

# Calcul de la hauteur des bâtiments sur la base des données altimétriques LiDAR 2015



**Version :** 1.4

**Date :** 1 mai 2019

**Auteurs :** Gilles Gachet, Cláudio Carneiro

Canton de Vaud

Office de l'information sur le territoire

## Contenu

<b>1. Objectif du projet .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Etapes pour la production .....</b>	<b>3</b>
<b>3. Préparation de la couche vectorielle des bâtiments .....</b>	<b>4</b>
3.1 Inventaire des bâtiments .....	4
3.2 Différences constatées entre les données cadastrales et la classification LiDAR.....	5
3.2.1 Définition divergente du bâtiment .....	5
3.2.2 Les garages privés .....	7
3.2.3 Les bâtiments agricoles .....	7
3.2.4 Présence de glissement de terrain .....	9
<b>4. Calcul des hauteurs de bâtiments .....</b>	<b>9</b>
<b>5. Livraison du produit « LiDAR 2015 : Hauteurs des bâtiments ».....</b>	<b>11</b>
<b>6. Extrusion des bâtiments en 3D.....</b>	<b>12</b>
<b>7. Validation des résultats.....</b>	<b>13</b>
7.1 Principales erreurs constatées .....	13
7.1.1 Erreurs de hauteur dues aux bâtiments « multi-blocs » .....	13
7.1.2 Erreurs de hauteur dues à un décalage entre le nuage de points bruts LiDAR et les polygones de la MO.....	14
7.1.3 Erreurs dans la comparaison entre les hauteurs de bâtiments 2015 et les hauteurs de bâtiments 2001 .....	15
<b>8. Conclusions .....</b>	<b>15</b>

## 1. Objectif du projet

L'objectif du projet consistait à produire deux couches vectorielles (polygones et points) des bâtiments hors-sol du cadastre avec une information de hauteurs dérivées des données LiDAR acquises entre juin 2015 et mars 2016.

La forme et les détails des toits ne sont pas considérés. Il s'agit d'attribuer une hauteur unique (statistique) à un polygone délimitant l'empreinte d'un bâtiment et au centroïde (point) de ce même bâtiment.

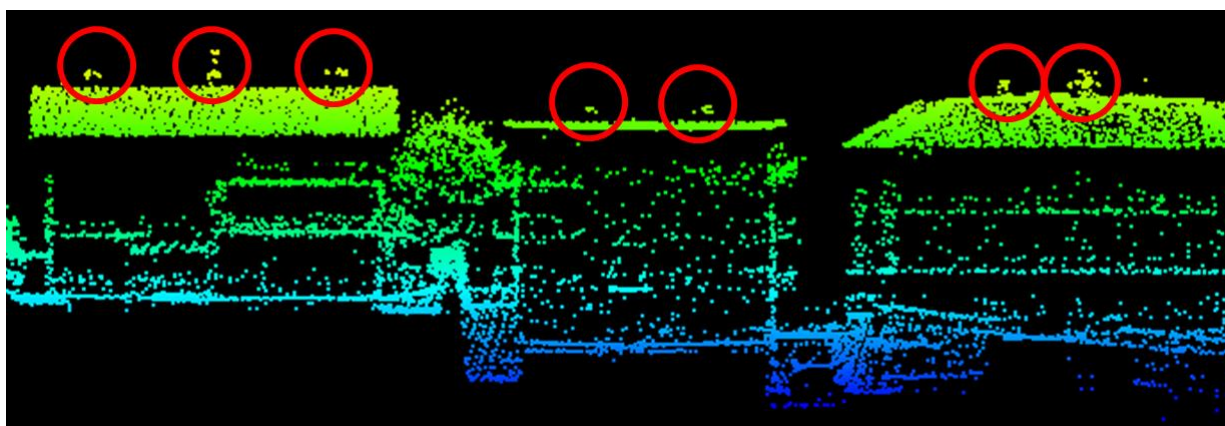
## 2. Etapes pour la production

La production des hauteurs de bâtiments par LiDAR peut se découper en trois étapes :

- la préparation des données de référence,
- le calcul des hauteurs de bâtiments avec la production de deux couches vectorielles : surfacique (polygones) pour les empreintes des bâtiments et ponctuelle (points) pour les centroïdes des empreintes des bâtiments,
- la validation des résultats.

En résumé, afin d'obtenir une hauteur de bâtiment aussi réaliste que possible, la statistique choisie pour définir l'altitude du toit est le 90<sup>ème</sup> centile des points bruts LiDAR classifiés en classe 6 (« bâtiment ») et qui se trouvent à l'intérieur de chaque empreinte de bâtiment (polygone). Il s'agit donc de la valeur telle que 90% des valeurs mesurées sont en dessous et 10% sont en dessus. On évite ainsi de fausser une hauteur de bâtiment avec une antenne ou autre superstructure non représentative de la forme globale du bâtiment (Figure 1). La couche MNT-MO raster du canton de Vaud, interpolée des points bruts LiDAR 2015 classifiés en classe 2 (« sol ») et découpée pour chaque empreinte de bâtiment (polygone), permet d'obtenir l'altitude minimale au sol de chaque bâtiment. Finalement, la hauteur de chaque bâtiment est calculée en faisant la différence entre l'altitude du 90<sup>ème</sup> centile du toit et l'altitude minimale au sol du bâtiment

Pour plus de détails sur la méthodologie appliquée pour le calcul de la hauteur de chaque bâtiment veuillez-vous référer à la section 4.



*Figure 1 : Illustration de la présence de structures se trouvant au sommet des bâtiments, mais que l'on souhaite exclure du calcul afin d'obtenir une hauteur générale aussi représentative que possible du bâtiment.*

### 3. Préparation de la couche vectorielle des bâtiments

#### 3.1 Inventaire des bâtiments

L'inventaire des bâtiments hors-sol présents dans les couches MOVD et NPCS de la Mensuration Officielle (MO) devrait être concomitant avec les vols LiDAR réalisés. Ainsi, des couches des bâtiments hors sol MOVD et NPCS de la MO ont été assemblées selon les 3 périmètres de vols LiDAR : juin-juillet 2015, novembre 2015 et mars 2016 (Figure 2).

#### Campagnes de vol LiDAR

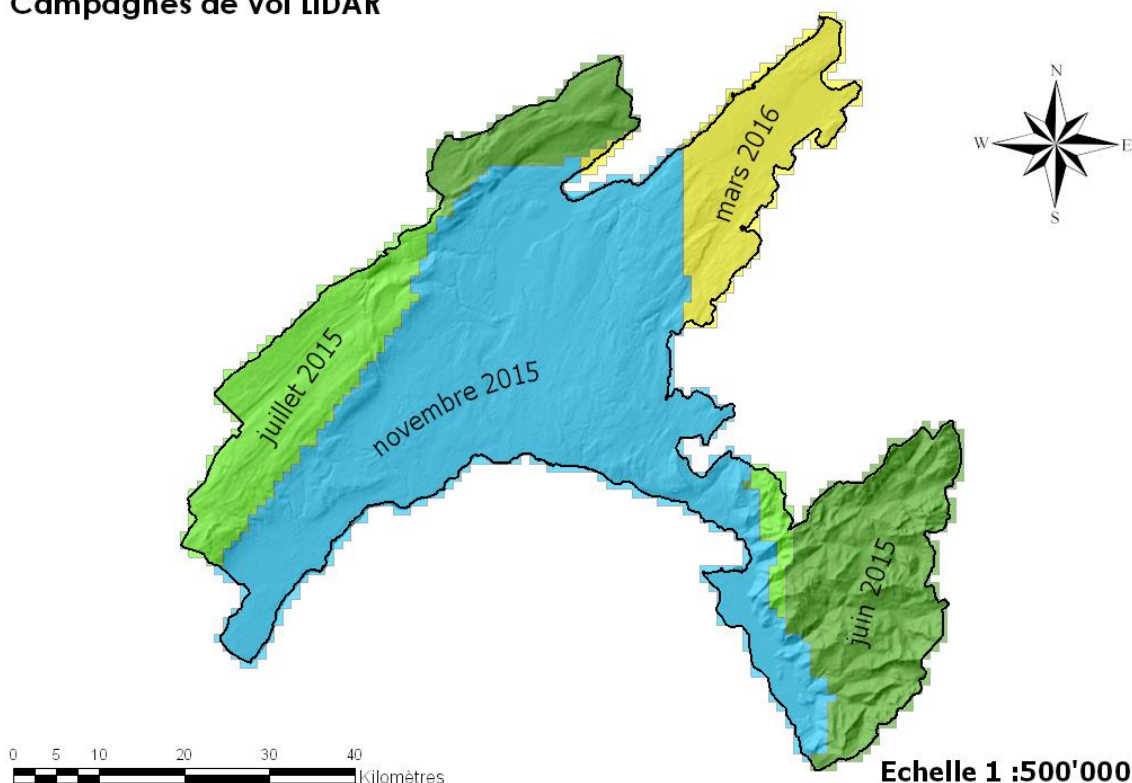


Figure 2 : Selection des bâtiments de la MO sur la base du découpage des campagnes de vol réalisées entre juin 2015 et mars 2016.

Environ 6% (13'000 sur 217'000) des bâtiments de la MO présents lors du vol LiDAR 2015 n'avaient pas de couverture de points bruts LiDAR classifiés en classe 6 (« bâtiment »). Cette « mauvaise classification » peut être due à une configuration complexe du terrain rendant l'interprétation difficile par les routines de classification ou les opérateurs travaillant sur la base de l'orthophoto. De quelque façon, certains bâtiments ignorés, voire la totalité, pourront être récupérés dans un deuxième temps, en élargissant le nombre de classes à prendre en compte dans le nuage de points bruts LiDAR.

Par la suite, une analyse de la couche des bâtiments hors sol MO et NPCS à l'état de novembre 2018 a permis de récupérer 4'433 bâtiments nouvellement cadastrés, alors qu'ils étaient déjà présents au moment du vol LiDAR 2015.

Au final, un total de 200'044 bâtiments ont été pris en compte pour calculer les hauteurs de bâtiments.

## 3.2 Différences constatées entre les données cadastrales et la classification LiDAR

L'acquisition LiDAR est un procédé qui permet d'acquérir de manière rapide, mais aléatoire, un très grand nombre de mesures 3D sur le territoire. Le nuage de points bruts LiDAR 2015 possède entre 10 et 15 pts par mètre carré (pts/m<sup>2</sup>) en moyenne. La distinction entre les objets qui composent ce nuage de point se fait par des traitements semi-automatiques. Une partie de la classification se fait grâce à des algorithmes automatiques, alors que de nombreuses corrections restent manuelles, avec l'orthophoto haute-résolution pour référence.

Lors de la classification de données LiDAR, tout ce qui ressemble à un bâtiment, c'est-à-dire qui possède un toit rigide et des murs, est classifié en classe 6 (« bâtiment »). Les toits végétalisés ou certains bâtiments camouflés pourront cependant échapper au processus de classification. A l'inverse, certains bâtiments techniques ou agricoles (comme les silos) sont classifiés en classe 1 (« objets divers »), alors qu'ils sont bien cadastrés comme bâtiments hors-sol dans la MO.

En parallèle, les empreintes de bâtiments intégrées dans la MO correspondent à des objets cadastrés. Tous les bâtiments ne sont cependant pas cadastrés. Ne serait-ce que par le fait que le processus de cadastration peut prendre du temps, il y a également le cas des cabanons de jardins et autres couverts non cadastrés qui seront reconnus comme bâtiments lors de la classification LiDAR.

Dans la grande majorité des cas, la correspondance est bonne. On relève cependant une série de cas qui peuvent poser problème, selon explications ci-dessous.

### 3.2.1 Définition divergente du bâtiment

La classification des bâtiments dans le nuage de points bruts LiDAR repose sur une analyse de la distribution spatiale des échos. C'est une identification du bâtiment « par le haut ». Des corrections sont ensuite apportées manuellement sur la base de l'orthophoto haute-résolution. Ce procédé fonctionne très bien pour des bâtiments isolés ou simples, mais cela peut générer des erreurs, et notamment des oublis, selon la complexité des constructions, comme par exemple, des bâtiments composés avec des niveaux enterrés ou masqués par d'autres structures (Figures 3 à 5).





Figure 3 : Bâtiments sans points bruts LiDAR correspondant à la classe 6 (« bâtiment »). En vert, limites des empreintes des bâtiments.



Figure 4 : Bâtiments sans points bruts LiDAR correspondant à la classe 6 (« bâtiment »). En vert, limites des empreintes des bâtiments.

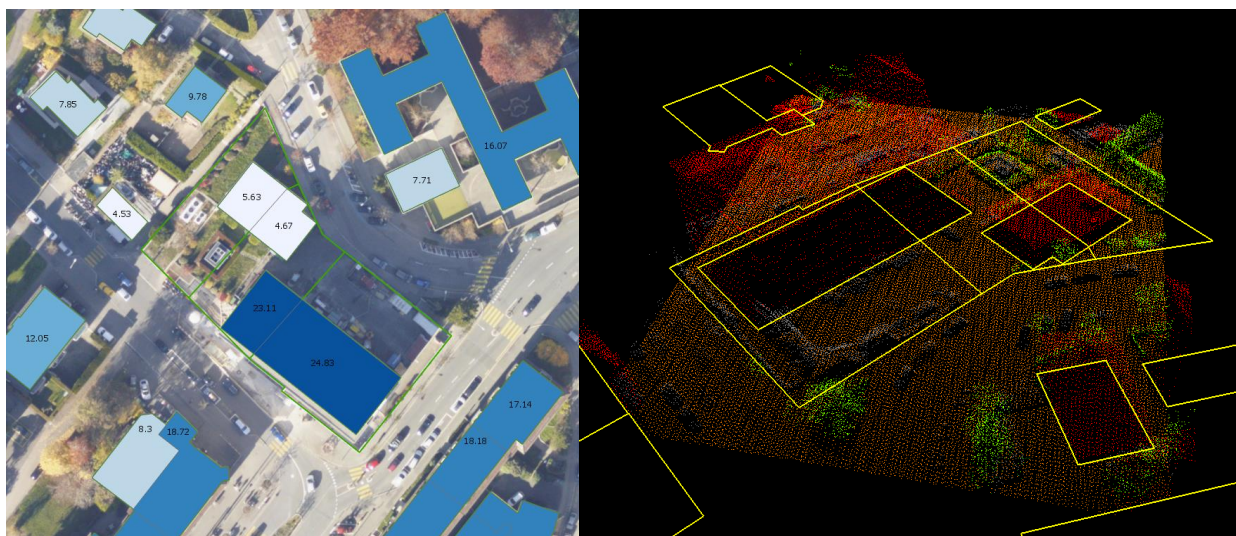


Figure 5 : Bâtiments sans points bruts LiDAR correspondant à la classe 6 (« bâtiment »). Image de gauche : en vert, limites des empreintes des bâtiments. Image de droite : représentation du nuage de points bruts LiDAR.

### 3.2.2 Les garages privés

Certains garages privés ne sont pas classifiés en classe 6 (« bâtiment ») dans le nuage de points bruts LiDAR, car ils sont végétalisés ou intégrés dans des structures complexes (Figure 6).

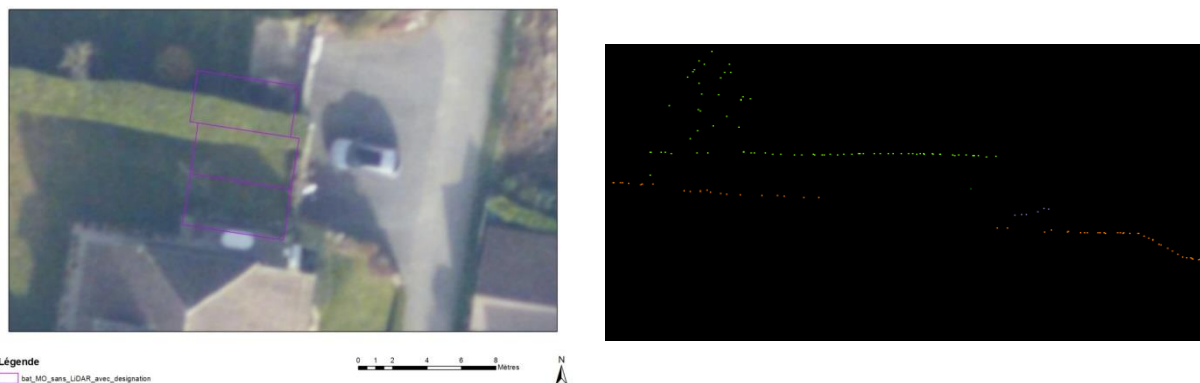


Figure 6 : Garage privé non classifié en classe 6 (« bâtiment ») dans le nuage de points bruts LiDAR.

### 3.2.3 Les bâtiments agricoles

Certains bâtiments agricoles avec des formes et matériaux particuliers ne sont pas classifiés en classe 6 (« bâtiment ») dans le nuage de points bruts LiDAR. La classe 1 (« non classifié ») leur a été attribuée (Figures 7 à 9).



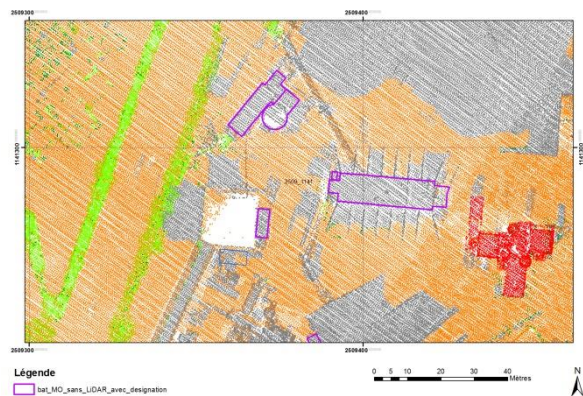
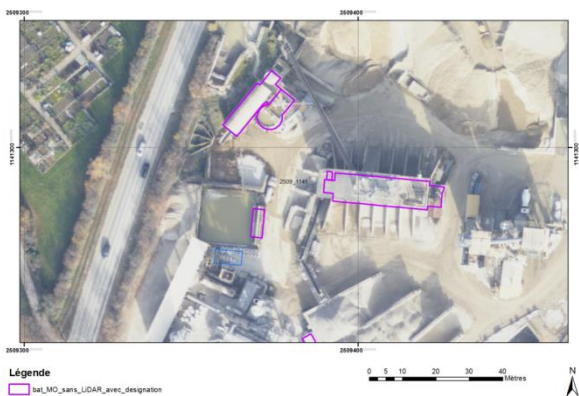


Figure 7 : Bâtiment agricole n'appartenant pas à la classe 6 (« bâtiment »).

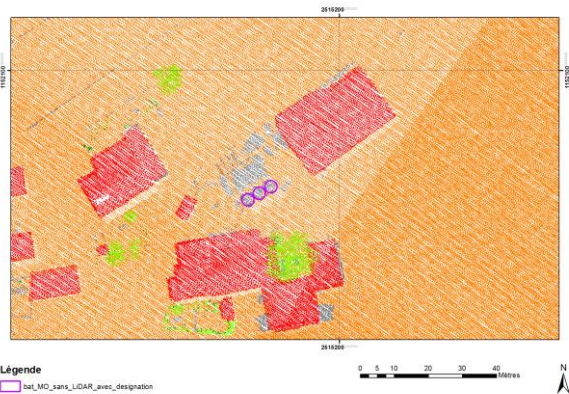


Figure 8 : Bâtiment agricole n'appartenant pas à la classe 6 (« bâtiment »).

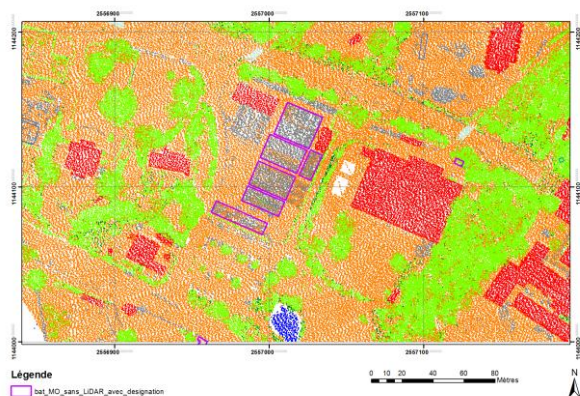


Figure 9 : Bâtiment agricole n'appartenant pas à la classe 6 (« bâtiment »).



### 3.2.4 Présence de glissement de terrain

Un décalage a été constaté sur les zones de glissement de terrain entre les bâtiments de la MO et les bâtiments classifiés par LiDAR. Ces erreurs sont dues à la « non actualisation » des données de la MO (Figure 10).

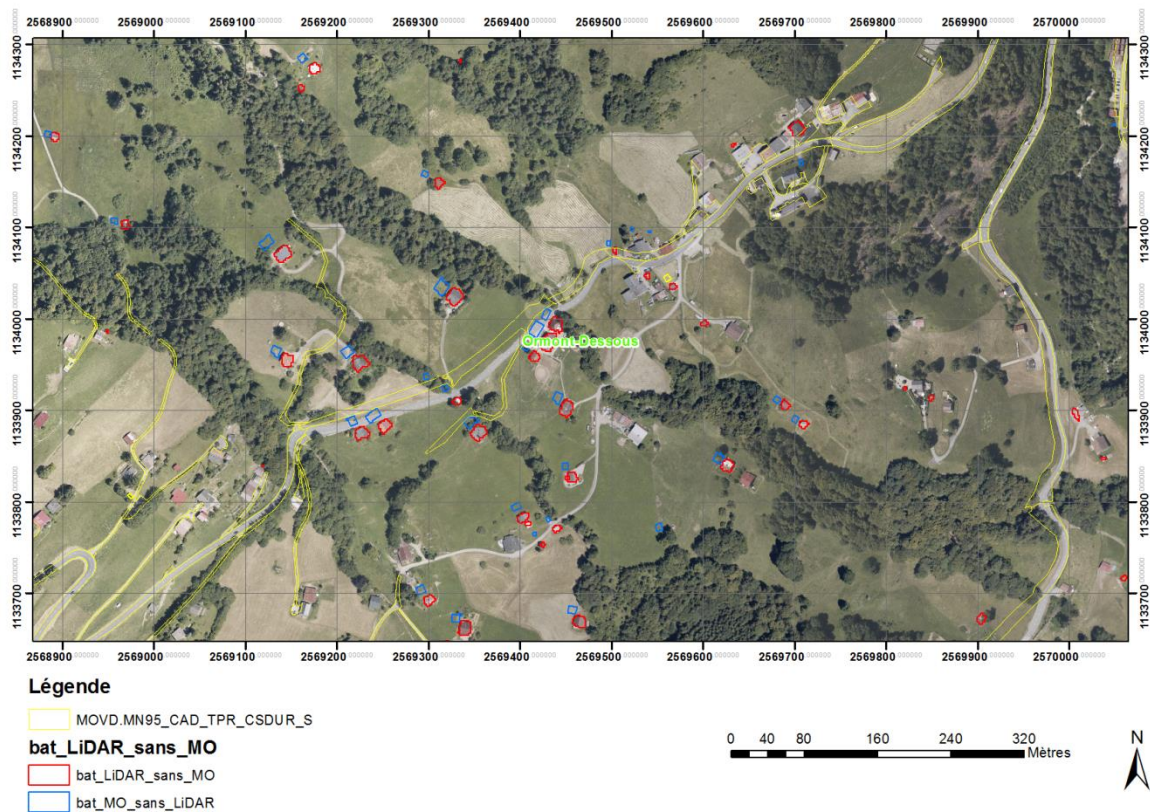


Figure 10 : Décalage entre les bâtiments de la MO (en bleu) et les bâtiments identifiés par LiDAR (en rouge).

## 4. Calcul des hauteurs de bâtiments

Pour optimiser le calcul de 200'044 hauteurs de bâtiments, il a fallu travailler sur des données tuilées. Deux jeux de données distincts ont donc été créés pour être traités séparément (Figure 11) :

- un premier jeu de données correspondant aux 193'739 bâtiments qui se trouvent à l'intérieur des tuiles LiDAR kilométriques,
- un second jeu de données qui considère en un bloc l'ensemble des 6'305 bâtiments se trouvant sur la limite de tuiles LiDAR kilométriques.

Enoncé	Nb bât.	%
Bâtiments qui intersectent les limites des tuiles LiDAR	6'305	3.2
Bâtiments à l'intérieur des tuiles LiDAR	193'739	96.8
<b>Total</b>	<b>200'044</b>	<b>100%</b>

### Calcul de la hauteur en deux temps

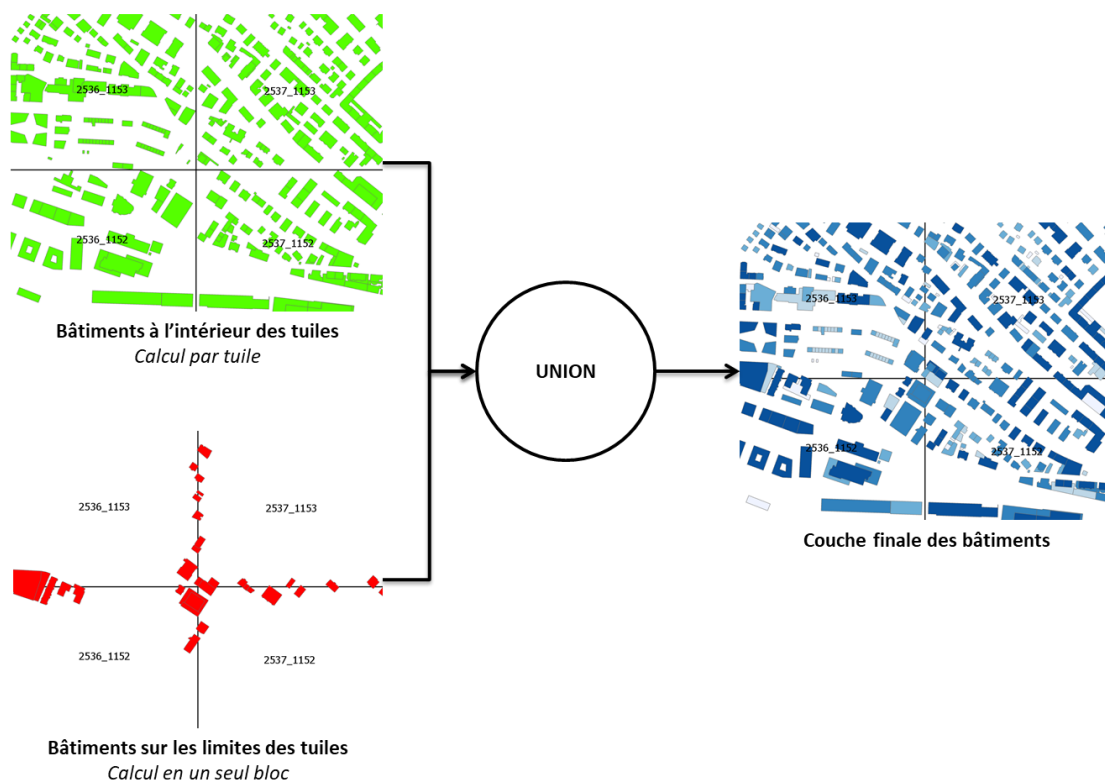


Figure 11 : Méthodologie appliquée pour le calcul des hauteurs des bâtiments en deux temps

Le calcul de la hauteur de chaque bâtiment est décomposé en trois étapes (Figure 12) :

- **Étape 1** : l'ajout de l'altitude de base à chaque empreinte de bâtiment est réalisé via le logiciel ArcGIS Pro et son outil « Statistiques Zonales ». Le pixel avec l'altitude minimale à l'intérieur de chaque empreinte de bâtiment est choisi pour définir l'altitude de référence du bâtiment au sol (attribut « BAT\_MIN » du tableau de la page 11).
- **Étape 2** : le point LiDAR de la classe 6 (« bâtiment ») correspondant au 90<sup>ème</sup> centile des valeurs d'altitude à l'intérieur de chaque empreinte de bâtiment est sélectionné pour définir l'altitude du toit (attribut « ALTI\_TOIT » du tableau de la page 11). Cette étape est réalisée via un script implémenté dans le logiciel FME.
- **Étape 3** : le calcul de la hauteur de chaque bâtiment (attribut « HAUT\_BAT » du tableau de la page 11) se base sur la différence entre l'altitude du 90<sup>ème</sup> centile (attribut « ALTI\_TOIT » du tableau de la page 11) et l'altitude minimale du bâtiment au sol (attribut « BAT\_MIN » du tableau de la page 11). Cette étape est réalisée via un script implémenté dans le logiciel FME.

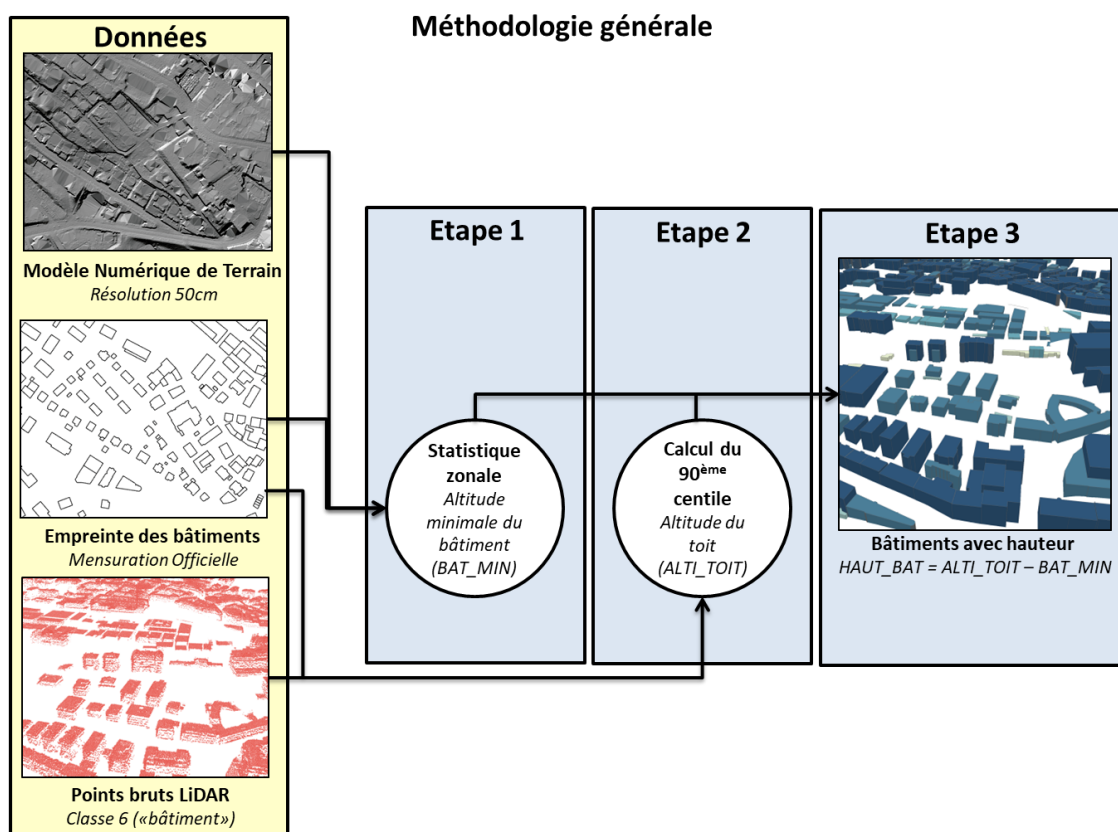


Figure 12 : Méthodologie appliquée pour l'extraction des hauteurs de bâtiments.

Finalement, 14 bâtiments dont la hauteur était inférieure à 1 mètre ont été supprimés.

## 5. Livraison du produit « LiDAR 2015 : Hauteurs des bâtiments »

Pour des commandes de ce produit (« LiDAR 2015 : Hauteurs des bâtiments ») au format Shape via l'ASIT VD, deux fichiers distincts sont livrés :

- fichier de polygones représentant les empreintes 2D des bâtiments,
- fichier de points représentant les centroïdes des empreintes 2D des bâtiments.

Dans chacune de ces deux couches, on retrouve les attributs suivants associés à chaque bâtiment :

Attribut	Description	Type
DATE_VOL	Mois et année de vol LiDAR (MM.AAAA)	Texte
HAUT_BAT	Hauteur du bâtiment	Double
ALTI_TOIT	Altitude du toit	Double
BAT_MIN	Altitude minimale des cellules du MNT	Double
BAT_MOYEN	Altitude moyenne des cellules du MNT	Double
BAT_ECTYPE	Ecart-type des cellules du MNT	Double
EGID	Identificateur de bâtiment fédéral	Double



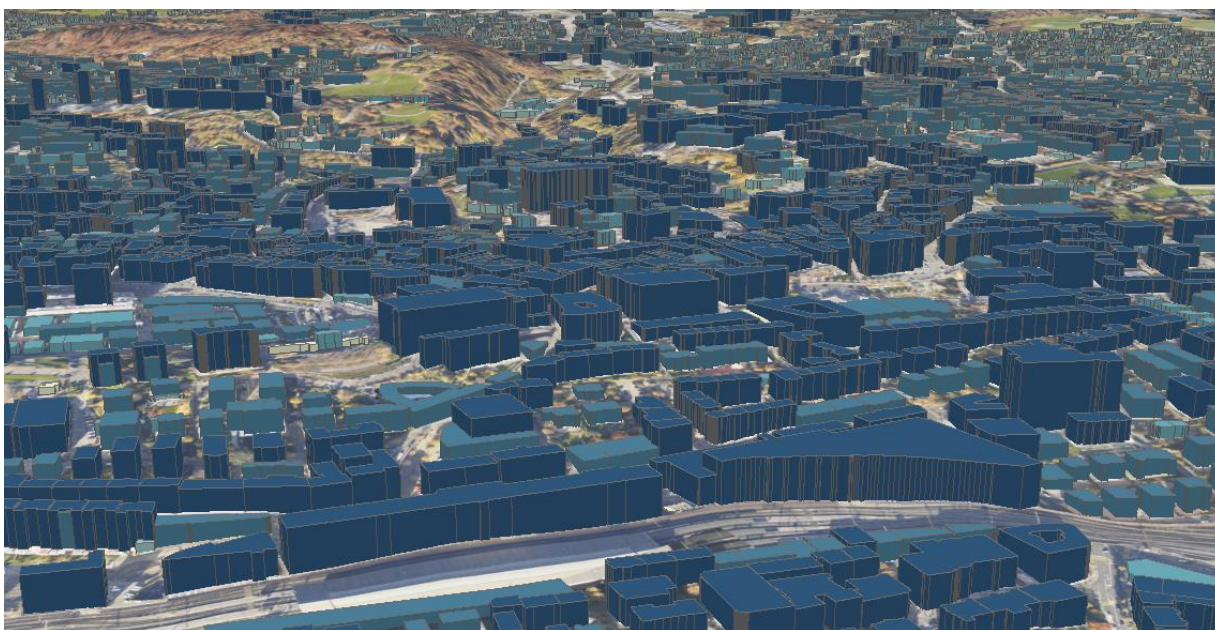
**Remarque :** l'attribut « BAT\_ECTYPE » du tableau précédent informe sur la variation des altitudes des cellules du MNT, permettant ainsi d'identifier les bâtiments qui risquent d'avoir des valeurs d'hauteur plus approximatives.

Pour des commandes de ce produit (« LiDAR 2015 : Hauteurs des bâtiments ») au format DXF via l'ASIT VD, un fichier est livré, contenant les calques suivants :

- calque de polygones en bleue, représentant les empreintes 2D des bâtiments, avec l'altitude minimale de chaque bâtiment au sol affichée comme texte en bleue,
- calque de polygones en vert, représentant les empreintes 2D des bâtiments, avec l'altitude de chaque toit affichée comme texte en vert,
- calque de polygones en rouge, représentant les empreintes 2D des bâtiments, avec la hauteur de chaque bâtiment affichée comme texte en rouge.

## 6. Extrusion des bâtiments en 3D

En utilisant la couche de polygones au format Shape et son attribut « HAUT\_BAT », il est possible d'extruder les bâtiments à trois dimensions (3D) (Figure 13).



*Figure 13 : Vue d'une modélisation des bâtiments de la MO avec une hauteur calculée à partir des modèles altimétriques LiDAR 2015.*

Cette extrusion 3D des bâtiments est assez simple à implémenter dans les outils SIG courants et donne une approximation satisfaisante pour une modélisation élémentaire avec un niveau de détail de type « LOD1 » (Figure 14).



Figure 14 : Niveaux de détails des bâtiments : LOD1 à LOD4 (source : Université de Delft).

## 7. Validation des résultats

Une fois l'union faite entre les résultats des deux étapes (bâtiments à l'intérieur des tuiles et bâtiments sur les limites des tuiles) réalisée, un contrôle des données a été mené pour identifier d'éventuelles erreurs. Ces contrôles se sont basés sur l'analyse des hauteurs calculées (analyse des valeurs du champ « HAUT\_BAT »), mais également sur la comparaison avec des hauteurs de bâtiments collectés par des sources externes (par exemple, la couche des hauteurs des bâtiments calculée sur la base des données LiDAR des vols de l'année 2001). Lorsque cela était nécessaire, une analyse du nuage de points bruts LiDAR 2015 source a été réalisée.

### 7.1 Principales erreurs constatées

#### 7.1.1 Erreurs de hauteur dues aux bâtiments « multi-blocs »

Les bâtiments étant composés de plusieurs « blocs » de construction ayant des hauteurs très distinctes généralement posent problème. Les bâtiments constitués de différents blocs de hauteur bien marqués nécessiteraient un découpage de l'emprise du bâtiment afin d'améliorer le calcul de leur hauteur (Figure 15).

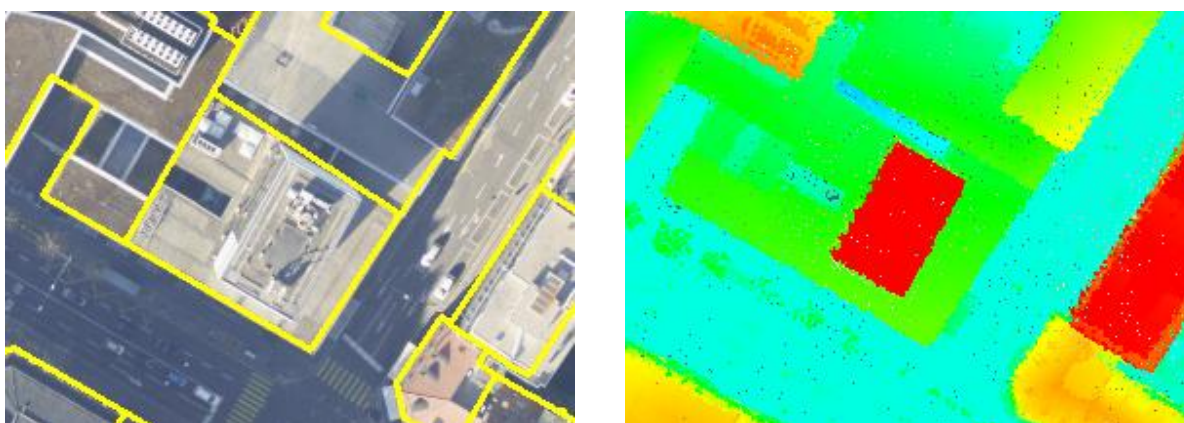
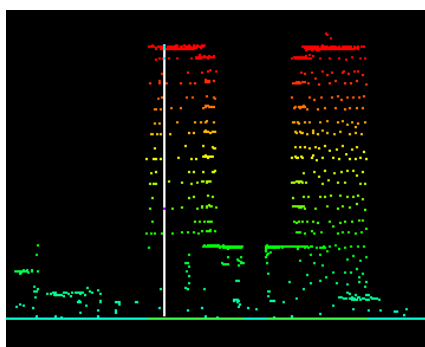


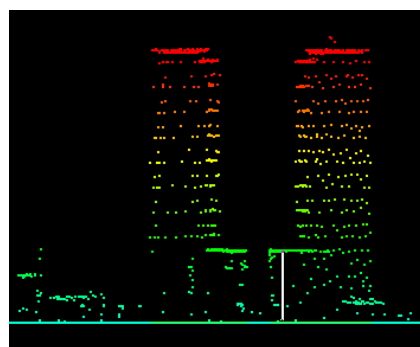
Figure 15 : Les bâtiments constitués de différents blocs de hauteur bien marqués nécessiteraient un découpage de l'emprise du bâtiment afin d'améliorer le calcul de leur hauteur.

### 7.1.2 Erreurs de hauteur dues à un décalage entre le nuage de points bruts LiDAR et les polygones de la MO

Certains décalages entre le nuage de points bruts LiDAR et la délimitation des empreintes de bâtiments peuvent générer de grandes imprécisions dans la détermination de la hauteur (Figure 16).



31.51 mètres



8.31 mètres

Figure 16 : Exemple de décalage entre le nuage de points bruts LiDAR et la délimitation des empreintes de bâtiments

Pour remédier à cela, une zone tampon interne de 1 mètre a été implémentée lors de la sélection du nuage de points bruts LiDAR propre à chaque empreinte de bâtiment.



### 7.1.3 Erreurs dans la comparaison entre les hauteurs de bâtiments 2015 et les hauteurs de bâtiments 2001

De nombreuses hauteurs des bâtiments calculées sur la base des données LiDAR des vols de l'année 2001 sont surestimées car les points bruts LiDAR 2001 n'ont pas été classifiés. Par conséquent, des points bruts LiDAR qui devraient avoir été classifiés comme « végétation » ont été (erronément) pris en compte pour calculer l'altitude des toits, ce qui implique que plusieurs hauteurs de bâtiments sont en réalité la hauteur des arbres avoisinants et chevauchant l'empreinte du bâtiment (Figure 17).

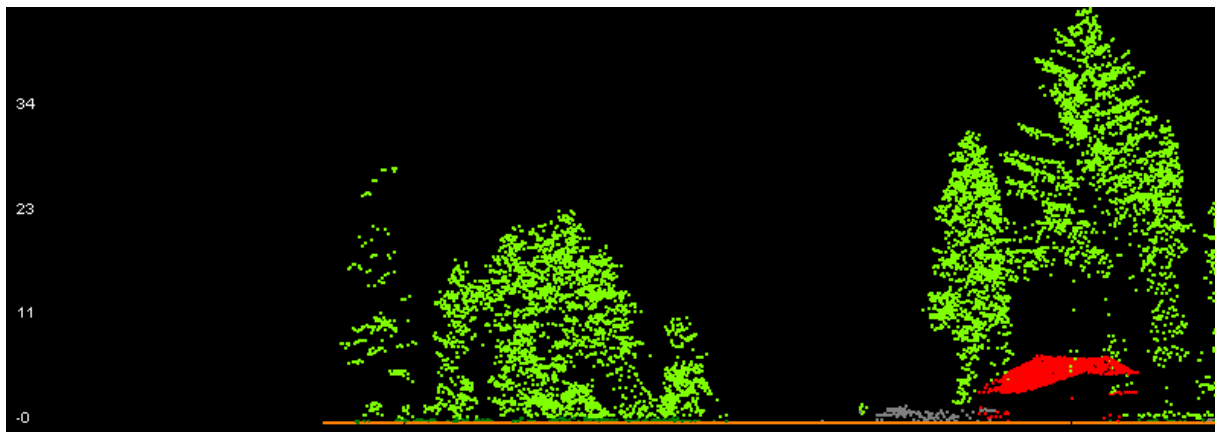


Figure 17 : Exemple de bâtiment (en rouge) entouré de végétation (en vert) dans le nuage de points bruts LiDAR 2001.

A titre d'exemple, voici l'estimation de la hauteur d'un bâtiment entouré de végétation si on considère les points bruts LiDAR 2001 ou 2015 :

- Hauteur de bâtiment 2001 : 23.4 mètres, calculé en considérant la végétation.
- Hauteur de bâtiment 2015 : 3.19 mètres, calculé sans considérer la végétation.

## 8. Conclusions

En ne travaillant qu'avec la classe 6 (« bâtiment ») du nuage de points bruts LiDAR, on améliore grandement la qualité de l'estimation de la hauteur des bâtiments. Tout d'abord parce que l'on travaille avec des valeurs d'altitude brutes, non interpolées. Ensuite, parce qu'on évite les erreurs de hauteur dues à la présence de végétation dans le voisinage proche ou en contact avec le bâtiment. La qualité de la classification devient alors prépondérante et il se peut que des erreurs subsistent à cause d'une mauvaise routine de classification. Il faut donc s'assurer que l'identification des bâtiments dans le nuage de points bruts LiDAR soit cohérente avec la définition d'un bâtiment hors-sol de la MO. Dans le jeu de données LiDAR 2015, quelques incohérences existent, notamment avec les toits végétalisés et certains bâtiments agricoles. Le fait de calculer la hauteur de chaque bâtiment sur la base du 90<sup>ème</sup> centile des altitudes de points bruts LiDAR se trouvant à l'intérieur de l'empreinte d'un bâtiment (polygone) est une bonne approche. Néanmoins, cela reste une estimation de la hauteur de bâtiment assez grossière. En outre, cette méthode offre la possibilité de faire une représentation relativement conforme des bâtiments extrudés en 3D. À ce propos, cette donnée est très utile pour effectuer des visualisations 3D à moyenne ou petite échelle, mais devient moins précise pour réaliser des visualisations 3D à très grande échelle, notamment lorsque les bâtiments sont complexes : églises, cathédrales, toits à hauteurs variables au sein d'un même polygone, etc.