



HAL
open science

Utilisation des MNT et des SIG pour la modélisation hydrologique

Olivier Delaigue

► **To cite this version:**

Olivier Delaigue. Utilisation des MNT et des SIG pour la modélisation hydrologique. Master. SIG/télédétection, Institut de Physique du Globe de Paris, France. 2020. hal-03288014

HAL Id: hal-03288014

<https://hal.inrae.fr/hal-03288014>

Submitted on 16 Jul 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Utilisation des MNT et des SIG pour la modélisation hydrologique

Olivier Delaigue — Équipe *Hydrologie des bassins versants*
Unité de recherche *Hydrosystèmes continentaux anthropisés*



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

INRAE
université
PARIS-SACLAY



L'hydrologie à l'INRAE

INRAE

L'institut

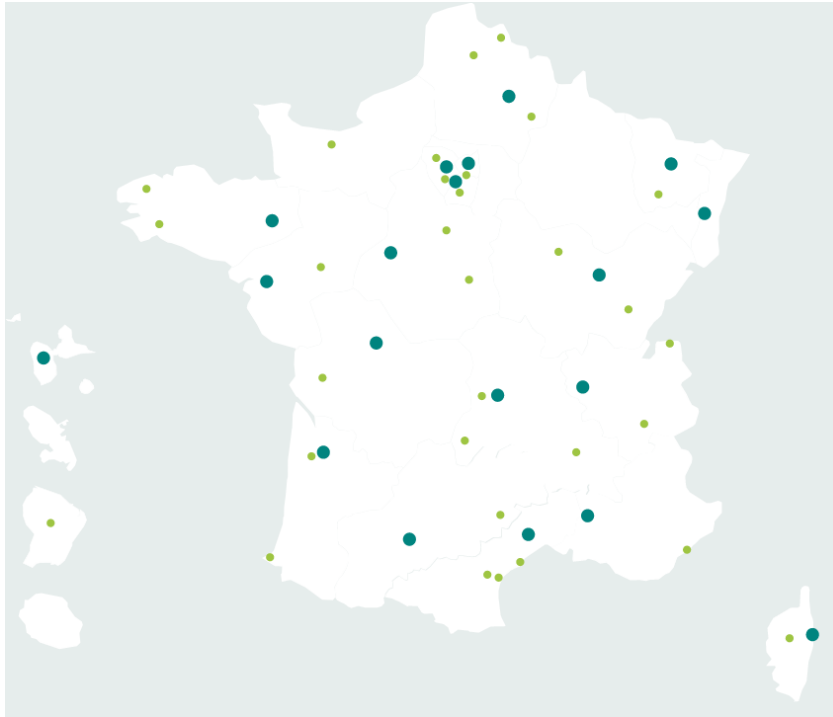
- Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation & l'environnement
- Établissement public à caractère scientifique et technologique (EPST)

Thématiques

- Changement climatique et risques
- Agroécologie
- Biodiversité
- Alimentation, santé globale
- Bioéconomie
- Société et territoires



INRAE



Quelques chiffres

- 12 000 agents :
8 500 titulaires & 3 500 contractuels
- 18 centres de recherche,
14 départements de recherche
- 268 unités de recherche,
de service et expérimentales

Qu'est ce que l'hydrologie ?

Hydrologie

Science de la Terre qui s'intéresse au cycle de l'eau, c'est-à-dire aux échanges entre l'atmosphère, la surface terrestre et son sous-sol

Hydrologie fluviale

Branche de l'hydrologie dont l'objet essentiel est l'étude des régimes fluviaux, des débits et de leurs variations

Hydrologie de surface

Étudie le ruissellement, les phénomènes d'érosion, les écoulements des cours d'eau et les risques liés à l'eau (inondations et sécheresses)

Équipe *Hydrologie des bassins versants* (Antony, 92)

Principaux axes de recherche

- Prédiction hydrométéorologique
- Changements globaux et impacts
- Régionalisation et variabilités
- Modélisation hydrologique et incertitudes



Parcours personnel

Parcours universitaire à Lyon

- Licence de biologie
- Master de biostatistique appliquée à l'écologie

Parcours professionnel à l'INRAE

- 6 ans en hydrobiologie (Aix-en-Provence & Antony)
 - biostatistique
- 8 ans en hydrologie (Antony)
 - développement de logiciels
 - gestion de bases de données
 - géomatique



Modélisation hydrologique des bassins versants

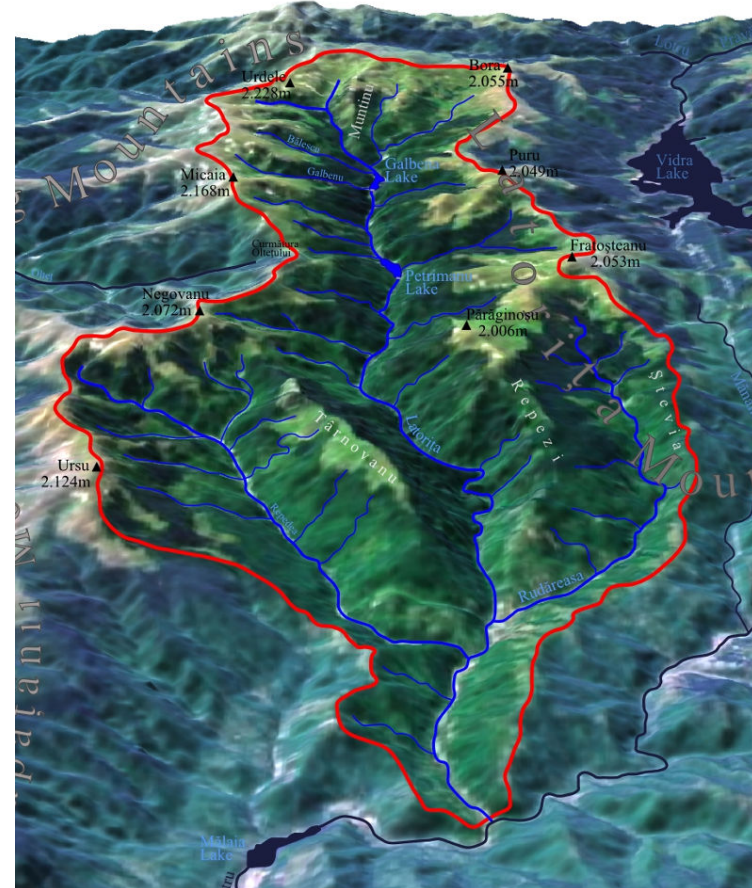
Qu'est-ce qu'un bassin versant ?

Définition

- Ensemble des points d'une région ayant un exutoire commun pour les écoulements de surface

Propriété

- Définissable en tout point d'un cours d'eau
- Ensemble des surfaces drainées par le réseau hydrographique situé en amont du point considéré



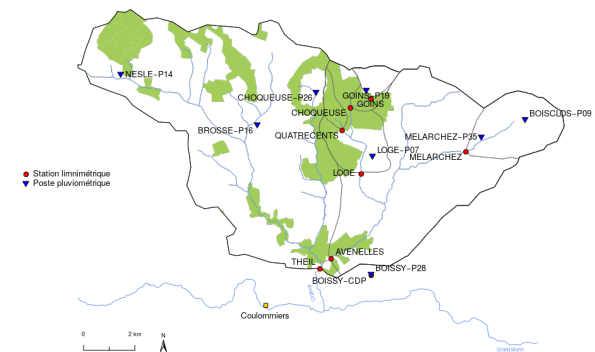
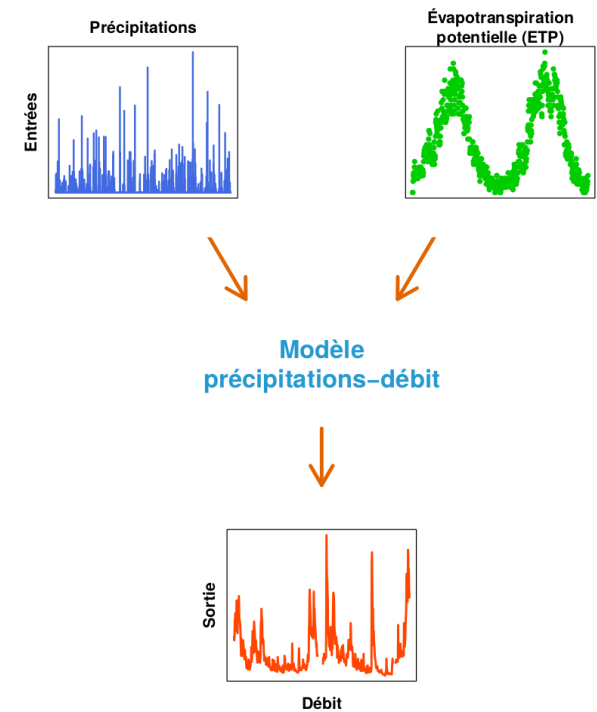
Qu'est-ce qu'un modèle ?

Définition

- Représentation simplifiée d'un système complexe
système naturel : bassin versant
- Synthèse architecturée de connaissances
outil de recherche
- Permet de répondre à des questions d'ordre opérationnel
outil d'application

Modèles précipitations-débit

- Outils mathématiques qui permettent de calculer des débits à partir de données de précipitations et d'évaporation potentielle

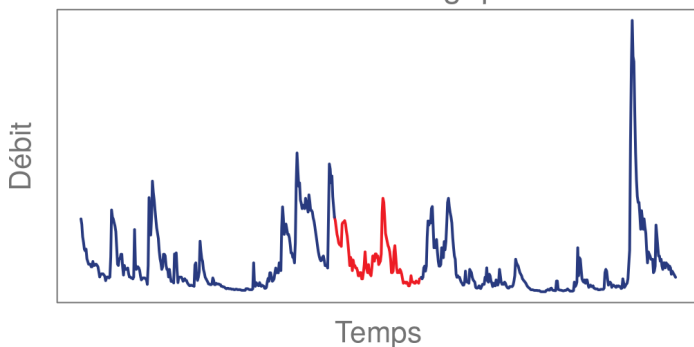


Modèles hydrologiques

Applications de modèles précipitations-débit

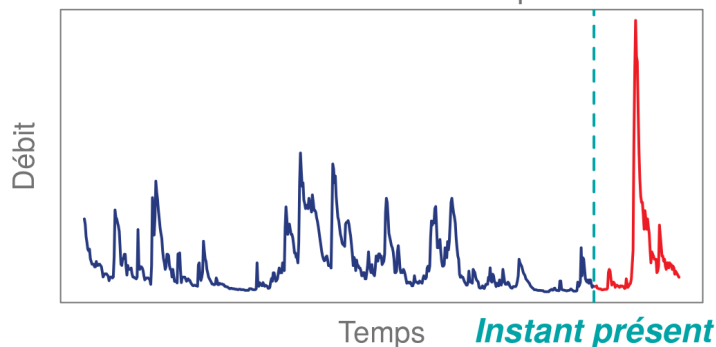
Reconstitution

Comblent les lacunes existant dans une série chronologique de débits



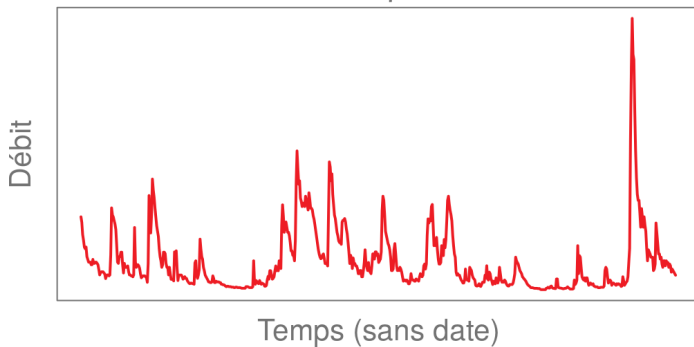
Prévision

Évolution future du débit évoluant dans le temps



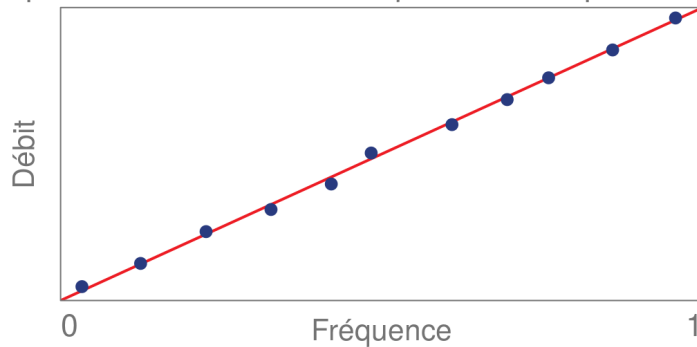
Simulation

Générer une chronique fictive de débits



Prédétermination

Recherche d'une distribution statistique du débit pour l'évaluation d'un risque ou d'une probabilité

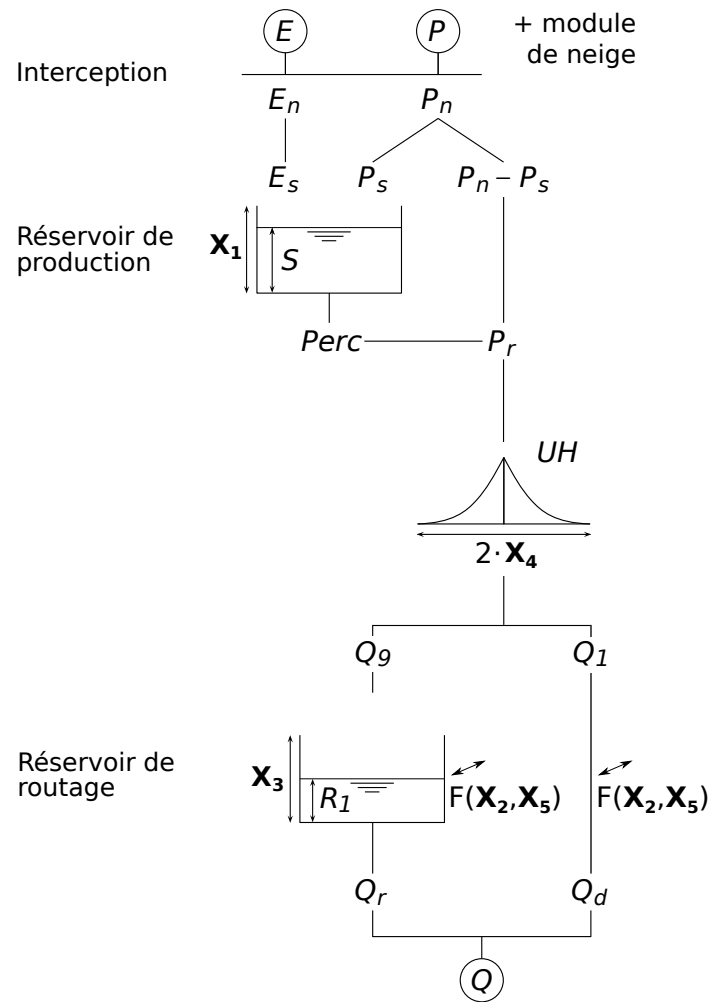


Quelques types de modèles hydrologiques

Trois grandes familles :

- **Modèles empiriques ou “boîtes noires”**
 - formulation mathématique abstraite relie des grandeurs sur le bassin
ex. : intelligence artificielle
- **Modèles à base physique**
 - représentation a priori de tous les processus hydrologiques
 - adapté pour la recherche fondamentale sur un bassin
- **Modèles conceptuels**
 - structure simple et mise en œuvre aisée
 - variables intermédiaires détaillées, mais délicates à interpréter
 - au plus près des mesures de terrain

Modèle conceptuel global GR5J



Paramètres du modèle GR5J

- **X1** : capacité du réservoir de production [mm]
- **X2** : coefficient d'échanges souterrains [mm/jour]
- **X3** : capacité du réservoir de routage [mm]
- **X4** : temps de base de l'hydrogramme unitaire UH [jours]
- **X5** : seuil d'échanges souterrains [-]

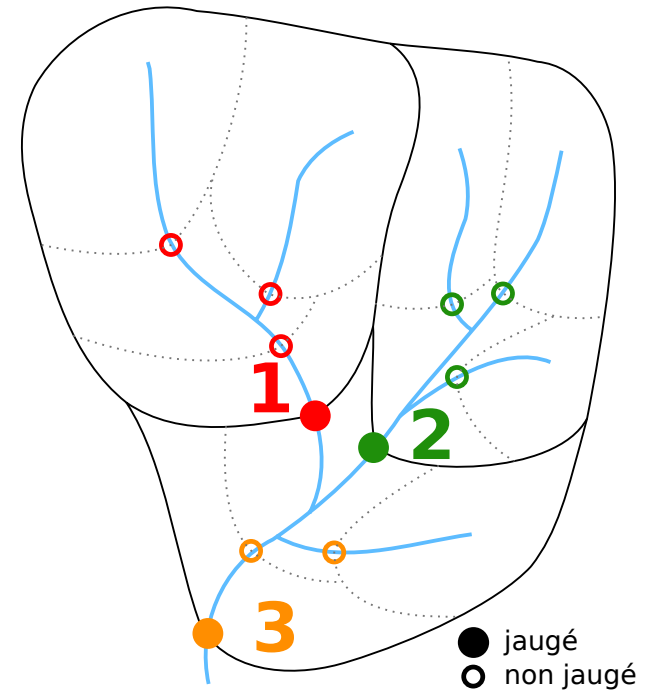
Module de neige

- répartitions des précipitations (liquides + solides)

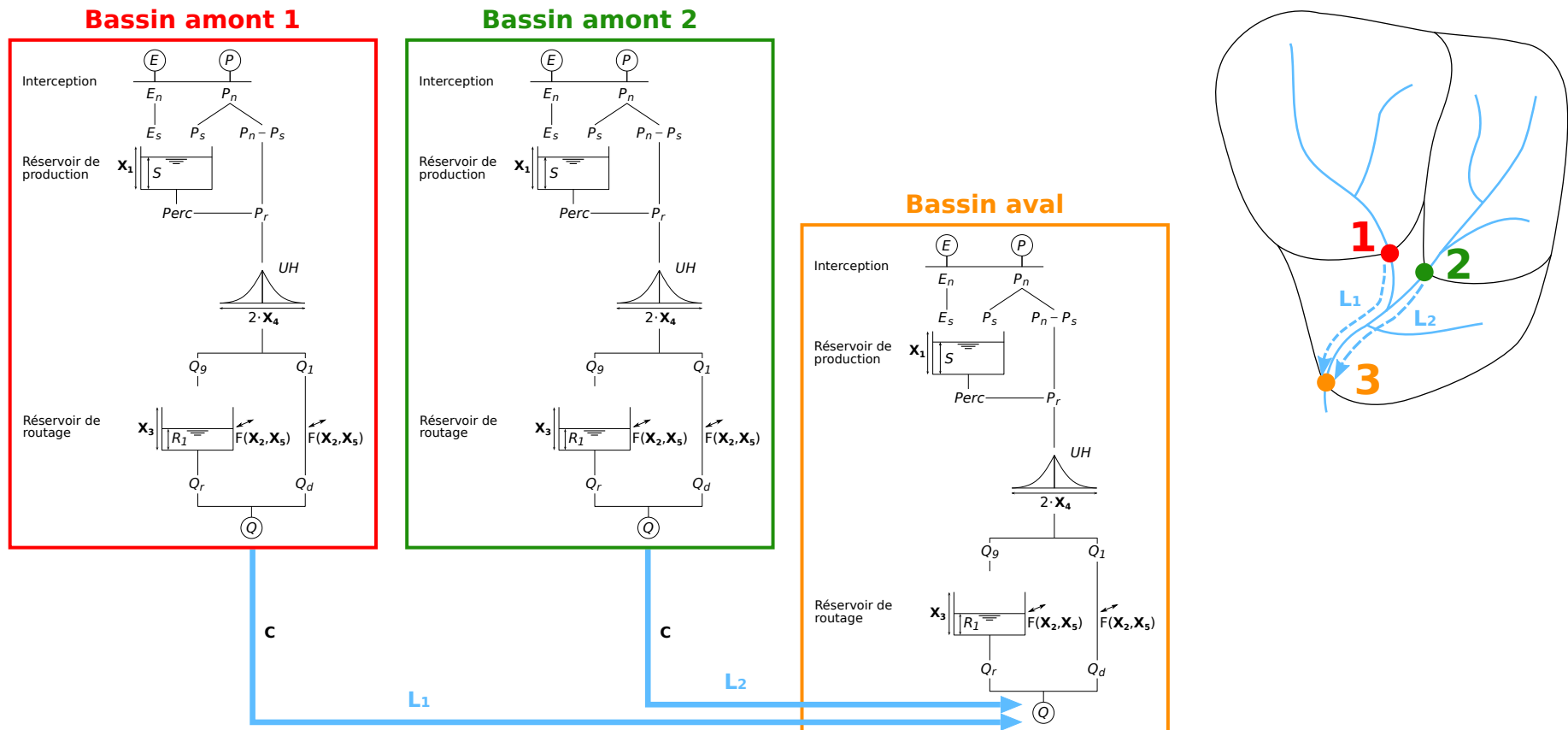
Modèle conceptuel spatialement distribué GRSD

Concepts

- Version spatialisée des modèles de simulation pluie-débit globaux de la famille GR
- Représentation du bassin versant comme un ensemble d'entités spatiales : les sous-bassins versants (et les zones contributives)



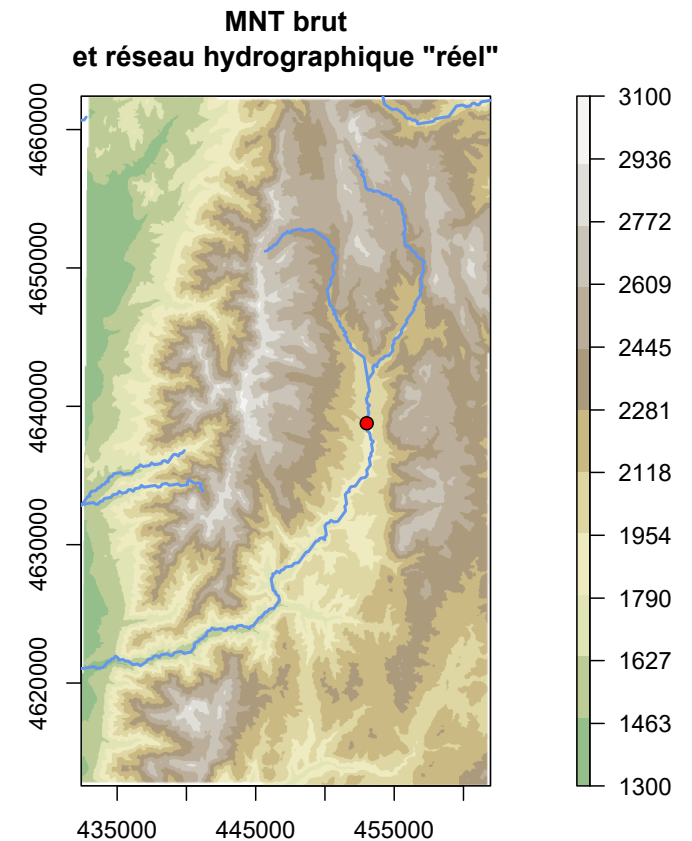
Modèle conceptuel spatialement distribué GRSD



Données nécessaires à la modélisation

Informations géographiques disponibles :

- élévation du terrain
- réseau hydrographique observé
- positions géographiques des stations hydrométriques



Données nécessaires à la modélisation

Pour modéliser les débits, il est nécessaire de disposer :

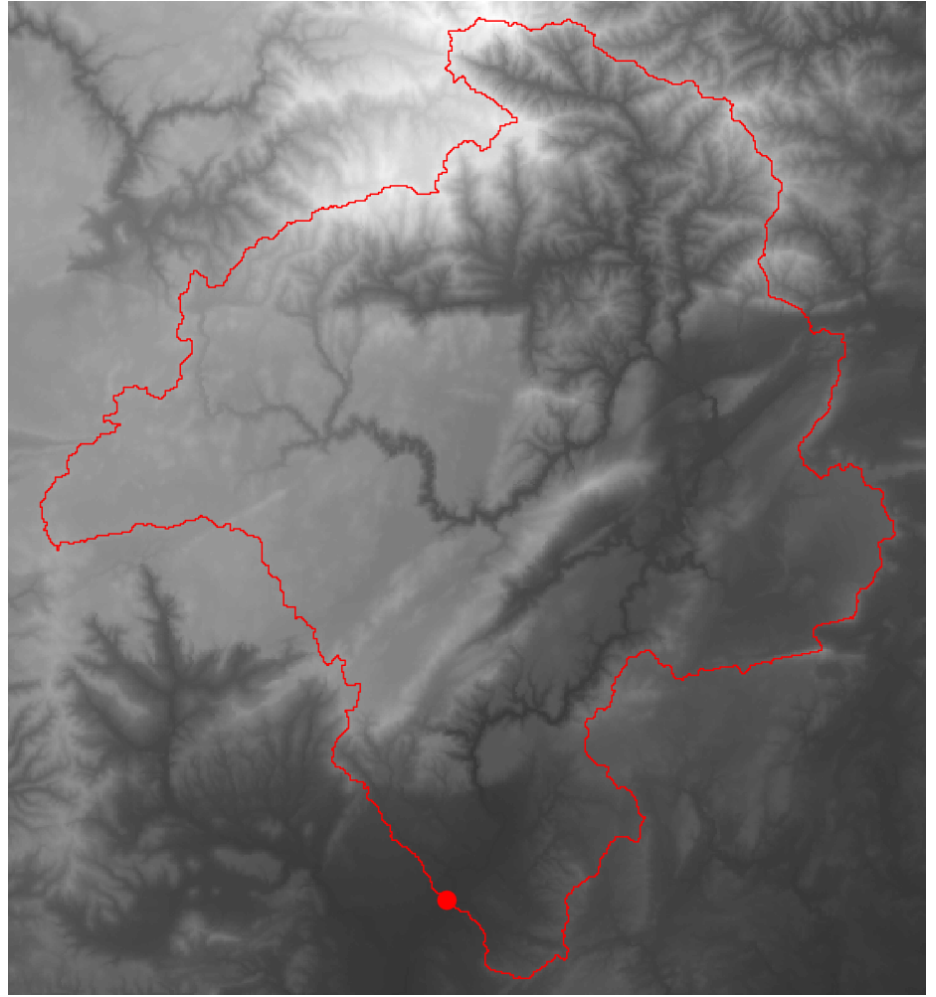
- superficies du bassin versant et des sous-bassins versants
- chroniques climatiques sur chaque sous-bassin versant
- courbes hypsométriques (si la bassin présente un régime nival)
- longueurs hydrauliques entre les sous-bassins

Détermination des contours des bassins versants

Détermination des contours des bassins versants



carte topographique

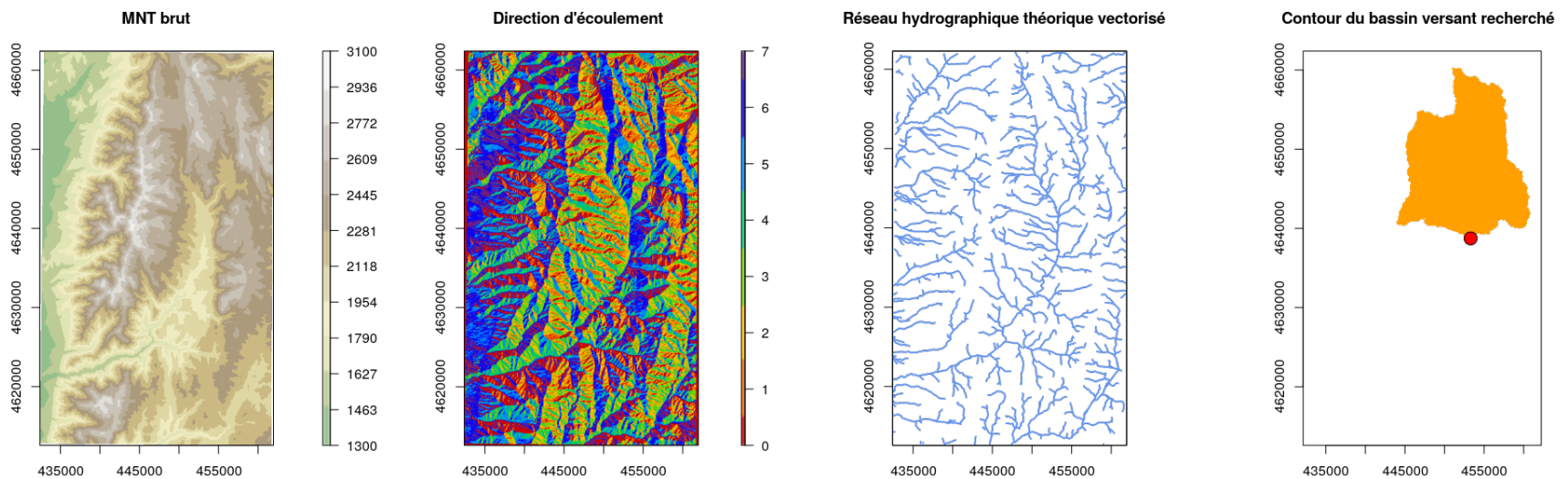


modèle numérique de terrain

Étapes

1. déterminer les directions d'écoulement du MNT
2. déterminer un réseau hydrographique théorique
3. repositionner les stations hydrologiques sur le réseau théorique
4. "remonter" le réseau pour déterminer le contour du bassin versant

Exemple de la rivière Logan (Utah, USA)



Calcul de la grille de direction d'écoulement

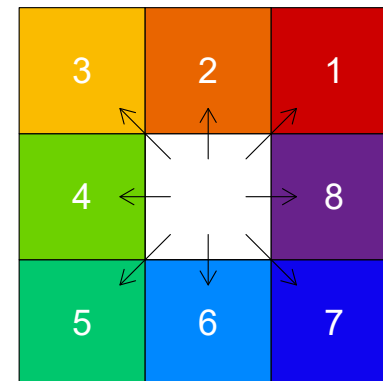
Cas général du calcul de la grille de directions d'écoulement

- Pour chaque pixel, choisir vers lequel de ses 8 voisins il s'écoule (d8)
- On fait l'hypothèse que l'eau s'écoule selon la direction de plus grande pente

$$\frac{60 - 57}{r\sqrt{2}} > \frac{60 - 58}{r}$$

67	65	63
61	60	59
57	58	57

élevations



codes des
directions d'écoulement

Calcul de la grille de direction d'écoulement

Correction du fichier d'élévation

1. Premier parcours du MNT dans lequel on identifie les pixels n'ayant pas d'exutoire défini
2. Traitement des dépressions

52	49	37	36	37	39	38
47	40	37	38	37	37	39
40	35	36	38	40	38	39
35	35	37	35	43	47	38
37	38	36	34	46	55	40
35	39	33	41	44	42	41
37	40	33	39	43	40	42
38	40	32	37	46	48	44
33	38	36	38	42	45	38
35	45	34	41	40	39	37
34	31	35	38	39	39	36

52	49	37	36	37	39	38
47	40	37	38	37	37	39
40	35	36	38	40	38	39
35	35	37	36	43	47	38
37	38	36	36	46	55	40
35	39	36	41	44	42	41
37	40	36	39	43	40	42
38	40	36	37	46	48	44
33	38	36	38	42	45	38
35	45	34	41	40	39	37
34	31	35	38	39	39	36

52	49	37	36	37	39	38
47	40	37	38	37	37	39
40	35	36	38	40	38	39
35	35	37	35	43	47	38
37	38	36	34	46	55	40
35	39	34	41	44	42	41
37	40	34	39	43	40	42
38	40	34	37	46	48	44
33	38	34	38	42	45	38
35	45	34	41	40	39	37
34	31	35	38	39	39	36

Calcul de la grille de direction d'écoulement

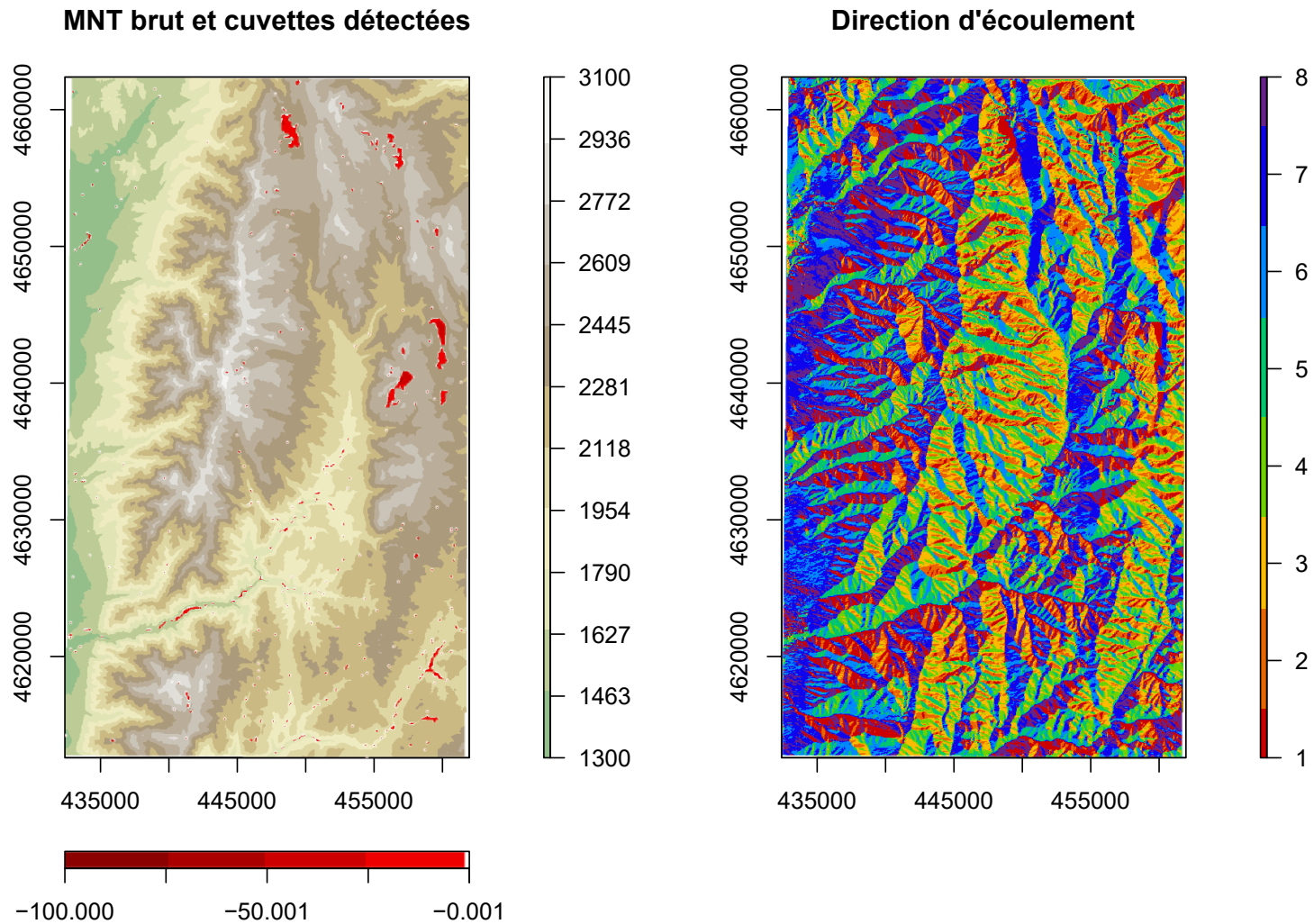
Correction du fichier d'élévation

1. Premier parcours du MNT dans lequel on identifie les pixels n'ayant pas d'exutoire défini
2. Traitement des dépressions
3. Traitement des zones plates

6	5	3	3	3	3	3
5	4	4	2	2	2	6
8	5	2	2	2	2	4
7	4	2	2	2	2	4
7	2	2	2	2	2	5
7	2	2	2	2	4	4
6	2	2	2	3	5	5
3	2	2	2	3	6	8
3	2	2	2	2	4	7
4	3	2	2	2	3	4
4	3	1	1	1	3	3

			8€	8€	8€	
		7€	7€	7€	7€	
		6€	6€	6€	6€	
	5€	5€	5€	5€	5€	
	4€	4€	4€	4€		
	3€	3€	3€			
	2€	2€	2€			
	1€	1€	1€	1€		
		0€	0€	0€		

Calcul de la grille de direction d'écoulement



Correction du MNT sous contraintes de données vectorielles

Surcreusement du MNT

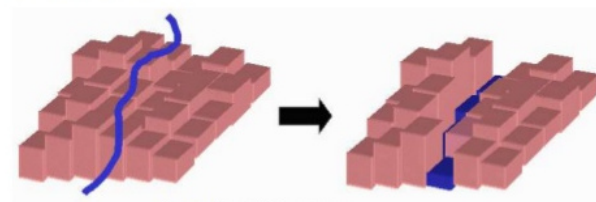
- Technique consistant à “graver” le MNT en abaissant artificiellement l’altitude des pixels appartenant au réseau vectoriel observé

Inconvénient

- Si aucune information amont-aval n’est transmise, il reste systématiquement des dépressions et des zones plates parmi les pixels “réseau”
- Les traitements des dépressions et des zones plates “effacent” fréquemment la “gravure” du réseau

Nécessite

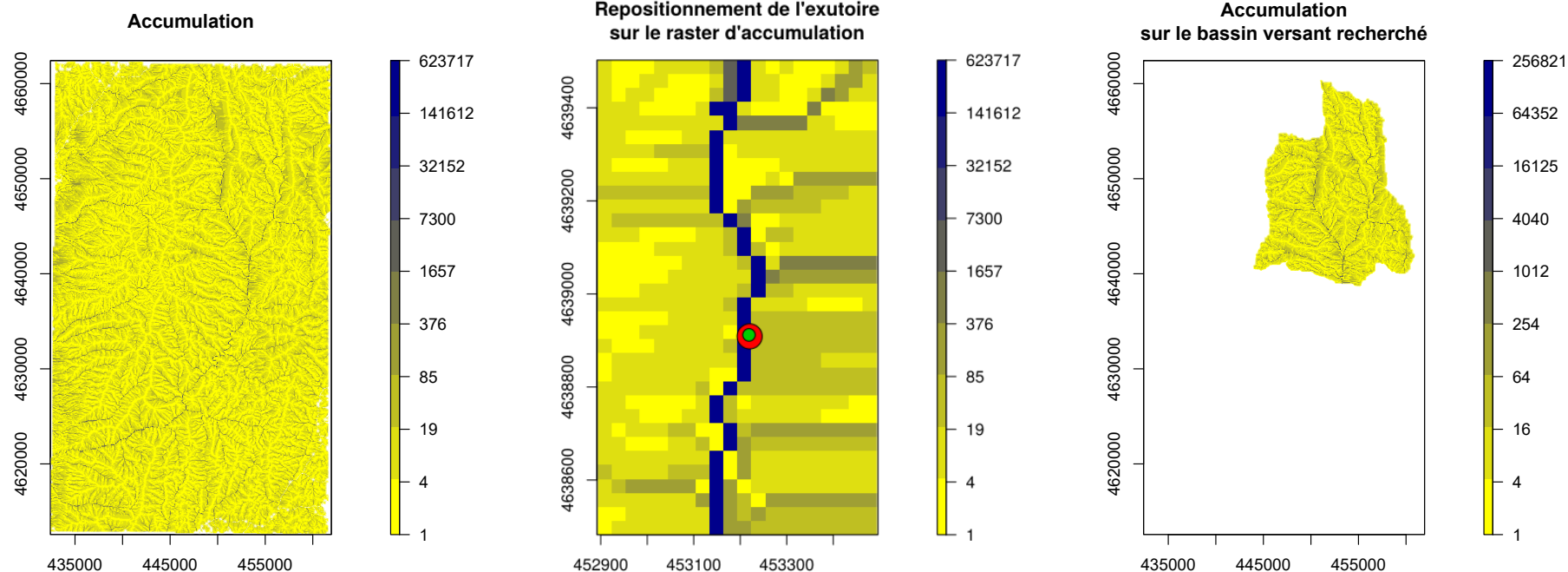
- Absence de bras secondaire (pas d’île)
- Absence d’arc déconnecté du réseau



Remplacement des stations sur le réseau théorique

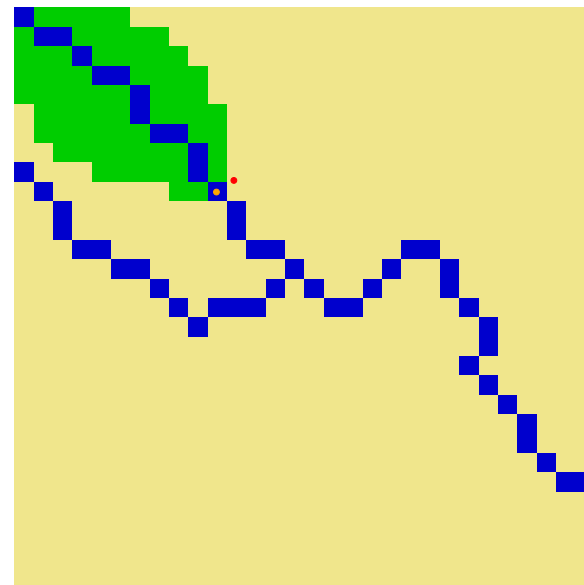
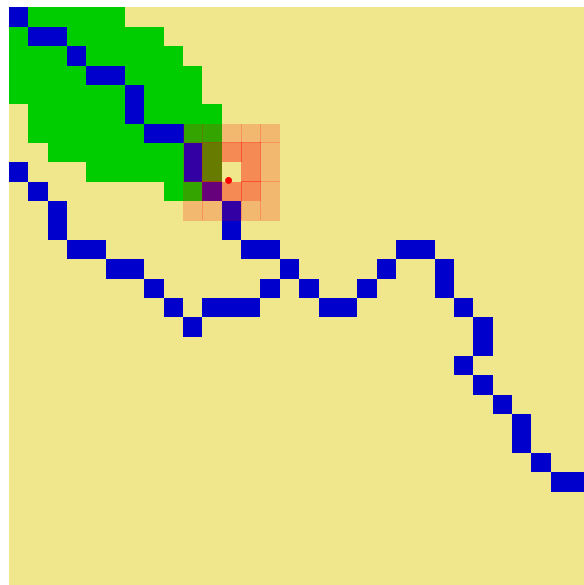
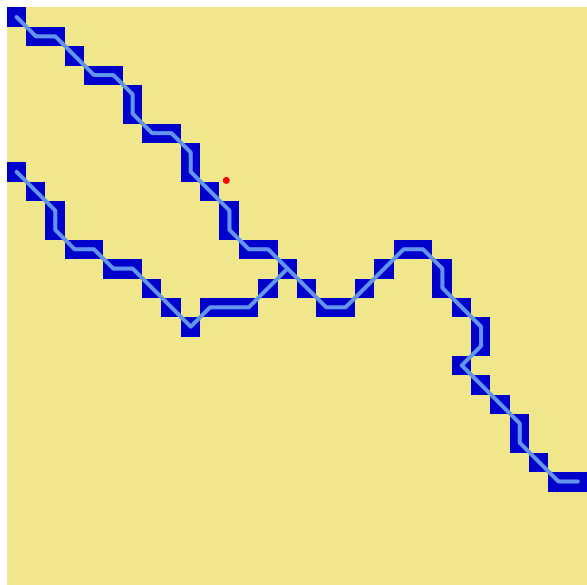
Les coordonnées de stations n'ont pas de raison de se trouver précisément sur le réseau hydrographique théorique

Il est nécessaire de les positionner au centre d'un pixel de rivière



Remplacement des stations sur le réseau théorique

- Si on connaît a priori la superficie :
 - pixel présentant la superficie amont drainée la plus proche dans un rayon de recherche fixé
- Si on ne connaît pas a priori la superficie :
 - pixel présentant la superficie amont drainée la plus élevée



Remplacement des stations sur le réseau théorique

Vérification visuelle

Location of hydrometric stations  Interface

Selection of the station

Territory

Station

Zoom on station location
 INRAE Bhydro

X Y

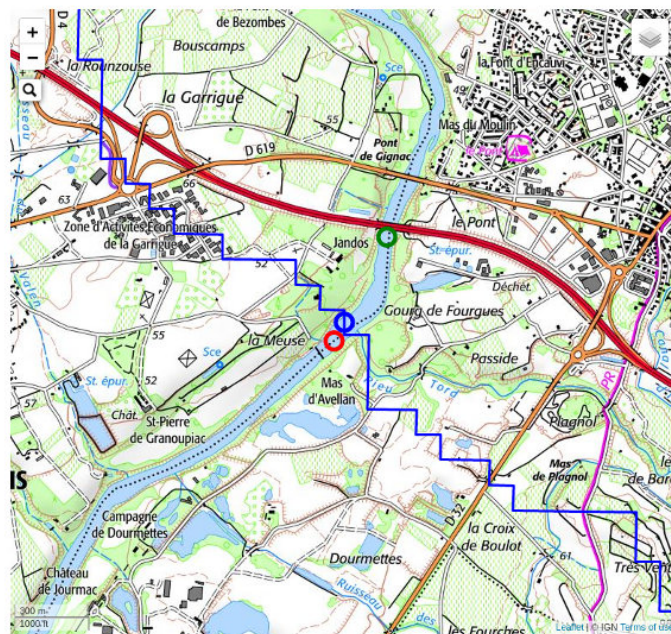
CRS of coordinates X / Y

Metadata displayed with the station location defined during the year
 2014 2018


Outlet location displayed with the station location defined during the year
 2014 2018

Catchments boundaries displayed with the station location defined during the year
 2014 2018

New shapefile of catchment boundaries
 No file selected



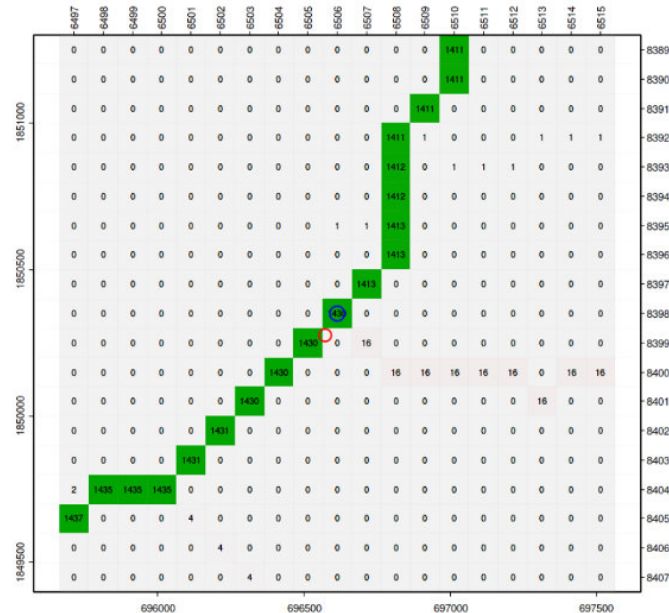
Metadata

Catchment area from Banque Hydro [km²]: **1312** 

Catchment area from INRAE [km²]: **1429.9**

CODE : Y2142010

NAME : L'Hérault [] à Gignac []

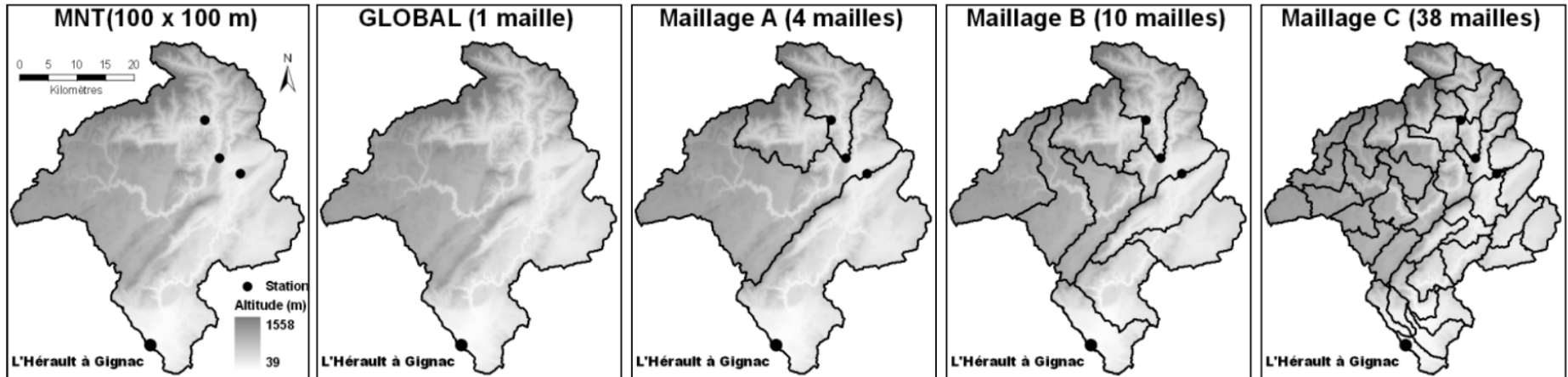


Informations about the raster click location (plot on the right)

	X	Y	
RASTER	6506	8398	Catchment area [km ²] = 1429.9
XL2E	696612.99	1850349.31	
XL93	742972.4	6283405.96	
XW84	3.53	43.65	



Discrétisation spatiale du bassin versant



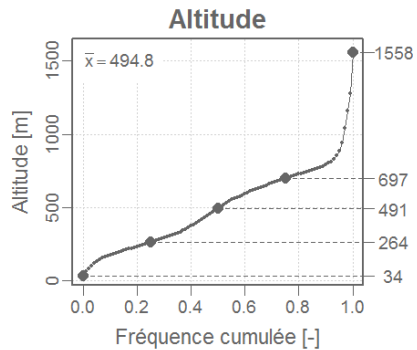
Discrétisation en sous-bassins dont la taille dépend :

- positions des stations
- positions des ouvrages
- zones à risque d'inondation
- champs de précipitations
- occupation du sol
- etc.

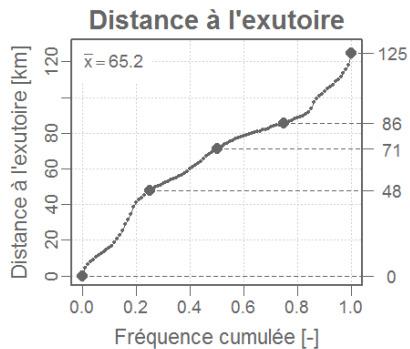
Calcul des variables sur le bassin versant

Données morphologiques

- courbes hypsométriques

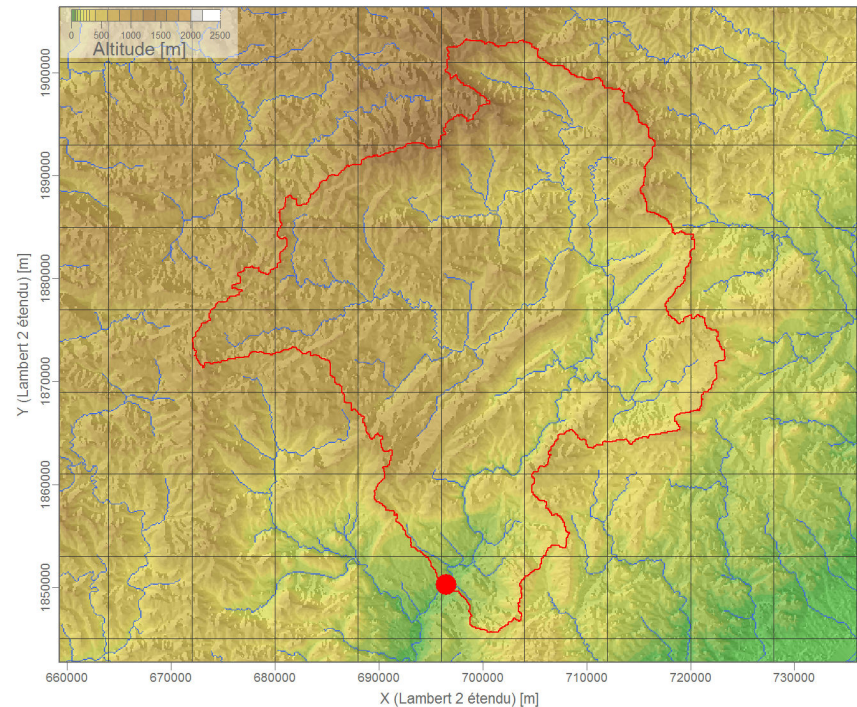


- longueurs hydrauliques



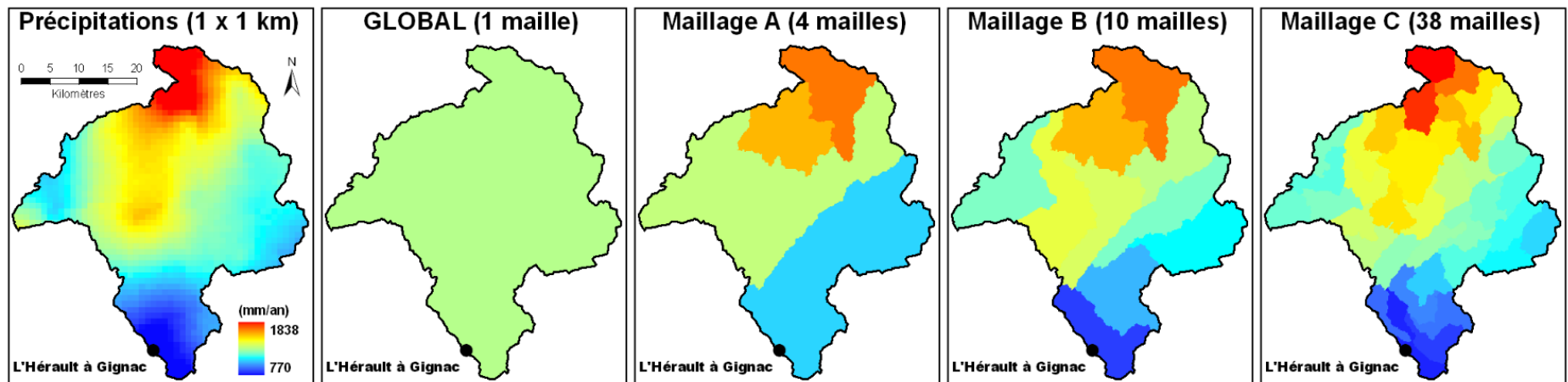
Données climatiques

- proportions de pixels du raster qui intersectent le bassin versant

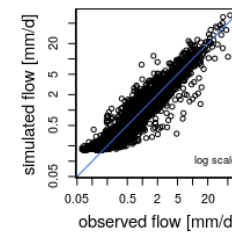
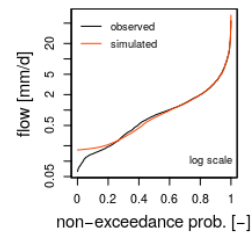
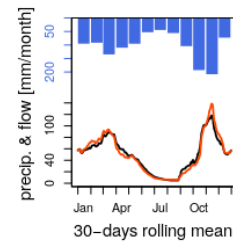
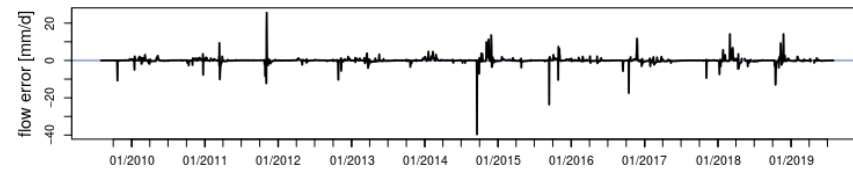
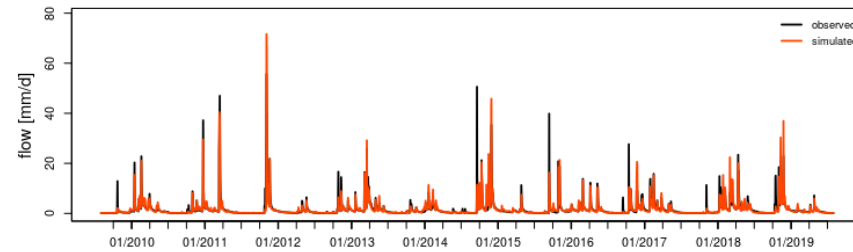
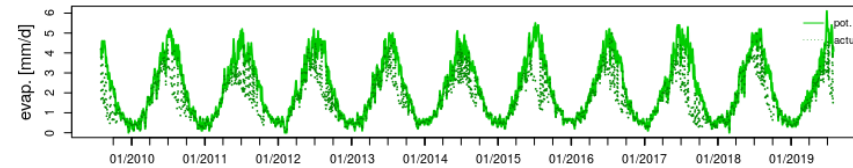
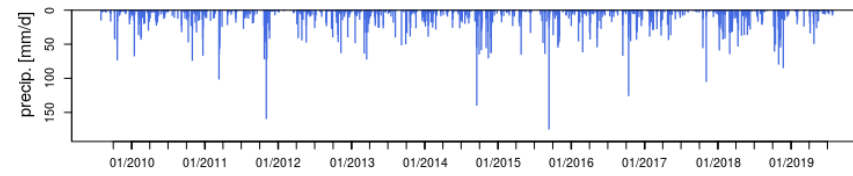


Calcul des variables sur le bassin versant

Précipitations pour différents maillages de sous-bassins

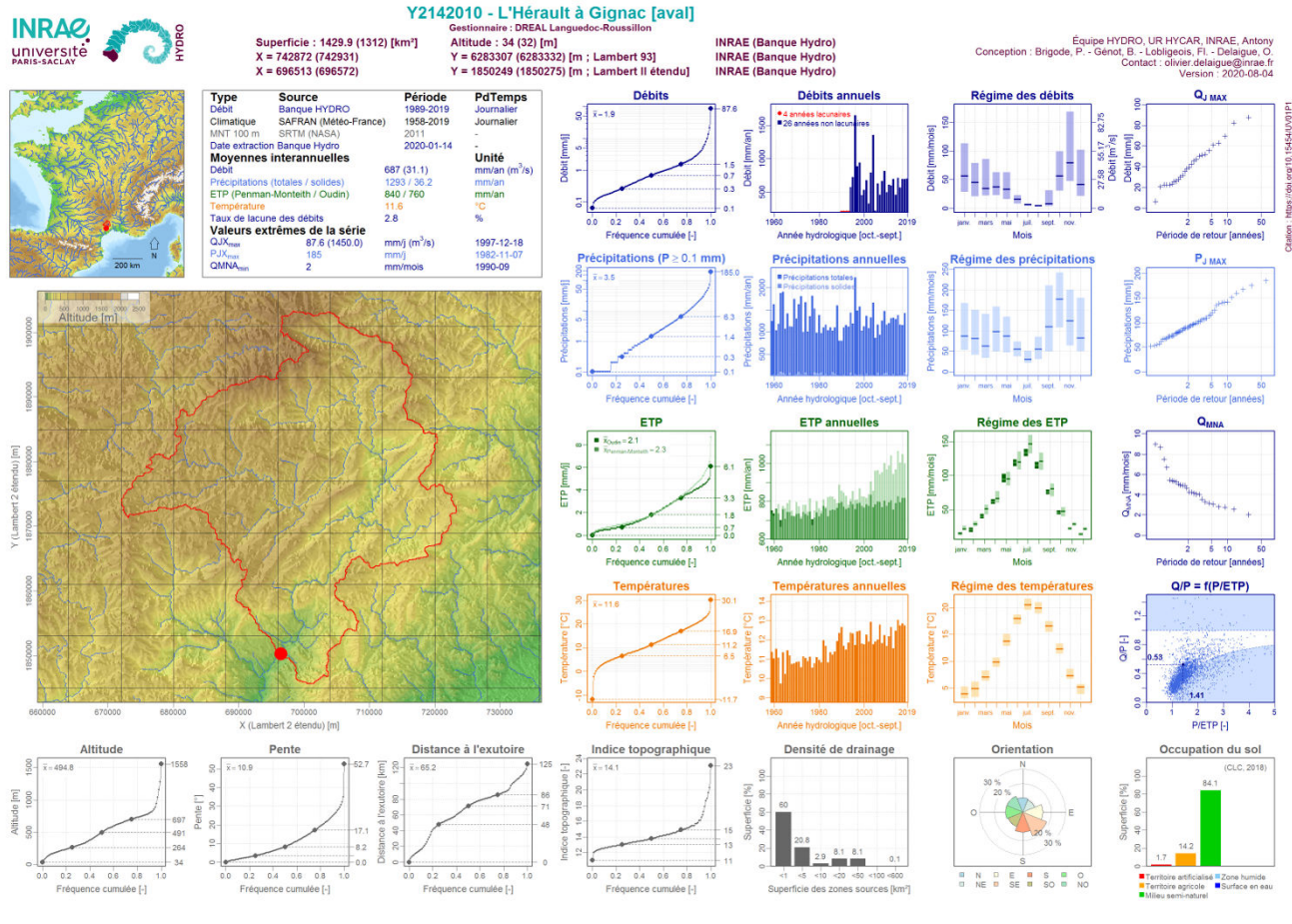


Résultats de la modélisation hydrologique



Fiches de synthèse graphique

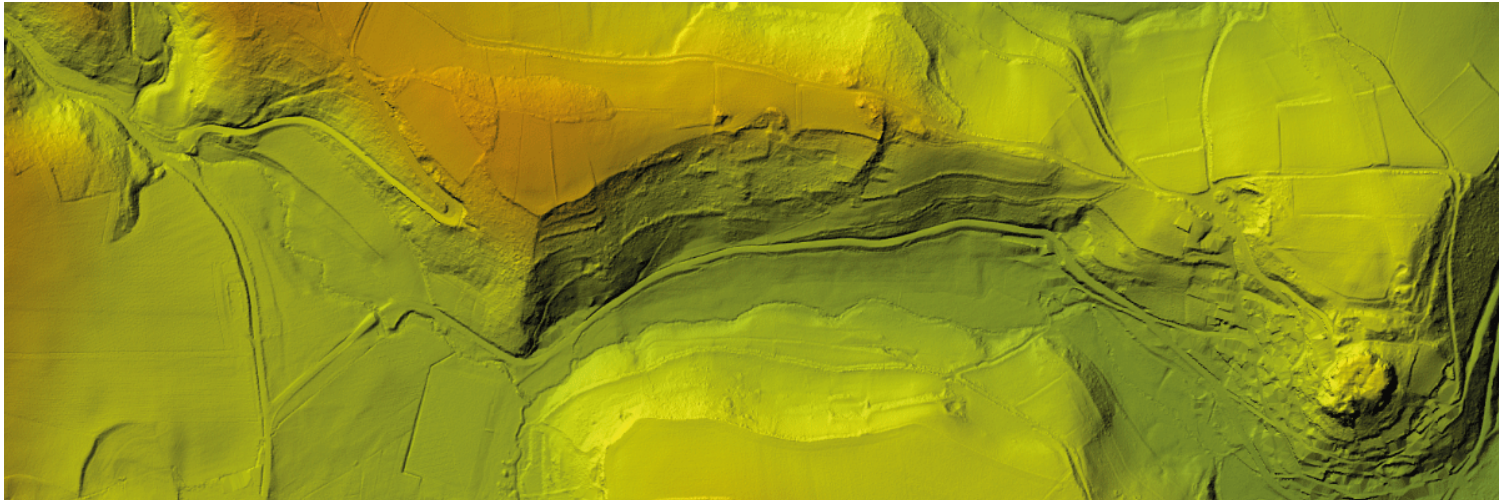
Fiches générées pour plus de 4 000 stations de France métropolitaine



**Principaux produits & outils
couramment utilisés**

Modèles numériques de terrain

- Shuttle Radar Topography Mission [SRTM] (NASA & NGA) [100 m]
- Digital Elevation Model over Europe [EU-DEM] (projet GMES RDA) [30 m]
- BD ALTI (IGN) [25 m]
- RGE ALTI (IGN) [1m]



Produits climatiques & météorologiques

Réseau d'observations au sol

- Météo-France

Observation radars

- PANTHERE (Météo-France)
- ANTILOPE (Météo-France)

Réanalyses météorologiques

- ERA5 (ECMWF)
- SAFRAN (Météo-France)
- COMEPHORE (Météo-France)

Produits satellitaires

- Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer [MODIS] (NASA)
- Tropical Rainfall Measuring Mission [TRMM] (NASA & JAXA)

Prévisions

- AROME (Météo-France)
- PEARP (Météo-France)
- CEP (ECMWF)

Projections climatiques

Outils informatiques

Interfaces graphiques utilisateurs des logiciels

- Peu d'utilisation
- Principalement pour de la visualisation exploratoire

Langages de programmation

- C++ (codes "maison")
- Fortran (codes "maison")
- R (+ bibliothèques spécialisées)


Logiciels ou bibliothèques appelés en lignes de commande

- ArcGIS
- GDAL
- SAGA GIS
- QGIS
- GRASS GIS
- TauDEM

Développement d'applications pour le Web

Cartographie des paramètres des modèles GR (bassins non jaugés)

Sunshine

airGRmaps  Interface

Selection of the outlet

Station

W1074010 - L'Arc à Épièrre

X Y

CRS


Lambert 93


Submit Clear


Selection of the model

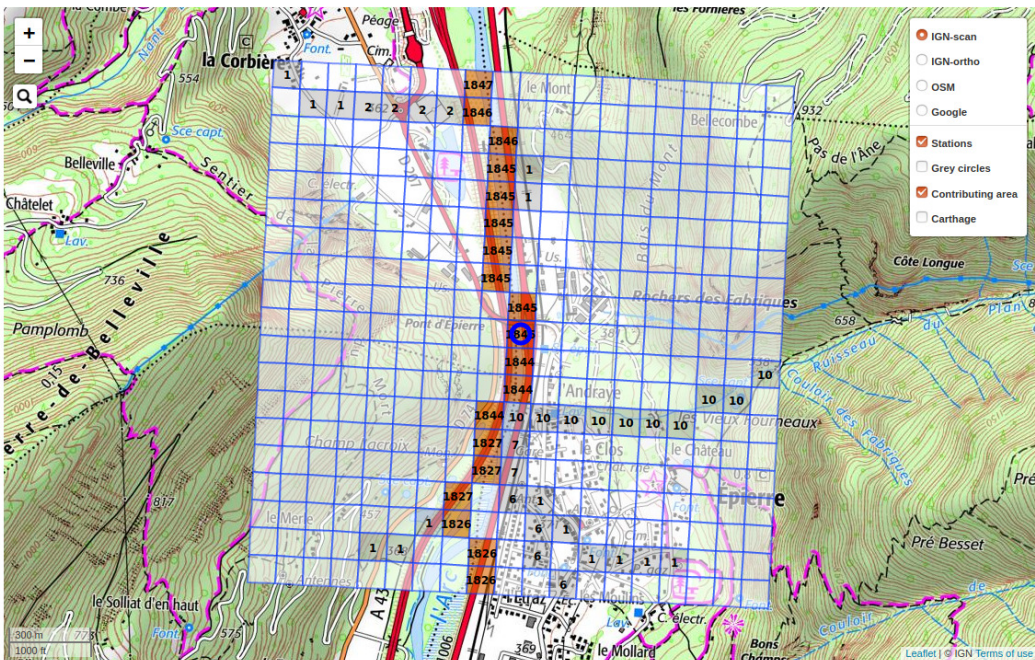
GR4J

Metadata links

 Banque Hydro

 INRAE

 Vigicrues



Map showing a watershed grid with elevation contours and a station location marked with a blue circle. The grid cells contain numerical values representing parameters for the GR model. The station is located at the outlet of the watershed, near the town of Épièrre.

- IGN-scan
- IGN-ortho
- OSM
- Google
- Stations
- Grey circles
- Contributing area
- Carthage

Parameter	Value
X1	403.78
X2	-0.61
X3	134.31
X4	2.13

Copy into clipboard Export to csv

basinSample

Sélection de bassins (critères hydro-climatiques et morphologiques)

Sunshine
basinSample

50 / 3632 (1.4 %)
Bassins versants

9 / 20 (45.0 %)
Références bibliographiques

Superficie [km²]
Altitude [m]
Pente [°]
Précip. moy. annuelles [mm/an]
Fraction solide des précip. [%]
Débit moyen [mm]]
Taux de lacune des débits [%]
Nb d'années de débits dispo. [-]
Stockage amont [m³]
Types d'influences

Carte

Liste des bassins versants

Code	Nom
O0105110	La Neste de Cap de Long à Aragouet [Les Edelweiss]
O1002510	L'Ariège à l'Hospitalet-près-l'Andorre [amont]
O1074320	L'Aston à Château-Verdun [Riète 1]
O1076010	Le Quioulès à Château-Verdun [Riète 2]
O1115010	L'Artigue à Auzat [Cibelle]
P0000010	La Dordogne à Mont-Dore [Piste de ski]
Q0015010	L'Adour du Tourmalet à Bagnères-de-Bigorre [La Mongie]
W0000010	L'Isère à Val-d'Isère

Liste des références bibliographiques

Auteur	Année	Pas de temps
GUINTOLI	2012	J
KOCHANEK	2014	J
LEBECHEREL	2015	J
PONCELET	2016	J
RANDRIANASOLO	2012	J
RIBOUST	2018	J
SANTOS	2018	J
TERRIER	2019	J

Superficie [km²]
Altitude [m]
Pente [°]
Précip. moy. annuelles [mm/an]
Fraction solide des précip. [%]

PREMHYCE

Plateforme de prévision des étiages par modélisation hydrologique

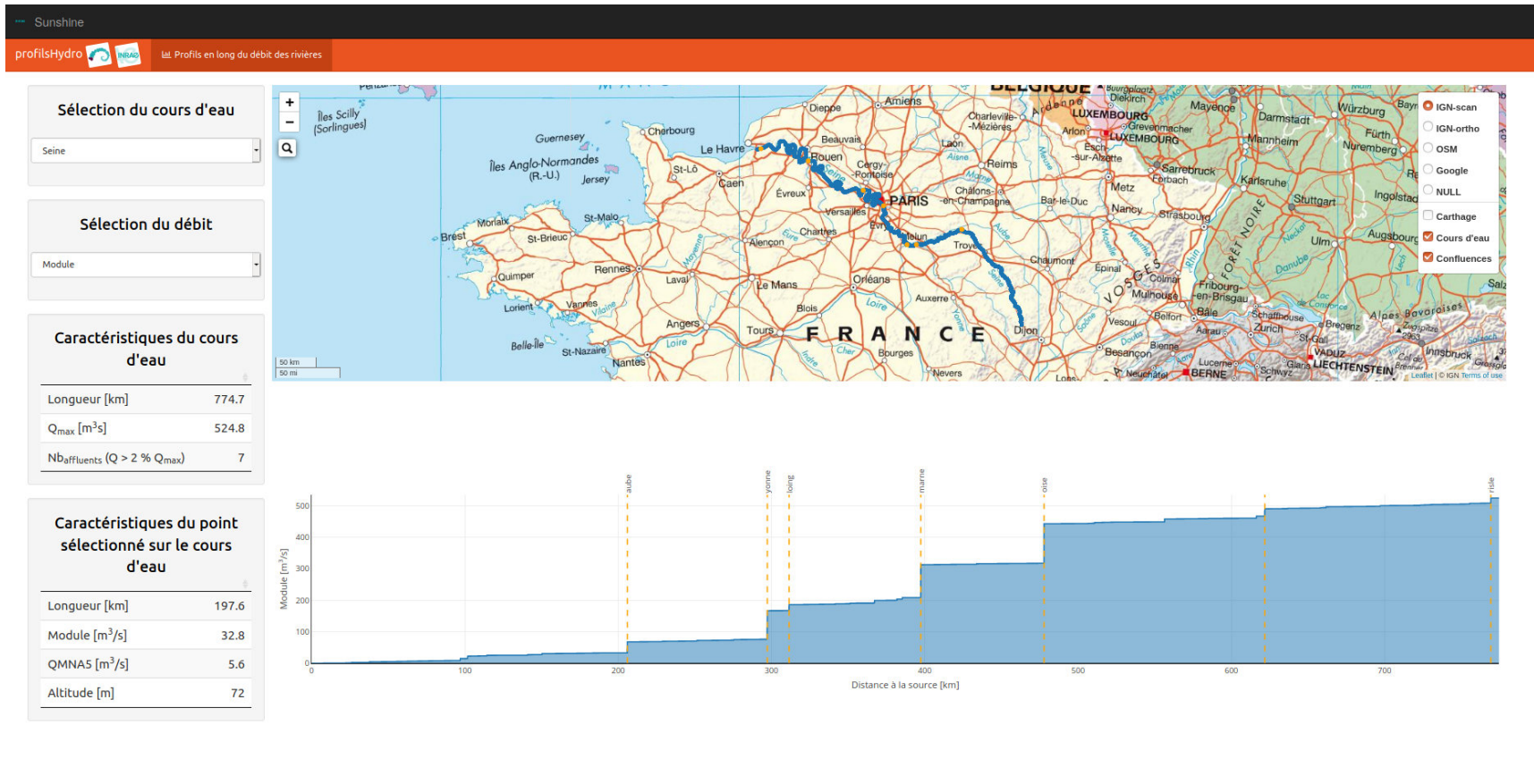
The screenshot displays the PREMHYCE web application interface. The top navigation bar includes the logo and logos of partner organizations (Végé, EDF, brgm, LOTERR, OFB). The main content area features a map of France with numerous hydrological stations marked by colored dots. A legend on the right side of the map indicates the vigilance levels: Bon (blue), Vigilance (yellow), Alerte (orange), Alerte Renforcée (red), and Crise (dark red). A pop-up window for station Y0436420 (Le Cady à Villefranche-de-Conflent) shows its current vigilance level as 'Bon' and other details. The left sidebar contains navigation and configuration options, including 'Choix du gestionnaire' (France entière), 'Seuils de vigilance', 'Type de prévision' (CEP, HIST_SAF, PO), 'Choix du modèle' (Gardenia, GR6J, MORDOR-EDF, Presages, MultiMod, SIM), and 'Échéance de prévision (jours)'. The right sidebar displays a table of station data and a list of model configurations.

Code	Nom	Gestionnaire
Y0105210	La Baillaury à Banyuls-sur-Mer	France entière
Y0115410	La Massane à Argeles-sur-Mer [Mas d'en Tourens]	France entière
Y0204010	Le Tech à Prats-de-Mollo-la-Preste [La Preste]	France entière
Y0245210	Le Mondony à Amélie-les-Bains-Palalda	France entière
Y0254050	Le Tech [total] à Reynès [Saint-Paul-sur-Tech]	France entière
Y0255020	L'Ample à Reynès [Le Vila]	France entière
Y0325010	La Canterrane à Terrats [Moulin d'en Canterrane]	France entière
Y0436420	Le Cady à Villefranche-de-Conflent	France entière

Gardenia CEP Y0436420	Gardenia Hist. Safran Y0436420
GR6J CEP Y0436420	GR6J Hist. Safran Y0436420
Mordor-EDF CEP Y0436420	Mordor-EDF Hist. Safran Y0436420
Presages CEP Y0436420	Presages Hist. Safran Y0436420
SIM CEP Y0436420	SIM Hist. Safran Y0436420
Multi-Modeles CEP Y0436420	Multi-Modeles Hist. Safran Y0436420

profilsHydro

Cartographie des profils en long du débit des cours d'eau français



Merci de votre attention

webGR.inrae.fr

