Swiss LiDAR Day

SWISS LIDAR DAY 2026 CORRIGÉ

Atelier 4 : LiDAR et modèles numériques

Rendus et visualisations avancés avec des outils open source

ANIMATION
Corentin Junod & Raphael Würgler

DATE
10.11.2026

SOMMAIRE

1 Nuages de points **2**
1.1 Ce dont vous avez besoin 2
1.2 CloudCompare 2
1.3 Potree 7

2 Modèles raster **10**
2.1 Ce dont vous avez besoin 10
2.2 Rasters dans QGIS 10
2.3 Visualisations avancées avec l'extension RVT 12
2.4 Votre propre mélange archéologique dynamique 13
2.5 Avec du LiDAR mobile 15
2.6 Et avec un canton tout entier ? 16

Pour aller plus loin **18**

PARTIE 1

Nuages de points

Dans cette première partie, vous allez explorer différentes techniques de **visualisation et de valorisation de nuages de points** avec deux logiciels : **CloudCompare** et **Potree**.

Tous deux sont open source : ils peuvent être téléchargés et utilisés librement.

1.1 Ce dont vous avez besoin

Élément	Version / source
CloudCompare	2.13 ou plus récent, https://www.cloudcompare.org
Un navigateur web récent	Chrome, Firefox ou Edge
La tuile LiDAR d'exemple	http://sitn.ne.ch/web/sld2026/part1_lidar2025.laz

Si CloudCompare n'est pas encore installé, l'installateur se trouve sur le site officiel, dans la section *Latest stable release*, sous *CloudCompare Unified*. Lien direct pour Windows : https://www.cloudcompare.org/release/CloudCompare_v2.13.2_setup_x64.exe

1.2 CloudCompare

CloudCompare est un logiciel open source dont le développement a débuté en 2003, dans le cadre d'une thèse menée en collaboration entre Télécom Paris et EDF. Son code est disponible sur https://github.com/CloudCompare/CloudCompare et il est toujours activement maintenu.

C'est un outil de référence pour **visualiser et analyser des nuages de points et des maillages**, qui offre de nombreuses fonctions de traitement.

Charger un nuage de points

1. Démarrez CloudCompare.
2. Ouvrez la tuile LiDAR téléchargée avec *File › Open*, ou glissez-déposez-la dans la fenêtre de CloudCompare.
3. Une première fenêtre demande quels attributs charger. Laissez **tous les attributs cochés** et cliquez sur *Apply*.
4. Une seconde fenêtre propose d'appliquer un **décalage de coordonnées** (*global shift*). Il ramène les grandes coordonnées suisses à des valeurs plus faciles à gérer pour le logiciel ; le décalage inverse sera appliqué à l'enregistrement. Conservez le décalage proposé et cliquez sur *Yes* : la tuile se charge.

> **Pourquoi un décalage global ?**
> Les ordinateurs stockent les coordonnées avec une précision limitée, généralement sur 32 bits, soit environ 7 chiffres significatifs. Avec une valeur comme 2'550'500 m, les centimètres seraient perdus et des erreurs de calcul apparaîtraient. CloudCompare soustrait donc un décalage constant pendant le traitement, puis restaure les coordonnées d'origine à l'export.

Navigation

Action	Souris
Tourner	Bouton gauche
Déplacer	Bouton droit
Zoomer	Molette
Définir le centre de rotation	Double-clic sur un point
Agrandir / réduire les points	Survoler le coin supérieur gauche de la vue 3D, puis + / −

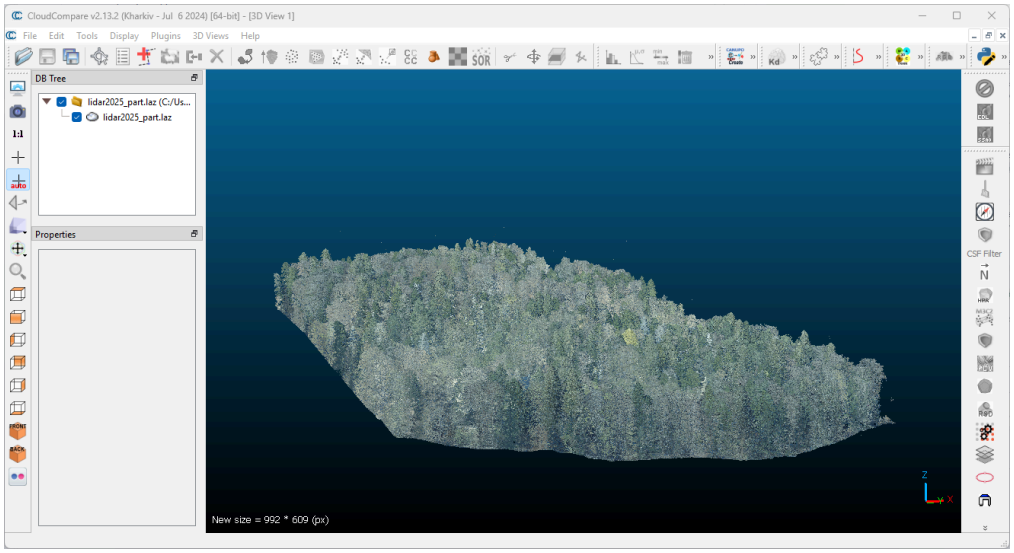


Fig. 1 Tuile juste ouverte, colorisation RVB par défaut

La vue par défaut est **orthographique**. Pour passer en **perspective**, cliquez sur le bouton de la barre d'outils de gauche, puis choisissez *Object-centered perspective*.

Améliorer le rendu avec des ombrages

En se déplaçant dans la tuile, on peine à distinguer ce qu'elle contient : tout paraît **plat**, et on ne voit pas quels éléments se trouvent devant les autres.

CloudCompare propose deux *shaders* (des effets de rendu calculés en temps réel par la carte graphique) pour améliorer la lecture du relief. Ils se trouvent dans le menu *Display › Shaders & Filters* :

- *EDL shader* : l'**Eye-Dome Lighting**, qui assombrit les bords des objets en fonction des différences de profondeur ;
- *SSAO shader* : l'**occlusion ambiante en espace écran** (*Screen Space Ambient Occlusion*), qui assombrit les zones recevant moins de lumière ;
- *Remove filter* : désactive le shader actif.

Essayez successivement les deux shaders, en faisant varier la taille des points avec l'un et l'autre (boutons + / − en survolant le coin supérieur gauche de la vue 3D).

QUESTION 1

En comparant les deux shaders, que constatez-vous ? Lequel donne le meilleur rendu, et dans quelle situation ?

RÉPONSE

- L'EDL produit un effet de « détourage » de tous les éléments : les objets se détachent nettement les uns des autres. En revanche, les ombrages ne sont pas très réalistes.
- Le SSAO assombrit les creux et donne une impression de volume plus naturelle, mais seulement si les points forment une surface continue : il faut donc des points assez gros.

Afficher les attributs et jouer avec l'histogramme

Le nuage est actuellement colorisé selon ses **couleurs RVB**, mais chaque point contient d'autres attributs. Pour les afficher :

1. Sélectionnez le nuage dans le *DB Tree* (panneau de gauche).
2. Dans le panneau *Properties*, sous *Colors*, choisissez *Scalar field*.
3. Dans la section *Scalar Fields*, la liste *Active* définit l'attribut utilisé pour la colorisation. Choisissez l'**intensité** du retour laser (*Intensity*), normalement sélectionnée par défaut.
4. Le rendu en niveaux de gris est difficile à lire : dans la section *Color Scale*, choisissez un dégradé plus contrasté, par exemple *Blue* > *White* > *Red*.

Plus bas, la section *SF display params* affiche la **distribution des valeurs d'intensité**.

QUESTION 2

Cette distribution est **bimodale** : elle présente deux pics. En observant le nuage de points, à quoi correspondent-ils selon vous ?

RÉPONSE

Les deux pics correspondent à deux grandes familles de surfaces qui réfléchissent différemment le laser : le sol et la végétation. Les points de sol sont des retours francs sur une surface, tandis que dans la végétation, l'énergie du faisceau est répartie entre plusieurs retours partiels (feuilles, aiguilles, branches), d'où une intensité différente. On remarque aussi que la séparation n'est pas parfaitement nette : certains points du feuillage ont une forte intensité de retour, et certains points du sol une faible intensité.

Pour vous aider, modifiez la répartition des couleurs en déplaçant les curseurs de l'histogramme :

- les **curseurs ronds** délimitent la plage affichée : les points hors de cette plage apparaissent en gris ;
- les **curseurs triangulaires** déplacent le dégradé de couleurs sur l'histogramme ;
- combinez-les avec les shaders pour mieux percevoir le relief.

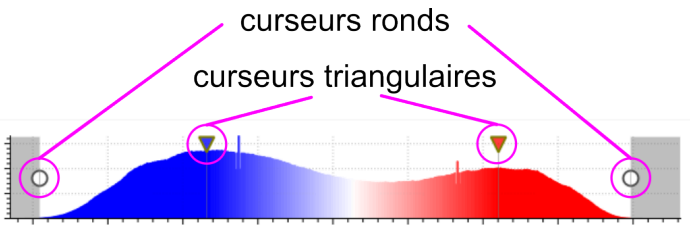


Fig. 2 Histogramme de CloudCompare : les curseurs modifient la répartition des couleurs

QUESTION 3

Dans la végétation, deux types d'arbres semblent se distinguer. Qu'est-ce que cela révèle ? Aidez-vous des curseurs et des shaders.

RÉPONSE

Les arbres n'ont pas tous la même intensité : on distingue des **résineux** et des **feuillus**. On peut le constater à la forme des arbres : les conifères sont plus pointus. La différence est principalement due à la présence d'aiguilles chez les conifères, alors que les feuillus n'avaient pas leurs feuilles lors du vol LiDAR.

L'occlusion ambiante calculée

L'*Eye-Dome Lighting* et le *SSAO* sont conçus pour être **très rapides**, presque en temps réel. Ce ne sont toutefois que des **approximations** du comportement réel de la lumière.

CloudCompare permet aussi de calculer une véritable **occlusion ambiante** (parfois appelée *RTAO*, pour *Ray-Traced Ambient Occlusion*) : pour chaque point, on lance des rayons dans toutes les directions du ciel et on mesure la part qui n'est pas bloquée. Contrairement à l'EDL et au SSAO, il s'agit d'un **calcul** dont le résultat est enregistré comme un nouvel attribut (champ scalaire) du nuage.

1. Sélectionnez le nuage de points dans le *DB Tree*.
2. Ouvrez *Plugins* › *PCV* (pour *Portion de Ciel Visible*).
3. Réglez le nombre de rayons à `128`. Si le calcul est trop long, annulez-le et réduisez cette valeur.
4. Cliquez sur *OK* et patientez : le calcul prend un certain temps.
5. Désactivez les shaders (*Remove filter*). CloudCompare affiche normalement le nouvel attribut *Illuminance (PCV)* dès la fin du calcul ; sinon, sélectionnez-le comme champ scalaire actif et choisissez un dégradé de gris.
6. Réduisez la taille des points à l'écran.

QUESTION 4

Par rapport aux ombrages précédents (EDL, SSAO), quel est votre constat ? Quels sont les avantages et les inconvénients de chaque méthode ?

RÉPONSE

Le PCV donne un rendu bien plus réaliste et homogène : les micro-reliefs ressortent, et l'ombrage ne dépend ni du point de vue ni du zoom.

Méthode	Avantages	Inconvénients
EDL / SSAO	Instantanés, interactifs, aucun calcul préalable.	Approximatifs, dépendent de la vue et de la taille des points, artefacts (halos, bruit).
PCV	Très réaliste, indépendant de la vue.	Calcul long, résultat figé (à refaire si les données changent).

La classification

Pour l'instant, on voit surtout des arbres : les points du sol sont peu visibles. Les points étant **classifiés**, on peut les filtrer selon leur classe pour isoler le sol.

1. Sélectionnez le nuage dans le *DB Tree*. Dans le panneau *Properties*, réglez le champ scalaire actif (*Scalar Fields › Active*) sur *Classification*.
2. Ouvrez *Edit › Scalar fields › Filter By Value*.
3. Le sol porte la **classe 2** : dans la nouvelle fenêtre, définissez une plage (*Range*) de `2` à `2`.
4. Cliquez sur *Export*. Un nouveau nuage, suffixé `.extract`, apparaît dans le *DB Tree*.
5. Masquez le nuage d'origine (décochez-le) et affichez le nouveau nuage.

Affichez à nouveau l'intensité sur ce nuage du sol, et activez puis désactivez les shaders.

QUESTION 5

Avec l'intensité comme champ scalaire actif, que remarquez-vous dans l'histogramme ? Cela confirme-t-il votre intuition de la question 2 ?

RÉPONSE

L'histogramme du nuage de sol ne présente plus qu'un seul pic : l'autre a disparu avec la végétation. Cela confirme l'intuition de la question 2 : l'un des pics correspond au sol, l'autre à la végétation.

Affichez maintenant l'attribut *Illuminance (PCV)* du nuage du sol : tout semble noir. C'est normal : cet attribut a été calculé avec **tous les points**, y compris la végétation qui masquait le ciel.

Recalculer l'occlusion sur le sol uniquement

Pour obtenir le meilleur rendu du terrain, refaites le calcul d'occlusion ambiante **avec les seuls points du sol** :

1. Sélectionnez le nuage du sol dans le *DB Tree*.
2. Relancez *Plugins › PCV* avec les mêmes paramètres.
3. Affichez l'attribut *Illuminance (PCV)* en niveaux de gris.

QUESTION 6

Que voyez-vous maintenant ? Quels éléments sont apparus sur le nuage de points ?

RÉPONSE

Le micro-relief du terrain, invisible jusque-là sous la forêt, apparaît : chemins forestiers, ornières des engins de débardage, fossés, talus, murets. C'est exactement le principe des MNT utilisés en archéologie et en foresterie : retirer la végétation pour lire le sol.

1.3 Potree

Potree est un **visualiseur web** capable d'afficher de très grands nuages de points dans un navigateur. Grâce à une structure **multirésolution**, il ne charge que les points nécessaires à la vue courante.

Prise en main

Action	Effet
Clic gauche + glisser	Rotation autour du centre de la vue
Clic droit + glisser	Déplacement latéral
Molette	Zoom avant / arrière
Double-clic	Centrer et zoomer sur le point cliqué

Navigation dans Potree

La molette ajuste le zoom autour du centre de la vue. Pour vous rendre précisément à un endroit, **double-cliquez** dessus.

1. Ouvrez l'adresse suivante : https://sitn.ne.ch/lidar/?pointclouds=aerial-2025
2. Dans la barre latérale gauche, dépliez le menu *Apparence* :
   - faites varier le curseur *Nb points max* et observez comment les tuiles se chargent selon le nombre maximal de points affichés. Réglez-le ensuite au maximum de ce que supporte votre ordinateur ;
   - déplacez-vous dans le nuage et modifiez les paramètres de l'*Eye-Dome Lighting* : observez leur influence en temps réel.
3. Dans la section *Scene*, cliquez sur le nuage *SITN LiDAR 2025* dans la liste des jeux de données. Deux options apparaissent en dessous :
   - *Taille des points* : une valeur élevée donne un rendu plus continu, mais masque les petits détails ;
   - *Type de taille* : une taille identique pour tous les points (*FIXED*), ou ajustée selon la densité des points voisins (*ADAPTIVE*).

QUESTION 7

Quels sont les avantages de Potree par rapport à CloudCompare pour la visualisation ? Et ceux de CloudCompare ?

RÉPONSE

- **Potree** : rien à installer, accessible par une simple adresse web (facile à partager), affiche des milliards de points grâce au chargement multirésolution, fonctionne sur un ordinateur modeste, les données restent sur le serveur.
- **CloudCompare** : outil de traitement et d'analyse (filtres, calculs comme le PCV, segmentation, comparaisons, export), fonctionne hors ligne sur ses propres fichiers.

Juste en dessous des paramètres de taille, la section *Attribute* permet de changer l'attribut affiché. L'étendue des couleurs se règle avec le curseur *Range*.

La forêt

Zoomez sur le **bois de Charcotet**, à l'emplacement indiqué ci-dessous.



Fig. 3 Le bois de Charcotet, canton de Neuchâtel

QUESTION 8

En jouant avec le rendu de l'intensité, et compte tenu de vos observations dans CloudCompare, que pouvez-vous dire de cette forêt ? Qu'est-ce qui la distingue des forêts situées plus au nord du canton ?

RÉPONSE

L'intensité y fait ressortir une forte proportion de feuillus, reconnaissables à leur intensité plus faible que celle des résineux. Les forêts du nord du canton sont au contraire dominées par les résineux. L'intensité LiDAR permet ainsi de cartographier grossièrement la composition des forêts.

Les routes

1. Dans le menu de gauche, sous *Filters* › *Classification*, décochez toutes les classes sauf *ground* pour n'afficher que le sol.

2. Comme précédemment, affichez l'**intensité** et ajustez son étendue avec le curseur *Range*.
3. Zoomez sur une zone comportant des routes, par exemple autour de Neuchâtel.

QUESTION 9

Que voyez-vous sur les routes ? Réglez la vue pour faire ressortir au mieux ces éléments. Pourquoi n'avons-nous conservé que les points du sol ? Quel avantage cela procure-t-il ?

RÉPONSE

On voit les marquages routiers : la peinture renvoie beaucoup plus le faisceau laser que l'asphalte. Ne garder que le sol supprime ce qui masque la route vue d'en haut (arbres, véhicules, bâtiments, câbles).

Petite pause…

La partie suivante débute vers **15 h 15**, après la seconde partie théorique. Si vous êtes en avance, vous pouvez poursuivre votre exploration dans Potree, ou télécharger une tuile du LiDAR national de swisstopo (*swissSURFACE3D*, https://www.swisstopo.admin.ch/fr/modele-altimetrique-swisssurface3d) pour l'analyser dans CloudCompare.

PARTIE 2

Modèles raster

Dans cette partie, nous analysons des **modèles raster** dérivés des nuages de points, dans QGIS.

2.1 Ce dont vous avez besoin

Élément	Version / source
QGIS	3.34 LTR ou plus récent, https://qgis.org
Extension RVT	installée pendant l'atelier (section 2.3)
MNT d'exemple	https://sitn.ne.ch/web/sld2026/raster_MNT.tif

2.2 Rasters dans QGIS

1. Démarrez QGIS et créez un nouveau projet.
2. Vérifiez que le système de coordonnées (SCR) du projet est **EPSG:2056 (CH1903+ / LV95)**. Il s'affiche et se modifie en bas à droite de la fenêtre.
3. Ouvrez *Couche › Ajouter une couche › Ajouter une couche raster…* (*Layer › Add Layer › Add Raster Layer…*) et choisissez le fichier téléchargé `raster_MNT.tif`. Vous pouvez aussi le glisser-déposer sur la carte.

QUESTION 10

Le rendu par défaut est gris et assez plat. Pourquoi voit-on si peu de relief ?

RÉPONSE

Le rendu par défaut associe un niveau de gris à chaque altitude. Une variation locale de quelques décimètres ne correspond qu'à une fraction de niveau de gris : elle est invisible. De plus, l'œil perçoit le relief grâce à la lumière et aux ombres, que ce rendu ne simule pas.

Rampes de couleurs et histogramme

Ouvrez les propriétés de la couche (double-clic sur la couche), onglet *Symbologie* (*Symbology*).

Remplacez le type de rendu *Bande grise unique* par *Pseudo-couleur à bande unique* (*Singleband pseudocolor*) et choisissez une rampe de couleurs, par exemple *Turbo*.

Gardez le style toujours ouvert
Activez le panneau *Vue › Panneaux › Style de couche* (*View › Panels › Layer Styling*) : la symbologie de la couche sélectionnée reste affichée sur le côté et s'applique en direct, sans double-cliquer à chaque fois.

Quelques détails apparaissent, mais la rampe de couleurs s'étale sur toute la différence d'altitude du raster, soit plusieurs dizaines de mètres. Les **détails locaux**, de quelques décimètres, qui nous intéressent ici, restent donc presque invisibles.

Ombrage

1. Dans la liste des couches, dupliquez le MNT (clic droit › *Dupliquer la couche*).
2. Dans la symbologie de la copie, remplacez le type de rendu par *Ombrage* (*Hillshade*).
3. Faites varier les paramètres suivants :
   - *Azimut* (direction de la lumière) : 315°, puis 45°, puis 135° (la petite roue de l'interface se tourne à la souris) ;
   - *Altitude* (hauteur du soleil) : de 75° à 15° ;
   - *Facteur Z* (exagération verticale) : 1, puis 2, puis 3 ;
   - *Multidirectionnel* : activé, puis désactivé.

QUESTION 11
Lorsque vous changez l'azimut, tous les éléments restent-ils visibles ? Quel est le problème d'une source de lumière unique ? Comparez avec l'option *Multidirectionnel* activée.

RÉPONSE
Non : les éléments linéaires parallèles à la direction de la lumière ne sont ni éclairés ni ombrés et disparaissent presque, alors que ceux qui lui sont perpendiculaires ressortent fortement. Un hillshade multidirectionnel combine plusieurs directions d'éclairage : tous les éléments sont visibles quelle que soit leur orientation, au prix d'un rendu un peu moins contrasté et moins réaliste.

Et pourquoi les rasters ont-ils l'air pixélisés, vus de loin ?
Quand un raster doit être affiché à l'écran sur moins de pixels qu'il n'en comporte, il faut un moyen de réduire sa taille. Par défaut, QGIS affiche chaque pixel de l'écran avec la valeur d'**un seul** pixel du raster, choisi au plus proche (*Plus proche voisin*, *Nearest neighbour*). Vu de loin, les autres pixels sont ignorés et l'image paraît bruitée ; vu de près, on voit des carrés.

Dans la symbologie, section *Rééchantillonnage* (*Resampling*), réglez ***Zoom avant* et *Zoom arrière* sur *Bilinéaire*** (*Bilinear*) : chaque pixel affiché est alors une **moyenne pondérée des pixels voisins**, et le rendu devient lisse. Pensez-y pour toutes les couches de la suite de l'atelier.

2.3 Visualisations avancées avec l'extension RVT

La *Relief Visualization Toolbox* (**RVT**) a été développée par le Centre de recherche de l'Académie slovène des sciences et des arts (ZRC SAZU). Elle ajoute à QGIS de nombreux **rendus de relief avancés**, conçus à l'origine pour l'archéologie.

Installer l'extension (si ce n'est pas déjà fait)

1. Ouvrez *Extensions › Installer / Gérer les extensions…* (*Plugins › Manage and Install Plugins…*).
2. Recherchez *Relief Visualization Toolbox*.
3. Cliquez sur *Installer l'extension*.
4. Un bouton  apparaît dans la deuxième rangée de la barre d'outils. L'extension est aussi accessible depuis le menu *Raster › Relief Visualization Toolbox*.

Calculer les trois couches de base

1. Ouvrez RVT. En haut de la fenêtre, sélectionnez le **MNT d'origine**.
2. Dans l'onglet *Visualizations*, cochez :
   - *Slope gradient* (pente),
   - *Sky-View Factor*,
   - *Openness - Positive*.
3. Cliquez sur *Start* en bas de la fenêtre.

Le calcul démarre, même si aucune barre de progression ne l'indique dans la fenêtre de l'extension. Les résultats apparaissent dans QGIS après **3 à 4 minutes** environ.

> **Que montre chaque couche ?**
>
> - **Pente** : l'inclinaison du terrain. Bords de terrasses, talus et fossés ressortent nettement.
> - **Sky-View Factor (SVF)** : la part du ciel visible depuis chaque pixel, de 0 à 1. Les creux sont sombres, les crêtes claires. C'est l'équivalent raster de l'occlusion ambiante calculée dans la partie 1.
> - **Openness positive** : proche du SVF, mais mesurée par des angles et sans privilégier le haut. Les zones planes sont gris moyen, les formes convexes claires et les formes concaves sombres.

Observez les trois couches une par une, avec le même zoom sur la même zone.

QUESTION 12

Quelle visualisation fait le mieux ressortir chaque élément (chemin, fossé, mur, tertre…) ? Y en a-t-il une « meilleure » ?

RÉPONSE

Couche	Fait le mieux ressortir
Pente	Les bords de chemins, talus, terrasses, flancs de tertres et de murs. Indépendante de l'éclairage, mais ne distingue pas un creux d'une bosse.

Couche	Fait le mieux ressortir
SVF	Les fossés, chemins creux, dolines. Moins lisible sur les versants raides, assombris dans leur ensemble.
Openness positive	Les petites formes convexes et concaves partout, y compris en pente : murs et tertres en clair, fossés en sombre. Souvent la plus lisible pour le micro-relief.

Il n'y a pas de « meilleure » visualisation : elles sont **complémentaires**, chacune révélant un type de forme. C'est précisément pour cela que RVT propose de les combiner (VAT).

Rendus spécialisés pour l'archéologie

RVT propose aussi des **combinaisons prêtes à l'emploi**, qui mélangent plusieurs couches de base (pente, SVF, openness, ombrage…).

1. Rouvrez RVT, sélectionnez le MNT d'origine et allez dans l'onglet *Blender*.
2. Choisissez la combinaison (*Blender combination*) **VAT**, pour *Visualization for Archaeological Topography*.
3. Lancez le calcul : le résultat apparaît après quelques minutes, avec le suffixe `_VAT_general`.

L'onglet *Blender* affiche la « recette » de la combinaison : chaque couche, ses valeurs min / max, son mode de fusion et son opacité. Ce sont ces réglages que nous allons reproduire dans la section suivante.

2.4 Votre propre mélange archéologique dynamique

Objectif : reconstruire vous-même la VAT dans QGIS à partir des couches séparées, pour pouvoir l'**ajuster en direct** selon le terrain observé.

Le principe du mélange de couches

Dans QGIS, les couches sont dessinées **de bas en haut** : par défaut, chaque couche recouvre celles du dessous. Deux réglages permettent de les **combiner** au lieu de les superposer :

- l'**opacité** : une couche à 50 % laisse voir à moitié ce qui se trouve en dessous ;
- le **mode de fusion** : il définit comment la valeur de chaque pixel de la couche se combine mathématiquement avec l'image déjà dessinée en dessous.

Les trois modes utiles pour l'atelier :

Mode de fusion	Effet
Normal	La couche recouvre ce qui est dessous ; seule l'opacité laisse transparaître les couches inférieures.
Multiplier (*Multiply*)	Les valeurs sont multipliées : le blanc est neutre, le sombre assombrit. Idéal pour ajouter les **creux sombres** du SVF sans éclaircir le reste.

Mode de fusion	Effet
Incrustation (*Overlay*)	Assombrit les zones sombres et éclaircit les zones claires : le **gris moyen est neutre**. Idéal pour l'openness, dont les zones planes sont grises : seules les formes ressortent, et le contraste augmente.

Où trouver ces options ?

- **Mode de fusion et opacité** : propriétés de la couche › *Symbologie*, tout en bas, section *Rendu de couche* (*Layer Rendering*). Ils sont aussi accessibles dans le panneau *Style de couche*.
- **Min / max** : propriétés de la couche › *Symbologie*, en rendu *Bande grise unique*, champs *Min* et *Max*. Choisissez *Amélioration du contraste : Étirer jusqu'au MinMax* (*Stretch to MinMax*).
- **Inverser** : dans la même section, passez le *Dégradé de couleur* de *Noir vers blanc* à *Blanc vers noir*.
- **Ordre** : faites glisser les couches dans le panneau *Couches* ; la couche du haut de la liste est dessinée en dernier.

Le mode « Luminosité » n'existe pas dans QGIS

RVT utilise pour la pente un mode *Luminosity* qui n'a pas d'équivalent dans QGIS. Utilisez *Multiplier* : la pente inversée assombrit alors les talus, ce qui donne un résultat très proche.

À vous de jouer

1. Chargez les trois couches calculées par RVT (`…_SLOPE` , `…_SVF_R10_D16` , `…_OPEN-POS_R10_D16`).
2. Ajoutez un **ombrage** du MNT : dupliquez le MNT avec le rendu *Ombrage* de QGIS (*Azimut* 315°, *Altitude* 35°).
3. Ordonnez et réglez les couches selon la recette VAT ci-dessous, puis comparez votre résultat avec la couche `…_VAT_general` calculée par RVT.

Ordre	Couche	Min – max	Inverser	Mode de fusion	Opacité
1 (haut)	Sky-View Factor	0,7 – 1,0	non	*Multiplier*	25 %
2	Openness positive	68° – 93°	non	*Incrustation*	50 %
3	Pente	0° – 50°	**oui**	*Multiplier*	50 %
4 (bas)	Ombrage	automatique	non	*Normal*	100 %

Rendez ensuite votre mélange **dynamique** :

- modifiez le min / max du SVF et de l'openness ;
- modifiez les opacités ;
- vous pouvez même recalculer l'openness avec un autre rayon de recherche (paramètre *Search radius* de RVT, par exemple 5 px puis 30 px) et observer l'effet d'échelle.

Enregistrer vos réglages

Dans la liste des couches, placez les quatre couches dans un nouveau groupe (sélection › clic droit › *Grouper la sélection*). Enregistrez ensuite votre meilleur réglage comme **définition de couches** : clic droit sur le groupe › *Exporter* › *Enregistrer comme fichier de définition de couche…* (fichier `.qlr`). Pour le recharger plus tard, utilisez *Couche* › *Ajouter depuis un fichier de définition de couche…*

QUESTION 13

Que gagne-t-on à fusionner les couches dans QGIS plutôt qu'à utiliser la VAT pré-calculée ?

RÉPONSE

- On peut régler finement les paramètres de chaque couche et adapter le rendu à nos besoins.
- On comprend la contribution de chaque couche et on peut en ajouter d'autres (autre rayon d'openness, orthophoto, ombrage d'une autre direction).

En contrepartie, l'affichage est plus lourd à chaque rafraîchissement.

2.5 Avec du LiDAR mobile

Il est temps de mettre en pratique vos nouvelles connaissances, **en autonomie** !

Le fichier suivant est un **modèle d'élévation issu d'un LiDAR mobile**, c'est-à-dire d'un scanner embarqué sur un véhicule, qui parcourt les rues au lieu de les survoler. Il couvre une partie de la **vieille ville de Neuchâtel**, avec une résolution de **4 cm** par pixel, soit environ neuf fois plus fine que le MNT utilisé jusqu'ici (35 cm).

Élément	Source
Raster LiDAR mobile	https://sitn.ne.ch/web/sld2026/raster_lidarMobile.tif

Votre mission : analyser ce que contient ce raster en utilisant les outils vus dans cet atelier (rampes de couleurs, ombrages, RVT, mélanges de couches). Jusqu'à quel niveau de détail pourrez-vous aller ?

Quelques pistes, si vous manquez d'inspiration :

- En chargeant le raster, vous remarquerez qu'une grande partie est vide, sans données. Pourquoi ?
- Quels **éléments urbains** parvenez-vous à identifier : des maisons ? des escaliers ? des trottoirs ? Voit-on des choses sur la route ?
- Les routes sont plates, non ? Est-ce vraiment le cas ? Pourquoi ?
- Les paramètres RVT sont exprimés en **pixels**. Pouvez-vous utiliser les mêmes valeurs que pour le MNT ? Comment devez-vous les adapter ?

QUESTION 14

Quelles informations avez-vous pu extraire ? Quelle combinaison de rendus s'est révélée la plus efficace, et pourquoi ? Qu'apporte le LiDAR mobile par rapport au LiDAR aérien, et quelles sont ses limites ?

RÉPONSE

- Il s'agit d'un LiDAR mobile monté sur une voiture : tout ce qui n'est pas visible depuis la rue n'existe pas.
- On voit bien plus de détails qu'avec le LiDAR aérien : regards, grilles, marquages routiers, réparations de la chaussée, etc.
- En exagérant l'ombrage, notamment le hillshade, on remarque que les routes ne sont pas plates : elles sont bombées (dévers) pour évacuer l'eau vers les bords et présentent des déformations (ornières, affaissements, rapiéçages).
- Concernant les paramètres de RVT, un pixel mesure maintenant 4 cm au lieu de 35 cm : un rayon de 10 px ne couvre donc plus que 40 cm au lieu de 3,5 m. Pour analyser des formes de même taille, il faut multiplier les rayons par environ 9 (au prix d'un calcul plus long). On peut en revanche garder un petit rayon si l'on ne s'intéresse qu'à des détails plus fins.
- En combinant le SVF et l'openness avec un ombrage multidirectionnel, on peut clairement extraire le marquage et les réparations de la route.
- Le LiDAR mobile apporte une densité de points, et donc une résolution, bien supérieure, mais la couverture reste restreinte : ce n'est pas applicable à l'ensemble du canton, et on n'obtient que ce qui est visible depuis la route.

2.6 Et avec un canton tout entier ?

Jusqu'ici, nous avons travaillé sur des fichiers locaux de quelques centaines de mètres de côté. Le SITN publie les modèles de tous ses vols LiDAR sous forme de fichiers **COG** (*Cloud Optimized GeoTIFF*) : des rasters organisés en petits blocs et accompagnés d'**aperçus** (*overviews*) à plusieurs résolutions. QGIS peut ainsi lire **directement sur internet** uniquement la zone affichée, à la résolution de l'écran, sans rien télécharger au préalable.

Charger le MNS du canton

1. Ouvrez *Couche › Ajouter une couche › Ajouter une couche raster…*.
2. Choisissez le type de source *Protocole : HTTP(S), cloud, etc.* et saisissez l'adresse du **MNS 2025 à 10 cm** :
   ```
   https://sitn.ne.ch/geodata/pointclouds/Aeriallidar/Lidar2025/05_Grid/mns/sitn_lidar2025_mns_10cm.cog.tif
   ```
3. Cliquez sur *Ajouter*, puis zoomez et déplacez-vous librement dans le canton.

Ce fichier pèse environ **240 Go** : plus de 500 000 × 350 000 pixels, soit 50 milliards d'altitudes. Il s'affiche pourtant en quelques secondes, car QGIS n'en télécharge que les quelques blocs nécessaires à la vue courante.

Alternative : le catalogue STAC dans QGIS (QGIS 3.40 ou plus récent)
Dans le panneau *Explorateur*, clic droit sur *STAC › New STAC Connection…*, avec l'adresse `https://sitn.ne.ch/services/stac/` . Dépliez ensuite *Neuchâtel › LiDAR 2025 › Modèle de surface* et glissez un élément sur la carte.

Ombrer et mélanger à l'échelle du canton

L'extension RVT calcule ses rendus sur le fichier complet : elle n'est pas adaptée à un raster de cette taille. Les **rendus de QGIS**, en revanche, sont calculés à la volée sur la seule zone affichée.

1. Dupliquez la couche du MNS et appliquez-lui le rendu *Ombrage*, comme pour le MNT.
2. Zoomez et dézoomez : l'ombrage est recalculé en direct, à toutes les échelles.

Le SITN publie aussi des **ombrages pré-calculés**, prêts à l'emploi. Il s'agit d'une **occlusion ambiante**, équivalente au PCV de CloudCompare ou au SVF de RVT, calculée sur l'ensemble du canton avec l'outil open source *DSM-Occlusion* du SITN.

1. Chargez ce **modèle ombré**, de la même façon que le MNS :
   `https://sitn.ne.ch/geodata/pointclouds/Aeriallidar/Lidar2025/05_Grid/mns/sitn_lidar2025_mns_10cm_shaded.cog.tif`
2. Placez-le **au-dessus** de l'ombrage du MNS calculé plus haut.
3. Appliquez-lui le mode de fusion *Multiplier* avec une opacité d'environ 60 % : l'ombrage directionnel donne le relief, l'occlusion ambiante fait ressortir les détails.
4. Ajustez l'opacité et les paramètres de l'ombrage à votre goût.

Pour la question suivante, chargez aussi l'**orthophoto** 2025 de Neuchâtel à 10 cm, de la même façon :
`https://sitn.ne.ch/geodata/pointclouds/Aeriallidar/Lidar2025/03_Ortho/sitn_lidar2025_ortholidar_10cm.cog.tif`
Elle pèse environ **257 Go**, et s'affiche tout aussi rapidement.

Comparez-la avec vos ombrages en ville, par exemple autour du château de Neuchâtel, et observez notamment les **façades**, les **ombres portées** et les **arbres**.

QUESTION 15
Un ombrage du MNS est similaire à une orthophoto. Quels sont ses avantages par rapport à une orthophoto, notamment en matière de perspective ? Et quels sont ses inconvénients ?

RÉPONSE
Il s'agit d'une projection verticale parfaite : aucun problème de perspective ni d'ajustement. Le rendu équivaut à une orthorectification qui serait « parfaite ». Il n'y a aucun effet photographique : pas d'ombres, pas de problème de colorimétrie, pas de problème de visibilité. En revanche, il n'y a aucune couleur, et certains artefacts sont visibles là où l'algorithme de rastérisation a dû interpoler.

Pour aller plus loin

Données

- *swissSURFACE3D* : le nuage de points LiDAR de swisstopo
  https://www.swisstopo.admin.ch/fr/modele-altimetrique-swisssurface3d
- *swissSURFACE3D Raster* : le modèle numérique de surface de swisstopo
  https://www.swisstopo.admin.ch/fr/modele-altimetrique-swisssurface3d-raster
- *swissALTI3D* : le modèle numérique de terrain de swisstopo
  https://www.swisstopo.admin.ch/fr/modele-altimetrique-swissalti3d
- *swissBATHY3D* : le modèle bathymétrique de swisstopo
  https://www.swisstopo.admin.ch/fr/modele-altimetrique-swissbathy3d
- Catalogue STAC du SITN : toutes les données LiDAR, MNS, MNT et bathymétriques du SITN
  https://sitn.ne.ch/web/stac
- *geocat.ch* : le catalogue national, pour trouver beaucoup d'autres sources de données
  https://www.geocat.ch

Logiciels et outils cités

Outil	Lien
CloudCompare	https://www.cloudcompare.org · wiki : https://www.cloudcompare.org/doc/wiki
Potree	https://github.com/potree/potree
QGIS	https://qgis.org
Relief Visualization Toolbox	https://rvt-py.readthedocs.io
DSM-Occlusion	https://github.com/sitn/DSM-Occlusion Occlusion ambiante par lancer de rayons sur des modèles d'élévation, accélérée sur carte graphique (CUDA), capable de traiter de très grands rasters par tuiles.

Lectures

- Kokalj Ž., Hesse R. (2017). *Airborne laser scanning raster data visualization: A Guide to Good Practice.* Ljubljana, ZRC SAZU.
  https://omp.zrc-sazu.si/zalozba/catalog/book/824