'incrustation des nouveaux éléments du cadastre à la carte MN

Auteure : Sophie Komaromi
 Date : 19.12.23
 Orthophoto 2021 ©SITG

Figure 11 : Représentation de l'incrustation du nouveau quartier Belle-Terre lors de la mise à jour de la carte MN à partir des données CAD.

Des différences de représentation existent entre les cartes Updated_0 et Updated_1. La figure ci-dessous (fig. 12) représente une surface dure n'obtenant pas la même géométrie selon si elle est mise à jour à partir de la carte UNION_pr_Check_0 ou UNION_pr_Check_1.

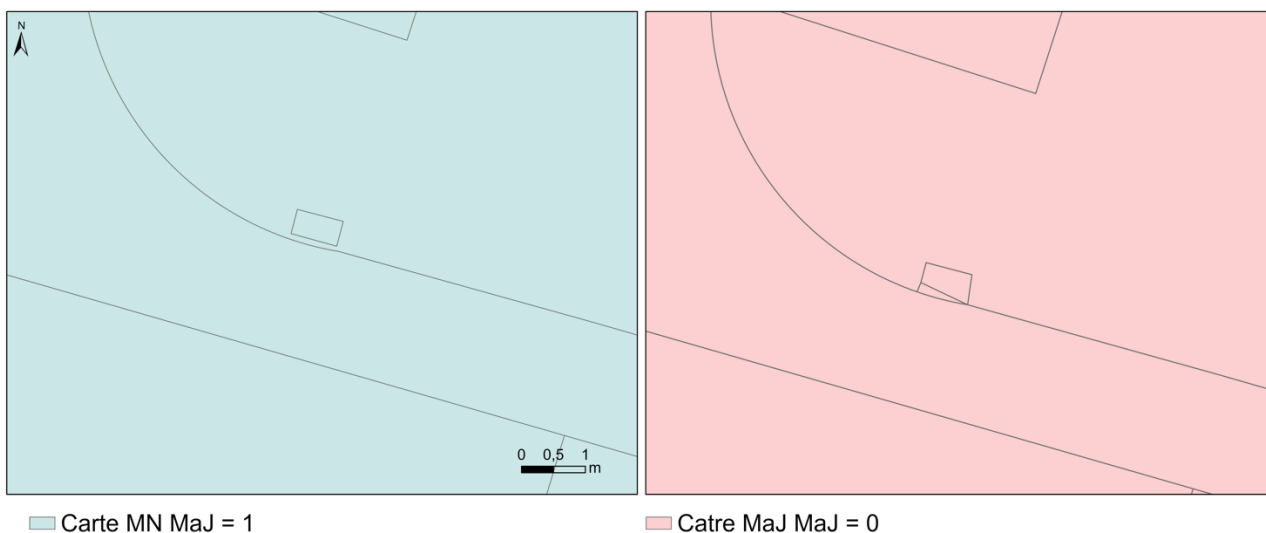


Figure 12 : Représentation de la différence du résultat final de mise à jour entre les cartes Updated_0 (bleu) et Updated_1 (rose).

Les décalages importants entre les géométries de la carte MN et des données de CAD ne sont pas corrigés durant le processus de mise à jour (fig. 13). Cela a pour effet de produire un grand nombre de polygones, qui ne sont pas correctement dessinés au niveau de leur géométrie et de leur nombre.

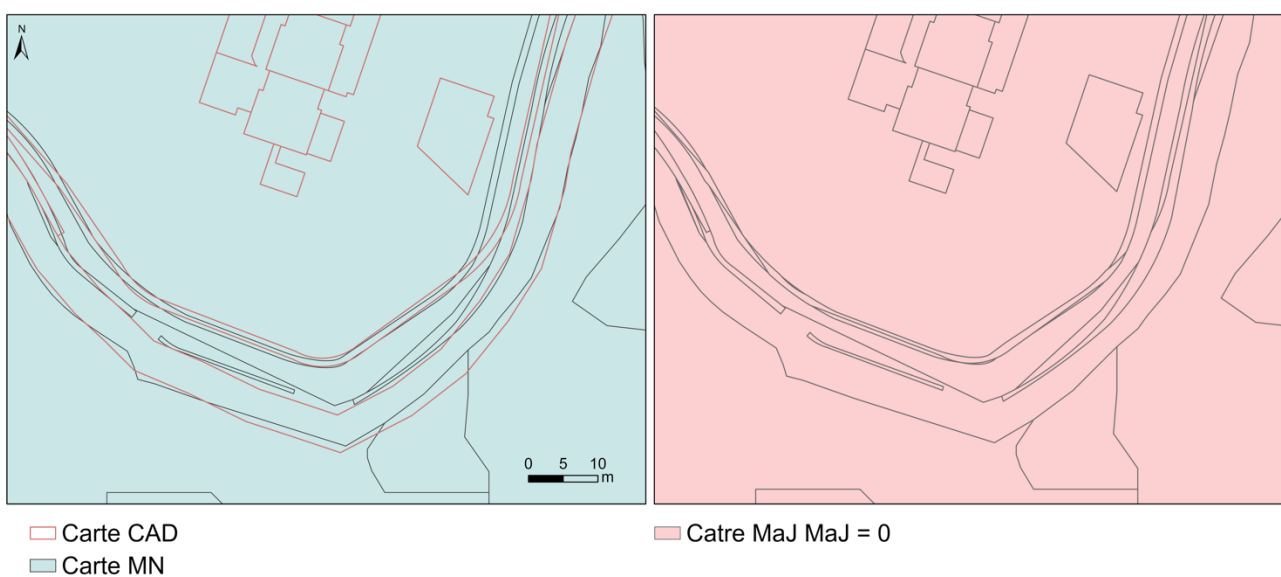


Figure 13 : Représentation des conséquences de décalages importants au niveau du Foron lors de la mise à jour de la carte MN. À gauche est représenté la superposition entre la carte MN et la carte CAD (trait rouge), à droite est représenté le résultat de la mise à jour sur le logiciel FME.

4.1.4 Finalisation de la mise à jour

Les scripts et les résultats de la mise à jour sont compris dans un dossier nommé “MaJ_MN”. Le dossier se compose de plusieurs fichiers et documents :

- > Un fichier ReadMe.txt : il permet d’expliquer les étapes à suivre pour procéder à la mise à jour ;

- > Trois dossiers : chacun se compose d'un script FME (1. Prise en main ; 2. Préparation et 3. Mise à jour) ;
- > Un dossier Résultat : regroupe les résultats sous forme Excel produits lors des scripts 1 et 2 ainsi qu'un projet ArcGIS Pro permettant la visualisation et l'application de la correction topologique des cartes de sortie du script 3.

4.2 Résultats de la généralisation

Les résultats complets de la généralisation au 1:25'000 et 1:100'000 sont représentés en annexe 2 et annexe 3. Les chapitres qui suivent effectuent des zooms sur les différents cas de figure rencontrés lors de la généralisation aux deux échelles. Ils s'appliquent à l'ensemble du territoire.

4.2.1 Résultats de la carte au 1 : 25'000

Des différences de répartition des milieux existent entre les cartes obtenues à partir de ModelBuilder sur ArcGIS Pro et les scripts produits sur FME. Il est possible d'observer qu'au Cimetière de Saint-Georges (fig. 14) les prairies, gazons et bosquets urbains représentés sur l'ancienne carte ont quasiment disparu avec la nouvelle carte au profit des surfaces dures.



Figure 14 : Représentation de la disparition des catégories de milieux "gazon et bosquets urbains" et "prairies" au profit de la catégorie "surfaces dures" lors de la généralisation au 1:25'000 effectuée sur FME (droite) comparativement à la généralisation effectuée via ModelBuilder d'ArcGIS Pro (gauche).

Les formes des polygones obtenus sur FME présentent certaines différences entre la carte obtenue à partir de ModelBuilder sur ArcGIS Pro et celles obtenue sur FME. Au niveau de

l'Allondon (fig. 15), il est possible d'observer que le tracé de la rivière n'est pas similaire, mais également que les milieux adjacents n'ont pas les mêmes formes ni les mêmes répartitions.

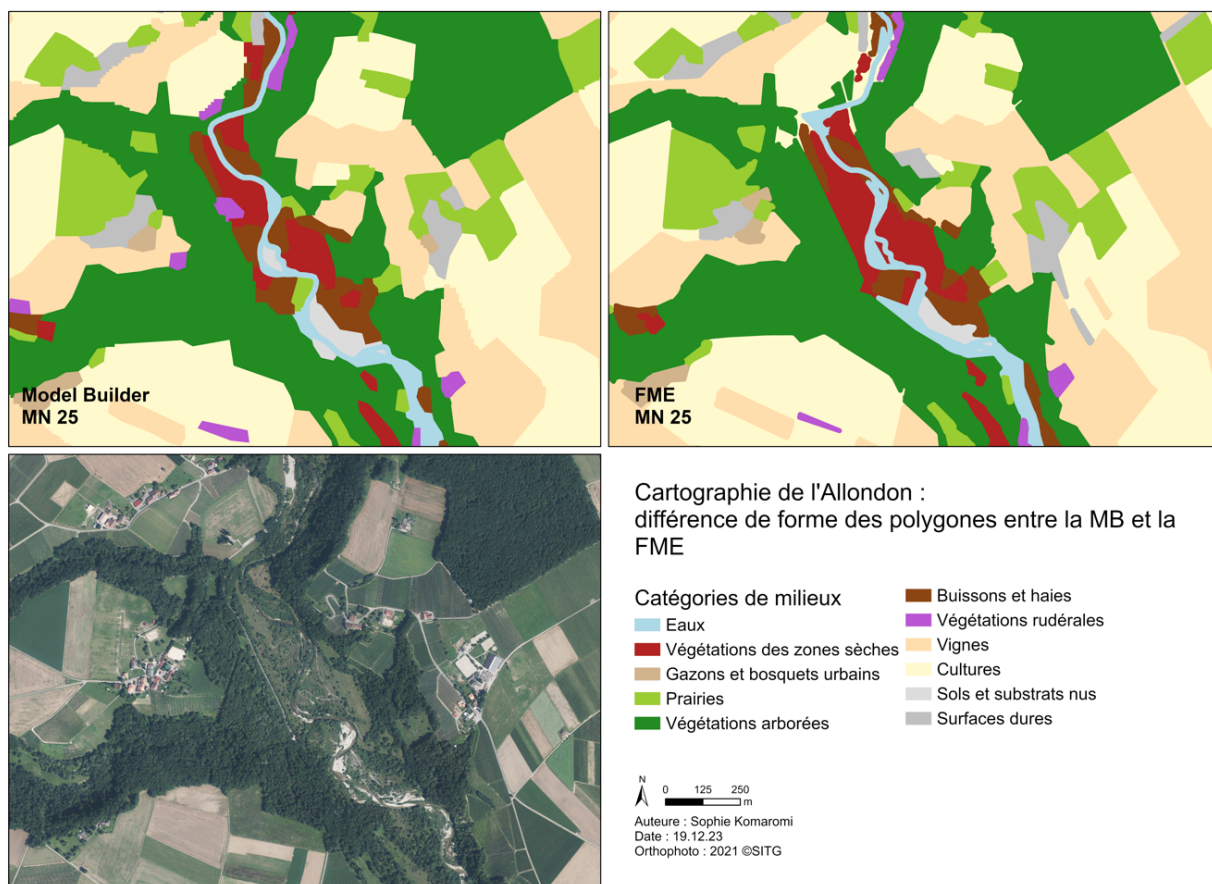


Figure 15 : Représentation de la différence de forme des polygones entre de la généralisation au 1:25'000 effectuée sur FME (droite) comparativement à la généralisation effectuée via ModelBuilder d'ArcGIS Pro (gauche).

Le graphique ci-dessous (fig. 16) permet de représenter l'aire de chaque catégorie de milieu de la carte au 1:25'000 produite sur ArcGIS Pro ou sur FME. Peu de différences existent entre les catégories de milieu. Seules les catégories surfaces dures et les cultures présentent des différences notables.

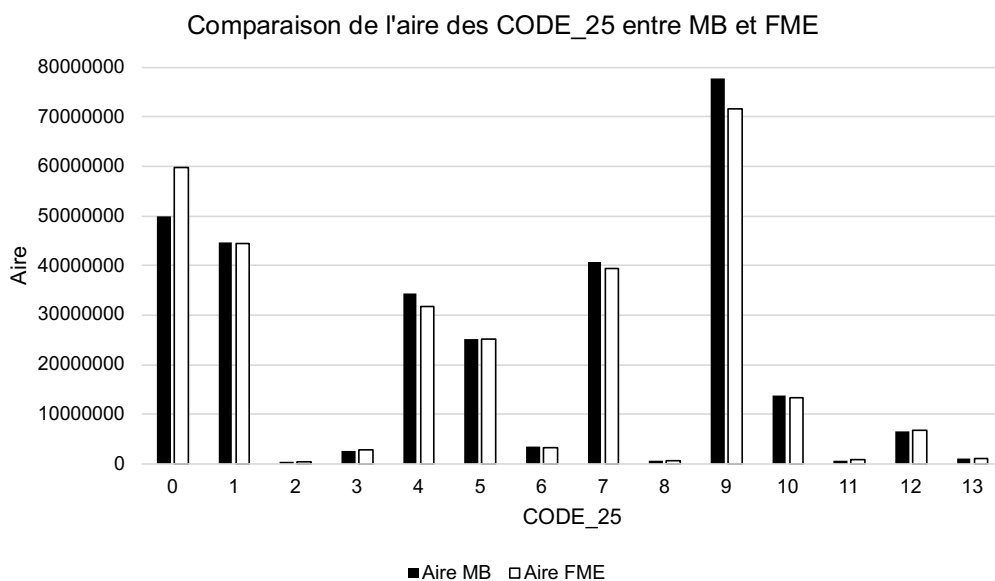


Figure 16 : Histogramme de l'évolution de l'aire des catégories de milieu entre la carte produite par ModelBuilder (MB) et celle produite sur FME. Les codes représentent les catégories de milieu où 0 = surfaces dures, 1 = eaux, 2 = végétations des zones humides, 3 = sols et substrats nus, 4 = gazons et bosquets urbains, 5 = prairies, 6 = végétations rudérales, 7 = végétations arborées, 8 = buissons et haies, 9 = cultures, 10 = vignes, 11 = végétations des zones sèches, 12 = routes principales, 13 = voies ferrées.

Le graphique ci-dessous (fig. 17) permet de quantifier le pourcentage d'évolution de l'aire de chaque catégorie de milieu normalisé à la surface totale de l'ensemble du territoire. Il est possible d'observer que ce sont les catégories surfaces dures et cultures qui obtiennent les plus grands pourcentages avec une augmentation de plus de 3 % et une baisse de 2 % respectivement.

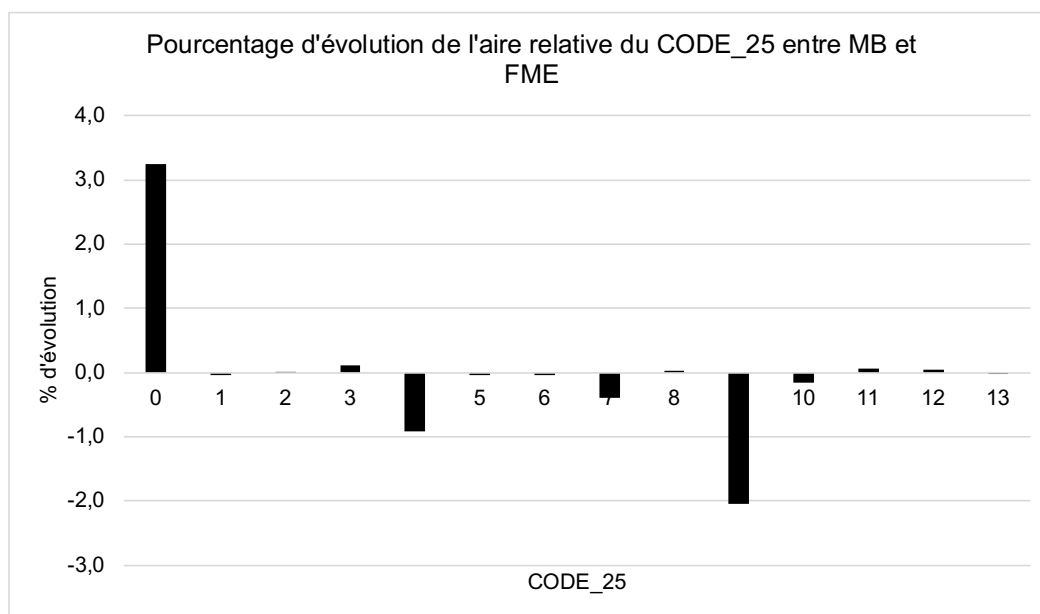


Figure 17 : Histogramme du pourcentage d'évolution de l'aire rapporté à la surface totale du canton des catégories de milieux entre la carte produite par ModelBuillder et celle produite sur FME. Les codes représentent les catégories de milieu où 0 = surfaces dures, 1 = eaux, 2 = végétations des zones humides, 3 = sols et substrats nus, 4 = gazons et bosquets urbains, 5 = prairies, 6 = végétations rudérales, 7 = végétations arborées, 8 = buissons et haies, 9 = cultures, 10 = vignes, 11 = végétations des zones sèches, 12 = routes principales, 13 = voies ferrées.

4.2.2 Résultats de la carte au 1 : 100'000

Des effets de bord existent entre les cartes obtenues à partir de ModelBuilder sur ArcGIS Pro et les scripts produits sur FME au 1:100'000. Il est possible d'observer sur la commune de Satigny au niveau de la frontière (fig. 18) des différences dans la répartition des milieux. Une différence majeure réside au niveau du polygone de surface dure qui est discontinu sur l'ancienne généralisation (MB) et (quasiment) continu avec la généralisation produite sur FME.

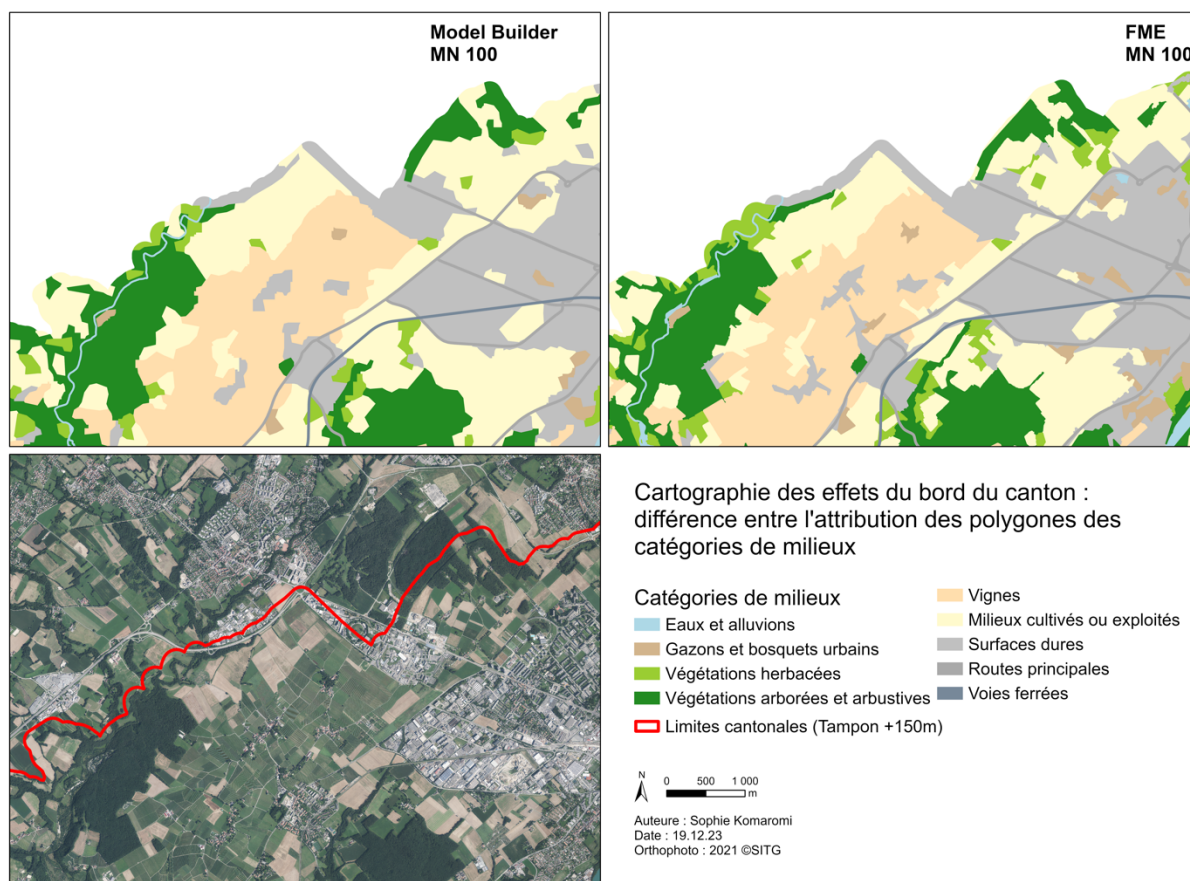


Figure 18 : Représentation de la différence de l'effet de bord entre la généralisation au 1:25'000 effectuée sur FME (droite) comparativement à la généralisation effectuée via ModelBuilder d'ArcGIS Pro (gauche) sur la commune de Satigny (GE).

Le graphique ci-dessous (fig. 19) permet de représenter l'aire de chaque catégorie de milieu de la carte au 1:100'000 produite sur ArcGIS Pro ou sur FME. Une différence majeure existe pour la catégorie des milieux cultivés ou exploités, avec une baisse d'environ 1000 ha.

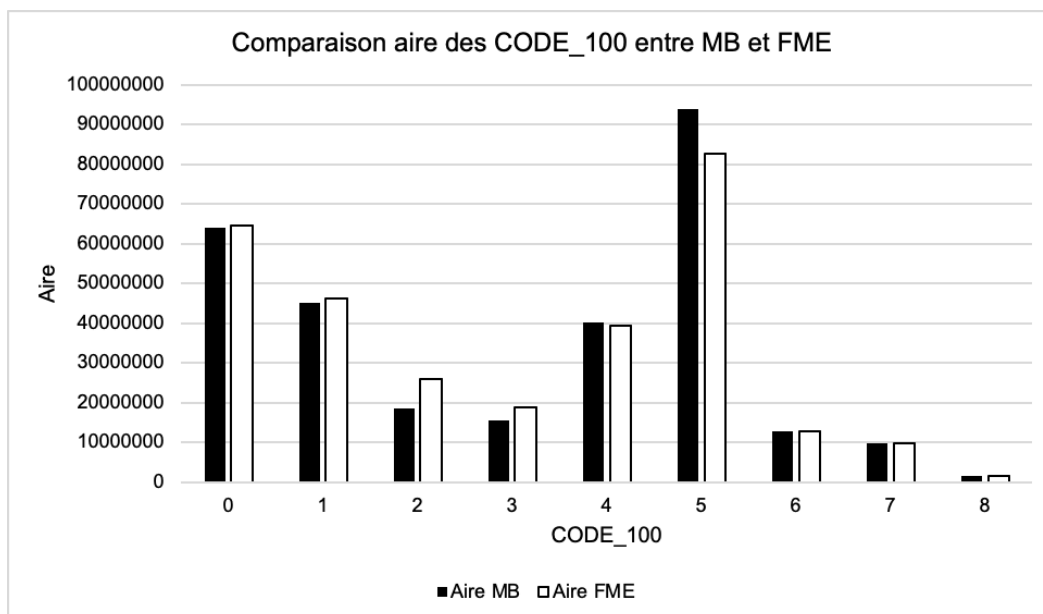


Figure 19 : Histogramme de l'évolution de l'aire des catégories de milieu entre la carte produite par ModelBuilder et celle produite sur FME. Les codes représentent les catégories de milieu où 0 = surfaces dures, 1 = eaux et alluvions, 2 = gazons et bosquets urbains, 3 = végétations herbacées, 4 = végétations arborées et arbustives, 5 = milieux cultivés ou exploités, 6 = vignes, 7 = principales, 8 = voies ferrées.

Le graphique ci-dessous (fig. 20) permet de quantifier le pourcentage d'évolution de l'aire de chaque catégorie de milieu normalisé à la surface totale de l'ensemble du territoire. Il est possible d'observer que ce sont les catégories gazons et bosquets urbains et milieux cultivés qui obtiennent les plus grands pourcentages avec une augmentation de plus de 2 % et une baisse de près de 4 % respectivement.

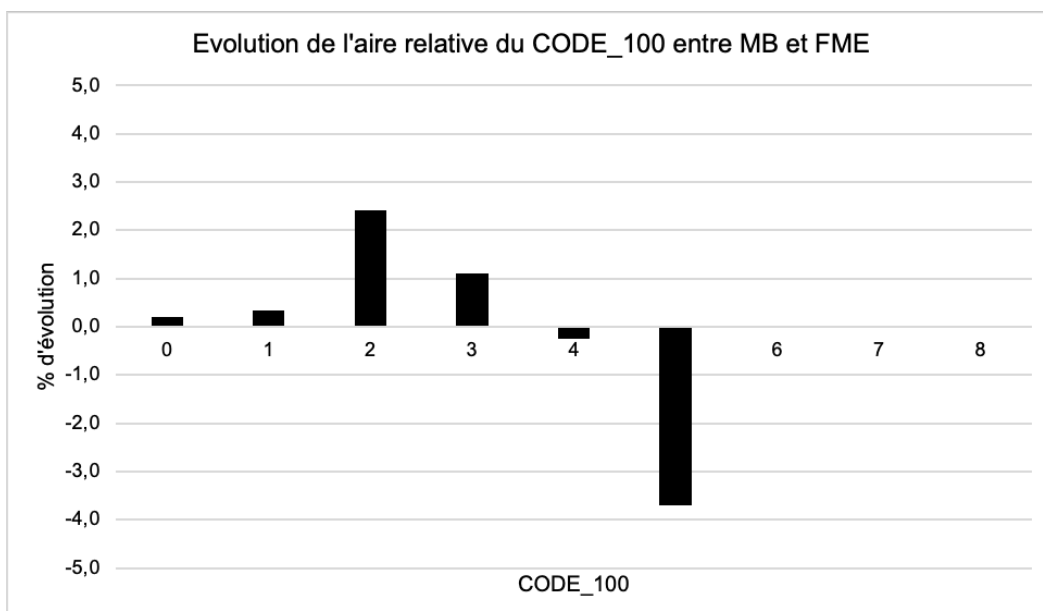


Figure 20 : Histogramme du pourcentage d'évolution de l'aire rapporté à la surface totale du canton des catégories de milieux entre la carte produite par ModelBuillder et celle produite sur FME. Les codes représentent les catégories de milieu où 0 = surfaces dures, 1 = eaux et alluvions, 2 = gazons et bosquets urbains, 3 = végétations herbacées, 4 = végétations arborées et arbustives, 5 = milieux cultivés ou exploités, 6 = vignes, 7 = principales, 8 = voies ferrées.

4.2.3 Finalisation de la généralisation

Les scripts et les résultats de généralisation sont stockés dans un dossier nommé "Guichet_carto_pro". Le dossier se compose de plusieurs fichiers et documents :

- > Un fichier ReadMe.txt : il permet d'expliquer les étapes à suivre pour procéder à la mise à jour ;
- > Un projet ArcGIS Pro : il permet la visualisation des résultats ;
- > Le dossier Cartes_apport : le script FME qui crée les couches Rh_Arv_Lac.shp, RivRte_Train_Buff15m.shp et RivRteTrain_25_Buf10m.shp à incruster dans la généralisation
- > Le dossier Cartes_SIPV_MN_CARTO_25 : il contient les 4 scripts pour la généralisation de la MN_25 "SIPV_MN_CARTO_25_XX.fmw" ;
- > Le dossier Cartes_SIPV_MN_CARTO_100 : il contient les 4 scripts pour la généralisation de la MN_100 "SIPV_MN_CARTO_100_XX.fmw".

La généralisation complète aux deux échelles tourne en environ 1 heure.

5 Discussion

5.1.1 Performance de l'automatisation de la mise à jour

Les cartes Updated_0 et Updated_1 présentent des objets n'obtenant pas les mêmes géométries. Cela peut s'expliquer par différents facteurs. Un des facteurs pourrait provenir du fait que certains objets n'obtiennent pas les mêmes valeurs pour le champ "MaJ". En effet, lors de l'attribution des valeurs, 3'921 objets se sont vu attribuer soit la valeur de 0 soit la valeur de 1. Sachant que lorsque les objets obtiennent la valeur de 0, ceux-ci ne sont pas remplacés par les objets de la DIT et lorsqu'ils obtiennent la valeur de 1, les objets de la DIT les remplacent. De ce fait, si un objet sans valeur se voit attribuer la valeur de 0 ou de 1, la différence de valeur a un effet lors du processus de mise à jour et peut ainsi provoquer un changement dans le résultat obtenu. Un second facteur de changement de la forme de l'objet initial pourrait s'expliquer par la différence de valeur de "MaJ" des objets environnant l'objet en question. Si un objet voisin est mis à jour par un objet d'une géométrie différente des trous peuvent être créés. Les processus de réparation de la topologie et l'application d'outils comme *AnchoredSnapper* dans les différents scripts peuvent combler ces trous, soit directement en modifiant la limite de l'objet soit en attribuant l'objet "trou" à des objets environnant à qui n'appartenait pas l'objet initialement.

Le processus de mise à jour automatisé sur FME a permis d'intégrer les nouveaux objets recensés sur le canton par la DIT. En effet, tel qu'observé sur la figure 11, le nouveau quartier de Belle-Terre a pu être intégré à la carte MN. L'absence d'intégration des sentes et des chemins peut s'expliquer par leur nature et par la nature de ce qu'ils remplacent. En effet, selon les règles typologiques (annexe 1) certains éléments rentrent ou non en compte dans le processus automatique de la mise à jour de la carte MN. Dans ce cas, les chemins et les sentes sont considérés comme des grands objets de la DIT (aire $\geq 10 \text{ m}^2$). Ils doivent d'abord être contrôlés manuellement avant d'être mis à jour.

Les différents scripts de mise à jour automatique permettent de simplifier certaines étapes de traitement. La première étape réside dans le renseignement de l'apparition ou de la disparition de codes MN dans les données fournies par la DIT. Les règles typologiques d'attribution des valeurs du champ "MaJ" sont une part essentielle de la mise à jour de la carte MN. Elles reposent entièrement sur les codes MN. Ainsi s'il existe des changements concernant les codes MN, il est essentiel d'adapter les règles typologiques pour la mise à jour. La prise de connaissance de ces changements de code permet de simplifier le processus de suivi des modifications et donc de pérenniser le processus de mise à jour dans le temps. Une autre étape de simplification de la mise à jour réside dans l'attribution automatique des valeurs du champ "MaJ". L'application des règles typologiques se décline en de nombreuses étapes, qui parfois peuvent prendre en compte plusieurs attributs selon différentes règles. Des oublis ou des erreurs peuvent subvenir à ce moment. Ce qui a pour effet de diminuer l'efficacité du traitement de la mise à jour. L'automatisation permet de s'affranchir de l'erreur humaine, mais permet également de limiter le temps de traitement de cette tâche.

Les cartes MN en sortie du logiciel FME présentent un nombre largement inférieur d'erreurs topologiques par rapport à la mise à jour effectuée sur ArcGIS Pro. Cela peut s'expliquer par le fait que la méthode suivie pour la réparation des erreurs topologiques provient de la DIT. Elle est mise en place et testée depuis plusieurs années et est considérée comme fiable. De plus, la méthode de réparation de la topologie est appliquée à plusieurs reprises dans les

différents scripts, pour permettre de corriger les erreurs au fur et à mesure et limiter les corrections en fin de traitement. Le logiciel serait de ce fait moins surchargé et la démarche plus efficace.

Les données du cadastre été intégrées à la carte MN. Toutefois, la totalité de la mise à jour n'est pas automatisable. Effectivement, les objets qui présentent des décalages trop importants entre les données de la carte MN et les données CAD ne peuvent être corrigés par les scripts et doivent être intégrés manuellement lors de la mise à jour. De plus, certains objets ne sont pas pris en compte dans l'automatisation de la mise à jour comme les cimetières ou les gravières par exemple et doivent être contrôlés manuellement avant leur intégration. Il est donc possible d'affirmer par ce travail que l'automatisation de la mise à jour sur le logiciel FME a permis la mise à jour d'une majorité d'éléments. Toutefois, il n'est actuellement pas possible de s'affranchir entièrement d'une édition manuelle des cartes en sortie des scripts pour finaliser la mise à jour et corriger certains biais provoqués par les processus de traitement sur FME.

5.1.2 Processus de mise à jour des données tierces

L'intégration des données tierces dans le processus automatisé de mise à jour de la carte MN n'a pas pu être menée à bien. En effet, les géométries de ces données ne sont pas assez précises pour être intégrées de manière automatisée. Les géométries des SPB moins précises que les objets de la carte MN avaient plusieurs conséquences. La première a été que les objets SPB créés empiétaient sur le tracé des milieux adjacents à cause de leurs géométries trop grandes et/ou décalées de la réalité. La seconde se produisait lorsque l'objet SPB était plus petit que l'objet de la carte MN. L'insertion de la SPB avait pour effet de créer un objet sur le contour qui était censé être comptabilisé dans la SPB. Ainsi, les décalages trop importants avaient pour effet de créer de nombreuses erreurs de surface sur les objets initiaux de la carte MN.

Les SPB retenues pour la mise à jour de la carte MN regroupent environ 400 objets. Dans l'état, il est préférable d'intégrer ces données manuellement à la carte.

5.1.3 Performance de la généralisation

Aux deux échelles, les surfaces des catégories de milieu ne sont pas similaires à celles obtenues avec ModelBuilder d'ArcGIS Pro. Certaines surfaces augmentent au profit d'autres. Dans le cas de la carte au 1:25'000, les surfaces dures ont largement augmenté sur l'ensemble du territoire. Cette tendance peut être expliquée par la forme des routes du canton. Ces entités représentent de longs objets interconnectés créant de larges réseaux sur l'ensemble du territoire. Il est possible que les algorithmes d'amalgamation aient favorisé ces objets au profit des objets adjacents. Le phénomène de la modification des surfaces de milieu pourrait aussi s'expliquer par la différence de performance entre l'outil *Eliminate By Border* de ArcGIS Pro et *AreaGapandOverlapCleaner* de FME. Durant la généralisation, les petites surfaces ont été éliminées. Les objets en dessous d'une certaine taille ont été supprimés et rebouchés par le voisin comportant le bord le plus long. Cette étape a été faite de manière successive en commençant par des surfaces de 500 m² jusqu'à atteindre un seuil de 2'500 m² pour la carte 1:25'000 et de 20'000 m² pour la carte au 1:100'000. Toutefois, dans certains cas l'outil *AreaGapandOverlapCleaner* ne parvient pas à combler les trous de manière optimale. Dans le cas du cimetière Saint-Georges (fig. 14), les chemins qui quadrillent la surface représentent un seul objet connecté avec les routes extérieures. La surface de l'objet est donc supérieure

au seuil d'élimination et il n'est pas supprimé au cours du processus. Au contraire, les objets représentant les prairies, les gazons et bosquets urbains sont eux, fractionnés en de nombreux objets inférieurs au seuil d'élimination et sont éliminés au cours du processus ce qui a pour effet de surreprésenter les surfaces dures. Ce cas de figure peut être représenté par d'autres catégories de milieux, ce qui permet d'expliquer les différences de surface entre les cartes effectuées sur ArcGIS Pro et celles effectuées sur FME.

5.2 Limites du travail

Travailler avec le logiciel FME a permis d'automatiser une partie de la mise à jour de la carte MN, mais également la généralisation à deux échelles. Toutefois, les restrictions liées à la licence du logiciel utilisé peuvent limiter certaines fonctionnalités ou options d'utilisation, influençant ainsi la portée et la performance de l'analyse.

Il est important de prendre en compte la performance de l'ordinateur utilisé. Elle peut influencer la vitesse, l'efficacité voire la réussite de certains traitements, en particulier lorsqu'il s'agit de données lourdes ou d'exécuter des algorithmes complexes comme cela a été le cas dans ce travail.

En ce qui concerne la généralisation, il n'a pas été possible de tester tous les algorithmes et tous les paramètres des Transformers *AreaAmalgamator* et *Generalizer*. De ce fait, certaines décisions ont été prises tout en sachant que certains paramétrages n'avaient pas entièrement été testés. Cela a pour effet d'affecter la précision et la qualité des résultats. Par conséquent, des améliorations sont possibles.

Pour la généralisation, le choix de fractionner le canton à partir d'ensemble de communes pourrait avoir des implications sur la cohérence des données et la représentation globale de la carte. En effet, les communes découpent certaines entités du canton de manière administrative et non naturelle. Ce qui peut avoir un effet négatif lors des différents processus de généralisation.

5.3 Recommandations

Il existe plusieurs pistes d'amélioration dans ce travail. La première repose sur le fractionnement du canton en trois parties distinctes. En effet, plutôt que de procéder à une découpe administrative, il serait plus intéressant de le fractionner selon des éléments naturels tels que le Rhône, l'Arve et le Lac Léman. Ce qui aurait pour effet de limiter la découpe des milieux en plusieurs morceaux.

Il serait intéressant de retravailler les scripts de généralisation avec d'autres algorithmes et d'autres paramètres pour optimiser les résultats. L'exploration de différentes combinaisons peut révéler des solutions plus efficaces ou des approches plus adaptées aux spécificités du travail.

Toujours concernant la généralisation, il pourrait être intéressant de fractionner les routes à l'aide d'une grille par exemple. Cette approche pourrait faciliter leur gestion et permettre de les éliminer progressivement lors du processus de généralisation, évitant ainsi des impacts indésirables sur les résultats.

En règle générale, il serait intéressant d'engager des discussions avec des experts, tels que Monsieur José Lopez, pour bénéficier de leurs compétences et obtenir des conseils précieux.

Les retours d'expérience peuvent contribuer à identifier des améliorations potentielles et des bonnes pratiques.

6 Conclusion

Ce travail a permis d'explorer le processus d'automatisation de la mise à jour de la carte MN sur le logiciel FME. La raison principale de l'automatisation est de répondre à un cycle de mise à jour rapide et reproductible. Le logiciel FME est considéré comme stable du fait que les versions antérieures peuvent être lues sur les nouvelles versions du logiciel. Ainsi, les scripts peuvent être manipulés et utilisés dans le temps.

L'automatisation de la mise à jour a été efficace pour plusieurs traitements. Le premier réside dans la réussite de l'intégration de nouveaux éléments à la carte MN. Le nouveau quartier de Belle-Terre (fig. 11) a été intégré avec succès au sein de la zone agricole de Thônex sur la carte MN. La correction des erreurs topologiques, provoquées majoritairement par la modification des arcs de cercle, représente la majeure partie du travail de mise à jour.

L'utilisation du logiciel FME limite le nombre d'erreurs topologiques en sortie. La charge de travail liée à la réparation de ces erreurs est réduite et permet de limiter le temps du traitement de la carte. Ainsi, il est possible de délivrer une version précise et à jour plus fréquemment de la carte MN dans le but de répondre aux exigences de l'Ordonnance sur la Mensuration Officielle (OMO, 1993). Finalement, l'automatisation de la mise à jour sur FME a permis d'unifier les outils de production de la carte MN avec la DIT, ce qui favorise les échanges entre les services.

Toutefois, il n'a pas été possible d'automatiser l'entièreté de la mise à jour. Des ajustements manuels restent nécessaires dans divers cas. En règle générale, les scripts ont contribué à simplifier les étapes de traitement, notamment avec l'attribution automatique des valeurs "MaJ" basées sur les codes MN ou encore des corrections de la topologie tout au long des processus de traitement.

Le processus de généralisation a également pu être automatisé efficacement sur FME. En effet, les scripts ont permis de produire les cartes généralisées aux échelles 1:25'000 et 1:100'000. Les résultats sont satisfaisants, bien qu'il existe des différences par rapport aux résultats obtenus avec ModelBuilder d'ArcGIS Pro. Ces divergences soulignent l'influence des algorithmes et des outils utilisés, sur la forme des objets et la répartition des catégories de milieu, en particulier pour les surfaces dures.

Finalement, il n'a pas été possible d'automatiser l'intégration des données tierces dans la mise à jour. Ces données possèdent actuellement des géométries qui ne sont pas compatibles avec la carte MN. La mise en valeur de ces données doit se faire manuellement en attendant de trouver une méthode appropriée.

En conclusion, ce travail démontre que l'automatisation avec FME représente une avancée significative dans la mise à jour et la généralisation de la carte MN, offrant une solution efficace pour limiter les temps de traitement et intégrer de nouvelles données. Toutefois, il est crucial d'être attentif aux résultats préliminaires et d'identifier des opportunités d'amélioration. La collaboration avec des experts, notamment Monsieur José Lopez, se présente comme un élément clé pour ajuster les processus et affiner les méthodes utilisées. Les recommandations formulées ouvrent des perspectives pour une optimisation continue en tenant compte des spécificités géographiques et des particularités des données traitées.

7 Bibliographie

- AGRIDEA. (2018, février 5). *bff-spb.ch : Réseau*. Promotion de la biodiversité dans l'agriculture suisse. <http://www.bff-spb.ch/reseau/>
- AGRIDEA. (2020, mars 25). *bff-spb.ch : Accueil*. Promotion de la biodiversité dans l'agriculture suisse. <http://www.bff-spb.ch/>
- CJBG. (2011). *Documentation—Cartographie des milieux naturels du canton de Genève*. Ordonnance sur la mensuration officielle (OMO), 211.432.2 (1993).
- Delarze, R., Gonseth, Y., Eggenberg, S., Vust, M., & Pearson Perret, S. (2015). *Guide des milieux naturels de Suisse* (3e éd.). Rossolis.
- Díaz, S., Settele, J., Brondízio, E. S., & Ngo, H. T. (2019). *Global assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services* (p. 1114). IPBES.
- Direction de l'information du territoire (DIT)*. (s. d.). ge.ch. Consulté 12 octobre 2023, à l'adresse <https://www.ge.ch/taxonomy/term/2018>
- Esri Inc. (2021). *ArcGIS Pro* (2.9.10) [Logiciel].
- Garonna, I., Allenbach, K., Jaquet, J.-M., Martin, P., & Wyler, N. (2012). *Cartographie de la couverture du sol du canton de Genève—Mise à jour avec intégration de la carte des milieux naturels* (p. 45).
- Godron, M., & Forman, R. T. T. (1983). Landscape Modification and Changing Ecological Characteristics. In H. A. Mooney & M. Godron (Éds.), *Disturbance and Ecosystems* (Vol. 44, p. 12-28). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-69137-9_2
- Krebs, J. R., Wilson, J. D., Bradbury, R. B., & Siriwardena, G. M. (1999). The second Silent Spring? *Nature*, 400(6745), 611-612. <https://doi.org/10.1038/23127>
- Langley, S. K., Cheshire, H. M., & Humes, K. S. (2001). A comparison of single date and multitemporal satellite image classifications in a semi-arid grassland. *Journal of Arid Environments*, 49(2), 401-411.
- Laurance, W. F., & Yensen, E. (1991). Predicting the impacts of edge effects in fragmented habitats. *Biological Conservation*, 55(1), 77-92. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(91\)90006-U](https://doi.org/10.1016/0006-3207(91)90006-U)
- Martin, P. (2023, mars 27). *Carte des milieux naturels de Genève—Etat des lieux, besoins et perspectives*.
- Martin, P., & Pasche, S. (2015, mai 20). *La carte des milieux naturels du canton de Genève*. Les données de la biodiversité, Forum SITG.
- Mombrial, F., Chevalier, M., Favre, E., Lacroix, A., Sandoz, E., Sandoz, F., & Tribot, S. (2020). Liste Rouge des plantes vasculaires du canton de Genève. *Publication Hors-Série*, 20.
- Nordberg, M.-L., & Evertson, J. (2005). Vegetation index differencing and linear regression for change detection in a Swedish mountain range using Landsat TM® and ETM+® imagery. *Land Degradation & Development*, 16(2), 139-149.

- Noss, R. F. (1987). Corridors in Real Landscapes: A Reply to Simberloff and Cox. *Conservation Biology*, 1(2), 159-164.
- Noss, R. F., & Harris, L. D. (1986). Nodes, networks, and MUMs: Preserving diversity at all scales. *Environmental Management*, 10(3), 299-309. <https://doi.org/10.1007/BF01867252>
- OCAN. (2018). *Stratégie Biodiversité Genève-2030 et Plan d'action*. Genève s'engage pour la biodiversité, Carte du terroir et de la nature, Département du territoire (DT), Favoriser la biodiversité.
- OCAN. (2020). *Plan Biodiversité 2020-2023 de la stratégie biodiversité Genève 2030*. Genève s'engage pour la biodiversité, Carte du terroir et de la nature, Département du territoire (DT), Favoriser la biodiversité.
- OFEV. (2017). *Stratégie Biodiversité Suisse et plan d'action* (p. 51). OFEV.
- OFEV. (2019). *Liste des espèces et des milieux prioritaires au niveau national* (UV-1709-F; p. 98). Office fédéral de l'environnement.
- Ordonnance technique du DDPS sur la mensuration officielle, 211.432.21 OTEMO (1994).
- République et Canton de Genève, Département du territoire, Office cantonal de l'agriculture et de la nature, & Bourguignon, Y. (2019). *Réseaux agro-environnementaux genevois: Synthèse du suivi biologique 2016-2017*.
- Safe Software Inc. (s. d.-a). *AreaAmalgamator*. Consulté 5 décembre 2023, à l'adresse <https://docs.safe.com/fme/html/FME-Form-Documentation/FME-Transformers/Transformers/areaamalgamator.htm>
- Safe Software Inc. (s. d.-b). *Generalizer*. Consulté 5 décembre 2023, à l'adresse <https://docs.safe.com/fme/html/FME-Form-Documentation/FME-Transformers/Transformers/generalizer.htm>
- Safe Software Inc. (2023a). *FME Workbench* (2023.1) [Logiciel].
- Safe Software Inc. (2023b). *Guide des Transformers FME 2023*.
- Silvain, J.-F. (2020). Érosion de la biodiversité et fonctionnement des sociétés: Du constat aux recommandations. Les enseignements tirés de l'évaluation mondiale réalisée par l'IPBES en 2019. *Annales des Mines - Responsabilité et environnement*, N°100(4), 8. <https://doi.org/10.3917/re1.100.0008>
- Ville de Genève. (s. d.). *Les Conservatoire et jardin botaniques de la Ville de Genève*. Consulté 6 septembre 2023, à l'adresse <https://www.geneve.ch/fr/conservatoire-jardin-botaniques-ville-geneve>
- Wilcox, B. A., & Murphy, D. D. (1985). Conservation Strategy: The Effects of Fragmentation on Extinction. *The American Naturalist*, 125(6). *The American Naturalist*, 125(6), 879-887.
- Xie, Y., Sha, Z., & Yu, M. (2008). Remote sensing imagery in vegetation mapping: A review. *Journal of Plant Ecology*, 1(1), 9-23. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtm005>

8 Annexes

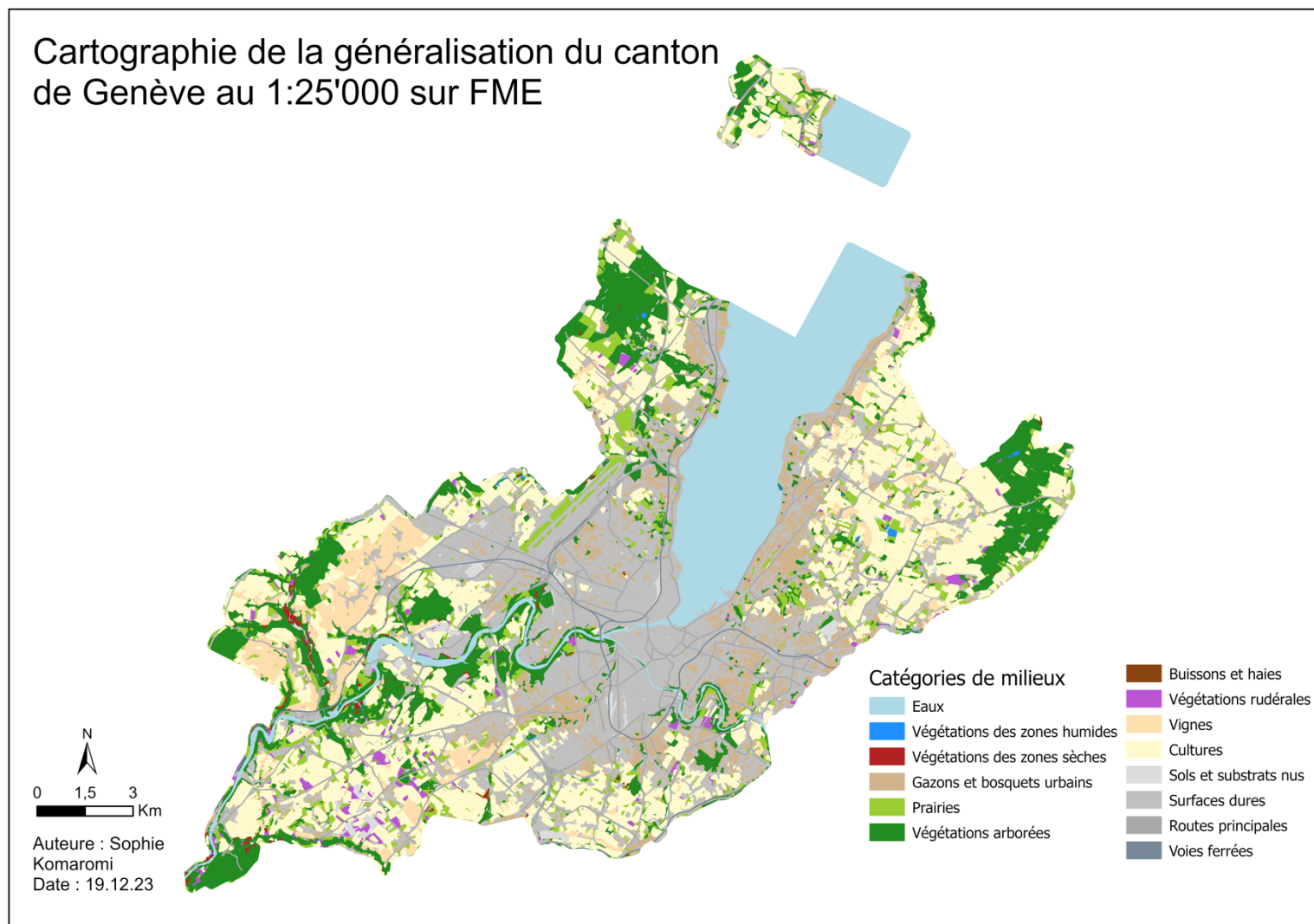
Annexe 1 : Étapes principales de mise à jour de la carte MN	ii
Annexe 2 : Cartographie de la généralisation du canton de Genève au 1 :25'000 sur FME.....	iv
Annexe 3 : Cartographie de la généralisation du canton de Genève au 1 :100'000 sur FME.....	v

Annexe 1 : Étapes principales de mise à jour de la carte MN, Source : Pascal Martin, 2023

ETAPE	DONNEES	CHECK	ACTION	RESULTAT	
Préparation	2.1	CARTO_BRUTE	<ul style="list-style-type: none"> - Pas de surfaces nulles ou négatives - Topologie correcte - Résolution : 0.0001 m. - Tolérance : 0.0002 m. 	<ul style="list-style-type: none"> - Suppression champs inutiles (ABREV, REMARQUES, TYPO_N1, TYPO_N2, VEGETATION) - Remplacer les PROV des objets DIT : PROV in (11, 12, 13 ,14, 17) par PROV=3 	CARTO_BRUTE_1
	2.2	ROUTAGE_DONNEES_CAD	<ul style="list-style-type: none"> - Pas de surfaces nulles ou négatives - Topologie correcte - Résolution : 0.0001 m. - Tolérance : 0.0002 m. 	<ul style="list-style-type: none"> - Suppression des objets avec un CODE_MN entre 5000 et 6000 - Suppression des objets Eau avec CODE_MN in (101,107) 	DONNES_CAD_pr_UPDATE
Sauvegarde	3	CARTO_BRUTE_1 DONNES_CAD_pr_UPDATE		Union	MN_CARTO_BRUTE_1_Union_DUR
	3	MN_CARTO_BRUTE_1_Union_DUR	<ul style="list-style-type: none"> - Enlever les surfaces négatives - Enlever les surfaces qui ne sont que dans CARTO_BRUTE_1 ou que dans DONNEES_CAD_pr_UPDATE - Enlever les objets avec une PROV=5 	<ul style="list-style-type: none"> - Réparer la géométrie (x fois) - Selection : Shape_Area<=0 OR PROV=5 OR FID_MN_CARTO_BRUTE = -1 OR FID_DONNEES_CAD_pr_UPDATE = -1 - Puis inverser la sélection - Enregistrer la sélection 	UNION_pr_Check
	3.1	UNION_pr_Check	Objets multipart	Explode ou Multipart to singelpart	UNION_pr_Check ou nouvelle couche UNION_pr_CHECK_sgiprt*
	3.1	UNION_pr_Check		Ajout d'une colonne MaJ (entier court)	UNION_pr_Check
	3.1	UNION_pr_Check	Conserver les données Cadastre qui remplacent des données cadastre	PROV =3 -> Maj=1	UNION_pr_Check
	3.2	UNION_pr_Check	Garder certains objets spécifiques et d'actualités	PROV in (30,31,32,33,34,35) -> MaJ=0	UNION_pr_Check
	3.3	UNION_pr_Check	Garder les arbres remplacés par îlots ou îlots verts sous réserve de surface suffisante	CODE_MN =603 AND Shape_Area >= 0.8 AND CODE_MN_1 in (909,919) -> MaJ=0	UNION_pr_Check
3.3	UNION_pr_Check	Remplacer les arbres trop petits au profit d'îlots	CODE_MN =603 AND Shape_Area <0.8 AND CODE_MN_1 in (909,919) -> MaJ=1	UNION_pr_Check	

3.3	UNION_pr_Check	Remplacer les arbres trop petits au profit de surfaces dures	CODE_MN =603 AND Shape_Area <1.5 AND MaJ is null ->MaJ=1	UNION_pr_Check
3.3	UNION_pr_Check	Remplacer les arbres par les routes et bâtiments	CODE_MN =603 AND CODE_MN_1 in (901,903) AND MaJ is null -> MaJ=1	UNION_pr_Check
3.3	UNION_pr_Check	Contrôle des objets arbres qui restent, commencer par les plus grands.	CODE_MN=603 AND MaJ is null. Contrôle et édition manuelle de l'attribut MaJ.	UNION_pr_Check
3.4	UNION_pr_Check	Contrôler l'actualité et la géométrie des gravières, manuellement.	Editer l'attribut « MaJ »	UNION_pr_Check
3.5	UNION_pr_Check	Conserver l'eau et les ponts	MaJ is null AND PROV in (4,5) -> MaJ = 0	UNION_pr_Check
3.6	UNION_pr_Check	Conserver les cimetières	Boucle ou création d'un autre attribut	UNION_pr_Check
3.7.1	UNION_pr_Check	Remplacement de surfaces dures dans la carte MN par des ilots	CODE_MN_1 in (919,909) and MaJ IS NULL AND CODE_MN in (905,4444) -> MaJ=1	UNION_pr_Check
3.7.2	UNION_pr_Check	Non prise en compte des ilots	CODE_MN_1 =909 and MaJ IS NULL -> MaJ=1 pour Shape_Area < 1m ² et MaJ=0 pour Shape_Area >= 1m ²	UNION_pr_Check
3.7.3	UNION_pr_Check	Non prise en compte des ilots verts	CODE_MN_1 =919 AND MaJ IS NULL -> contrôle et édition manuelle -> MaJ=0	UNION_pr_Check
3.8	UNION_pr_Check	Objets hors canton	PROV=1 ->MaJ=0	UNION_pr_Check
3.9	UNION_pr_Check	Objets DIT modifiés	CODE_MN_1=905 Contrôle et édition manuelle	UNION_pr_Check
3.10	UNION_pr_Check	Conserver les objets DIT, garder les plus petits tels quels	MaJ IS NULL AND CODE_MN_1 in (901,903) AND Shape_Area < 1m ² -> MaJ=1	UNION_pr_Check
3.10	UNION_pr_Check	Conserver les objets DIT, garder les objets très digités	MaJ IS NULL AND CODE_MN_1 in (901,903) AND Shape_Area >= 1 AND Shape_Length/ Shape_Area>3 -> MaJ=1	UNION_pr_Check
3.10	UNION_pr_Check	Conserver les objets DIT, garder les objets grands et les contrôler manuellement pour mettre à jour les objets adjacents	MaJ IS NULL AND CODE_MN_1 in (901,903) AND Shape_Area >= 10 -> Contrôle manuel et sauvegarde pour édition, MaJ=1 ou MaJ=2	UNION_pr_Check
3.10	UNION_pr_Check	Remplacer sols nus et objets durs de la carte MN	MaJ IS NULL AND CODE_MN in (905,4444) -> MaJ=1	UNION_pr_Check

Annexe 2 : Cartographie de la généralisation du canton de Genève au 1 :25'000 sur FME



Annexe 3 : Cartographie de la généralisation du canton de Genève au 1 :100'000 sur FME

