

MODÈLE NUMÉRIQUE DE TERRAIN SUR QGIS

Détection & analyse des places fortifiées de Séré de Rivières

by

Alexandre Rechenmann

Abstract

Ce document a pour objectif de permettre l'utilisation d'une Modèle Numérique de terrain [fourni ou à constituer] et offres les principaux outils pour détecter, visualiser, et analyser les différents composants des places fortes. Les exemples donné ont été réalisé sur les forts d'Épinal.

SOMMAIRE

Prérequis et constitution d'un MNT	1
Qgis	1
Modèle Numérique de Terrain	1
Assemblage des tuiles	2
Affichage d'un MNT	4
Bande grise unique	4
Ombrage	5
Courbes de niveaux	6
Les autres modes de rendu	6
Calcul d'une couche de Relief	7
Paramétrage de la fonction Relief	7
Calcul d'une couche Pente	9
Calcul de la couche Pente	9
Compression de TIFF	10
Analyse de la visibilité	12
Installation et documentation	12
Créer le point de vue	12
Calcul des lignes de vues	14
Profil d'élévation	17
Affichage 3D	18

PRÉREQUIS ET CONSTITUTION D'UN MNT

Qgis

Qgis est un logiciel SIG [système d'information géographique] libre et open source. Ce document a été prévu pour l'utilisation de la version 3.36 de Qgis.

Il est attendu une maîtrise élémentaire de Qgis pour suivre le guide [table attributaire, connaissance des formats de fichiers, des types de données...]. Cependant dans le cas de la visualisation des données, j'ai tenté d'être suffisamment clair pour permettre une utilisation par un néophyte.

Un jeu de donnée et un manuel d'exercices peuvent être trouvés [ici](#)

Attention : il est recommandé de régler la projection de Qgis sur Lambert 93 [EPSG : 2124] et d'enregistrer tous les fichiers sous cette projection. Il s'agit de la projection en vigueur en France continentale. L'utilisation d'autre système de projection différentes est pourrait poser problème pour certains traitements.

Modèle Numérique de Terrain

Un Modèle Numérique de Terrain [MNT] est une numérisation du terrain [par Lidar généralement] reporté en 2.5D pour analyse sur ordinateur. Concrètement, il s'agit de constituer une matrice [une « image »] contenant pour chaque pixel une valeur d'élévation. La résolution de la mesure se traduit par la surface réelle couverte par chaque pixel.

En France l'entièreté du territoire a été scanné. Toutes les données sont disponibles librement sur le site de l'Institut National de l'Information Géographique [IGN] sous le nom [RGE ALTI](#). Deux résolutions sont disponibles 1 m et 5 m. Dans le cas d'exemple, sur Épinal, la résolution utilisée est de 1 m [chaque pixel couvre donc 1 m de terrain].

Deux cas de figure : soit tu as pu obtenir un fichier TIFF couvrant l'emprise d'une zone, soit, tu as dû télécharger le modèle sur le site de l'IGN. Dans ce dernier cas, il va être nécessaire d'assembler les tuiles couvrant la zone désirée pour faciliter l'analyse.

Assemblage des tuiles

A passer, si tu disposes déjà d'un fichier TIFF qui couvre la zone.

Attention : la décompression est très... très gourmande en espace disque... Exemple : pour les Vosges, il y a 52 Go de données !

Après avoir téléchargé et décompresser l'archive 7Z d'un ou plusieurs départements, il faudra se rendre dans le dossier de livraison. Les fichiers MNT (extension .asc) se trouvent dans le dossier — ici le cas des Vosges :

```
RG_ALTI/  
RGEALTI_2-0_1M_ASC_LAMB93-IGN69_D088_2021-09-24/RGEALTI/  
1_DONNEES_LIVRAISON_2021-11-00178/  
RGEALTI_MNT_1M_ASC_LAMB93_IGN69_D088_20211123/
```

Il est possible de supprimer les autres dossiers pour libérer de l'espace disque.

Est aussi livré dans le dossier **3_** une grille shp. Une fois chargé dans Qgis, cette grille permet de sélectionner les fichiers asc correspondant à la bonne emprise.

Il faut chargé l'ensemble des tuiles MNT dans Qgis [glisser-déposer ou Ctrl+L, onglet Raster]. Je conseille, si possible, de former ainsi un carré ou un rectangle pour éviter de devoir gérer des « zones mortes » après la fusion.

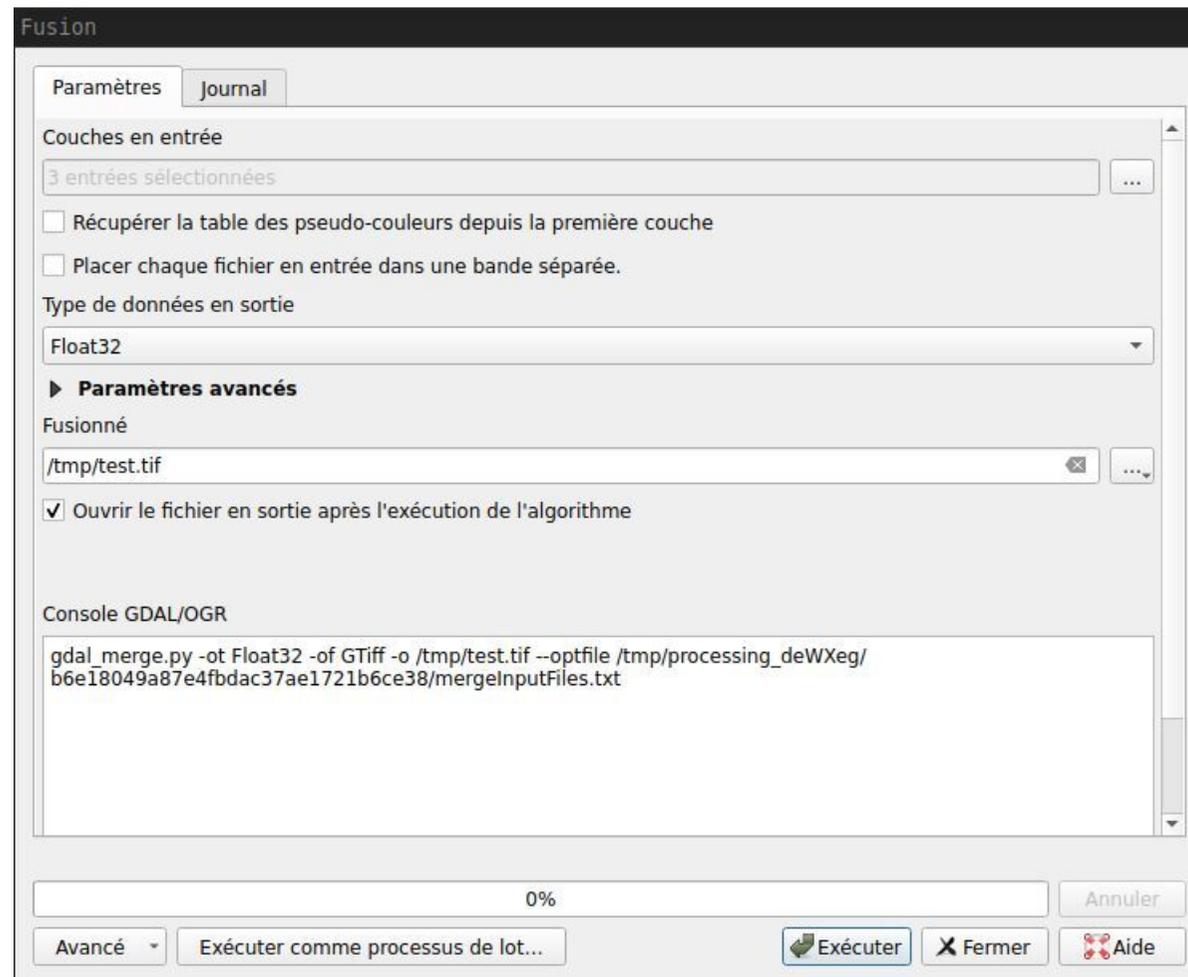
Il ne reste alors plus qu'à réaliser la fusion, pour ce faire dans la barre d'outil : Raster/Divers/Fusion...

Dans **Couche en entrée**, sélectionner l'ensemble des tuiles chargées et correspondantes à la zone de travail. Dans **Fusionné**, cliquer sur le bouton à droite pour *Enregistrer vers un fichier* pour enregistrer sur ton disque la sortie de la fusion [voir image ci-dessous].

Le reste des paramètres est à laisser par défaut.

Attention : selon la taille de la zone fusionnée, le fichier de sorti est assez volumineux [ex : 4,5 Go sur Épinal]

MNT sous Qgis



AFFICHAGE D'UN MNT

Il existe plusieurs modes d'affichage d'un Modèle Numérique de Terrain [MNT]. Par exemple sur Épinal, au vu de l'emprise de la zone [33 par 32 kilomètres], l'écart d'altitude [près de 540 m] rend certains modes d'affichage non-pertinent.

Dans un premier temps nous allons nous concentrer sur l'affichage de la couche raster chargé. Toutes les manipulations de ce chapitre concerneront — sauf exception explicite — la symbologie de la couche [dans le panneau couche, sur la couche raster d'élévation Clic Droit/Propriétés/Symbologie].

Les types de rendu sont paramétrables via le premier menu déroulant dans l'onglet Symbologie.

Bande grise unique

Mode d'affichage par défaut lors du chargement des rasters sous Qgis, il consiste à traduire les valeurs d'élévation sur un gradient de couleur [Blanc vers noirs ou inversement, selon le paramètre de la boîte de choix **Dégradé de couleur**].

L'option **Amélioration du contraste** permet de fixer les valeurs d'élévation extrêmes sur les extrêmes des couleurs. Le meilleur paramètre est : *Étirer jusqu'au MinMax*. Dans **Paramètres de valeurs Min/Max** deux options sont pertinentes :

- **Min/Max** : choix par défaut, détecte les valeurs d'élévation Min/Max et applique le dégradé de couleur dessus
- **Défini par l'utilisateur** : permet de déterminer manuellement les bornes d'élévation sur lesquelles réaliser le dégradé. Pratique si le raster formé contient des zones sans data.

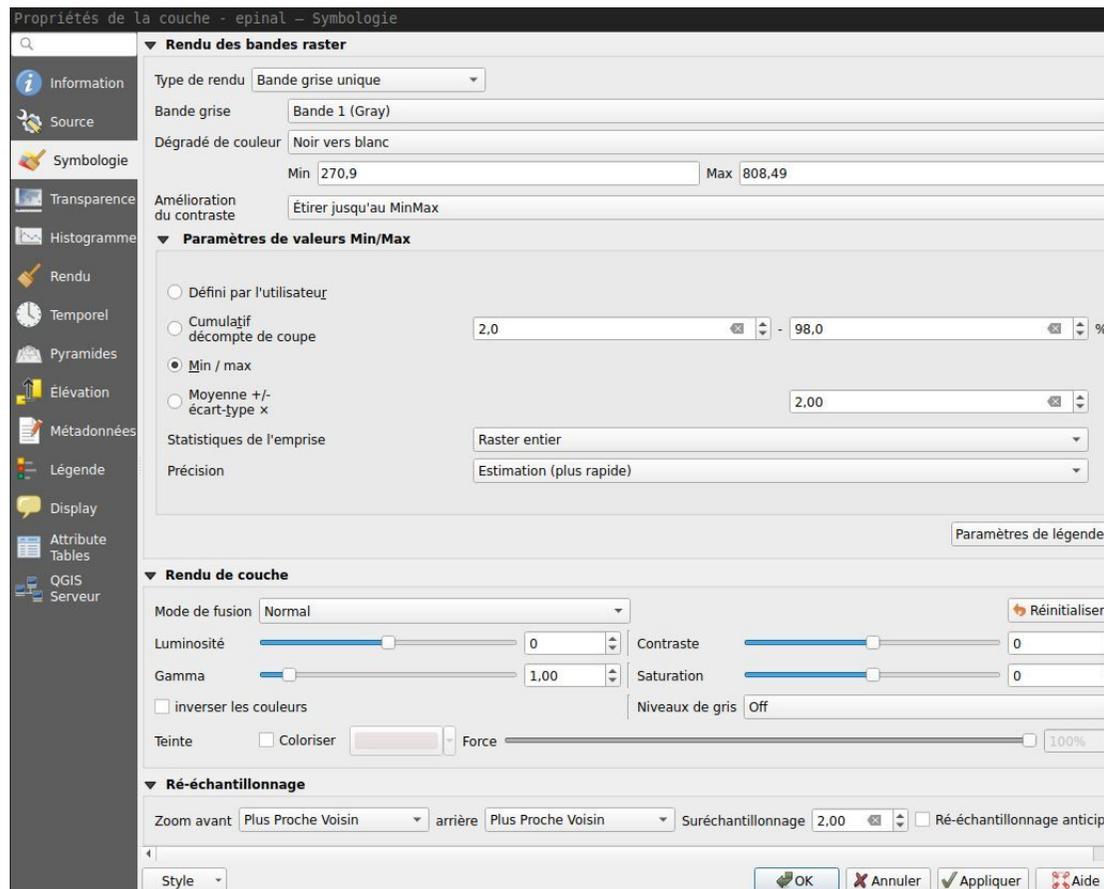
De manière générale — à moins de gérer finement les paramètres — ce mode d'affichage n'est pas très contrasté.

Le **rendu de couche** contient notamment une option de *Colorisation* qui peut être intéressante pour un export de plan.

Globalement ce mode d'affichage n'est pas très pertinent pour un raster aussi grand.

Les autres modes utilisent une analyse statistique. Comme l'histogramme d'Épinal le montre, ces modes sont non-pertinents du fait de la faible hétérogénéité des élévations [moyenne : 380 m ; σ : 70 m].

MNT sous Qgis



Ombrage

Ombrage est sans doute la meilleure méthode d'affichage d'un MNT pour une consultation simple. Dans le pire des cas, utiliser les paramètres par défaut, pour une meilleure utilisation, voir la description et les paramètres conseillés pour un meilleur rendu.

- Altitude : angle du soleil

- Azimut : direction du soleil
- Facteur Z : ou « Exagération verticale », permet de gérer le contraste de l'ombre. **Recommandé** de l'élever un peu [3~4]
- Multidirectionnel : **Recommandé** pour avoir encore plus de contraste notamment sur les crêtes et les forts. Assombri un peu l'image en réalisant la somme des ombres à 365°, mais ça vaut le coup.

Pour une raison que je ne parviens pas à expliquer, seulement les azimuts nord rendent correctement. À 180° les zones les moins élevés semblent dominer les plus élevés...

Dans la partie **Ré-échantillonnage**, il est conseillé de passer l'option *Zoom Avant* sur Cubique [noyau 2x2 ou 4x4]. Cette méthode de ré-échantillonnage va éviter l'apparition de « hachures » à fort niveau de zoom.

Courbes de niveaux

Affichent une courbe de niveau sur les paramètres renseignés [avec courbes principales et secondaires]. Pour obtenir un rendu similaire à celui des cartes IGN, mettre les courbes principales à 50 m et les secondaires à 10 m.

La **Réduction d'échelle de la source** permet de lisser les courbes de niveau, une valeur faible mais > 1 est recommandé pour un bon affichage.

Ce mode d'affichage est très pertinent pour des sorties de plan.

Les autres modes de rendu

Les autres modes de rendu souffrent tous d'un même problèmes : la plage des élévations [ou l'absence de donnée].

- Couleurs à bande multiple : impossible à utiliser, nous n'avons qu'une bande grise.
- Palette/Valeurs uniques : sélectionne pour couleur pour *chaque* valeur d'élévation unique. Très peu contrasté au final, et rendu très lent.
- Pseudo-couleur à bande unique : groupe les élévations selon un nombre déterminé de classe [max : 255, en mode Continu, Quantiles ou Intervalles égaux]. Même problèmes de contraste.

CALCUL D'UNE COUCHE DE RELIEF

Cette fonctionnalité permet de créer une nouvelle couche raster avec des valeurs d'élévation en triple bande qui permettent de mettre en avant des « paliers » d'altitude.

Malgré deux bonnes heures à chercher des infos sur le fonctionnement, je n'ai pas pu trouver de vulgarisation sur le fonctionnement de cet algorithme. J'ai cependant trouvé la documentation de l'API... et le code source

De ce que j'ai pu en tirer, cet outil génère deux choses en une :

- Un calcul d'ombrage similaire à celui de l'affichage « Ombrage » pour faire sortir le relief. L'ombrage semble prendre les valeurs par défaut non paramétrables [altitude : 45° ; azimut : 315°].
- Au lieu d'avoir une bande unique pour représenter l'élévation, on génère un code RVB selon des classes de relief. De fait le raster perd l'information d'élévation, mais devient plus joli.

Paramétrage de la fonction Relief

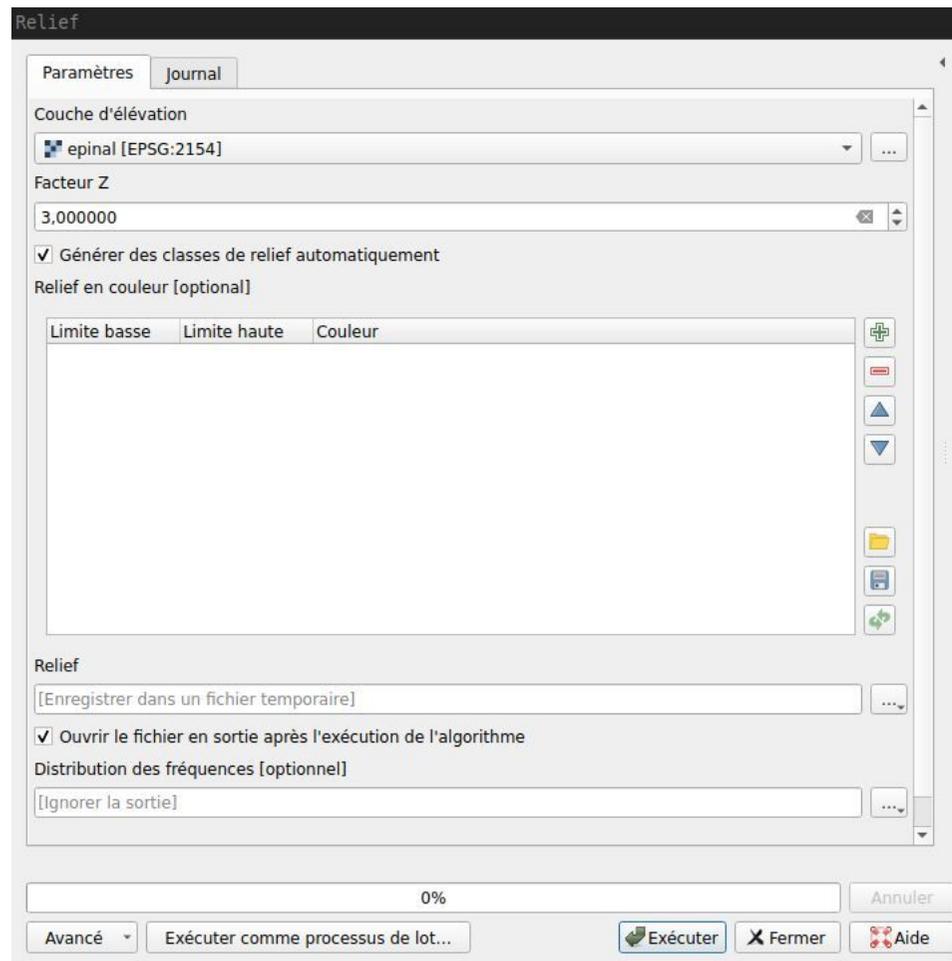
Présent dans la boîte à outils [Ctrl+Alt+T], l'outil **Relief** offre les options suivantes :

- **couche d'élévation** : utiliser le raster source
- **Facteur Z** : ou exagération verticale, une valeur de 2~3 augmente le contraste mais rend visible certain artéfact [ex : les habitations].
- **Générer les classes de relief automatiquement** : l'option la plus simple. Un découpage automatique du relief par analyse de la fréquence de distribution est effectué. Simple, mais non configurable.
- **Relief en couleur** : permet de saisir ses propres classes de couleur par tranche d'altitude. Sur la zone d'Épinal, j'ai essayé de paramétrer 4 classes à partir de 270 m avec un pas de 135 m [$270 + (3 \times 135) = 809$ m Alti max], et j'obtiens un résultat similaire au classement automatique.
- **Relief** : Très conseillé de ne pas réaliser la sortie raster dans un fichier temporaire en RAM [utilisation de près de 4 Go]

J'ai vraiment cherché longtemps, j'ai même regardé tous les scientifiques qui s'appellent Buenzli. Mais rien n'expliquait en détail le fonctionnement, mis à part le code source et mes tests empiriques.

Ce que j'ai pu trouver dans les docs et API se résume à ça : Calcule les intervalles de classe selon la méthode de Buenzli (2011) en utilisant un algorithme itératif pour la régression segmentée...

MNT sous Qgis



Note : l'export d'un fichier TIFF est lourd. Prévoir plusieurs Gigaoctet de disponible.

CALCUL D'UNE COUCHE PENTE

L'outil pente va générer une couche à bande unique contenant la valeur d'inclinaison du terrain en degrés. L'algorithme réalise pour chaque cellule du raster une comparaison avec ses voisines [3x3].

On obtient en sortie un raster à bande unique avec des valeurs comprises entre 0 et 90 correspondant à la valeur de pente calculé [par défaut, plus la pente est élevée, plus c'est blanc].

L'illumination des pentes met très en contraste les vestiges des fortifications. Très utile pour détecter de petits ouvrages.

Calcul de la couche Pente

L'utilitaire Pente de Qgis est simple à utiliser. Il suffit de sélectionner un raster source [contenant une bande d'élévation] et de déterminer un facteur d'exagération verticale [valeur recommandée : 1]

Il est recommandé d'enregistrer la sortie de l'export dans un fichier [à moins d'avoir suffisamment de RAM [4Go]]. Les paramètres de symbologie par défaut sont très pertinents.

COMPRESSION DE TIFF

Le chapitre qui suit n'est pas complètement maîtrisé, à prendre avec des pincettes.

Il est possible de compresser les fichiers TIFF [au format brut]. À ma connaissance Qgis ne permet pas de compresser des fichiers Raster [à moins d'user des commandes GDAL].

La méthode la plus simple consiste à passer les fichiers TIFF générés dans Gimp. Assez simple, ouvrir le fichier sous gimp, puis Fichier/Exporter sous... Après avoir saisi le nom du fichier et le répertoire de destination, un pop-up permet de renseigner les paramètres de l'export.



MNT sous Qgis

Plusieurs méthodes de compression sont disponibles. Je conseillerais Déflate, JPEG ou LZW. Lors de l'enregistrement bien veiller à cocher **Save GeoTIFF Data** pour conserver les propriétés géographiques du fichier.

En résultat, on obtient un fichier TIFF compressé. Le gain peut être d'un facteur 10 [ex : TIFF relief d'Épinal en compression JPEG de 3.5 Go à 310 Mo]. Bien entendu, la compression du fichier a tendance à ralentir l'ouverture du fichier sur Qgis, le temps de la décompression.

Pour plus d'info, voir :

- [Guide de compression de GeoTIFF et optimisation avec GDAL](#)
- [La compression TIFF pour les nuls](#)

Attention, je ne maîtrise pas. Mais de ce que j'ai pu lire, certaines méthodes de compression ne sont « pratiques » pour Qgis. Je préconise uniquement ce que j'ai pu tester.

ANALYSE DE LA VISIBILITÉ

Installation et documentation

Dans Extension, Installer/Gérer les extensions, installer l'extension **Visibility Analysis** de *Zoran Cučković*. Ce plugin, développé initialement pour réaliser de l'archéologie paysagère, va nous permettre d'étudier les vues pour un observateur à une position donnée et d'approximer une ligne de tir [le plugin ne prenant pas en compte les calculs balistiques].

Sur le fonctionnement des algorithmes voir : [Qgis Visibility Analysis](#)

Créer le point de vue

Avant tout, il est nécessaire de créer une couche point avec les données d'observation lié à chaque point d'observation. Le plugin attend une couche dans un format précis. Pour ce faire dans la boîte à outils, il offre la fonctionnalité **Create viewpoints**. Cette fonction prend en entrée une couche de point, et permet de déterminer les différentes valeurs à utiliser pour paramétrer l'observation, et ressort en sortie une couche de point avec une table attributaire au bon format.

La solution minimaliste consiste à créer une couche de point sans table attributaire puis de passer cette couche dans cet outil, en indiquant manuellement les trois valeurs obligatoires :

- Observation location[s] : la couche point à utiliser
- Digital elevation model : pour obtenir la bonne métrique
- Radius analysis : rayon de l'observation
- Observer height : hauteur des yeux de l'observateur

L'autre solution — plus complète — consiste à créer des champs correspondant à chaque valeur à utiliser dans la fonction **Create viewpoints**. Tous les champs, à l'exception d'un optionnel champ ID, peuvent être saisis dans un format de donnée décimal. Le

Cette solution nécessite tout de même de charger le raster sur lequel va être réalisé l'analyse d'observation.

nom des champs importe peu, puisque l'outil va créer sa propre couche point, avec sa propre table attributaire à partir des informations renseignées.

Description des valeurs paramètres utilisables :

- **Observer ids** : si nécessaire permet d'utiliser des identifiants particuliers. Pratique s'il s'agit de distinguer les résultats de plusieurs points de vue à partir d'une autre couche contenant d'autres données. Par exemple pour associer un nom d'observateur à une observation.
- **Field value for analysis radius** : surpasse la saisie manuelle de **Radius of analysis** si renseigné. Détermine le rayon d'observation.
- **Field value for observer height** : surpasse la saisie manuelle **Observer height** si renseigné. Détermine la hauteur de l'observation. D'après mes tests, il est de bon ton de saisir une bonne hauteur, pour éviter d'avoir la ligne de vue bloqué par le premier parapet.
- **Field value target height** : surpasse la saisie manuelle de **Target height** si renseigné. Détermine la hauteur de la cible à observer. Conseillé de saisir une valeur de 1 ou 2 m pour lisser l'observation [gêner par des écarts de quelques centimètres dû à des artéfacts].
- **Inner Radius** : rayon intérieur d'exclusion. Permet de déterminer une zone morte à proximité de l'observateur
- **Azimuth mask - start & end** : permet de saisir un azimut de début d'observation et de fin d'observation. Par exemple Start = 270° et End = 90° correspond à une observation des 180° nord.
- **Upper/Lower angle mask** : permet de déterminer des angles verticaux d'observation. Les valeurs sont logiquement comprises entre +90° & -90°.

Une fois l'ensemble des paramètres saisi, l'outil va créer une couche point au bon format attributaire qui pourra être utilisé pour réaliser les différents calculs.

Il est possible de générer cette couche pour un seul point, puis d'ajouter des entités et de remplir la table attributaire correctement... ça évite de générer cette couche à chaque nouvelle

Calcul des lignes de vues

observation.

Dans la boîte à outils, rechercher **Viewshed**. Cet outil permet de réaliser trois type d'analyse [**Analysis Type**] :

- Binary viewshed : ligne de vue binaire, pour chaque pixel du MNT, va calculer 1 [si le pixel est visible] ou 0 [si le pixel est masqué].
- Depth below horizon : calcul pour chaque pixel masqué le « déficit d'élévation » pour qu'il soit visible. Attention : prends en compte la hauteur de la cible renseignée dans *Target Height*
- Horizon : calcul la ligne de crête de l'observation. Attention : ne calcule que la dernière ligne de crête avant la limite de distance d'observation.

Nous allons principalement utiliser l'analyse de type **Binary Viewshed**. Les deux autres analyses fonctionnent avec les mêmes paramètres.

- Observer location[s] : Utiliser le fichier précédemment générer par **Create Viewpoints**
- Digital elevation model : Utiliser le raster contenant les valeurs d'élévation
- Take in account Earth curvature & Atmospheric refraction : fonctionne uniquement si le paramètre de courbe de la Terre est activé. Permet de calculer le rétrécissement de l'horizon par la courbure terrestre, légèrement compensée par la réfraction. Pour plus d'info : [Page d'aide de Visibility Analysis](#)
- Combining multiple outputs : permet de déterminer le mode de fusion lorsque deux zones ou plus de vision se combine
 - Addition : Si deux observateurs voient la même chose, la valeur des pixels partagés passe à 2. Les zones vues par un observateur recouvrent les angles morts de l'autre. Mode recommandé, mais moins pratique que Maximum, qui lui ne recouvrent pas toute l'emprise du raster source de valeurs 0.
 - Minimum : si le rayon d'observation de deux observateurs se recourent, et qu'il s'agit en tout ou partie d'une zone aveugle pour l'un deux alors lors de la fusion, cette zone sera considérée comme aveugle [en noir].

MNT sous Qgis

- Maximum : si le rayon d'observation de deux observateurs se recourent, et qu'il s'agit en tout ou partie d'une zone aveugle pour l'un deux, alors lors de la fusion, cette zone sera considéré comme visible [en blanc]. Je recommande ce paramètre, puisqu'il additionne aussi le nombre d'observateur commun d'une zone.

En pratique, pour obtenir un bon résultat, il est conseillé de saisir le point d'observation sur le point le plus haut du fort et/ou de saisir une hauteur d'observation de plusieurs mètres (4~5 m) pour éviter que les irrégularités du terrain bloquent la vue trop facilement.

Exemple de résultat, sur le fort de Deyvillers [hauteur d'observation 5 m ; distance 10 km ; hauteur de cible : 1 m ; étoile rouge]. On peut deviner les silhouettes des forts de Longchamps et Dogneville au nord, et les forts des Adelphe et de Razimont au Sud.



Attention : le fichier de sortie est couvre techniquement toute l'emprise du raster source... ça signifie aussi qu'il est de taille équivalente ! Comme admit par l'auteur de l'extension, le plugin n'est pas parfait, ni le plus optimisé, mais il marche !

MNT sous Qgis

Il est ensuite possible d'appliquer des traitements de Symbologie et/ou de Transparence. Par exemple, sur une symbologie **Pseudo-Couleur à bande unique** il est possible de définir 2 classes [0 et 1, à créer manuellement, ou via le mode *Interval Égal* sur 2 classes] et assigner une transparence à 100 % pour la valeur 0, et une couleur au choix pour la valeur 1.

Exemple : ici près de la tourelle Galopin 155R 07 du fort de Dogneville [hauteur d'observation 3 m ; distance 2,5 km ; hauteur de cible : 1.5 m].



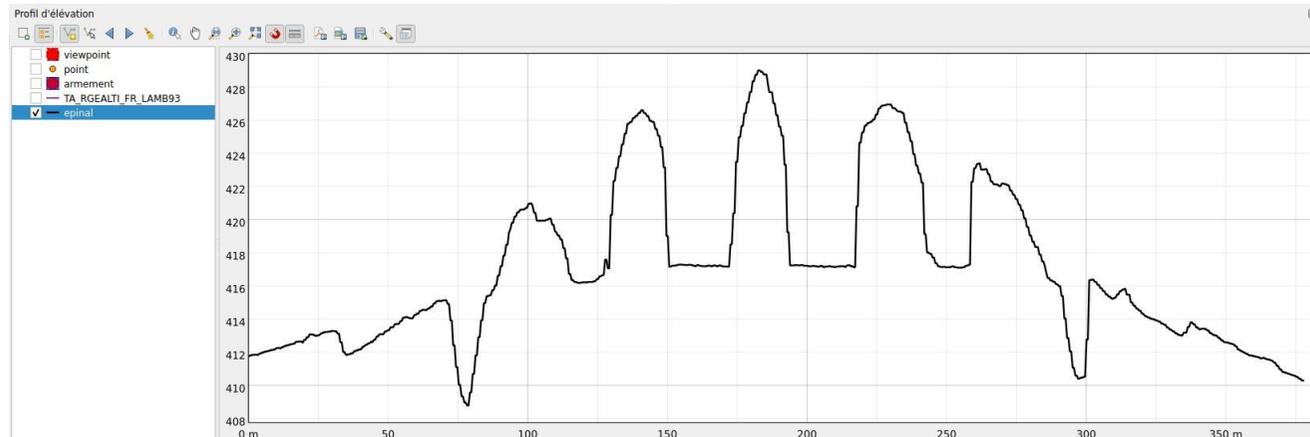
Défaut de l'outil : il ne calcule que les lignes de vue et ne fait aucun calcul balistique... j'ai pas encore trouvé comment faire ça, avec ou sans Qgis.

PROFIL D'ÉLÉVATION

L'apparence du graphique de profil permet de configurer le type de ligne et sa symbologie sur le graphe d'élévation

Il est possible de réaliser un profil d'élévation pour mesurer les variations d'altitude dans un graphe. En première étape, il faut indiquer à Qgis quelle couche et valeur utiliser pour l'élévation. Pour ce faire, sur la couche Raster contenant les valeurs d'élévation : Clic Droit/Propriétés/Élévation, puis simplement cocher : **Représente la surface d'élévation**. Le reste des paramètres reste par défaut.

Pour deuxième étape, dans la barre d'outils : Vue/Profil d'élévation. Un nouveau panneau s'ouvre. Il ne reste plus qu'à s'assurer que la couche MNT soit activé [sur la capture « épinal », puis d'activer la courbe de capture [troisième bouton] et de tracer une ligne [clic droit pour valider le tracé] pour voir apparaître le profil d'élévation.



Ici par exemple, le fort de Girancourt, du Sud au Nord. On discerne le glacis [et un parapet à sa base ?] suivi du fossé, de la rue des remparts, d'une des cours du casernement, et de la symétrie de cet ensemble au nord.

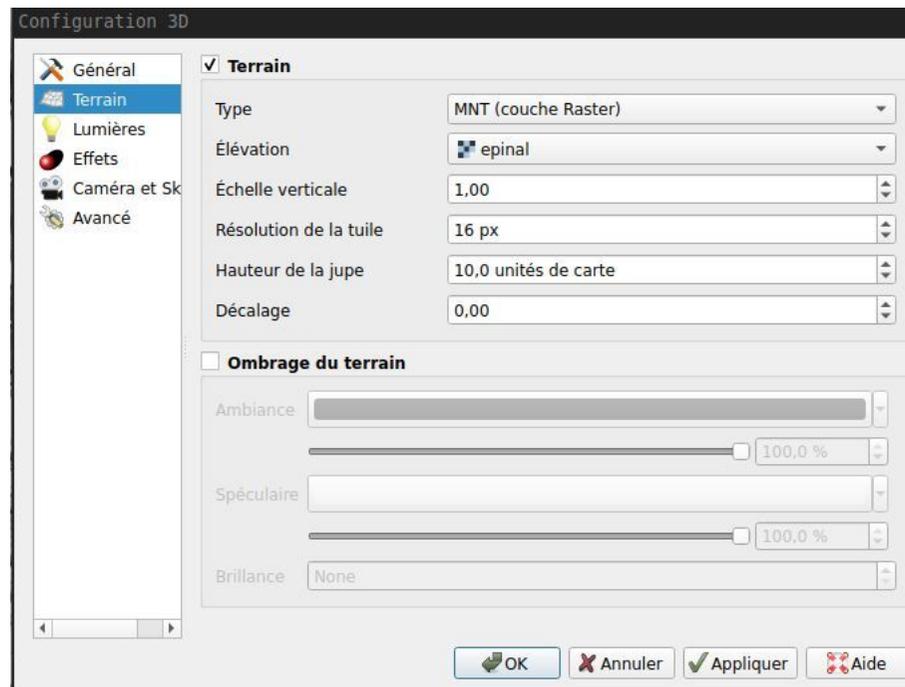
AFFICHAGE 3D

Qgis dispose d'un module permettant de produire des visualisations 3D. Il est possible d'utiliser un MNT comme support.

Pour ce faire, dans la barre d'outils : Vue/Vue 3D/Nouvelle Vue Cartographique 3D. Puis dans la nouvelle fenêtre, ainsi ouverte, cliquer sur la molette pour configurer la vue 3D

Dans l'onglet Terrain, nous allons paramétrer le MNT à utiliser pour réaliser la vue 3D. Pour ce faire :

- **Type** : passer sur MNT [couche Raster]
- **Elevation** : utiliser le TIFF fourni contenant l'élévation



MNT sous Qgis

Attention : j'ai rencontré des limitations sur les grand MNT [message d'erreur indiquant que la mémoire graphique est insuffisante]. Dans ce cas, le plus simple consiste à créer un nouveau fichier TIFF sur une zone restreinte [quelques kilomètres seulement].

Une fois la vue 3D paramétrée, les couches affichées sur le canevas 2D seront affichées dans la vue 3D en suivant le relief.

Je n'ai pas non plus pu utiliser le GPU dédié via l'accélération OpenCL de Qgis, mais la fonction est trop expérimentale et se désactive ou fait crasher Qgis...