

## Méthode d'identification cartographique des têtes de bassin versant sur le département du Finistère



Logiciels utilisés : QGIS 2.18, GRASS GIS 7.4.1, OpenJUMP 1.12 rev.5704 PLUS

Octobre 2019

Travail réalisé par le Forum des Marais Atlantiques dans le cadre de la Cellule d'Animation sur les Milieux Aquatiques (CAMA) du Conseil départemental du Finistère



## Sommaire

Contexte .....	3
Les grandes étapes de la méthode mise en œuvre .....	4
Précautions - Limites.....	5
Cas particuliers .....	6
1. Identification des cours d'eau de têtes de bassin versant .....	7
1.1 Vérification et correction de la topologie du référentiel cours d'eau .....	7
1.1.1 Suppression des pseudo-nœuds et création d'un tronçon à chaque confluence .....	7
1.1.2 Rétablissement du sens vectoriel d'écoulement de l'amont vers l'aval.....	7
1.1.3 Reconnexion des tronçons isolés.....	8
1.1.4 Vérification de la géométrie et de la topologie des données .....	9
1.2 Mise à l'écart des boucles.....	10
1.3 Classification du réseau hydrographique selon Strahler .....	12
1.3.1 Ordination du réseau selon Strahler.....	12
1.3.2 Mise à l'écart des tronçons de rang 1 inférieurs à 100 mètres.....	13
1.4 Numérotation des cours d'eau de têtes de bassin versant appartenant à la même tête de bassin versant.....	14
2. Identification des têtes de bassin versant.....	18
2.1 Construction d'un Modèle Numérique de Terrain Virtuel.....	18
2.2 Lancement des outils GRASS à partir de QGIS (Marchandise et Astier, 2013) .....	19
2.3 Définition du projet sous GRASS GIS et de ses propriétés.....	19
2.4 Lancement des outils GRASS.....	22
2.5 Importer le Modèle Numérique de Terrain (MNT) dans GRASS .....	24
2.6 Correction du Modèle Numérique de Terrain .....	27
2.7 Surcreusement du Modèle Numérique de Terrain (facultatif) .....	28
2.7.1 Import du réseau hydrographique inventorié dans GRASS .....	29
2.7.2 Conversion en raster.....	30
2.7.3 Remplacement des « No data ».....	31
2.7.4 Utilisation de la calculatrice raster : surcreusement .....	32
2.8 Déterminer les directions d'écoulement .....	33
2.9 Identifier les bassins des cours d'eau de rangs de Strahler 1 et 2 .....	34
2.10 Vérification de la géométrie et de la topologie des données .....	38
2.11 Option : lisser les contours vectorisés des polygones de têtes de bassin versant .....	39
3. Bibliographie.....	40

## Contexte

Le SDAGE Loire-Bretagne 2016-2021 demande de prendre en compte les têtes de bassin versant dans les politiques et les projets d'aménagement et de gestion des eaux. Dans les dispositions concernées, il précise que ces milieux doivent faire l'objet d'un inventaire, d'une caractérisation et d'une hiérarchisation en concertation avec les acteurs du territoire.

Face à ces obligations et enjeux, et afin de répondre aux différentes demandes d'accompagnement des acteurs locaux du département, la Cellule d'animation sur les milieux aquatiques (CAMA) du Conseil départemental du Finistère, en partenariat avec le Forum des Marais Atlantiques (FMA), dans son rôle d'ingénierie pour les territoires, a réalisé en 2017 une étude sur les têtes de bassin versant et la prise en compte du SDAGE sur les territoires.

Le rendu de ce travail s'est concrétisé par des préconisations et des propositions sur les suites à donner. A l'issue d'une consultation des différents partenaires en mars et avril 2018, il a été décidé de mettre en œuvre l'identification des têtes de bassin versant sur le Finistère en se basant sur l'inventaire départemental des cours d'eau (version 2017 ; donnée actualisée tous les deux ans) et sur un Modèle Numérique de Terrain (MNT) d'une résolution de 5 mètres. L'identification cartographique des têtes de bassin nécessite une certaine technicité SIG (Système d'Information Géographique) qu'il semblait intéressant de mutualiser au niveau départemental.

Dans ce cadre, il apparaît important d'expliquer précisément les traitements et les outils utilisés pour réaliser l'identification cartographique des têtes de bassin versant sur le Finistère.

La méthode est mise en œuvre grâce aux logiciels libres QGIS et à son extension GRASS GIS ainsi qu'au logiciel OpenJUMP. Ce choix a été fait car ces logiciels permettent de diffuser la méthode à un large public (logiciels libres et non payants) et disposent d'une communauté de développement dynamique.

Pour l'identification des têtes de bassin versant sur le Finistère, la définition suivante est retenue :

*Les têtes de bassin versant correspondent aux bassins versants des cours d'eau de rangs de Strahler 1 et 2, c'est-à-dire les bassins versants des petits affluents du réseau hydrographique.*

En ce sens, ces entités intègrent tous les milieux naturels et les modes d'occupation du sol, du bassin qu'elles forment. Elles sont réparties sur l'ensemble du bassin versant et représentent une part importante du territoire.

## Les grandes étapes de la méthode mise en œuvre

- **Identifier les cours d'eau de têtes de bassin versant § 1**
  - Vérifier et corriger la topologie du référentiel cours d'eau § 1.1
  - Mettre à l'écart temporairement, les boucles du réseau pour appliquer l'ordination de Strahler § 1.2
  - Appliquer l'ordination de Strahler § 1.3
  - Mettre à part temporairement, les rangs de Strahler 1 inférieurs à 100 mètres considérés comme des rangs 0 (Benda *et al.*, 2005) § 1.3.2
  - Numéroté les cours d'eau de têtes de bassin versant appartenant à la même tête de bassin versant § 1.4
- **Identifier les têtes de bassin versant § 2**
  - Préparer son environnement de travail pour utiliser les outils GRASS § 2.1, 2.2, 2.3, 2.4
  - Importer le MNT dans l'environnement de GRASS § 2.5
  - Corriger le MNT surcreusé en enlevant les dépressions § 2.6
  - Surcreuser le MNT avec l'inventaire départemental des cours d'eau du Finistère : § 2.7
  - Déterminer les directions d'écoulement § 2.8
  - Identifier les bassins versants des cours d'eau de rangs de Strahler 1 et 2 § 2.9

## Précautions - Limites

La méthodologie proposée permet de modéliser les enveloppes des têtes de bassin versant sous SIG. Cette modélisation ne correspond pas totalement à la réalité du terrain même si elle tend à s'en rapprocher. En ce sens, le MNT est lié à la topographie du territoire donc il permet de délimiter uniquement des têtes de bassin versant dites topographiques. Il s'affranchit de l'influence de l'occupation du sol, notamment urbaine, de la pédologie et de la géologie. Les têtes de bassin versant « réelles » correspondent aux têtes de bassin dites hydrogéologiques qui prennent en compte les écoulements souterrains, guidés par le pendage (l'inclinaison) des couches géologiques les moins perméables et qui contribuent aussi aux écoulements des cours d'eau.

Des pistes d'optimisation sont envisageables :

- Surcreuser le Modèle Numérique de Terrain au niveau des busages d'écoulement pluviaux, des réseaux de transport surélevés.
- Prendre en compte le bâti considéré comme du sol en plus et donc supprimé du MNT. Il s'agirait de produire une donnée composite alliant Modèle Numérique de Terrain et Modèle Numérique d'Élévation.

Ainsi, pour certaines têtes de bassin versant, il est indiqué dans l'attribut « **Rq** », l'existence d'une « approximation du tracé, pouvant être liée aux limites d'utilisation du MNT (réseaux de transport, zone littorale...) ou des outils GRASS ou à la présence d'une boucle dans le réseau hydrographique (biefs, ...) ou à l'aménagement du cours d'eau ».

Les défauts constatés restent des cas marginaux généralement liés à une petite surface par rapport à la superficie des têtes de bassin versant concernées. Cette précision est apportée à titre indicatif et comme point d'attention par rapport aux limites des données. Cependant, elles ne constituent pas une limite trop importante pour le travail de caractérisation et de hiérarchisation.

De même, il est conseillé d'utiliser les données chiffrées qu'il est possible d'extraire des modélisations réalisées dans le cadre de ce protocole avec précaution et en se basant sur des ordres de grandeurs.

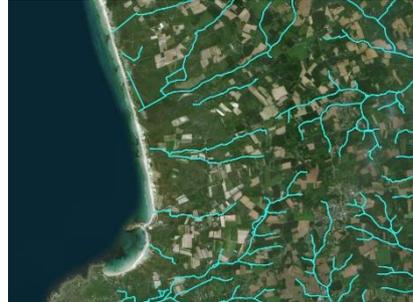
Les temps de traitement des différentes étapes sont tributaires des caractéristiques topologiques du réseau hydrographique utilisé sous SIG et de la surface de territoire à traiter.

Enfin, il apparaît important de rappeler que les cours d'eau constituent une entité dynamique dont la taille et la localisation varient en fonction du temps. Il est conseillé de prêter attention à cet aspect tout particulièrement dans le cadre de l'étude des têtes de bassin versant.

## Cas particuliers

La donnée de l'inventaire départemental des cours d'eau du Finistère utilisée sous SIG présente différents cas particuliers en termes de traitements pour l'identification des têtes de bassin versant. Sur ces cas particuliers, quelques précisions :

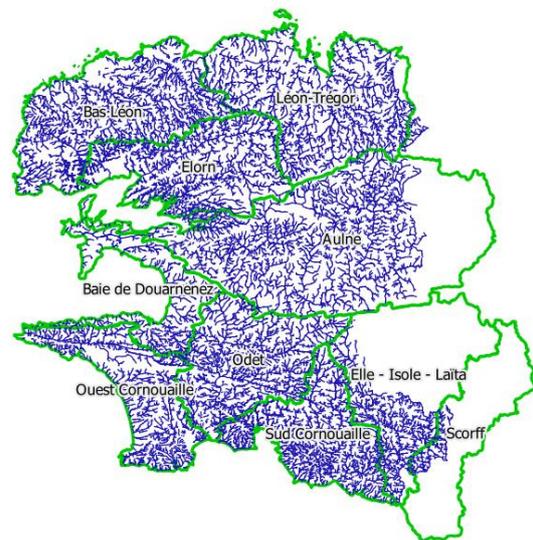
Les cours d'eau côtiers sont intégrés à l'identification des têtes de bassin versant car ils présentent un fonctionnement similaire notamment par rapport aux fonctions biodiversité et physico-chimiques (épuration de l'eau).



Les zones estuariennes sont intégrées.



Certains territoires de SAGE sont traités en partie car l'inventaire départemental des cours d'eau du Finistère ne correspond pas aux limites hydrographiques des SAGE. Les territoires concernés sont ceux des SAGE Aulne, Ellé-Isole-Laïta et Scorff.



Un plan d'eau sur cours dont une partie correspond à du linéaire de cours d'eau de tête de bassin versant est intégré à la tête de bassin versant, uniquement sur le linéaire concerné.



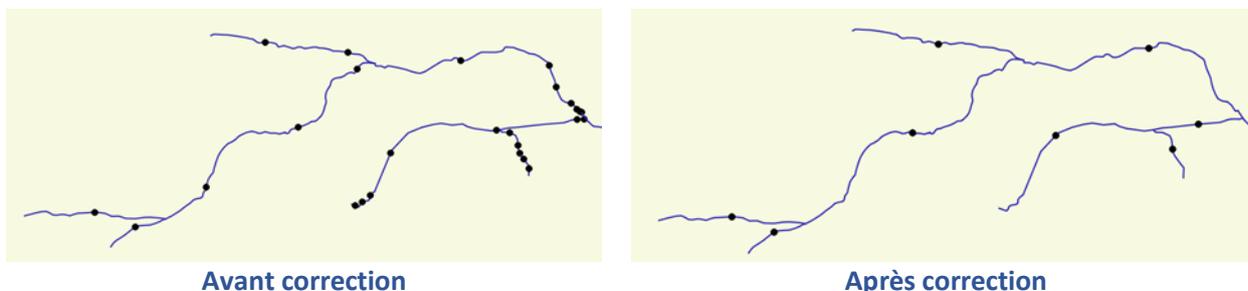
## 1. Identification des cours d'eau de têtes de bassin versant

### 1.1 Vérification et correction de la topologie du référentiel cours d'eau

**Objectif :** afin de procéder à l'ordination de Strahler sous SIG, il est nécessaire de vérifier que le référentiel hydrographique ne contient pas d'anomalies liées à la topologie ou à la géométrie de la donnée. Si tel est le cas, la classification de Strahler réalisée automatiquement risque de présenter des erreurs. Les différentes anomalies qu'il est possible de rencontrer sont : la présence de pseudo-nœuds, des discontinuités entre les tronçons, des erreurs de confluence (chaque jonction en forme de « T » doit être composée de trois segments, Salpin, 2016a) ou des inversions de sens vectoriel d'écoulement.

#### 1.1.1 Suppression des pseudo-nœuds et création d'un tronçon à chaque confluence

Un pseudo-nœud est un point (nœud) qui sépare une ligne en plusieurs parties entre deux jonctions de tronçons. Le réseau doit présenter des nœuds uniquement au niveau des confluences et des extrémités. Autrement dit, il s'agit de vérifier que les segments sont bien coupés à chaque intersection (Le Bihan, 2017b). Sur les figures, à chaque point noir correspond un tronçon. Après correction, il n'y a plus qu'un seul tronçon entre deux confluences.



Sélectionner l'ensemble des entités constituant le réseau hydrographique et les fusionner en mode Éditeur avec l'outil  de la barre d'outils de numérisation avancée : il ne reste plus qu'une seule entité au final dans la table attributaire.

Puis, utiliser l'outil `v.clean.break` ou `Multipart split` :  en mode Éditeur. Cet outil permet de diviser les lignes fusionnées à partir des points d'intersection.

**Remarque :** les outils `v.clean.break` ou `Multipart split` peuvent inverser le sens vectoriel d'écoulement du tronçon.

#### 1.1.2 Rétablissement du sens vectoriel d'écoulement de l'amont vers l'aval

Si le sens d'écoulement vectoriel ne se dirige pas de l'aval vers l'amont, il s'agit de le rétablir. Pour vérifier, il est possible d'ajouter un symbole de flèche sur les tronçons qui composent le réseau hydrographique.

##### Technique semi-automatisée

Un code de rétablissement du sens vectoriel d'écoulement a été développé par le Forum des Marais Atlantiques : « `Code_correction_sens_JF` ». En entrée du script, le MNT et la couche SIG de l'inventaire départemental des cours d'eau sont demandés.

Il se base sur la différence d'altitude entre le nœud initial et le nœud final de l'entité ainsi que sur la cohérence du sens d'écoulement en fonction des connexions aux autres tronçons. Le script réoriente les tronçons pour lesquels le dénivelé est inversé, et supérieur à une distance estimée. Pour les autres, l'inversion du dénivelé doit être corrélée à une connexion non cohérente au réseau (exemple : deux nœuds initiaux connectés).

Pour lancer le script :

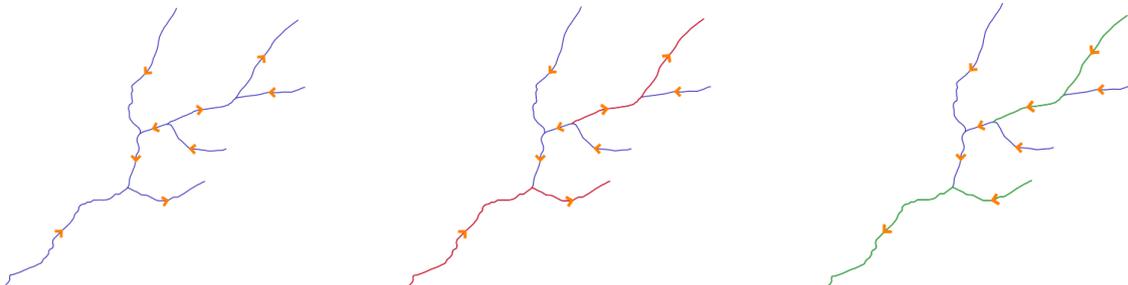
- Ouvrir la console Python : 
- Cliquer sur afficher l'éditeur : 
- Ouvrir le script : 
- Exécuter le script : 

Pour les cas les plus litigieux que le script n'aura pas traités, les attributs de la couche vecteur en sortie permettront d'aider à terminer les vérifications de sens manuellement.

Il est également possible de rajouter une colonne « Diff » dans la table attributaire, permettant de faire la différence entre « altiDebut » et « altiFin », et de s'aider en vérifiant les différences négatives.

### Technique manuelle

Pour inverser le sens d'écoulement, l'outil [Swap Vector Direction](#) est utilisé. Cet outil est accessible dans les extensions de QGIS. Il faut sélectionner les tronçons dont le sens vectoriel d'écoulement est incorrect, puis passer en mode [Éditeur](#) et cliquer sur cette icône : 

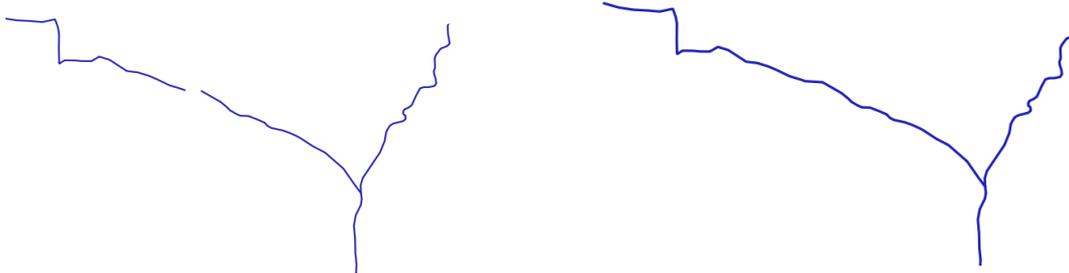


### 1.1.3 Reconnexion des tronçons isolés

Il est important de reconnecter les tronçons isolés du réseau de cours d'eau pour assurer la continuité hydrographique (Salpin, 2016b).

Il est possible de rencontrer deux types de déconnexion :

- Des tronçons déconnectés du réseau d'une extrémité à une extrémité. Dans ce cas il faut commencer par sélectionner les tronçons à reconnecter puis utiliser l'outil [Join Multiple Lines](#) (Salpin, 2016b) :  (cet outil est accessible dans les extensions QGIS). Il fusionne les tronçons en un seul.

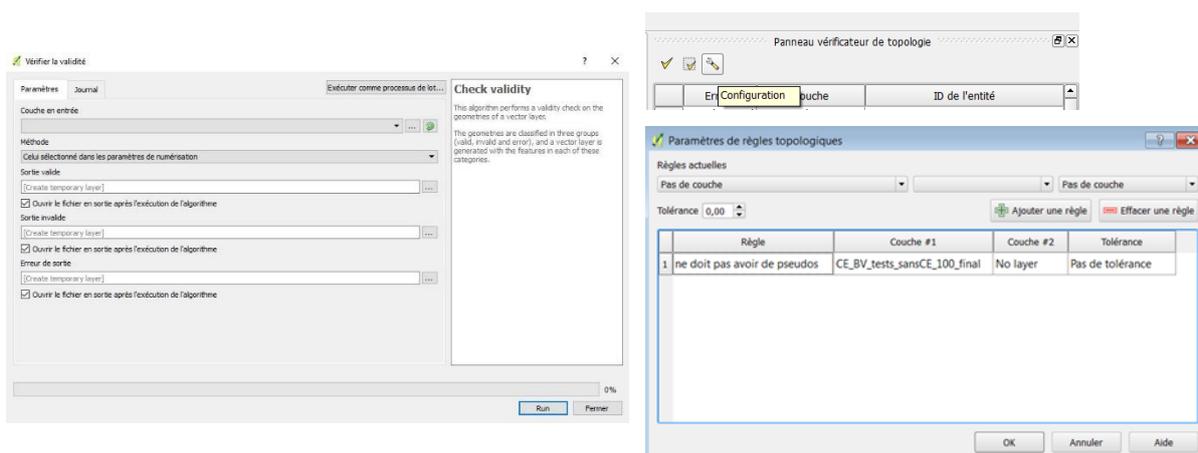


- Des tronçons déconnectés du réseau d'une extrémité à une ligne. Dans ce cas, il faut rajouter une ligne qui part de l'extrémité et vient intersecter l'autre ligne.
- ➔ Afin de repérer plus efficacement les tronçons déconnectés :
- Il est possible de Stralheriser le réseau (cf. § 1.3.1; remarque). Les tronçons déconnectés sont repérables car ils n'ont pas pu être numérotés.
  - Si l'étendue du réseau hydrographique de travail est importante alors il est possible d'utiliser également l'outil **Disconnected Islands** accessible dans les extensions de QGIS : . Cet outil permet de trouver les tronçons déconnectés dans un réseau linéaire en affectant une symbologie et un identifiant différent entre les tronçons déconnectés.

Au besoin, supprimer les éventuels pseudo-nœuds et vérifier les sens d'écoulement inversés qui ont pu apparaître suite à la reconnexion (cf. 1.1.1 et 1.1.2).

### 1.1.4 Vérification de la géométrie et de la topologie des données

Suite aux différents traitements réalisés précédemment, vous pouvez vérifier la géométrie et la topologie de la couche cours d'eau avec le **vérificateur de topologie** ou en allant dans **Vecteur/Outil de géométrie/Vérifier la validité**.

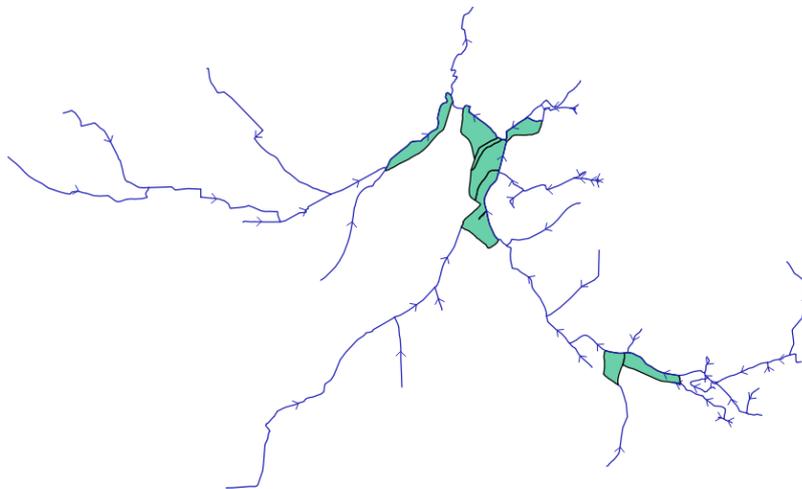


## 1.2 Mise à l'écart des boucles

Afin de ne pas perturber l'ordination de Strahler, il est nécessaire de mettre de côté des « boucles », temporairement. Ces boucles correspondent à des cas particuliers du réseau hydrographique comme des cours d'eau en dehors des talwegs, des biefs de moulins, ... Pour identifier les tracés à écarter, il est possible de se baser sur le Scan 25 de l'IGN, sur des orthophotographies et des cartographies anciennes (cartes d'Etat-major et de Cassini). Cela permet parfois de savoir quelle partie de la boucle constitue l'écoulement majoritaire ou de repérer celle qui est issue d'un aménagement humain. Pour le moment, nous n'avons pas opté pour un traitement automatisé.

Il est néanmoins possible de repérer ces configurations dans le réseau hydrographique. Pour identifier les linéaires formant des boucles, il est possible de suivre les étapes suivantes :

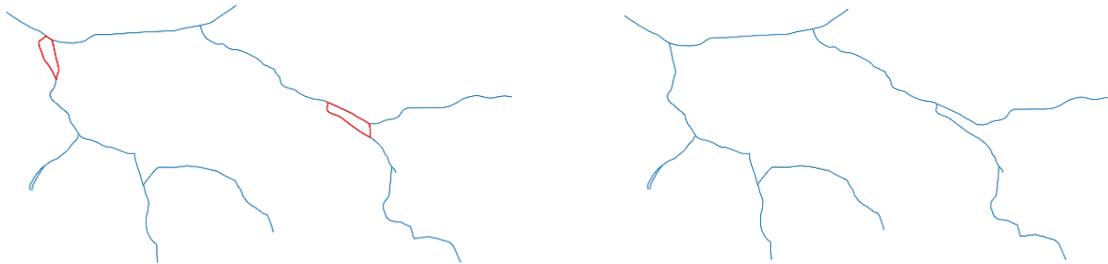
- Faire un buffer autour du linéaire de cours d'eau de 0,3 mètres :  
Aller dans l'onglet [Vecteur/Outils de géotraitement/Distance tampon fixe](#)  
Cocher « dissoudre le résultat »
- Aller dans l'onglet [Préférence/option d'accrochage](#) : cocher « éviter les intersections » sur la couche du Tampon créée à l'étape précédente
- Créer une nouvelle couche de type polygone et créer un polygone qui entoure tout le secteur d'étude
- Sélectionner le polygone créé à l'étape précédente
- Aller dans [Vecteur/Outil de géométrie/Morceaux multiples à morceaux uniques](#)
- Effacer le polygone qui entoure le secteur d'étude et il reste uniquement les boucles repérées comme dans l'exemple de rendu ci-dessous



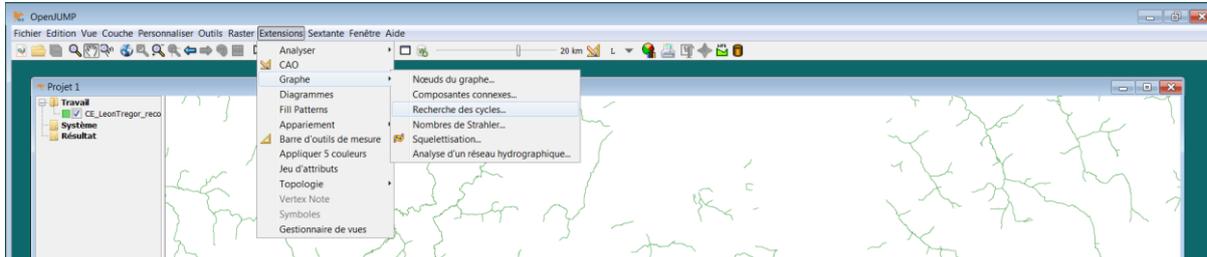
Pour identifier les tronçons de cours d'eau formant des boucles qui seront mis à l'écart, ajouter un champ de type « Entier » dans la table attributaire et remplir la colonne de « 0 ». Puis, remplacer le « 0 » par « 1 » au niveau des tronçons qui seront temporairement mis à l'écart.

Sélectionner uniquement les tronçons de cours d'eau agrémentés d'un « 0 » et enregistrer la sélection comme une nouvelle couche (Cirou, 2017).

Supprimer les éventuels pseudo-nœuds et vérifier les sens d'écoulement inversés qui ont pu apparaître suite à la mise à l'écart des tronçons de cours d'eau de l'étape précédente (cf. 1.1.1 et 1.1.2).



**Remarque :** une méthode existe également avec le logiciel OpenJUMP (non expérimentée dans le cadre de ce protocole).



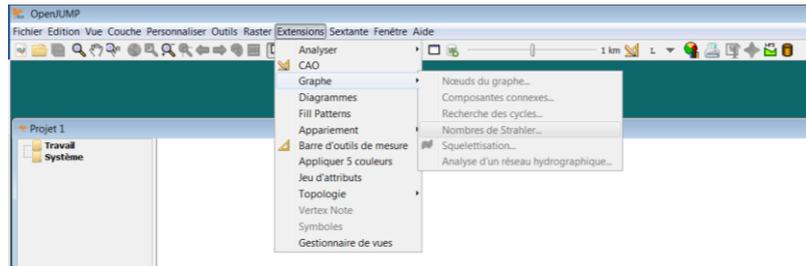
## 1.3 Classification du réseau hydrographique selon Strahler

### 1.3.1 Ordination du réseau selon Strahler

#### Technique avec le logiciel OpenJUMP (pour un réseau hydrographique étendu)

Il faut ouvrir la couche du réseau hydrographique inventorié et corrigé à l'étape précédente dans OpenJUMP : [Fichier/Ouvrir](#).

Puis, aller dans l'onglet [Extensions/Graphe/Nombres de Strahler](#).

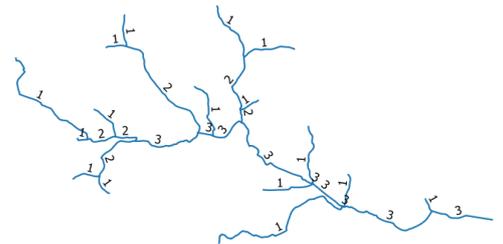
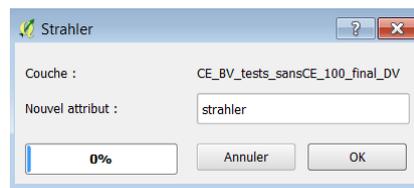
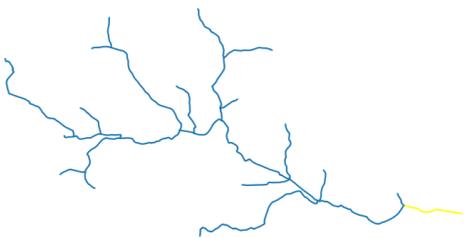


Le logiciel crée une nouvelle couche avec un nouveau champ dans la table attributaire qui renseigne le nombre de Strahler : « StreamOrde ».

Ensuite il faut enregistrer cette nouvelle couche au format « ESRI Shapefile » pour pouvoir la charger dans QGIS.

#### Technique avec le logiciel QGIS (pour un réseau hydrographique peu étendu)

Appliquer l'outil [Strahler](#) (disponible dans les extensions de QGIS) afin de connaître le rang de chaque tronçon : . Sélectionner le [segment dit « racine »](#), cliquer sur l'outil [Strahler](#) et un champ « strahler » se crée dans la table attributaire de la couche cours d'eau. Dans les propriétés de la couche, il est possible d'afficher les étiquettes du champ strahler pour chaque tronçon de cours d'eau.

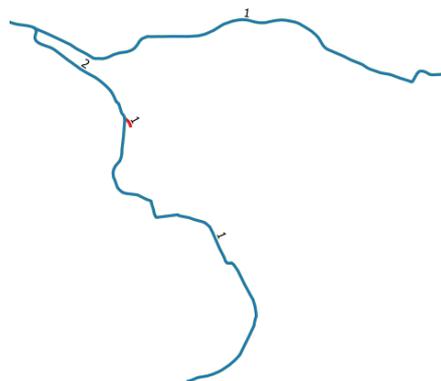
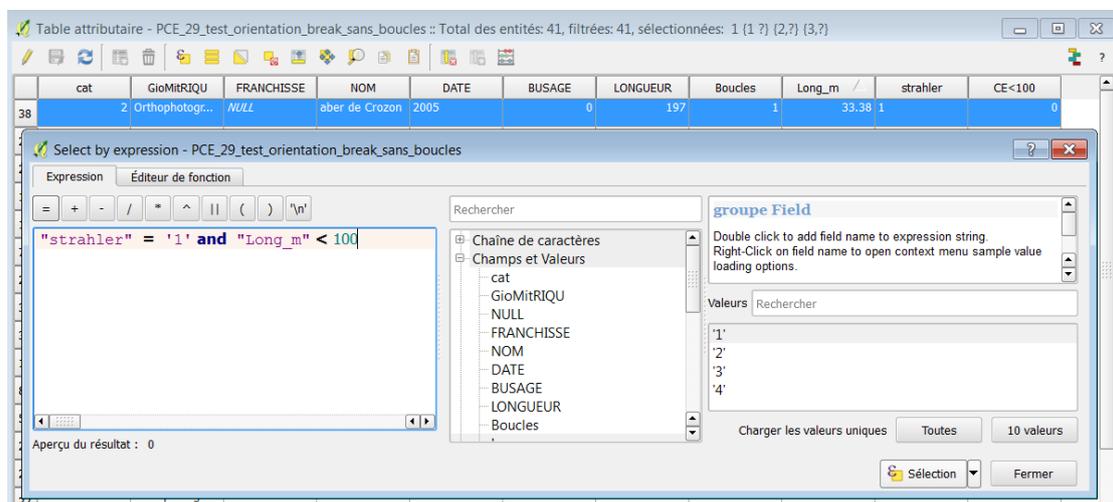


**Remarque (Salpin, 2017b) :** pour des linéaires importants, il arrive que des discontinuités dans le réseau n'aient pas été identifiées par le vérificateur de topologie/géométrie ou visuellement et donc n'aient pas été nettoyées. Cet outil de Strahlerisation permet après classification, de mettre en évidence ces discontinuités : elles correspondent aux tronçons n'ayant aucun ordre (« NULL »).

### 1.3.2 Mise à l'écart des tronçons de rang 1 inférieurs à 100 mètres

Sur préconisation de l'AFB, il apparaît pertinent de mettre également de côté temporairement, les cours d'eau de rang 1 d'une longueur inférieure à 100 mètres. En effet, leur prise en compte risquerait de sous-évaluer fortement les zones en tête de bassin. Dans le cadre de l'identification cartographique des têtes de bassin, ils sont considérés comme des rangs 0 (Benda *et al.*, 2005).

- Calculer les longueurs des tronçons de cours d'eau en ajoutant un champ de type « Nombre décimal (réel) » et grâce à l'expression « \$length » (longueur donnée en mètre).
- Pour identifier les rangs 1 de Strahler inférieurs à 100 m qui seront mis à l'écart, ajouter un champ de type « Entier » dans la table attributaire et remplir la colonne de « 0 ». Puis, comme pour les boucles, remplacer le « 0 » par « 1 » au niveau des tronçons qui seront temporairement mis à l'écart. Pour repérer ces tronçons particuliers, il est possible de faire une sélection selon une expression : "Strahler" = '1' and "Long\_m" < 100.



- Sélectionner uniquement les tronçons de cours d'eau agrémentés d'un « 0 » dans le champ ajouté à l'étape précédente et enregistrer la sélection comme une nouvelle couche.
- Supprimer les éventuels pseudo-nœuds et vérifier les sens d'écoulement inversés qui ont pu apparaître suite à la mise à l'écart des tronçons de cours d'eau de rang 1 inférieurs à 100 m (cf. § 1.1.1 et 1.1.2).

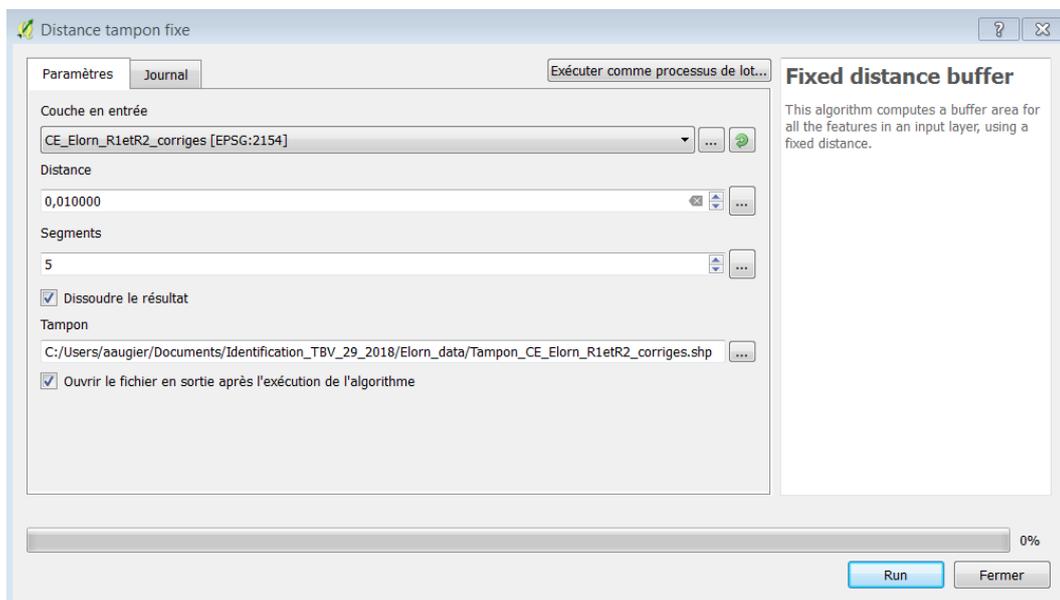
- Puis, il faut appliquer à nouveau l'outil **Strahler** sur le réseau hydrographique simplifié (sans les boucles et sans les cours d'eau de rang 1 inférieurs à 100 mètres) et si besoin, mettre à jour le champ indiquant la longueur des tronçons.
- Sélectionner uniquement les cours d'eau de rangs 1 et 2 à l'aide d'une expression. Choisir le champ « strahler » dans « Champs et valeurs » puis entrer l'expression : « "strahler" = '1' or "strahler" = '2' ».
- Enregistrer la couche sous... en tant que fichier shape.

**Remarque :** au cours des différents traitements décrits dans les parties § 1.1, 1.2, 1.3, il faut prêter attention à supprimer les pseudo-nœuds qui ont pu apparaître suite à la mise à l'écart des tronçons de cours d'eau et à vérifier les sens d'écoulement sur les secteurs où il y a eu des modifications. Pour cela il est possible de réitérer les étapes 1.1.1 et 1.1.2 sur l'ensemble du réseau ou bien de traiter au cas par cas les tronçons modifiés.

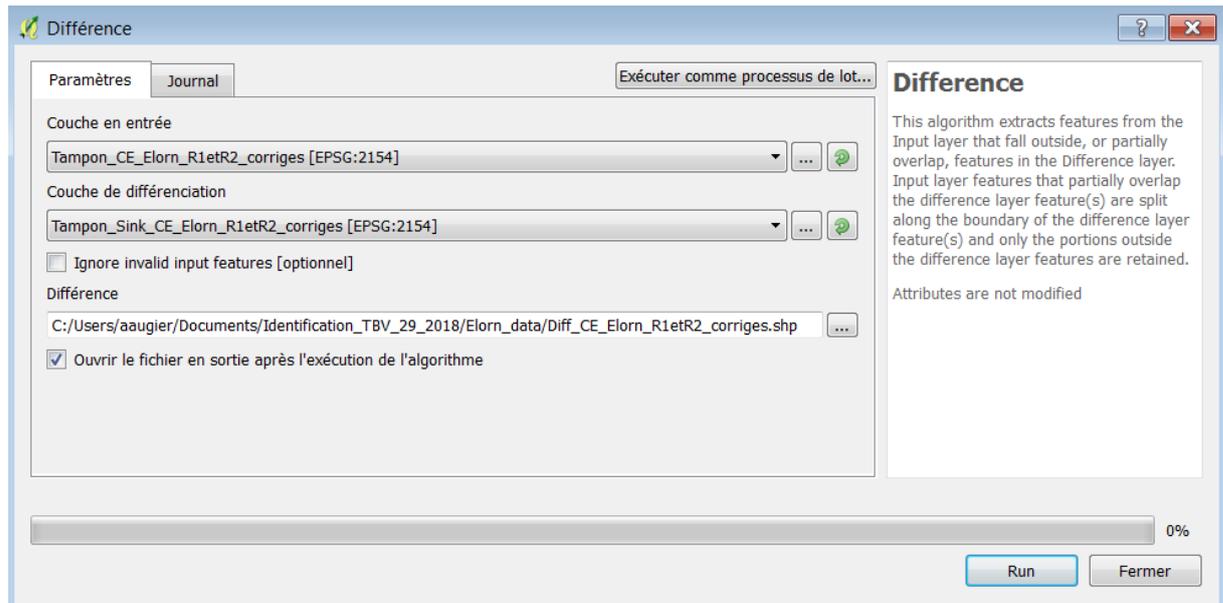
#### 1.4 Numérotation des cours d'eau de têtes de bassin versant appartenant à la même tête de bassin versant

Les opérations qui suivent ont pour objectif de donner un identifiant unique à chaque portion de réseau en tête de bassin versant (tronçon isolé ou ensemble de tronçons de TBV inter-connectés). Dans le cas où deux tronçons de rang de Strahler 2 sont connectés, les traitements qui suivent permettent grâce au tampon et au découpage de créer deux entités distinctes. Ainsi chaque rang de Strahler 2 initialement connectés se verra attribuer un identifiant différent et l'opération finale de génération des bassins versants (*r.stream.basins*) produira deux têtes de bassin versant distinctes.

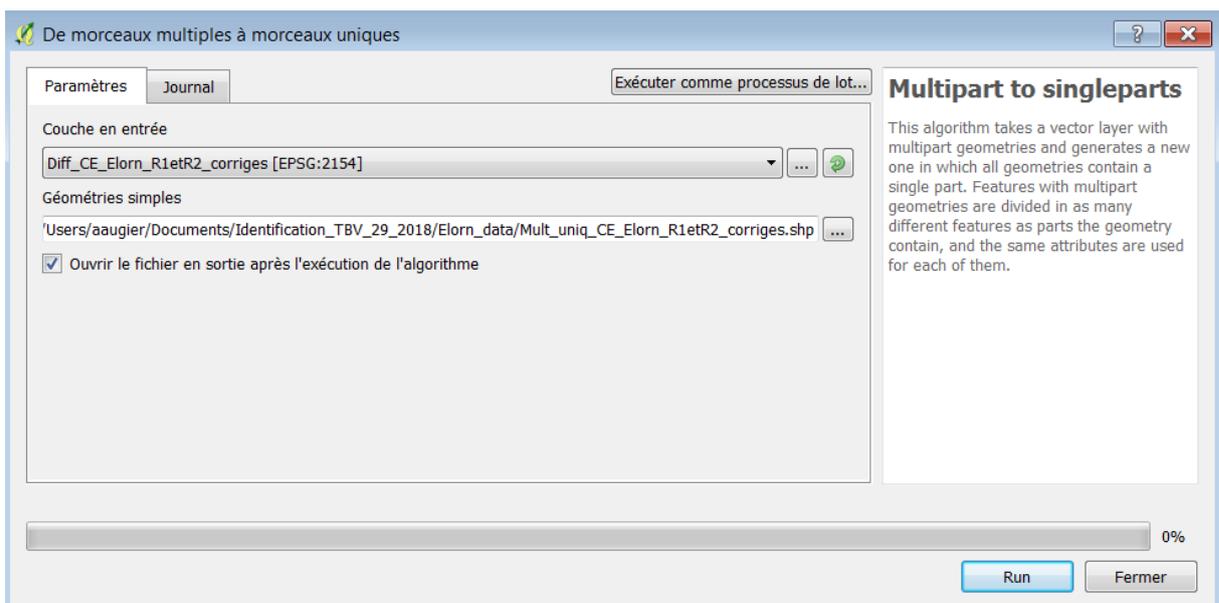
- Créer un tampon de 0,01 mètre autour du réseau de cours d'eau de rangs 1 et 2 obtenus à l'étape précédente. Aller dans l'onglet **Vecteur/Outils de géotraitement/Distance tampon fixe**. Cocher « Dissoudre le résultat ».



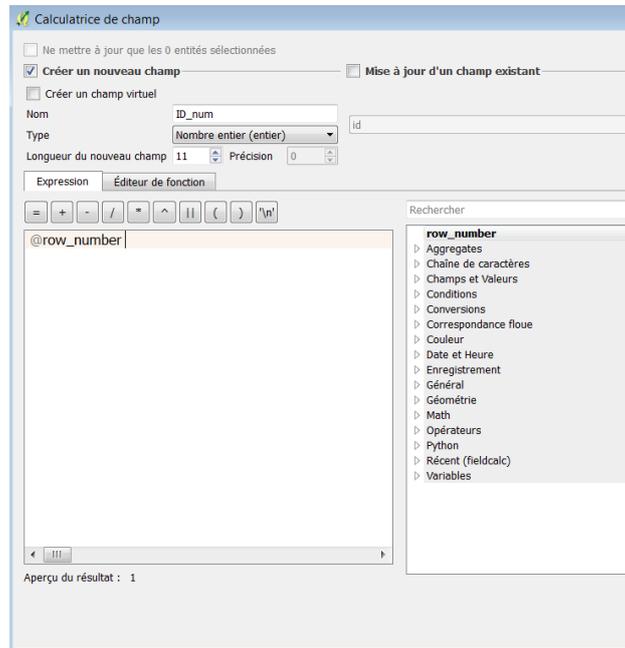
- Extraire les exutoires des cours d'eau de rangs 1 et 2 avec l'outil [Stream features extractor](#). Dans la couche en sortie, sélectionner les « Sink » uniquement.
- Créer un tampon de 0,50 mètre autour des exutoires de têtes de bassin versant (couche créée précédemment). Cocher également « Dissoudre le résultat ».
- Découper le tampon du réseau de cours d'eau de rangs 1 et 2 par celle du tampon des exutoires. Aller dans l'onglet [Vecteur/Outils de géotraitement/Différence](#) (couche en entrée : tampon des cours d'eau de rangs 1 et 2 ; couche de différenciation : tampon des exutoires).



- Diviser la géométrie obtenue suite à la différence en plusieurs morceaux uniques. Aller dans l'onglet [Vecteur/Outils de géométrie/De morceaux multiples à morceaux uniques](#)



- Ouvrir la table attributaire de la couche créée à l'étape précédente.
- Créer un nouveau champ appelé ID\_num et le remplir avec la fonction `Row_number`.

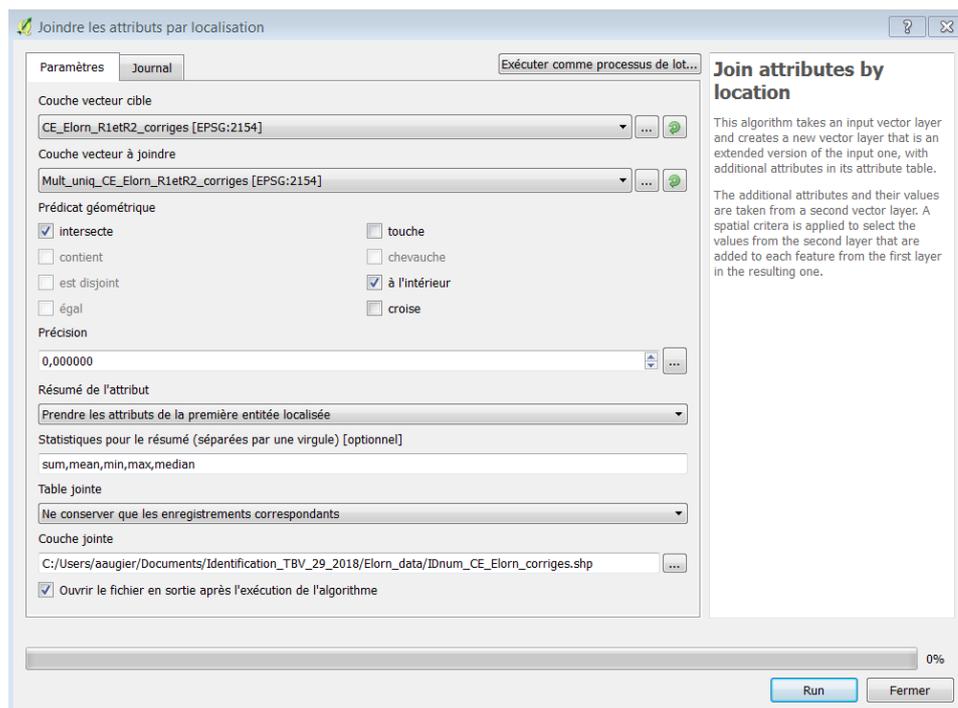


- Faire une jointure spatiale permettant de créer une couche avec des identifiants uniques pour chaque portion de réseau appartenant à la même tête de bassin versant. Aller dans l'onglet **Vecteur/Outils de gestion de données/Joindre les attributs par localisation**.

Couche vecteur cible : couche cours d'eau de rangs 1 et 2.

Couche vecteur à joindre : couche issue de « morceaux multiples à morceaux uniques ».

Cocher les cases « à l'intérieur » et « intersecte ».



- Récupérer le reste du réseau hydrographique (cours d'eau de rangs de Strahler supérieurs à 2).

Sélectionner les rangs de Strahler supérieurs à 2.

Ouvrir la table attributaire de la couche.

Créer un nouveau champ appelé comme précédemment ID\_num et le remplir avec la fonction  $100\,000 + \text{Row\_number}$  (l'addition de 100 000 permettra de faciliter la différenciation avec la numérotation nettement moins élevée des rangs 1 et 2).

Copier les entités sélectionnées.

Coller les entités sélectionnées dans la couche des cours d'eau 1 et 2 avec la jointure spatiale, pour compléter le reste du réseau hydrographique.

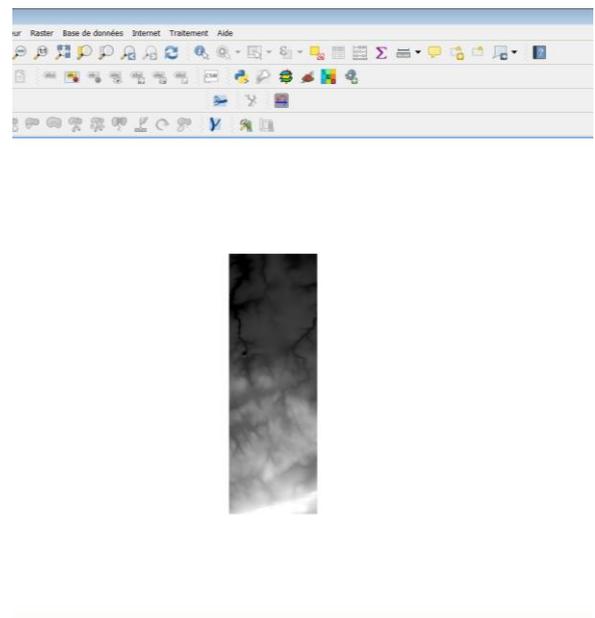
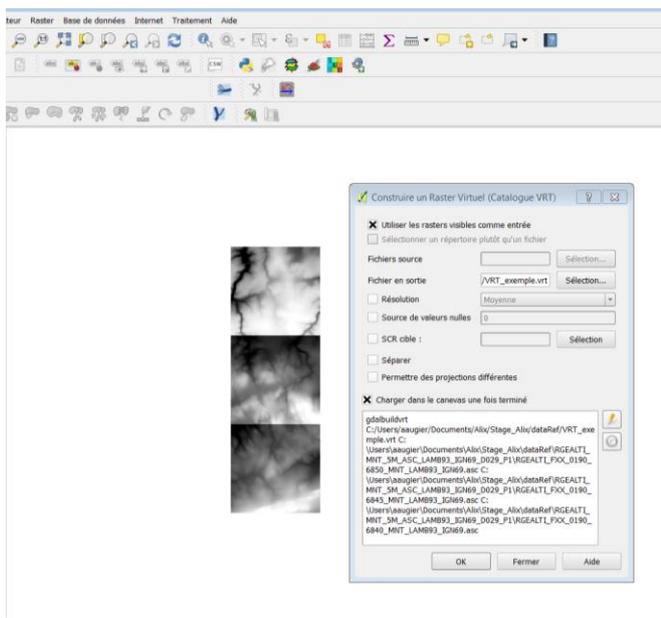
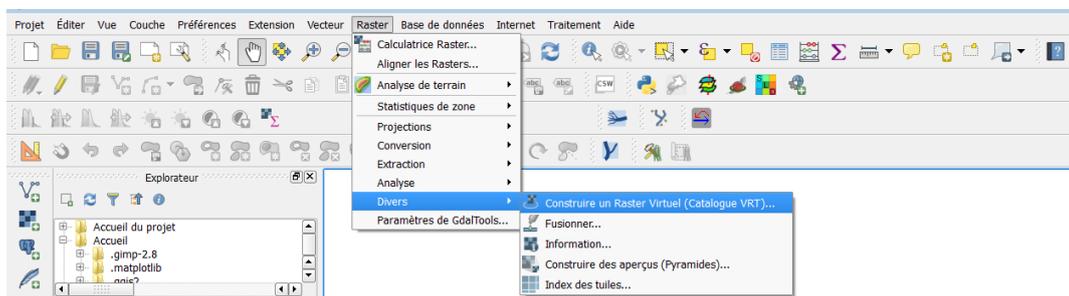
**Point d'attention :** sur le littoral, vérifier que l'exutoire des cours d'eau ne sort pas de l'étendue du MNT. Si c'est le cas, il est nécessaire d'enlever le morceau de tronçon qui dépasse afin que l'outil [r.stream.basin](#) utilisé par la suite (cf. § 2.9) puisse tracer la tête de bassin versant.

## 2. Identification des têtes de bassin versant

### 2.1 Construction d'un Modèle Numérique de Terrain Virtuel

Selon le nombre de dalles à traiter (résolution du MNT, taille de territoire), il est plus facile de réaliser les traitements suivants sur un Modèle Numérique de Terrain (MNT) virtuel (VRT). Il s'agit d'un fichier de type texte qui fait référence à un ensemble de dalles raster sélectionnées. Le fichier produit est traité comme une image. Ceci facilitera les différents traitements.

Pour construire un VRT, il faut aller dans l'onglet **Raster/Divers/Construire un Raster Virtuel** et compléter la fenêtre.



## 2.2 Lancement des outils GRASS à partir de QGIS (Marchandise et Astier, 2013)

Les outils utilisés sont à lancer grâce à l'extension GRASS GIS mobilisable sous QGIS. L'accès et la mise en œuvre de ces outils nécessitent de définir un projet GRASS.

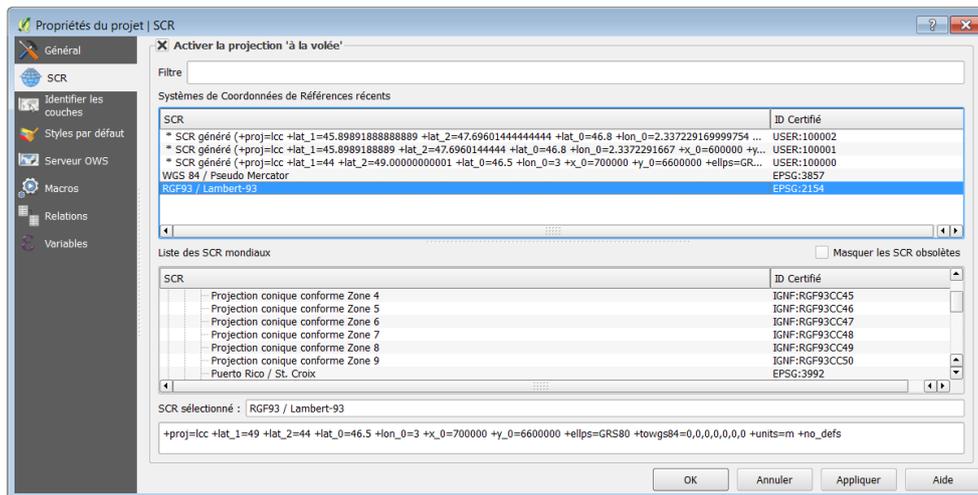
L'extension GRASS utilisable sous QGIS est accessible dans l'onglet [Extension](#).



Avant de commencer, il est préférable de charger dans QGIS l'ensemble des couches de données qui seront ensuite traitées dans l'environnement de GRASS.

## 2.3 Définition du projet sous GRASS GIS et de ses propriétés

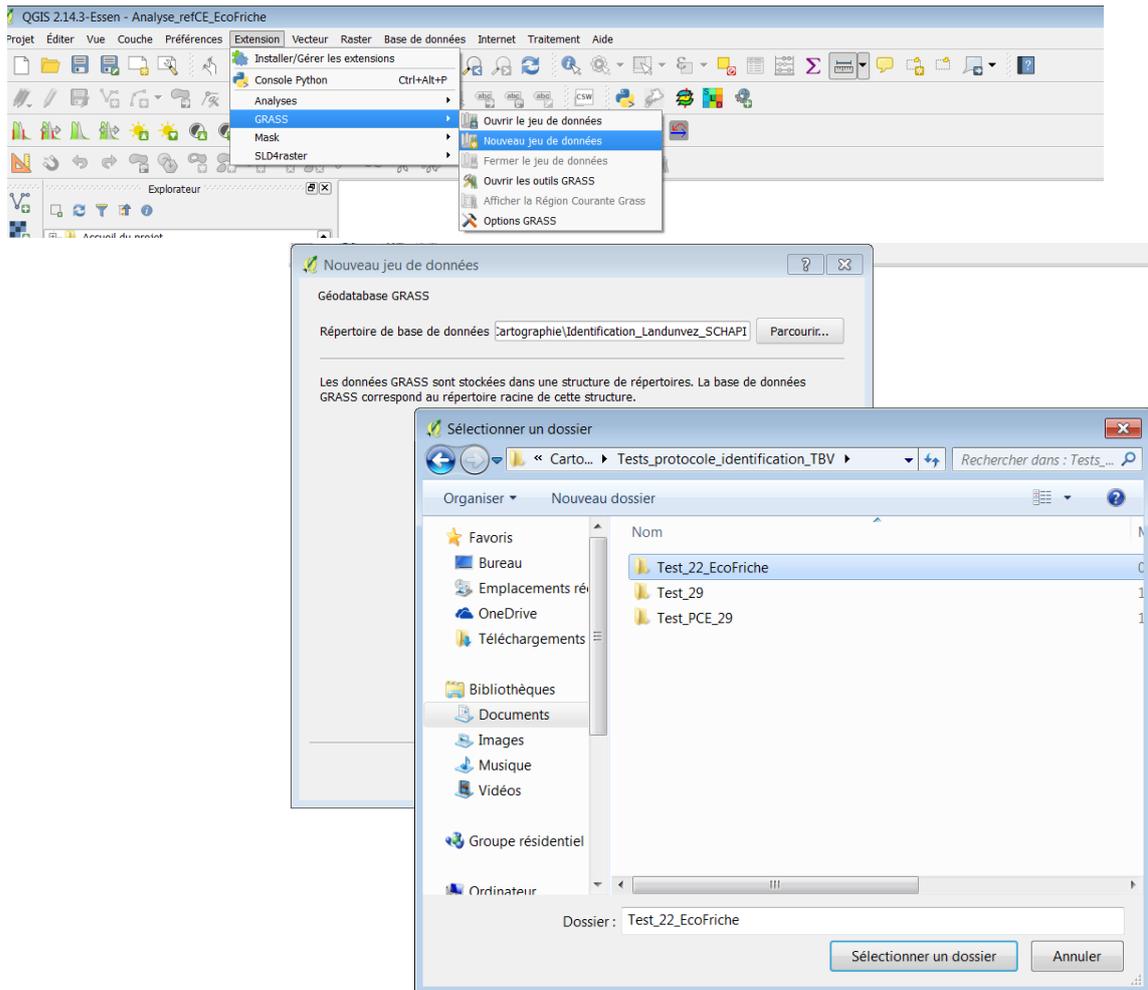
D'après la méthode de Marchandise et Astier (2013), il faut commencer par définir les propriétés du projet sous QGIS et cocher [Activer la projection 'à la volée'](#).



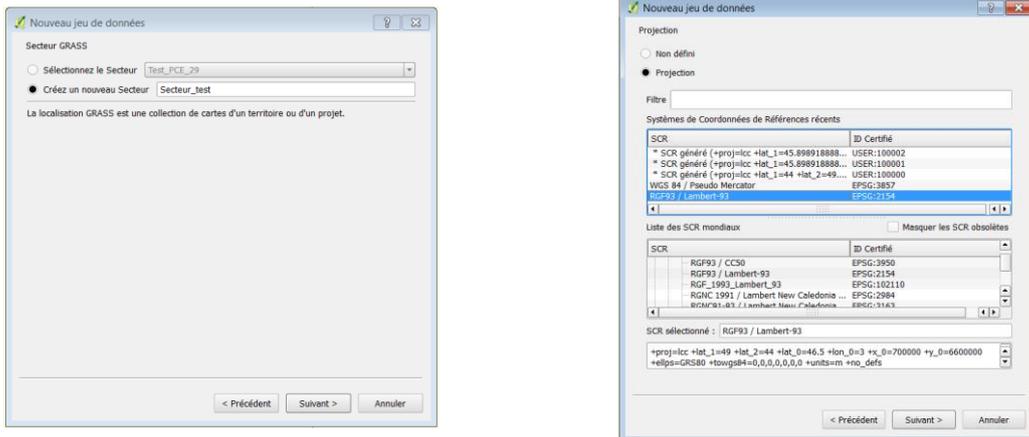
Ensuite, il faut définir un projet sous GRASS GIS. Cela consiste à préciser (Marchandise et Astier, 2013) :

- Le répertoire appelé « Secteur » où GRASS stockera les fichiers importés et/ou créés
- Le système de coordonnées du projet
- L'étendue géographique du projet (qui doit intégrer l'ensemble des fichiers qui seront ensuite importés sous GRASS)

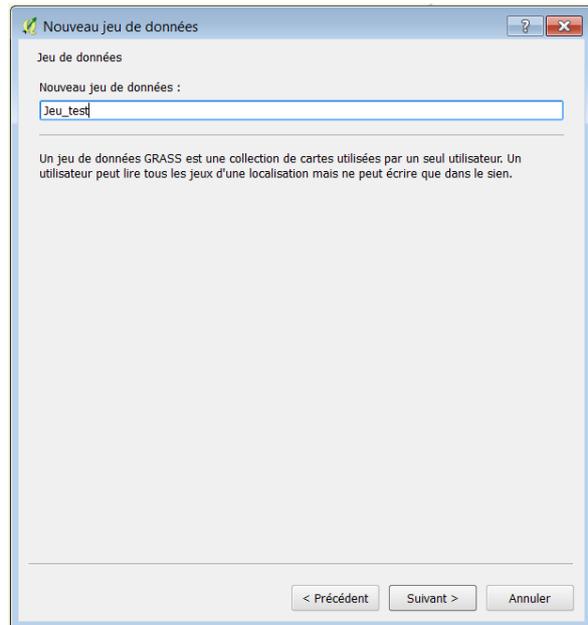
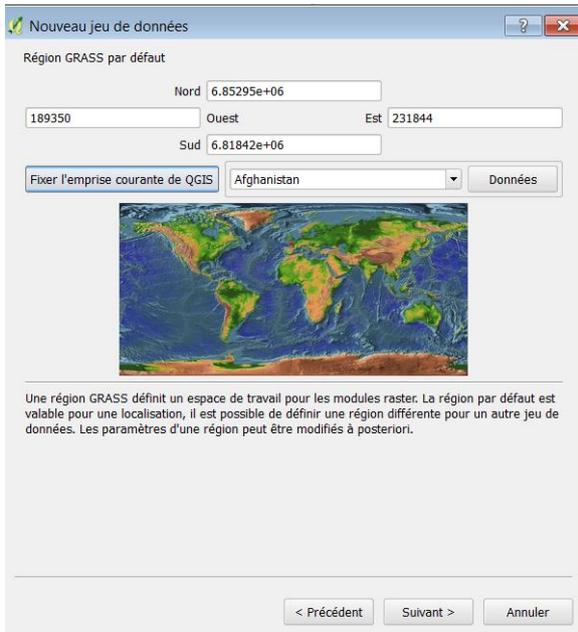
Il faut aller dans le menu [Extension/GRASS/Nouveau jeu de données](#) et sélectionner le dossier dans lequel sera classé ce nouveau jeu de données.



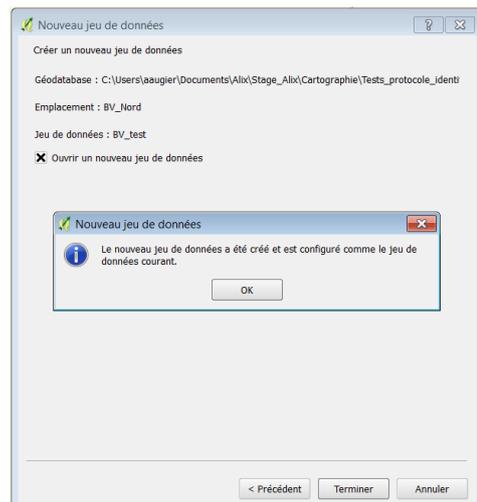
Puis, il faut cliquer sur **Next** et créer un nouveau secteur en le nommant et en définissant son système de projection. Marchandise et Astier (2013) précisent qu'il faut choisir le même système de projection que celui des couches qui seront importées dans l'environnement GRASS.



Pour la délimitation de l'emprise de la région de travail sous GRASS, par défaut, cliquer sur l'emprise courante de QGIS. A cette étape, il faut que le MNT soit ouvert et que la fenêtre de QGIS l'affiche en entier sinon, une partie du MNT ne sera pas intégrée dans la zone de calcul sous GRASS.

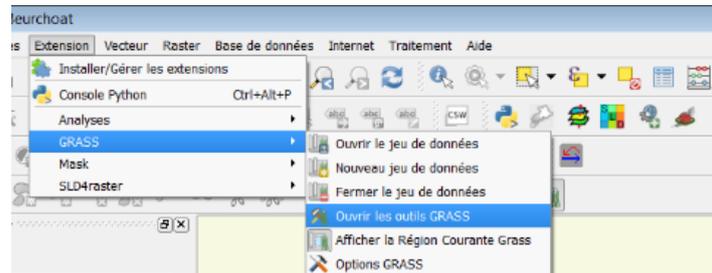


Cliquer sur **Terminer** puis **OK** et l'étape de définition du projet est finalisée.



## 2.4 Lancement des outils GRASS

Une fois le projet défini sous GRASS, il est possible de lancer les outils GRASS à partir de l'onglet [Extension/GRASS/Ouvrir les outils GRASS](#).

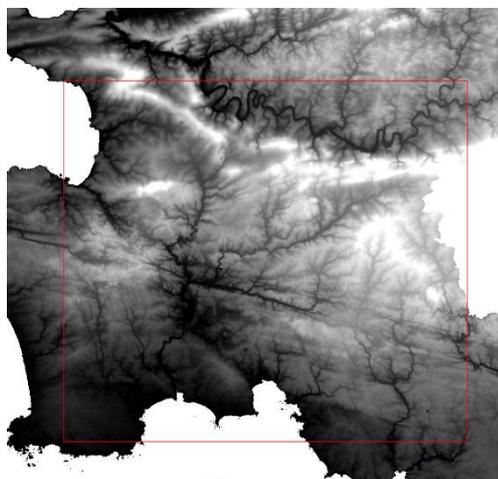
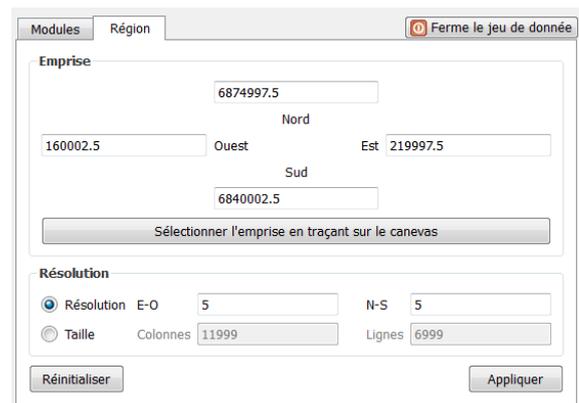


Ensuite, il s'agit d'affiner les contours de la région GRASS dans laquelle vous souhaitez travailler. Pour cela, aller dans l'onglet [Région](#) une fois les outils GRASS ouverts.

Selon les valeurs fixées à l'étape précédente, il est nécessaire de corriger les valeurs de l'emprise et de la résolution. Pour l'emprise, il s'agit de regarder et de retenir quels sont les deux derniers chiffres des coordonnées du coin d'une des dalles du MNT, en arrondissant à 1 chiffre après la virgule. Il faudra que les valeurs de l'emprise finissent par ces chiffres. Il faudra ensuite modifier les valeurs au besoin. Pour la résolution, si vous travaillez avec un MNT d'une résolution de 5 m par exemple, la résolution devra correspondre aux largeurs de cellules, soit 5 m. Si les valeurs proposées par GRASS par défaut sont conservées, la résolution des données obtenues sera moins bonne (Giraud, 2016).

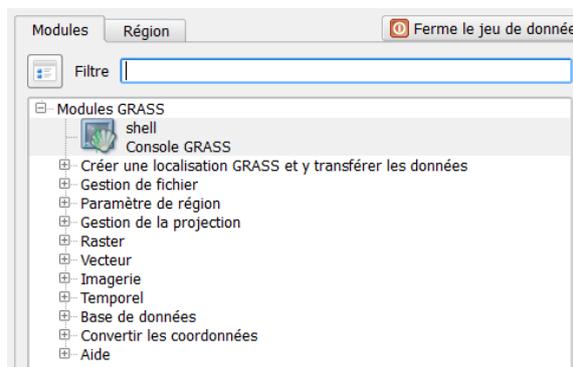
Pour visualiser l'emprise de la région de travail GRASS, cliquer sur l'icône :  et un rectangle rouge délimitant l'emprise apparaîtra.

Cette visualisation permet de voir que la région intègre l'ensemble des données qui seront traitées.

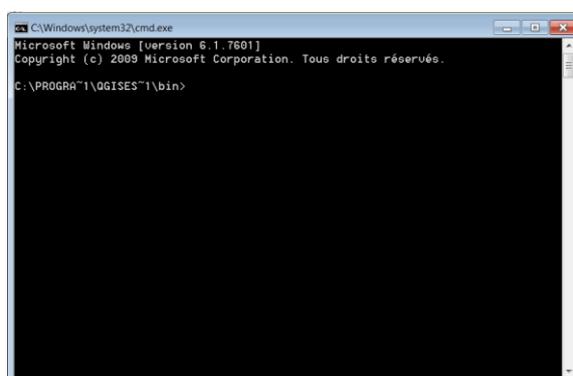


Dans la suite du protocole, les outils GRASS peuvent être lancés selon deux modes différents :

- Soit par l'intermédiaire de l'interface de paramétrages des modules GRASS



- Soit par l'intermédiaire de la fenêtre de commande de GRASS GIS appelée [Shell](#).



## 2.5 Importer le Modèle Numérique de Terrain (MNT) dans GRASS

Une fois les couches de travail chargées dans QGIS et le projet défini dans l'environnement de GRASS, importer le MNT (réel ou virtuel) dans ce dernier. Les deux techniques suivantes sont possibles (il en existe d'autres) :

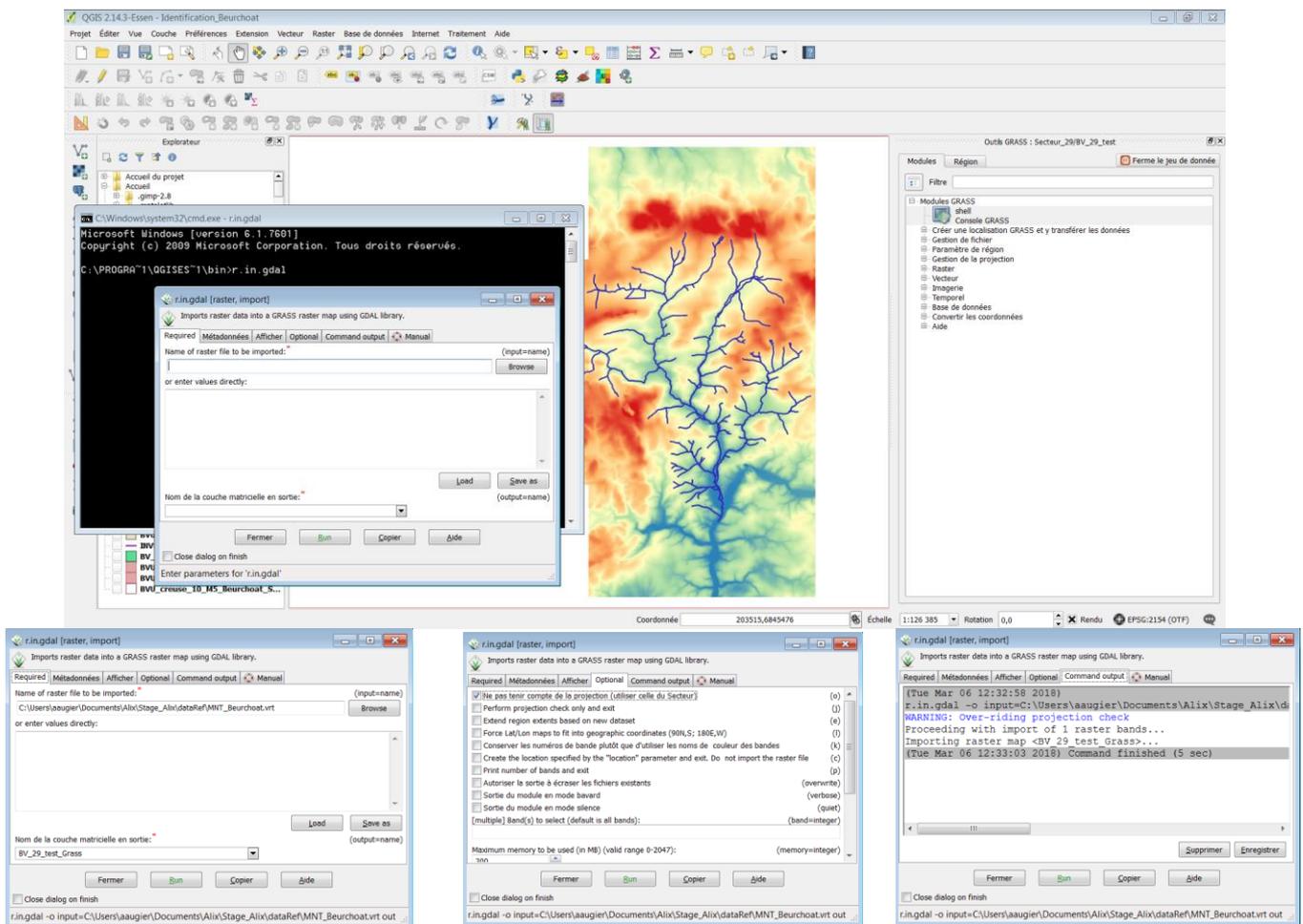
- Taper `r.in.gdal` et faire « entrée » dans à la fenêtre de commande « Shell » pour que l'interface s'ouvre.

Il s'agit de remplir les champs « Name of raster file to be imported » et « Nom de la couche matricielle en sortie » dans l'onglet « Required ».

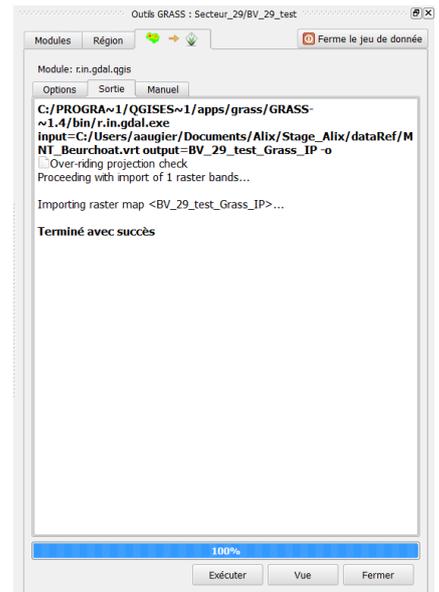
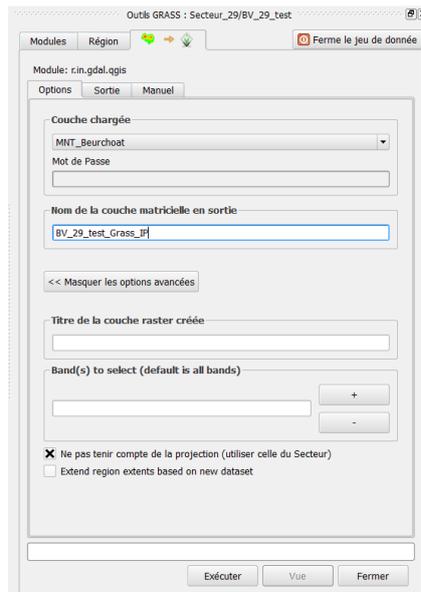
Aussi, il est important de cocher la case « Ne pas tenir compte de la projection (Utiliser celle du Secteur) » dans l'onglet « Optional ».

Pour finir cliquer sur `Run`.

*Il est possible visualiser les données issues des outils GRASS en double cliquant sur la couche placée dans le dossier Secteur de votre projet GRASS.*



- Taper `r.in.gdal.qgis` dans l'interface de paramétrages des modules GRASS et compléter les champs « couche chargée » et « Nom de la couche matricielle en sortie ». Aussi, cliquer sur « Afficher les options avancées » et cocher la case « Ne pas tenir compte de la projection (Utiliser celle du Secteur) ». Pour finir cliquer sur **Exécuter**.

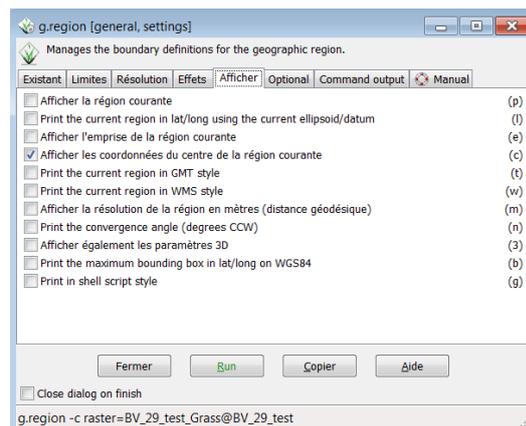
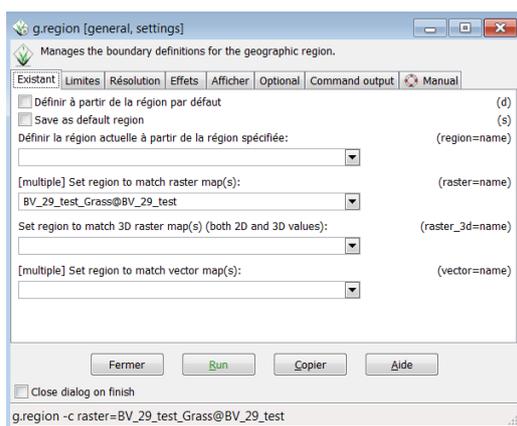


Il est possible de visualiser les données issues des outils GRASS en cliquant sur « Vue » une fois le module exécuté.

Enfin, d'après la méthode de Marchandise et Astier (2013), il est nécessaire d'utiliser la commande `g.region` dans la fenêtre de commande « Shell » afin que le projet prenne la taille de la maille du raster sur lequel nous travaillons.

Cette action est nécessaire seulement si nous n'avons pas précisé la résolution du projet dans l'onglet **Région** une fois les outils GRASS ouverts.

Remplir « Set region to match raster map » avec le MNT chargé dans GRASS dans l'onglet **Existant**. Cocher « Afficher les coordonnées du centre de la région courante » dans l'onglet **Afficher**. Cliquer sur **Run**.



En lançant la commande `g.region -p` à partir de la console « Shell », il est possible de vérifier que le projet a bien pris les dimensions et la taille de la maille du raster sur lequel nous travaillons (Marchandise et Astier, 2013).

```
C:\Windows\system32\cmd.exe
east:      209997.5
nsres:     5
ewres:     5
rows:      4000
cols:      4000
cells:     16000000

C:\PROGRA~1\QGIS~1\bin>.region

C:\PROGRA~1\QGIS~1\bin>.region -p
projection: 99 (unnamed)
zone:      0
datum:     towgs84=0,0,0,0,0,0,0
ellipsoid: grs80
north:     6845002.5
south:     6825002.5
west:      189997.5
east:      209997.5
nsres:     5
ewres:     5
rows:      4000
cols:      4000
cells:     16000000

C:\PROGRA~1\QGIS~1\bin>
```

## 2.6 Correction du Modèle Numérique de Terrain

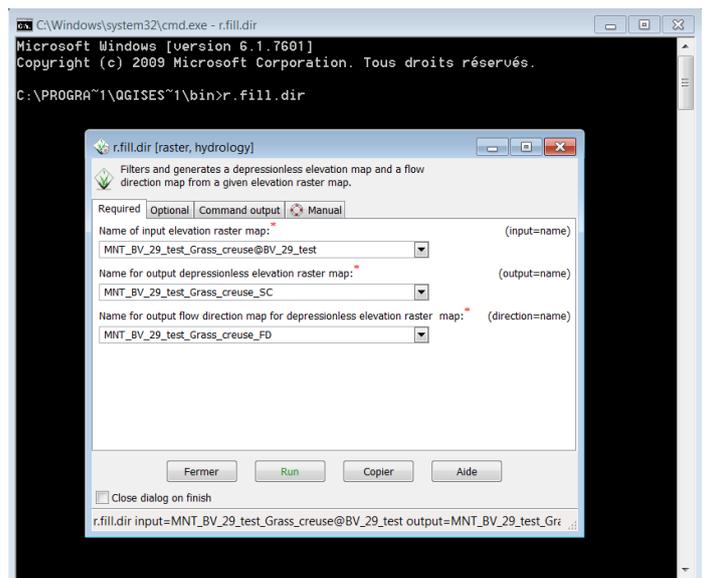
Cette étape permet d'avoir un MNT topologiquement propre (Marchandise et Astier, 2013). Il s'agit de lisser le MNT. Pour cela, il est nécessaire d'enlever les anomalies de drainage : ce sont des dépressions aussi appelées « cuvettes » qui peuvent perturber l'algorithme de tracé (Salpin, 2016a). La méthode consiste à remplir ces cuvettes grâce à l'outil `r.fill.dir` lancé à partir de la console « Shell ».

Remplir les champs de l'onglet **Required**.

Dans le premier, il faut ajouter le MNT, importé dans GRASS à l'étape précédente.

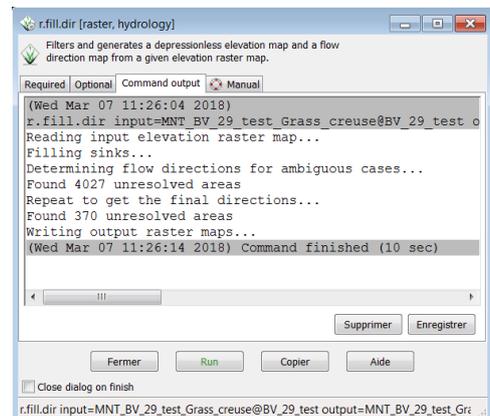
Dans le deuxième et le troisième, il faut donner les noms des fichiers de sortie pour le MNT corrigé de ses cuvettes et le raster des directions d'écoulements.

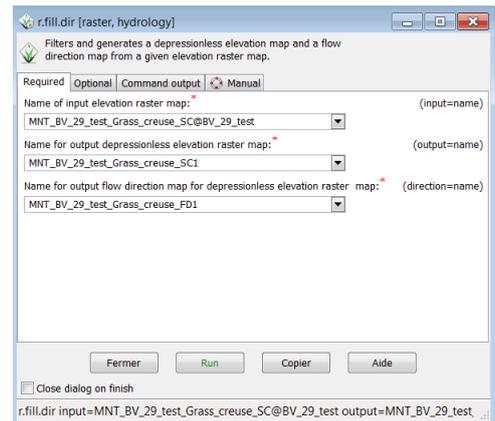
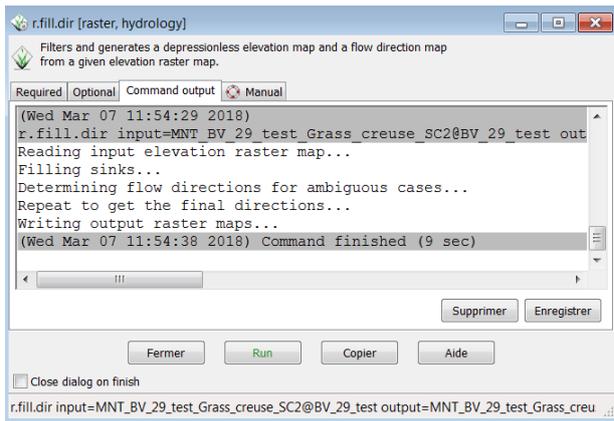
Pour finir cliquer sur **Run**.



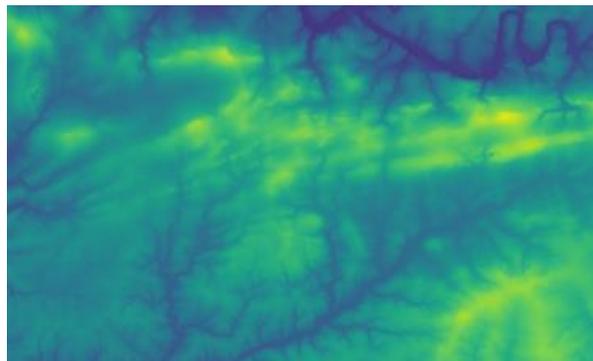
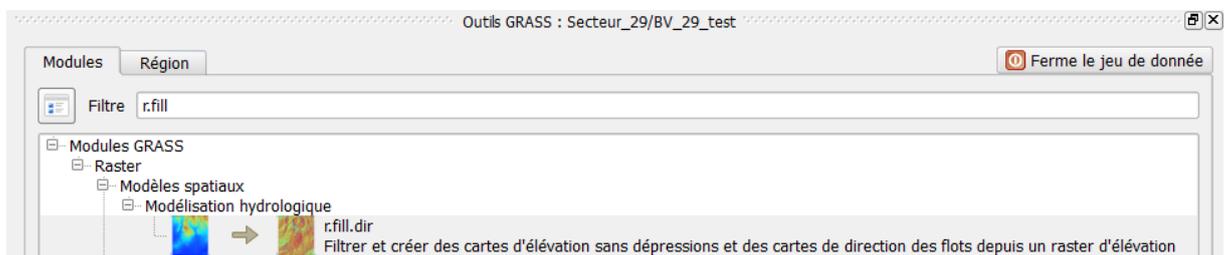
Dans l'onglet **Command output**, nous pouvons voir s'il reste des dépressions : sur la figure, « 370 unresolved areas ».

Dans ce cas, il faut relancer le calcul autant de fois qu'il restera des dépressions dénombrées dans la sortie de commande en mettant comme fichier d'entrée (input), le MNT « partiellement » corrigé issu du calcul précédent. A chaque itération il faut nommer différemment les fichiers pour bien se repérer et savoir quel est le fichier final où toutes les cuvettes ont été corrigées. Dans le cas présent, 4 itérations ont été nécessaires pour supprimer toutes les dépressions.





Il est également possible de réaliser cette étape grâce à l'interface de paramétrage des modules GRASS en utilisant la même logique (exemple de rendu ci-dessous).



## 2.7 Surcreusement du Modèle Numérique de Terrain (facultatif)

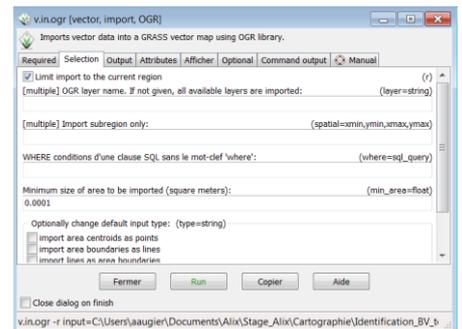
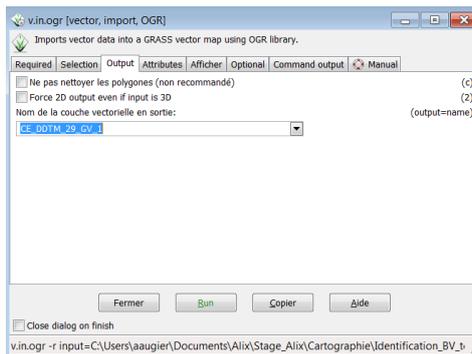
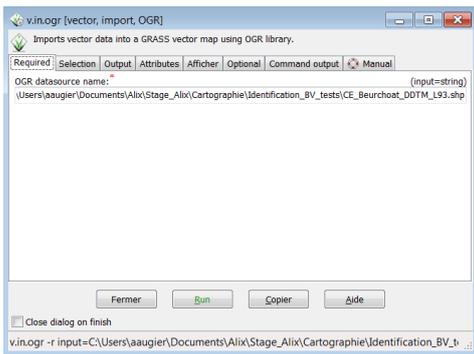
Afin d'avoir un rendu final qui se rapproche de la réalité du terrain (Salpin, 2016b), il est possible de forcer le MNT à suivre le réseau hydrographique issu de l'inventaire départemental. Cela permet de faire coïncider le réseau d'écoulement théorique issu de la modélisation à partir du MNT, avec le réseau hydrographique inventorié (Marchandise et Astier, 2013). La méthode consiste à surcreuser le MNT sur les pixels qui sont sur le réseau inventorié (Marchandise et Astier, 2013) grâce à l'outil [r.map.calc](#).

**Remarque :** cette étape du protocole est facultative, elle dépend du rendu souhaité (Salpin, 2016b).

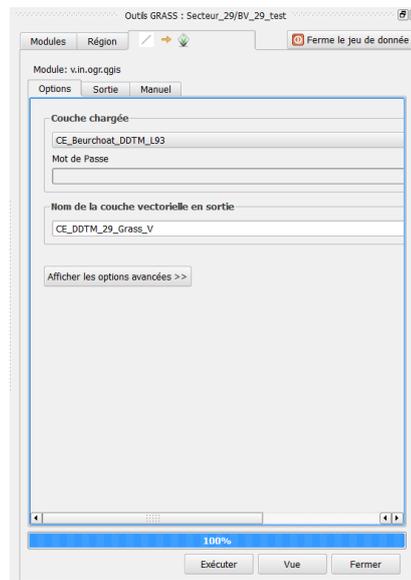
## 2.7.1 Import du réseau hydrographique inventorié dans GRASS

Pour commencer, il faut importer le réseau hydrographique inventorié dont les reconnections ont été corrigées, dans l'environnement GRASS. Les deux techniques suivantes sont possibles (il en existe d'autres) :

- Dans la fenêtre de commande « Shell », taper [v.in.ogr](#) et faire « entrée » pour que l'interface s'ouvre. Il s'agit de remplir les champs « OGR datasource name » de l'onglet **Required** et « Nom de la couche matricielle en sortie » de l'onglet **Output**. Si besoin, la case « Ne pas tenir compte de la projection » peut être cochée dans l'onglet **Sélection**. Pour finir cliquer sur **Run**.



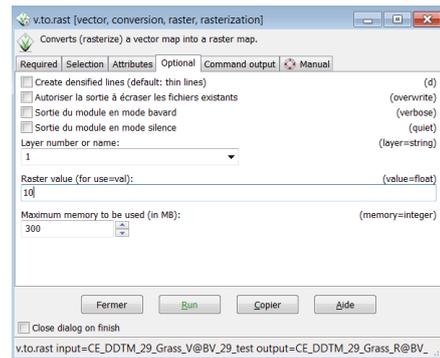
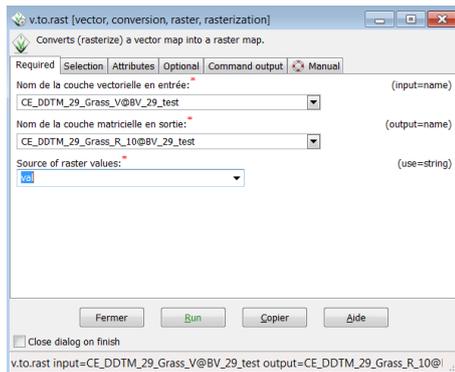
- Taper [v.in.ogr.qgis](#) dans l'interface de paramétrage des modules GRASS et compléter les champs « couche chargée » et « Nom de la couche matricielle en sortie ». Pour finir cliquer sur **Exécuter**.



## 2.7.2 Conversion en raster

Puis, convertir le vecteur en raster :

- A partir de la console « Shell » en paramétrant le module [v.to.rast](#).  
Il faut compléter les champs « Nom de la couche vectorielle en entrée », « Nom de la couche matricielle en sortie » et « Source of raster value » avec la catégorie « val » dans l'onglet [Required](#).  
Aussi, il faut compléter le champ « Raster value » avec une valeur de 10 (dans le cas de ce protocole), dans l'onglet [Optional](#).



- A partir de l'interface de paramétrage des modules GRASS avec [v.to.rast.constant](#).  
Il faut compléter les champs « Nom de la couche vectorielle en entrée », « Nom de la couche matricielle en sortie » et « Raster value » avec une valeur de 10 (dans le cas de ce protocole).



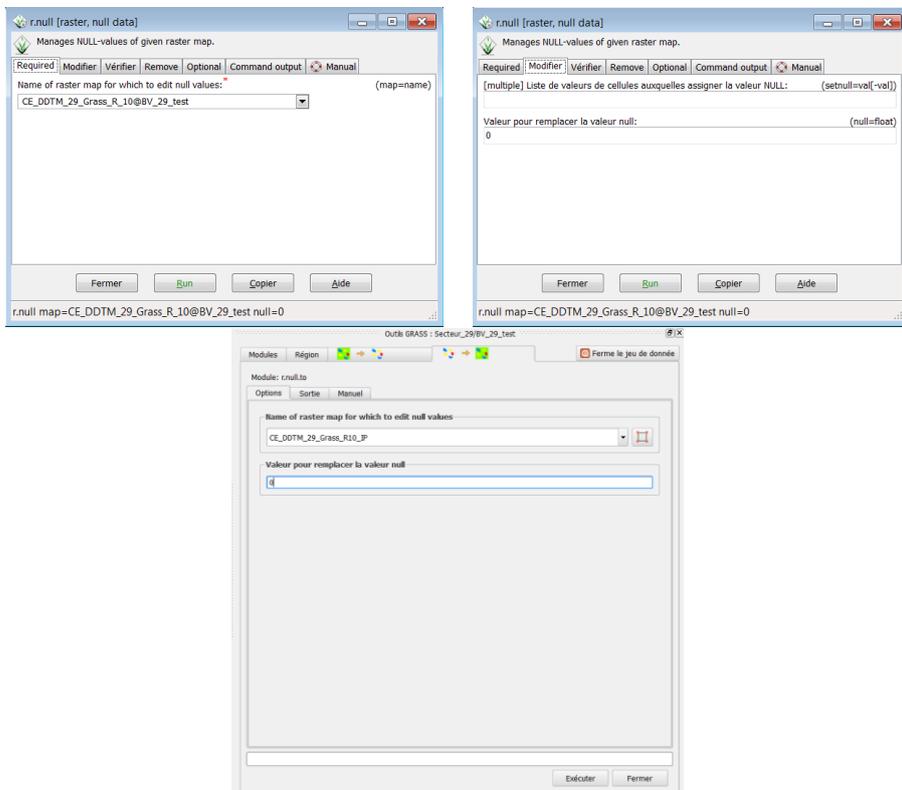
Utiliser ensuite le module [r.thin](#) sur le raster des cours d'eau pour affiner les cellules (pixels) non nulles.



## 2.7.3 Remplacement des « No data »

Ensuite, il faut remplacer les « No data » (pixels qui apparaissent en blanc sur le raster du réseau hydrographique inventorié) par des 0 en utilisant le module `r.null`.

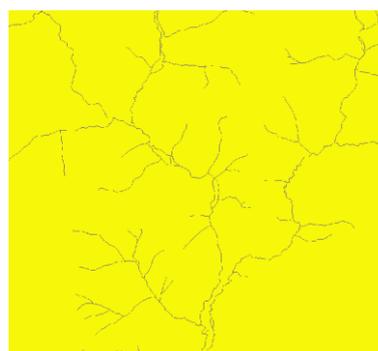
- A partir de la console « Shell » en paramétrant le module `r.null`. Dans l'onglet **Required**, il faut ajouter la couche raster du réseau hydrographique inventorié dans le champ « Name of raster map for which to edit null values ». Dans l'onglet **Modifier**, indiquer la valeur « 0 » dans le champ « Valeur pour remplacer la valeur null ».
- A partir de l'interface de paramétrage des modules avec `r.null.to`. Dans le champ « Name of raster map for which to edit null values », il faut ajouter la couche raster du réseau hydrographique inventorié et dans le champ « Valeur pour remplacer la valeur null », indiquer la valeur « 0 ».



Pour visualiser le fichier en sortie, il faut adapter le style dans les propriétés de la couche.



Avant



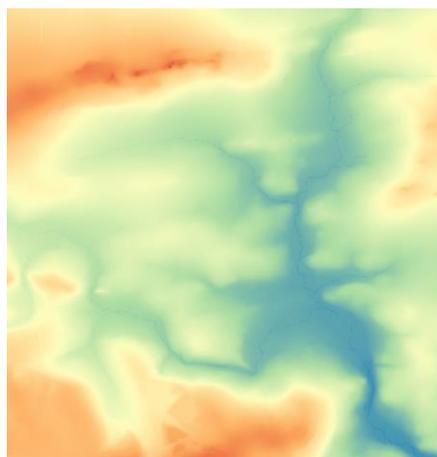
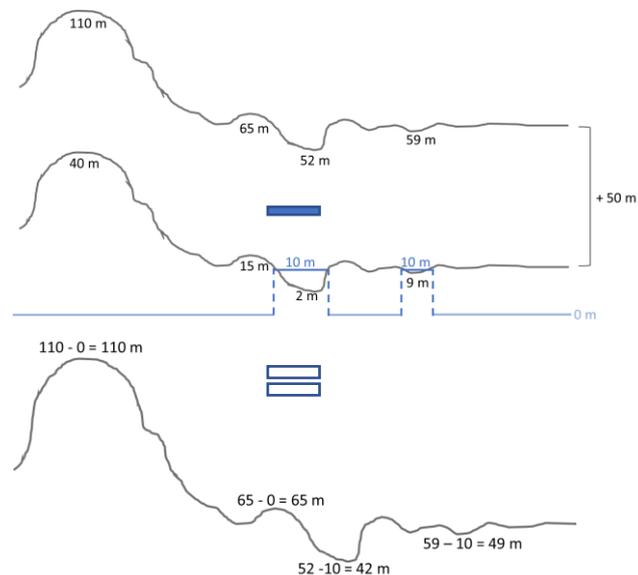
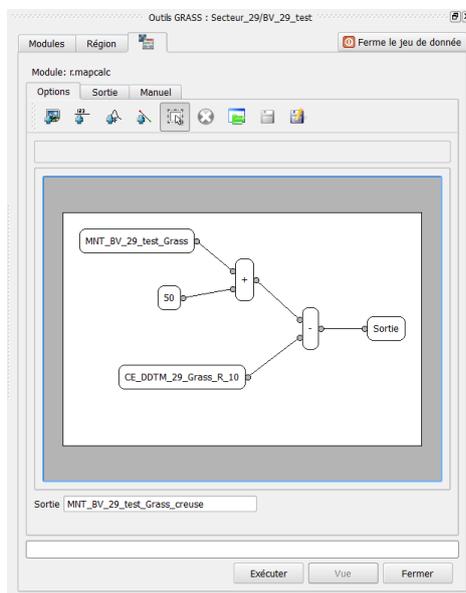
Après

## 2.7.4 Utilisation de la calculatrice raster : surcreusement

Ensuite, soustraire le raster précédent (raster du réseau hydrographique inventorié avec correction des reconnections, dont les No data ont été remplacés par des 0) au MNT avec l'outil [r.mapcalc](#) (calculatrice raster) lancé à partir de l'interface de paramétrage des modules GRASS.

Si l'altitude minimale du MNT est inférieure à celle donnée au raster cours d'eau, surélever le MNT initial de 50 mètres avant de lui soustraire la couche du réseau hydrographique. L'objectif est d'avoir des valeurs positives sur toute l'emprise (Giraud, 2016) et d'éviter des problèmes de traitement sur les secteurs de faible altitude (Salpin, 2016b). Cette valeur est à adapter en fonction du territoire étudié (Giraud, 2016).

Il s'agit de soustraire le raster du réseau hydrographique au MNT chargé initialement dans l'environnement GRASS et surélevé si besoin.

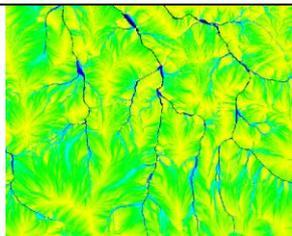
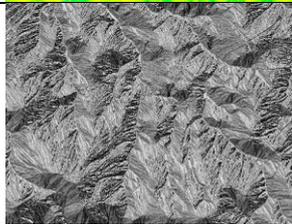
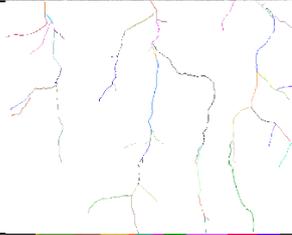


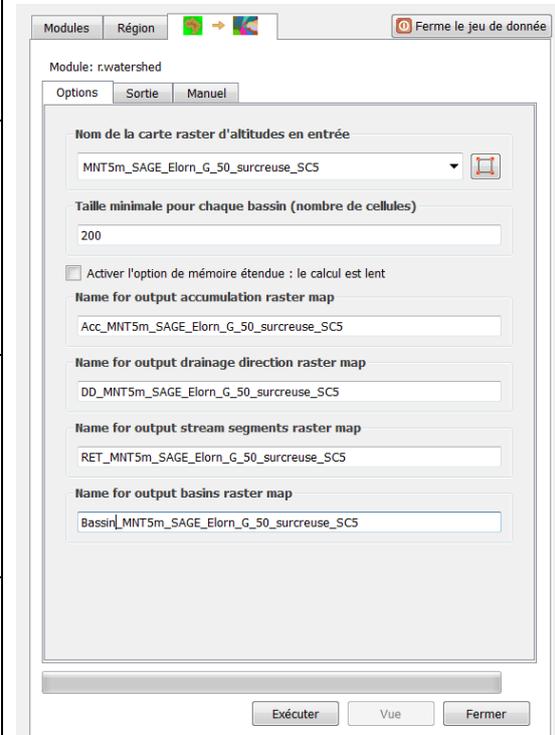
**Remarque :** le MNT surcreusé issu de cette étape ne doit pas être utilisé pour des applications telles que le calcul de pente (Marchandise et Astier, 2013).

## 2.8 Déterminer les directions d'écoulement

Déterminer le fichier des directions d'écoulement grâce à l'outil [r.watershed](#) : champ 4. Lors de cette étape, il est possible de produire d'autres couches de données.

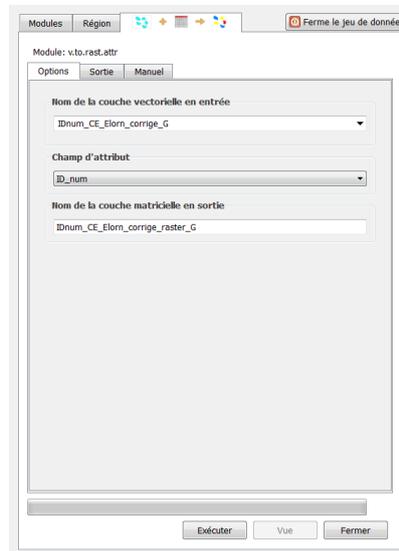
Lancer [r.watershed](#) à partir de l'interface de paramétrage des modules GRASS.

Champs	Indications	Exemples de rendu
1	Entrer le MNT issu de la dernière itération de l'étape de correction des dépressions.	
2	Entrer une taille minimale de bassin en nombre de cellules (pixels) pour lequel un écoulement peut potentiellement être présent. Par exemple 200 cellules de 5 x 5 (pour un MNT 5 m) correspond à un bassin de 0,5 ha. Le choix de cette valeur dépend de l'échelle de découpage souhaitée dans le cadre de l'étude.	
3	Entrer un nom pour le raster des accumulations d'écoulement.	
4	Entrer un nom pour le raster des directions d'écoulement.	
5	Entrer un nom pour le raster des segments d'écoulement modélisant le réseau d'écoulement théorique (RET).	
6	Entrer un nom pour le raster modélisant les bassins versants (unitaires dans le cas présent, cad., BVU).	



## 2.9 Identifier les bassins des cours d'eau de rangs de Strahler 1 et 2

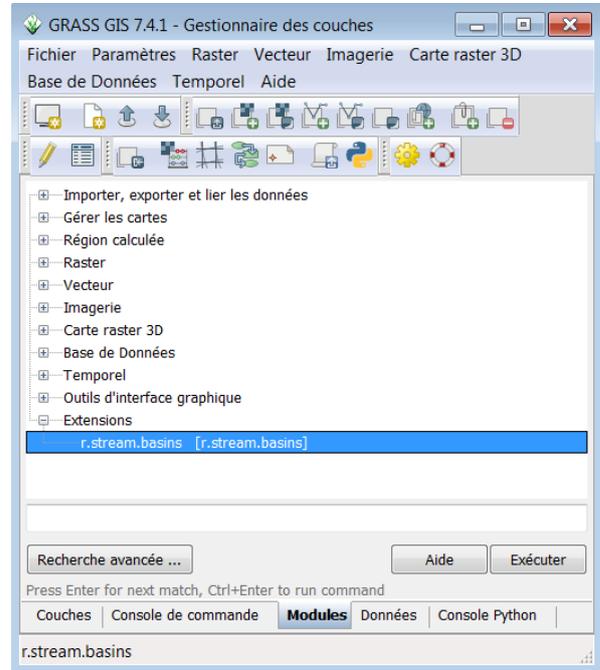
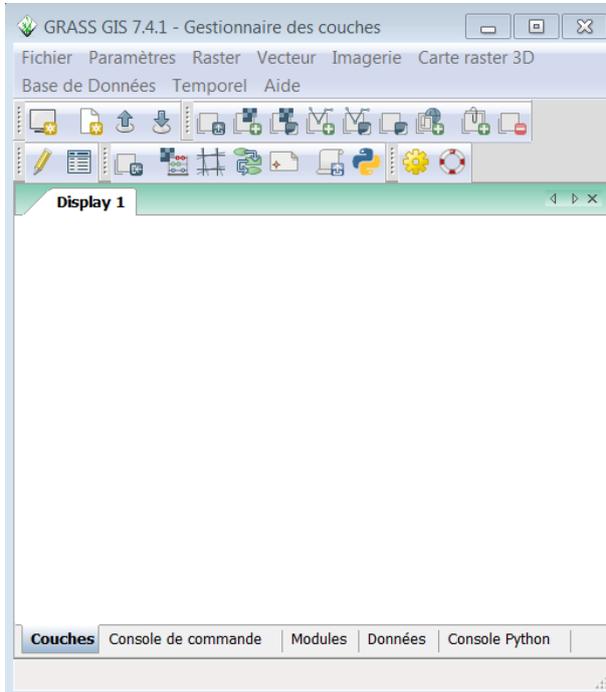
- Importer la couche « ID\_num » dans GRASS
- Convertir le vecteur GRASS en raster avec `v.to.rast.attr` et indiquer le champ d'attribut « ID\_num » sur lequel a été lancé « row\_number ».



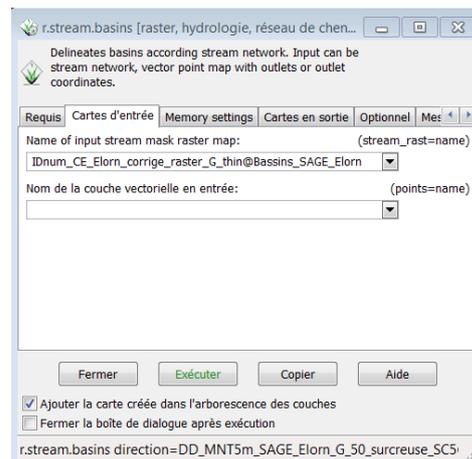
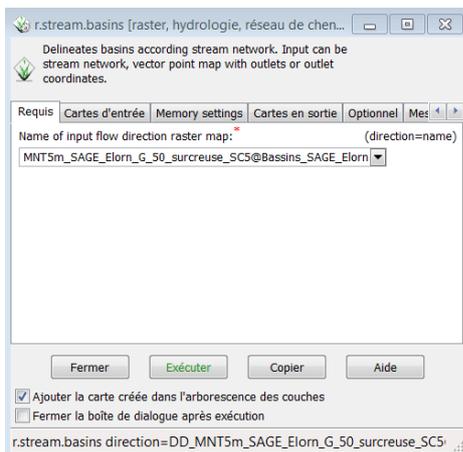
- Appliquer l'outil `r.thin` sur le réseau du cours d'eau rasterisé
- Ouvrir GRASS 7.4.1
- Sélectionner le projet GRASS dans lequel vous travaillez

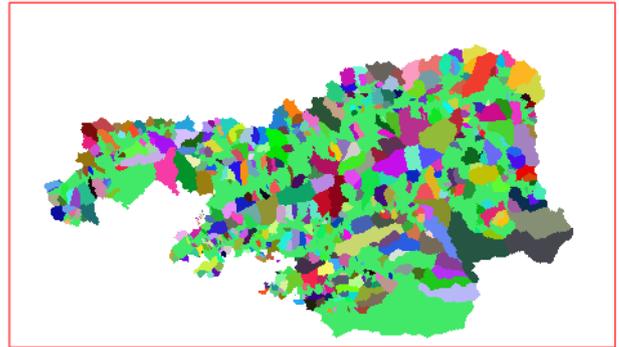
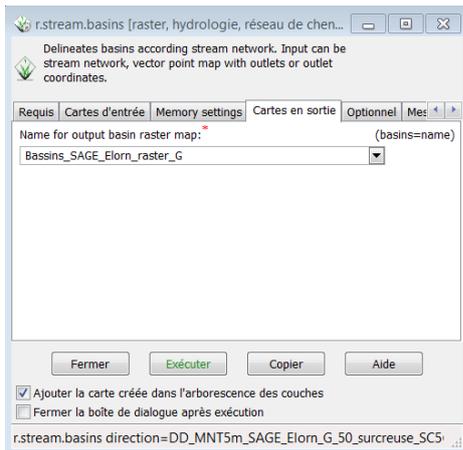


- Si l'outil `r.stream.basin` n'est pas installé, aller dans Paramètres/Listes des extensions/Installer une extension depuis les addons
- Ouvrir l'outil `r.stream.basin` dans l'onglet `Module/Extensions` (Coudard, 2018)



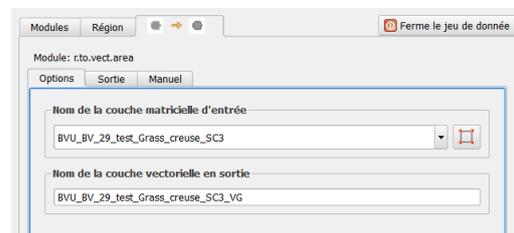
Compléter la fenêtre avec en entrée : le raster des directions d'écoulement obtenu avec `r.watershed` et celui des `ID_num`.  
Indiquer le nom du fichier en sortie.



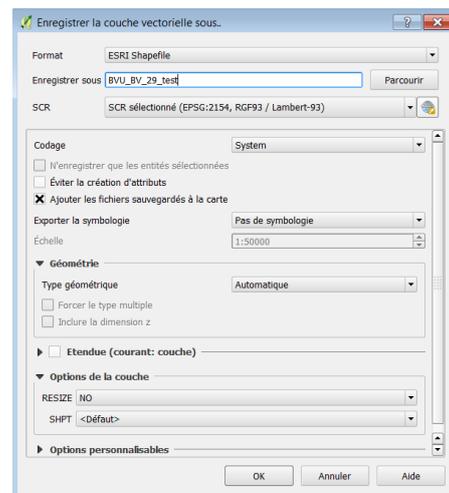


- Retourner dans le logiciel QGIS pour exporter la couche des bassins créée sous GRASS.

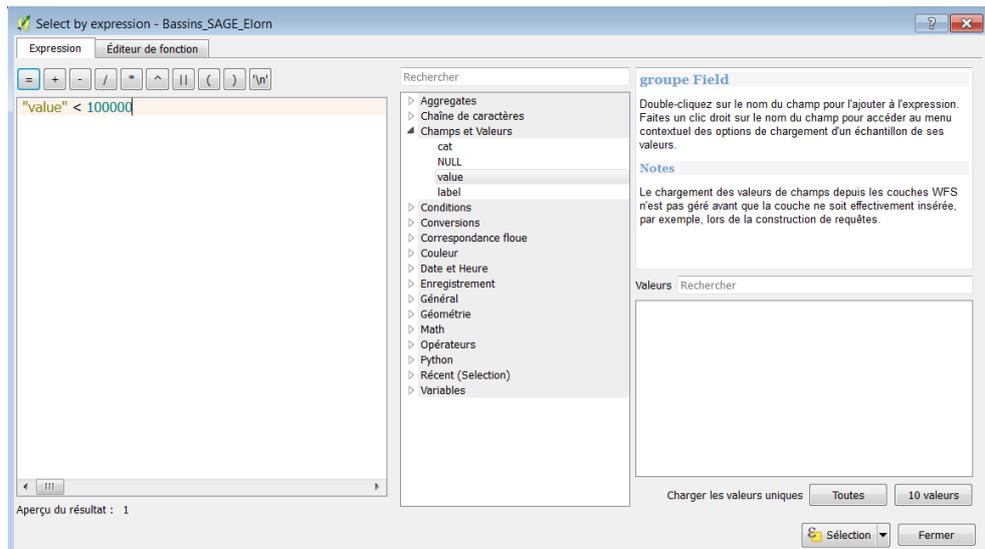
Utiliser le module [r.to.vect.area](#) en indiquant le raster modélisant les bassins versants issus de l'étape précédente en entrée.  
 A la fin cliquer sur [Vu](#) pour que le fichier nouvellement créé se charge dans la partie [Couches](#).



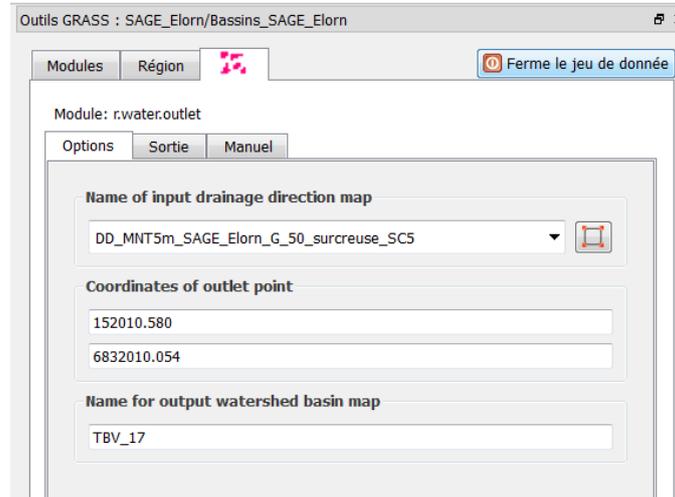
Cliquer droit sur la couche, enregistrer au format .shp et dans le référentiel souhaité.



- Sélectionner les « value » < 100 000 qui correspondent aux têtes de bassin versant.

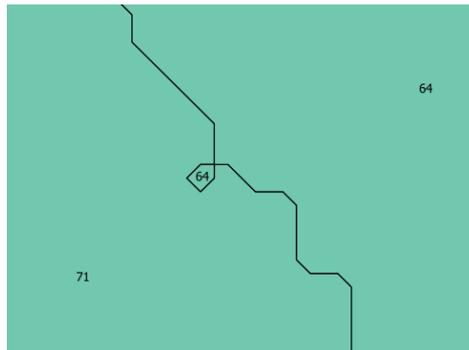


**Remarque :** il est également possible d'identifier les têtes de bassin versant une à une avec l'outil [r.water.outlet](#) de GRASS. Il s'agit de tracer la tête de bassin à partir du raster des directions d'écoulement et des coordonnées de l'exutoire qui doivent être prises sur le réseau hydrographique théorique. Ces deux données ont été obtenues précédemment avec `r.watershed`. Cette méthode a été substituée à `r.stream.basin` pour quelques géométries dont le tracé obtenu dans un premier temps apparaissait aberrant.

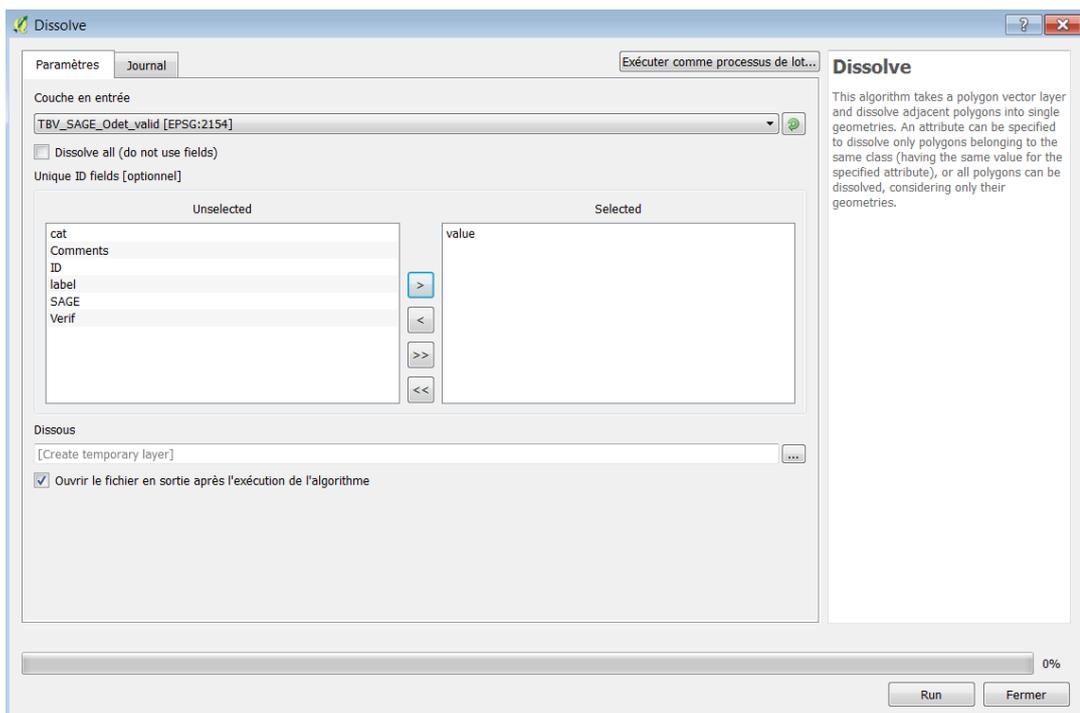


## 2.10 Vérification de la géométrie et de la topologie des données

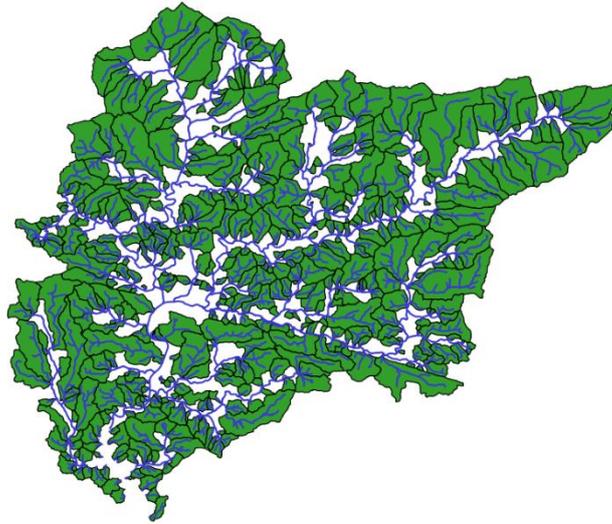
La conversion d'un raster en vecteur peut amener des erreurs de topologie (entités multiparties, lacunes, petites superpositions, ...) qu'il est possible de repérer avec le [vérificateur de topologie](#) ou en allant dans [Vecteur/Outil de géométrie/Vérifier la validité](#) (cf. § 1.1.4). Pour les corriger, il est possible d'utiliser la barre d'outils de « numérisation avancée » ou de « numérisation », l'extension « clipper » (cf. [Repérer et corriger les erreurs géométriques avec QGIS](#)) ou de mesurer les surfaces des entités afin de repérer des entités « multiparties » dont la surface d'un pixel vectorisé se prolongerait d'une tête de bassin versant à l'autre (exemple ci-dessous) :



Pour les têtes de bassin versant avec plusieurs entités ayant la même « valeur », il est possible de les fusionner selon le champ « valeur » en allant dans : [Vecteur/Outils de géotraitement/Dissolve](#). Ensuite, il s'agit d'utiliser le vérificateur de topologie pour vérifier ces entités multiparties.



Au final, le rendu suivant est obtenu :



### 2.11 Option : lisser les contours vectorisés des polygones de têtes de bassin versant

Au besoin, il est possible d'adoucir les contours des entités de la couche des têtes de bassin versant en utilisant l'outil GRASS [v.generalize](#) (onglet [Traitement/Boîte à outils](#)) et l'algorithme de généralisation « chaiken ». Il faudra aussi spécifier le type « area » dans le menu déroulant « Type v.out.ogr en sortie ».

### 3. Bibliographie

**Benda, L., Hassan, M.A., Church, M., May, C.L., 2005.** Geomorphology of steepland headwaters : the transition from hillslopes to channels. *Journal of the American Water Resources Association*, 41 : 835-851.

**Cirou, J., 2017.** Méthode de délimitation des Têtes de Bassin Versant sur le Bassin du Don, utilisation de Arc Hydro Tools et QGIS. Institution d'Aménagement de la Vilaine Établissement Public Territorial de Bassin, 15 p.

**Coudard, A., 2018.** Localisation, caractérisation et hiérarchisation des têtes de bassin versant sur le territoire de la Sèvre Nantaise. Rapport de stage Licence Professionnelle Universitaire Systèmes d'Informations Géographique, Université de La Rochelle, EPTB Sèvre nantaise, 187 p.

**Giraud, I., 2016.** Détermination des bassins versants topographique en utilisant QGIS-GRASS version 2.2 à partir des fichiers MNT SIG-LR : Exemple sur un secteur côtier du département de l'Hérault, DDTM 34, 34 p.

**Le Bihan, M., Pêcheux, N., Toreau, V., Mével, A., Therin, E., Corre, L., Le Roy, S., Magueur, A., Augier, A., 2017a.** Retours d'expériences techniques Chapitre 11 tête de bassin versant. Rapport, Agence Française pour la Biodiversité, 11 p.

**Le Bihan, 2017b.** "Comment étudier les têtes de bassin versant ? " Méthodes de cartographie, caractérisation et hiérarchisation des têtes de bassin versant sur un territoire. Formation sur les têtes de bassin versant de la Direction interrégionale Bretagne Pays de la Loire de l'Agence Française pour la Biodiversité, 7 décembre 2017.

**Marchandise, A., Astier, C., 2013.** Analyse de bassins avec GRASS-QGIS, correction du Modèle Numérique de Terrain et calcul des bassins versants topographiques. Rapport, Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 24 p.

**Salpin, B., 2016a.** Élaboration d'une démarche concertée d'inventaire des têtes de bassin versant du périmètre du SAGE estuaire de la Loire, Mémoire master Gestion des Habitats et des Bassins Versants, Université de Rennes, Syndicat Loire Aval, 56 p.

**Salpin, B., 2016b.** Méthode cartographique d'inventaire des têtes de bassin. Rapport, Syndicat Loire aval, 9 p.

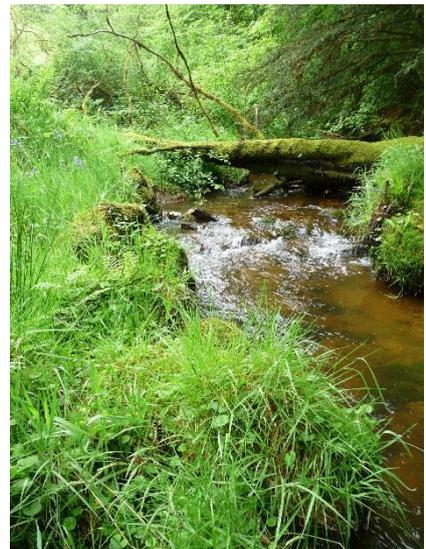
Site internet :

**Grass tutorial :** [https://grass.osgeo.org/gdp/grass5tutor/HTML\\_fr/c534.html](https://grass.osgeo.org/gdp/grass5tutor/HTML_fr/c534.html)

**Contacts Forum des Marais Atlantiques**

Antenne de Brest : Alix Augier, [aaugier@forum-marais-atl.com](mailto:aaugier@forum-marais-atl.com), 02 56 31 13 67

Siège à Rochefort : Jérôme Fernandez, [jfernandez@forum-marais-atl.com](mailto:jfernandez@forum-marais-atl.com), 05 46 87 85 32



© Jan, Onema