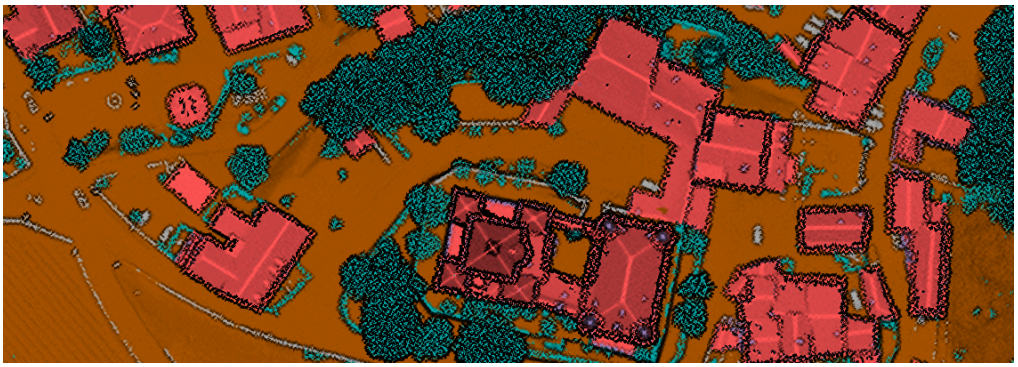


QGIS

Travailler avec des nuages de points

Atelier

Swiss LiDAR Day
10.11.2026, Morges

OPENGIS.ch
OPEN-SOURCE GEONINJAS

Buts de l’atelier **3**
Préparation **3**
Version QGIS 3
Données de l’atelier 3
Extensions à installer 3
Introduction **3**
Qu’est-ce qu’un nuage de points ? 3
Formats de données supportés 4
Ressources 4
Charger et styliser des nuages de points en 2D **4**
Propriétés du nuage de points 5
Rendu en 2D 8
Rendu par défaut 8
Les différents moteurs de rendu 8
Rendu en tant que surface 9
Rendu classification 10
Symbole ponctuel 10
Rendu de couche 11
Eye-Dome Lighting 12
Profile d’élévation 13
Rendu de nuages de points comme ligne d’élévation continue 15
Visualisation des nuages de points en 3D **16**
Navigation 3D 18
Création de nuage de points virtuels (virtual point clouds, VPCs) **20**
Utiliser les outils de traitement pour les nuages de points **22**
Clip 22
Exporter au format raster 23
Exporter au format raster (avec triangulation) 24
Calculer la densité (optionnel) 26
Comparer des nuages de points 27
Editer des nuages de points **28**
Données SwissSURFACE3D en RVB **28**
Nouveautés QGIS ≥4.0 **28**
Références **29**

Buts de l’atelier

A la fin de l’atelier vous serez capable de :

- Trouver des données LiDAR suisses
- Effectuer des opérations standard : afficher et explorer les tuiles (en 2D et en 3D), fusionner deux tuiles ou plus, filtrer les classes
- Créer un modèle altimétrique (MNT, MNS)
- Connaître les différents outils à disposition pour le traitement et l’analyse de nuages de points

Préparation

Version QGIS

Afin de profiter des nouveautés arrivées dans les versions les plus récentes de QGIS, cet atelier est basé sur QGIS 4.2.

Données de l’atelier

Lien vers le téléchargement : https://download.opengis.ch/public/courses/qgis_pointclouds

Extensions à installer

- Swiss Locator : Rechercher des lieux et des couches WMS dans l'ensemble du catalogue du Géoportail suisse ainsi que sur opendata.swiss

Introduction

Qu’est-ce qu’un nuage de points ?

Un nuage de points est le résultat des données capturées par un scanner LiDAR. Il s’agit essentiellement d’un ensemble de points en 3D (jusqu’à des milliards, billiards) qui représente la surface d’objets, de bâtiments ou de paysages. Ces points sont organisés de manière à former un modèle numérique pouvant être visualisé et utilisé pour des analyses plus approfondies.

Le LiDAR est une technologie de télédétection qui utilise des lasers pour mesurer les distances par rapport à des surfaces réfléchissantes. La densité des points peut varier, fournissant ainsi des informations détaillées sur la zone balayée. De plus, les nuages de points comportent des attributs tels que les coordonnées X, Y et Z, une **classification** et une **intensité**.

Dans QGIS, les nuages de points peuvent être visualisés et interrogés dans la vue 2D et 3D, tout comme dans les profils d’élévation.

Formats de données supportés

.las, .laz: les formats standards de l'industrie (.laz est le format compressé). Ils sont pris en charge par PDAL. PDAL, ou Point Data Abstraction Library, est une bibliothèque C++ destinée à la conversion et à la manipulation de données de nuages de points. Elle est similaire à la bibliothèque GDAL qui gère les données raster et vectorielles.

.copc: Cloud Optimized Point Clouds sont également supportés par QGIS pour les sources de données locales et distantes.

Note: Lorsque vous chargez un fichier .las/.laz dans QGIS pour la première fois, QGIS tente d'indexer le fichier et crée un fichier COPC qui sera utilisé par la suite. En fonction de la taille de votre fichier .las/.laz, l'indexation initiale peut prendre un certain temps.

Ressources

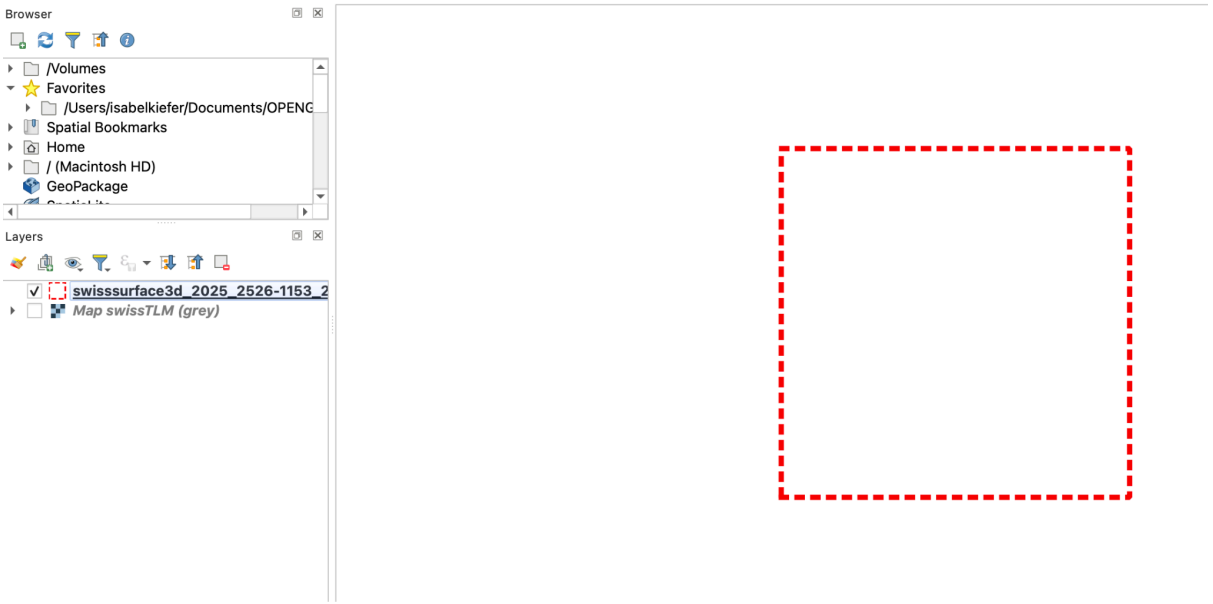
https://www.swisstopo.admin.ch/fr/modele-altimetrique-swisssurface3d
https://docs.qgis.org/testing/en/docs/user_manual/working_with_point_clouds/point_clouds.html

Charger et styliser des nuages de points en 2D

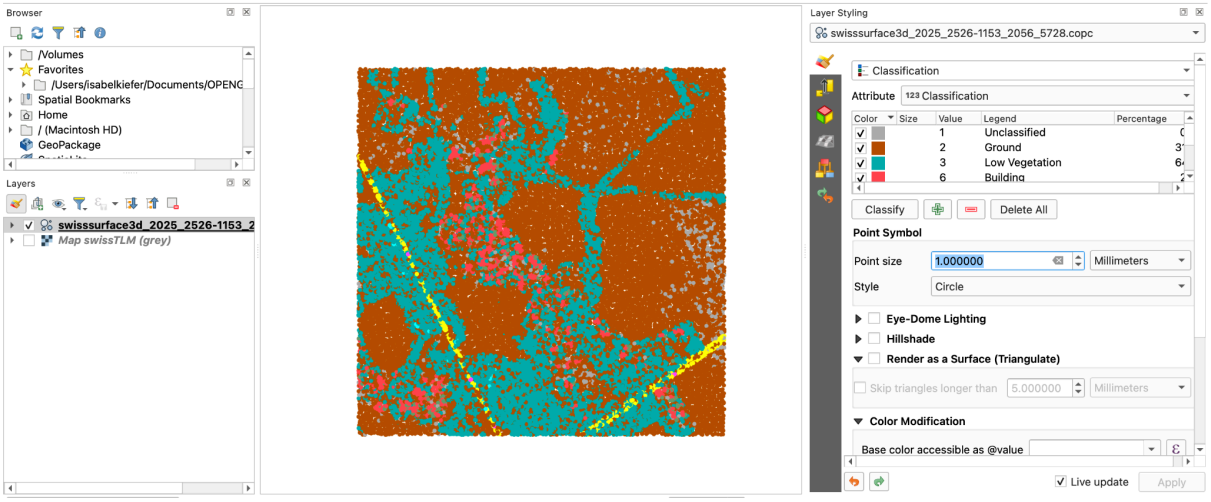
Dans ce premier exercice, vous allez charger des données de swissSURFACE3D du village et du château de Vufflens-le-Château.

1. Créez un dossier de travail qui contient les données téléchargées.
2. Démarrez QGIS 4.X
3. Chargez la couche carte swissTLM (grise)
4. Dans le panneau explorateur, localisez votre dossier de travail et ajoutez-le dans les favoris (clic droit sur le dossier).
5. Dans le panneau explorateur, choisissez le fichier .laz du dossier *Vufflens* et importez-les dans QGIS.

QGIS va désormais afficher l'étendue des tuiles avec un contour rouge en pointillés et va convertir automatiquement les fichiers LAZ au format COPC (Cloud Optimized Point Cloud). Cette opération peut prendre un certain temps.



Après la conversion, vous verrez les points classifiés sur le canevas de la carte avec le fichier .copc dans la légende (panneau des couches).

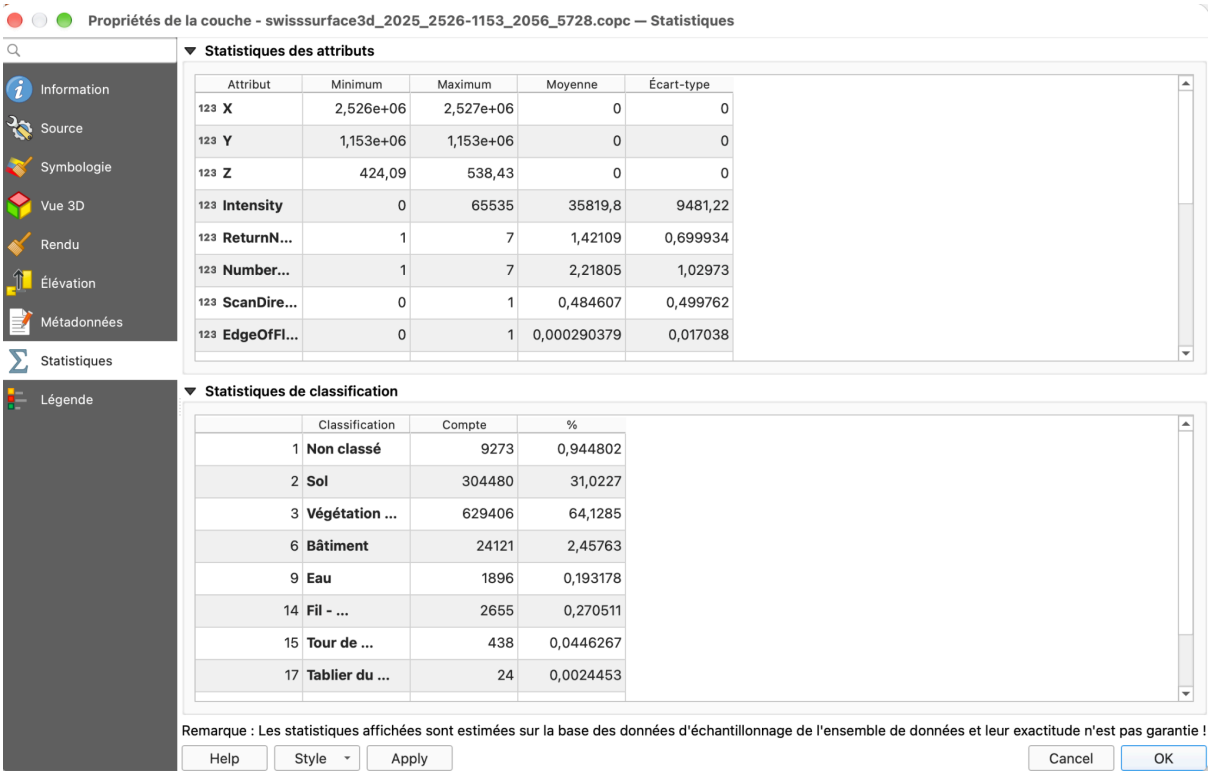


6. Vérifions que la couche est correctement géoréférencée en comparant le nuage de points avec la carte de fonds swissTLM. Tout devrait avoir fonctionné correctement.
7. Enregistrez le projet QGIS dans votre dossier de travail.

Propriétés du nuage de points

Vous pouvez regarder la projection et les attributs des données de nuage de points.

1. Clic droit sur la couche dans le panneau des couches > Propriétés de la couche.
    a. Sélectionnez l'onglet **Information**
    Combien de points se trouvent dans cette tuile?
    b. Sélectionnez l'onglet **Source**
    Quelle est la projection de la couche?
    c. Sélectionnez l'onglet **Statistiques** (voir Statistiques des attributs et Statistiques de classification)
    Quelle catégorie de classification est la plus fréquente?



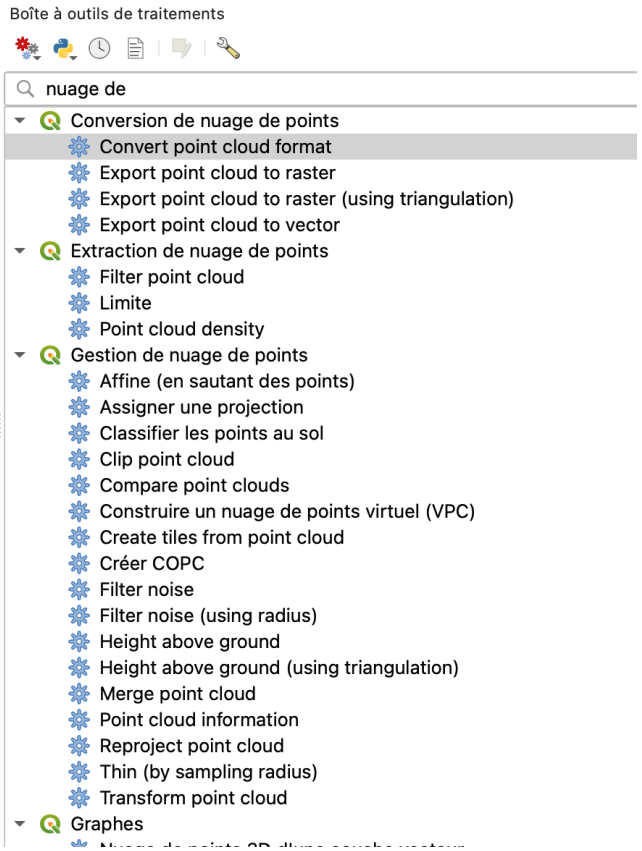
Les attributs suivants peuvent être utilisés pour visualiser des données de nuage de points (utilisez l'outil d'identification des entités et cliquez sur un point) :

Attribut	**Description**
Classification	Un code définissant le type d'objet ayant réfléchi l'impulsion laser
EdgeOfFlightLine	Un indicateur précisant si le point se situe en bordure d'une ligne de vol
GpsTime	L'heure à laquelle l'impulsion laser a été enregistrée
Intensity	L'intensité de l'impulsion laser renvoyée
KeyPoint	Points qui sont stables, distinctifs et identifiables selon un critère de détection bien défini (également appelés points d'intérêt)
NumberOfReturns	Le nombre total de retours pour une impulsion laser donnée
Overlap	Point d'une zone de recouvrement des trajectoires de relevés parallèles
PointSourceId	Un identifiant de la source des données du point
ReturnNumber	L'ordre du retour de l'impulsion laser
ScanAngleRank	L'angle auquel l'impulsion laser a été émise par le capteur
ScanDirectionFlag	Le sens de déplacement du miroir du scanner au moment de l'émission de l'impulsion laser
ScannerChannel	Le numéro du canal d'un scanner LiDAR

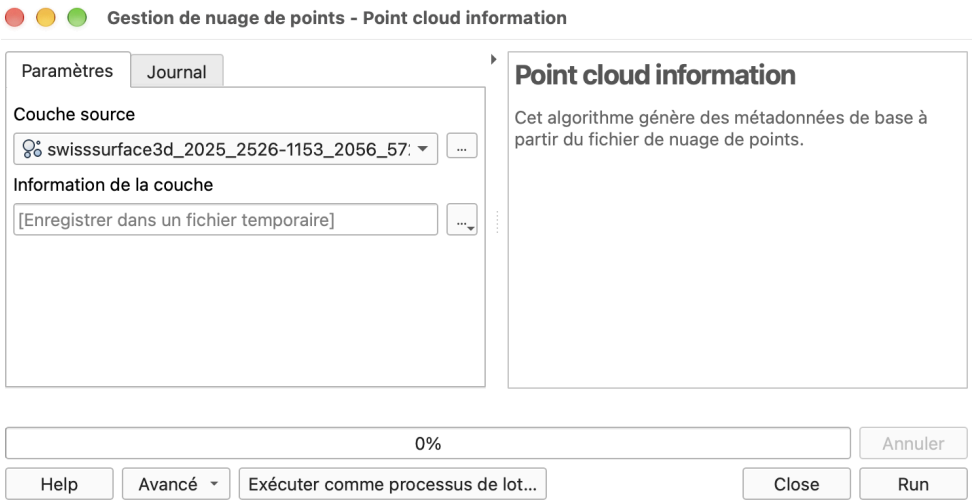
Synthetic	Donnée généré virtuellement
UserData	Les données définies par l'utilisateur
Withheld	`Withheld = 1`: Points qui doivent rester dans le fichier, mais ne doivent pas être utilisés, par exemple un court segment d'une ligne de vol présentant une erreur de synchronisation connue
X, Y, Z	Position de l'information
RGB et Infrared	Les informations de couleur du point
Amplitude	L'intensité de l'impulsion laser renvoyée
Reflectance	La quantité de lumière laser réfléchie par l'objet cible vers le capteur

2. Investiguer l'outil **Information** de la boîte à outils de traitement

    a. Ouvrir le panneau de la boîte à outils de traitement 
    b. Taper *Nuage de points* dans la barre de recherche



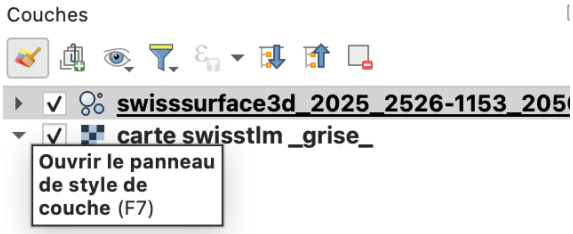
    c. Dans la section Gestion de nuage de points, faites un double-clic sur l'algorithme **Point cloud information**.
    d. Faites tourner le traitement avec votre couche de nuage de points et sauvez le résultat dans un fichier temporaire.



e. Dans le panneau **Visualiseur de Résultats**, cliquez sur lien pour ouvrir la page HTML.
Le résultat ainsi que le lien vers le fichier HTML peuvent également être trouvés dans l'onglet **Journal** du dialogue de l'algorithme.

Rendu en 2D

Ouvrir le panneau **Style de couche**.



Rendu par défaut

Lorsqu'un nuage de points est chargé, QGIS suit une logique pour sélectionner le meilleur moteur de rendu :

- si le jeu de données contient des informations de couleur (attributs rouge, vert, bleu), le moteur de rendu **RVB** sera utilisé,
- sinon, si le jeu de données contient un attribut de `classification`, le moteur de rendu de **classification** sera utilisé,
- sinon, il se rabattra sur un rendu basé sur l'attribut `Z` à l'aide du rendu **Attribut par rampe**.

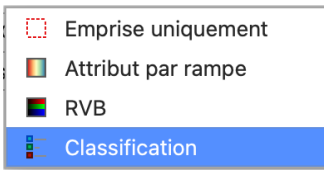
Notre nuage de points ne comporte pas de valeurs RVB ; le rendu classification est donc sélectionné par défaut.

Les différents moteurs de rendu

QGIS vous permet de symboliser un nuage de points avec quatre différents moteurs de rendu.

- **Emprise uniquement** : seul un cadre délimitant l'étendue des données est affiché

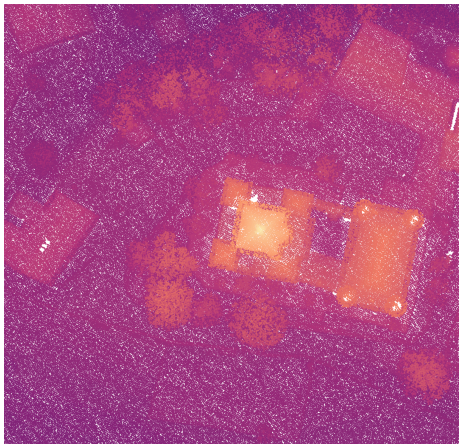
- **Attribut par rampe** : les données sont représentées selon un dégradé de couleurs en fonction
- d'un attribut numérique tel que la valeur Z.
- **RVB** : affichage des données à l'aide des valeurs de couleur rouge, vert et bleu.
- **Classification** : les données sont affichées en utilisant des couleurs différentes pour chaque classe



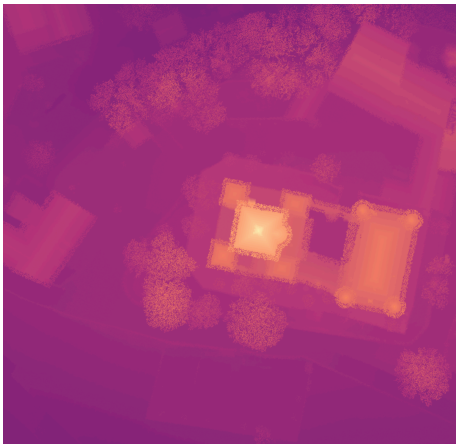
Essayons le rendu Attribut par rampe :

1. Changez le rendu pour **attribut par rampe**
2. Choisissez l'attribut **Z** pour montrer l'élévation des points
3. Définissez la palette de couleurs **Magma**
4. Si nécessaire, vous pouvez adapter les valeurs **Min** et **Max**. Par défaut ces valeurs sont reprises des données.
5. Changez le style des points entre Cercle et Carré, ainsi que la taille du point.

Rendu en tant que surface

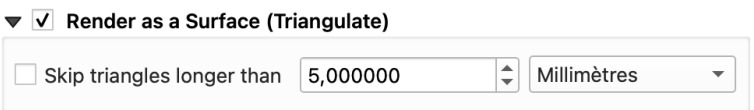


Option *render as a surface* décochée



Option activée

Le paramètre **Rendu en tant que surface** permet de rendre le nuage de points sous la forme d'une surface plus homogène, en comblant les espaces entre les points. Cette option permet de générer des triangles à la place des points. Chaque point conserve sa couleur pour l'interpolation au sein du triangle.

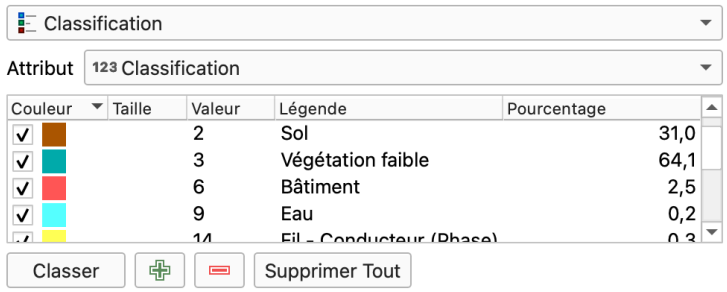


Avec l'option **Skip triangles longer than**, vous pouvez définir la longueur maximale d'un côté des triangles à prendre en compte dans le plan horizontal. Cela peut s'avérer particulièrement utile si vous souhaitez identifier les véritables lacunes dans les données.

Rendu classification

Sélectionnez le rendu **Classification**.
Le nuage de points est représenté avec des différences de couleur ou de taille en fonction d'un attribut. Si le jeu de données contient un attribut `Classification`, QGIS l'utilise par défaut, comme c'est le cas ici. L'attribut `Classification` contient généralement des données déterminées automatiquement par post-traitement, par exemple concernant la végétation et d'autres classes de couverture du sol. Cependant, tout type d'attribut peut être utilisé (numérique, chaîne de caractères, …) avec le rendu **Classification**. L'option **Attribut** vous permet de sélectionner dans la table d'attributs le champ qui sera utilisé pour la classification.

Le panneau **Style de la couche** contient des informations très utiles, notamment les champs **Valeur**, **Légende** et **Pourcentage**, qui indiquent le pourcentage de points du jeu de données appartenant à chaque classe.



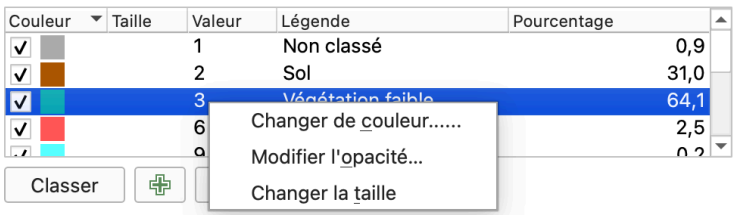
Symbole ponctuel

Dans la section **Symbole ponctuel**, vous pouvez changer la **taille** et le **style** du point. Ces paramètres seront appliqués à toutes les classes de point.



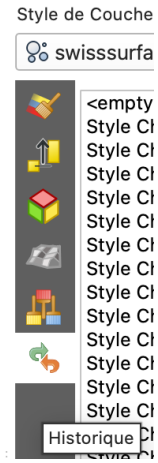
Si vous devez changer la taille ou la couleur pour une seule classe, vous pouvez faire un clic-droit sur la classe en question. Cela ouvrira un menu permettant de modifier la **couleur**, la **taille** et **l'opacité** pour cette classe. Un double-clic dans le champ couleur, taille ou légende permet également de modifier les paramètres. Une taille de point customisée s'affiche ensuite dans la colonne **Taille**.

Essayez de changer la taille et l'opacité pour quelques classes. Pour revenir à la taille par défaut, remettez la valeur à 0 et l'opacité à 100.



Attention : Cela n'aura potentiellement pas d'effet visuel quand la triangulation (rendu en tant que surface) est activée.

Note : Le panneau Style de couche contient des boutons pour revenir en arrière  *et un onglet* ***Historique****. En cas de fausse manipulation, vous pouvez donc retrouver un état d'avant.*



Rendu de couche

La dernière option permettant de styliser les nuages de points se trouve dans la section **Rendu de couche**. L'option **Ordre de dessin** vous permet de déterminer si les nuages de points affichés dans le canevas de carte 2D sont classés par ordre croissant de leur **valeur Z**.

Trois choix s'offrent à vous :

a. **Défaut** : utilise l'ordre dans lequel les points sont stockés dans la couche,
b. **Du bas vers le haut** : les points ayant les valeurs Z les plus élevées recouvrent les points situés plus bas, ce qui peut donner l'aspect d'une véritable orthophoto,
c. **Du haut vers le bas** : la scène apparaît telle qu'on la verrait vue d'en bas

Expérimentez avec l'ordre de dessin.

Réglage de l'**erreur maximum** : les nuages de points contiennent généralement plus de points que ce qui est nécessaire pour l'affichage. Cette option permet de régler la densité d'affichage du nuage de points (ce paramètre peut également être interprété comme *l'écart maximal autorisé entre les points*). Si vous définissez une valeur élevée (par exemple 5 mm), il y aura des espaces visibles entre les points. Une valeur faible (par exemple 0,1 mm) pourrait entraîner le rendu d'un nombre inutile de points, ce qui ralentit le rendu (différentes unités peuvent être sélectionnées).

Opacité : cet outil vous permet de rendre visible la couche sous-jacente dans la zone de travail de la carte. Utilisez le curseur pour ajuster la visibilité de votre couche selon vos besoins. Vous pouvez également définir précisément le pourcentage de visibilité dans le menu situé à côté du curseur.

Mode de fusion : cet outil vous permet d'obtenir des effets de rendu spéciaux. Les pixels de vos couches superposées et sous-jacents sont mélangés selon l'un des modes de fusion.

Tester le **mode de fusion** *Multiplier*.

Eye-Dome Lighting

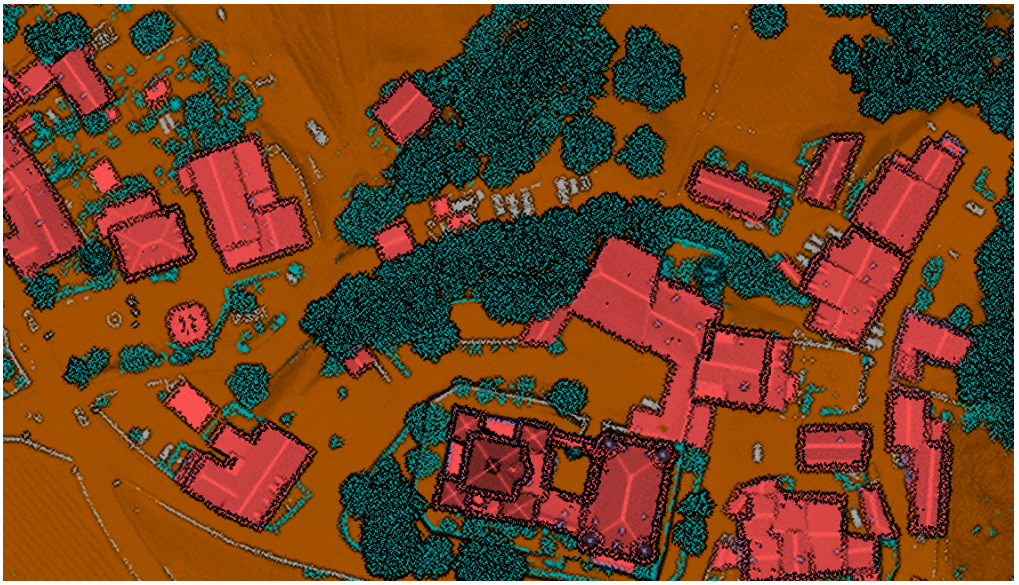
L'éclairage **Eye Dome** applique des effets d'ombrage au canevas de la carte pour améliorer le rendu de la profondeur. Cela peut simplifier la distinction visuelle des différents éléments sur la carte. La profondeur de chaque pixel (sa distance par rapport à la caméra) est comparée à celle de ses pixels voisins. Chaque pixel est ensuite mis en évidence en fonction de cette différence de profondeur, ce qui fait ressortir les contours.

La qualité du rendu dépend de la propriété **ordre de dessin**. L'ordre de dessin *Défaut* peut donner des résultats sous-optimaux.

1. Choisissez l'ordre de dessin **du bas vers le haut**
2. Allez dans l'onglet **Rendu de l'ombrage**. Activez l'**ombrage de carte global** et l'**éclairage Eye-Dome**.



3. L'**intensité** augmente le contraste pour améliorer la perception de la profondeur. La **distance** correspond à la distance entre les pixels utilisés et le pixel central et a pour effet d'épaissir les contours.



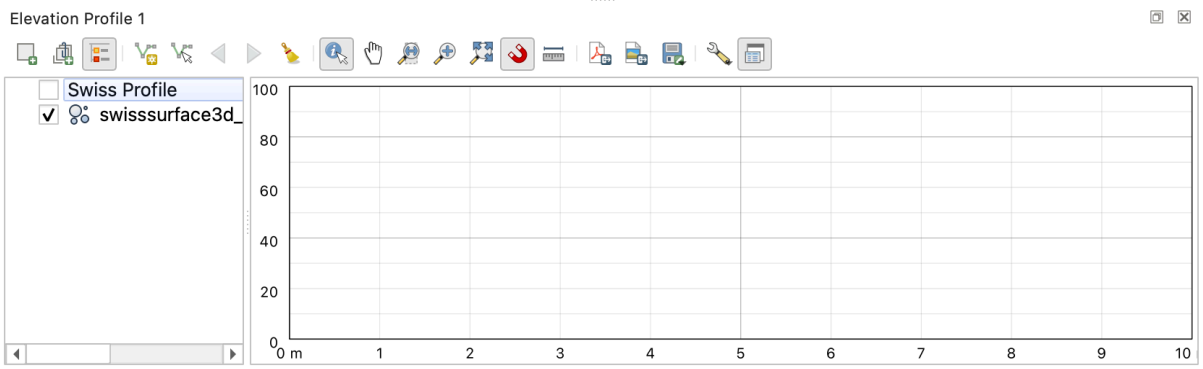
*Note : L'onglet **Rendu de l'ombrage** applique la configuration à toutes les couches de nuage de points du projet. Il est possible d'appliquer ces effets uniquement à une couche spécifique en utilisant les options **Eye-Dome Lighting** et **Hillshade** (ombrage) dans l'onglet **Symbologie**.*

Profile d'élévation

Le panneau **Profil d'élévation** est un outil graphique qui permet de visualiser une coupe transversale de vos données le long d'une ligne. Il prend en charge les couches vectorielles, raster, de maillage et de nuages de points. Les données peuvent être de type 2D ou 3D.

Vous allez maintenant créer un profil d'élévation de votre jeu de données de nuage de points.

1. Dans la barre de menus, choisissez **Vue** > **Profil d'élévation** > **Nouveau**. Le panneau s'ouvre en bas du canevas de la carte.



Note : Depuis QGIS 4.0, il y a un gestionnaire de profils d'élévation. Il fonctionne de la même manière que les gestionnaires des mises en page et des vues 3D. Vous pouvez ainsi enregistrer plusieurs profils d'élévation dans un projet QGIS, chacun avec un nom de votre choix.

La courbe du profil peut être tracée directement à l'aide de l'outil **Dessiner la courbe** , ou créée à partir d'une entité d'une couche de lignes existante avec l'outil **Capturer la courbe à partir d'une entité** .

Comme aucune couche de lignes n'est chargée dans le projet, utilisez la première méthode.

2. Cliquez sur le bouton **Dessiner la courbe**
3. Tracez la courbe dans le canevas de la carte, comme pour numériser une entité linéaire : faites un clic gauche pour ajouter chaque sommet, puis un clic droit pour terminer le tracé.
4. Le profil d'élévation du nuage de points s'affiche alors dans le panneau **Profil d'élévation**.
5. Les boutons **Pousser vers la gauche** et **Pousser vers la droite** permettent de décaler latéralement la courbe du profil. Le pas de décalage dépend de la **tolérance** définie (voir ci-dessous).
6. Cliquez sur le bouton **Options** pour accéder aux paramètres de la courbe du profil.

Verrouiller les échelles de distance/élévation : Maintient les échelles actuelles de distance et d'élévation fixes lors du zoom ou du déplacement dans la zone du graphique (pour qu'une pente de 45° s'affiche effectivement comme une pente de 45° dans la vue du profil). Lorsque le rapport d'échelle est déverrouillé, il est automatiquement ajusté pour afficher toute la longueur de la courbe du profil et l'ensemble de la plage d'élévation (comme avec un *zoom sur l'étendue totale*), et varie lors des zooms avant et arrière.

Scale Ratio : Définit le rapport entre les unités de distance et d'élévation utilisées pour l'échelle du profil.

Synchronize Layers to Project : Lorsque cette option est activée, les couches du profil d'élévation reprennent systématiquement l'organisation des couches du canevas principal de la carte, y compris leur ordre et leurs groupes. Toute modification dans le panneau Couches du projet est immédiatement répercutée dans le profil d'élévation. Cette option est désactivée par défaut.

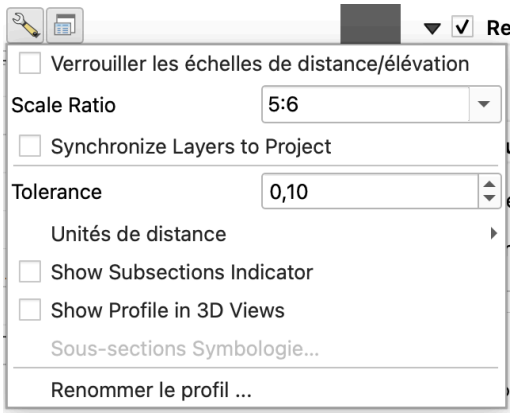
Tolerance : Définit la distance maximale à la courbe du profil à laquelle une entité vectorielle (point, ligne ou polygone) ou un point d'un nuage de points peut se trouver pour être inclus dans les résultats.

Unités de distance : Permet d'afficher les distances dans le graphique du profil dans des unités différentes de celles du canevas de la carte.

Show Subsections Indicator : Permet d'afficher des lignes verticales aux distances correspondant aux sommets de la courbe du profil, afin de repérer leur position dans le profil d'élévation. L'option **Sous-sections Symbology** devient active quand **Show Subsection indicators** est coché.

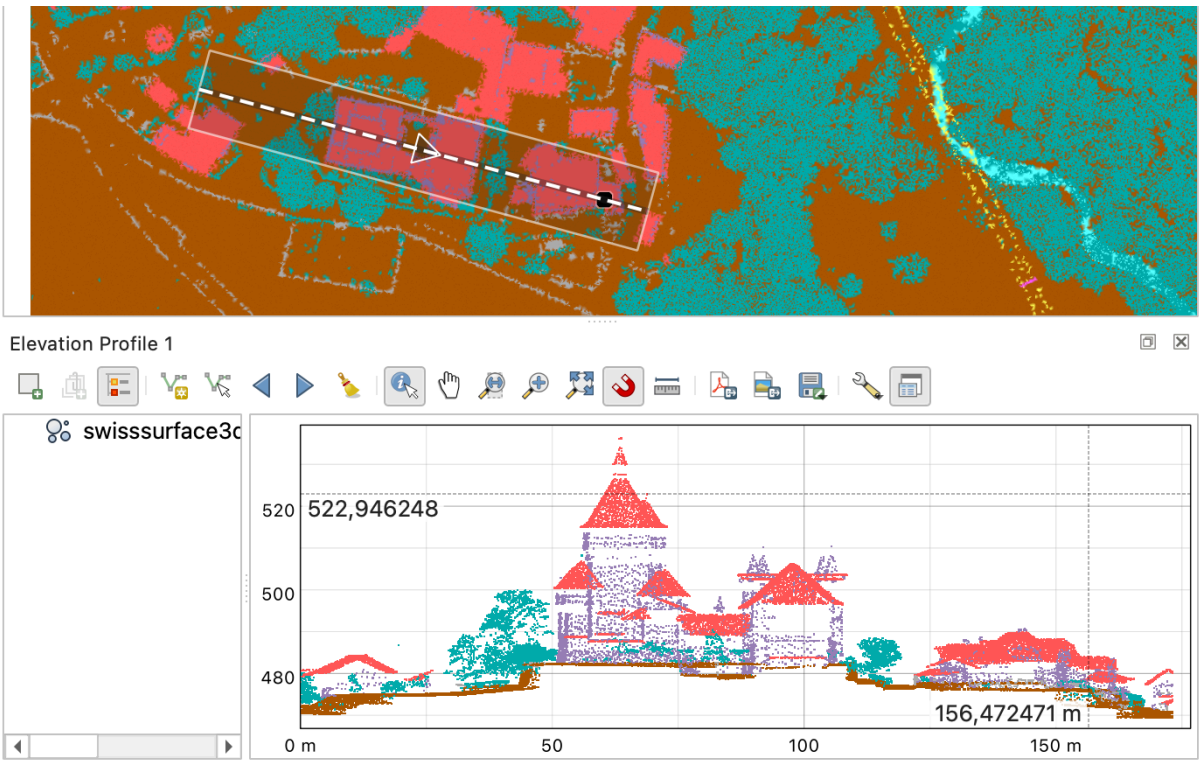
Show Profile in 3D Views : Affiche la courbe du profil d'élévation dans la vue cartographique 3D, ainsi que des géométries temporaires (polygones et lignes) qui suivent la position du curseur lors du survol du panneau du profil d'élévation.

Renommer le profil : Permet de renommer la vue du profil courant.



Note : les options du profil d'élévation seront retenues dans le profil utilisateur QGIS.

7. Augmentez la tolérance à 15. Vous allez voir la tolérance dans le canevas de la carte et avoir un meilleur rendu visuel dans le profil.



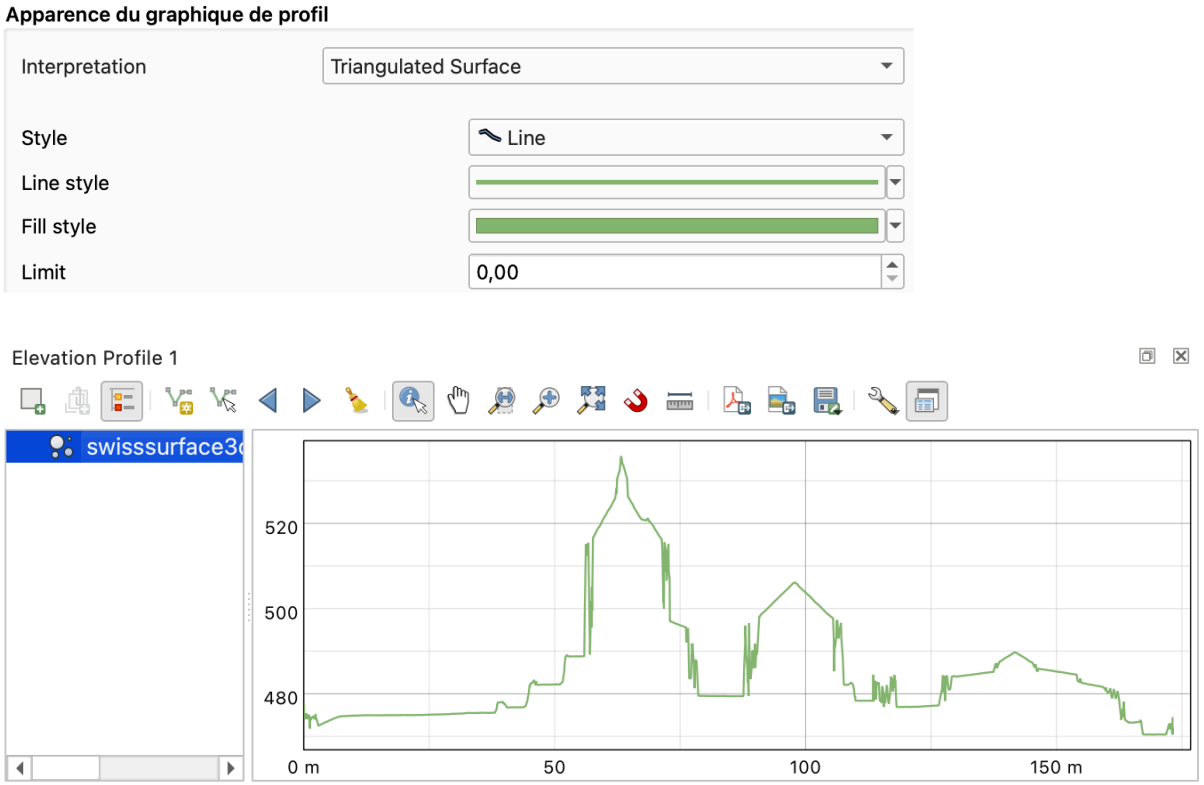
8. Cliquez sur Mesure de distance . Vous pouvez ainsi mesurer dans la vue du profil.

   Essayez p.ex. de mesurer la hauteur de la plus haute tour du château. L'**accrochage** est activé par défaut, l'outil mesure s'accroche donc à des vrais points.
9. Vous pouvez également **zoomer** et vous **déplacer** dans la vue du profil.
10. L'outil Identifier les entités permet d'interroger des points dans le profil. Vous verrez les résultats dans le panneau **Résultats de l'identification**. Les points seront aussi mis en valeur dans le canevas de la carte 2D.
11. Enregistrez votre projet !

Rendu de nuages de points comme ligne d'élévation continue

Depuis QGIS 4.0, il y a la possibilité de représenter un profil d'élévation d'un nuage de points comme une ligne continue au lieu de points individuels. Le rendu est donc similaire que pour les couches vecteur ou raster.

1. Dans le panneau de style de couche, dirigez-vous vers l'onglet **Élévation** Élévation
   Note : vous pouvez également faire un double-clic sur la couche de nuage de points dans la légende du profil d'élévation. C'est un raccourci pour ouvrir les propriétés de la couche à l'onglet Élévation.
2. Dans la section Apparence du graphique de profil, changez l'**interprétation** en **Surface triangulée** (Triangulated Surface).
3. Ensuite, définissez un style **Line**, **Fill Below** ou **Fill Above** combiné avec un **Fill Style**.



Optionnel : Dupliquez votre couche dans le panneau des couches principal et appliquez un filtre, p. ex. pour les points de sol. Définissez un style **Fill Below** dans l'onglet Élévation. Créez ensuite un nouveau profil qui combine le profil en ligne et le profil du style **Fill Below**, contenant uniquement les points du sol.

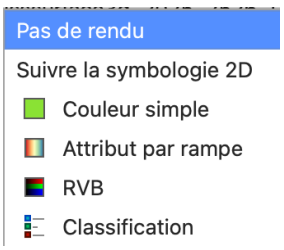
Visualisation des nuages de points en 3D

La création de vues 3D à partir de données de nuages de points est relativement simple. QGIS reconnaît automatiquement les propriétés d'élévation de la plupart des jeux de données de nuages de points.

Le panneau Style de couche comprend une section Vue 3D, dans laquelle vous pouvez configurer le rendu de la couche.

1. Dans le panneau **Style de couche**, ouvrez la section **Vue 3D**.
2. Sélectionnez l'option de rendu 3D par défaut : **Suivre la symbologie 2D**.

Note : vous pouvez également choisir un autre mode de rendu pour la vue 3D. Les options disponibles sont les suivantes :



Plus bas dans l'onglet **Vue 3D**, la section **Symbole ponctuel** permet de définir les paramètres généraux applicables à l'ensemble de la couche, quel que soit le mode de rendu choisi. Ces paramètres comprennent la **taille du point**, l'**erreur espace maximum** de l'écran et le **budget de points**.

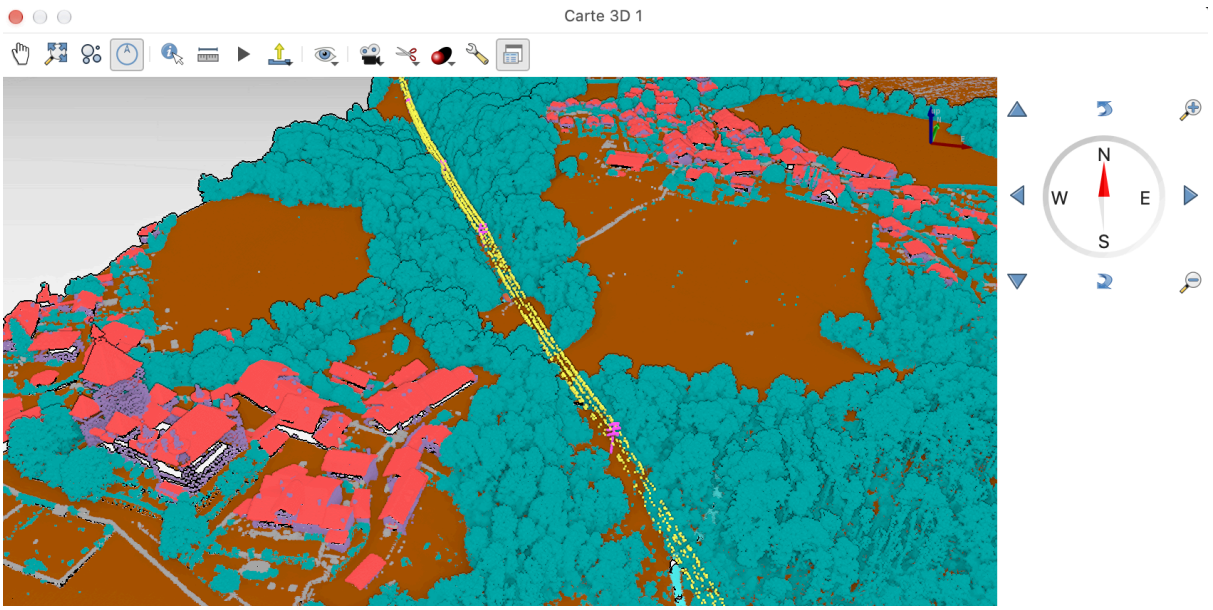
Taille du point : définit la taille, en pixels, de chaque point affiché.
Erreur espace maximum de l'écran : contrôle la densité d'affichage du nuage de points à l'aide d'un seuil exprimé en pixels. Une valeur élevée (par exemple 10) laisse apparaître des espaces entre les points. Une valeur faible (par exemple 0) peut entraîner l'affichage d'un nombre inutilement élevé de points et ralentir le rendu.
Budget de points : définit le nombre maximal de points affichés afin de limiter le temps de rendu.

3. Garder les paramètres par défaut dans la section **Symbole ponctuel**
4. Dans le menu, allez vers **Vue** > **Vue 3D** > **Nouvelle Vue Cartographique 3D**
5. La vue 3D s'ouvre. Comme pour le profil d'élévation, vous pouvez choisir de d'ancrer ou non ce panneau.



6. Cliquez sur le bouton **Effets**  et testez l'**éclairage Eye Dome Lighting**. Comme nous l'avons déjà vu dans le canevas de la carte 2D, cela ajoute des effets d'ombrage pour un meilleur rendu de la profondeur (plus de définition et de texture). Testez également la combinaison **Eye Dome Lighting** et **Occlusion ambiante**.

   Occlusion ambiante : effet post processing qui amplifie également la perception de la profondeur en ajoutant des ombrages dans les zones qui sont moins exposées à la lumière ambiante. Peut être combiné avec le Eye Dome Lighting.
   Montrer les ombres : afficher les ombres dans la scène.
   Bloom lighting effect : pour éclaircir la scène 3D, notamment les objets autoéclairés, en leur donnant l'apparence d'émettre de la lumière. S'applique moins aux nuages de points.



Navigation 3D

Vous pouvez maintenant naviguer dans la vue 3D. Le plus simple est généralement d'utiliser le panneau de navigation avec sa boussole, situé à droite de la fenêtre, ou la souris :

- Maintenez le bouton central (la molette) enfoncé et déplacez la souris pour incliner la scène ou la faire pivoter.
- Maintenez le bouton gauche enfoncé et déplacez la souris pour déplacer la vue dans toutes les directions.
- Maintenez le bouton droit enfoncé et déplacez la souris pour effectuer un zoom avant ou arrière.

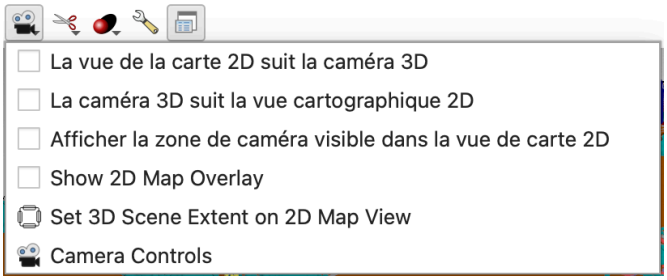
Si vous n'utilisez pas le panneau de navigation, vous pouvez le masquer en cliquant sur le bouton correspondant  .

*Note : pour afficher des nuages de points ou d'autres données 3D ne nécessitant pas de terrain, il est préférable de définir le type de terrain sur **Aucun**, afin d'éviter l'affichage d'un plan indésirable dans la vue 3D.*

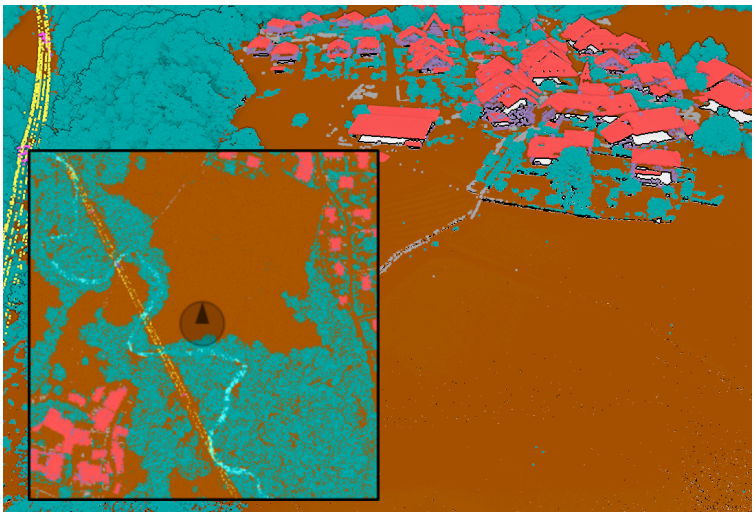
- Incliner le terrain (rotation autour d'un axe horizontal passant par le centre de la fenêtre) :
    - Utilisez les outils **Incliner vers le haut** et **Incliner vers le bas**. 
    - Maintenez la touche `Maj` enfoncée et utilisez les touches **Flèche haut** / **Flèche bas**.
    - Maintenez le bouton central de la souris enfoncé et déplacez la souris vers l'avant ou vers l'arrière.
    - Maintenez la touche `Maj` et le bouton gauche de la souris enfoncés, puis déplacez la souris vers l'avant ou vers l'arrière.
- Faire pivoter le terrain (rotation autour d'un axe vertical passant par le centre de la fenêtre) :
    - Tournez la boussole du panneau de navigation pour orienter la vue dans la direction souhaitée.
    - Maintenez la touche `Maj` enfoncée et utilisez les touches **Flèche gauche** / **Flèche droite**.
    - Maintenez le bouton central de la souris enfoncé et déplacez la souris vers la droite ou vers la gauche.
    - Maintenez la touche `Maj` et le bouton gauche de la souris enfoncés, puis déplacez la souris vers la droite ou vers la gauche.
- Déplacer la caméra et le centre de la vue dans un plan horizontal :
    - Maintenez le bouton gauche de la souris enfoncé et déplacez la souris lorsque le bouton **Contrôle de la caméra** est activé. 
    - Cliquez sur les flèches directionnelles du panneau de navigation.
    - Utilisez les touches Flèche haut / Flèche bas / Flèche gauche / Flèche droite pour déplacer la caméra respectivement vers l'avant, vers l'arrière, vers la gauche et vers la droite.
- Modifier l'altitude de la caméra : utilisez les touches Page précédente / Page suivante.
- Modifier l'orientation de la caméra (la caméra reste à la même position, mais le centre de la vue se déplace) :
    - Maintenez la touche `Ctrl` enfoncée et utilisez les touches fléchées pour orienter la caméra vers le haut, le bas, la gauche ou la droite.
    - Maintenez la touche `Ctrl` et le bouton gauche de la souris enfoncés, puis déplacez la souris.
- Effectuer un zoom avant ou arrière :
    - Cliquez sur les outils **Zoomer**  et **Zoom arrière**  du panneau de navigation.

    - Faites tourner la molette de la souris. Maintenez la touche `Ctrl` enfoncée pour un zoom plus fin.
    - Maintenez le bouton droit de la souris enfoncé et déplacez la souris vers le bas pour un zoom avant, ou vers le haut pour un zoom arrière.
- Pour réinitialiser la vue de la caméra, cliquez sur le bouton **Zoom intégral** , situé en haut du panneau de la vue 3D.

7. Il est possible de lier la vue 3D au canevas de la carte 2D de plusieurs façons à l'aide du bouton **Caméra** de la vue 3D. 



8. Il est également possible d'afficher dans la vue 3D une carte 2D en surimpression, centrée sur la position de la caméra 3D. Pour activer cette option, ouvrez **Configurer**, accédez à l'onglet **Caméra**, puis cochez **Show 2D map overlay**.

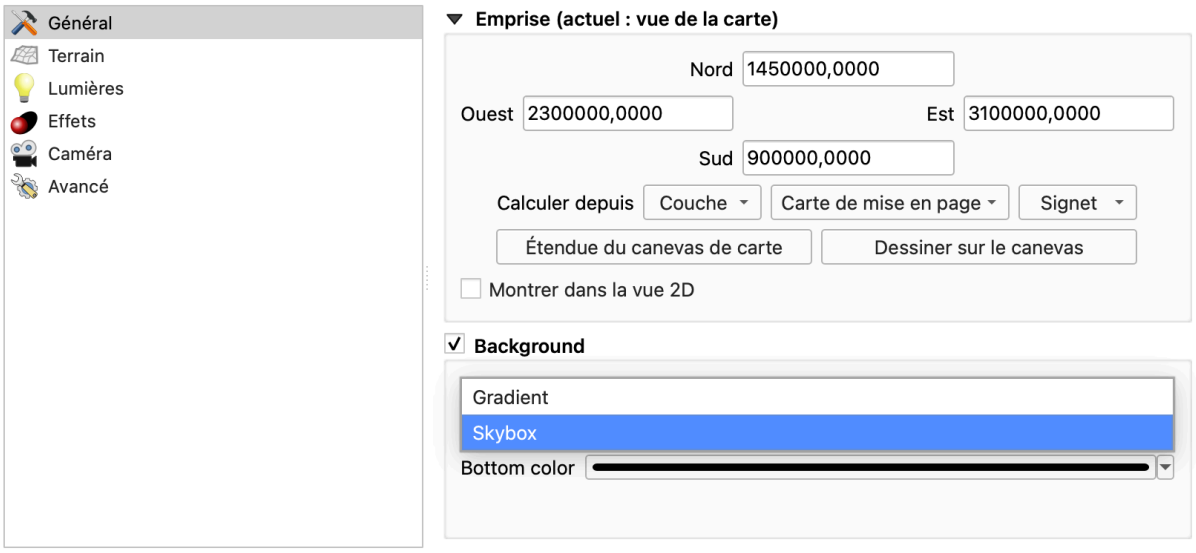


9. Changez dans **Configurer** > **Caméra** le **type de projection** en **perspective** et **orthogonale**. Quelle est la différence ?

   Projection en perspective (par défaut) : les lignes parallèles semblent converger au loin. Les objets paraissent plus petits à mesure qu'ils s'éloignent de la caméra.
   Projection orthogonale : les lignes parallèles restent parallèles. La taille apparente des objets reste identique, quelle que soit leur distance à la caméra.

10. Sauvegardez votre projet.

Optionnel : Dans la **Configuration 3D** > **Général**, un fond de plan de type **Gradient** ou de type **Skybox** peut être choisi pour rendre la scène plus réaliste.



Création de nuage de points virtuels (virtual point clouds, VPCs)

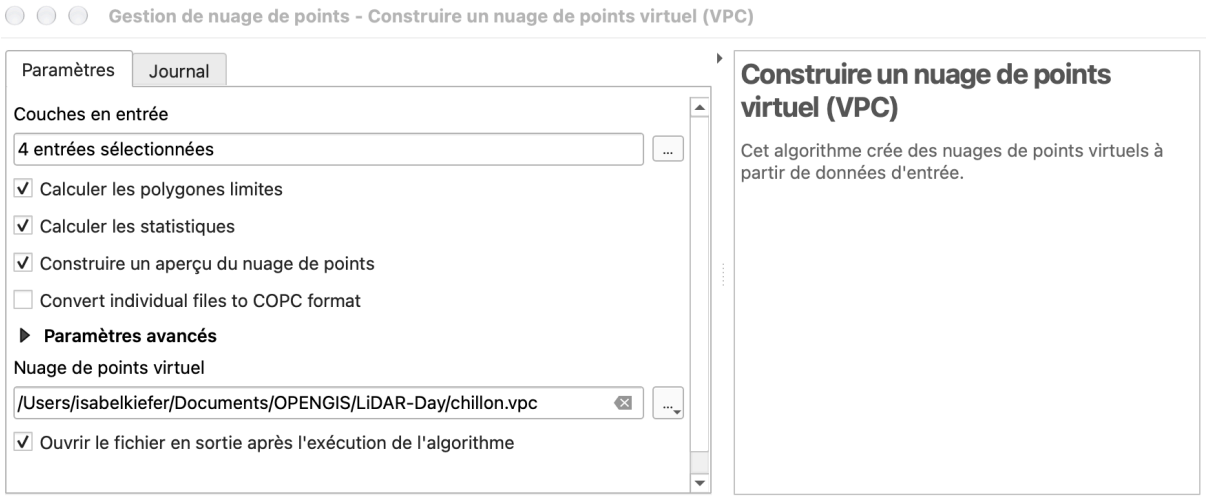
Les données de nuages de points sont souvent fournies sous forme de tuiles. Après avoir téléchargé un ensemble de tuiles, il peut être nécessaire de les fusionner pour poursuivre l'analyse. QGIS propose un outil **Fusionner** pour les nuages de points.

Les **nuages de points virtuels** permettent toutefois de créer une mosaïque sans fusionner physiquement les tuiles. Il suffit de créer un fichier VPC au format JSON, portant l'extension .vpc. Le principe est similaire à celui des rasters virtuels : le fichier VPC référence un ensemble de fichiers de nuages de points (*.LAZ, *.LAS, *.COPC). Vous pouvez ainsi travailler avec le nuage de points virtuel comme si toutes les tuiles sources avaient été fusionnées.

1. Démarrez un nouveau projet QGIS
2. Chargez les 4 tuiles du dossier *Chateau_Chillon*
3. Dans la boîte à outils, sélectionnez **Gestion des nuages de points** > **Construire un nuage de points virtuel**
4. Dans le dialogue, cliquez sur **Couches en entrée** ... pour sélectionner les 4 tuiles d'entrée > OK
5. Dans le dialogue principal, cochez les options **Calculer les polygones limites**, **Calculer les statistiques**, **Construire un aperçu du nuage de points**.

   Les polygones limites ne couvrent que les zones contenant des points. Ils ne sont donc pas nécessairement rectangulaires, contrairement à l'emprise.
   Le calcul des statistiques est utile pour la visualisation et le traitement des données.
   Le nuage de points de vue d'ensemble est comparable aux pyramides des rasters : il permet de visualiser efficacement les données du nuage de points à différents niveaux de zoom.

6. Enregistrer le résultat dans le dossier de projet, choisissez l'extension de **fichier .vpc**
7. Appuyez sur le bouton **Run** puis fermez le dialogue après le traitement.

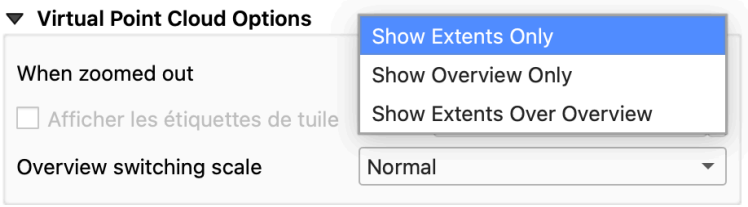


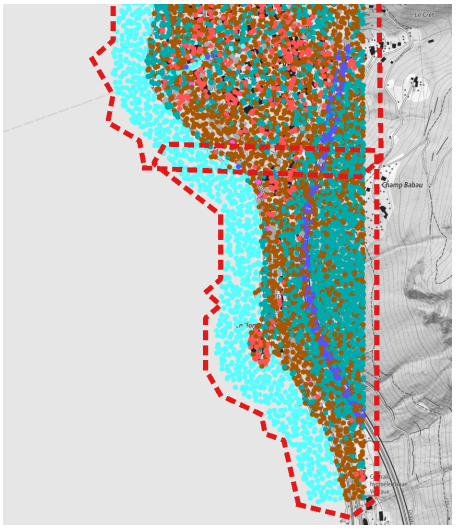
Note : Si vous ne cochez aucun des paramètres facultatifs, le fichier VPC sera créé très rapidement, car l'algorithme ne lira que les métadonnées des fichiers d'entrée. Si au moins l'un de ces paramètres est activé, l'algorithme lira tous les points, ce qui peut prendre un certain temps.

8. Supprimez les couches de nuage de points individuelles du panneau des couches.

Comme nous avons activé l'option **Créer un nuage de points de vue d'ensemble**, nous voyons une vue d'ensemble à résolution réduite, tandis que le VPC utilise le rendu **Emprises uniquement**. Cette **vue d'ensemble** est un nuage de points de densité réduite, plus rapide à afficher et suffisamment détaillé pour vous permettre de vous repérer.

9. Dans le panneau **Style de couche**, repérez la section **Options du nuage de points virtuel**. Vous pouvez choisir le mode d'affichage **Lors d'un zoom arrière** : **Afficher uniquement les emprises**, **Afficher uniquement les vues d'ensemble** ou **Afficher les emprises par-dessus la vue d'ensemble**. Testez chacun de ces réglages.





10. Si vous zoomez à l'intérieur, vous verrez apparaître le jeu de données complet (pas la vue d'ensemble).
11. Activez **Render as a surface (Triangulate)**
12. Enregistrez votre projet.

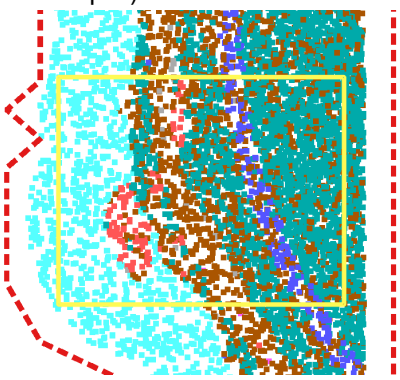
Utiliser les outils de traitement pour les nuages de points

Objectif : Créer un modèle numérique de surface (MNS) et un modèle numérique de terrain (MNT) d'une zone autour du Château de Chillon.

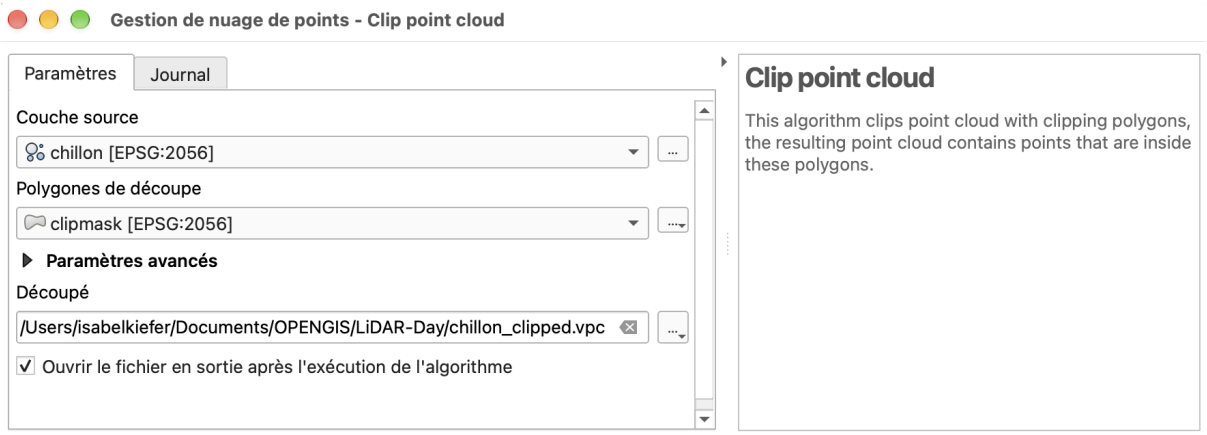
Clip

La première étape consiste à couper une zone autour du château.

1. Ajoutez le fichier clipmask.gpkg au projet.
2. Changez le style pour afficher uniquement la bordure (**Type de symbole** : Bordure : ligne remplie).



3. Ouvrez la boîte à outils de traitement, trouvez **Gestion de nuage de points** > **Clip point cloud**. Double-clic.
4. Sélectionnez le nuage de points virtuel créé dans le chapitre précédent comme **Couche source**. Choisissez la couche clipmask comme **Polygones de découpe**.
5. Définissez un fichier de sortie (format vpc) et cliquez sur **Run** puis **Close**.



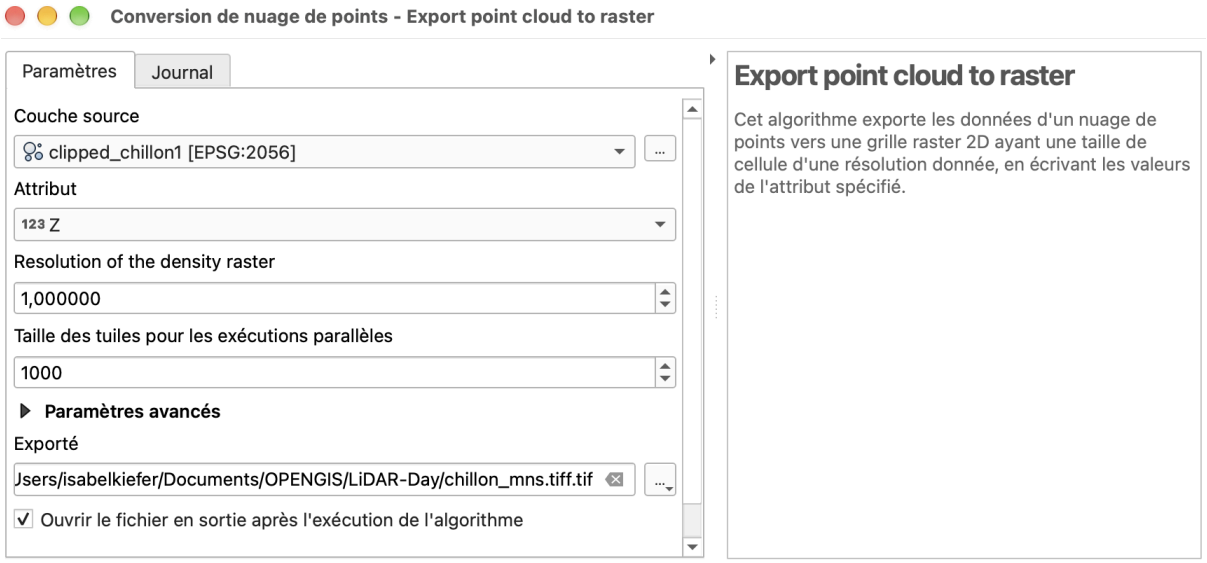
Note : il est possible d'appliquer un filtre dans les paramètres avancés afin de limiter le résultat à un sous-ensemble du jeu de données.

6. Le rendu s'affiche en **Emprise uniquement** (à cause du format .vpc). Il faut beaucoup zoomer pour voir les points.
   Dans la section **Virtual Point Cloud Options** de la symbologie de la couche, vous pouvez choisir **Overview switching scale** > **Much earlier** pour voir les points à un niveau de zoom moins élevé (depuis QGIS 4.0).

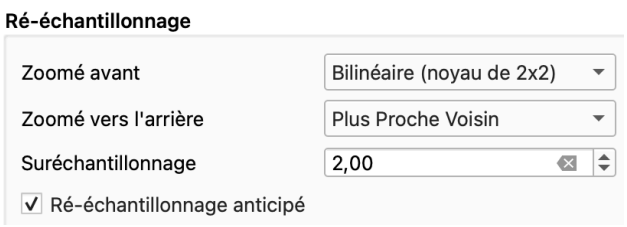
Exporter au format raster

Nous allons faire un premier export en raster utilisant toutes les classes du nuage de points. Nous obtiendrons un modèle numérique de surface (MNS). En théorie, nous devrions déjà exclure quelque classes (telles que les fils électriques etc.), mais par simplification, nous allons les garder toutes pour cette étape.

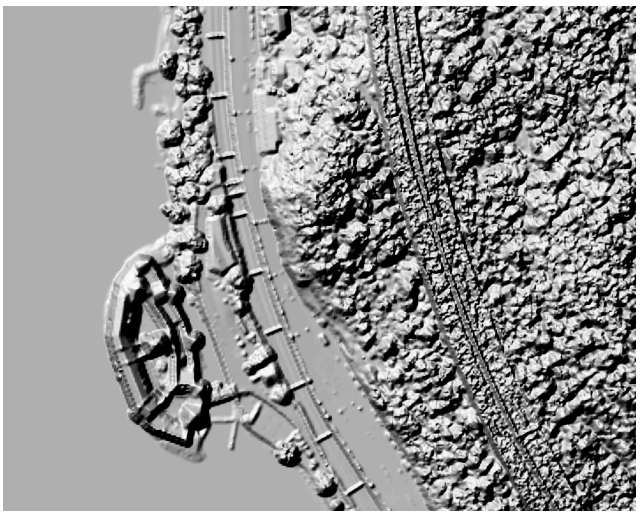
1. Dans la boîte à outils de traitement , ouvrez le dialogue de **Conversion de nuage de points** > **Export point cloud to raster**
2. Choisissez votre fichier .vpc découpé de l'étape précédente comme **Couche source**.
3. Attribut : `Z` et résolution : 1.
4. Définissez le fichier exporté (en .tif).



5. **Run** puis **Close**.
6. Dans le panneau de style de couche, activez l'**Ombrage** (au lieu de Bande grise unique).
7. Changez le **ré-échantillonnage**, mettez **Zoomé avant** > **Bilinéaire** (pour ignorer les artefacts) et cochez la case **Ré-échantillonnage anticipé**.



8. Regardez le résultat !



Optionnel : Répétez le processus avec une meilleure résolution (0.5) pour voir l'effet sur le résultat.

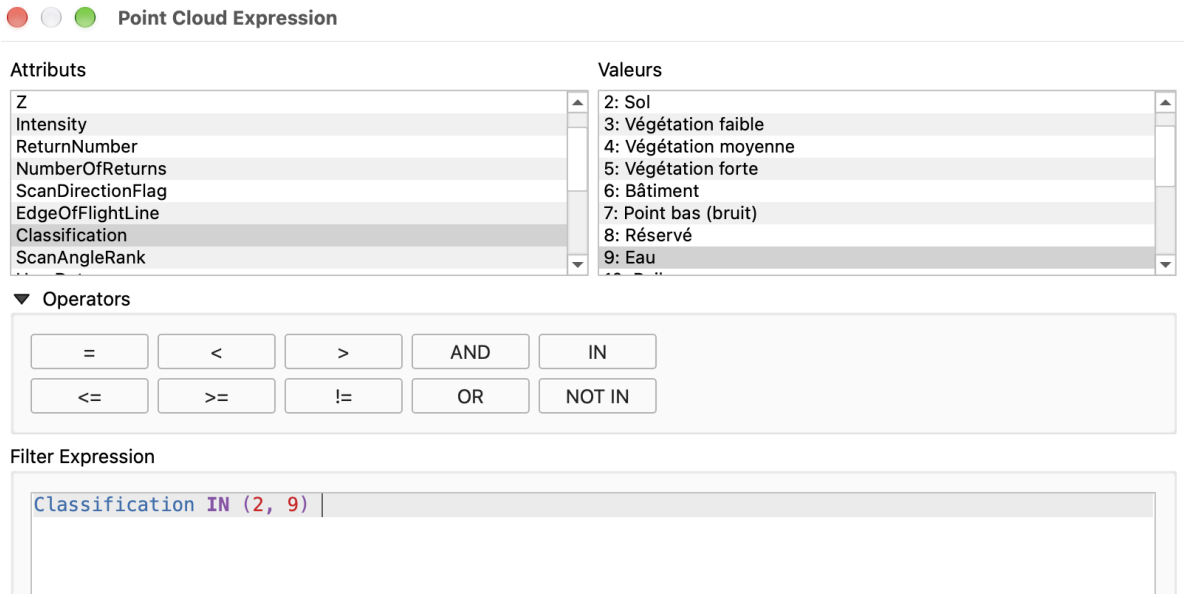
*Note : La boîte à outils de traitement comporte une section **Historique** . Avec un double-clic sur le dernier outil utilisé il ne reste plus qu'à modifier la résolution de densité et le nom du fichier de sortie. Vous pouvez également copier le style du résultat à 1 m et le coller sur les résultats à plus haute résolution. Cliquez avec le bouton droit sur la couche et sélectionnez **Styles** > **Copier le style** dans le menu contextuel. Puis clic-droit sur la couche à 0.5 m, **Styles** > **Coller le style**.*

Exporter au format raster (avec triangulation)

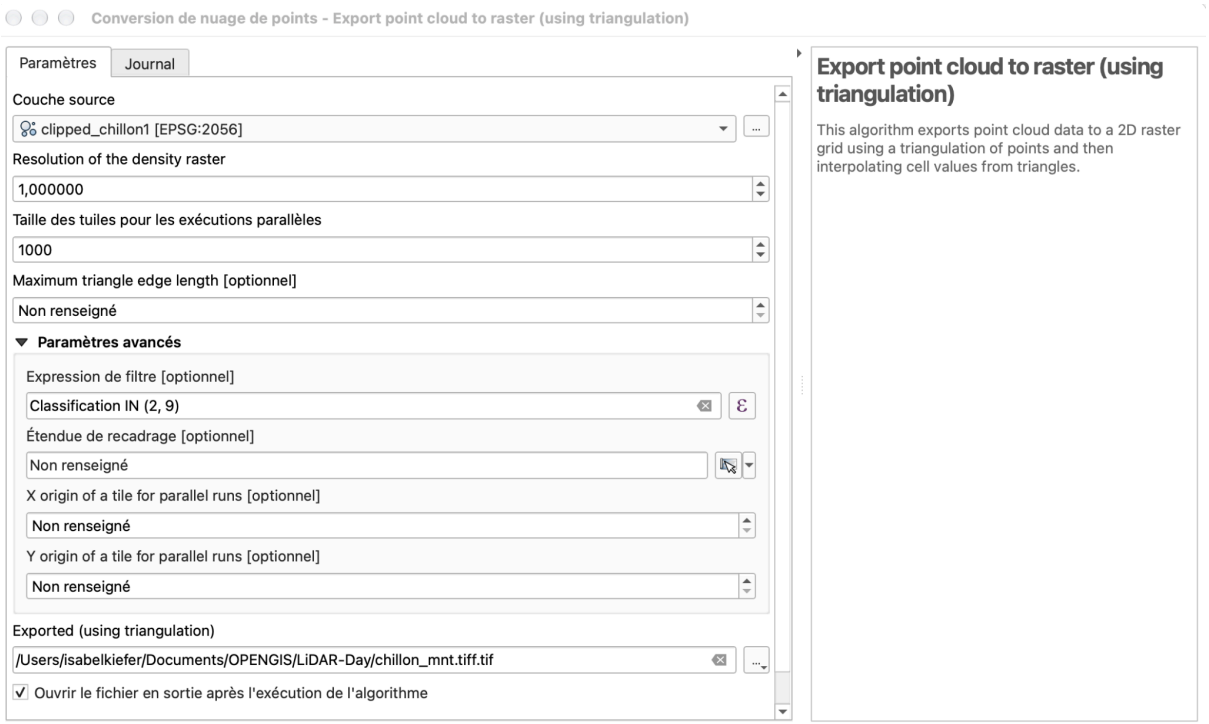
L'outil **Export point cloud to raster (using triangulation)** utilise une autre méthode d'interpolation : le réseau triangulé irrégulier (TIN). Cette méthode permet de représenter une surface continue, telle que le terrain, à l'aide d'un réseau de triangles qui ne se chevauchent pas. Les sommets de ces triangles correspondent aux points du nuage de points. La surface triangulée est ensuite interpolée pour produire un raster.
Notez que cet algorithme de traitement est nettement plus lent que l'outil **Export point cloud to raster**.

Nous allons maintenant produire un modèle numérique de terrain (MNT).

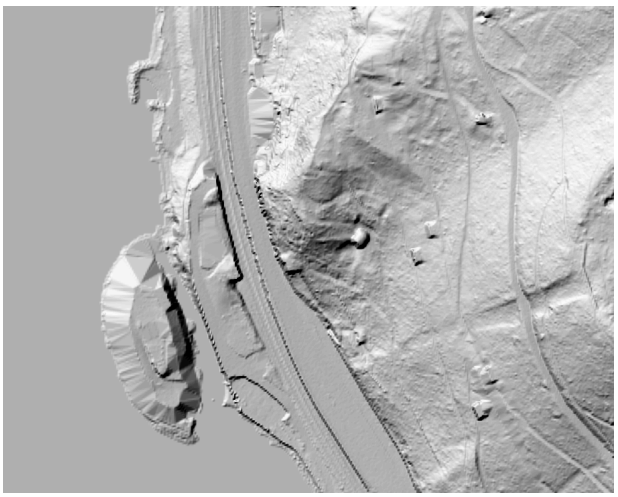
1. Ouvrir l'outil **Conversion de nuage de points** > **Export point cloud to raster (using triangulation)**
2. Utilisez la même couche d'entrée qu'au chapitre précédent
3. Dépliez **Paramètres avancées** et cliquez sur le bouton pour arriver au constructeur d'**expressions**. ε
4. Composez l'expression `Classification IN (2, 9)` (en commençant par double-clic sur l'attribut `Classification`). Ainsi, nous prenons en compte uniquement les points des classes *Sol* et *Eau*. Ensuite cliquez sur **OK**.



5. Définissez le fichier de sortie (en .tif)



6. **Run** puis **Close**.
7. Appliquez le style d'**ombrage** et configurez le ré-échantillonnage comme pour le MNS.
8. Regardez le résultat !

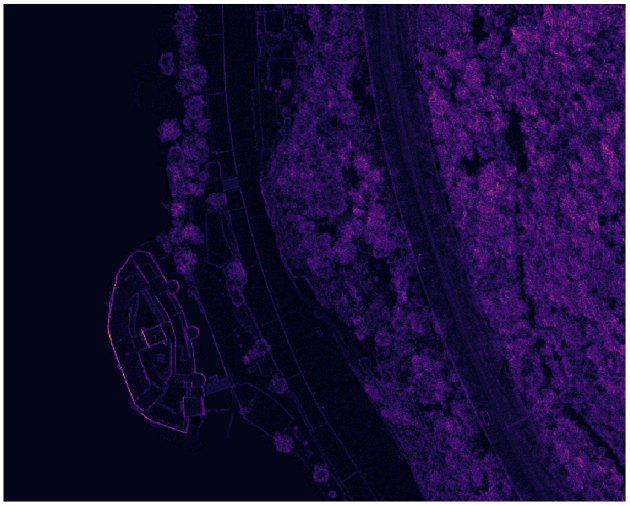


Calculer la densité (optionnel)

L'algorithme de traitement **Point Cloud density** exporte un fichier raster dans lequel chaque cellule contient le nombre de points qui se trouvent dans la zone de cette cellule.

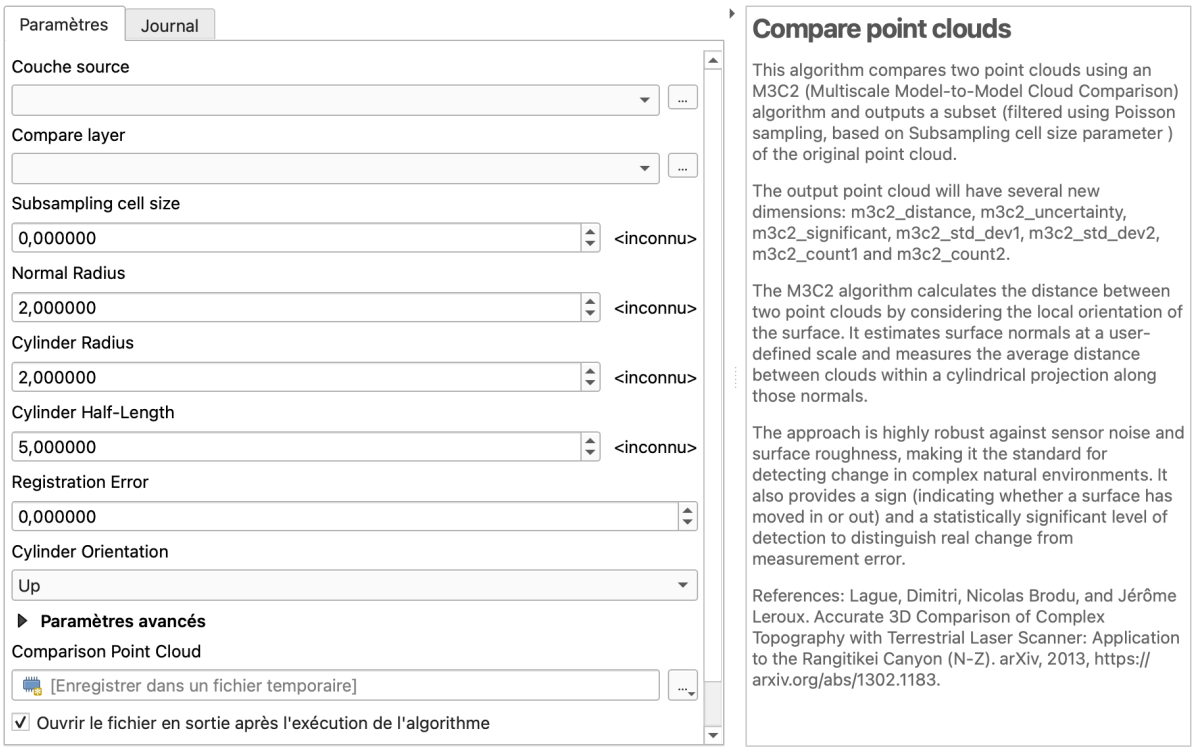
1. Dans la boîte à outils de traitements, ouvrez l'algorithme **Extraction de nuages de points** > **Point cloud density**.
2. **Couche source** : chillon_clipped, **résolution** du raster de densité : 0,5
3. Garder la valeur par défaut pour la taille des tuiles pour les traitements en parallèle
4. Définissez le fichier de sortie (en .tif)
5. **Run** puis **Close**.
6. Changez le style en **Pseudo-couleur en bande unique** et sélectionnez la palette de couleur **Magma**. Adaptez les paramètres de valeurs Min/Max si nécessaire.





Comparer des nuages de points

Un nouvel algorithme (depuis QGIS 4.0) permettant de comparer deux couches de nuages de points est disponible. Il utilise la méthode M3C2 (Multiscale Model to Model Cloud Comparison), qui calcule les distances entre deux nuages de points 3D suivant les normales aux surfaces estimées localement, plutôt que selon une direction de projection fixe. Cette méthode travaille à plusieurs échelles pour estimer de manière robuste l'orientation des surfaces et les distances signées. Elle est donc particulièrement adaptée à la détection de changements sur des surfaces 3D complexes, telles que les parois rocheuses ou les berges de cours d'eau.



Editer des nuages de points

La fonctionnalité la plus récente est la possibilité de modifier les jeux de données de nuages de points. Les principales fonctions d'édition ont été introduites dans QGIS 3.42, puis enrichies dans QGIS 3.44. L'édition s'effectue dans la vue 3D.

Note : avec QGIS ≥4.0, il est possible de modifier les données de nuages de points au sein de nuages de points virtuels (VPC), à condition que le fichier VPC et les fichiers de données COPC auxquels il fait référence soient disponibles localement, et non hébergés sur un serveur distant. Seuls les attributs des points peuvent être modifiés, pas leur position.

Cette thématique n'est pas traitée dans cet atelier, plus d'informations peuvent être trouvées dans la documentation officielle de QGIS.
https://docs.qgis.org/testing/en/docs/user_manual/working_with_point_clouds/point_clouds.html#editing-point-clouds-layers (lien vers la version testing qui inclus les toutes dernières fonctionnalités)
Ou dans des tutoriels en-ligne, p. ex.
https://courses.gisopencourseware.org/mod/book/tool/print/index.php?id=1389#ch3423

Données SwissSURFACE3D en RVB

Les données mises à disposition par swisstopo sont classifiées, mais ne contiennent pas d'information de couleur RVB. Un outil open source permet de coloriser ces nuages de points à partir d'orthophotos.
https://github.com/CharlesGaydon/Colorize-SwissSURFACE3D-Lidar/

Nouveautés QGIS ≥4.0

En addition aux nouveautés déjà mentionnées dans les chapitres précédents, QGIS 4.0 et supérieur a vu entre autres les intégrations suivants:

Algorithmes de traitement

- Height above ground
- Classify ground points
- Filter noise
- Transform point cloud

Features

- Meilleur support du format .vpc
- Ombrage et eye-dome lighting par couche, spécifiquement pour les nuages de points
- Modification des objets de type couleur associés aux données de nuages de points directement dans les expressions, à l'aide d'opérations arithmétiques simples
- Chargement des nuages de points virtuels hébergés sur un serveur distant. Cela facilite la diffusion de jeux de données volumineux : les utilisateurs n'ont plus besoin de télécharger le fichier .vpc au préalable, car QGIS s'en charge automatiquement.
- Des améliorations pour la 3D en général

Références

- Workshop QGIS User Conference 2026 par Kurt Menke, Working with Point Cloud Data in QGIS
- https://courses.gisopencourseware.org/
- QGIS User Guide (https://docs.qgis.org/testing/en/docs/user_manual/)
- Changelog QGIS (https://qgis.org/project/visual-changelogs)