HydroSuiteBM Pro

Hydrological Analysis Platform for QGIS

Édition Pro

Manuel utilisateur

Version 1.9

1. Présentation

HydroSuiteBM est un plugin QGIS de délimitation automatique de bassins versants et de calcul de leurs paramètres caractéristiques, à partir d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) et des algorithmes hydrologiques de GRASS GIS (r.watershed, r.stream.extract, r.water.outlet, et optionnellement r.stream.order).

Le plugin propose deux modes de délimitation : un mode manuel, où l'utilisateur fournit un ou plusieurs points exutoires, et un mode automatique, qui découpe l'intégralité du MNT en sous-bassins versants, équivalent au comportement natif de la sortie *basin* de r.watershed.

2. Prérequis

- QGIS ≥ 3.16, jusqu'à QGIS 4.x inclus (Qt6) — voir la section 14 pour le détail de la compatibilité.
- Le fournisseur de traitements GRASS activé (*Extensions* > *Gérer et installer les extensions* > *Traitements*, ou *Traitement* > *Options* > *Fournisseurs*).
- GRASS 7 ou GRASS 8 installé (fourni avec la plupart des distributions QGIS standalone ; sous OSGeo4W, vérifier que le paquet GRASS est coché à l'installation).
- Optionnel, pour l'ordre de Strahler et les rapports de Horton : extension GRASS r.stream.order (installation : `g.extension extension=r.stream.order` dans une console GRASS). Sans elle — ou si vous désactivez volontairement son calcul (voir section 5, étape 6) — le plugin bascule automatiquement sur r.to.vect (module du cœur de GRASS), qui fournit le réseau et la densité de drainage mais pas l'ordre de Strahler.

3. Installation

1. Téléchargez le fichier .zip de HydroSuiteBM Pro.
2. Dans QGIS : *Extensions* > *Gérer et installer les extensions* > *Installer depuis un ZIP*, sélectionnez le fichier téléchargé, cliquez sur *Installer le plugin*.
3. Activez le plugin dans la liste si nécessaire.
4. Le plugin apparaît dans le menu HydroSuiteBM Pro et dans la barre d'outils.

4. Chaîne de traitement

Depuis la version 1.6, le comblement des dépressions du MNT (r.fill.dir) a été retiré du flux de traitement : ce module GRASS utilise un algorithme récursif (C) pouvant provoquer un plantage (segmentation fault, sans message d'erreur exploitable) sur les MNT haute résolution ou de grande taille. r.watershed, utilisé à l'étape suivante, n'a pas besoin d'un MNT pré-comblé : il gère les dépressions en interne via un algorithme de recherche à moindre coût (A*). Le MNT brut lui est donc transmis directement.

1. *(Optionnel)* Recadrage du MNT sur l'emprise de calcul choisie (voir section 5, étape 4) : si une emprise plus petite que le MNT complet est sélectionnée, un raster temporaire recadré est utilisé pour toute la suite du traitement — le fichier MNT original n'est jamais modifié.
2. Direction et accumulation de flux (r.watershed, MFD par défaut, mode SFD disponible pour plus de rapidité) : détermine, pour chaque cellule, la direction d'écoulement et le nombre de cellules amont contributrices.
3. Extraction du réseau hydrographique (r.stream.extract) : les cellules dépassant un seuil d'accumulation (converti automatiquement depuis une surface en ha/km²) forment le réseau.
4. Vectorisation du réseau, avec ordre de Strahler (r.stream.order) si activé, ou vectorisation directe et plus rapide (r.to.vect) sinon — voir section 5, étape 6.
5. Délimitation des bassins : mode manuel (calage de l'exutoire puis r.water.outlet) ou mode automatique (sortie *basin* de r.watershed).
6. Calcul des paramètres géométriques, altimétriques et hydrographiques.
7. Calcul du talweg principal : plus long chemin hydraulique réel le long du réseau (graphe arborescent enraciné à l'exutoire, parcours en largeur).

8. Calcul des temps de concentration.

5. Guide d'utilisation

1. Sélectionnez le MNT (raster) à analyser.
2. *Optionnel* : sélectionnez un raster Curve Number (CN) si vous en disposez déjà un, ou construisez-en un avec l'Assistant CN intégré (bouton à côté du sélecteur — voir section 5bis) à partir de vos propres couches locales d'occupation du sol et de groupe hydrologique de sol. Ceci active le calcul du temps de concentration par la méthode SCS.
3. Choisissez le mode : manuel (couche de points exutoires, avec un champ identifiant optionnel) ou automatique (aucun point requis).
4. **Nouveau (1.6)** — *Optionnel* : réglez l'emprise de calcul (par défaut : le MNT entier). Choisissez l'emprise de la vue courante, dessinez une zone directement sur la carte, ou saisissez des coordonnées manuelles. Restreindre l'emprise réduit le nombre de cellules traitées et accélère nettement le calcul sur un grand MNT haute résolution — utile pour tester vos réglages avant un calcul complet.
5. Réglez la surface minimale des sous-bassins (ha ou km²) et, si besoin, décochez « Directions de flux multiples (MFD) » pour forcer le mode SFD, plus rapide.
6. **Nouveau (1.6)** — Décochez « Calculer l'ordre de Strahler / Horton » si vous n'avez pas besoin des rapports de Horton (Rb, Rl) ni de l'ordre de Strahler maximal : le réseau est alors vectorisé directement via r.to.vect, ce qui est nettement plus rapide sur un réseau dense (seuil bas / MNT haute résolution). La densité de drainage et la longueur du réseau restent calculées dans tous les cas.
7. En mode manuel, choisissez la méthode de calage des exutoires (accumulation maximale recommandée, ou réseau extrait).
8. *Optionnel* : cochez l'export Shapefile et choisissez un dossier de sortie.
9. Cliquez sur « Lancer le calcul ». **Nouveau (1.6)** — le plugin bascule automatiquement sur l'onglet « Journal » : suivez-y la progression détaillée, étape par étape.
10. Consultez les résultats dans l'onglet « Résultats ».

5bis. Assistant CN — pourquoi construire son propre raster CN

De nombreux outils calculent le Curve Number automatiquement à partir de jeux de données mondiaux (occupation du sol satellite × base de sols mondiale). C'est pratique, mais la fiabilité de ces jeux de données varie fortement selon les régions : les zones les mieux cartographiées sont généralement fiables, mais les zones moins densément documentées — dont une grande partie de l'Afrique subsaharienne — peuvent présenter des lacunes ou des combinaisons occupation du sol / sol non couvertes par la table de correspondance de l'outil.

> **Exemple observé (2026)** : sur une zone au Sénégal, l'outil de calcul de Curve Number global d'un plugin QGIS concurrent (ArcGeek Calculator, module Global Curve Number) a échoué avec l'erreur `list indices must be integers or slices, not NoneType` lors du croisement des données ESA WorldCover et ORNL HYSOG — signe d'une combinaison occupation du sol / groupe de sol présente localement mais absente de la table de correspondance interne de l'outil.

HydroSuiteBM Pro prend le parti inverse : l'Assistant CN (bouton à côté du sélecteur de raster CN) construit le raster à partir de **vos couches locales** :

1. Sélectionnez votre raster d'occupation du sol et votre raster de groupe hydrologique de sol (A/B/C/D).
2. Cliquez sur « Détecter les classes présentes » : le plugin liste toutes les valeurs de pixel distinctes trouvées dans chaque raster.
3. Associez chaque valeur à une catégorie standard du NRCS (occupation du sol) ou à un groupe hydrologique A/B/C/D (sol), via les menus déroulants.

4 Cliquez sur « Générer le raster CN » : le plugin applique la table de correspondance NRCS (TR-55) et écrit un raster CN aligné sur votre couche d'occupation du sol.

Toute combinaison non associée à une catégorie est explicitement comptabilisée et laissée en nodata (avec la liste des codes bruts concernés affichée à l'écran), plutôt que de provoquer un plantage ou d'être remplacée silencieusement par une valeur arbitraire.

6. Paramètres calculés

Catégorie	Paramètres
Géométrie	Surface, périmètre, Kc (Gravelius), rectangle équivalent, Rc (Miller), Re (Schumm)
Altimétrie	Altitudes min/max/moyenne/médiane, dénivelée, Hi (intégrale hypsométrique), pente moyenne, Ig (pente globale), Ds (dénivelée spécifique)
Réseau	Longueur totale, nombre de tronçons, densité de drainage, fréquence, ordre de Strahler max, Rb et Rl (Horton) — si activé (voir section 5, étape 6)
Temps de concentration	Kirpich, Giandotti, Passini, Ventura, SCS (si CN fourni), formule recommandée selon la surface
SCS-CN	Curve Number moyen pondéré, rétention potentielle S

7. Formules utilisées

7.1 Paramètres géométriques

```
Indice de compacité de Gravelius : Kc = 0.28 × P / √A (P en km, A en km²)
```

```
Rectangle équivalent (L, l) : L × l = A et 2(L + l) = P
```

```
Indice de circularité de Miller : Rc = 4π × A / P²
```

```
Indice d'allongement de Schumm : Re = 1.128 × √A / Lb (Lb = longueur géométrique du bassin)
```

7.2 Paramètres altimétriques

```
Intégrale hypsométrique : Hi = (Hmoy − Hmin) / (Hmax − Hmin)
```

```
Indice de pente globale : Ig = (H5% − H95%) / L (L = longueur du rectangle équivalent, km)
```

```
Dénivelée spécifique : Ds = Ig × √A
```

7.3 Paramètres du réseau hydrographique

```
Densité de drainage : Dd = ΣLi / A (km de réseau par km²)
```

```
Fréquence des cours d'eau : F = N / A (nombre de tronçons par km²)
```

```
Rapport de confluence de Horton : Rb = Nu / Nu+1 (moyenné sur les ordres de Strahler)
```

```
Rapport de longueur de Horton : Rl = Lu+1 / Lu
```

7.4 Temps de concentration (Tc)

L = longueur du talweg principal (km, plus long chemin hydraulique réel) ; A = surface (km²) ; S = pente moyenne (m/m) ; Hmoy, Hmin = altitudes moyenne et minimale (m) ; CN = Curve Number moyen pondéré.

```
Kirpich (minutes) : Tc = 0.01947 × L^0.77 × S^-0.385 (L converti en mètres)
```

```
Giandotti (heures) : Tc = (4√A + 1.5×L) / (0.8×√(Hmoy − Hmin))
```

```
Passini (heures) : Tc = 0.108 × (A×L)^(1/3) / √S
```

```
Ventura (heures) : Tc = 0.1272 × √(A / S)
```

```
SCS / NRCS (méthode du lag, TR-55 ; heures) :
S (pouces) = 1000/CN − 10 | Tl (h) = L^0.8 × (S+1)^0.7 / (1900 × Y^0.5) | Tc = Tl / 0.6
(L en pieds, Y = pente moyenne en %, formule volontairement gardée en unités impériales d'origine du NRCS)
```

```
Rétention potentielle S (forme métrique, mm) : S = 25400/CN − 254
```

8. Pourquoi les temps de concentration diffèrent-ils entre formules ?

Il est normal — et attendu — d'obtenir des valeurs de Tc sensiblement différentes selon la formule employée pour un même bassin. Chaque formule est une relation empirique, calée statistiquement sur un échantillon de bassins réels d'une région et d'une échelle données. Aucune n'est universellement « la bonne » : chacune reflète les caractéristiques physiographiques et climatiques de son échantillon de calage. Un écart de 30 à 100% entre les estimations n'est pas rare et ne signale pas une erreur de calcul.

Formule	Domaine de validité usuel (surface)	Contexte de calage d'origine
Kirpich	≈ 0.004 – 1 km²	Petits bassins agricoles pentus (Tennessee, USA)
SCS (lag, TR-55)	≈ 0.01 – 8 km²	Petits bassins ruraux/urbains (NRCS, USA)
Ventura	≈ 0.5 – 700 km²	Bassins européens de tailles variées
Passini	≈ 0.5 – 700 km²	Bassins européens de tailles variées
Giandotti	≈ 1.7 – 700 km²	Bassins italiens moyens à grands

Ces ordres de grandeur varient sensiblement selon les sources bibliographiques consultées ; ils sont donnés à titre de repère de cohérence, pas comme une règle stricte et universellement admise. HydroSuiteBM Pro indique automatiquement, pour chaque bassin, quelle formule est calée sur la gamme de surface la plus proche de la sienne — ce qui n'exclut pas d'examiner aussi les autres valeurs obtenues.

9. Influence de la résolution du MNT sur le Tc

Au-delà du choix de la formule, la résolution du MNT (taille de la cellule) influence directement les deux grandeurs d'entrée communes à toutes les formules de Tc : la longueur du talweg (L) et la pente moyenne (S).

- **Lissage de la pente** : un MNT à résolution grossière moyenne l'altitude sur de grandes cellules, atténuant les ruptures de pente locales. La pente moyenne calculée est alors généralement sous-estimée, ce qui augmente artificiellement le Tc calculé (pente à exposant négatif dans Kirpich, Passini, Ventura, SCS).
- **Généralisation du talweg** : à résolution grossière, le tracé du talweg perd en sinuosité (tendance à raccourcir L), mais l'effet d'escalier du D8/MFD sur les segments obliques peut au contraire l'allonger. L'effet net dépend de la topographie locale.
- **Décalage du seuil de réseau** : à résolution grossière, chaque cellule représente une surface au sol plus grande, donc la tête du réseau se déplace vers l'aval, raccourcissant L pour un même seuil en nombre de cellules — d'où l'intérêt d'exprimer le seuil en surface réelle (ha/km²), ce que fait HydroSuiteBM.

Recommandation pratique : si vous disposez de MNT à plusieurs résolutions pour la même zone, comparez la longueur du talweg et la pente moyenne obtenues avec chacun avant de figer un Tc définitif. À défaut, utilisez la résolution la plus fine disponible et compatible avec la taille de votre bassin.

10. Seuils de classification pour l'interprétation automatique

Les commentaires interprétatifs générés pour chaque bassin dans le rapport PDF s'appuient sur des seuils usuels de la littérature hydrologique/géomorphologique :

- **Gravelius (Kc)** : <1.25 quasi-circulaire, 1.25–1.5 ovale à ronde, 1.5–1.75 ovale allongée, >1.75 allongée.
- **Relief (Ig, classification ORSTOM/IRD)** : R1 (très faible, <2 m/km) à R7 (très fort, >100 m/km).
- **Intégrale hypsométrique (Hi, d'après Strahler)** : >0.6 stade de jeunesse, 0.35–0.6 maturité, <0.35 vieillesse.
- **Densité de drainage (Dd)** : >2 km/km² élevée (substrat peu perméable), 1–2 modérée, <1 faible (substrat perméable).

Ces seuils sont des repères généraux ; ils gagnent à être recoupés avec la connaissance de terrain et le contexte régional de l'étude, et ne remplacent pas un avis d'expert.

11. Sorties produites

- bassins_versants.shp (+ .dbf, .shx, .prj) : tous les bassins, un enregistrement par bassin, avec tous les paramètres calculés en table attributaire (champs abrégés ≤ 10 caractères, contrainte du format Shapefile).
- bassins_versants_legende.csv : correspondance champs abrégés ↔ noms complets et descriptions.
- reseaux_hydrographiques.shp : tous les réseaux hydrographiques découpés, regroupés en une seule couche avec un champ ID_BASSIN.
- resultats_bv.csv (à la demande) : export CSV de tous les résultats.
- rapport PDF (à la demande) : méthodologie, formules, analyse interprétée par bassin.

12. Accélérer le calcul sur un grand MNT

Sur un MNT haute résolution (LiDAR, photogrammétrie drone — souvent 20 à 50 cm), les étapes de direction/accumulation de flux et de vectorisation du réseau peuvent devenir longues. Plusieurs réglages permettent d'accélérer le calcul, à combiner selon vos besoins :

Réglage	Effet	Compromis
Restreindre l'emprise de calcul (section 5, étape 4)	Réduit directement le nombre de cellules traitées à chaque étape.	Aucun sur la zone conservée ; nécessite de relancer si la zone d'intérêt change.
Décocher « Directions de flux multiples (MFD) » (mode SFD)	r.watershed calcule une seule direction d'écoulement par cellule (D8) au lieu d'une distribution pondérée vers plusieurs voisins : nettement plus rapide.	Tend à fusionner davantage de sous-bassins en de grandes zones ; découpage moins fin.
Décocher « Calculer l'ordre de Strahler / Horton »	Vectorisation directe du réseau via r.to.vect au lieu de r.stream.order (parcours topologique complet du graphe du réseau).	Ordre de Strahler et rapports de Horton (Rb, Rl) absents des résultats ; densité de drainage et longueur du réseau restent calculées.
Augmenter la surface minimale des sous-bassins	Réduit la densité du réseau extrait, donc le nombre de segments à vectoriser/ordonner en aval.	Réseau hydrographique plus grossier.

13. Dépannage

Symptôme	Cause probable	Solution
« Algorithme grass:r.stream.order not found »	Extension GRASS non installée	Repli automatique sur r.to.vect, ou installer g.extension extension=r.stream.order
Bassin obtenu minuscule par rapport au MNT	Mauvais calage de l'exutoire ou CRS différent	Utiliser le calage « accumulation maximale » ; vérifier le CRS des couches
« has invalid geometry »	Géométries auto-intersectantes (vectorisation)	Réparation automatique (depuis la version 1.0)
Un seul bassin en mode automatique	Seuil trop élevé, ou SFD au lieu de MFD	Réduire la surface minimale ; cocher « Directions de flux multiples (MFD) »
Plantage total de QGIS dès le début du calcul (aucune erreur affichée)	Résolu en version 1.6 : provoqué par r.fill.dir, retiré du flux de traitement	Mettre à jour vers la version 1.6 ou ultérieure
Calcul très long sur un grand MNT haute résolution	MFD + ordre de Strahler + emprise complète du MNT	Voir section 12 : restreindre l'emprise, SFD, désactiver l'ordre de Strahler

14. Compatibilité QGIS 4.x / Qt6

Depuis la version 1.6, HydroSuiteBM Pro est compatible avec QGIS 4.x (basé sur Qt6), tout en restant compatible avec QGIS 3.16 et ultérieur (Qt5) : le plugin fonctionne sans modification sur les deux lignes de version.

- Tous les imports Qt passent par qgis.PyQt, la couche de compatibilité fournie par QGIS lui-même, qui sélectionne automatiquement PyQt5 ou PyQt6 selon la version de QGIS utilisée.
- Les constructeurs de champs (QgsField) utilisent QMetaType.Type plutôt que l'ancien QVariant.Type, déprécié depuis QGIS 3.38.
- Le fichier metadata.txt déclare qgisMaximumVersion=4.99, condition nécessaire pour que le plugin soit reconnu compatible QGIS 4 dans le dépôt officiel des extensions.

> Si vous testez ce plugin sur une build QGIS 4 encore en développement (nightly), certains messages d'avertissement liés à d'autres composants de QGIS peuvent apparaître dans le journal : ils ne proviennent pas de HydroSuiteBM Pro. En cas de doute, consultez l'onglet « Journal » du plugin, qui n'affiche que ses propres messages.

15. Licence

Ce plugin utilise l'API PyQGIS et est distribué sous licence GPL v2 ou ultérieure, comme l'exige QGIS pour les extensions utilisant son API.

16. Disposition de l'interface (version 1.9)

Depuis la version 1.9, l'interface est conçue pour les petits écrans (portables 1366 x 768) : plus aucun réglage ni bouton ne sort de l'écran. Cette section complète le guide d'utilisation de la section 5 : les étapes 1 à 10 restent valables, seule leur place dans la fenêtre change.

Fenêtre principale

Onglet	Réglages	Étape (section 5)
Données	MNT (raster) ; emprise du calcul ; raster Curve Number et bouton Assistant CN	1, 2, 4
Bassins	Mode automatique ; points exutoires ; champ identifiant du bassin ; surface minimale des sous-bassins	3, 5
Avancé	Directions de flux multiples (MFD) ; calcul de l'ordre de Strahler / Horton ; méthode et rayon de calage de l'exutoire	5, 6, 7
Sortie	Enregistrement des bassins et réseaux en Shapefile et dossier de sortie	8

Barre d'action fixe : « Lancer le calcul », « Exporter en CSV », « Générer le rapport PDF » et la barre de progression sont toujours visibles en bas de la fenêtre, quel que soit l'onglet affiché (étapes 9 et 10).

Résultats et Journal occupent la partie centrale. Le séparateur horizontal entre les réglages et les résultats se déplace à la souris. Au lancement du calcul, le plugin bascule toujours sur l'onglet « Journal ».

Défilement : si un onglet de réglages est plus haut que l'espace disponible, un ascenseur apparaît. Sur une fenêtre étroite, les libellés passent au-dessus des champs.

Taille de la fenêtre : à l'ouverture, elle s'adapte à l'écran (au plus 95 % de la largeur et 90 % de la hauteur disponibles). Elle peut être réduite nettement plus qu'avant, et la taille choisie est mémorisée d'une ouverture à l'autre.

Libellés raccourcis : le texte détaillé de chaque option se trouve dans son info-bulle (laisser le pointeur sur l'option).

Assistant CN

Les deux rasters (occupation du sol, groupe de sol) sont placés côte à côte, suivis du bouton « Détecter les classes » et des deux tables de correspondance côte à côte. Le fichier de sortie, « Générer le raster CN » et « Fermer » restent toujours visibles en bas. La procédure de la section 5bis est inchangée.

Aucun calcul ni fichier produit n'est modifié par cette version : seule la disposition de l'interface change.