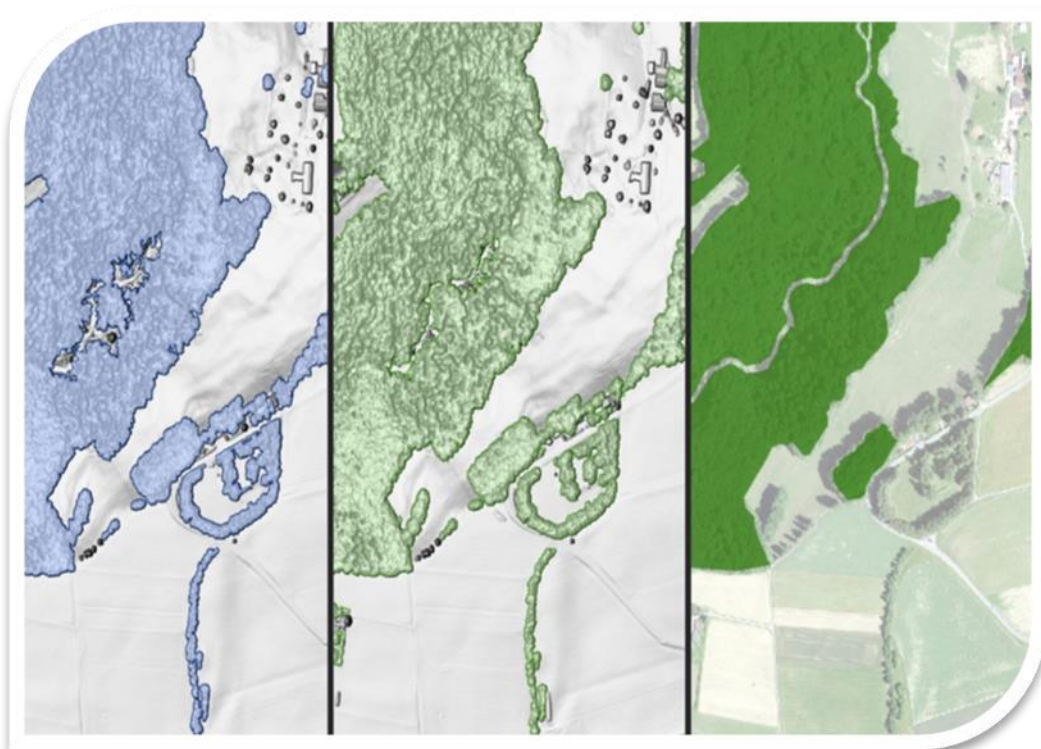


Rapport technique pour validation de la méthode de délimitation des limites du boisé par LiDAR aéroporté

Mise à jour du produit « Reconnaissance automatique des limites de forêt (RALF) »

Année 2019

----- *Méthodologie* -----



Version : 1.0

Date : 24 février 2021

Auteurs : Claudio Carneiro et Olivier Travaglini

Canton de Vaud

Direction du cadastre et de la géoinformation

Contenu

1. Informations de base sur le projet	3
1.1 Contexte du projet	3
1.2 Particularités des données RALF 2019	3
2. Etapes pour la production des données RALF 2019	3
3. Détails de la méthodologie.....	4
3.1 Calcul d'un modèle numérique de canopée normalisé (nMNC)	4
3.2 Seuillage du nMNC	6
3.3 Elimination des clairières.....	7
3.4 Fusion des surfaces boisées	9
3.5 Suppression des petites surfaces boisées inférieures à 200 m ²	9
4. Analyse des données RALF 2019	10
4.1 Comparaison entre les données RALF 2019 et d'autres géodonnées.....	10
4.2 Erreurs de classification du nuage de points LiDAR bruts	12
5. Proposition de filtrages additionnels	13
5.1 Suppression des alignements d'arbres et de plantations temporaires.....	13
5.2 Zone urbaine	14

1. Informations de base sur le projet

1.1 Contexte du projet

RALF signifie « Reconnaissance Automatique des Limites de Forêt ». Le premier RALF fut réalisé dans le cadre du projet d'actualisation de la couverture du sol visant à l'établissement des surfaces agricoles utiles (SAU). En 2015, un projet visant à renouveler la couverture altimétrique LiDAR du canton de Vaud a été lancé par l'Office de l'information sur le territoire (OIT). En 2017, la confédération a commandé un vol LiDAR complet du Canton de Vaud qui a eu lieu entre septembre 2018 et mai 2019.

L'ensemble des produits a été livré par swisstopo en mars 2020. Il s'agissait principalement :

- des points bruts LiDAR avec une densité minimale de 10 [pts/m²]. La précision altimétrique est de 10 [cm] (1σ) et la précision planimétrique de 20 [cm] (1σ). Les points bruts sont classifiés selon les 6 thématiques suivantes :

Classe	Description
1	Non classifié et objets temporaires
2	Sol
3	Végétation (basse, moyenne et haute)
6	Bâtiments
9	Eaux de surface
17	Ponts, passerelles et viaducs

- des grilles interpolées du MNS avec une résolution spatiale de 50 centimètres.

La délimitation des limites forestières concerne la totalité du canton de Vaud y compris ses enclaves fribourgeoises et genevoises, soit un peu moins de 3000 km².

1.2 Particularités des données RALF 2019

Les données RALF 2019 (ou RALF 3.0) a été initialement produit au format Geodatabase file d'ESRI. Dans le fichier complet, couvrant l'ensemble du canton avec une zone tampon de 200 mètres, et ses enclaves, on retrouve 115'267 polygones pour un volume de 0.3 Mo.

2. Etapes pour la production des données RALF 2019

La production des données RALF 2019 a repris la méthodologie de production des données RALF 2015. Selon Figure 1, on peut distinguer grossièrement 3 grandes étapes pour l'élaboration de la limite forestière à partir des données LiDAR brutes :

- le calcul d'un modèle numérique de la canopée normalisé (nMNC), c'est-à-dire le modèle de hauteur raster ne contenant que la végétation comme objet de surface,
- le seuillage du nMNC, permettant ainsi de délimiter concrètement la limite de forêt,
- le filtrage des données, afin d'obtenir une délimitation de la forêt qui soit plus lisible et en adéquation avec la problématique forestière.

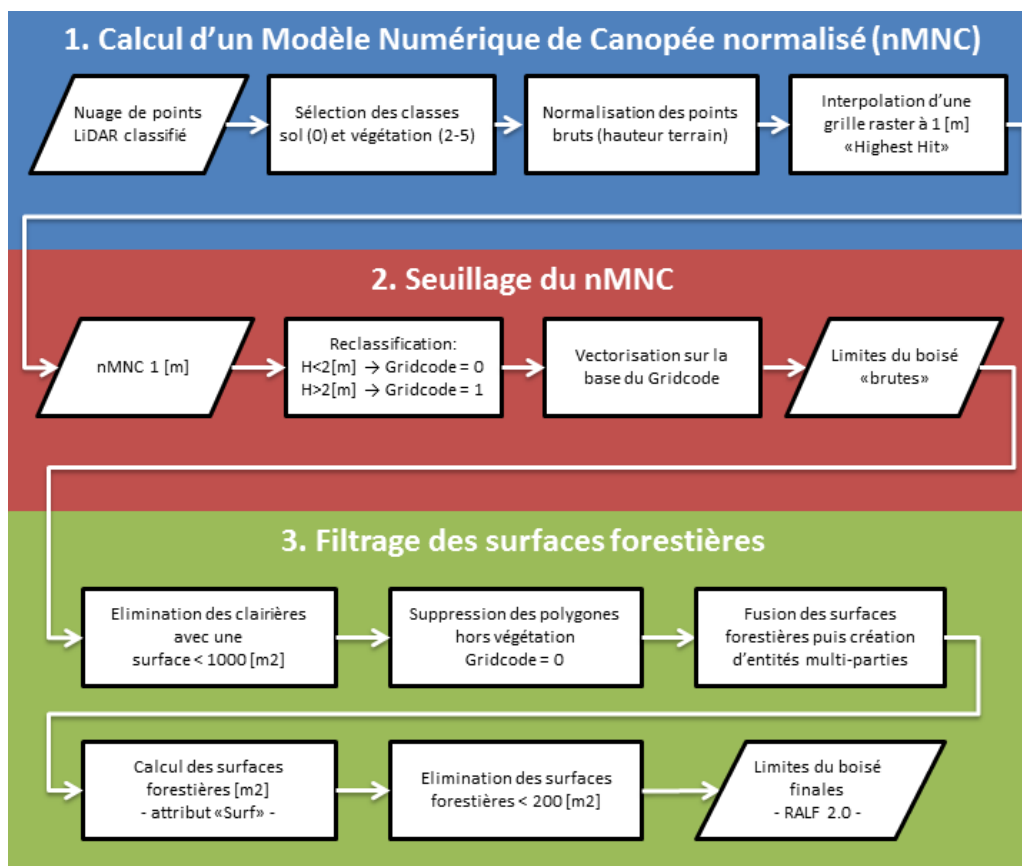


Figure 1 – Étapes pour la production des données RALF 2019

Les données RALF 2019 ont été produites à l'aide des logiciels TerraScan pour l'étape 1 et FME pour les étapes 2 et 3. Le temps de calcul complet du RALF 2019 est d'environ vingt heures.

3. Détails de la méthodologie

3.1 Calcul d'un modèle numérique de canopée normalisé (nMNC)

Afin que des objets de surface comme les bâtiments, mâts ou mobilier urbain n'interfèrent pas avec la délimitation des limites forestières, un premier traitement consiste à extraire un nuage de points LiDAR bruts ne contenant que les classes sol et végétation. Afin de s'affranchir du relief, l'altitude des points LiDAR bruts est transformée en hauteur, devenant ainsi un nuage de points LiDAR normalisé. À ce propos, il faut noter que la hauteur de référence du terrain est basée sur la classe sol du nuage de points LiDAR (Figure 2 et Figure 3).

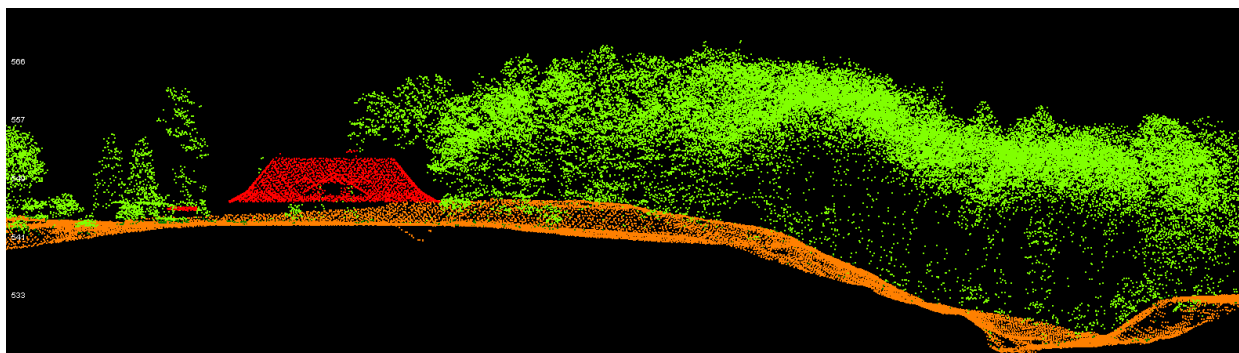


Figure 2 - Nuage de points LiDAR bruts classifié contenant toutes les classes – altitude des points

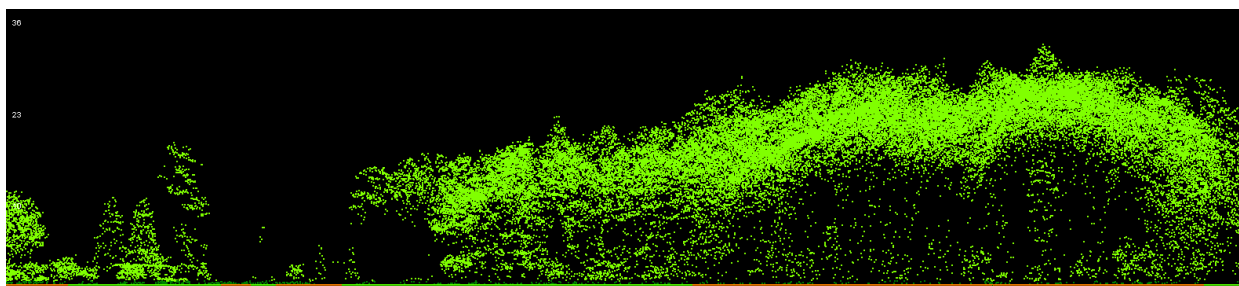


Figure 3 - Nuage de points LiDAR bruts normalisé ne contenant que les classes « sol » et « végétation » – hauteur des points

Une grille avec une résolution spatiale de 1 mètre a ensuite été calculée sur la base du nuage de points LiDAR normalisé. L'interpolation « Highest Hit » a été choisie, afin de générer une canopée aussi homogène que possible. Les Figure 4 et Figure 5 illustrent des exemples d'ombrages du Modèle Numérique de Hauteur (MNH) et du Modèle Numérique de Canopée normalisé (nMNC) respectivement.

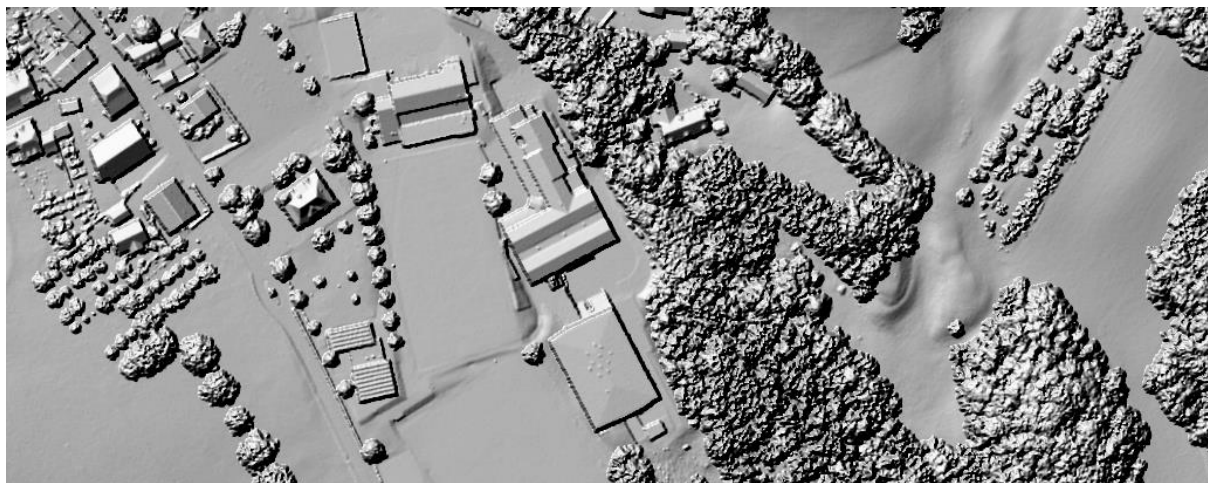


Figure 4 - Ombrage du Modèle Numérique de Hauteur (MNH)

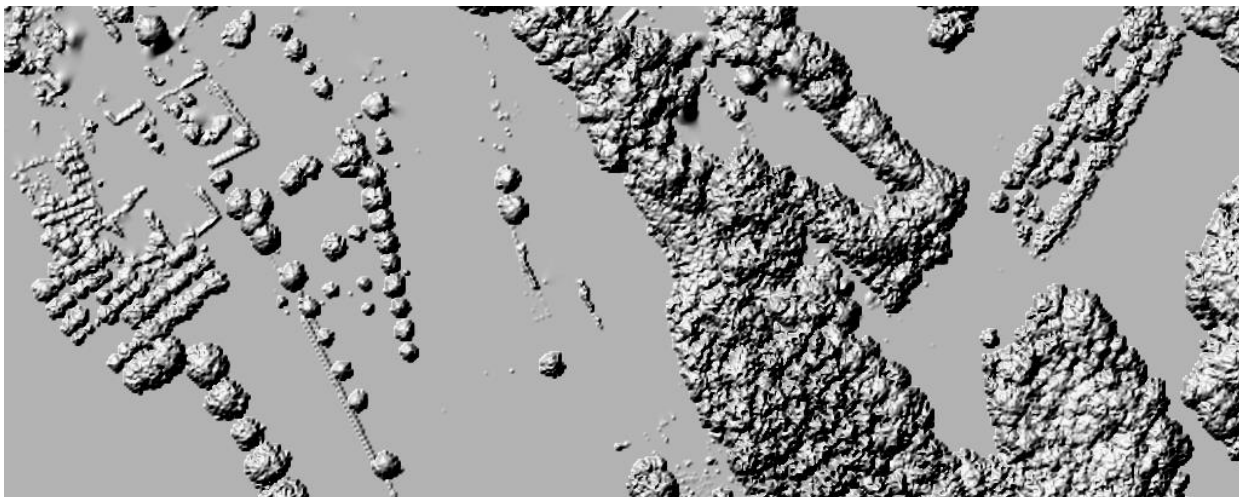


Figure 5 - Ombrage du Modèle Numérique de Canopée normalisé (nMNC). On peut observer que le relief et les bâtiments sont absents

3.2 Seuillage du nMNC

Le seuillage du nMNC est l'étape qui permet d'extraire la végétation et sa limite du reste du modèle. La hauteur du seuillage, afin de ne tenir compte que des arbres matures, a été fixée à 2 mètres (Figure 6).

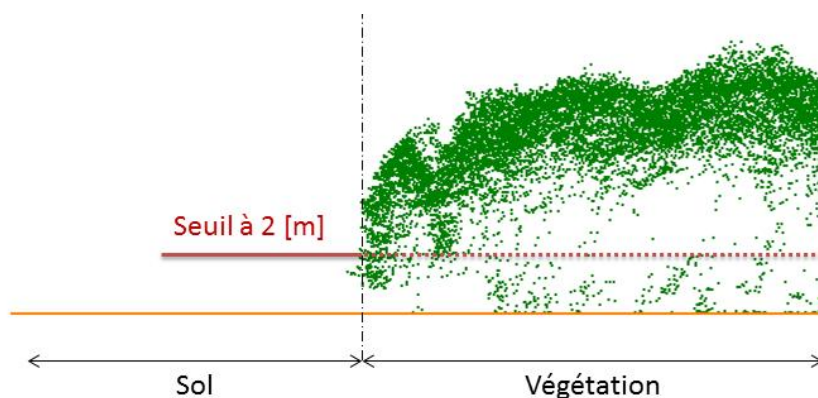


Figure 6 - Principe de seuillage du Modèle Numérique de Canopée normalisé (nMNC)

Cette étape a été réalisée par un calcul de reclassification de la grille. La valeur des pixels ayant une hauteur inférieure à 2 mètres est fixée à **0**, alors que les pixels ayant une hauteur supérieure ou égale à 2 mètres prennent la valeur **1**. On obtient alors une grille « binaire » qui ne comporte que des **0** (hors végétation ou végétation avec une hauteur inférieure à 2 mètres) et des **1** (présence de végétation avec une hauteur supérieure ou égale à 2 mètres) (Figure 7).

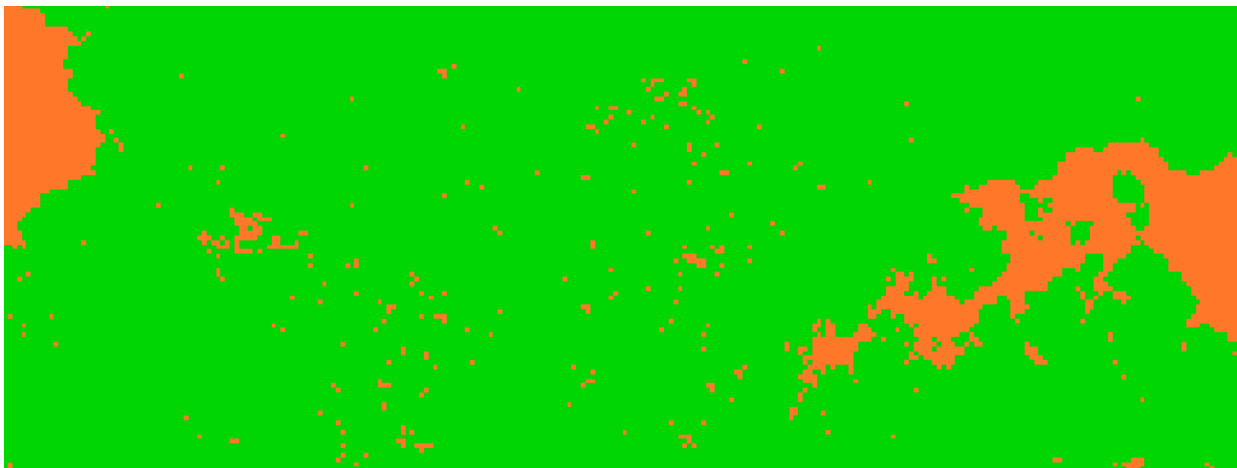


Figure 7 - Image du nMNC reclassifié. En vert les pixels « végétation » et en orange les pixels « sol »

Suite à cette opération de reclassification on constate que la grille reclassifiée est très bruitée, notamment à l'intérieur des grands secteurs boisés. Cela tient du fait que la densité des mesures LiDAR était relativement élevée (généralement supérieure à 10 points par m²). Une proportion assez élevée de points se trouvent au sol, même en sous-bois. La résolution de la grille à 1 mètre implique que même avec une interpolation de type « Highest Hit », il n'est pas rare de trouver des cellules de type « sol » en plein milieu de groupement forestier. Pour corriger cela et obtenir une délimitation de la forêt plus cohérente et moins complexe, certaines opérations de filtrage ont été nécessaires, notamment :

1. l'élimination des clairières inférieures à 1000 m²,
2. la suppression des surfaces boisées inférieures à 200 m².

3.3 Elimination des clairières

Afin d'éliminer les pixels isolés ou petits groupes de pixels de classe « sol » en pleine forêt, il est nécessaire de *vectoriser* une première fois la grille classifiée. On obtient ainsi des polygones (non lissés, mais suivant les contours des pixels) avec un attribut de surface en m². Il est possible alors de sélectionner les polygones « sol » ayant une surface inférieure à 1000 m², puis de leur attribuer une valeur de 1, c'est-à-dire « végétation ». On comble ainsi les petites trouées et on uniformise les secteurs forestiers (Figure 8).

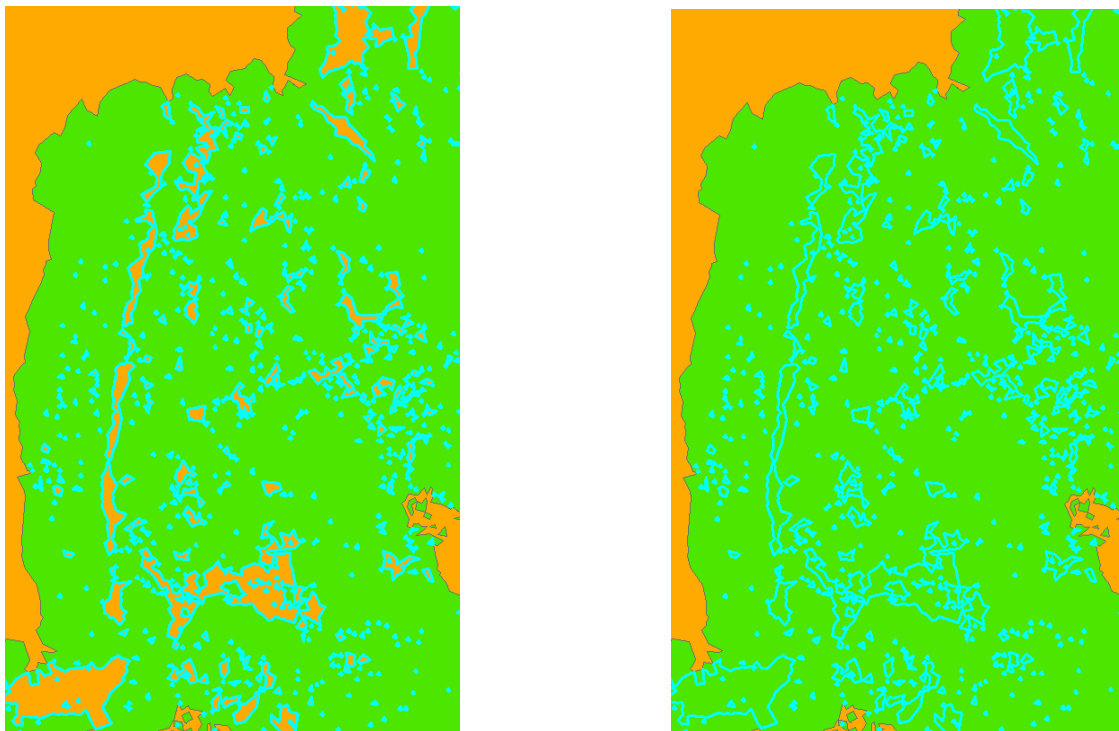


Figure 8 - Comparaison des surfaces forestières brutes (à gauche) avec les surfaces uniformisées (les pixels « sol » sont passés en « végétation » éliminant ainsi les clairières inférieures à 1000 m²)

A ce stade, les polygones hors végétation ne servent plus à rien. On peut donc sélectionner et supprimer tous les polygones sans végétation : code (« Gricode ») égal à 0 (Figure 9).

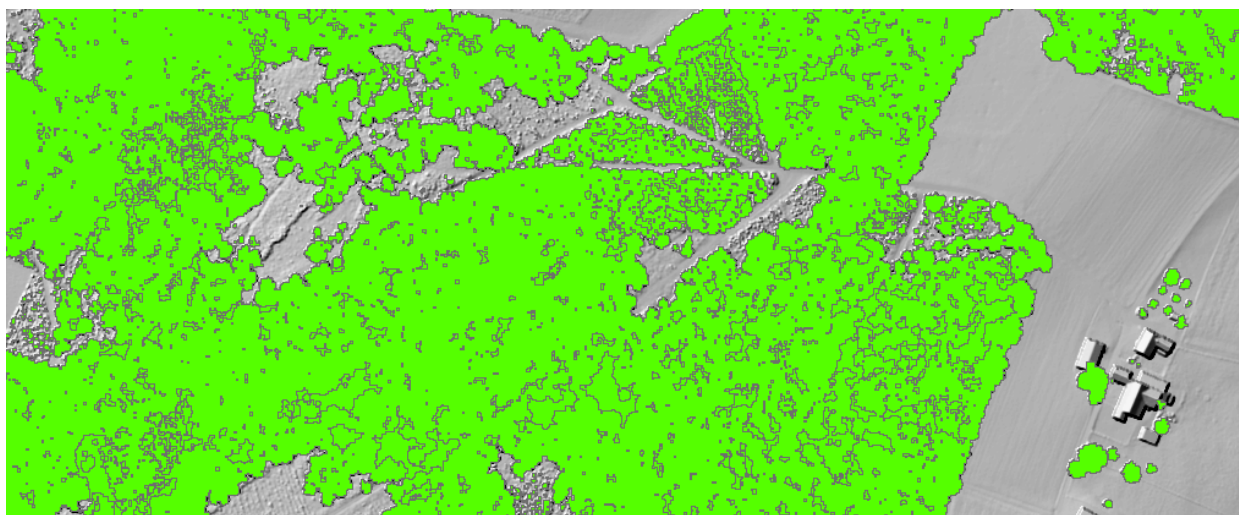


Figure 9 - Surfaces boisées après la reclassification des clairières inférieures à 1000 m² et la suppression des surfaces non boisées (sol). On observe le découpage très complexe des polygones

Les polygones restants ont tous la valeur 1 comme code. Cette couche est cependant très morcelée. A titre indicatif, cela représente plus de 12'500'000 objets pour le canton de Vaud dans son entier (enclaves fribourgeoises et genevoises comprises).

3.4 Fusion des surfaces boisées

Avant de pouvoir recalculer les nouvelles surfaces boisées, il est nécessaire d'homogénéiser les limites en fusionnant les polygones contenant de la végétation.

Contrairement à 2015, les systèmes d'exploitation 64 bits dont nous disposons aujourd'hui permettent de fusionner un nombre si important de polygones (surfaces boisées) sur la base du code égal à 1, sans que cela ne pose de problème particulier (Figure 10).

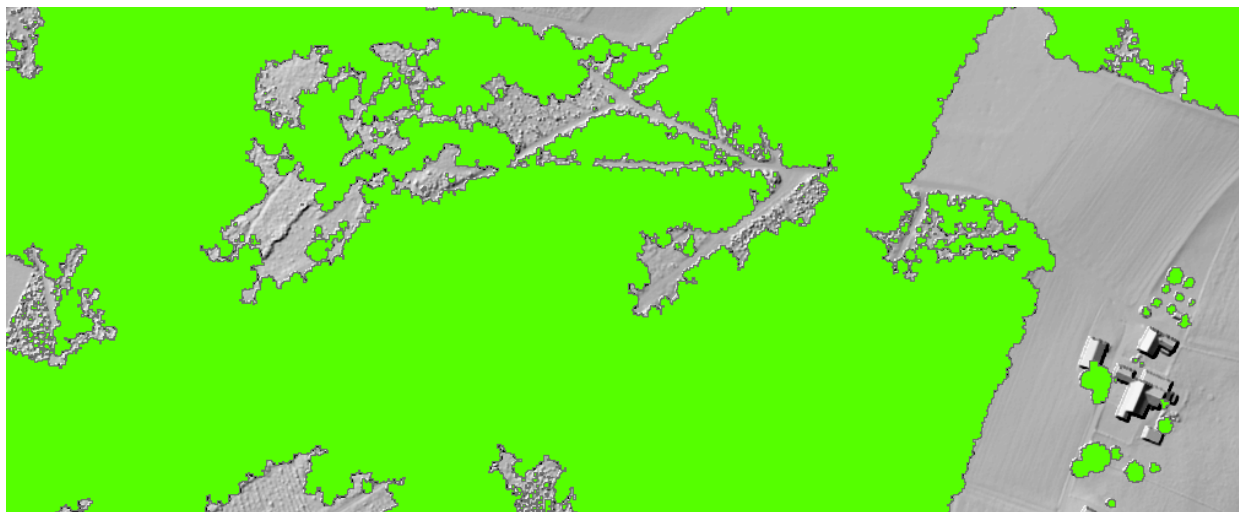


Figure 10 - Surfaces boisées fusionnées

3.5 Suppression des petites surfaces boisées inférieures à 200 m²

Afin de ne conserver que des surfaces forestières significatives, les surfaces boisées inférieures à 200 m² sont éliminées. Ce traitement supprime notamment la majorité des arbres isolés (en bleu clair dans la Figure 11).

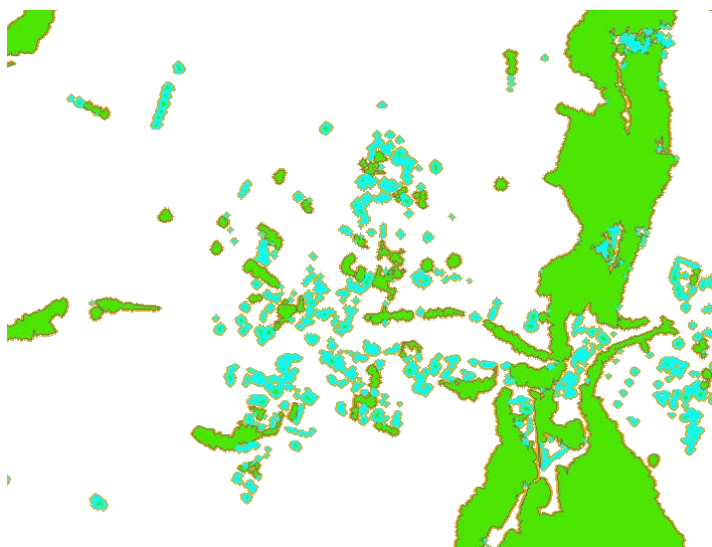


Figure 11 – Suppression des petites surfaces boisées inférieures à 200 m²

On obtient ainsi une délimitation finale des limites de forêt avec un attribut « SURFACE » (« Surf ») qui stocke les surfaces boisées en m² (numéros entiers) (Figure 12).

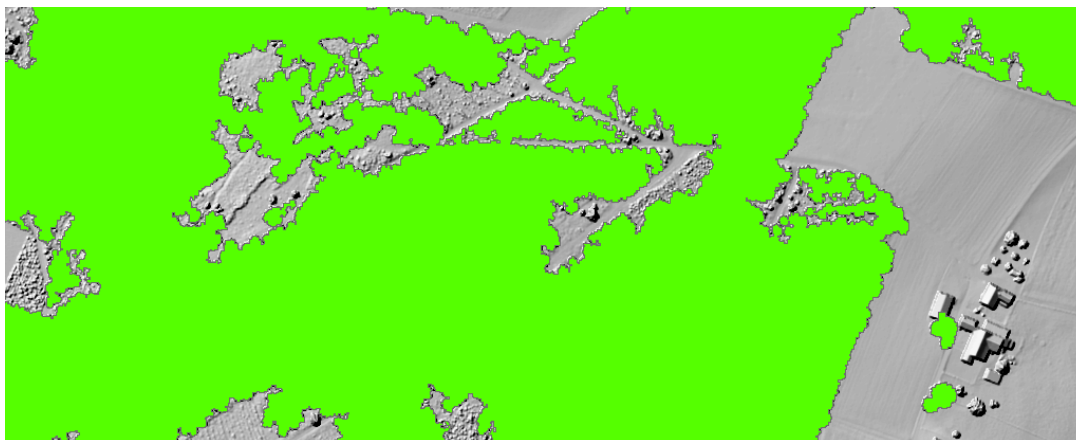


Figure 12 - Délimitation finale des surfaces boisées

4. Analyse des données RALF 2019

4.1 Comparaison entre les données RALF 2019 et d'autres géodonnées

La Reconnaissance Automatique des Limites de Forêt 2019 (RALF 2019) est, comme son nom l'indique, un produit calculé de manière automatique. Lors de son interprétation, il est important de considérer que cette délimitation des forêts repose spécifiquement sur :

- la classification du nuage de points LiDAR bruts,
- l'interpolation du Modèle Numérique de Canopée normalisé (nMNC) à 1 mètre de résolution spatiale,
- la hauteur du seuillage fixée à 2 mètres,
- l'élimination des clairières inférieures à 1000 m²,
- la suppression des arbres isolés et surfaces inférieures à 200 m².

La Figure 13 illustre une comparaison avec quelques différences remarquables entre les données RALF 2015, les données RALF 2019 et les limites de boisé issues des données cadastrales de la MO.

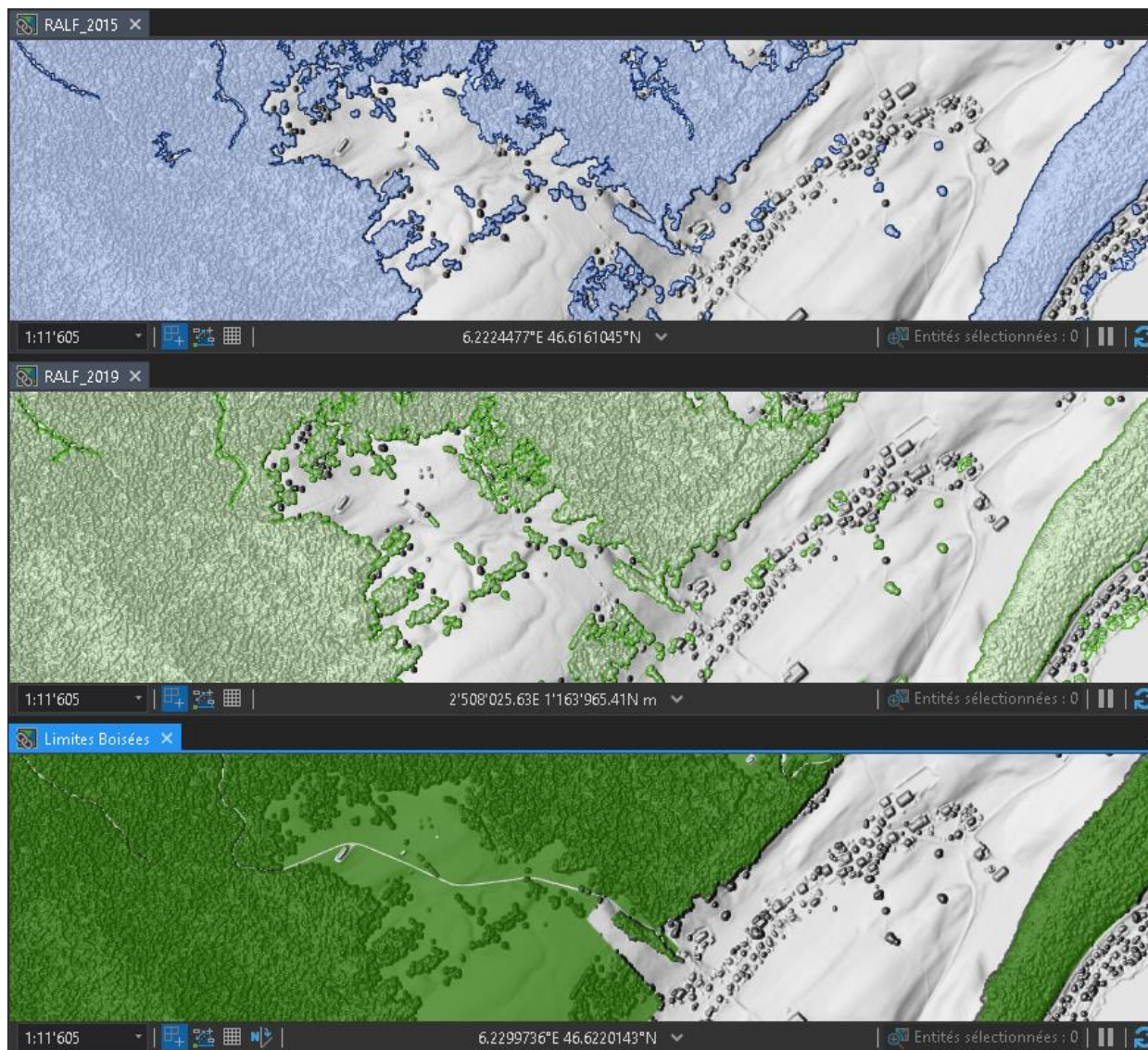


Figure 13 - Comparaison entre les données RALF 2015 (en bleu clair dans l'image en haut), les données RALF 2019 (en vert clair dans l'image du milieu) et les limites de boisé issues des données cadastrales de la MO (en vert foncé dans l'image en bas)

4.2 Erreurs de classification du nuage de points LiDAR bruts

Certaines erreurs de classification du nuage de points LiDAR bruts peuvent générer des erreurs avec la présence de surfaces boisées au mauvais endroit (Figure 14).

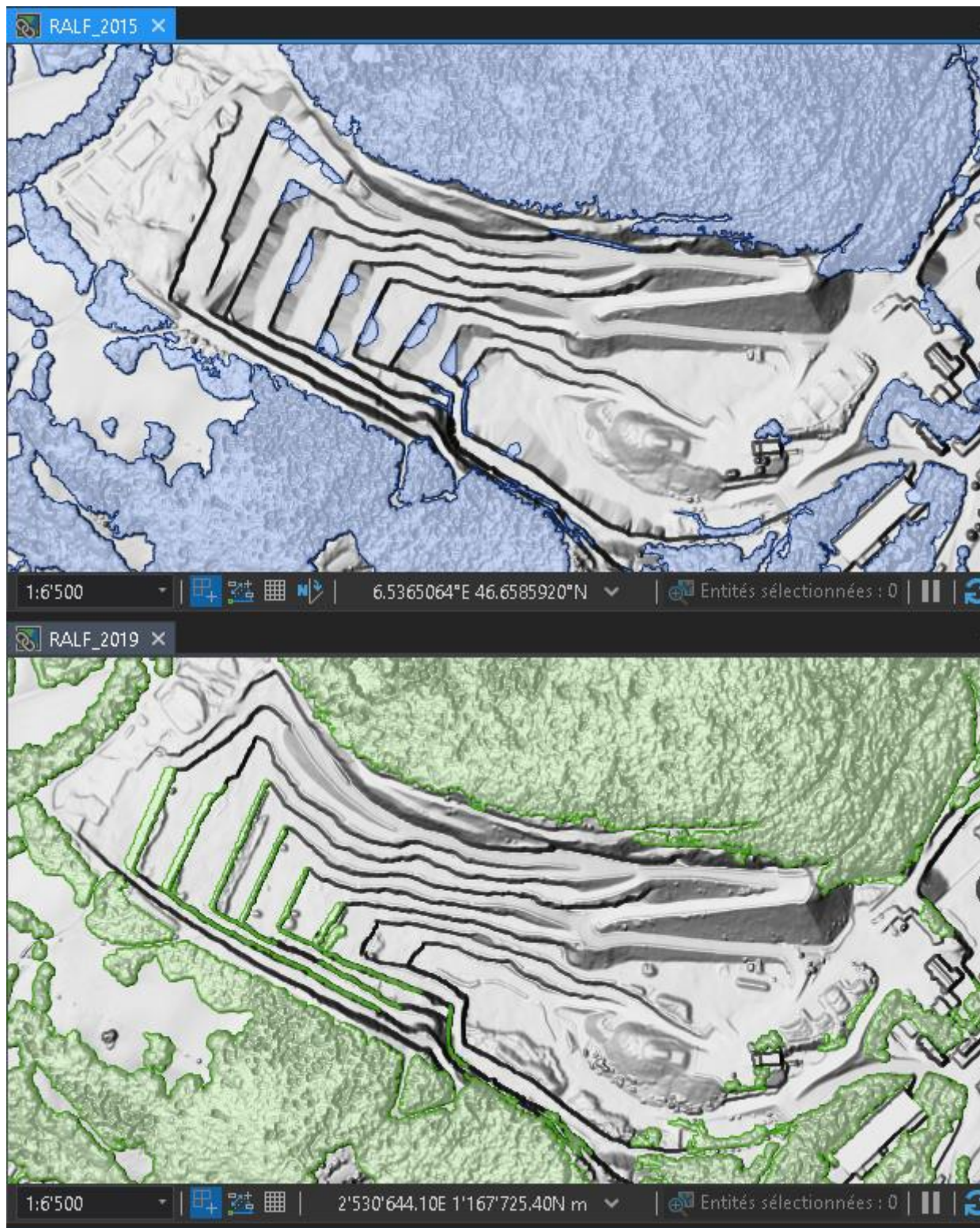


Figure 14 - Limites de forêt erronées en raison d'une mauvaise classification du nuage de points LiDAR bruts

5. Proposition de filtrages additionnels

5.1 Suppression des alignements d'arbres et de plantations temporaires

Afin d'améliorer la qualité des données RALF 2019, un filtre de type ratio « longueur/largeur » pourrait être appliqué en fin de traitement afin de détecter et de supprimer les objets qui correspondent à des alignements d'arbres ou des plantations temporaires. Ces objets ont une typologie très longue et peu large (dans ces cas le ratio « longueur/largeur » est très élevé). Même si ce filtre ne fonctionne pas à 100%, il permet quand même de supprimer bon nombre d'objets qui ne correspondent pas à de la forêt. Néanmoins, il y a toujours des cas d'objets très particuliers qui ne sont pas supprimés suite à l'application de ce filtre. C'est notamment le cas des vergers qui ont plusieurs alignements d'arbres trop proches les uns des autres, devenant ainsi reliés lors de la création du nMNC (résolution spatiale de 1 mètre), ce qui empêche de les détecter comme des objets indépendants (au centre dans la Figure 15).

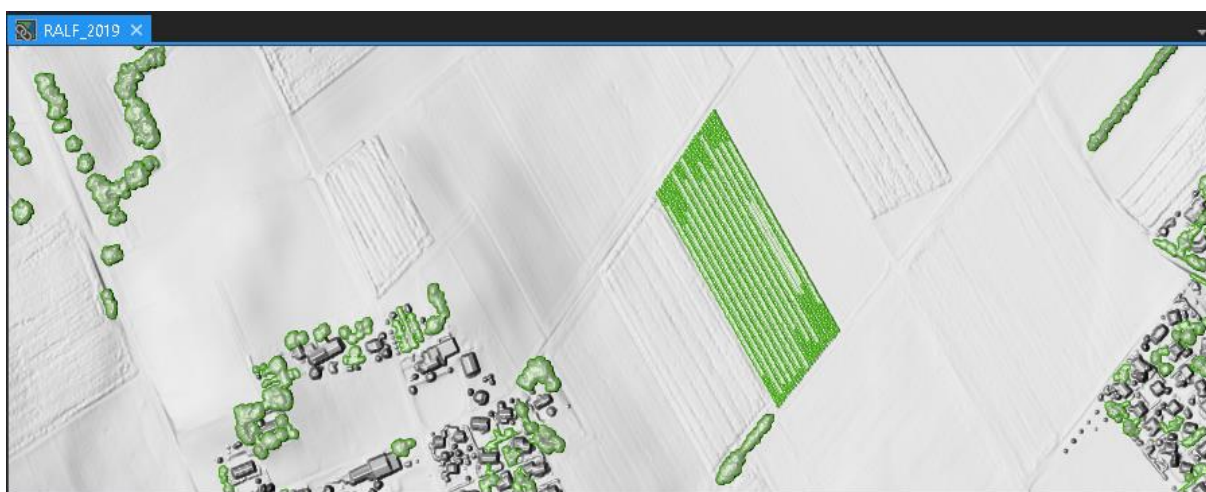


Figure 15 - Données RALF 2019 (en vert foncé) dans une région avec un verger (au centre)

Hypothèse : faudrait-il utiliser un filtre en fin de traitement afin de détecter et supprimer les alignements d'arbres et les plantations temporaires ?

5.2 Zone urbaine

En zone urbaine, des groupements d'arbres importants sont détectés sans que cela représente nécessairement des données RALF (en vert clair dans la Figure 16 pour les données RALF 2019).



Figure 16 - Données RALF 2019 (en vert clair) en zone urbaine

Hypothèse : faudrait-il utiliser une couche représentative des zones urbanisées pour nettoyer les surfaces boisées existantes dans ce type de territoire ?