

## **Exercice 10 : Modèles Numériques de Terrains**

### **Objectifs :**

- Comprendre comment un MNT est généré sur la base de points LIDAR
- Implémenter un calcul de pente de d'orientation à l'aide d'une fenêtre glissante
- Utiliser les différents outils relatifs aux MNT offerts dans un SIG

# Introduction

## Logiciels SIG pour le maniement des MNT

Pour vous éviter l'installation d'un logiciel supplémentaire, cette série se base uniquement sur le logiciel QGIS. Sachez cependant que pour des calculs plus approfondis sur les MNT, vous pouvez utiliser le logiciel libre et gratuit SAGA GIS (System for Automated Geoscientific Analyses). SAGA GIS est un outil puissant permettant notamment des analyses approfondies des fichiers raster tels que les modèles numériques d'altitude. Quelques étapes de cette série se basent d'ailleurs sur les modules SAGA disponibles dans la Processing Toolbox de QGIS, mais la version stand-alone de SAGA reste nettement plus complète et puissante.

## Mise en contexte

Votre bureau d'ingénieur est mandaté pour une étude hydrologique dans le Val Ferret. Vous avez à disposition, entre autres, des données issues d'une acquisition LiDAR aérienne.

### Données :

- **lidar\_points.las**: nuage de points LiDAR dé-densifié
- **MNT\_1m.sdatt**: MNT à 1 m (fichier raster)
- **cn25.sdatt**: carte nationale 1:25000 (fichier raster)
- **orthophoto.sdatt**: orthophoto (fichier raster)
- **MNT\_25m.sdatt**: MNT25 de Swisstopo (fichier raster)

# Exercice

## Découverte des couches

QGIS n'est pas adapté pour la visualisation de données LiDAR, c'est une des raisons pour lesquelles le logiciel SAGA est en général privilégié dans le traitement des MNT. Néanmoins, il existe certaines applications web comme *plas.io* qui permettent de visualiser directement sur votre navigateur des fichiers *.las*.

1. Allez sur le site <https://plas.io/> et importez votre fichier contenant les points LiDAR.
2. Importez les autres couches dans QGIS en spécifiant pour chaque couche le système de projection (EPSG:21781 pour toutes les couches).

3. Explorez les différentes couches avec les outils proposés sur plas.io et QGIS. Assignez par exemple une échelle de couleur aux MNT avec **Clic Droit** > **Propriétés** > **Symbology** > **Render Type : Singleband pseudocolor**.

**Question 1:** Le nuage de points LiDAR contient 3 zones lacunaires à l'Est de la zone d'étude. A quoi correspondent ces zones ? Conseil : appuyez-vous sur les données des autres couches.

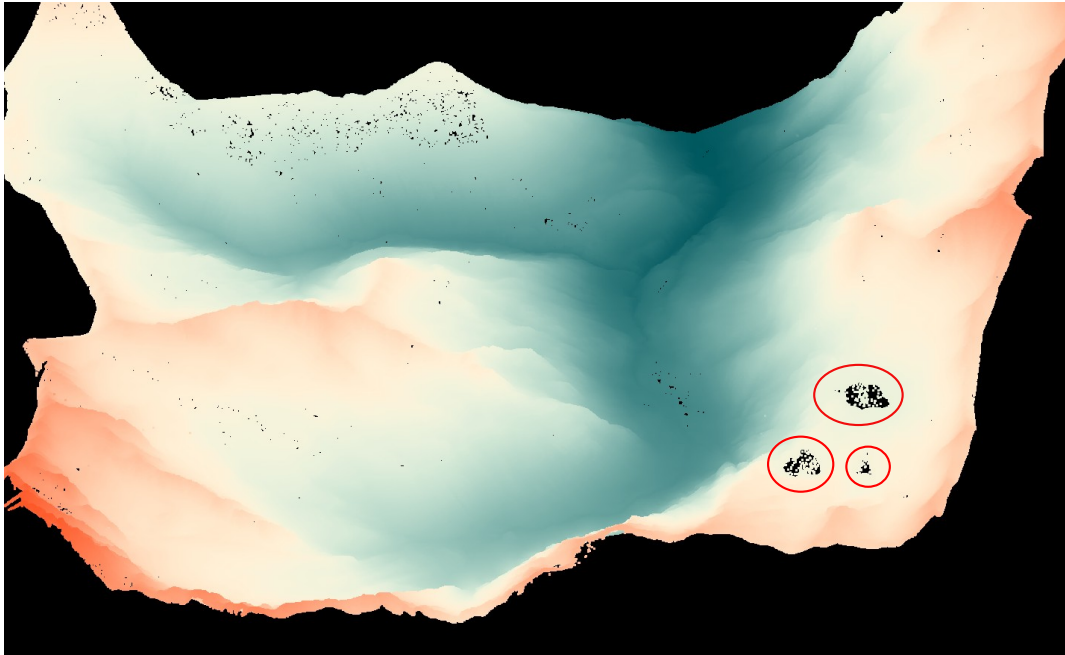


Figure 1: Identification des zones lacunaires sur plas.io

## Modèle ombré


Changez le style de rendu de la couche **MNT\_25m** avec un modèle ombré (hillshading).

1. **Clic droit sur la couche** > **Symbology** > **Render type : Hillshade**
2. (si nécessaire) changez la bande (et éventuellement les autres paramètres proposés)
3. Cliquez sur **Apply**

**Question 2:** Quelle est la différence entre les deux types de visualisation (avec ou sans hillshading)?

## Visualisation 3D

Le plugin **Qgis2threejs** permet de faire une visualisation 3D d'un paysage sur la base (par exemple) d'un MNT, en créant une page web locale. Faites une visualisation 3D de votre MNT à 25m en y ajoutant également l'orthophoto.

1. (si nécessaire) Installez le plugin Qgis2threejs sous **Plugins > Manage and Install Plugins**.
2. Dans QGIS, choisissez d'abord les couches que vous voulez voir apparaître dans votre visualisation 3D (décochez les couches qui ne vous intéressent pas, dans notre cas toutes les couches sauf le MNT 25m et l'orthophoto).
3. Ouvrez le plugin **Qgis2threejs**  ou **Web > Qgis2threejs > Qgis2threejs Exporter**.
4. Dans la liste des couches, cochez celle qui doit servir de MNT (DEM en français) de référence.
5. **File > Export to Web**
6. (si nécessaire) Spécifiez le dossier et fichier de sortie.
7. Cochez la case "*Enable the Viewer to run locally*".
8. Ouvrez le fichier html avec votre browser habituel. Dans la page web qui s'ouvre avec votre modèle 3D, cliquez-glissez pour faire tourner la scène et zoomez.

## Création d'un MNT à partir d'un nuage de points LiDAR

Vous allez maintenant créer des modèles numériques de terrain (MNT) à partir du nuage de points provenant d'une campagne de mesure LiDAR. Faites successivement 3 MNT à une résolution de 1m, 10m puis 25 m.

Dans la **Processing Toolbox**, recherchez et exécutez le module **r.in.lidar** de GRASS, avec les paramètres suivants (laissez la valeur par défaut pour les champs non mentionnés ici) :

1. **LAS input file** : le fichier de nuage de point LiDAR.
2. (si nécessaire) **Statistic to use for raster value**: utilisez *mean* pour les résolutions de 1m et 10m et testez une fois avec *mean* et une fois avec *max* pour le MNT de 25m.
3. **Output raster resolution** : la taille de la cellule de votre MNT, en mètre si votre système de projection est projeté (dans notre cas, essayez avec 1, puis 10, puis 25).
4. Cochez la case « *Use the extent of the input for the raster extent* »
5. Cochez la case « *Override projection checks* »
6. **Lidar raster** : Fichier de sortie (sauvez votre raster avec les noms de **1m\_mean.tif**, **10m\_mean.tif**, **25m\_mean.tif**, **25m\_max.tif** pour les différents raster). Si la projection vous a demandé, spécifiez celle du projet (EPSG:21781).

**Remarque** : Il se peut qu'il y ait un problème avec cet algorithme, notamment sur Mac. S'il ne fonctionne pas, vous pouvez utiliser les MNT que nous avons uploadé sur Moodle.

**Note** : Si votre raster ne se trouve pas dans le bon système de projection une fois chargé dans QGIS, assignez-lui le système EPSG:21781 (Clic droit > Set CRS).

7. Affichez les couches résultantes avec une palette de couleur (**Clic droit sur la couche > Properties > Symbology > Render type : Singleband pseudocolor, Color Ramp : Spectral** et cochez **Invert Color Ramp**).

**Question 3:** Remarquez-vous une différence entre les statistiques « mean » et « max » ? A votre avis, que font ces deux méthodes ?

Comparez les MNT de différentes résolutions entre eux. Comparez également le MNT à 25m que vous avez créé avec celui de Swisstopo. Y a-t-il des différences ?

## Interpolation

L'interpolation spatiale fera l'objet d'une prochaine série, mais nous allons l'utiliser ici pour combler les vides du MNT à 1m (**1m\_mean**) en interpolant les valeurs manquantes.

L'implémentation des méthodes d'interpolation de SAGA étant parfois longue, surtout avec une telle quantité de données, nous allons travailler uniquement sur un échantillon du modèle numérique de terrain. Pour ce faire, créez un shapefile (cf. série 1) plus ou moins rectangulaire sur une petite partie de la zone d'étude, que vous nommerez **clip** (faites bien attention à spécifier l'EPSG:21781 lors de la création de votre couche ; de plus avant de passer à la suite n'oubliez pas de sauver votre polygone et de quitter le mode édition).

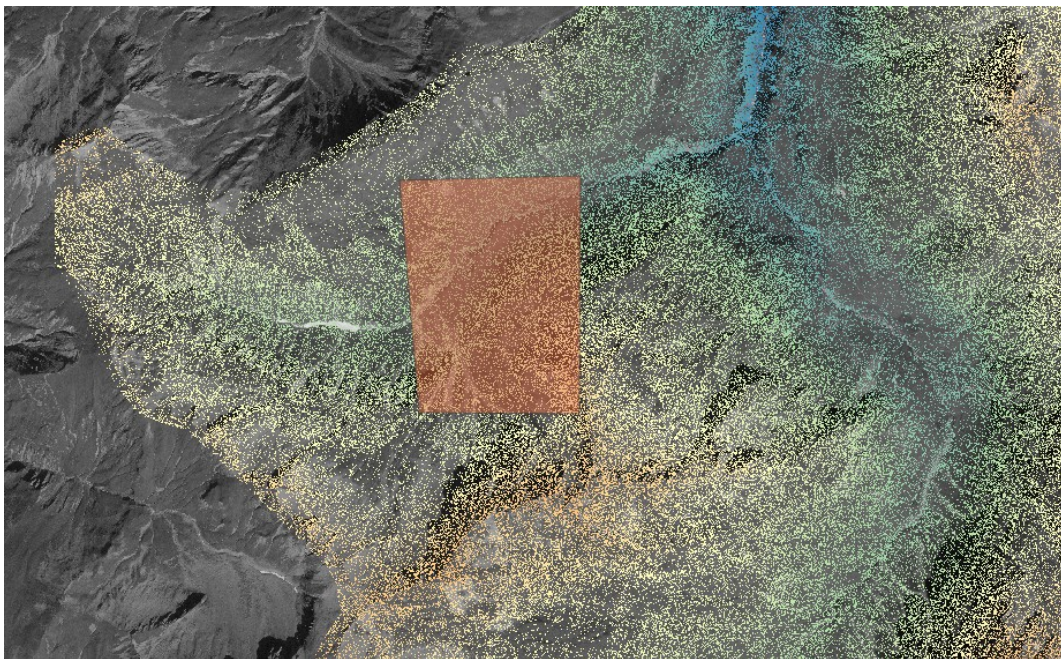


Figure 2: Création de la zone clip

Dans la **Processing Toolbox**, utilisez l'outil SAGA « *Clip raster with polygon* » pour créer le MNT de la zone réduite en spécifiant :

1. **Input** : le raster à clipper
2. **Polygons** : le polygone déterminant les limites de la zone à clipper (dans votre cas **clip.shp**)
3. (si nécessaire) le fichier de sortie (nommez-le **1m\_mean\_clipped.sdat**)

**Note** : Il est possible que le module vous retourne un message d'erreur. Cependant, si votre couche a l'air correctement clippée, vous pouvez l'ignorer.

**Remarque** : Si l'algorithme ne fonctionne pas, vous pouvez utiliser comme alternative la fonction *Clip raster by mask layer*.

Utilisez maintenant le module SAGA « *Close gaps* » disponible dans la **Processing Toolbox** pour combler les trous de votre raster clippé, en spécifiant

1. **Grid** : le raster dont les trous doivent être comblés (ici, **1m\_mean\_clipped.sdat**)
2. (si nécessaire) **Changed grid** : le fichier de sortie (nommez-le **1m\_mean\_clipped\_filled.sdat**)

## Analyse de terrain

Sur la couche MNT 10m, vous allez effectuer des calculs de pente, d'orientation et de courbure. En référence au cours et aux notes de cours, nous allons calculer la pente en chaque pixel avec une fenêtre glissante de la forme :

c1	c2	c3
c4	c5	c6
c7	c8	c9

avec  $c$  les coefficients du filtre.

Une fenêtre glissante est un produit vectoriel de  $C$  par une fenêtre de  $Z$  de même dimension :

	i-2	i-1	i	i+1	i+2
j-2	...	...	...	...	...
j-1	...	z1	z2	z3	...
j	...	z4	z5	z6	...
j+1	...	z7	z8	z9	...
j+2	...	...	...	...	...

avec  $z$  le modèle numérique de terrain.

Par exemple, la valeur dans la cellule  $Z(i,j)$  est :



$$\sum_{k=0}^{k=9} c_k * z_k$$

Si l'on veut calculer la pente et l'orientation dans la cellule Z(i,j). Il faut connaître les différences d'altitude en X (dz\_dx) et en Y (dz\_dy) qui peuvent par exemple se calculer avec les deux formules suivantes :

**Formule 1 (Zevenbergen & Thorne - 9-parameter 2nd order polynom) :**

$$dz\_dx = (z6-z4)/(2*résolution)$$

$$dz\_dy = (z2-z8)/(2*résolution)$$

**Formule 2 (Evans (&Young) - 6-parameter 2nd order polynom):**

$$dz\_dx = ((z3 + z6 + z9) - (z1 + z4 + z7)) / (6 * résolution)$$

$$dz\_dy = ((z7 + z8 + z9) - (z1 + z2 + z3)) / (6 * résolution)$$

Puis la pente et l'orientation peuvent être calculées avec :

$$rise\_run = \sqrt{dz\_dx^2 + dz\_dy^2}$$

$$pente = \text{atan}(rise\_run) * 180 / \pi$$

$$orientation = \text{atan}([dz\_dy] / [dz\_dx])$$

**Question 4 :** Déterminez les coefficients  $c_1, \dots, c_9$  (=la fenêtre glissante) qu'il faudrait utiliser pour calculer dz\_dx et dz\_dy selon les deux formules pour le MNT 10m ? Vous pouvez écrire le résultat sous forme de matrice 3x3 comme présenté plus haut.

**Note :** Il faut donc 4 matrices, à savoir, une matrice pour dz\_dx (formule 1), pour dz\_dy (formule 1), pour dz\_dx (formule 2) et pour dz\_dy (formule 2).

Les calculs de pente sont rarement fait « à la main » et le module SAGA dans QGIS permet de calculer la pente, l'orientation et la courbure d'un MNT selon différentes formules, dont celles mentionnées plus haut.

Pour ce faire, utilisez le module SAGA « *Slope, aspect, curvature* » disponible dans la **Processing Toolbox** avec les paramètres suivants :

1. **Elevation :** votre MNT d'entrée (dans notre cas **10m\_mean**)

2. **Method** : la méthode utilisée pour le calcul de la dérivée (utilisez une fois la formule de Zevenbergen & Thorne, et une fois celle d'Evans)
3. (si nécessaire) **Slope/Aspect Unit** : l'unité utilisée dans le raster de sortie pour la pente et l'aspect (degré, radian, %)
4. Le fichier de sortie. On s'intéresse uniquement à **Slope**, **Aspect** et **General curvature** donc sauvegardez ces fichiers sous **10m\_slope\_F1.sdat**, **10m\_aspect\_F1.sdat**, **10m\_curvature\_F1.sdat** pour la formule 1 et **10m\_slope\_F2.sdat**, **10m\_aspect\_F2.sdat**, **10m\_curvature\_F2.sdat** pour la formule 2. Désactivez tous les autres fichiers de sortie.

**Question 5** : Quelle est la différence entre ces deux formules pour calculer la pente? Quels sont les changements visibles sur les images résultantes (comparez **10m\_slope\_F1** et **10m\_slope\_F2**) ?

**Note** : Appliquer une palette de couleur (Singleband pseudocolor) peut vous aider à les comparer.

## Bassins versants

Une bonne partie des outils de SAGA pour l'étude des bassins versants sont disponibles dans le module « *Basic terrain analysis* » de la **Processing Toolbox**. Calculez **Channel Network**, **Total Catchment Area** et **Drainage basins** (désactivez tous les autres fichiers de sortie) sur la base du MNT 25m (**25m\_mean**). Essayez de déterminer ce que représente chacune de ces couches.

## Profil de terrain

Pour effectuer un profil de terrain, vous devrez commencer par définir une ligne le long de laquelle le profil sera calculé. Créez une ligne shapefile (cf. série 1) traversant (une partie de) la zone d'étude (faites bien attention à spécifier l'EPSG 21781 lors de la création de votre couche ; de plus avant de passer à la suite n'oubliez pas de sauver votre ligne et de quitter le mode édition).

En vous basant sur le MNT 25m et sur votre ligne, utilisez le module SAGA « *Profiles from lines* » disponible dans la **Processing Toolbox** et avec les paramètres suivants :

1. **DEM** : le MNT
2. **Lines** : la ligne le long de laquelle le profile doit être calculé

Ce module vous retourne des points à espace régulier (cet espacement dépend de la résolution de votre raster) le long de la ligne de profil avec l'altitude de chaque point. Sauvez votre couche de points en CSV et ouvrez-le dans Excel, Python ou autres, pour faire un graphique représentant la distance le long de votre profile sur l'axe des x (colonne DIST) et l'altitude sur l'axe des y (colonne Z).

**Note** : Lors de la sauvegarde de votre couche en CSV, vous pouvez si besoin modifier le caractère utilisé pour les décimales (virgule, point, etc.) dans *Layer Options*.