
QGIS 10



Géotraitements en mode raster
avec QGIS

Septembre 2025



TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION.....	2
1.1 MISE EN ŒUVRE DES GEOTRAITEMENTS RASTER	2
1.2 PROPRIETES D'UNE COUCHE RASTER	2
1.3 STATISTIQUES D'UNE COUCHE RASTER.....	4
2. PRINCIPAUX GEOTRAITEMENTS EN MODE RASTER.....	5
2.1 CALCULATRICE RASTER	5
2.1.1 <i>Introduction</i>	5
2.1.2 <i>Exemple 1 : opération de sélection</i>	5
2.1.3 <i>Exemple 2 : opérations arithmétiques</i>	8
2.2 STATISTIQUES DE ZONE	11
2.3 CALCUL DE PENTE ET D'EXPOSITION	13
2.4 CREATION DE CLASSES (RECLASSIFICATION)	16
2.5 COMBINAISON DE COUCHES RASTER	20
2.6 STATISTIQUES DE CLASSES.....	21
2.7 SIMPLIFICATION D'UNE COUCHE RASTER (« TAMISAGE »)	22
2.8 VECTORISATION D'UNE COUCHE RASTER (« POLYGONISER »).....	24
2.9 RASTERISATION D'UNE COUCHE VECTORIELLE (VECTEUR VERS RASTER)	26
2.9.1 <i>Exemple 1 : créer un masque 0/1 pour la Belgique</i>	26
2.9.2 <i>Exemple 2 : rasterisation en fixant la résolution et l'emprise</i>	28
2.9.3 <i>Exemple 3 : rasterisation d'une couche de lignes</i>	30
2.10 NOTION DE « NoData ».....	31
2.11 CALCUL DE DISTANCE EUCLIDIENNE (PROXIMITE).....	33
2.12 EXTRAIRE DES INFORMATIONS PONCTUELLES DANS UNE COUCHE RASTER	35
2.12.1 <i>Approche simple pour une seule couche raster</i>	35
2.12.2 <i>Extraire des informations ponctuelles dans un grand nombre de couches</i>	35
2.13 FUSION DE COUCHES RASTER EN CREANT DES RASTERS VIRTUELS.....	38
2.13.1 <i>Introduction</i>	38
2.13.2 <i>Mosaïquage de couches SRTM</i>	38
2.14 REPROJETER, REECHANTILLONNER ET MODIFIER L'EMPRISE D'UN RASTER (WARP)	41
2.15 INDICE DE POSITION TOPOGRAPHIQUE (TPI).....	44
3. EXERCICES SUPPLEMENTAIRES.....	47
3.1 CARTES DES SOUS-SECTEURS TOPOGRAPHIQUES.....	47
3.2 CARTE DES ZONES FORESTIERES OUVERTES (NON-BOISEES).....	48



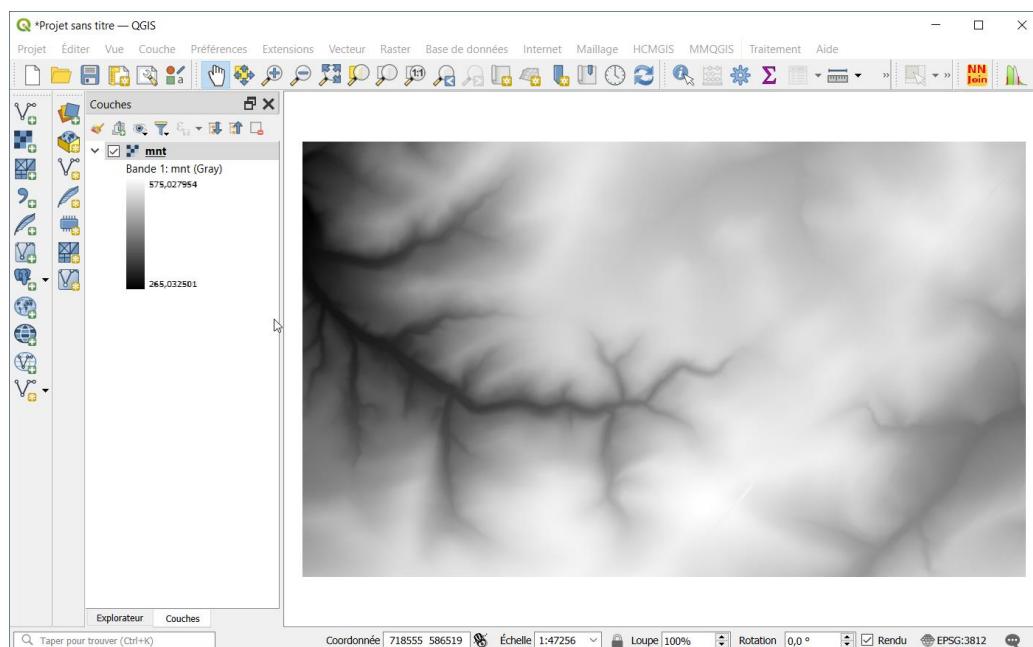
1. Introduction

1.1 Mise en œuvre des géotraitements raster

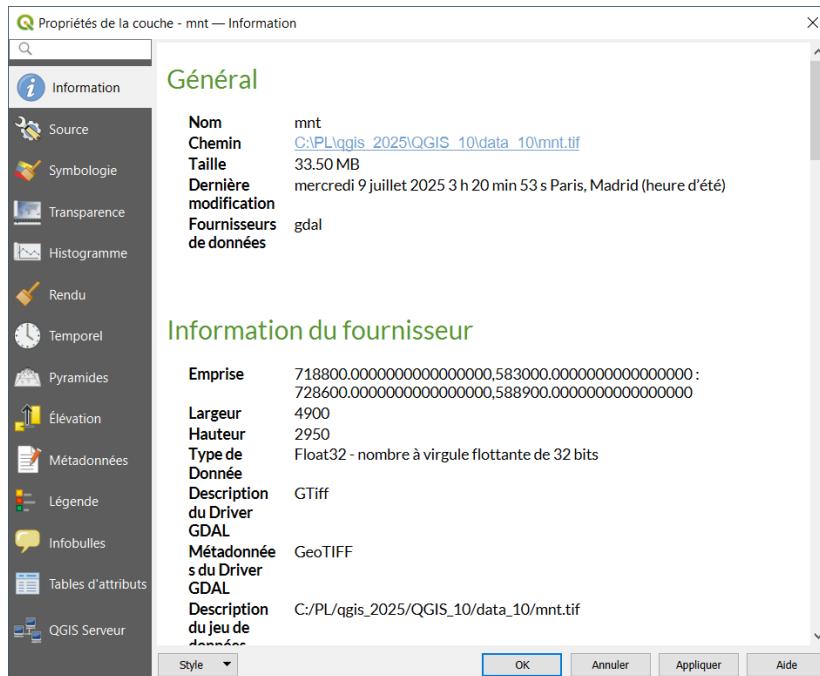
- La mise en œuvre des géotraitements sur des données raster suit globalement le même principe que pour les données vectorielles. La structure des données raster (grille de pixels) impose toutefois la prise en compte de plusieurs paramètres techniques qui ne s'appliquent pas aux données vectorielles : emprise, résolution spatiale, système de coordonnées de la grille, codage des pixels, gestion des « *NoData* », absence de table d'attributs, volume de données parfois très important... Ces spécificités rendent la gestion et le traitement des données raster un peu plus complexe que dans le cas des données vectorielles.

1.2 Propriétés d'une couche raster

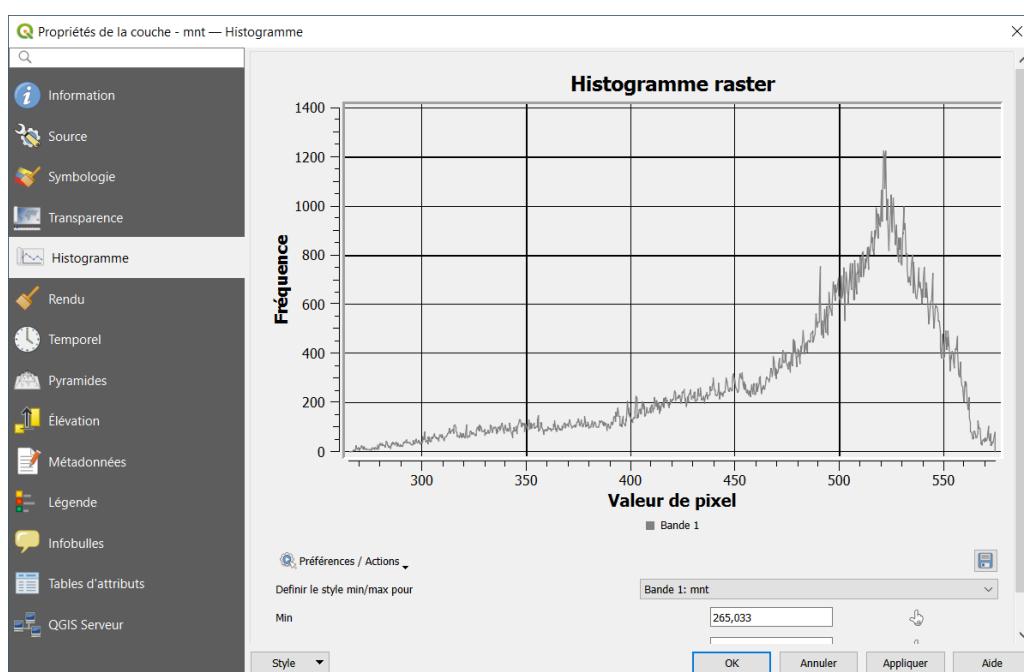
- Une utilisation correcte des données raster suppose de bien comprendre et maîtriser leurs différentes propriétés.
- Afficher la couche **mnt.tif** dans un projet QGIS. Cette couche contient un Modèle Numérique de Terrain (MNT) qui décrit les variations spatiales d'altitude (exprimée en m).



- Afficher les propriétés de la couche raster en double-cliquant sur le nom de la couche.



- Essayer de retrouver les informations suivantes dans l'onglet « Information » :
 - Taille des pixels : 2 mètres
 - Emprise du raster : $x_{\min} = 718800$, $x_{\max} = 728600$, $y_{\min} = 583000$, $y_{\max} = 588900$
 - Nombre de lignes et de colonnes : 4900, 2950
 - Nombre de bande : 1
 - Codage de pixels : Float32 - nombre à virgule flottante de 32 bits
 - SCR : EPSG:3812 - ETRS89 / Belgian Lambert 2008
- Afficher l'onglet « Histogramme » et cliquer sur le bouton « Calculer l'histogramme ».

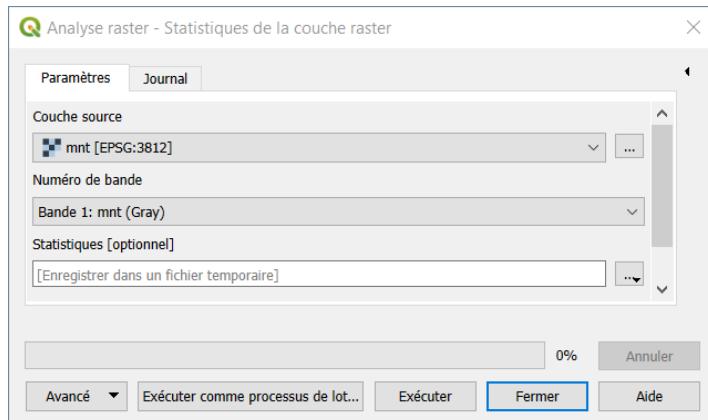




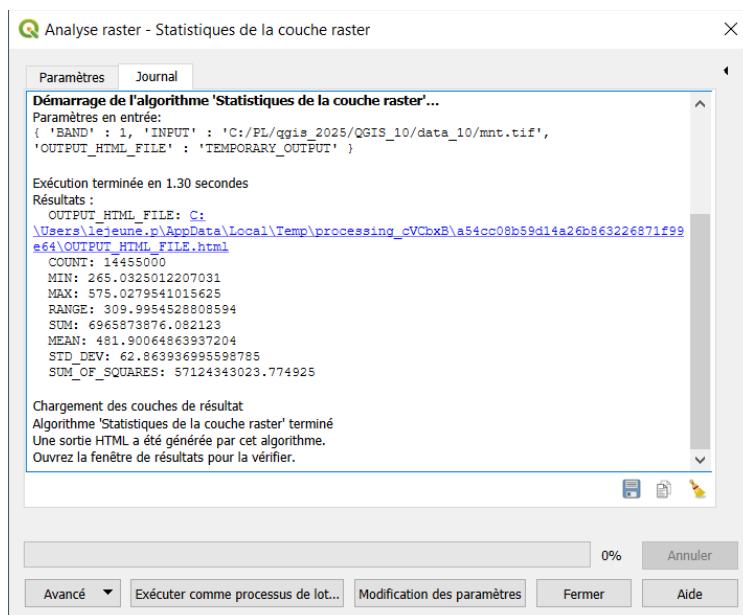
- Calculer la surface couverte par cette couche raster.
- Cette surface est de 5782 ha.

1.3 Statistiques d'une couche raster

- L'outil « Statistique de la couche raster » permet de calculer les statistiques de base d'une couche raster.



Après avoir exécuté la commande, les statistiques sont affichées dans l'onglet « Journal » de la boîte de dialogue.



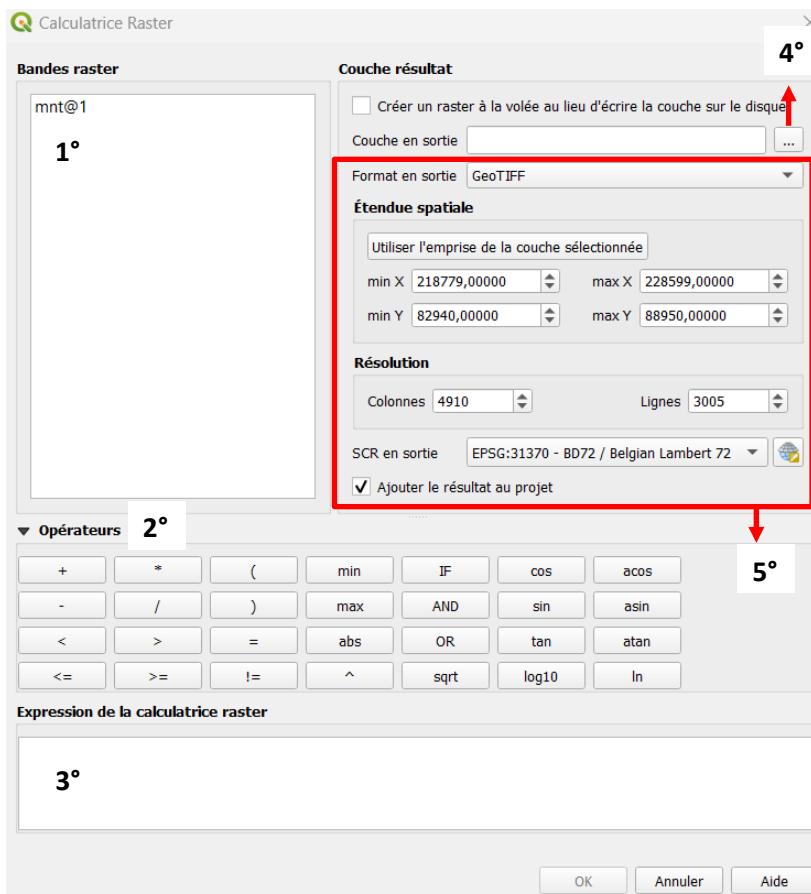


2. Principaux géotraitements en mode raster

2.1 Calculatrice raster

2.1.1 Introduction

- La calculatrice raster est l'outil de prédilection pour réaliser des opérations arithmétiques ou de requêtes sur une ou plusieurs couche(s) raster.
- Pour ouvrir la calculatrice raster, utiliser la commande [Raster] → [Calculatrice Raster].



1° Liste des couches raster contenues dans le projet QGIS.

2° Liste des opérateurs de calcul.

3° Fenêtre dans laquelle est construite l'expression de calcul.

4° Définition du fichier de sortie (nom, emplacement).

5° Propriétés du raster de sortie (format, emprise, SCR) : on conserve généralement les valeurs par défaut.

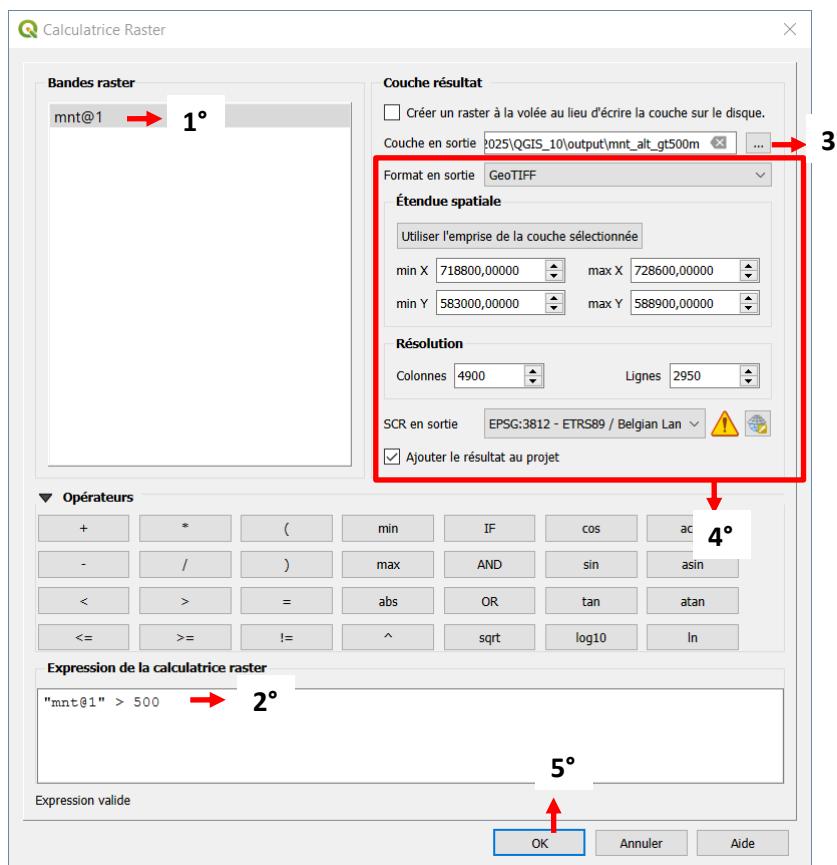
- Remarque :** la configuration de l'interface de la calculatrice raster accessible depuis la boîte à outils de traitements est légèrement différente de celle qui est présentée ci-dessus, mais le principe de fonctionnement est le même.

2.1.2 Exemple 1 : opération de sélection



Au départ de la couche **mnt.tif**, créer une nouvelle couche raster pour identifier les endroits où l'altitude est supérieure à 500 m. Nommer celle-ci **mnt_alt_gt500m.tif**.

- Afficher la calculatrice raster et procéder comme expliqué dans la figure suivante pour écrire l'expression de calcul.



1° Double-cliquer sur la couche **mnt@1** dans la liste des bandes raster. Le suffixe **@1** correspond à la bande 1 du fichier **mnt.tif**. Ce double-clic a pour effet d'insérer la couche dans l'expression de calcul.

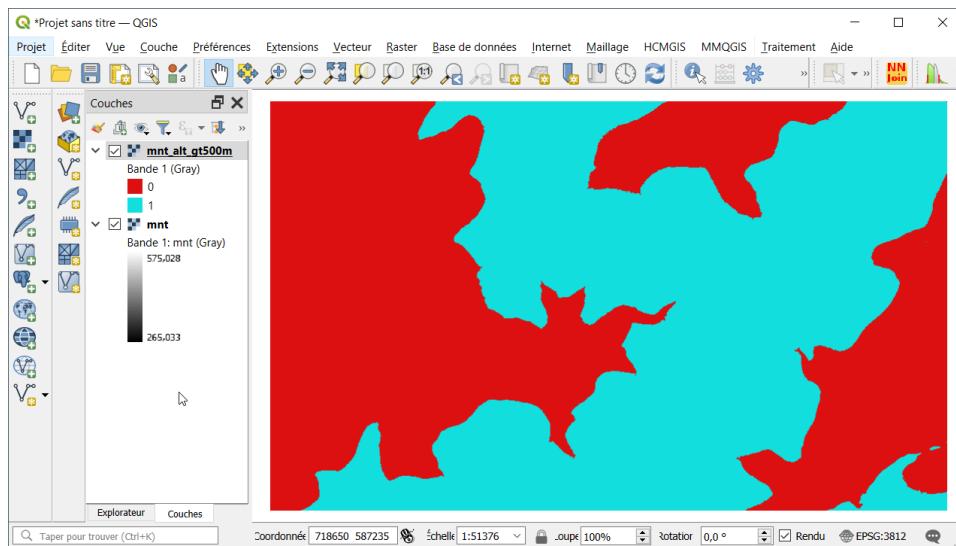
2° Compléter l'expression de calcul en ajoutant directement au clavier la condition « **> 500** ».

3° Définir le nom et l'emplacement du fichier de sortie.

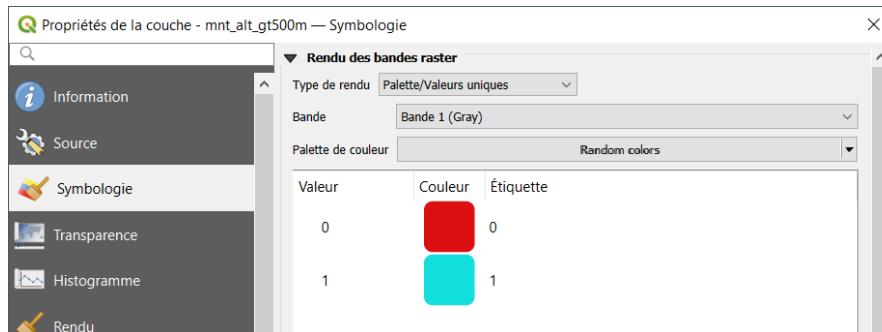
4° Conserver les valeurs par défaut pour les caractéristiques du fichier de sortie.

5° Exécuter le calcul en cliquant sur « **OK** ».

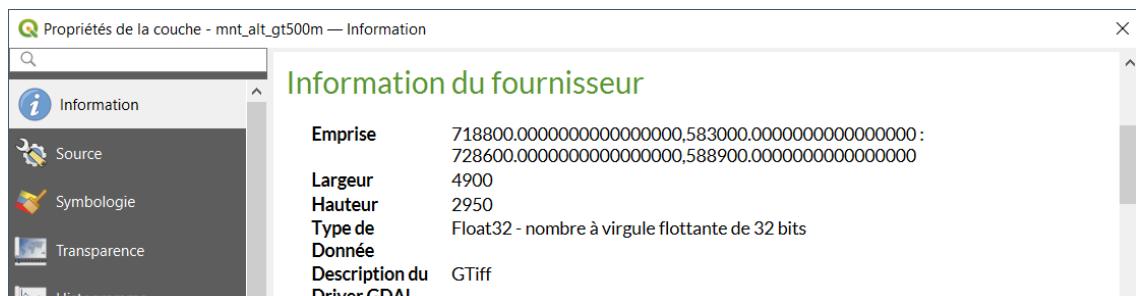
- L'expression « **mnt@1 > 500** » conduit à un résultat binaire qui prend la valeur « **1** » quand la condition est remplie et « **0** » quand elle ne l'est pas.
- **Remarque importante** : ce principe sera toujours d'application pour des expressions contenant des opérateurs logiques (**>**, **<**, **=**, **AND**, **OR**...).
- Le résultat se présente comme dans la figure suivante. Les pixels situés à plus de 500 m reçoivent la valeur 1 et les autres la valeur 0.



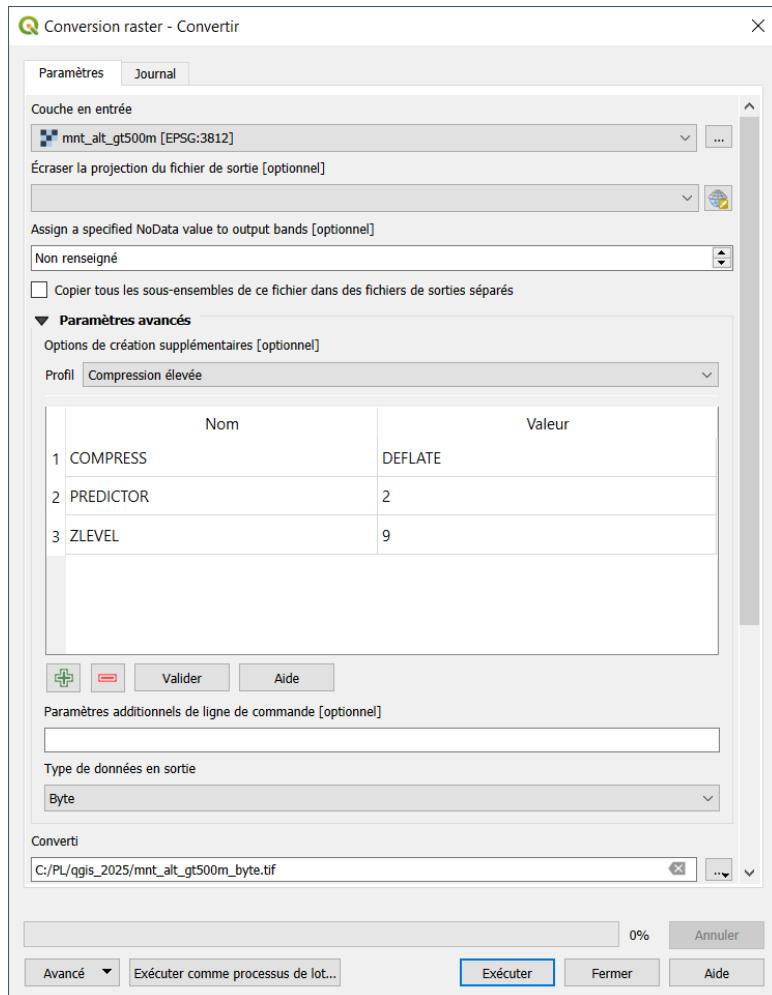
- Remarque : la symbologie utilisée pour la couche dans la figure précédente correspond à un rendu de type « Palettes/Valeurs uniques ».



- Remarque importante :** Si l'on consulte les propriétés de la couche produite, on constate que les pixels sont codés en **Float32**, alors que la couche ne contient que des 0 et des 1. **Float32** est le codage utilisé par la calculatrice raster. Cela peut conduire à générer des fichiers de dimension importante.



- Si on souhaite optimiser la taille des fichiers produit par la calculatrice, en choisissant le codage le plus parcimonieux, on peut utiliser l'outil « convertir » de la librairie GDAL.
- Dans la figure qui suit, la couche **mnt_alt_gt_500m.tif** est recopiée dans un nouveau fichier tif codé en Byte (0-255). Le nouveau fichier **mnt_alt_gt_500m_byte.tif** est en outre compressé.



- Le nouveau fichier pèse 138 Ko contre plus de 56000 Ko pour le fichier original.

mnt_alt_gt500m.tif	56,501 Ko
mnt_alt_gt500m_byte.tif	138 Ko

2.1.3 Exemple 2 : opérations arithmétiques

- Afficher la couche **ortho.tif** qui correspond à une image aérienne en infra-rouge fausses couleurs avec une résolution de 2 m. La manière d'interpréter une telle image sera abordée dans la partie « télédétection » du cours.
- Afficher les propriétés de l'image pour constater qu'elle est constituée de 3 bandes. C'est ce qui explique qu'elle est affichée avec un rendu « Couleur à bandes multiples ».



Propriétés de la couche - ortho — Symbologie

Rendu des bandes raster

Type de rendu : Couleur à bandes multiples

Bande rouge : Bande 1: IR (Red)
Min : 30 Max : 248

Bande verte : Bande 2: Red (Green)
Min : 9 Max : 253

Bande bleue : Bande 3: Green (Blue)
Min : 7 Max : 253

Amélioration du contraste : Pas d'amélioration

*Projet sans titre — QGIS

Projet Éditer Vue Couche Préférences Extensions Vecteur Raster Base de données Internet Maillage HCMGIS MMQGIS Traitement Aide

Couches

- ortho
 - Bandes 1: IR (Red)
 - Bandes 2: Red (Green)
 - Bandes 3: Green (Blue)
- mnt_alt_gt500m
 - Bandes 1 (Gray)
 - 0
 - 1
- mnt
 - Bandes 1: mnt (Gray)
 - 575.028
 - 265.033

Explorateur Couches

Taper pour trouver (Ctrl+K)

Coordonnée : 728619 583443 | Échelle : 1:47486 | Loupe : 100% | Rotation : 0,0° | Rendu | EPSG:3812



Utiliser les bandes NIR (proche infra-rouge) et Red (rouge) de la couche ortho pour calculer l'indice de végétation NDVI.

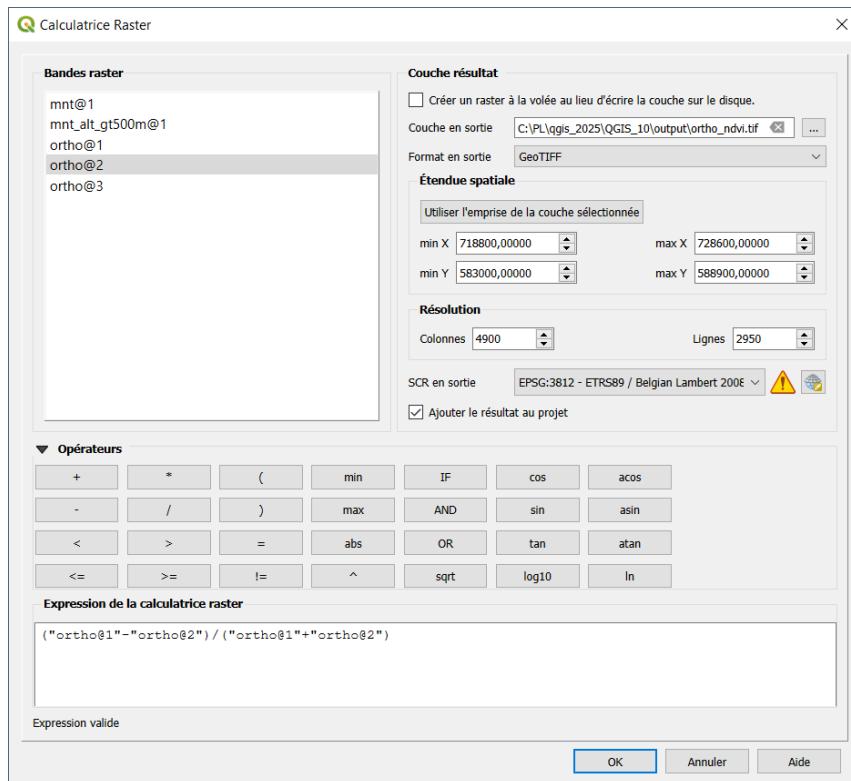
- L'indice NDVI est un indice qui varie de -1 à +1 et qui traduit la quantité de végétation active présente dans la scène. Les principes théoriques liés aux indices de végétation seront abordés dans partie « télédétection » du cours. Le NDVI se calcule avec la formule suivante :

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

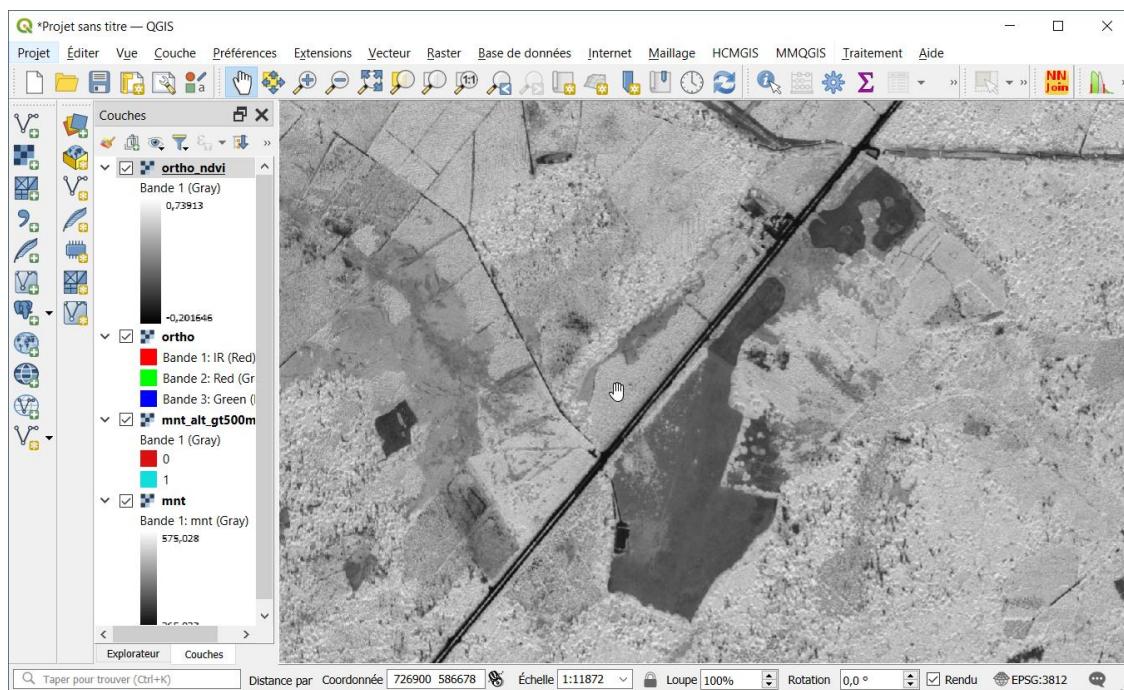
- Afficher la calculatrice raster. On constate que les 3 bandes de la couche **ortho** sont présentes dans la liste des bandes raster disponibles pour la calculatrice. À ce stade, il est important de pouvoir associer sans confusion les numéros de bandes avec la nature de celles-ci dans l'image. En regardant la légende de la couche **ortho** dans la figure précédente, on constate que la bande 1 correspond au NIR et la bande 2 au Red.



- Construire l'expression de calcul du NDVI comme dans la figure ci-dessous. Sauvegarder le résultat dans un fichier nommé **ortho_ndvi.tif**.



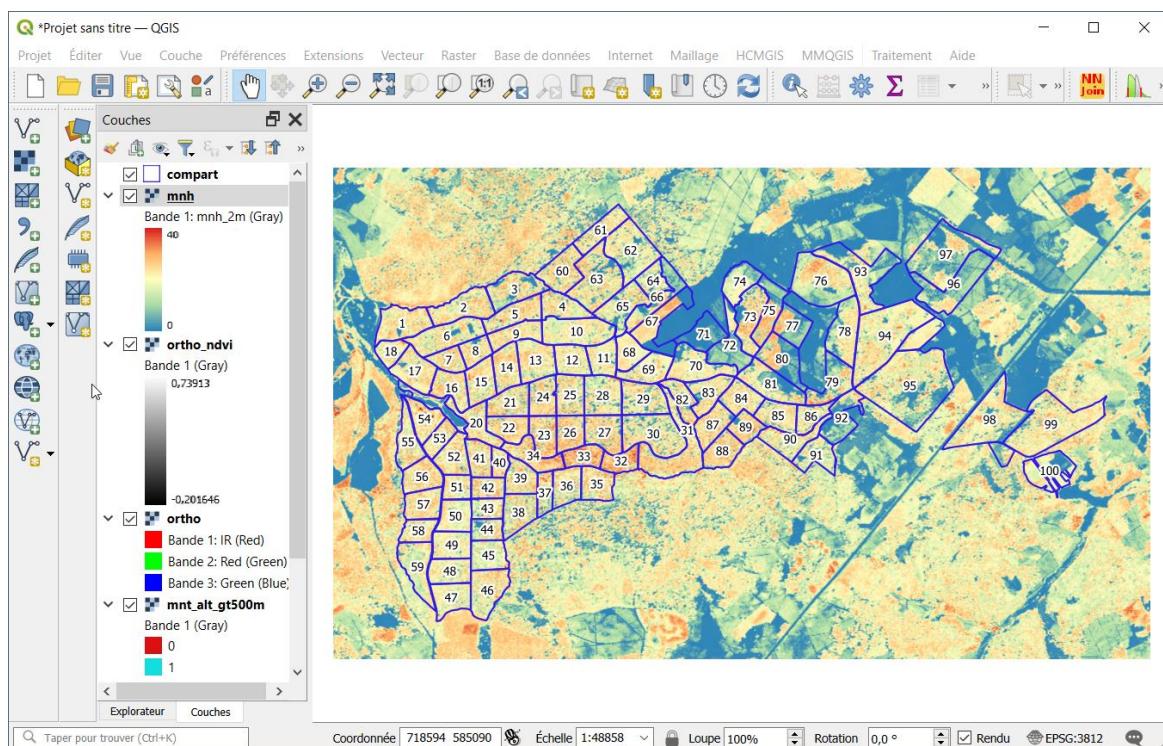
- Visualiser le résultat. Les parties sombres de la couche **ortho_ndvi** correspondent à des zones avec peu ou pas de végétation.





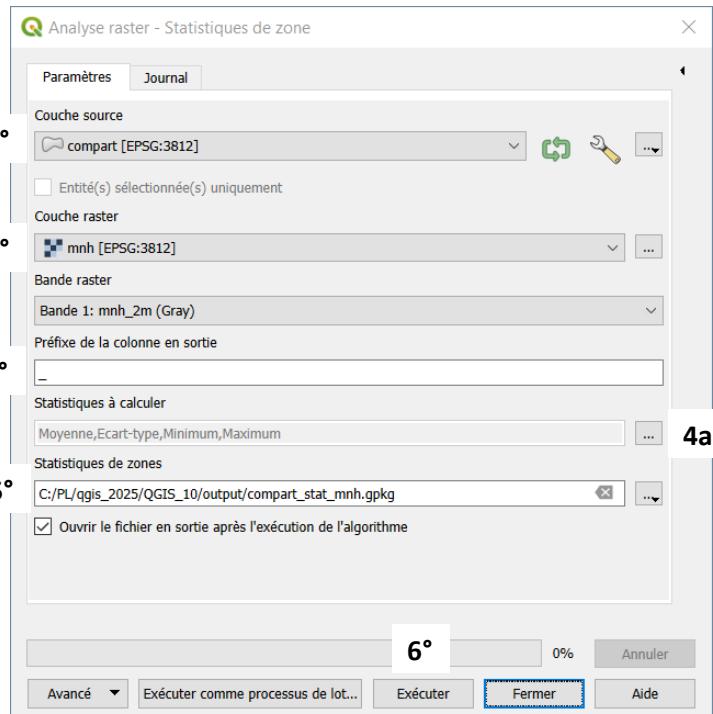
2.2 Statistiques de zone

- L'outil « Statistiques de zone » (ou statistiques zonales) est utilisé pour calculer des statistiques (somme, moyenne, minimum, maximum...) sur une couche raster, et ce pour chacun des polygones (zones) contenus au sein d'une couche vectorielle.
- Afficher les couches **compart.gpkg** et **mnh.tif**. La première contient les limites des compartiments (unités de gestion) de la forêt de Saint-Michel. Le seconde contient un Modèle Numérique de Hauteur qui, lorsque l'on se trouve en zone forestière, donne une estimation de la hauteur du couvert forestier.



Calculer, pour les différents compartiments décrits dans la couche **compart.gpkg**, les statistiques suivantes relatives à la hauteur du couvert forestier : valeurs moyenne, minimale, maximale et écart-type.

- Ouvrir l'interface de l'outil « Statistiques de zone » et définir les paramètres comme dans la figure suivante, puis exécuter la commande.



1° Sélectionner la couche vectorielle définissant les zones (**compart.gpkg**).

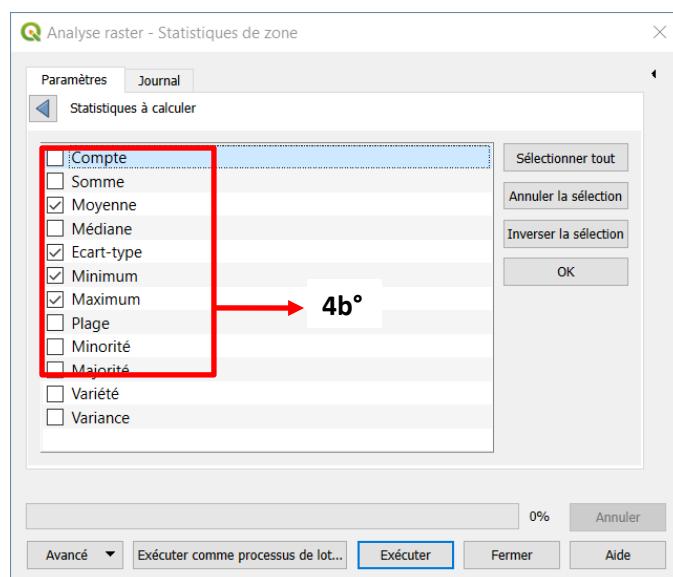
2° Sélectionner la couche raster à traiter (**mnh.tif**).

3° Conserver le préfixe « - » proposé par défaut.

4° Sélectionner les opérateurs statistiques à mettre en œuvre :
 « Moyenne », « Écart-type »,
 « Minimum », « Maximum ».

5° Définir le nom et l'emplacement du fichier de sortie. Nommer celui-ci **compart_stat_mnh.gpkg**.

6° Exécuter l'algorithme avec le bouton « **Exécuter** ».



- Visualiser le résultat en affichant la table d'attributs de la couche **compart_stat_mnh.gpkg**.

compart_stat_mnh — Total des entités: 100, Filtrées: 100, Sélectionnées: 0						
	_PROP	NUM_COMP	_mean	_stdev	_min	_max
1		32	27,2269012954...	6,00600241705...	0,57566189765...	41,0809097290...
2		33	27,1707991400...	5,94207912327...	0,53868412971...	39,9446029663...
3		34	24,3325212920...	5,83405024944...	0,49308255314...	39,8138465881...
4		23	23,7259335330...	6,84848696946...	0,38961610198...	38,9645042419...
5		26	23,3652520757...	6,93866549524...	0,10551596432...	37,3462142944...
6		88	23,0308584428...	6,56666927028...	0,38021239638...	38,6872062683...
7		56	22,9387466238...	5,22664256019...	0,14938421547...	34,9853248596...



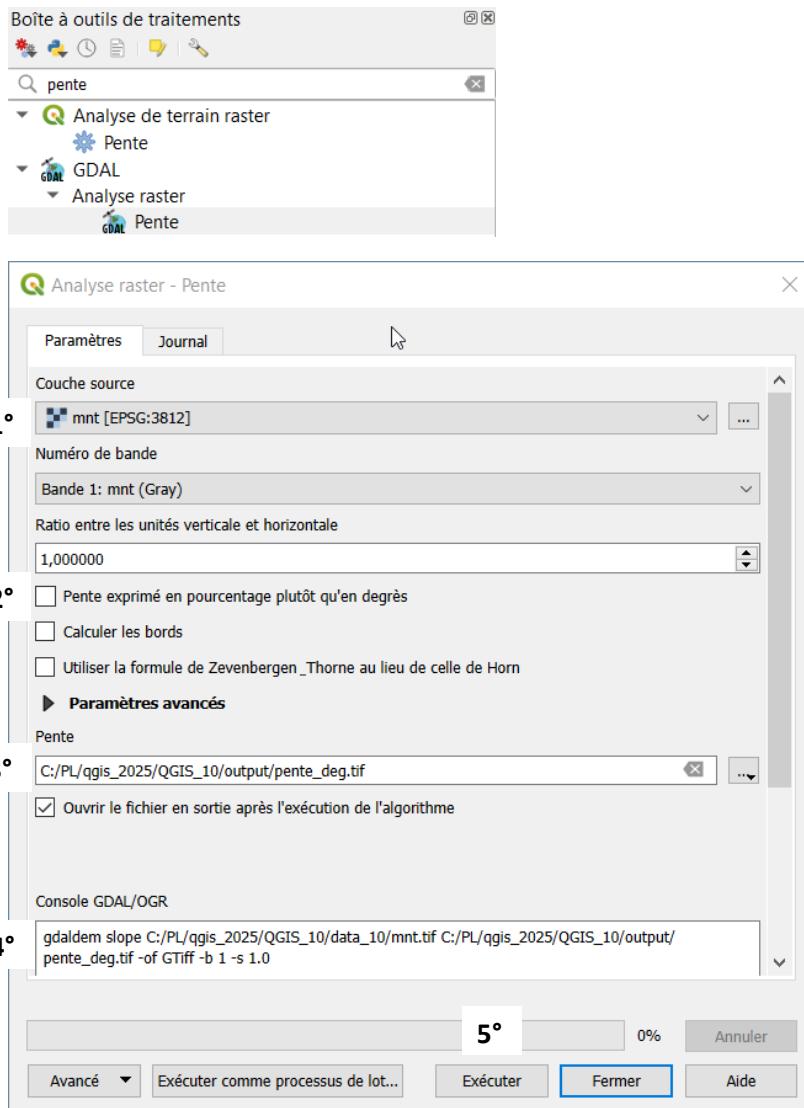
2.3 Calcul de pente et d'exposition

- La pente et l'exposition sont deux variables très souvent utilisées pour décrire un écosystème. Elles sont directement dérivées du MNT, en utilisant les outils « pente » (« slope ») et « exposition » (« aspect »).



Calculer la pente (en degrés) pour la zone couverte par la couche **mnt.tif**.

- Ouvrir l'interface de l'outil « Pente » et définir les paramètres comme dans la figure suivante, puis exécuter la commande.
- Remarque** : la boîte à outils propose deux outils « Pente ». Préférer celui de la librairie GDAL qui est plus complet sur le plan des options offertes.



- Visualiser le résultat.

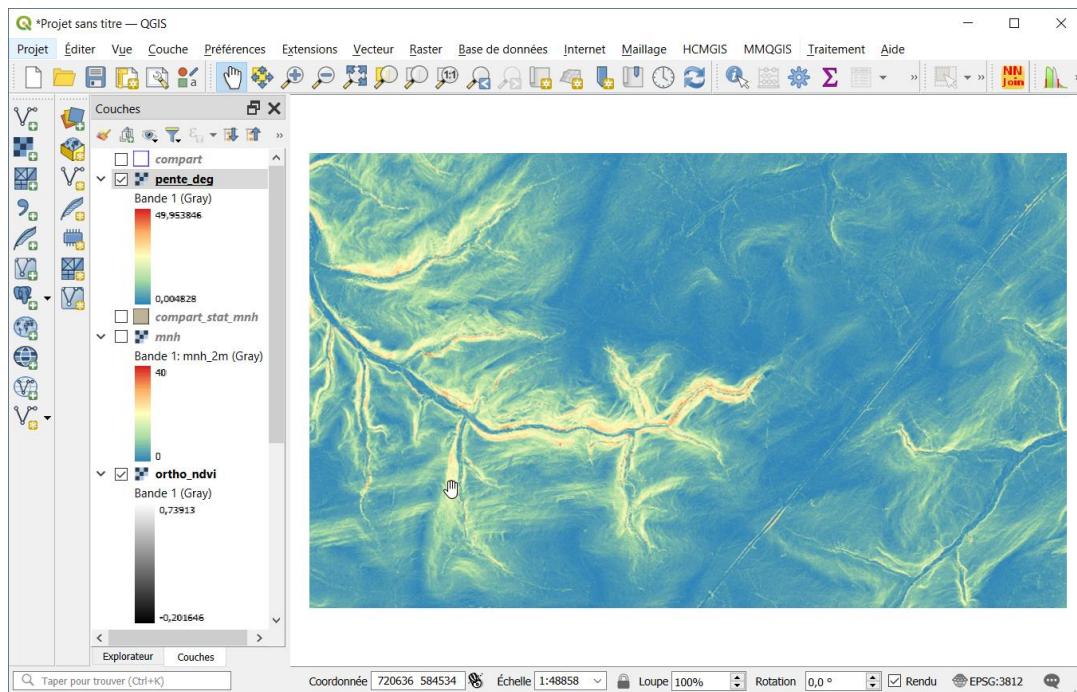
1° Sélectionner la couche raster correspondant au MNT.

2° Option permettant de choisir l'unité dans laquelle est calculée la pente. **Ne pas cocher la case si l'on souhaite une pente en degrés.**

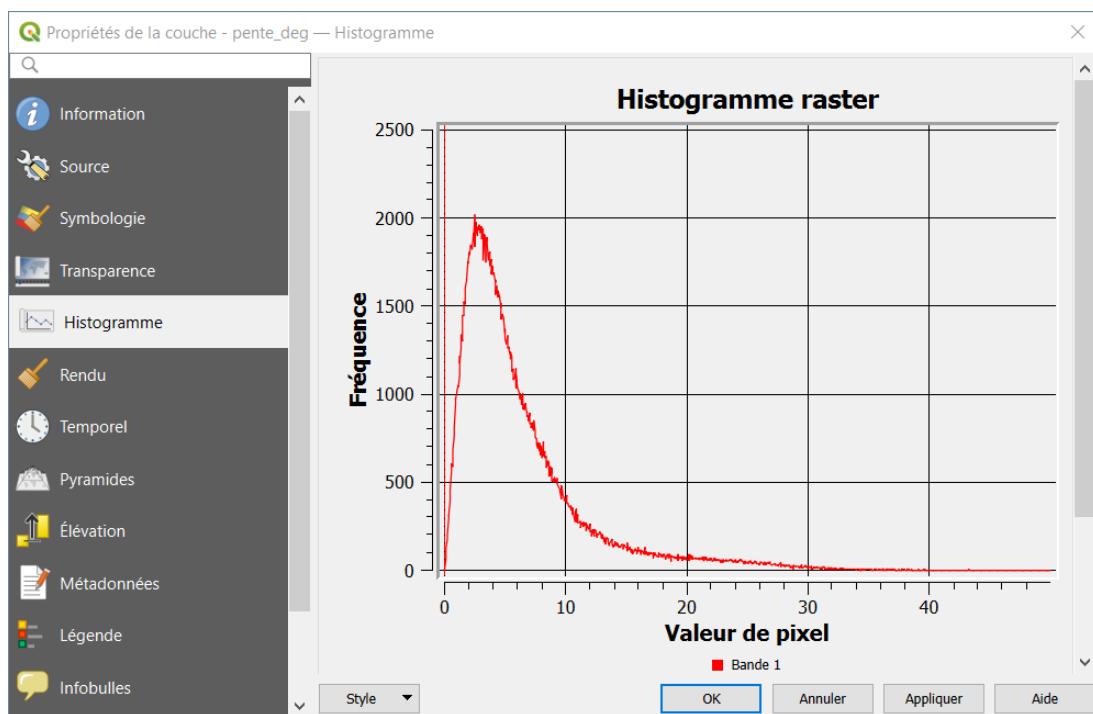
3° Définir le nom et l'emplacement du fichier de sortie. Nommer celui-ci **pente_deg.tif**.

4° Expression « GDAL » générée par l'outil « slope » pour construire la couche de pente.

5° Exécuter la commande avec le bouton « Exécuter ».

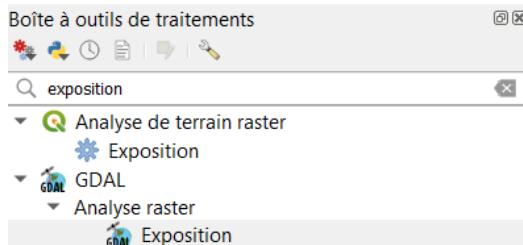


- Remarque : la couche **pente_deg.tif** de la figure ci-dessus est coloriée avec le fichier de style **slope.qml**.
- Afficher également l'histogramme des valeurs de pente.

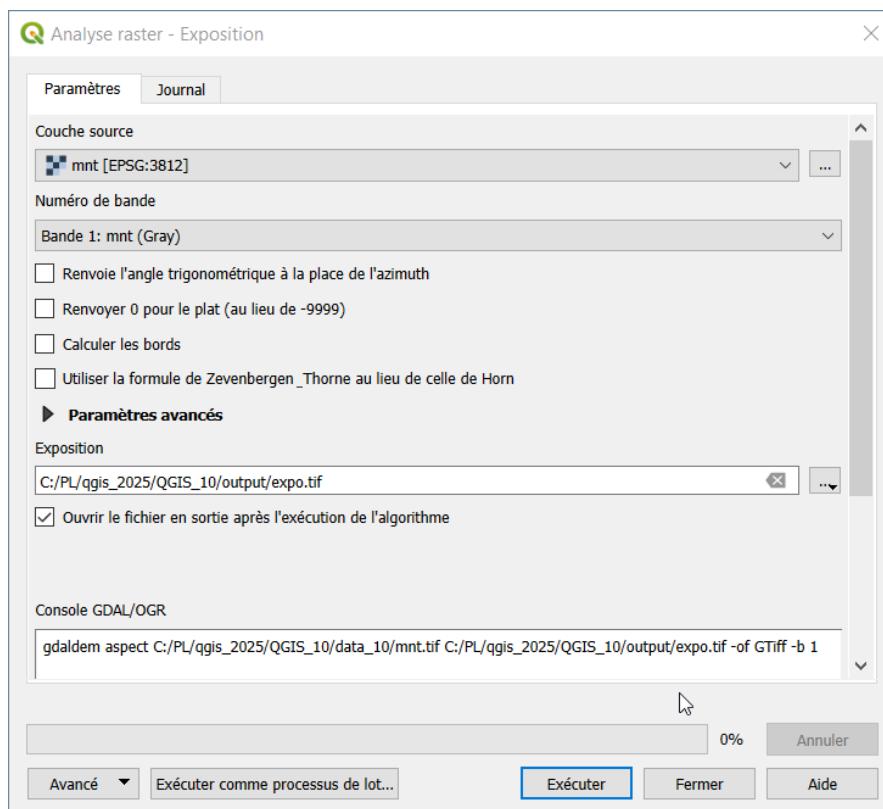


Calculer l'exposition pour la même zone avec la couche **mnt.tif**.

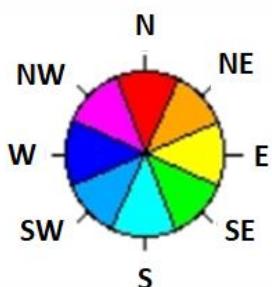
- Ouvrir l'interface de l'outil « Exposition ».

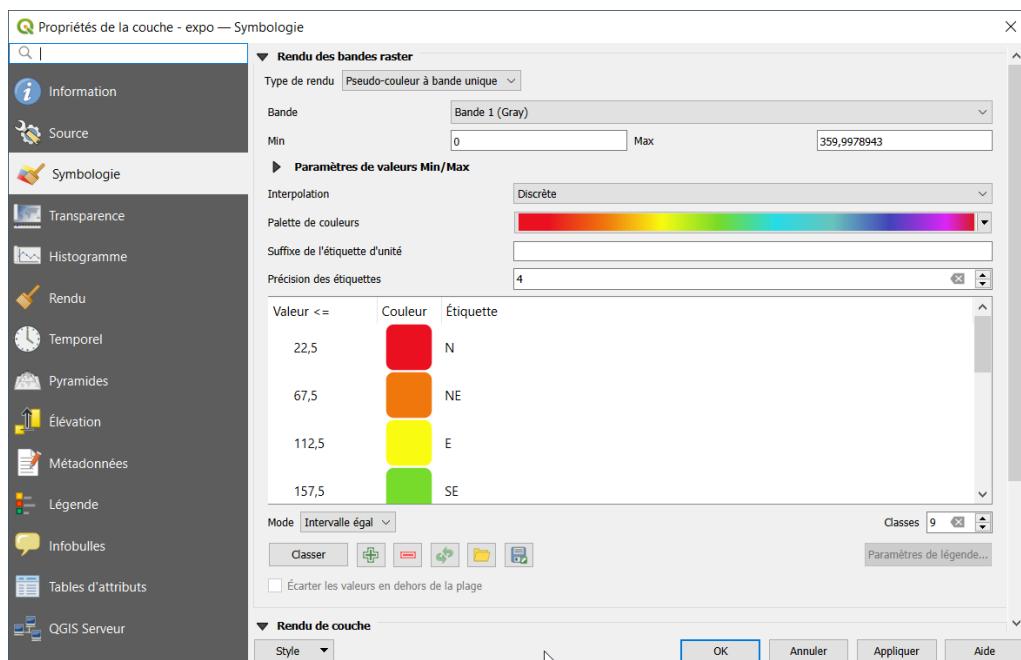
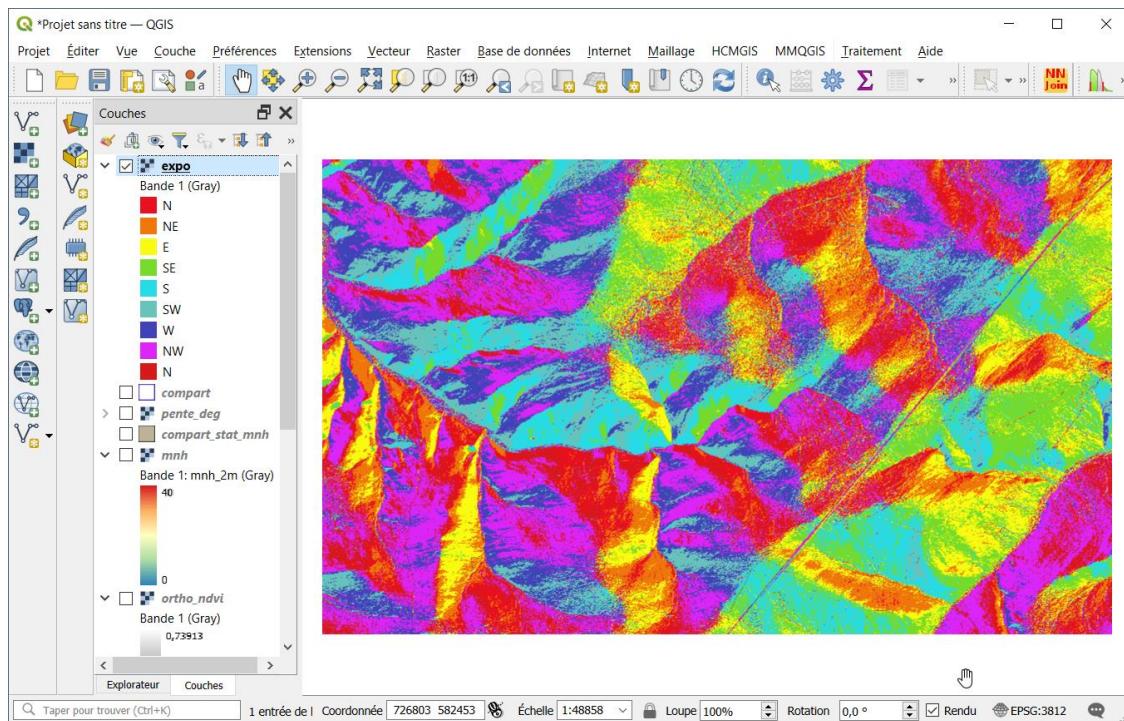


- Définir les paramètres comme dans la figure suivante, puis exécuter la commande.



- Visualiser ensuite le résultat. La couche **expo.tif** de la figure ci-dessus est colorée avec le fichier de style **expo.qml**. Cette palette de couleurs reprend les 8 principales directions cardinales : Rouge = Nord, jaune = Est, Cyan = Sud et Bleu foncé = Ouest.





- Remarque importante :** les classes qui apparaissent dans la carte ci-dessus regroupent sous une même couleur des pixels qui ont des valeurs différentes. Le paragraphe suivant aborde la création de classes au sein du raster : tous les pixels d'une même classe posséderont la même valeur.

2.4 Création de classes (reclassification)

- Très souvent, on souhaite transformer des couches raster correspondants à des variables continues (par exemple la pente) en variables discrètes correspondant à des classes plus simples à exploiter dans certaines analyses.



- Il existe deux approches pour créer ces classes : avec la calculatrice raster ou avec l'outil « Reclassification par table ».



Utiliser la couche **pente_deg.tif** et la calculatrice raster pour créer une couche décrivant le relief selon trois classes de pente : classe 1 : $< 15^\circ$, classe 2 : $15^\circ \leq < 30^\circ$, classe 3 : $\geq 30^\circ$.

- Ouvrir la calculatrice raster et construire l'expression présentée dans la figure suivante.

Expression de la calculatrice raster

```
("pente_deg@1" >= 30) + ("pente_deg@1" >= 15) + 1
```

Remarque importante : prendre soin de mettre chaque terme contenant une expression logique entre parenthèses.

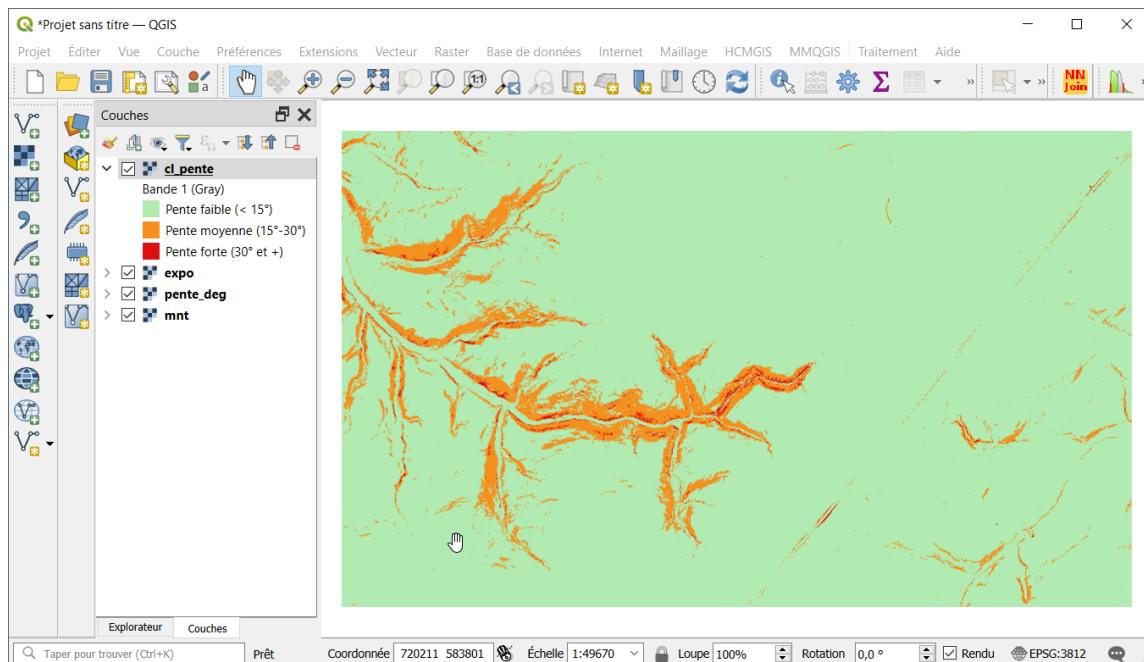
Remarque : dans l'expression utilisée, les termes qui contiennent un opérateur logique renvoient une valeur 0 ou 1 selon que la condition est respectée ou pas.

Par exemple, si un pixel contient une valeur de 35° de pente, `("pente_deg@1" >= 30)` vaut 1 et `("pente_deg@1" >= 15)` vaut également 1. Le résultat du calcul est $1+1+1 = 3$

Si la pente est de 22° , `("pente_deg@1" >= 30)` vaut 0 et `("pente_deg@1" >= 15)` vaut 1. Le résultat du calcul est $0+1+1 = 2$.

Enfin, pour une pente $< 15^\circ$, `("pente_deg@1" >= 30)` et `("pente_deg@1" >= 15)` valent 0. Le résultat final est 1.

- L'expression de calcul utilisée comporte donc deux conditions non mutuellement exclusives (pente ≥ 30 et pente ≥ 15) qui permettent de différencier les trois classes :
 - Condition 1 et condition 2 vraies \rightarrow classe 3
 - Condition 1 fausse et condition 2 vraie \rightarrow classe 2
 - Condition 1 et condition 2 fausses \rightarrow classe 1
- Nommer le fichier de sortie **cl_pente.tif**.
- Visualiser le résultat en utilisant le fichier de style **cl_pente.qml**.



- Remarque importante:** une solution alternative consisterait à construire une expression comportant trois conditions mutuellement exclusives.

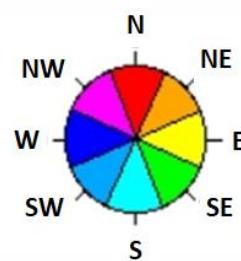
Expression de la calculatrice raster

```
("pente_deg@1" >= 30) *3 +
("pente_deg@1" < 30 AND "pente_deg@1" >= 15) *2 +
("pente_deg@1" < 15) *1|
```

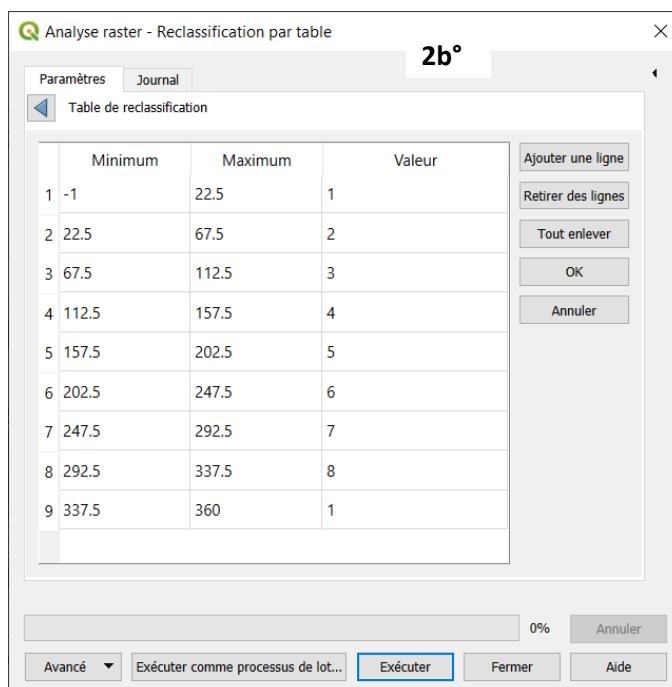
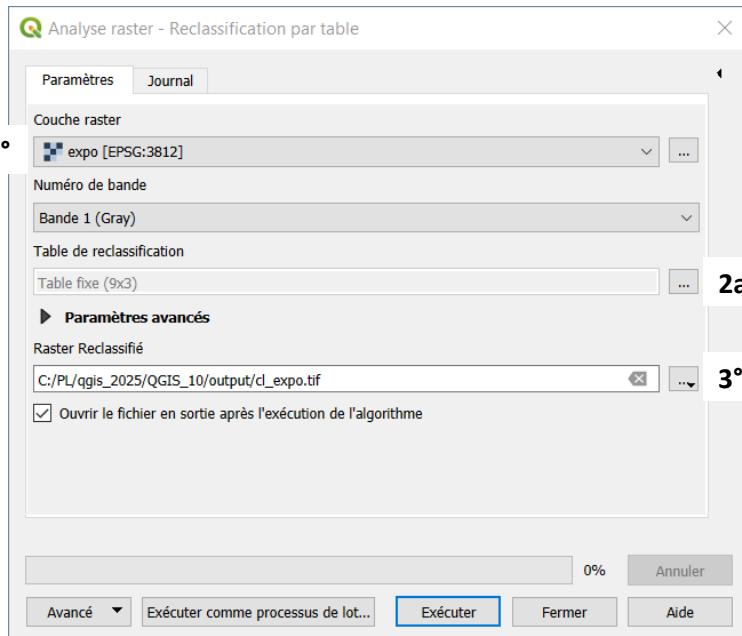


Utiliser la couche **expo.tif** pour créer une couche de classes d'exposition en considérant les 8 directions cardinales principales comme indiqué dans le tableau suivant :

Classe	Limites	
	Inférieure	Supérieure
N	337.5	22.5
NE	22.5	67.5
E	67.5	112.5
SE	112.5	157.5
SE	157.5	202.5
SW	202.5	247.5
W	247.5	292.5
NW	292.5	337.5



- Ouvrir la commande « Reclassification par table ».
- Définir les paramètres comme dans la figure qui suit.



- 1°** Sélectionner la couche **expo.tif**.
- 2a°** Ouvrir la fenêtre de construction du tableau de reclassification.
- 2b°** Construire le tableau de reclassification. Utiliser le bouton « Ajouter une ligne » autant de fois que nécessaire. Insérer ensuite les valeur « Minimum » et « Maximum » pour fixer les limites des différentes classes. La classe « N » est un cas particulier puisqu'elle comporte deux parties.
- 3°** Définir le nom et l'emplacement du fichier de sortie. Nommer celui-ci **cl_expo.tif**.
- 4°** Exécuter la commande avec le bouton « Exécuter ».
- Remarque :** les classes sont construites en sélectionnant les valeurs strictement supérieures à la borne « Minimum » et inférieures ou égales à la borne « Maximum ». Dans la cas de la première classe (N), il convient de mettre une valeur < 0 dans la borne « Minimum » afin que les pixels qui ont une valeur « 0 » soient bien repris dans la classe 1.

- Afficher ensuite la couche **cl_expo.tif** avec le fichier de style **cl_expo.qml**. On constate que le rendu visuel est le même que pour la couche **expo.tif** du §2.4. Cependant, la couche **cl_expo.tif** ne comporte que des valeurs allant de 0 à 8, alors que la couche **expo.tif** comportait des valeurs allant de 0 à 360.



2.5 Combinaison de couches raster

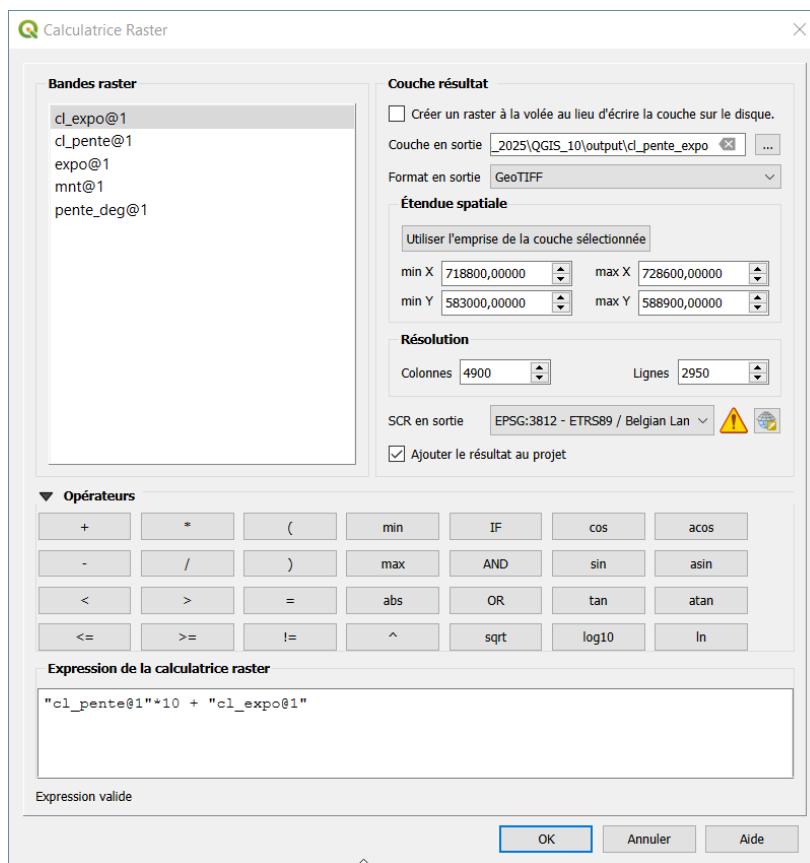
- La combinaison de couches raster consiste à produire une nouvelle couche qui reprend la combinaison des différentes valeurs numériques présentes dans les couches d'entrée.

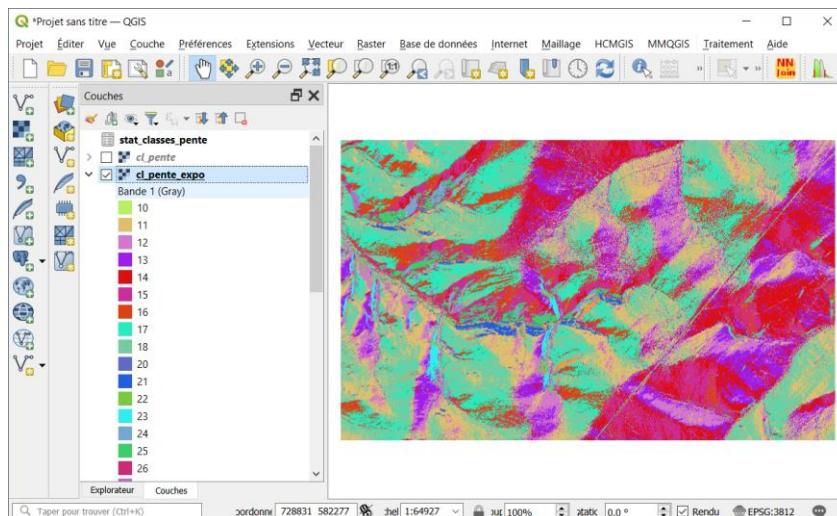
 Combiner les deux couches **cl_pente.tif** et **cl_expo.tif** en une seule couche qui reprenne toutes les combinaisons de valeurs qu'elles contiennent.

- L'approche la plus simple pour obtenir ce résultat est d'utiliser la calculatrice raster et de générer une valeur avec l'expression suivante :

$$Classe_{pente_expo} = Classe_{pente} * 10 + Classe_{expo}$$

- Remarque** : si la seconde couche comporte plus de 10 classes, il convient de remplacer le facteur 10 par un facteur 100.





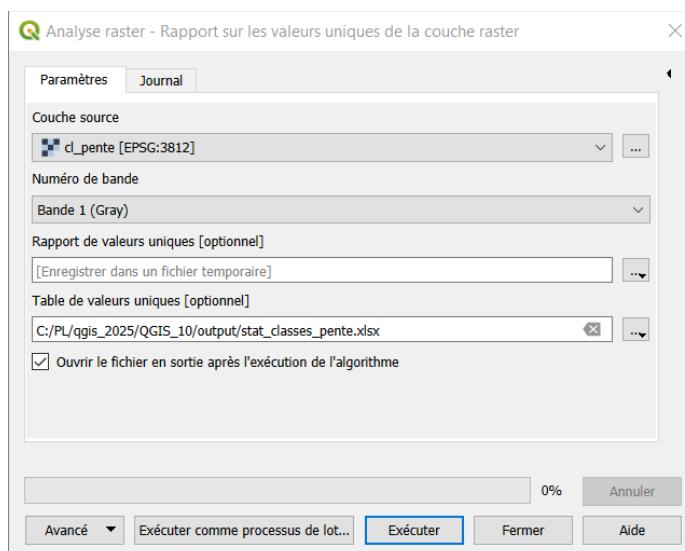
2.6 Statistiques de classes

- Lorsque l'on dispose d'un raster constitué de valeurs discrètes (classes), il peut être intéressant de produire un tableau de fréquences relatif à ces classes (nombres de pixels), voire de calculer leurs surfaces.
- Cette opération est réalisée avec l'outil « Rapport sur les valeurs uniques de la couche raster ». Le résultat peut être sauvegardé dans une table (fichier .gpkg) ou dans un fichier Excel.



Produire un tableau présentant la distribution des surfaces par classes de pente en considérant la couche **cl_pente.tif** qui vient d'être produite. Sauvegarder le résultat dans un fichier Excel baptisé **stat_classes_pentes.xlsx**.

- Afficher l'outil « Rapport sur les valeurs uniques de la couche raster ».
- Définir les paramètres comme dans la figure qui suit.



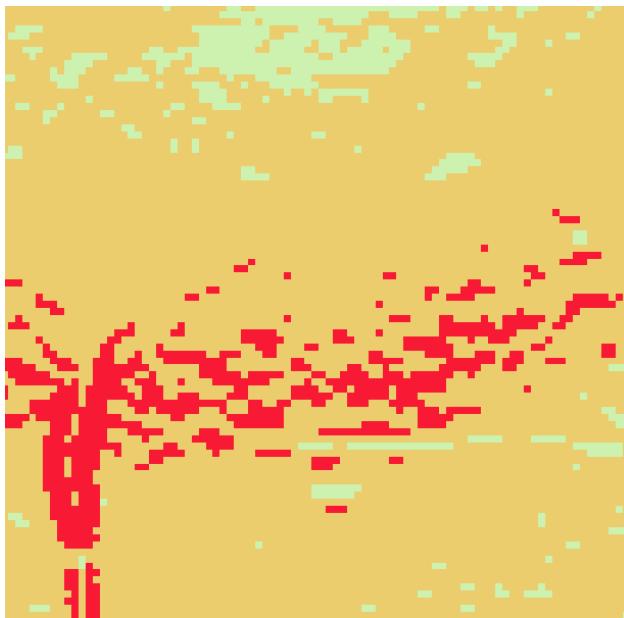


- Le résultat se présente comme dans la figure qui suit. Il comporte une colonne avec le code de classe, une colonne avec le nombre de pixels et une colonne avec les surfaces correspondantes exprimées en m².

	A	B	C
1	value	count	m2
2	1	13360706	53442824
3	2	1004089	4016356
4	3	74509	298036
5			

2.7 Simplification d'une couche raster (« tamisage »)

- Une analyse détaillée de la carte des classes de pentes produite précédemment révèle une mosaïque de zones qui ne comportent parfois que quelques pixels. Dans certains cas, on souhaite simplifier un tel résultat (cad supprimer le « bruit » présent dans le raster) et faire « disparaître » les groupes de pixels en-dessous d'une certaine surface. Derrière le terme « disparaître », il faut comprendre que ces pixels se voient attribuer la valeur dominante de leur entourage.

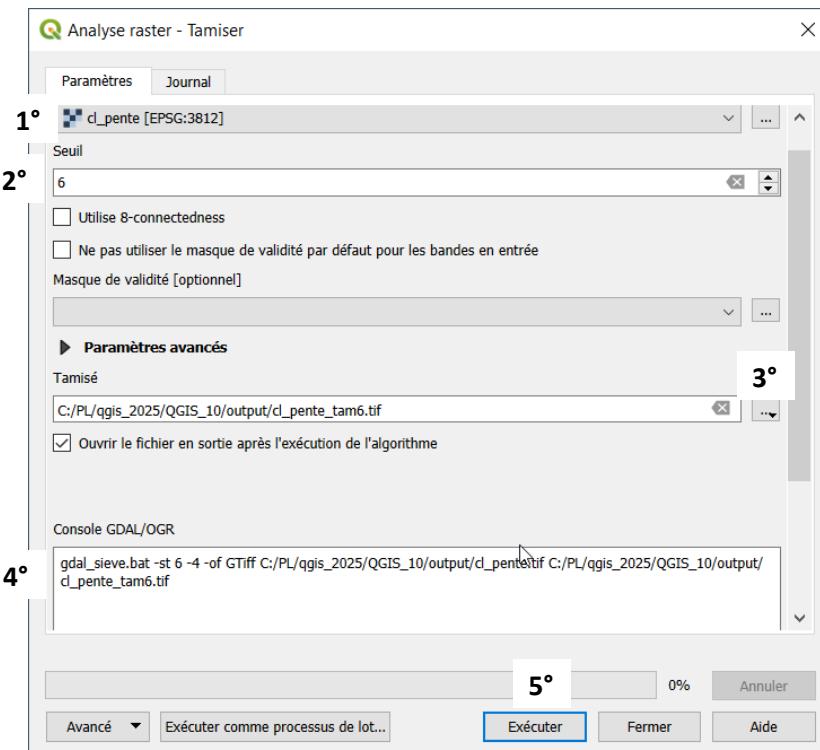


- Une telle opération est qualifiée de « tamisage » (« *sieve* »).



Simplifier la couche **cl_pente.tif** en supprimant les groupes dont la taille est inférieure à 6 pixels. Nommer la nouvelle couche **cl_pente_tam6.tif**.

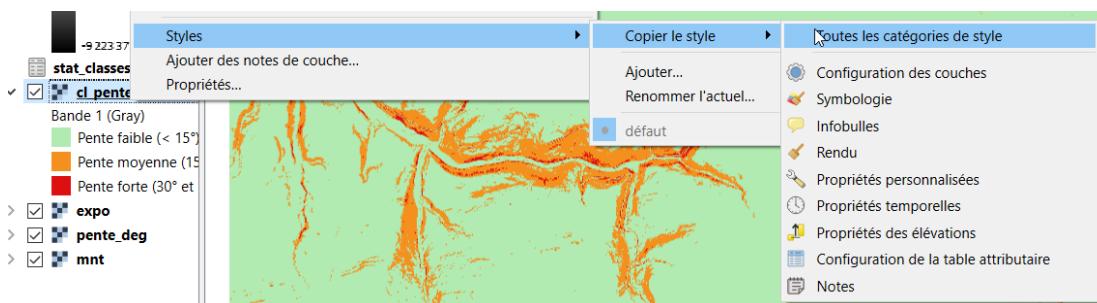
- Ouvrir l'interface de l'outil « Tamiser » et définir les paramètres comme dans la figure suivante, puis exécuter la commande.



- 1° Sélectionner la couche raster à simplifier (**cl_pente.tif**).
- 2° Fixer le seuil de taille des groupes de pixels à supprimer (6).
- 3° Définir le nom et l'emplacement du fichier de sortie. Nommer celui-ci **cl_pente_tam6.tif**.
- 4° Expression « GDAL » générée par l'outil « sieve » pour tamiser la couche.
- 5° Exécuter la commande avec le bouton « Exécuter ».

- Comparer les deux couches, avant et après tamisage.
- **Remarque importante** : pour que la couche issue du tamisage s'affiche correctement, il convient de lui attribuer le même style que la couche originale avec un copier/coller du style.

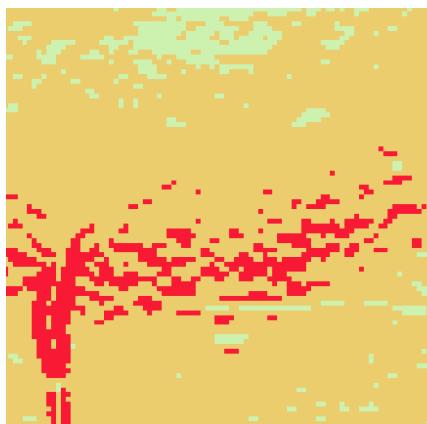
Copier le style de la couche **cl_pente.tif**.



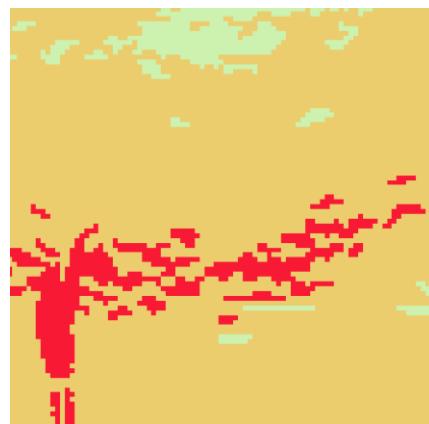
Coller le style sur la couche **cl_pente_tam6.tif**.



- La figure qui suit montre un zoom sur les deux couches.



cl_pente



cl_pente_tam6

- Le choix du seuil de tamisage dépend du souhait de simplifier plus ou moins fortement la couche de sortie.

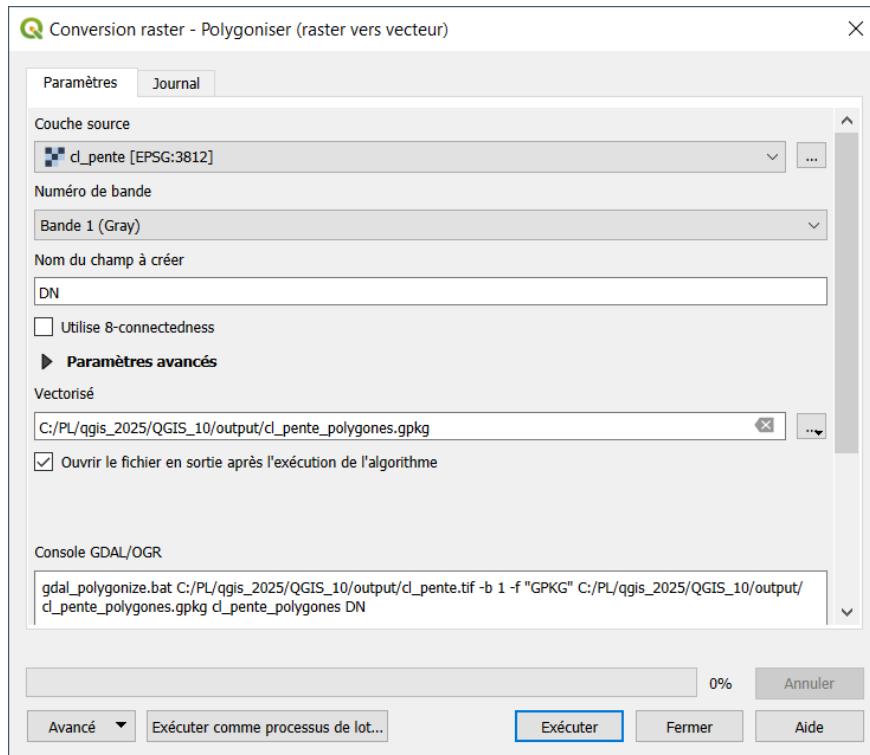
2.8 Vectorisation d'une couche raster (« polygoniser »)

- Lorsque l'on souhaite combiner une couche raster avec des couches vectorielles, une solution consiste à polygoniser la couche raster, c'est-à-dire constituer des polygones au départ des groupes de pixels présentant une même valeur. Il est important que le nombre de groupes de pixels de valeur identique ne soit pas trop important. Ainsi, polygoniser une couche raster décrivant les classes de pente est pertinent. Par contre, polygoniser un raster décrivant les pentes conduirait à créer un très grand nombre de polygones, car il existe très peu de pixels présentant une pente identique à celle de leur voisin. Il s'en suivrait un résultat inutilisable et un temps de traitement très long !
- Il faut donc être très attentif lorsque l'on procède à la vectorisation d'une couche raster.**

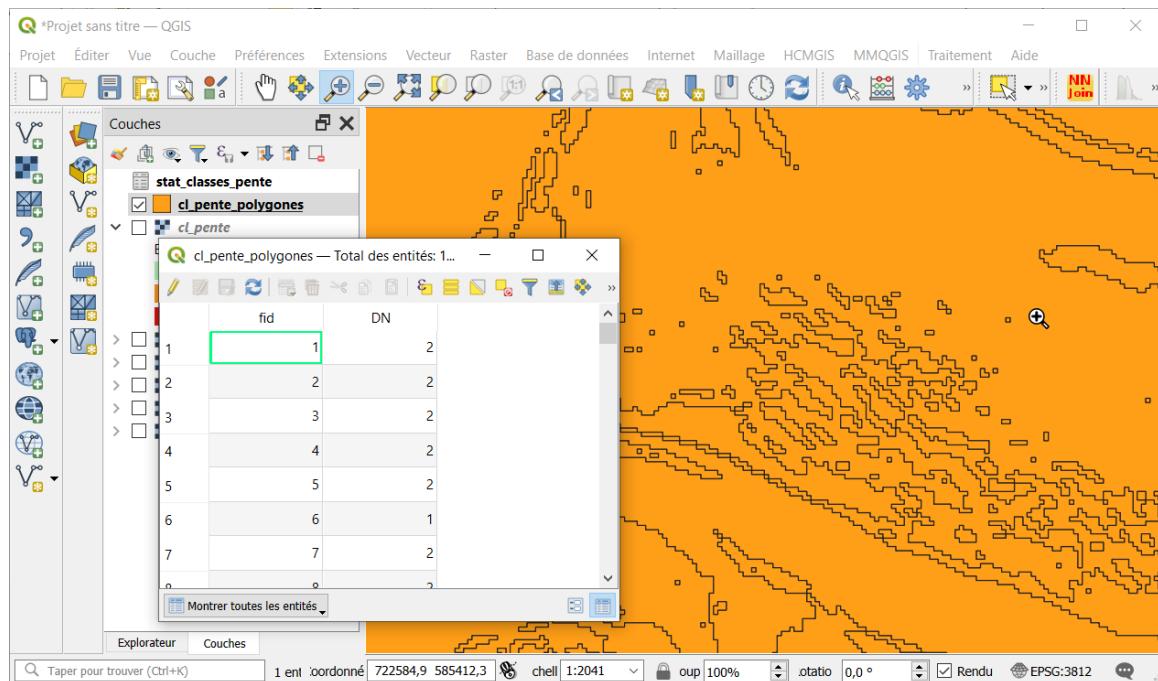


Créer une couche de polygones pour décrire les classes de pente de la couche **cl_pente_tam6.tif** produite au paragraphe précédent. Nommer le fichier de sortie **cl_pente_polygones.gpkg**.

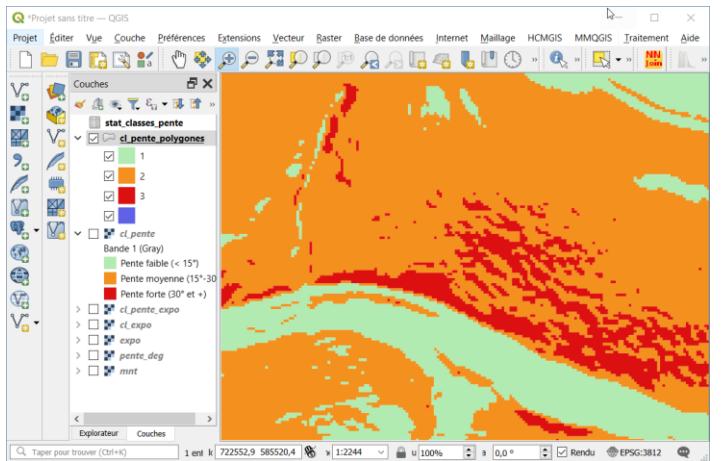
-
- Ouvrir l'interface de la commande « Polygoniser (raster vers vecteur) » de la librairie GDAL.
 - Définir les paramètres comme dans la figure suivante, puis exécuter la commande.



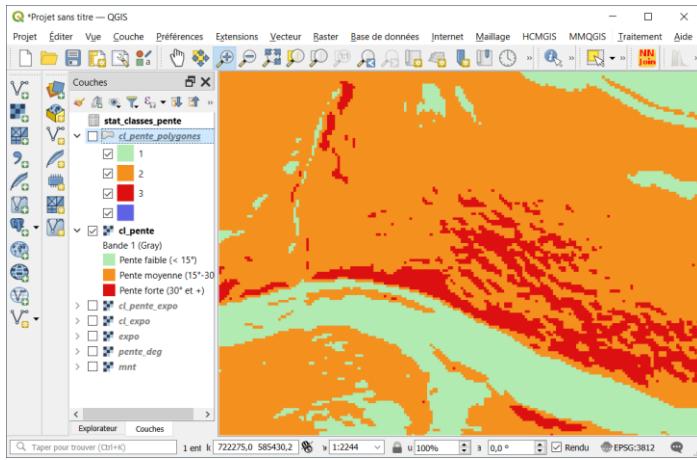
- Visualiser le résultat, en affichant la couche et en ouvrant la table d'attributs.



- L'utilisation du fichier de style `cl_pente_polygones.qml` permet d'afficher la couche `cl_pente_polygones.gpkg` avec un rendu identique à celui de la couche `cl_pente.tif`.



cl_pente_polygones



cl_pente

2.9 Rasterisation d'une couche vectorielle (vecteur vers raster)

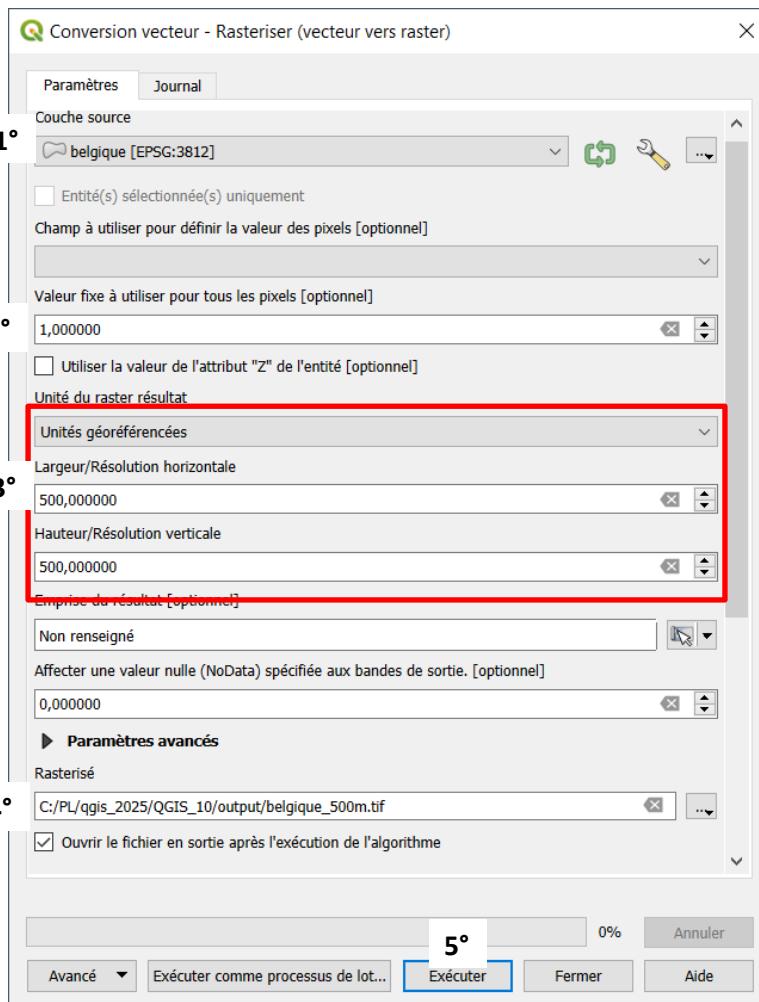
- Pour effectuer certaines analyses, il est nécessaire de convertir une couche vectorielle en mode raster. Cette conversion peut porter sur des polygones, des lignes ou des points. Lors de cette conversion, les pixels reçoivent tous la même valeur, ou bien une valeur correspondant à un champ de la table d'attributs. La rasterisation implique de définir les caractéristiques géométriques du raster qui sera généré (emprise et résolution spatiale).

2.9.1 Exemple 1 : créer un masque 0/1 pour la Belgique

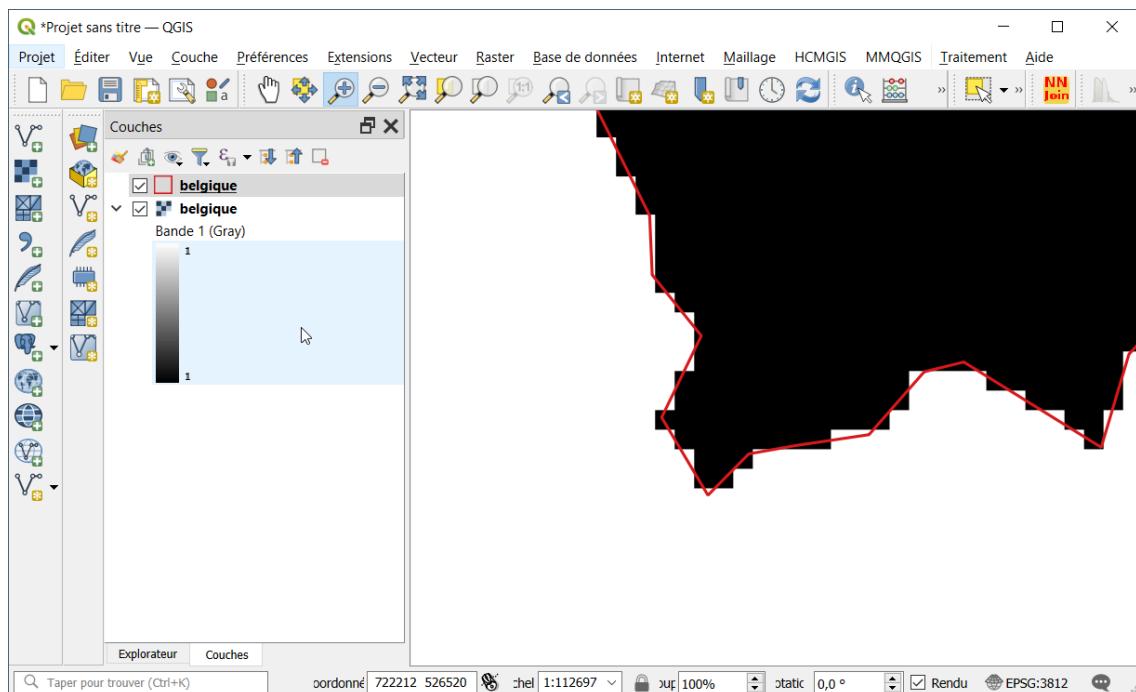


Rasteriser la couche **belgique.gpkg** contenant les limites de la Belgique. Le raster produit doit avoir une résolution de 500 m et les pixels situés au sein du territoire prendront la valeur « 1 », les autres recevant la valeur « 0 ».

- Afficher la couche **belgique.gpkg**.
- Ouvrir l'interface de l'outil « Rasteriser (vecteur vers raster) ». Remplir les rubriques comme dans la figure qui suit. Exécuter ensuite la commande.



- Afficher le résultat en réalisant un zoom suffisant comme dans la figure ci-dessous.





- Cette figure permet de mieux comprendre comment s'effectue le codage des pixels : ceux qui ont reçu la valeur « 1 » sont ceux dont le centre se trouve à l'intérieur du polygone délimitant la Belgique.
- Dans l'exemple qui vient d'être présenté, l'emprise du raster n'est pas imposée par l'utilisateur. Elle est définie implicitement en considérant l'emprise de la couche vectorielle de départ.

- Emprise de la couche **belgique.gpkg** (propriétés de la couche, onglet  Information) :

Information du fournisseur

Stockage	GPKG
Encodage	UTF-8
Géométrie	Polygon (MultiPolygon)
Emprise	523164.8151732769911177,521447.7618114359793253: 795196.2966571430442855,743888.8828398910118267
Décompte d'entités	1

- Emprise de la couche **belgique.tif** (propriétés de la couche, onglet  Information) :

Information du fournisseur

Emprise	522914.8151732769911177,521138.8828398910118267: 795414.8151732769329101,744138.8828398910118267
Largeur	545
Hauteur	446

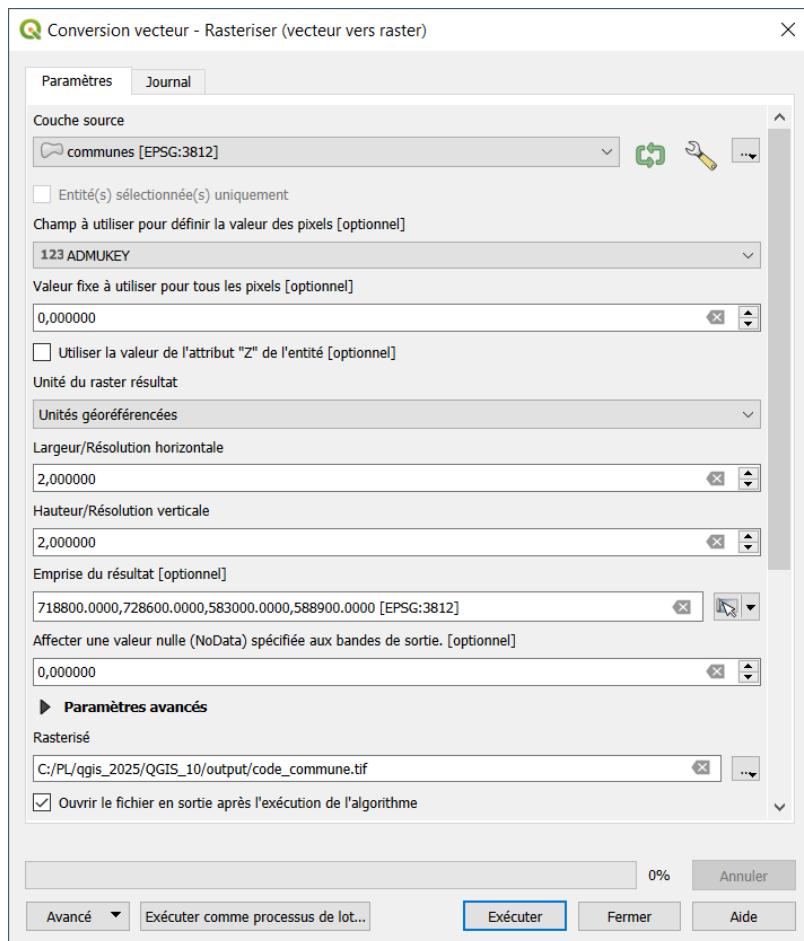
2.9.2 Exemple 2 : rasterisation en fixant la résolution et l'emprise

- Dans cet exemple, nous allons imposer de construire la couche raster en utilisant l'emprise et la résolution spatiale d'une autre couche raster existante.
- En outre, nous allons définir le codage des pixels sur base de la valeur prise par un attribut de la couche de polygones.

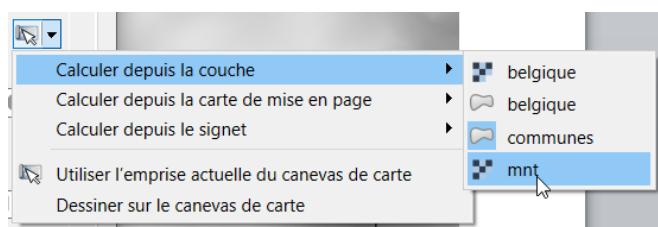


Rasteriser la couche **communes.gpkg** en utilisant l'emprise et la résolution de la couche **mnt.tif**. Coder les pixels avec les valeur du champ [ADMUKEY] contenant l'identifiant numérique des communes. Sauvegarder le résultat dans le fichier **code_commune.tif**.

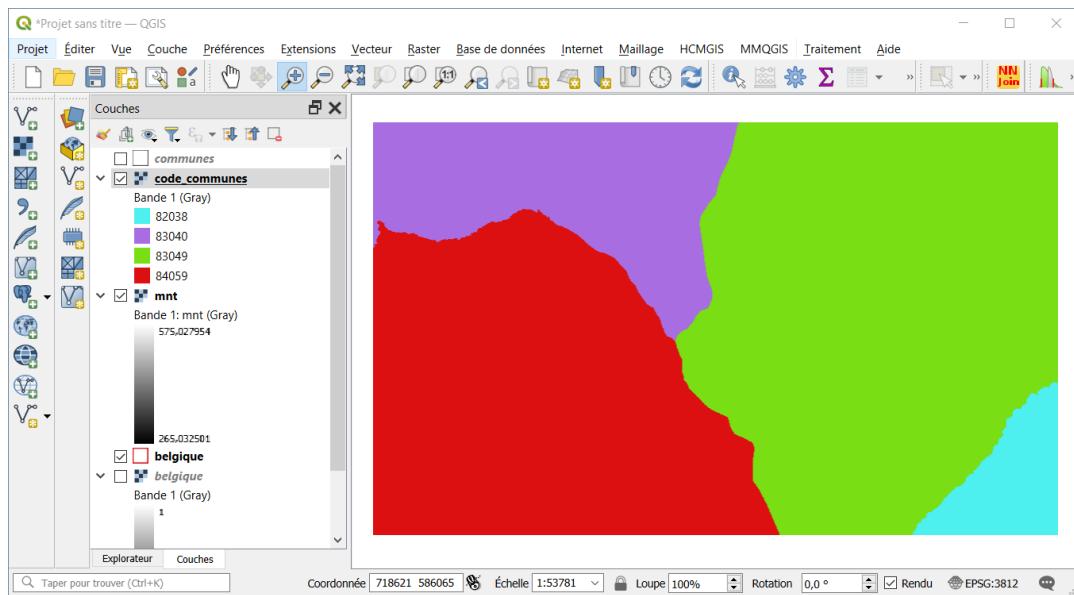
- Ouvrir l'interface de l'outil « Rasteriser (vecteur vers raster) ». Remplir les rubriques comme dans la figure qui suit. Exécuter ensuite la commande.



La fixation de l'emprise, dont les coordonnées apparaissent dans la figure ci-dessus, se fait en cliquant sur le bouton  et en sélectionnant la couche **mnt**.



- Le résultat présenté dans la figure qui suit est affiché avec un rendu « Palette/valeurs uniques ».



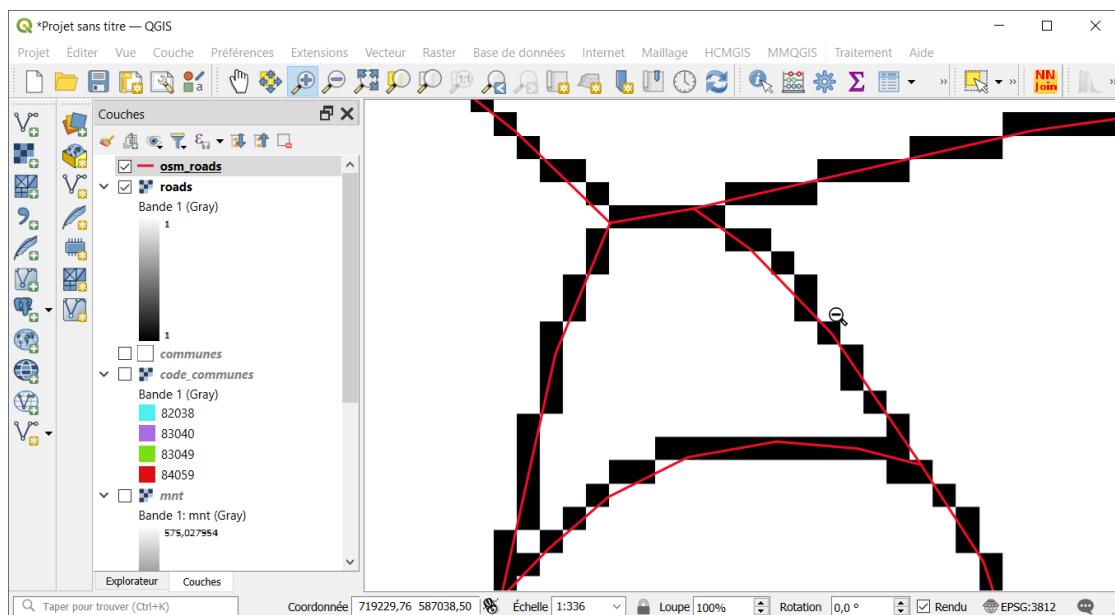
2.9.3 Exemple 3 : rasterisation d'une couche de lignes

- La rasterisation d'objets vectoriels est notamment nécessaire lorsque l'on souhaite générer une carte de distance par rapport à ces objets.



Rasteriser la couche **osm_roads.gpkg** décrivant le réseau routier dans la région de la forêt de Saint-Michel. Les pixels traversés par une route doivent prendre la valeur « 1 », les autres la valeur « 0 ». Le raster produit doit posséder les mêmes caractéristiques géométriques (emprise, résolution spatiale) que la couche **mnt.tif**.

- Visualiser le résultat en appliquant un zoom suffisant.





- On constate que la très grande majorité des pixels traversés par une route sont codés à « 1 », mais pas systématiquement. En effet, certains pixels traversés par une route sont codés à « 0 ». Ce choix est dicté par l'algorithme de rasterisation qui privilégie un résultat où la largeur du réseau de routes rasterisé ne dépasse pas 1 pixel.

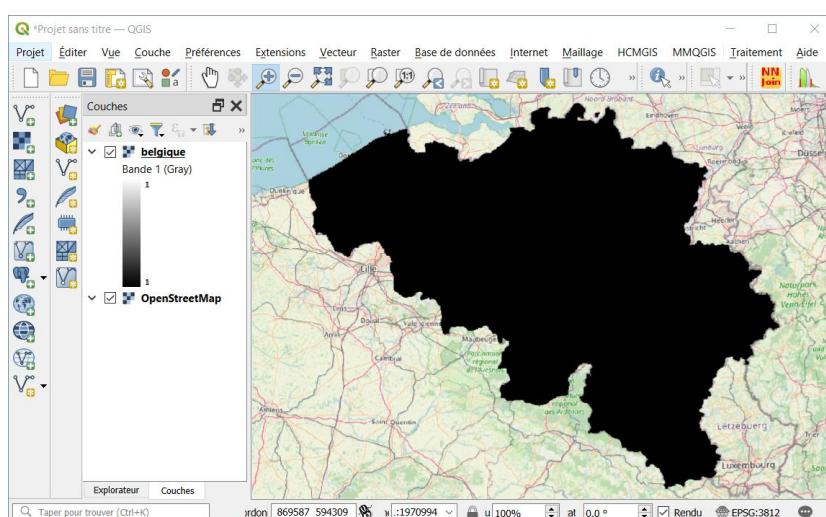
2.10 Notion de « NoData »

- Pour rappel, la notion de « *NoData* » fait référence à l'absence de données dans certains pixels d'une couche raster. Dans les faits, cette absence de données doit quand même être représentée par une valeur numérique qui joue le rôle de « *NoData* ».
- Il est important de ne pas confondre « *NoData* » et la valeur « 0 », même si dans certains cas, le « *NoData* » peut être représenté par la valeur numérique « 0 ».
- Afficher la couche **belgique.tif** produite au § 2.10.1.
- Les propriétés de cette couche (onglet Information) nous indiquent que les pixels contiennent la valeur « 1 » ou la valeur « 0 » qui joue le rôle de « *NoData* ».

Bandes

Nombre de bandes	1						
Nombre	Bandé 1						
1	<table border="1"> <thead> <tr> <th>NoData</th> <th>Min</th> <th>Max</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>1.0000000000</td> <td>1.0000000000</td> </tr> </tbody> </table>	NoData	Min	Max	0	1.0000000000	1.0000000000
NoData	Min	Max					
0	1.0000000000	1.0000000000					

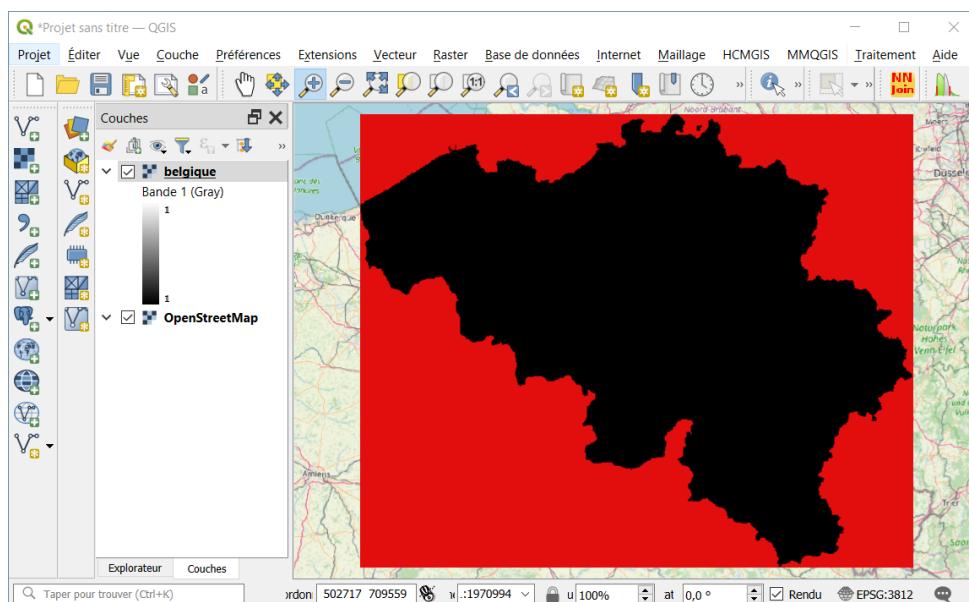
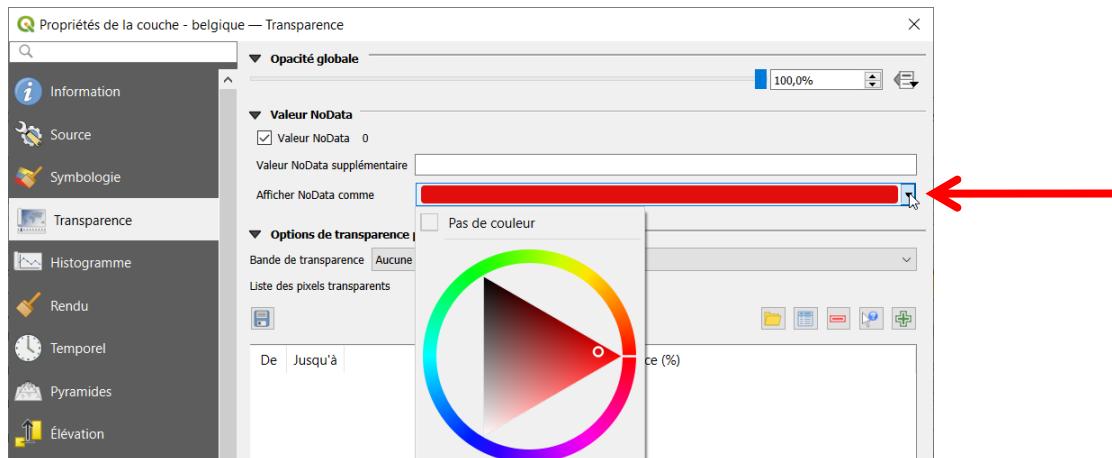
- Afficher la couche **belgique.tif** produite au § 2.10.1., ainsi que la couche **OpenStreetMap**.
- Par défaut, les pixels « *NoData* » sont représentés en couleur « transparente », comme le montre la figure ci-dessous.



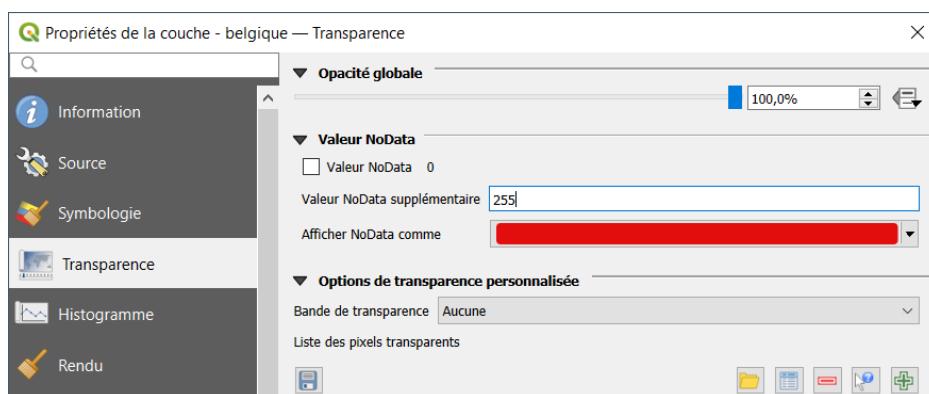
- Il est possible de modifier la couleur attribuée aux pixels « *NoData* ». Afficher pour cela l'onglet Transparency de la couche **belgique**.



- Remplacer la couleur « transparente » par le rouge comme suit.

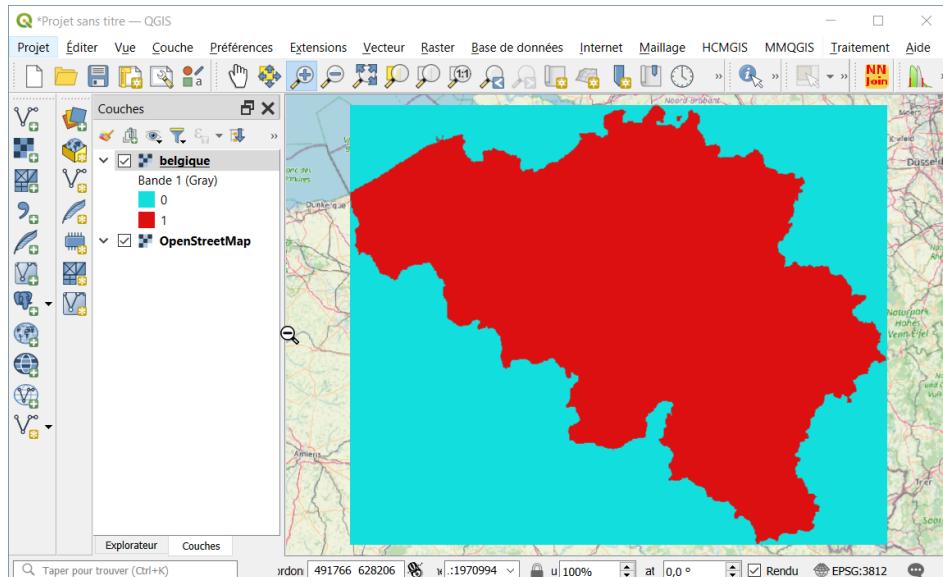


- Si l'on souhaite modifier la valeur du « *NoData* », notamment afin de pouvoir utiliser le « 0 » en tant que valeur numérique, il suffit de le spécifier dans ce même onglet « *Transparence* ». Dans la figure suivante, le rôle « *NoData* » associé à la valeur « 0 » a été supprimé en décochant la case "Valeur NoData 0". La nouvelle valeur de « *NoData* » a été fixée à 255.





- La figure ci-dessous rend compte des modifications apportées en utilisant un rendu de type « Palette/Valeurs uniques ».



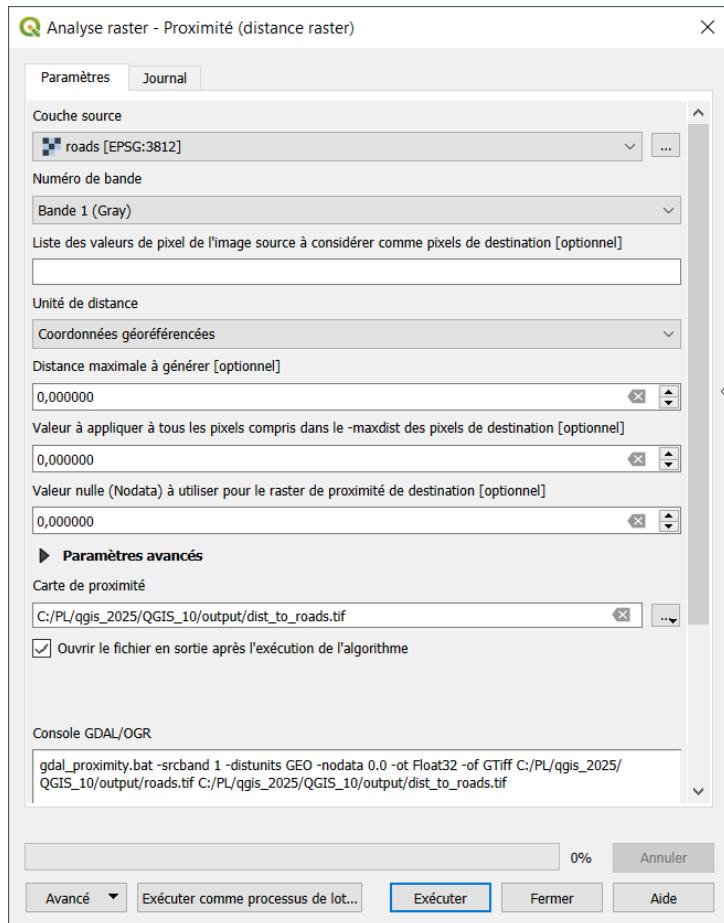
2.11 Calcul de distance euclidienne (Proximité)

- La fonction de calcul de distance euclidienne génère une couche raster traduisant la distance euclidienne minimale par rapport aux objets d'une couche de référence. Cette couche de référence doit avoir été, au préalable, rasterisée.

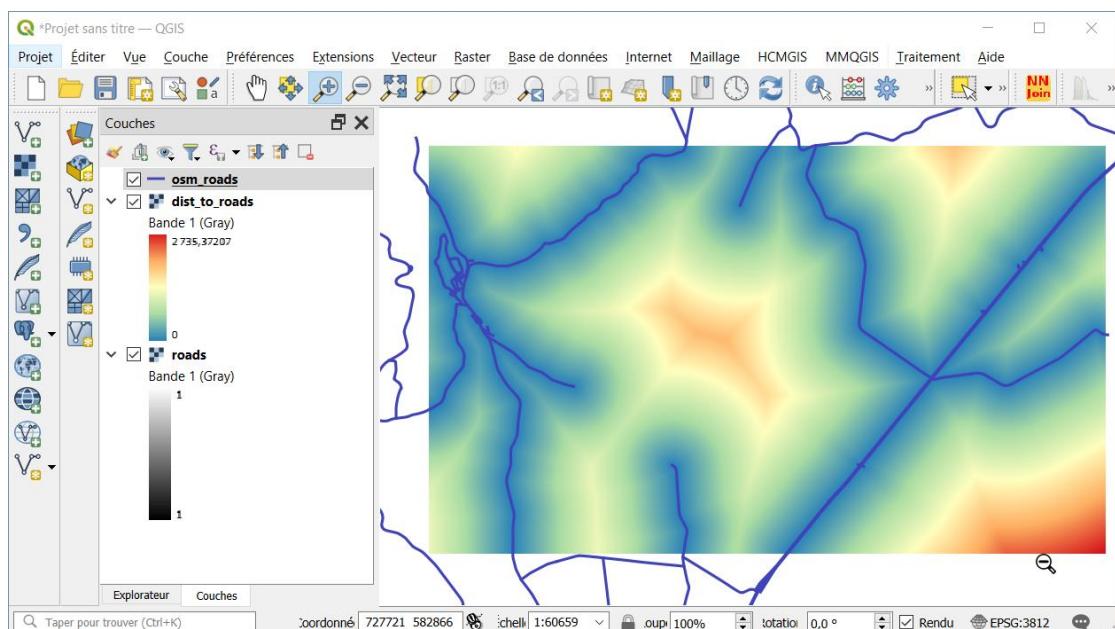


Produire une couche raster exprimant la proximité au réseau routier contenu en format raster dans la couche **roads.tif** produite au § 2.9.3.

-
- Ouvrir l'interface de l'outil « Proximité (distance raster) » de la librairie GDAL. Remplir les rubriques comme dans la figure qui suit. Exécuter ensuite la commande.



- Visualiser le résultat en utilisant le fichier de style **d2roads.qml**.





2.12 Extraire des informations ponctuelles dans une couche raster

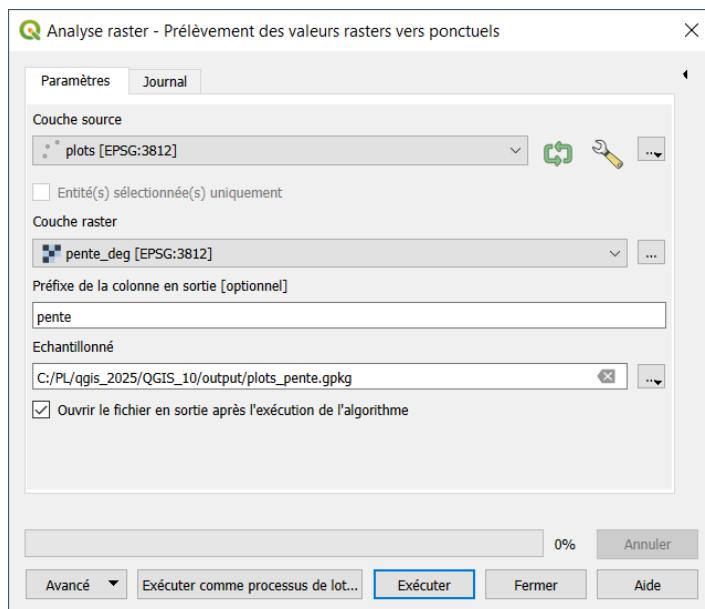
2.12.1 Approche simple pour une seule couche raster

- Lorsque l'on étudie des objets ponctuels, on peut être intéressés de connaître les valeurs prises par différentes couches à l'endroit où se trouvent ces points.
- Cette opération peut être réalisée par l'outil « Prélèvement des valeurs rasters vers ponctuels ».
- Afficher les couches **pente_deg.tif** et **plots.gpkg**. Cette dernière représente l'emplacement des placettes d'un inventaire forestier dans la forêt de Saint-Michel.

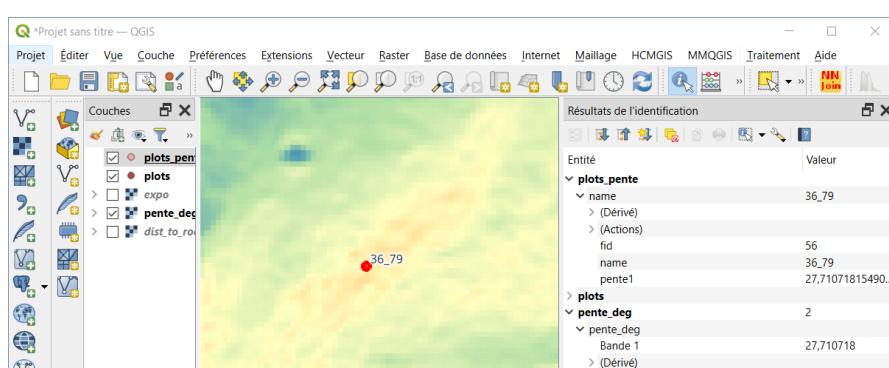


Évaluer la pente du terrain pour chaque placette représentée dans la couche **plots.gpkg**.

- Ouvrir l'interface de l'outil « Prélèvement des valeurs rasters vers ponctuels ». Remplir les rubriques comme dans la figure qui suit. Exécuter ensuite la commande.



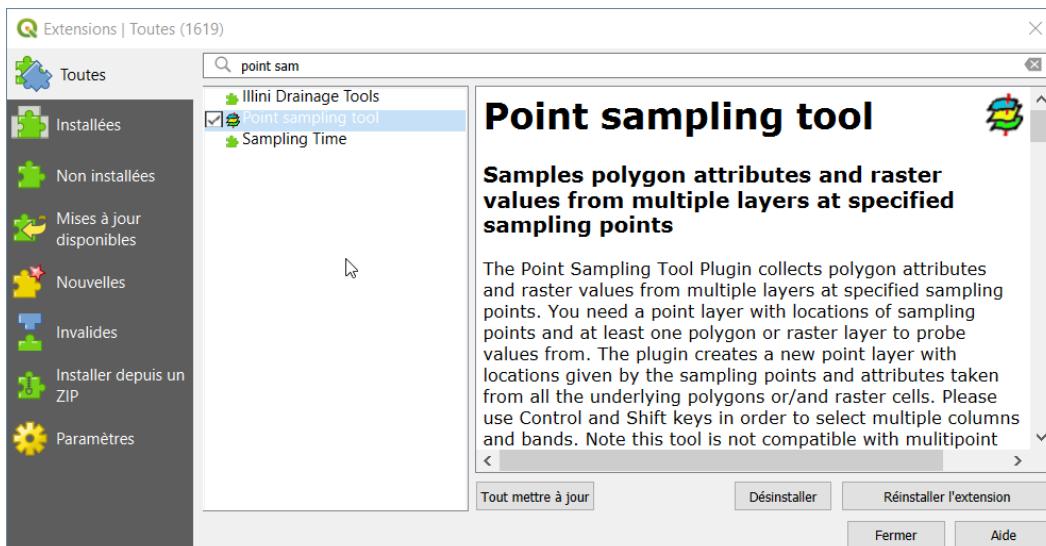
- Vérifier manuellement les valeurs de pente d'une placette en utilisant le bouton  et en comparant la valeur attribuée à la placette avec celle de la couche **pente_deg.tif**.



2.12.2 Extraire des informations ponctuelles dans un grand nombre de couches



- L'outil qui vient d'être utilisé peut très vite s'avérer fastidieux si la recherche d'informations porte sur un grand nombre de couches raster, voire également sur des couches vectorielles.
- L'extension **Point Sampling Tool** offre une alternative beaucoup plus efficace puisqu'elle peut, en une seule opération, collecter au niveau des points d'un couche toutes les informations relatives à toutes les autres couches présentes et affichées dans le projet QGIS.
- Avant d'aller plus loin, assurez-vous que l'extension **Point Sampling Tool** est installée et activée dans votre session QGIS.

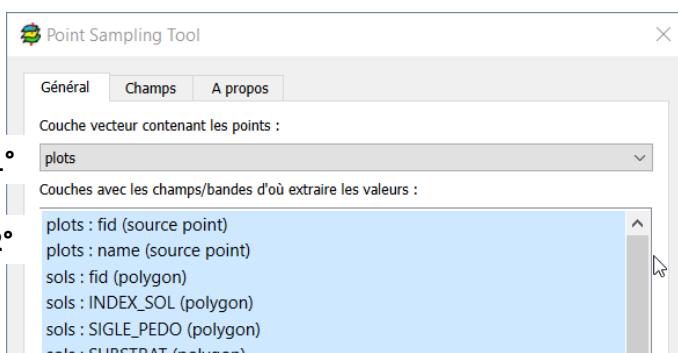


- Afficher dans un projet QGIS les couches **plots.gpkg**, **sols.gpkg**, **expo.tif**, **pente_deg.tif**, **dist_to_roads.tif** et **mnt.tif**. Il est important que toutes les couches soient affichées.
- Une fois installée et activée, cette extension est accessible via la commande **[Extensions] → [Analyses] → [Point Sampling Tool]**.



Définir les caractéristiques des points de la couche **plots.gpkg** par rapport aux différents couches qui ont été chargées dans le projet. Nommer la nouvelle couche **plots_description.gpkg**.

- Ouvrir l'interface de l'outil « Point Sampling Tool ». Remplir les rubriques comme dans la figure qui suit. Exécuter ensuite la commande.



1° Sélectionner la couche de points à utiliser (**plots.gpkg**).

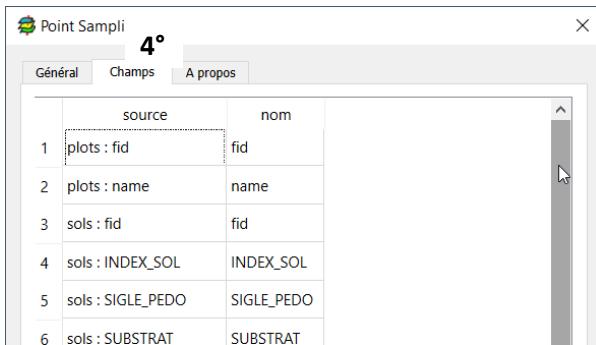
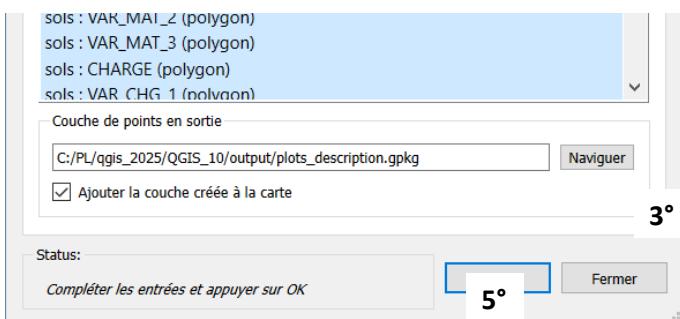
2° Sélectionner les attributs (couches vectorielles) ou les bandes (couches raster) dont on souhaite extraire les valeurs : il suffit de réaliser un clic-gauche sur le premier item et de faire glisser le curseur jusqu'au dernier élément de la liste. Les éléments sélectionnés sont surlignés en bleu clair.

3° Définir le nom et l'emplacement du fichier de sortie. Nommer celui-ci

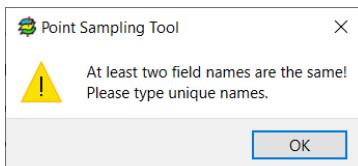
plots_description.gpkg.

36/51

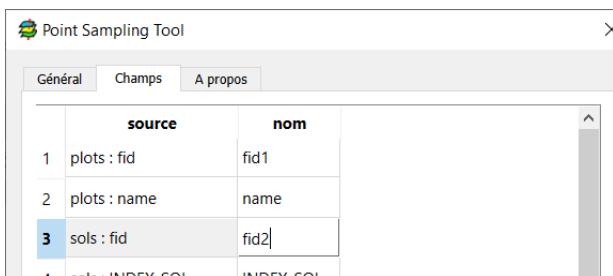
4° L'onglet « Champs » permet de vérifier et/ou modifier les noms des champs qui seront générés dans la couche de sortie.



- Lors de l'exécution de la commande, le message suivant apparaît.



- Apporter les modifications aux noms des champs « fid » issus des couches **plots** et **sols**.



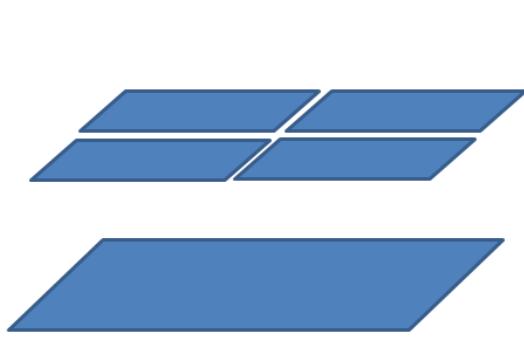
- Visualiser le contenu de la table d'attributs de la nouvelle couche produite.



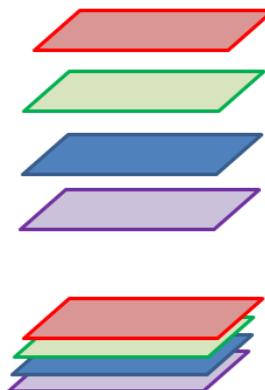
2.13 Fusion de couches raster en créant des rasters virtuels

2.13.1 Introduction

- La fusion de couches rasters peut s'envisager selon deux modalités différentes :
 - Juxtaposition (mosaïquage) de plusieurs rasters pour former un raster mono-bande.
 - Superposition (empilement) de plusieurs rasters pour former un raster multi-bandes.
- Il est important de bien faire la distinction entre ces deux modalités car elles sont mises en œuvre au départ de la même commande.



in : 4 rasters « 1 bande »
out : 1 raster « 1 bande »



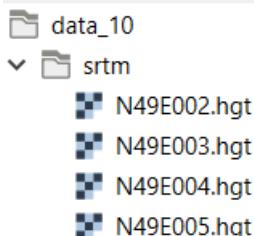
in : 4 rasters « 1 bande »
out : 1 raster « 4 bandes »

- Indépendamment des modalités d'assemblage des couches raster (juxtaposition, superposition), il convient de considérer la nature du fichier raster qui est généré. À ce niveau, il existe aussi deux options qui sont prises en charge par deux commandes différentes :
 - Création d'un fichier raster « en dur » : le fichier raster contient physiquement les données. Cette option est prise en charge par la commande « Fusion » de la librairie GDAL.
 - Création d'un « raster virtuel » : le fichier contient la liste des adresses des différents fichiers raster assemblés, ainsi que les caractéristiques géométriques du raster résultat. Cette option est prise en charge par la commande « Construire un raster virtuel » de la librairie GDAL.
- La seconde option présente l'énorme avantage de ne pas dupliquer des volumes de données parfois très importants, dans la mesure où les fichiers .vrt (format des rasters virtuels) sont très légers (quelques ko).

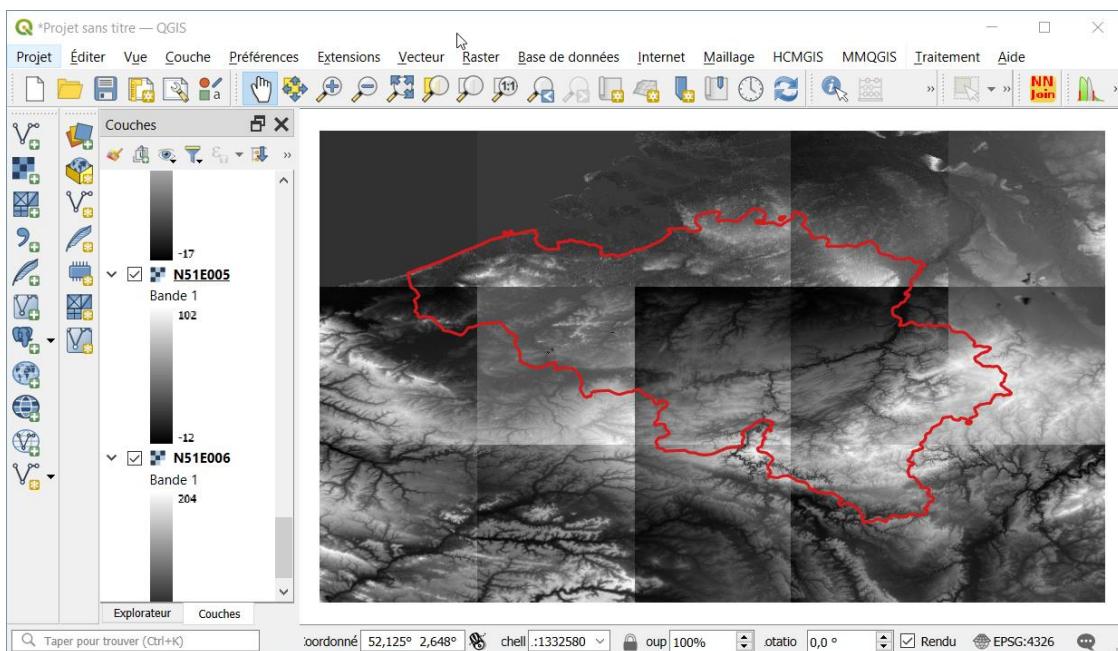
2.13.2 Mosaïquage de couches SRTM



- Le dossier \srtm contient 15 fichiers au format .hgt. Ces fichiers contiennent des rasters correspondant à des extraits de la couche SRTM (« *Shuttle Radar Topography Mission* »). Le SRTM est un Modèle Numérique de Surface mondial avec une résolution de l'ordre de 30 m.

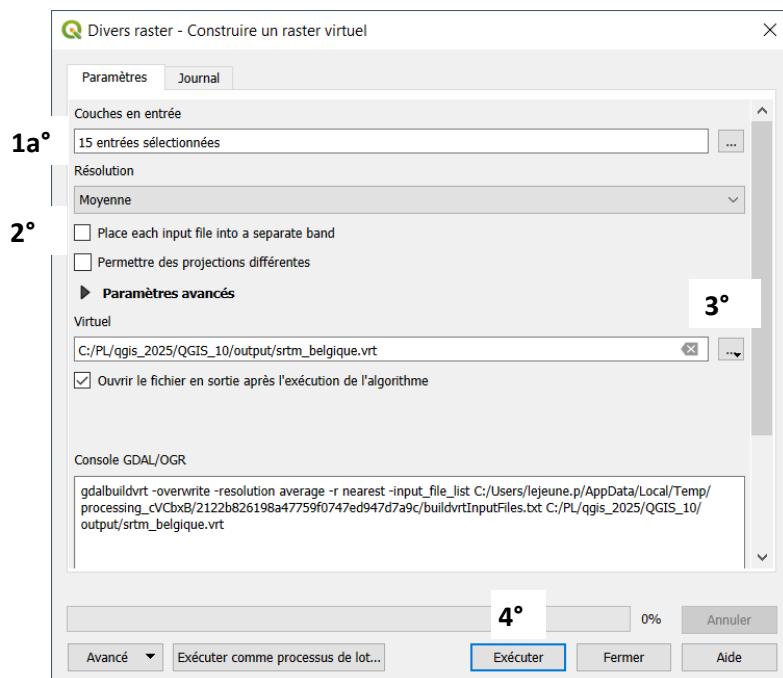


- Afficher les 15 rasters contenus dans ces fichiers, ainsi que la couche **Belgique.gpkg**.



Réaliser une mosaïque avec les tuiles SRTM couvrant la Belgique. Produire cette mosaïque sous la forme d'un raster virtuel. Baptiser le fichier **srtm_belgique.vrt**.

- Afficher l'interface de l'outil « Construire un raster virtuel » de la librairie GDAL.
- Suivre les instructions de la figure suivante pour exécuter correctement la commande.

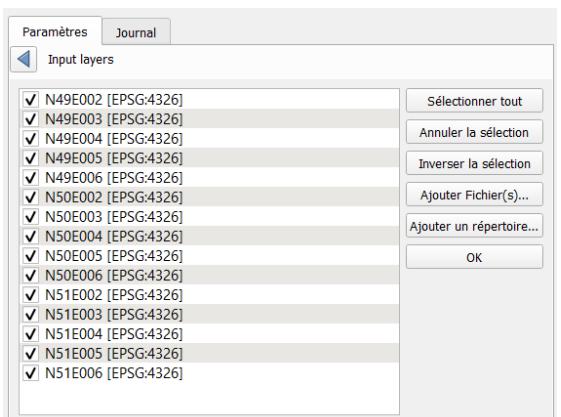


1° Sélectionner les fichiers raster à assembler.

2° Désélectionner l'option de stockage des fichiers dans des bandes séparées. Celle-ci est réservée à l'empilement de fichiers pour produire un raster multi-bandes.

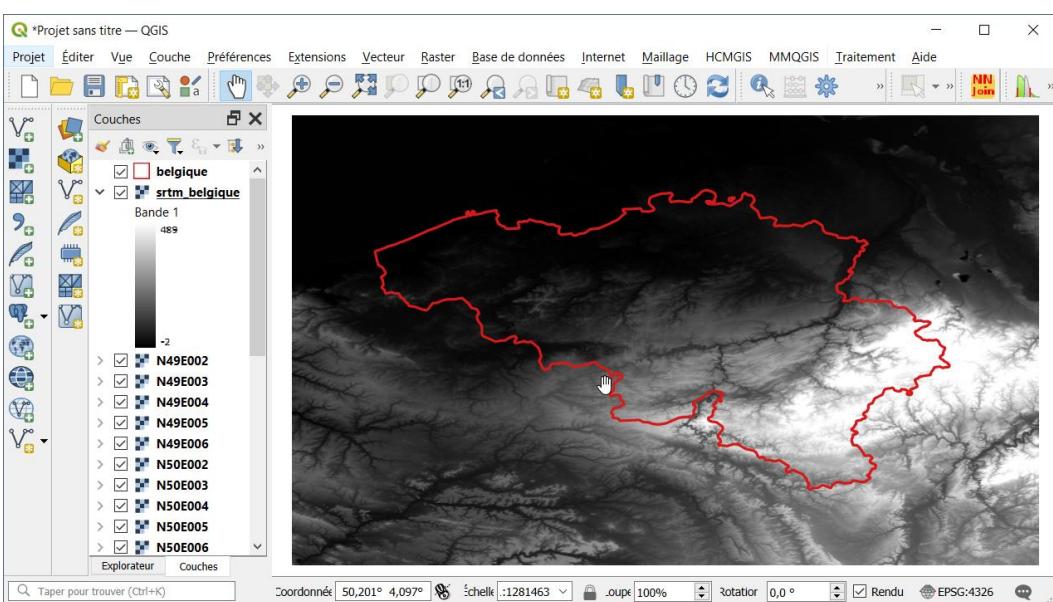
3° Définir le nom et l'emplacement du fichier de sortie. Nommer celui-ci **srtm_belgique.vrt**.

4° Exécuter la commande avec le bouton « **Exécuter** ».



1b°

- Le résultat se présente comme dans la figure suivante.





- La figure suivante montre un extrait du fichier **srtm_belgique.vrt** qui a été créé.



```

srtm_belgique.vrt - Bloc-notes
Fichier Edition Format Affichage Aide
<VRTDataset rasterXSize="18001" rasterYSize="10801">
  <SRS dataAxisToSRSAxisMapping="2,1" GEOGCS["WGS_84",DATUM["WGS_1984",SPHEROID["WGS_84",6378137,298.25723563,AUTHORITY["EPSG","6701"]],PRIMEM["Greenwich",0,AUTHORITY["EPSG","8901"]],AXIS["North",N,AUTHORITY["EPSG","9001"]],AXIS["East",E,AUTHORITY["EPSG","9002"]],AUTHORITY["EPSG","4326"]],PROJECTION["Transverse_Mercator"],PARAMETER["latitude_of_center",51.16666666666667],PARAMETER["longitude_of_center",4.333333333333333],PARAMETER["scale_factor",0.9999],PARAMETER["false_easting",500000],PARAMETER["false_northing",1500000],UNIT["metre",1,AUTHORITY["EPSG","900913"]]]>
  <GeoTransform> 1.999861111111111e+00, 2.777777777777778e-04, 0.000000000000000e+00, 5.2000138888888891e+01, 0.000000000000000e+00, 0.000000000000000e+00</GeoTransform>
  <VRTRasterBand dataType="Int16" band="1">
    <NoDataValue>-32768</NoDataValue>
    <ComplexSource resampling="nearest">
      <SourceFilename relativeToVRT="0">C:/PL/qgis_2025/QGIS_10/data_10/srtm/N49E002.hgt</SourceFilename>
      <SourceBand>1</SourceBand>
      <SourceProperties RasterXSize="3601" RasterYSize="3601" DataType="Int16" BlockXSize="3601" BlockYSize="1" />
      <SrcRect xOff="0" yOff="0" xSize="3601" ySize="3601" />
      <DstRect xOff="0" yOff="7200" xSize="3601" ySize="3601" />
      <NODATA>-32768</NODATA>
    </ComplexSource>
    <ComplexSource resampling="nearest">
      <SourceFilename relativeToVRT="0">C:/PL/qgis_2025/QGIS_10/data_10/srtm/N49E003.hgt</SourceFilename>
      <SourceBand>1</SourceBand>
      <SourceProperties RasterXSize="3601" RasterYSize="3601" DataType="Int16" BlockXSize="3601" BlockYSize="1" />
      <SrcRect xOff="0" yOff="0" xSize="3601" ySize="3601" />
    </ComplexSource>
  </VRTRasterBand>
</VRTDataset>

```

- On peut constater que ce raster virtuel comporte 18001 colonnes et 10801 lignes (ligne 1), qu'il est produit dans le système de coordonnées WGS84 (ligne 2), qu'il comporte une seule bande (ligne 7) constituée de la juxtaposition d'une série de raster dont les adresses des fichiers et les caractéristiques géométriques sont renseignées de manière séquentielle (lignes 8 à 15 pour le raster 1, ligne 16 à 23 pour le raster 2...).
- La taille du fichier **srtm_belgique.vrt** est de 8 ko alors que les fichiers originaux totalisent un volume de 370 Mo.

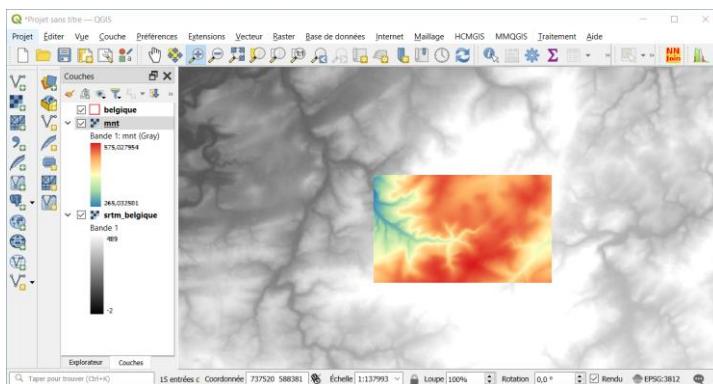
2.14 Reprojeter, rééchantillonner et modifier l'emprise d'un raster (warp)

- La commande « *warp* » (« *to warp* » signifie « déformer ») est un outil qui permet de réaliser trois opérations simultanément sur une couche raster :
 - Changer le système de coordonnées (reprojeter)
 - Changer la résolution spatiale (rééchantillonner)
 - Modifier l'emprise



Extraire de la couche **srtm_belgique.vrt** un raster couvrant la même emprise que la couche **mnt.tif**. Ce nouveau raster doit avoir les mêmes caractéristiques géométriques (système de coordonnées, emprise, résolution spatiale) que la couche **mnt.tif**.

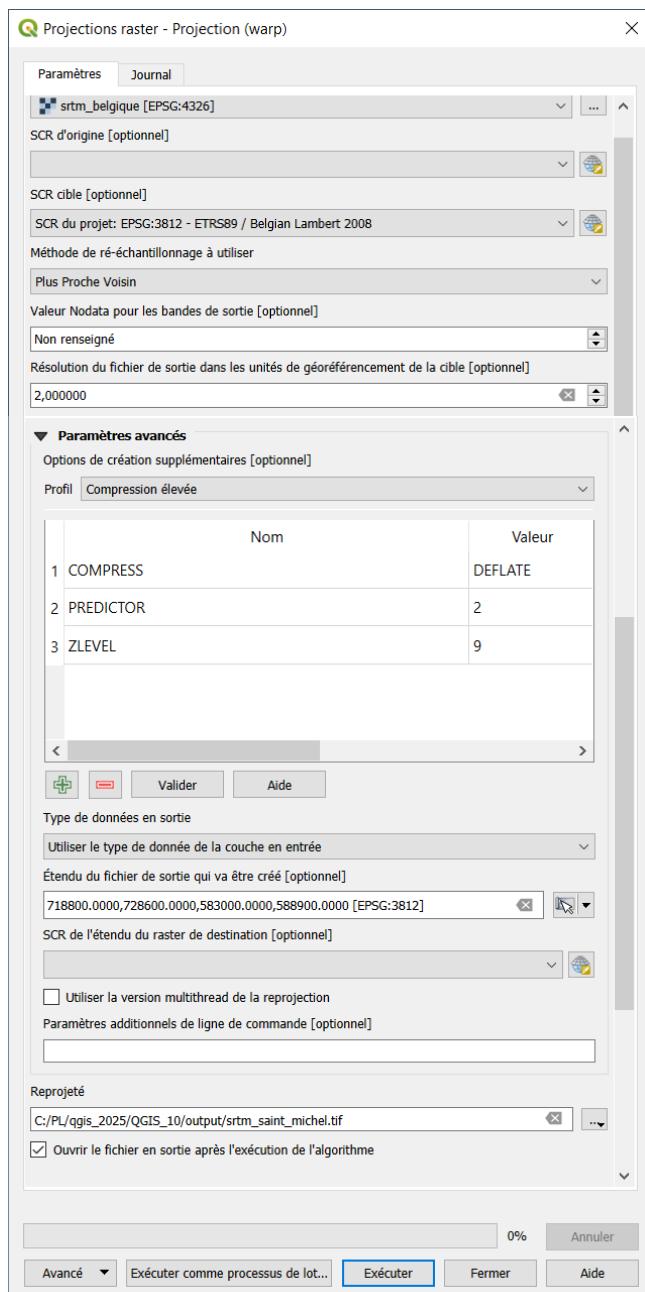
- Afficher les couches **srtm_belgique.vrt** et **mnt.tif**.



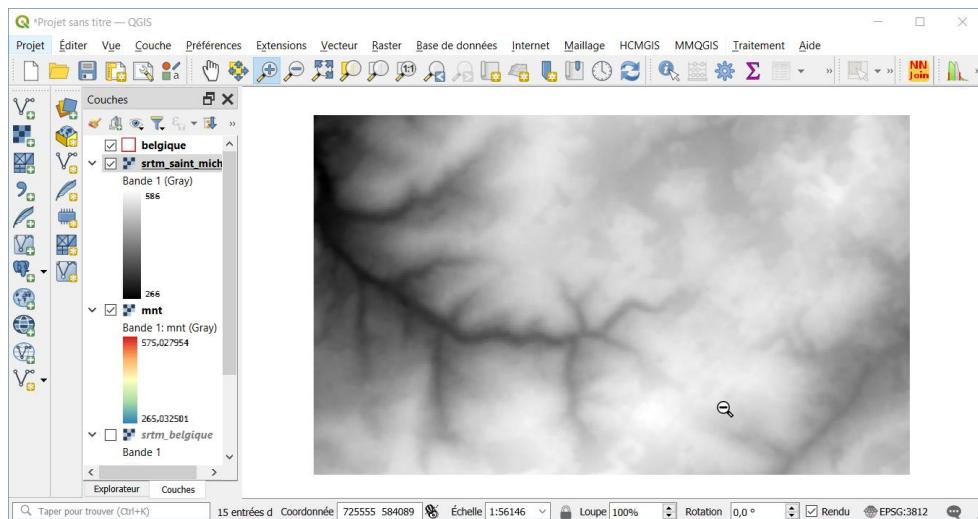
- Ouvrir la boîte de dialogue de la commande « *Projection (warp)* ».



- Définir les paramètres de la commande comme dans la figure suivante. Dans ces paramètres, on définit notamment le système de coordonnées ainsi que la résolution de la couche de sortie. On utilise également un paramètre avancé permettant de compacter le fichier de sortie. Nommer le fichier de sortie **srtm_saint_michel.tif**.

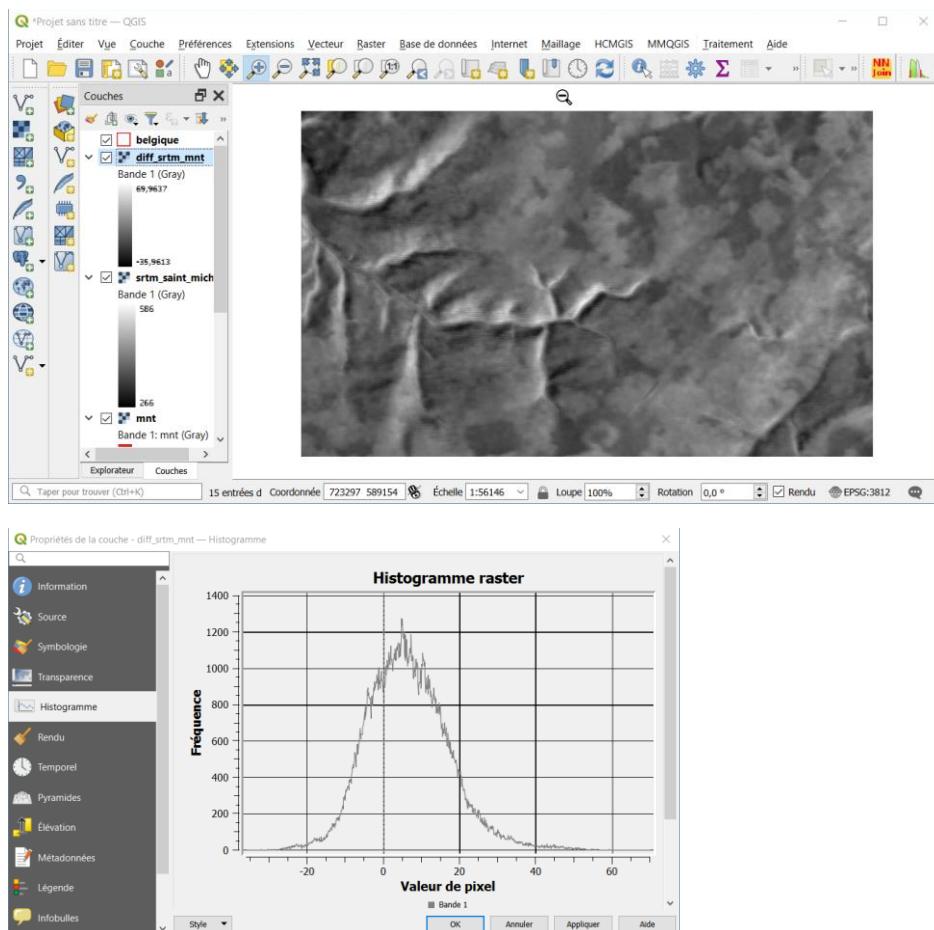


- Le résultat final se présente comme dans la figure suivante. La taille du fichier de sortie est de 53,5 Mo, soit environ cinq fois moins d'espace qu'une version non compressée.



Comparer les données d'altitude fournies par les couches **mnt.tif** et **srtm_saint_michel.tif**. Nommer le résultatat **diff_srtm_mnt.tif**.

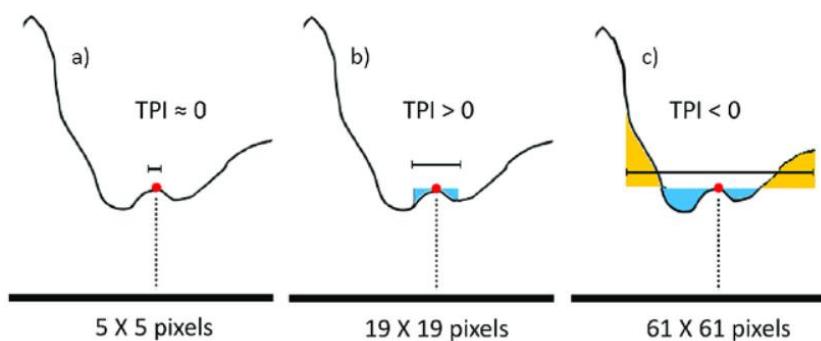
La figure suivante représente la couche **diff_srtm_mnt.tif**, qui correspond à la différence entre les deux couches analysées. L'histogramme des valeurs de cette couche est également représenté. Globalement, le SRTM tend à surestimer l'altitude.





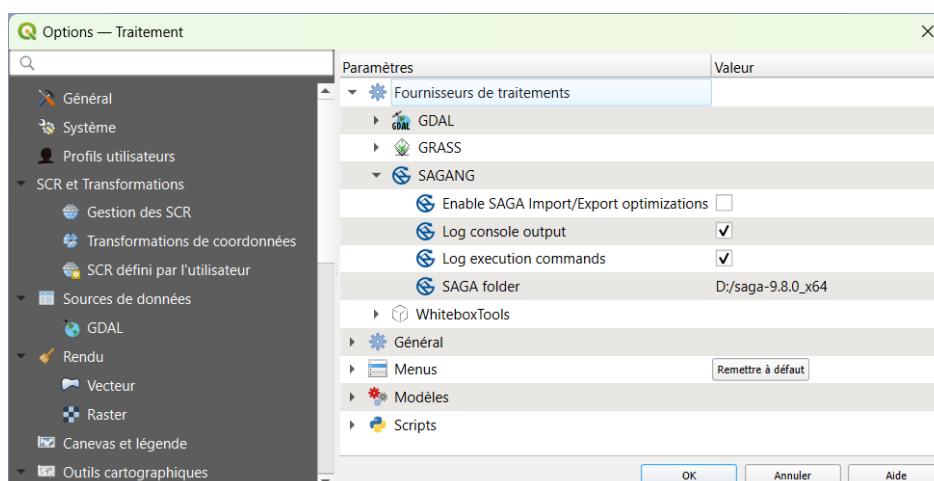
2.15 Indice de position topographique (TPI)

- Si la pente et l'exposition sont les principales variables dérivées du MNT, il existe de très nombreux autres indices cartographiques décrivant le relief et qui peuvent être dérivés de ce même MNT. Les indices hydrologiques sont abordés dans l'exercice QGIS_15.
- L'indice de position topographique (TPI pour Topographic Position Index) est utilisé pour décrire la position topographique relative de chaque pixel par rapport à son voisinage immédiat. Cet indice correspond à la différence entre l'altitude du pixel et l'altitude moyenne des pixels présents dans l'environnement du pixel. Cet environnement est défini sous la forme d'une fenêtre dont la taille est à fixer par l'utilisateur. Le résultat obtenu dépend fortement de la taille de cette fenêtre.



 Calculer un TPI sur la couche **mnt_5m.tif**. Considérer des tailles de fenêtre de 10 m et 100 m.

- Ouvrir la fenêtre de l'outil « Topographic position index (tpi) » présent dans la rubrique « SAGA Next gen » de la boîte à outils.
- Remarque :** Pour que cet outil soit accessible, il est nécessaire que le fournisseur de traitement SAGANG ait été installé correctement.



- Définir les paramètres comme dans la figure qui suit.



Terrain Analysis - Morphometry - Topographic position index (tpi)

1° Elevation
mnt_5m [EPSG:3812]

2° Min Radius: 0,000000, Max Radius: 10,000000

3° Weighting Function: [0] no distance weighting, Power: 2,000000, Bandwidth: 75,000000

4° Topographic Position Index: E:/1_geom/exo_qgis_2025/QGIS_10/output/tpi_10m.sdat, Ouvrir le fichier en sortie après l'exécution de l'algorithme

5° 0% Exécuter Annuler Avancé Exécuter comme processus de lot... Exécuter Fermer

1° Sélectionner la couche **mnt_5m.tif**.

2° Fixer les rayon max à 10 m

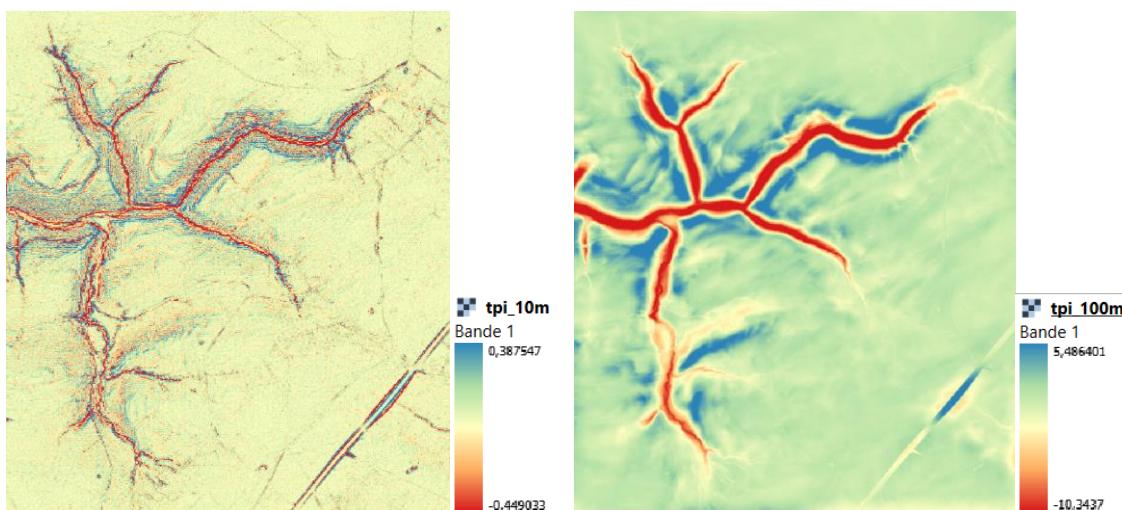
3° La fonction de pondération par la distance étant désactivée (« no distance weighting »), les paramètres « Power » et « Bandwidth » ne sont pas pris en compte.

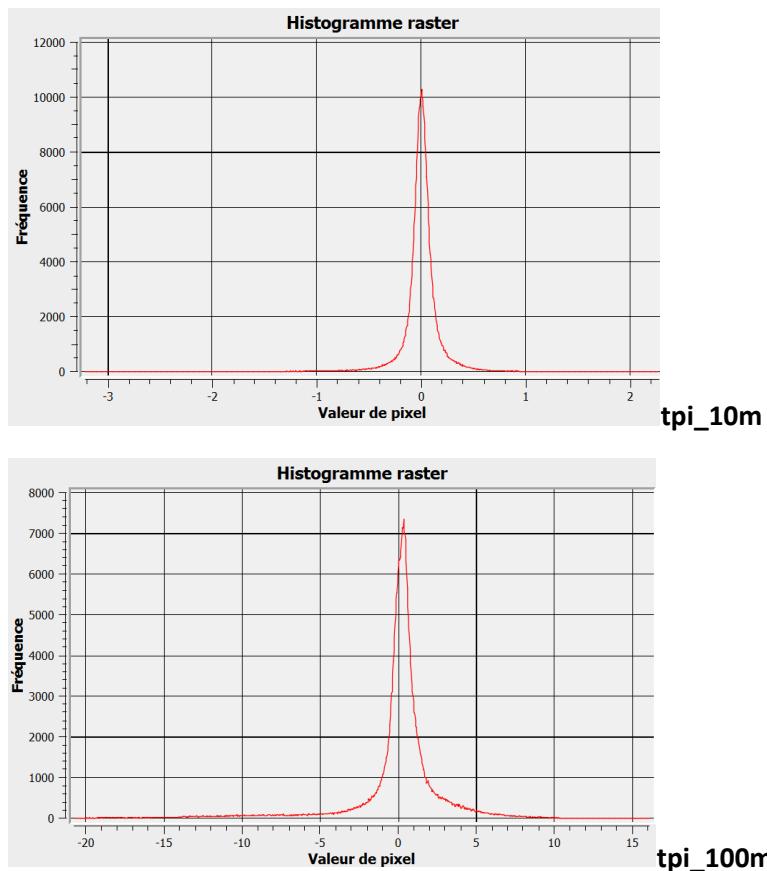
4° Définir le nom et l'emplacement du fichier de sortie. Nommer celui-ci **tpi_10m.sdat**.

Remarque : le format de fichier **.sdat** est spécifique au logiciel SAGA GIS, mais est tout à fait compatible avec QGIS.

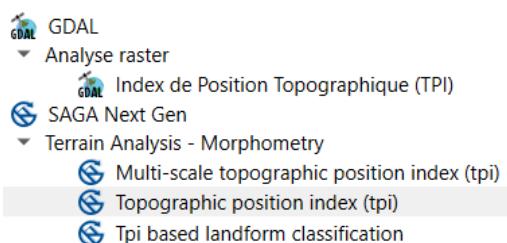
5° Exécuter la commande avec le bouton « **Exécuter** ».

- Répéter la même opération en choisissant un rayon maximum de 100 m et sauvegarder le résultat dans le fichier **tpi_100m.sdat**.
- Afficher les 2 couches pour les comparer. Afficher également les 2 histogrammes correspondants.





- L'utilisation d'une fenêtre de 10 m (tpi_10m) fait ressortir des éléments de microtopographie, alors que la fenêtre de 100 m (tpi_100m) met bien en évidence les traits géomorphologiques de la zone.
- Idéalement ces valeurs de TPI (tpi_100m) devraient être combinés avec la pente du terrain pour différencier les « milieux de versant » des « plateaux » qui présentent tous deux des valeurs de TPI proche de 0.
- **Remarque :** l'outil « TPI » de la rubrique « GDAL » est à déconseillé car il utilise par défaut une fenêtre de 3x3 et ne donne pas la possibilité de changer la taille de fenêtre.





3. Exercices supplémentaires

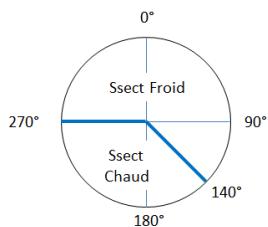
3.1 Cartes des sous-secteurs topographiques

- Le concept de sous-secteur topographique joue un rôle important en écologie forestière. Il intervient dans la définition des stations forestières en traduisant la quantité d'énergie lumineuse que peut recevoir le couvert forestier, celle-ci influençant les conditions climatiques locales.

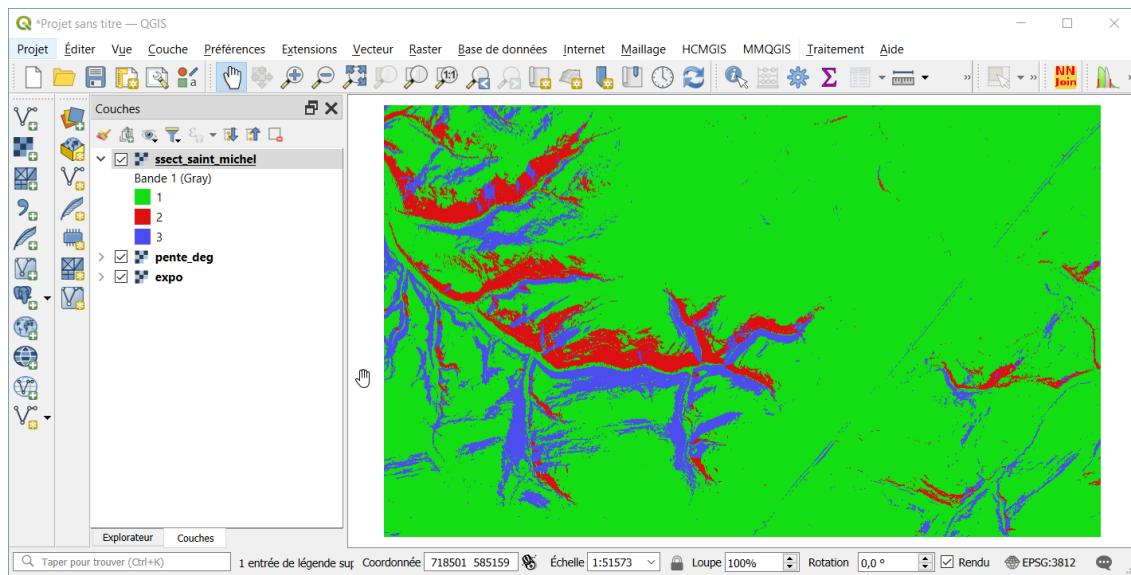
Produire, sur la zone de la forêt de Saint-Michel, une carte combinant pente et exposition sous la forme de **trois « sous-secteurs »** : **chaud (ssC)**, **froid (ssF)** et **neutre (ssN)**. Le ssN correspond aux pentes inférieures à 10°. Le ssC combine une pente $\geq 10^\circ$ et une exposition comprise entre 140° et 270° ($140^\circ < \text{exposition} \leq 270^\circ$). Le ssF correspond aux autres situations.

Simplifier la couche finale en supprimant les groupes de moins de 20 pixels d'une même valeur.

- Afficher les couches **pente_deg.tif** et **expo.tif**.
- Pour rappel, l'exposition représente l'azimut de la pente du terrain. L'exposition « Nord » correspond à une valeur de 0° (ou 360°), alors que l'exposition « Sud » prend une valeur de 180° .



- Afficher la calculatrice de champ et créer une expression permettant de traduire la définition des sous-secteurs. Le résultat doit se présenter sous la forme d'un raster prenant la valeur 1 (ssN), 2 (ssC) ou 3 (ssF).
-  Essayer de construire l'expression sans aide. La solution est présentée à la page suivante. Il est suggéré d'utiliser des conditions mutuellement exclusives.
- Pour simplifier la couche résultat, appliquer ensuite un tamisage pour supprimer les groupes de moins de 20 pixels de même valeur. Nommer le raster final **ssect_saint_michel.tif**.
- Le résultat final devrait se présenter comme dans la figure suivante.



- L'expression ci-dessous combine les différentes conditions permettant de différencier les trois sous-secteurs. Les différentes conditions utilisées sont mutuellement exclusives. Chacune d'entre-elle est multipliée par le numéro de la classe du sous-secteur qu'elle représente.

Expression de la calculatrice raster

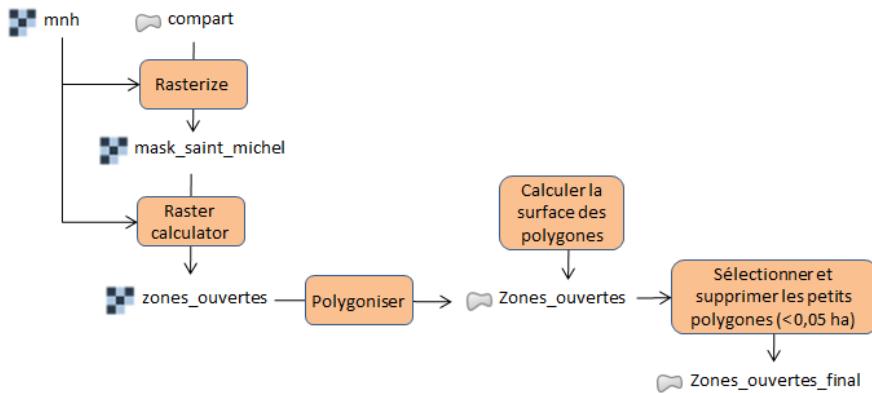
```
("pente_deg@1" < 10) * 1
+ ("pente_deg@1" >= 10) * ("expo@1" > 140) * ("expo@1" <= 270) * 2
+ ("pente_deg@1" >= 10) * ("expo@1" <= 140) * 3
+ ("pente_deg@1" >= 10) * ("expo@1" > 270) * 3
```

3.2 Carte des zones forestières ouvertes (non-boisées)

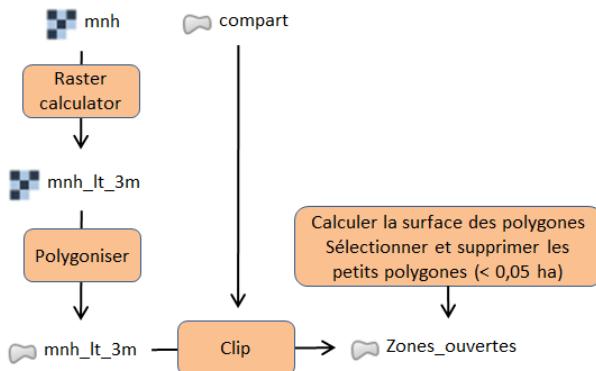


Produire une couche vectorielle (polygones) décrivant les zones « ouvertes » dans la forêt de Saint-Michel. Baser la définition de ces zones non-boisées sur la couche **mnh.tif** (Modèle Numérique de Hauteur) et une valeur seuil de 3 m de hauteur. Supprimer les entités dont la surface est < 5 ares.

- Afficher les couches **mnh.tif** et **compart.gpkg**. La couche **mnh.tif** exprime la hauteur du couvert végétal ou celle des constructions présentes à la surface du sol.
- Les couches de départ étant à la fois vectorielle (**compart.gpkg**) et raster (**mnh.tif**), il est nécessaire de passer par une étape de conversion. Il existe au moins deux manières de combiner les deux couches de départ pour obtenir le résultat demandé.
 - La première approche passe par une conversion raster de la couche **compart** pour produire un masque décrivant les limites de la forêt de Saint-Michel. Cette couche doit présenter les mêmes caractéristiques géométriques que la couche **mnh**.
 - Celui-ci est ensuite combiné avec la couche **mnh** dans la calculatrice raster. Le résultat est ensuite polygonisé. Le critère sur la taille des polygones est finalement appliqué après avoir calculé leur surface.

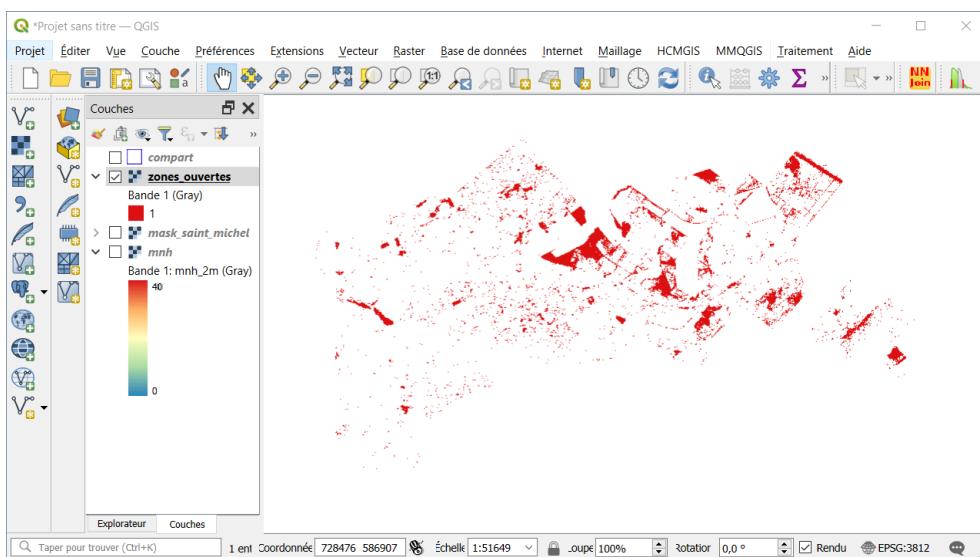


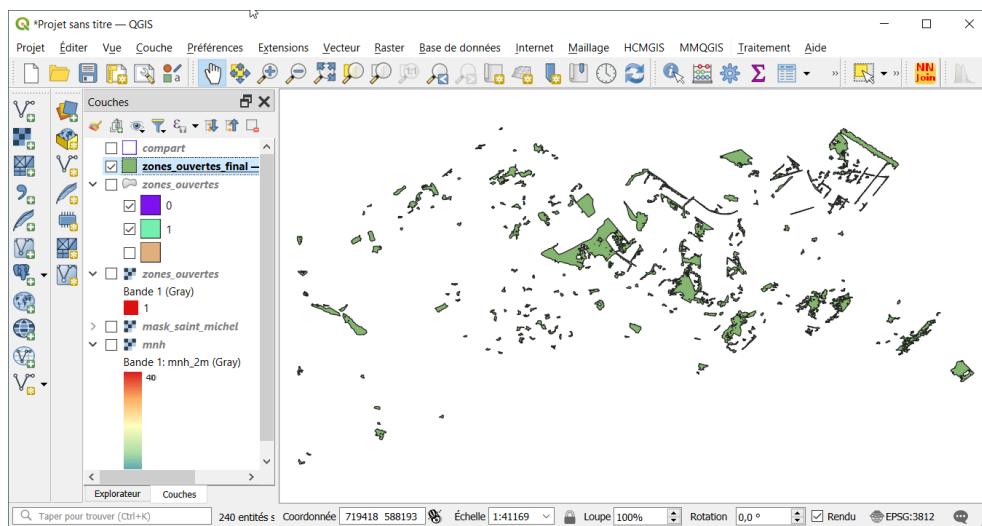
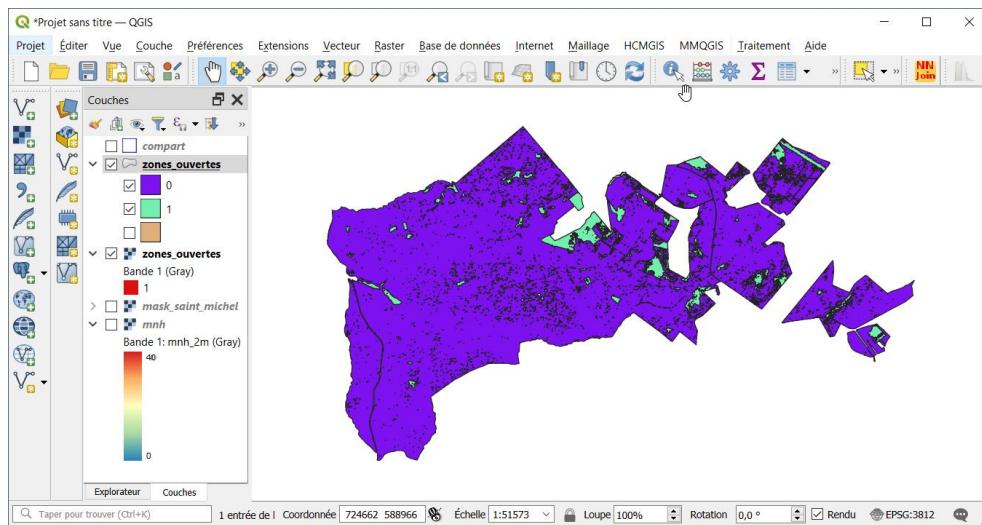
- La seconde approche utilise la calculatrice raster pour convertir la couche **mnh** en un masque mettant en évidence les zones où la végétation a une hauteur inférieure à 3 m. Cette couche est ensuite polygonisée. Les polygones représentant les zones ouvertes sont ensuite découpés aux limites de la forêt de Saint-Michel avec la couche **compart**. La dernière étape liée à la taille des polygones est la même que dans la première approche.



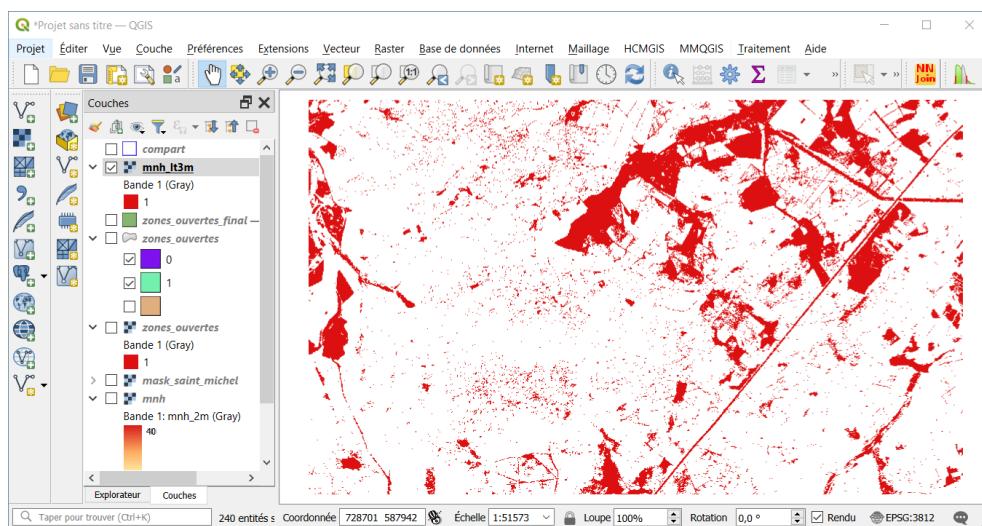
Remarque : la seconde approche demande un temps de traitement plus long, lié à l'opération « Clip » appliquée sur la couche **mnh_lt_3m** qui contient un grand nombre de polygones.

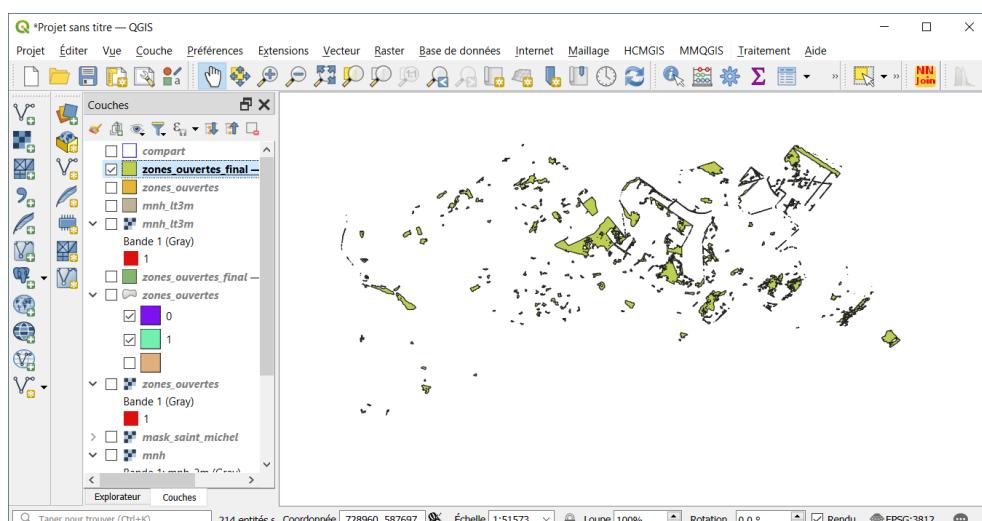
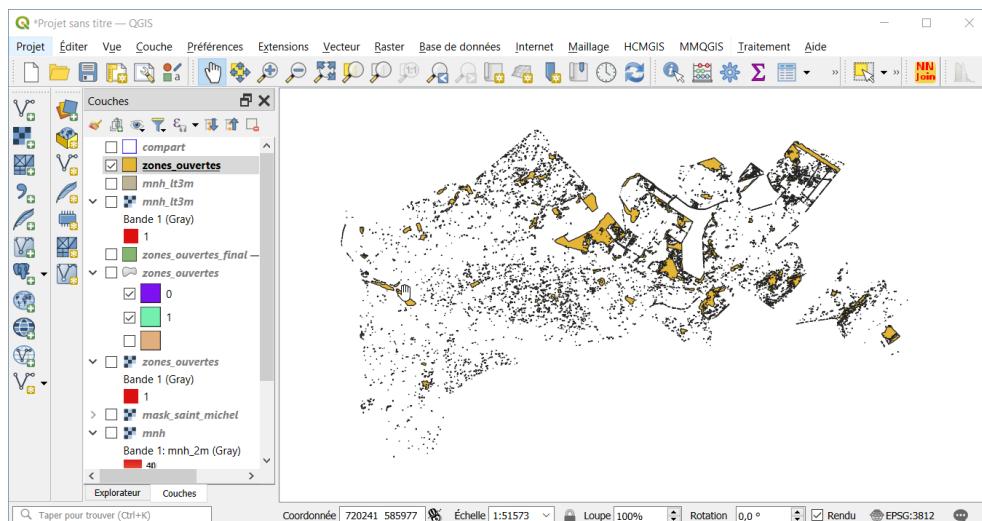
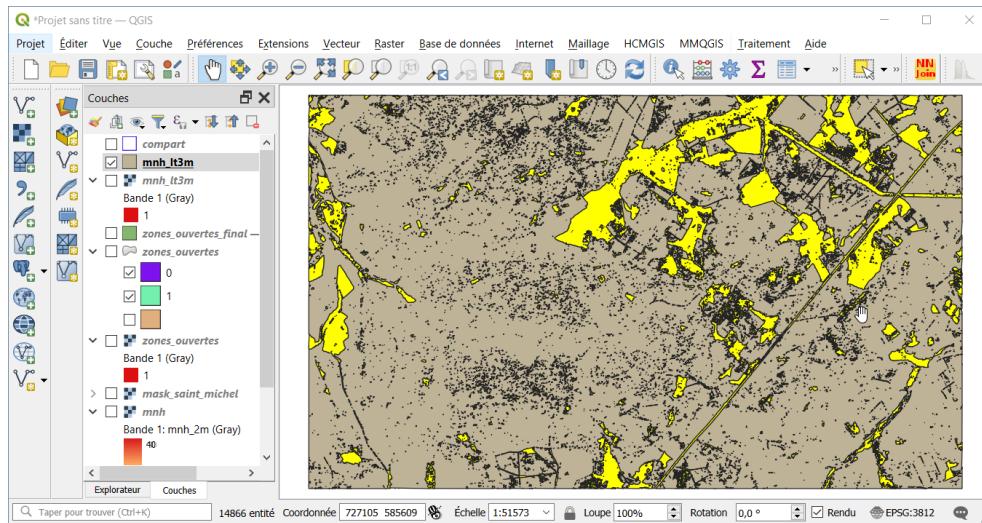
- Les figures qui suivent représentent les couches produites en suivant la première approche.





- Les fichiers contenant ces couches sont disponibles dans le répertoire \solution1.
- Les figures qui suivent représentent les couches produites en suivant la seconde approche.





- Les fichiers contenant ces couches sont disponibles dans le répertoire \solution2.