

Exercice 1 : Introduction à QGIS et aux SIG

Objectifs :

- Comprendre les fonctionnalités offertes par un SIG
- Prendre en main le logiciel QGIS
- Comprendre la notion de couche
- Comprendre la gestion des systèmes de coordonnées dans un SIG
- Utiliser et différencier des données raster et vecteur
- Créer une carte de danger

Introduction

Introduction aux logiciels SIG

Il existe plusieurs logiciels permettant de traiter des données géographiques. Mentionnons par exemple :

- **QGIS** : Libre et open-source disponible sur toutes les plateformes. Logiciel open le plus complet et de plus en plus utilisé, avec de nombreux plugins développés par une communauté.
- **ArcGIS** : Professionnel de la société ESRI. Logiciel SIG très complet, souvent utilisé dans les bureaux d'ingénieur par exemple mais très coûteux.
- **SAGA GIS** : Open source. Particulièrement puissant avec les données raster (images).
- **Langages de programmations** : tous les langages de programmation (Python, R, Matlab...) proposent des fonctions de lecture / écriture de données spatiales et des fonctions spatiales.

La plupart des exercices du cours SIG seront effectués dans le logiciel QGIS, ce qui vous permettra d'utiliser un logiciel libre et gratuit, que vous pourrez facilement installer sur vos ordinateurs personnels et que vous retrouverez dans le milieu professionnel, ou qui sera très proche de ceux que vous trouverez dans les bureaux d'ingénieurs qui n'ont pas (encore) fait le saut vers la technologie libre.

Mise en contexte

Spécialiste des dangers naturels, vous réalisez une étude dans le Canton du Valais à partir de données obtenues par le Service des Mensurations cadastrales.

Données :

- **MNA25**: modèle numérique d'altitude à 25 mètres de résolution
- **Valais central**: carte nationale numérique au 1:25'000, format raster (image)
- **Vecteur25**: idem que la carte nationale 25, mais en format vecteur (objet)
- **Orthophoto**: photographie aérienne du secteur, résolution 2m.

Préparation du dossier de travail

1. Téléchargez le dossier de l'exercice depuis Moodle et copiez-le dans votre dossier de travail
2. Ouvrez QGIS 3.34 LTR (Desktop)

Changer de langue (optionnel)

Nous utiliserons la version anglophone de QGIS dans les exercices. Pour passer du français à l'anglais :

1. **Préférences > Options > Général ...**
2. Cochez « Remplacer les paramètres régionaux du système » et sélectionnez la langue voulue (« American English » dans notre cas) dans le menu déroulant. Cliquez sur OK.
3. Redémarrez QGIS

Exercice

Ouverture du projet

Les fichiers de projets QGIS ont l'extension .qgis.

1. **Project > Open ...**
2. Choisissez le fichier «Valais_central.qgis»

Tout au long de l'exercice, enregistrez régulièrement le projet.

Identifiez les couches du projet en les comparant avec la liste des données en page 2. Vous pourrez remarquer que les objets du *Vecteur25* constituent trois couches vectorielles (réseau hydrographique, réseau routier et surfaces primaires) qui sont regroupées dans un même groupe.

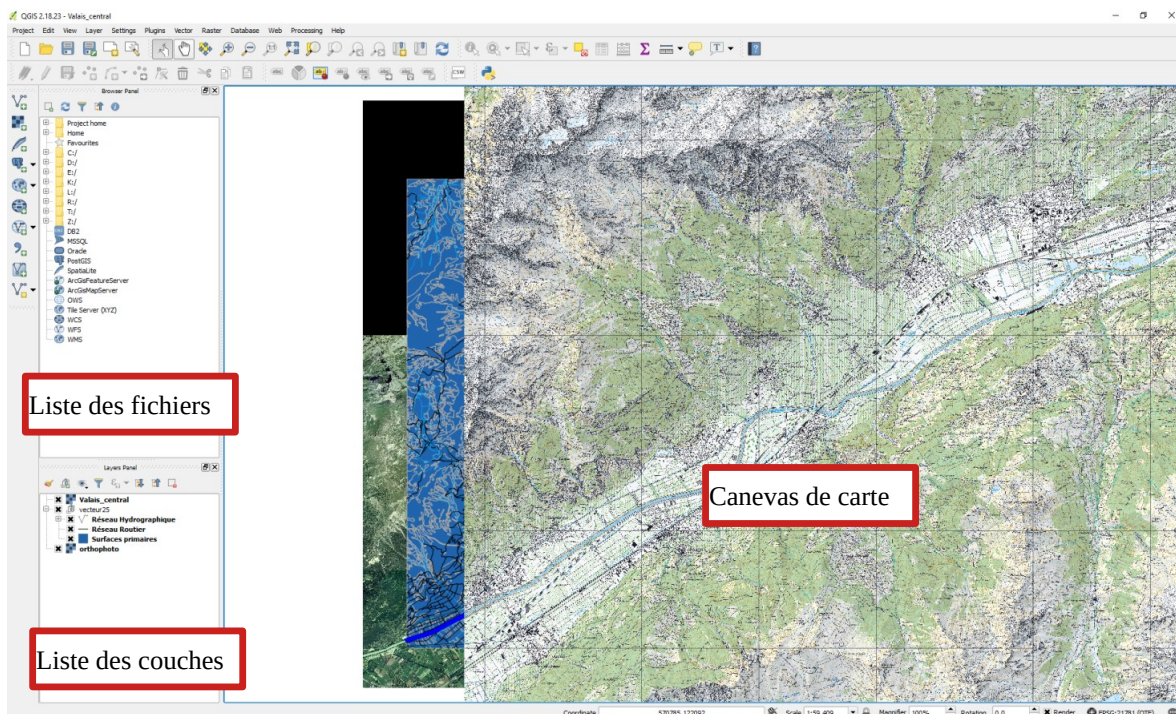


Figure 1: Fenêtre principale de QGIS, projet “Valais central”

Si vous n’avez pas les mêmes éléments dans la colonne de gauche, ajoutez les panels manquants :

1. **View > Panels**
2. Cochez « Browser» (liste des fichiers) et « Layers» (liste des couches)

Dans QGIS, les couches de la carte se superposent dans l’ordre défini dans la liste des couches.

Pour visualiser une couche spécifique (ou un groupe) :

1. Activez-la (en la cochant dans la liste des couches)
2. Sélectionnez sa position (cliquez sur la couche et glissez-la à la position voulue)
3. Zoomer sur la couche (**clic droit > Zoom to Layer**)

Voici quelques fonctionnalités utiles :



(ou clic gauche) : se déplacer dans la carte



(ou molette) : zoomer sur un endroit



échelle permettant de voir toute l’étendue des couches actives

Dans un SIG, chaque couche vectorielle a une table contenant des attributs qui lui sont associés. Chaque ligne correspond à un objet (aussi appelé une entité) différent et chaque colonne correspond

à un attribut qui caractérise tous les objets. Pour y accéder : **clic droit sur la couche > Open Attribute Table**.

Visualisez la couche **Surfaces primaires**. Déterminez son nombre d'entités et son nombre d'attributs. Pour le moment, cette couche est illisible car tous les objets qui la composent sont de la même couleur.



Pour attribuer une couleur différente pour chaque « classe » d'objets :

1. **Clic droit sur la couche > Properties > Symbology**
2. Sélectionnez *Categorized* dans le menu déroulant
3. Choisissez la colonne qui permettra de déterminer la classe (par exemple *OBJECTVAL*)
4. Cliquez sur **Classify**, puis **Apply** et **OK**





Maintenant, des couleurs sont apparues. A quoi correspondent-elles ? Quel est le lien entre des zones de même couleur ? Pour pouvoir répondre à cette question, sélectionnez plusieurs objets de la même couleur sur la carte en suivant les instructions ci-dessous, et consultez leurs attributs dans la table pour savoir à quelle classe ils appartiennent.


Sélection d'objets

Pour sélectionner des objets d'une couche spécifique, vous pouvez le faire depuis la carte ou depuis la table des attributs. Lorsqu'un objet est sélectionné, il apparaîtra en jaune sur la carte et la ligne correspondante dans la table des attributs sera mise en surbrillance.

1. Cliquez sur la couche voulue
2. Sélectionnez les objets
 - Depuis la table des attributs en cliquant sur le numéro de l'objet, qui se trouve à gauche du premier attribut (maintenez la touche *ctrl* enfoncée pour en sélectionner plusieurs) ou en le sélectionnant selon une expression 
 - Depuis la carte avec 

Autres fonctionnalités utiles pour la sélection d'objets :

-  inverser la sélection
-  déplacer les objets sélectionnés en haut de la table des attributs (plus simple à visualiser)
-  tout désélectionner
-  zoomer sur l'objet (ou les objets) sélectionné(s)

Note : si vous voulez connaître les attributs d'un objet sans ouvrir la table des attributs, vous pouvez le sélectionner sur la carte avec  et la valeur de ses différents attributs devrait apparaître en bas à droite de l'écran dans une fenêtre **Identify Results**.


Importation de données vectorielles

Vous avez reçu un nouveau fichier vecteur au format *ESRI Shapefile* représentant les chemins de fer pour le canton du Valais. C'est un des formats couramment utilisés pour l'échange de données vectorielles.

Un format *ESRI Shapefile* se compose d'au moins trois fichiers :

- un fichier «.shp» contenant la géométrie
- un fichier «.dbf» contenant les attributs des différents éléments géométriques
- un fichier «.shx» contenant un index permettant de faire le lien entre la géométrie et les attributs
- (optionnel) un fichier « .prj » contenant le système de projection de la couche vectorielle

Pour importer une couche vectorielle dans QGIS :

1. **Layer > Add Layer > Add Vector Layer** >  dans **Vector Datasets**
2. Sélectionnez le fichier .shp dans votre dossier de travail (ici le fichier *reseau_ferro.shp* dans le sous-dossier *data*) puis cliquez sur **Open**.
3. Cliquez sur **Add**.

Note : Une autre solution (plus rapide) pour l'importation de couches est de glisser-déposer le fichier directement dans QGIS.

4. Sélectionnez le système de projection dans lequel les coordonnées sont enregistrées avec *Filter*. Dans notre cas, la couche de chemins de fer est définie dans le (nouveau) système de projection Suisse CH1903+/LV95 (EPSG:2056).

Si un fichier .prj est associé aux données, QGIS peut directement mettre la couche dans le bon système de projection et vous n'aurez pas besoin de spécifier le système de projection (la boîte de dialogue n'apparaîtra pas)

Si vous avez choisi un mauvais système de projection, vous pouvez toujours le modifier en allant dans la liste des couches puis **Clic droit > Set Layer CRS**.

Remarque sur le stockage des couches : Attention, dans QGIS, le fichier n'est pas importé à proprement parler. QGIS crée un lien vers la couche en question, c'est-à-dire que le fichier de la couche conserve son emplacement initial (dans le dossier « data ») et n'est pas copié dans le projet. Seul l'emplacement de ce fichier est enregistré dans le projet. Ainsi, si vous fermez votre projet et


changez le chemin relatif entre l'endroit où est sauvé le projet et l'endroit de la couche, QGIS ne retrouvera plus cette couche. Il faudra redéfinir ce chemin.

Importation de données au format .kml

Vous êtes mandatés pour une étude de cas sur la commune de Riddes. Ne sachant pas se servir de logiciels SIG, le maire a délimité la zone de la commune à étudier sur Google Earth et vous a ensuite transmis le fichier .kml, qui est le format utilisé spécifiquement par Google Earth pour le stockage et l'échange de données géographiques.

Visualisez tout d'abord le fichier de *delimitation.kml* (sous-dossier *data*) dans Google Earth. Si Google Earth n'est pas installé sur votre ordinateur, vous pouvez vous rendre sur l'application Web (<https://earth.google.com/web/>) et visualiser la couche en cliquant sur *Projets* (dans le menu à gauche) > *Open* > *Import KML file from computer*. Importons maintenant cette couche dans notre SIG.

Pour importer un fichier .kml dans QGIS :

1. **Layer > Add Layer > Add Vector Layer >  dans Vector Datasets**
2. Sélectionnez le fichier .kml dans votre dossier de travail puis cliquez sur **Open**

Note : Vous pouvez remarquer que le système de projection n'est pas demandé. C'est parce que le système de projection utilisé par Google Earth est toujours le même, à savoir WGS84, et que cette information est stockée à l'intérieur du fichier .kml.

Après avoir importé la délimitation de la zone à étudier sur QGIS, observez si elle se trouve au bon endroit sur la carte (si vous ne la voyez pas, référez vous aux instructions pour visualiser une couche page 4).

Vous remarquerez que toutes les couches se superposent correctement (se trouvent au bon endroit) alors que différents systèmes de coordonnées sont utilisés. C'est parce que les couches n'ont pas besoin d'être nécessairement dans le même système de projection, mais elles doivent par contre être dans le système de projection dans lequel elles ont été créées.


Importation de données raster – géoréférencement

Dans la vallée du Rhône, beaucoup de nouveaux éléments bâtis ont fait leur apparition depuis la fin du 19ème siècle, le village de Riddes se trouvant au sud de la vallée. Il y a cent ans, les crues de la rivière de La Fare n'avaient pas beaucoup d'impact, ce qui a changé au vu de la densification des éléments bâtis. Vous aimeriez grossièrement calculer la différence de surface bâtie entre ces deux époques.

Pour avoir des informations sur la situation au 19ème siècle, vous avez à disposition un extrait de la carte Dufour (cartographie de la Suisse datant de 1844). Il s'agit maintenant d'importer la carte

Dufour et de la géoréférencer dans la projection Suisse afin de pouvoir la superposer aux données déjà présentes dans le projet.

Pour importer une couche raster (image) dans QGIS :

1. **Layer > Add Layer > Add Raster Layer**  dans **Raster Datasets**
2. Sélectionnez le fichier raster dans votre dossier de travail (ici le fichier *carte_dufour.tif* dans le sous-dossier *data*) puis cliquez sur **Open**.
3. Cliquez sur **Add**.
4. Sélectionnez le système de projection. Nous allons choisir ici le système de référence suisse CH1903+/LV95 (EPSG:2056).

L'image apparaît bien dans le projet mais visiblement pas au bon endroit (si vous ne la voyez pas apparaître, faites un clic droit sur le nom de la couche puis *Zoom to layer*). C'est parce que la projection de l'image est maintenant spécifiée, mais cette image n'a jamais été géoréférencée. En effet, en vous baladant avec le curseur sur l'image, vous constaterez que les coordonnées indiquées dans la barre en bas de la fenêtre QGIS sont simplement les coordonnées des pixels et non les coordonnées suisses des localisations représentées par chaque pixel.

Géoréférencement d'une image

Pour géoréférencer une image, il est nécessaire de calculer une transformation de type $(X,Y) = f(x,y)$ pour laquelle X, Y sont les coordonnées suisses (comme c'est le cas de la carte Valais central par exemple) et x,y les coordonnées pixel (comme c'est pour l'instant le cas de la carte Dufour). Pour calculer les paramètres de la transformation, il est nécessaire de connaître les coordonnées suisses d'au moins trois points de l'image à géoréférencer. Plus le nombre de points de calage sera important et bien répartis sur l'image, meilleur sera le géoréférencement.

1. Raster > Georeferencer > Georeferencer

Note : L'outil de géoréférencement est issu d'un plugin. Si la fonction n'apparaît pas, c'est que le plugin n'est probablement pas installé ou activé. Pour le faire, allez dans **Plugins > Manage and Install Plugins**, recherchez l'outil *Georeferencer GDAL* et cochez la case à gauche du nom pour l'activer.

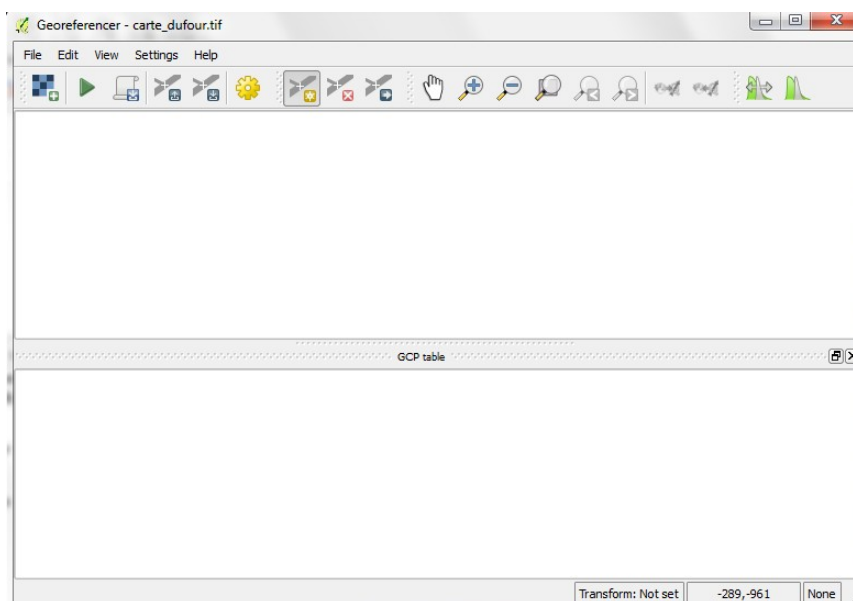




Figure 2: Fenêtre du plugin Georeferencer

Dans la fenêtre du Georeferencer :

2. **File > Open raster** et sélectionnez le raster à géoréférencer (ici, *carte_dufour.tif*)
3. Si des points de calage (nommés Ground Control Point en anglais) existent déjà, importez-les avec **File > Load GCP points** ou 

Dans votre cas, un stagiaire a déjà commencé à digitaliser quelques points de correspondances qui sont disponibles dans le fichier *carte_dufour_gcp_2056.tif.points* (sous-dossier *data*).

En bas de la fenêtre, un tableau indique pour chaque point la correspondance entre les coordonnées x et y de la carte Dufour (SourceX, SourceY) et les coordonnées suisses correspondantes (Dest. X, Dest. Y).

4. Spécifiez les paramètres de transformation sous **Settings > Transformation Settings** ou 
 - **Transformation type** : Vous avez le choix entre des méthodes linéaires (ex : *Linear*, *Helmert*, *Polynomial 1*) qui appliquent une transformation en 3 étapes (translation – rotation – facteur d'échelle). Les méthodes *Polynomial 2* et *Polynomial 3* corrigent certaines distorsions locales mais nécessitent plus de GCP. La méthode *Thin plate spline* déforme la carte pour que tous les GCP se retrouvent exactement aux mêmes endroits dans la carte transformée (les autres méthodes essaient quant à elles de minimiser les résidus). En règle générale, les méthodes linéaires, et plus particulièrement la méthode de *Helmert*, sont les plus utilisées.
 - **Resampling method** : Ce paramètre détermine comment la couleur des pixels de l'image géoréférencée est calculée. Choisissez ici l'option *Nearest neighbour* qui est une méthode simple nécessitant peu de puissance de calculs.

- **Target SRS** : Le système de référence dans lequel vous voulez travailler (ici, EPSG 2056 – CH1903+/LV95).
- **Output raster** : Sélectionnez le nom et l'emplacement de sauvegarde de l'image qui sera géoréférencée. Dans notre cas, nous la nommerons [carte_dufour_2056](#).

5. Lancez le géoréférencement **File > Start georeferencing** ou 

Analysez maintenant les résidus obtenus avec la méthode Helmert (regardez les traits rouges sur la carte ou la colonne *residual* dans la GCP table en dessous de l'image). Qu'est-ce que vous constatez ? Est-ce que la précision atteinte est suffisante ? Nous allons créer 2 nouveaux points pour améliorer la précision du géoréférencement.

Pour ajouter un GCP :


6. **Edit > Add point** ou 

7. Cliquez à l'endroit où vous voulez poser le point. Choisissez un endroit pour lequel vous pouvez trouver facilement une correspondance avec les couches déjà référencées. Notre cas d'étude étant ici le village de Riddes, il est nécessaire de répartir les GCP autour de cette zone.

8. Dans la fenêtre *Enter Map Coordinates*, cliquez sur l'option *From map canvas* afin d'identifier le point sur une carte déjà géoréférencée à la place d'indiquer manuellement ses coordonnées.

9. Trouvez le point correspondant dans une carte géoréférencée de votre projet (ici, la couche [Valais_central](#) qui est la carte nationale CN25) puis cliquez sur **OK**.


10. Répétez les opérations 7 à 10 pour créer autant de GCP que nécessaire.

11. Si QGIS n'a pas recalculé automatiquement les résidus dans la *GCP table*, relancez le géoréférencement avec **File > Start georeferencing** ou 

Analysez les résidus obtenus. Que pouvez-vous en dire ? La précision de chaque point est-elle équivalente ? Comment pourrait-on identifier un point de contrôle mal défini ? En l'occurrence, il y a au moins un point qui a été mal défini par le stagiaire...

12. Pour supprimer un GCP mal défini, cliquez sur ou  **clic droit > Remove**

13. Redéfinissez d'autres points pour les remplacer puis relancez le géoréférencement

14. (optionnel) Sauvegardez les GCP créés dans votre dossier de travail avec **File > Save GCP points as** ou 

15. Quittez l'outil *Georeferencer*


Vous pouvez maintenant supprimer l'ancienne carte Dufour ([carte_dufour](#)) dans la liste des couches et importez la nouvelle carte Dufour géoréférencée ([carte_dufour_2056](#)) selon les indications en page 7.

La carte Dufour apparaît-elle maintenant au bon endroit ? Faites apparaître le réseau hydrographique par-dessus la carte Dufour et observez l'impact de la correction du Rhône.

Création d'une couche vectorielle

Pour comparer les surfaces bâties entre les deux époques différentes (carte Dufour 1844 et carte nationale actuelle), il vous faudra digitaliser (numériser) ces surfaces bâties dans une nouvelle couche vectorielle.



Pour créer une nouvelle couche vectorielle :

1. **Layer > Create Layer > New Shapefile Layer** ou 
2. Remplissez les paramètres suivants :
 - **File name** : sélection de l'emplacement de sauvegarde (le sous-dossier *data* dans votre dossier de travail) et du nom de la couche qui sera créée (ici, *elements_batis_1844*).
 - **File encoding** : encodage des caractères. Laissez l'option par défaut.
 - **Geometry type** : point, ligne ou polygone (ici, *polygon*).
 - Choisissez le système de projection dans le menu déroulant (ici, EPSG 2056 – CH1903+/LV95).
3. Dans la partie **New Field**, vous pouvez ajouter des attributs en spécifiant leur nom, leur type (texte, nombre entier, nombre décimal, date). Dans notre cas, nous aimerions ajouter un attribut qui nous permettra de définir une catégorie pour les objets que nous allons insérer (Name : Catégorie, Type : text).
4. Cliquez sur **Add to Fields List** pour ajouter l'attribut à votre table.
5. Cliquez sur OK.

Digitalisation et acquisition d'information attributaire

Vous allez maintenant digitaliser (= dessiner) des objets dans la couche *elements_batis_1844* que vous avez créée.

Pour ajouter des objets dans une couche vectorielle :

1. Sélectionnez la couche dans la liste des couches
2. Activez le mode édition avec **Layer > Toggle Editing** ou 
3. Ajoutez un nouvel objet avec **Edit > Add Polygon Feature** (ou Line ou Point selon le type de géométrie de votre couche) ou 
4. Dessinez maintenant les objets directement sur la carte (avec clic droit pour « terminer l'objet »). Ici, vous voulez digitaliser les contours des éléments bâtis pour le village de Riddes en 1844 donc servez-vous de la carte Dufour pour cela. Donnez aux trois ensembles de bâtiments respectivement les ID 1, 2 et 3 et la catégorie *Built_area*.

5. Cliquez de nouveau sur le mode édition pour le désactiver, en sauvegardant les changements.

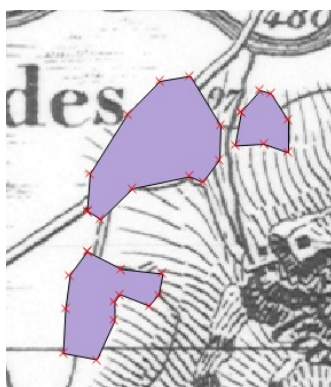


Figure 3: Digitalisation des anciens bâtiments

Vous n'avez pas besoin de digitaliser les surfaces bâties pour le 20ème siècle (donc sur la carte nationale) car vous avez déjà ces informations via la couche [Surfaces primaires](#). Identifiez la couleur correspondant aux surfaces bâties de cette couche et sélectionnez les zones de bâtiments dans le village de Riddes à l'aide des outils de sélection (cf. page 5).

Pour sauvegarder des éléments sélectionnés dans une nouvelle couche vecteur :

1. Clic droit sur la couche dans laquelle les éléments sont sélectionnés
2. **Export > Save selected feature as**
3. Spécifiez les éléments suivants dans la fenêtre *Save vector layer as* :
 - **Format** : Format dans lequel vous voulez sauvegarder vos données (ESRI Shapefile, GeoJSON, GeoPackage, etc.). Ici, nous choisirons le format ESRI Shapefile.
 - **File name** : Nom et emplacement de sauvegarde de la couche résultante. Ici, nommez la couche [elements_batis_actuels](#) et sauvez-la dans le sous-dossier *data*.
 - **CRS** : Système de projection dans lequel vous voulez sauver la couche (ici, EPSG 2056 – CH1903+/LV95)
 - Vérifiez que la case **Save only selected features** est cochée.
4. Cliquez sur OK.

La couche devrait apparaître directement dans QGIS. Si ce n'est pas le cas, vous pouvez toujours l'importer en suivant les indications page 6.

Vous allez maintenant pouvoir connaître l'augmentation de surface entre les deux époques et leur surface commune en comparant les deux surfaces bâties ([elements_batis_1844](#) et [elements_batis_actuels](#)).

Pour déterminer la surface commune entre deux couches vectorielles :

1. Vector > Geoprocessing Tools > Intersection

- **Input layer** : une des couches à intersecter (ici, [elements_batis_1844](#))
- **Overlay layer** : l'autre couche à intersecter (ici, [elements_batis_actuels](#))
- Laissez les éléments **Selected features only** décochés.
- **Intersection** : Laissez l'option vide pour créer un fichier temporaire (qui sera sauvegardé uniquement dans QGIS mais pas sur votre ordinateur et qui sera perdu si vous quittez QGIS) ou sélectionnez un nom et un emplacement de sauvegarde. Ici, nous créerons une couche temporaire en laissant l'option vide.

2. Cliquez sur **Run**.


- ### 3. (optionnel) En ouvrant la table des attributs, vérifiez que la couche [intersection](#) a bien hérité des attributs des deux couches. Ici, vous remarquerez que les valeurs « Area » et « Perimeter » s'y trouvant n'ont pas été modifiées, elles correspondent toujours aux valeurs de l'objet de la couche [Surfaces primaires](#) qui a été intersecté et elles n'ont donc aucun sens ici.

Combien d'objets constituent la couche [intersection](#) ? Pourquoi ?

- ### 4. Il est en général pratique (mais non obligatoire) de fusionner en un seul objet les objets issus de l'intersection. Pour cela, utilisez **Vector > Geoprocessing Tools > Dissolve**
- **Input layer** : la couche à fusionner (ici, [intersection](#))
 - Laissez l'option **Selected features only** décochée.
 - **Dissolved** : Laissez l'option vide pour créer un fichier temporaire ou sélectionnez un nom et un emplacement de sauvegarde. Ici, nous laisserons l'option vide.
- ### 5. Cliquez sur Run.
- ### 6. (optionnel) Vérifiez qu'il n'y a qu'un seul objet (une seule ligne) dans la table des attributs de la couche résultante (ici, [dissolve](#)).

Vous avez maintenant la surface de correspondance entre les deux années mais vous souhaitez à présent calculer l'augmentation de surface entre les deux époques, c'est-à-dire la différence entre l'aire de la couche [elements_batis_actuels](#) et l'aire de la couche [elements_batis_1844](#). Pour cela, vous allez ajouter un nouvel attribut dans ces deux couches correspondant à leurs aires respectives.

Pour ajouter un attribut à une couche selon une expression (formule) :

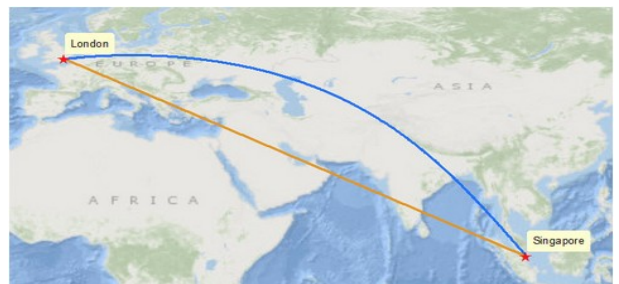
1. Ouvrez la table des attributs de la couche
2. Ouvrez le **Field Calculator** en cliquant sur 
3. Remplissez les paramètres suivants :
 - Sélectionnez **Create a new field** ou **Update existing field** suivant les attributs initialement présents dans votre table. Dans notre cas par exemple, la couche [elements_batis_actuels](#) contient déjà un attribut AREA mais qui ne correspond pas à sa

surface, nous allons donc le mettre à jour (*Update existing field*) tandis que la couche `elements_batis_1844` n'a pas d'attribut pour l'aire, nous allons donc le créer.

- Si vous avez sélectionné **Create a new field**, donnez un nom (*Output field name*) à l'attribut, un type (*Output field type*), la longueur (*Output field length*) et le nombre de décimales si nécessaire (*Precision*). Si vous avez sélectionné **Update existing field**, choisissez l'attribut (colonne) à mettre à jour.
4. Dans l'encadré **Expression**, vous allez écrire une formule qui permettra de remplir les valeurs de l'attribut. Une liste d'expressions est fournie à droite de l'encadré. En cliquant sur une fonction, une explication apparaît à droite et vous pouvez ajouter la fonction pour former l'expression en double cliquant dessus. Dans notre cas, la fonction pour calculer l'aire (**area(\$geometry)**) se trouve dans l'onglet *Geometry*.
 5. Cliquez sur OK.
 6. (optionnel) Retournez dans la table des attributs pour vérifier l'ajout de l'attribut et le résultat.

Une fois l'aire calculée pour les deux couches (`elements_batis_actuels` et `elements_batis_1844`), vous pouvez calculer l'augmentation de surface manuellement. Vous devriez trouver que la surface de la zone dans laquelle se concentrent les constructions du village de Riddes a augmenté de env. 103% ($100 * (547'820 - 269'247) / 269'247 \approx 103\%$) en 150 ans!

Remarque : Les aires auraient également pu être calculées avec la fonction **\$area**. La différence entre **area(\$geometry)** et **\$area** est que la première expression calcule une distance plane (en rouge sur la carte) tandis que la deuxième calcule une distance géodésique (en bleu). Dans ce cours, nous privilégierions la première option afin d'obtenir les mêmes réponses qu'avec la fonction **ST_Area()** utilisée dans les requêtes SQL (que nous découvrirons plus tard dans le semestre).



Calcul de la pente moyenne

Vous aimeriez maintenant connaître la pente moyenne de chaque zone bâtie actuelle. Pour cela, vous allez avoir besoin d'une couche avec tous les éléments bâtis de la couche `Surfaces primaires` (et pas uniquement les surfaces bâties de la commune de Riddes), et d'une carte de la région indiquant la pente en tout point, à partir d'un modèle numérique d'altitude MNA (ou DEM en anglais pour 'Digital Elevation model').

Commencez par sélectionner tous les éléments bâtis ("OBJECTVAL" = 'Z_Siedl') de la couche [Surfaces primaires](#) et sauvegarder-les dans une nouvelle couche que vous appellerez [elements_batis_valais_central](#).

Dans un modèle numérique d'altitude, chaque pixel est caractérisé par un nombre correspondant à l'altitude. La taille du pixel correspond à la résolution du MNT, ici 25 mètres.

Tel qu'il apparaît à l'écran, le terrain est difficile à comprendre. Nous sommes habitués dans les cartes à avoir le relief représenté par un ombrage.

Pour ajouter un ombrage sur un MNA :

1. Allez dans la **Processing Toolbox** qui devrait apparaître par défaut à droite du canevas de carte. Si ce n'est pas le cas, allez dans: **View > Panels** et cochez « Processing Toolbox ».
Comme son nom l'indique, la **Processing Toolbox** regroupe diverses fonctions permettant d'effectuer des tâches d'analyses spatiales rapidement et efficacement.
2. **Raster terrain analysis > Hillshade** ou tapez Hillshade dans l'onglet *Search*.
3. Spécifiez les paramètres suivants :
 - **Elevation layer** : la couche correspondant au MNA (ici, [MNA25 Valais central](#))
 - **Output layer** : (optionnel) spécifiez un nom et emplacement de sauvegarde. Ici, nous allons sauver la couche résultante dans le sous-dossier *data* et nous la nommerons [MNA25 Valais central hillshade](#).
 - Laissez les autres paramètres par défaut
4. Cliquez sur **Run**.

Le MNA devrait être maintenant plus facile à visualiser.

Pour calculer la pente en tout point du MNA :

1. Allez dans la **Processing Toolbox**
2. **Raster terrain analysis > Slope**
3. Spécifiez les paramètres suivants :
 - **Elevation layer**: le MNA à partir duquel nous voulons calculer la pente (ici, [MNA25 Valais central](#)).
 - **Slope** : (optionnel) nom et emplacement du fichier pour la pente (ici, [slope](#) dans le sous-dossier *data*).
4. Cliquez sur **Run**.

Vous disposez maintenant d'une carte raster ([slope](#)) indiquant la pente en tout point par différentes nuances de gris. Pour rendre cette carte plus lisible, vous allez remplacer ces nuances de gris par une échelle de couleurs.

Pour attribuer une échelle de couleur à un fichier raster :

1. **Clic droit sur la couche > Properties > Symbology**
2. Sous **Render type**, choisissez *Singleband pseudocolor*. Sélectionnez ensuite une palette de couleurs en cliquant sur le menu déroulant (cliquez bien sur la flèche) de la propriété **Color Ramp** (par exemple *Reds*).
3. Cliquez ensuite sur **Classify** et finalement **OK**.

Maintenant, vous avez tous les outils pour calculer la pente moyenne des objets de `elements_batis_valais_central`.

Pour calculer des statistiques (moyenne, max, min, etc.) pour chaque cellule d'un raster :

1. Allez dans la **Processing Toolbox**
2. **Raster analysis > Zonal statistics**
3. Spécifiez les paramètres suivants :
 - **Raster layer** : la couche à partir duquel nous allons extraire des statistiques (ici, le raster contenant la pente du MNA, c'est-à-dire `slope`)
 - **Vector layer** : les polygones pour lesquels nous voulons avoir des statistiques (ici, la couche `elements_batis_valais_central`)
 - **Output column prefix** : préfixe des nouveaux attributs que vous allez donner à la couche vecteur (par exemple *SLOPE* dans notre cas).
 - Cochez les statistiques que vous voulez calculer. Ici, nous sommes principalement intéressés par la valeur moyenne et maximale de pente.
 - **Zonal statistics:** (optionnel) nom et emplacement du fichier pour la couche résultante (ici, `elements_batis_slope` dans le sous-dossier `data`).
4. Cliquez sur **Run**.

Allez vérifier dans la table d'attribut de la couche que la valeur moyenne des pentes dans chaque zone a bien été calculée! Quelle est la valeur maximale?

Dans cette étape, vous avez calculé des valeurs de pente moyenne pour chaque zone bâtie de la région. On pourrait maintenant cartographier les polygones pour mettre en évidence ceux qui se trouvent sur les plus fortes pentes. Le chapitre suivant vous montre comment cartographier les attributs d'un polygone.

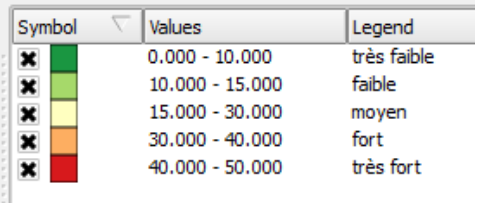
Création d'une carte des pentes classifiées

Pour cartographier la pente moyenne, nous allons utiliser un dégradé de couleur sur l'attribut *SLOPEmean* de la couche `elements_batis_slope`.

Pour attribuer un dégradé de couleur à une couche vecteur :

1. **Clic droit sur la couche > Properties > Symbology**

2. Dans le menu déroulant, choisissez l'option *Graduated*
3. Sous **Value**, choisissez l'attribut à cartographier (ici, *SLOPEmean*)
4. Sous **Color ramp**, cliquez sur la flèche et sélectionnez une palette appropriée (par exemple *RdYlGn*) et cochez *Invert* pour assurer une meilleure visibilité du résultat
5. Redéfinissez les fourchettes d'angles définissant chaque classe et labélisez ces classes comme indiqué dans la figure ci-dessous (en double cliquant sur les valeurs ou sur le texte dans Legend). Les labels sont en fait des indicateurs de risque en fonction de la pente.
6. Cliquez sur OK





Symbol	Values	Legend
	0.000 - 10.000	très faible
	10.000 - 15.000	faible
	15.000 - 30.000	moyen
	30.000 - 40.000	fort
	40.000 - 50.000	très fort


Figure 4: Extrait de la fenêtre
« layer Properties »

Finalement, pour exporter la carte créée et pouvoir ainsi la partager, nous allons utiliser le composeur d'impression (ou éditeur de cartes).

Pour éditer et exporter une carte avec le composeur d'impression :

1. **Project > New Print Layout** ou 
2. Donnez un nom à votre carte (ici, « Carte des risques »).
3. Ajoutez la carte en cliquant sur  et cliquez-glissez sur la page blanche. Cela fait apparaître les couches qui sont actuellement apparentes sur votre éditeur.
4. Personnalisez votre carte avec les différentes fonctionnalités du composeur (voir https://docs.qgis.org/3.16/en/docs/user_manual/print_composer/overview_composer.html)

Remarque : Pour être compréhensible, une carte doit au minimum avoir un titre, une légende et une échelle. D'autres éléments tels qu'une flèche du Nord ou des informations supplémentaires (système de projection, auteur(s), date, provenance des données, etc.) sont également recommandés.

5. Exportez la carte finale en .png en cliquant sur 

Carte des risques liés à la pente

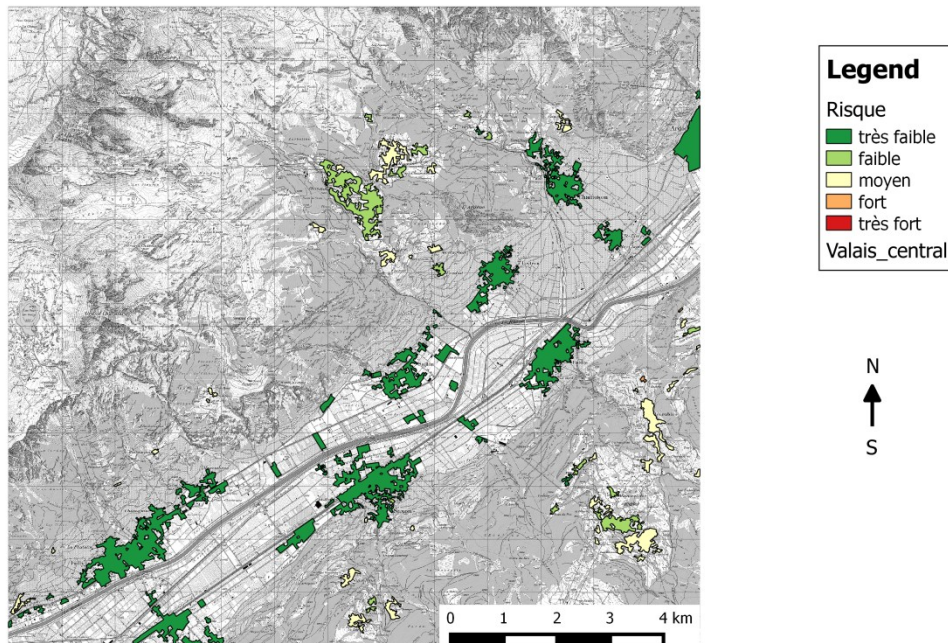


Figure 5: Exemple de carte finale que vous devriez obtenir

Compte-rendu personnel

Rédigez un compte-rendu personnel de cet exercice sur une page A4, n'oubliez-pas d'y inscrire votre prénom et votre en nom ainsi que la date en en-tête. Enregistrez ce compte-rendu au format PDF et uploadez-le sur Moodle à l'endroit prévu à cet effet.