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-03288014v1

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

HYDRO

L’hydrologie à l’INRAE

INRAE

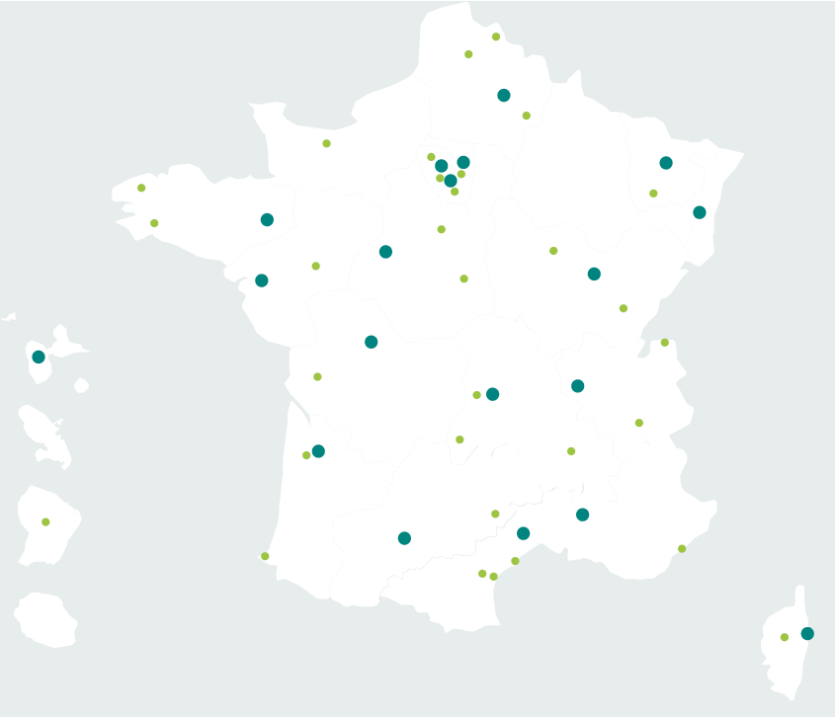
L'institut

- 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

- Prévision 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-Procence & Antony)
  - biostatistique
- 8 ans en hydrologie (Antony)
  - développement de logiciels
  - gestion de bases de données
  - géomatique

Modélisation hydrologique des bassins versants

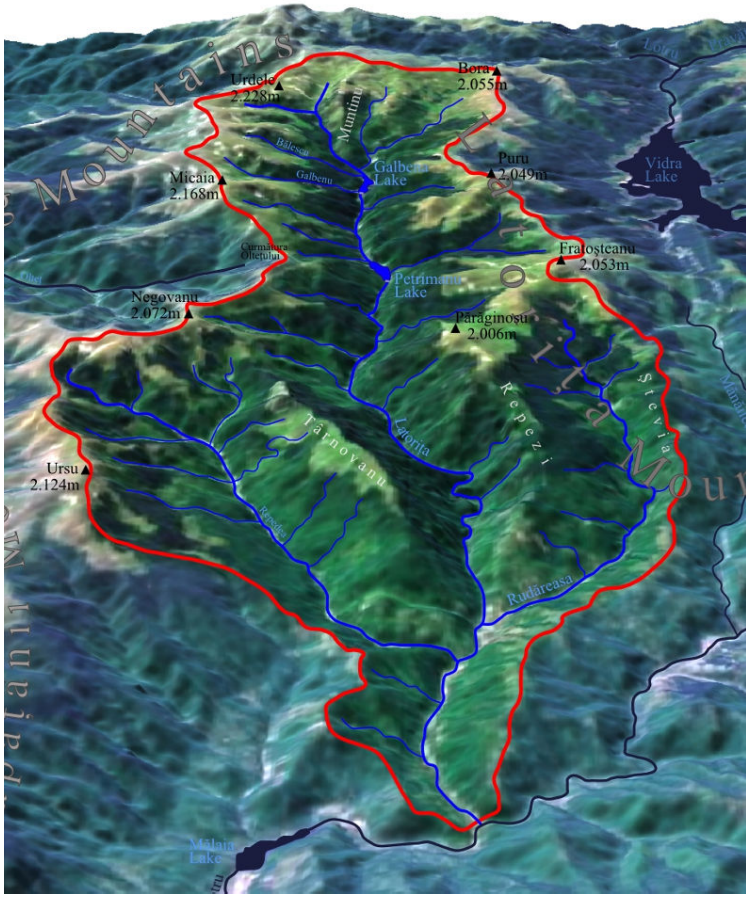
Qu'est-ce qu'un bassin versant ?

Définition

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

Propriété

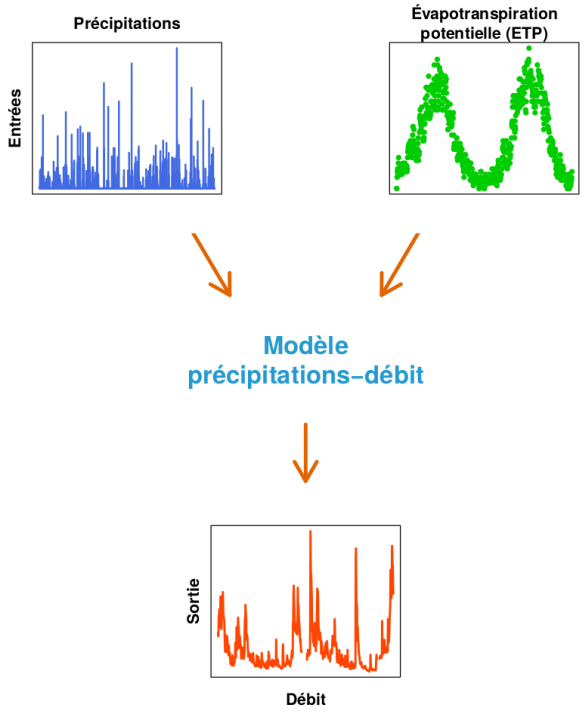
- Définissable en tout point d'un cours d'eau
- Ensemble des surfaces drainées par le réseau hydrographique situé en amont du point considéré



Qu'est-ce qu'un modèle ?

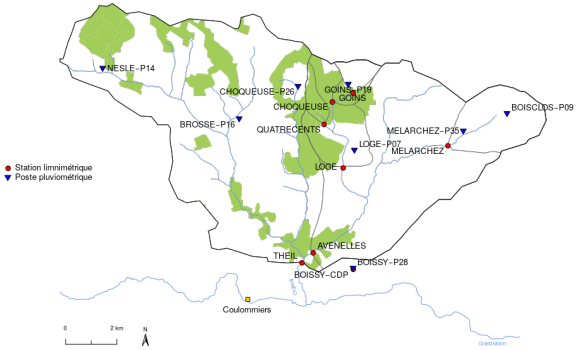
Définition

- **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**

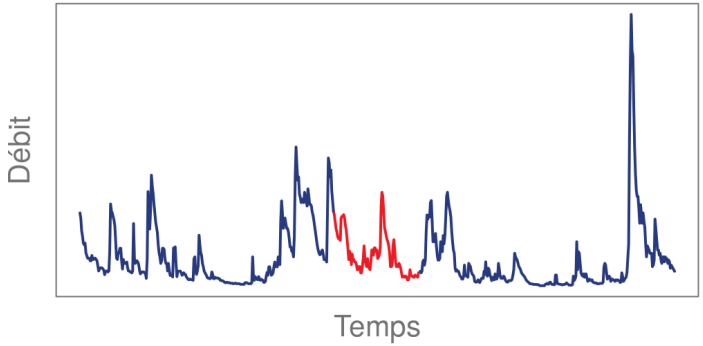


Modèles hydrologiques

Applications de modèles précipitations–débit

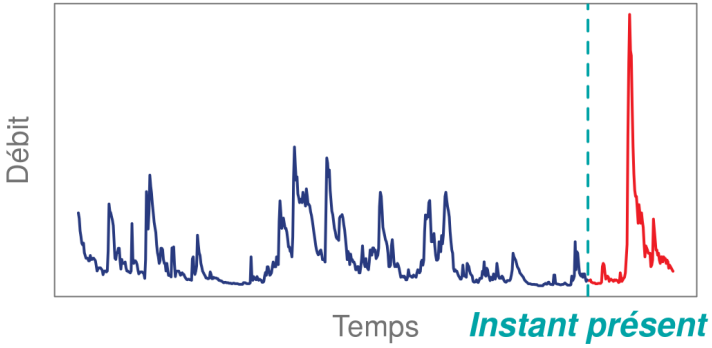
Reconstitution

Combler les lacunes existant
dans une série chronologique de débits



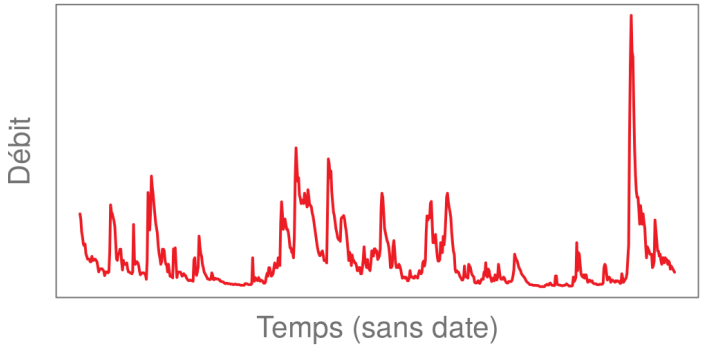
Prévision

Évolution future du débit
évoluant dans le temps



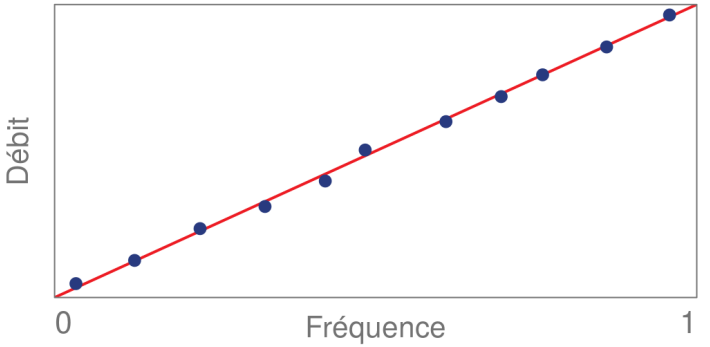
Simulation

Générer une chronique fictive de débits



Prédétermination

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

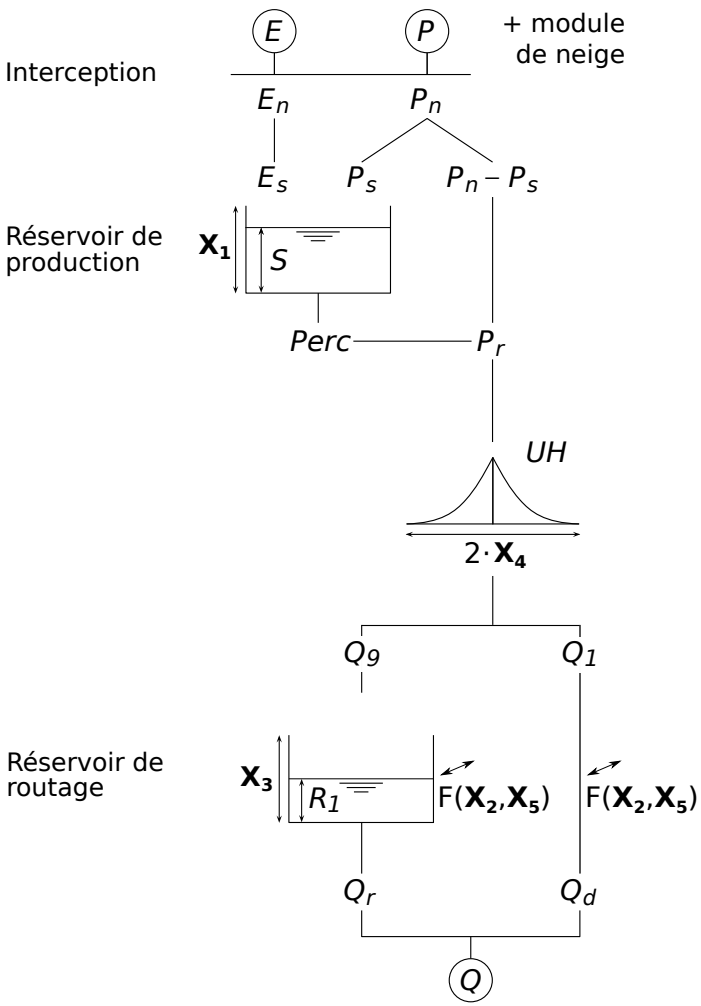


Quelques types de modèles hydrologiques

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 [-]

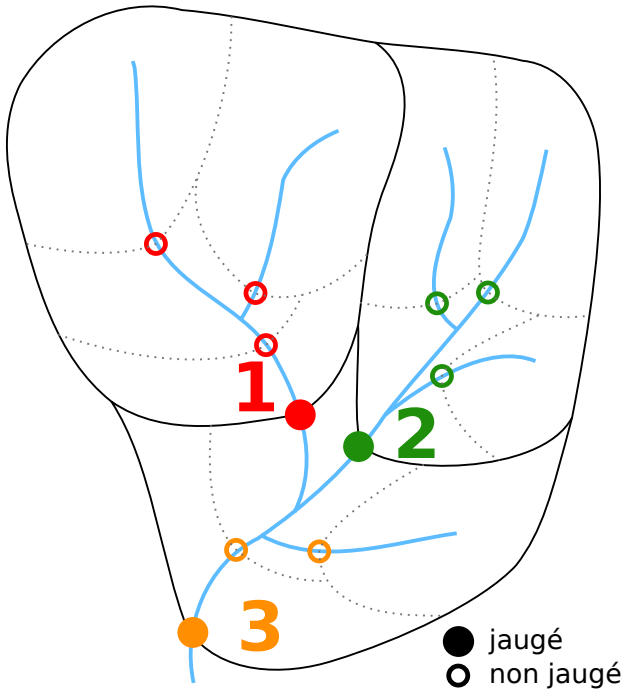
Module de neige

- répartitions des précipitations (liquides + solides)

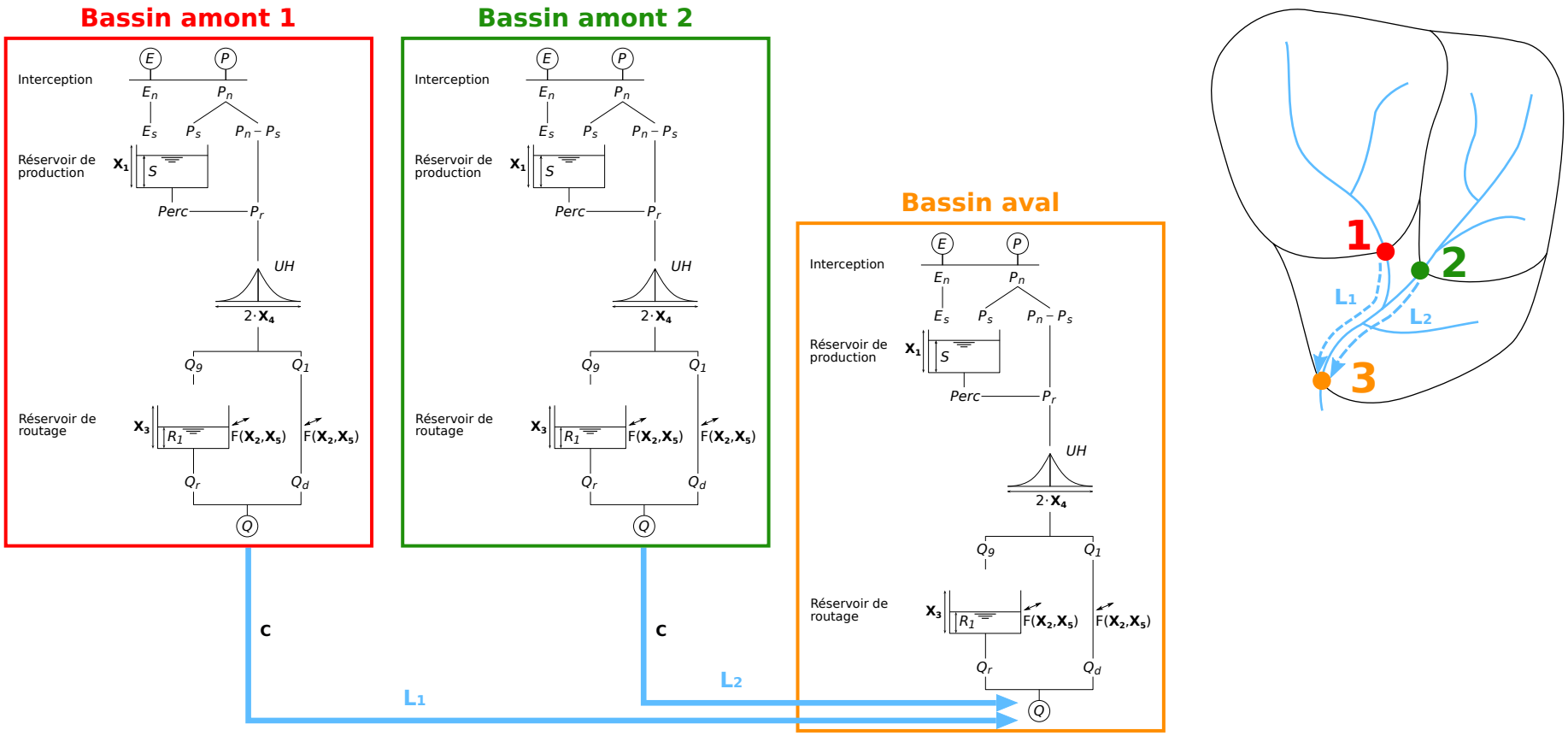
Modèle conceptuel spatialement distribué GRSD

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)



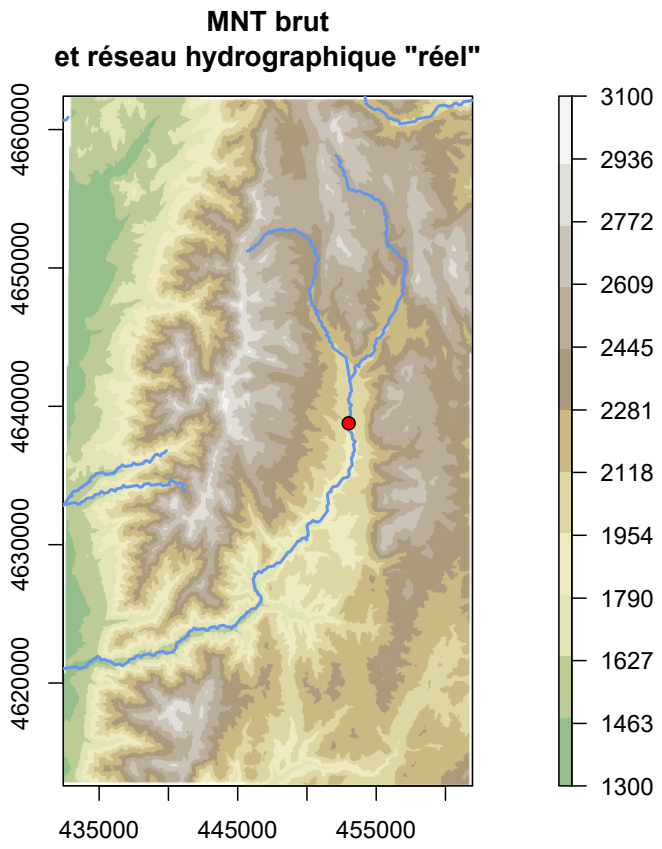
Modèle conceptuel spatialement distribué GRSD



Données nécessaires à la modélisation

Informations géographiques disponibles :

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



Données nécessaires à la modélisation

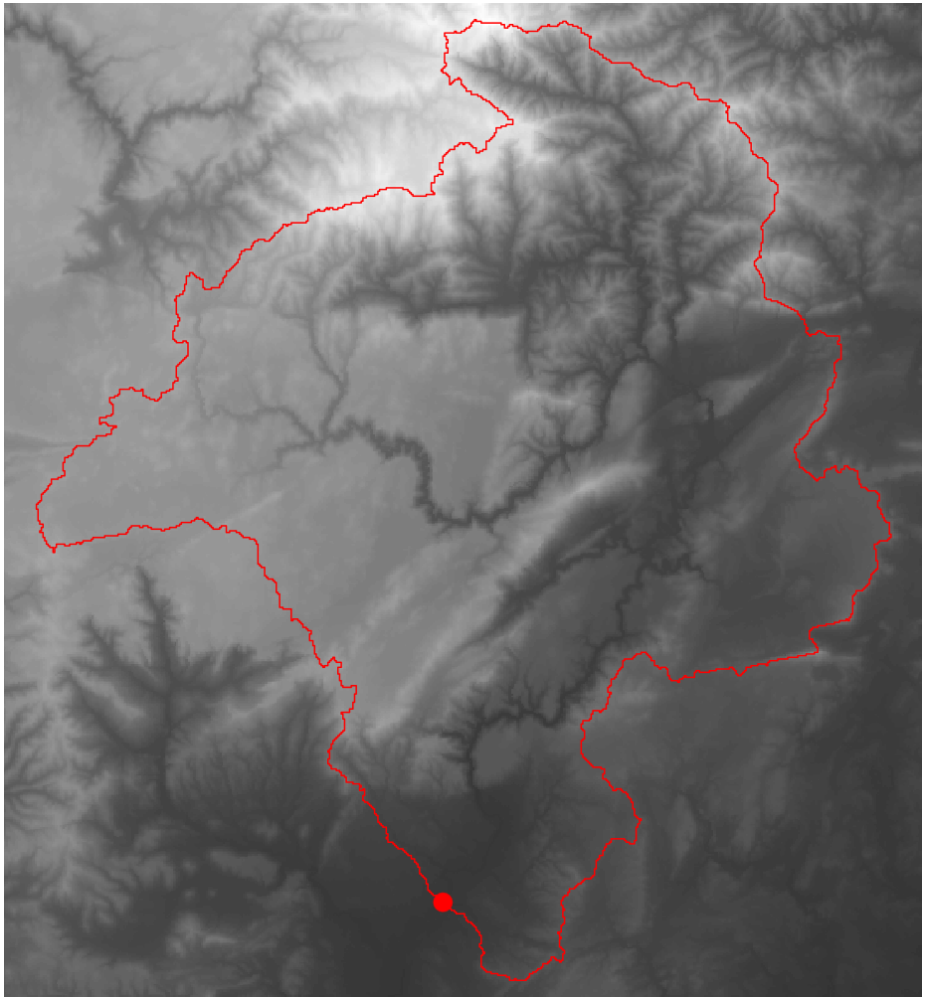
Pour modéliser les débits, il est nécessaire de disposer :

- 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

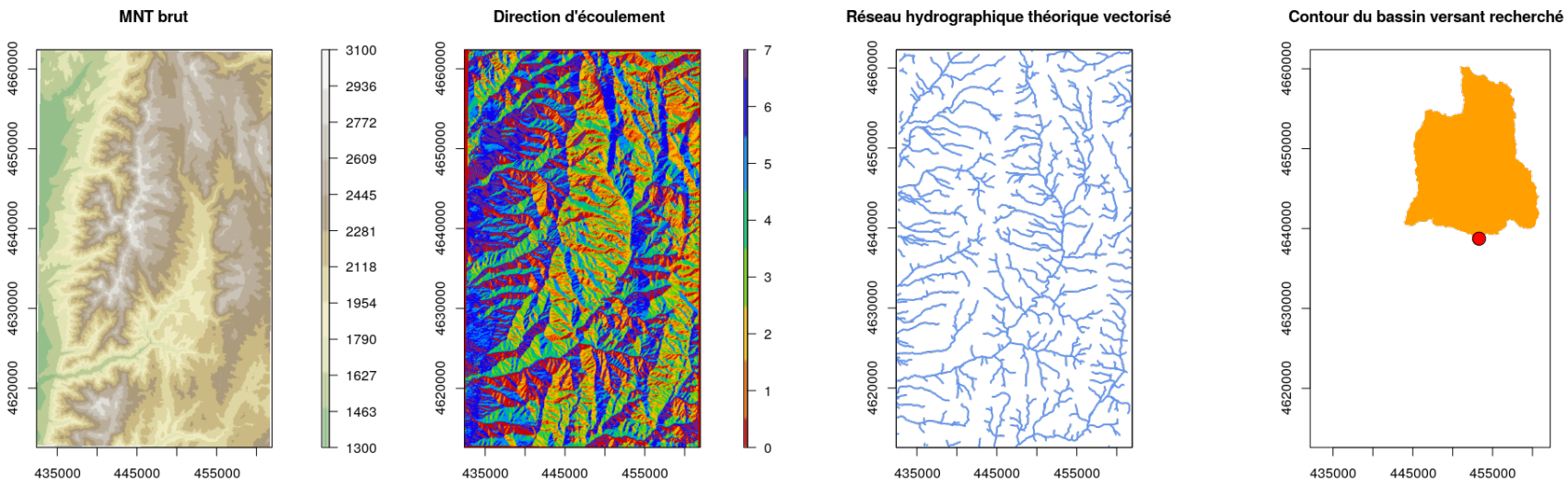


modèle numérique de terrain

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

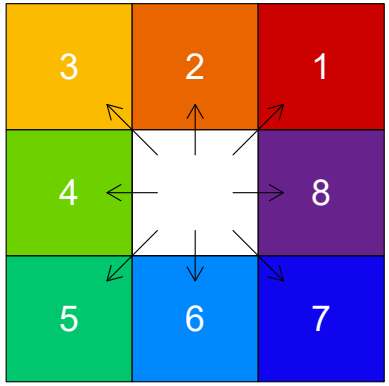
Cas général du calcul de la grille de directions d'écoulement

- 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

élévations



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

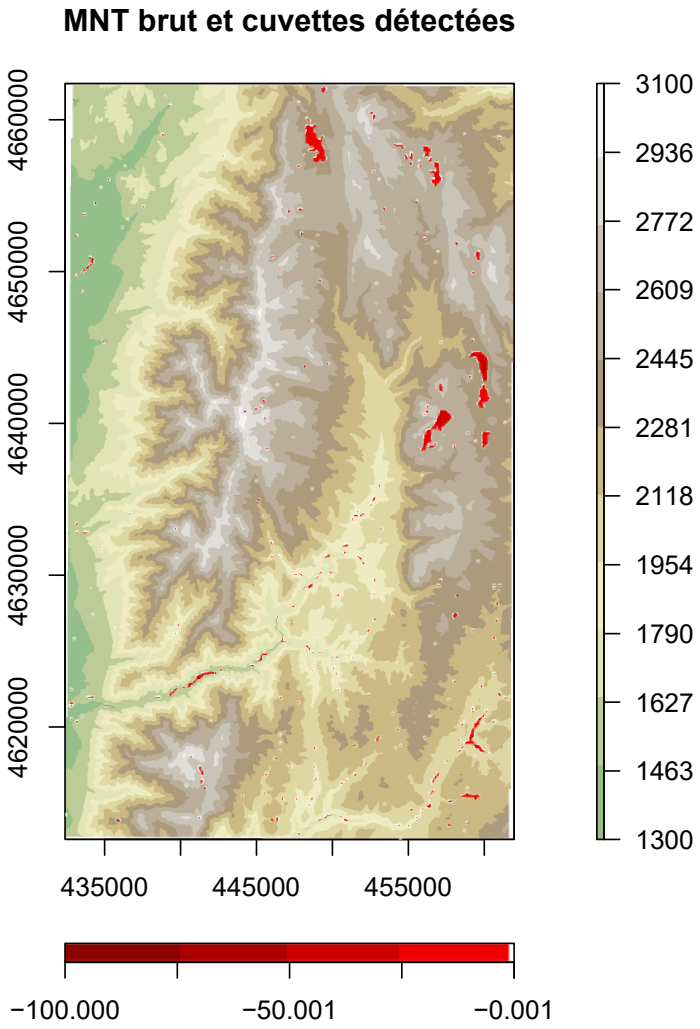
Correction du fichier d'élévation

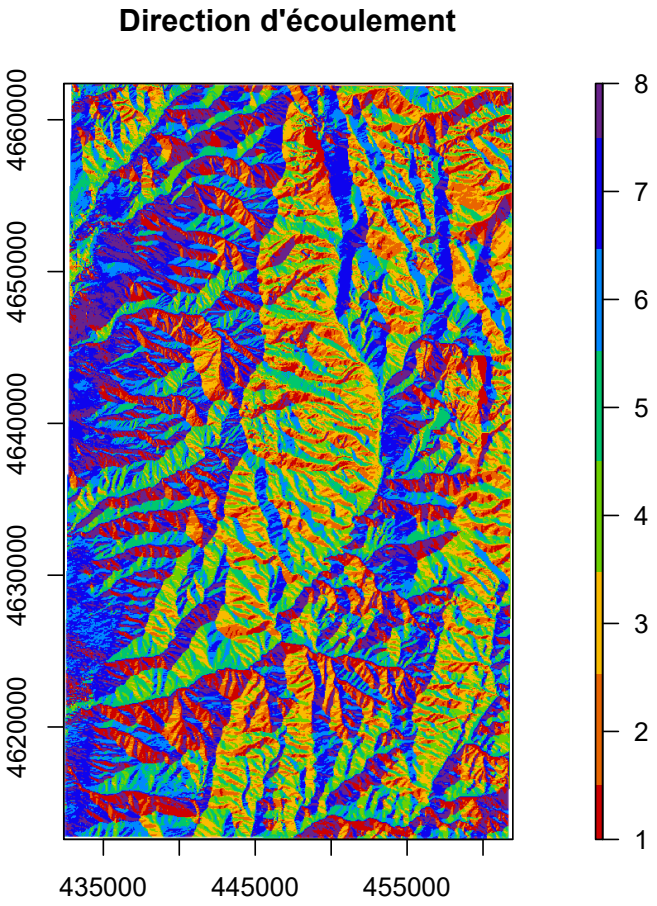
1. Premier parcours du MNT dans lequel on identifie les pixels n'ayant pas d'exutoire défini
2. Traitement des dépressions
3. Traitement des zones plates

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

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

Calcul de la grille de direction d'écoulement





Correction du MNT sous contraintes de données vectorielles

Surcreusement du MNT

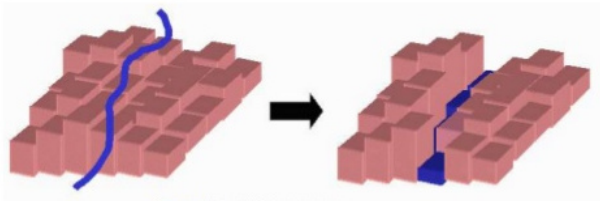
- Technique consistant à “graver” le MNT en abaissant artificiellement l’altitude des pixels appartenant au réseau vectoriel observé

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

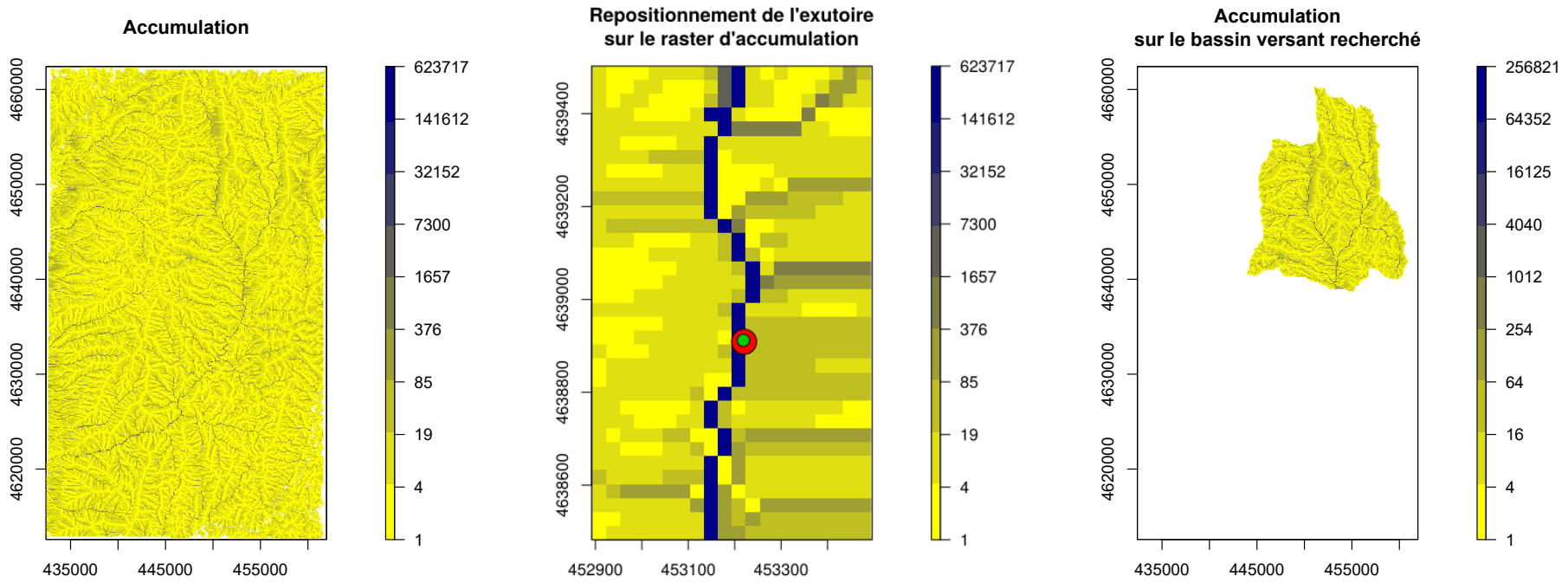
- Absence de bras secondaire (pas d’île)
- Absence d’arc déconnecté du réseau



Replacement des stations sur le réseau théorique

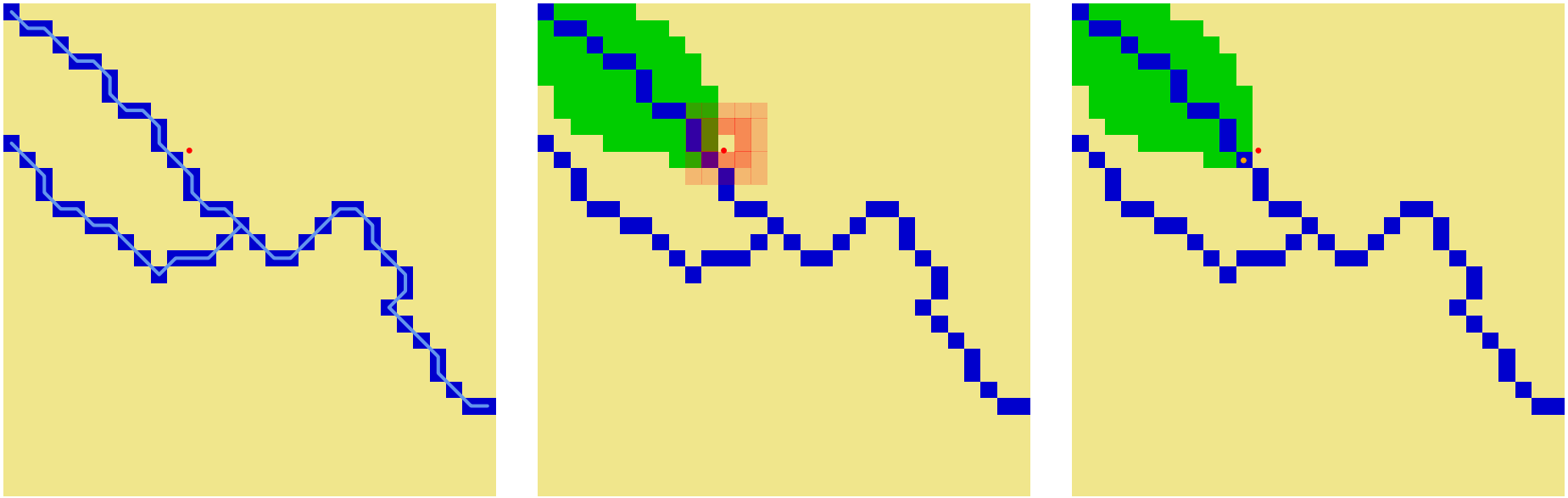
Les coordonnées de stations n'ont pas de raison de se trouver précisément sur le réseau hydrographique théorique

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



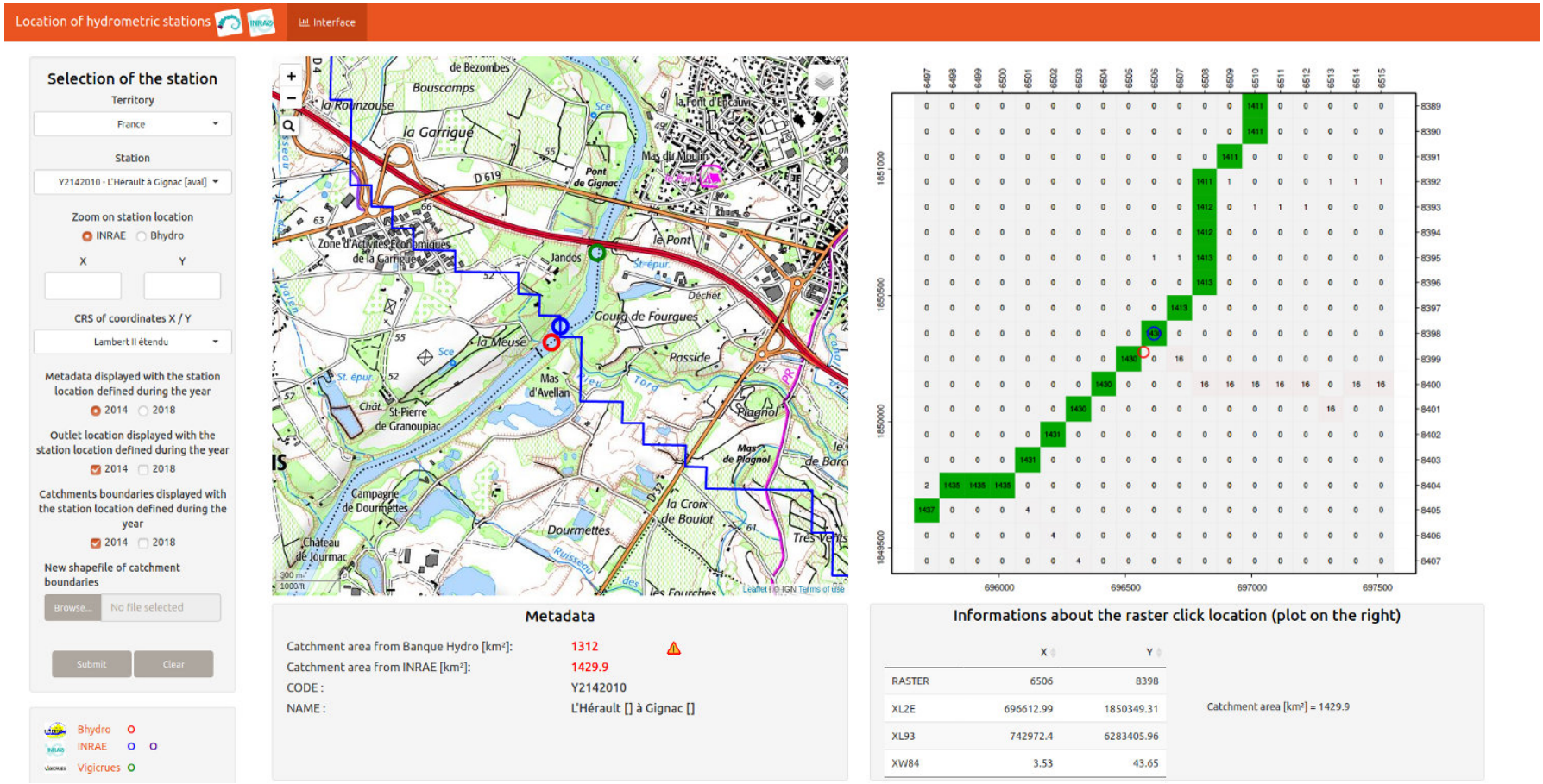
Replacement des stations sur le réseau théorique

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

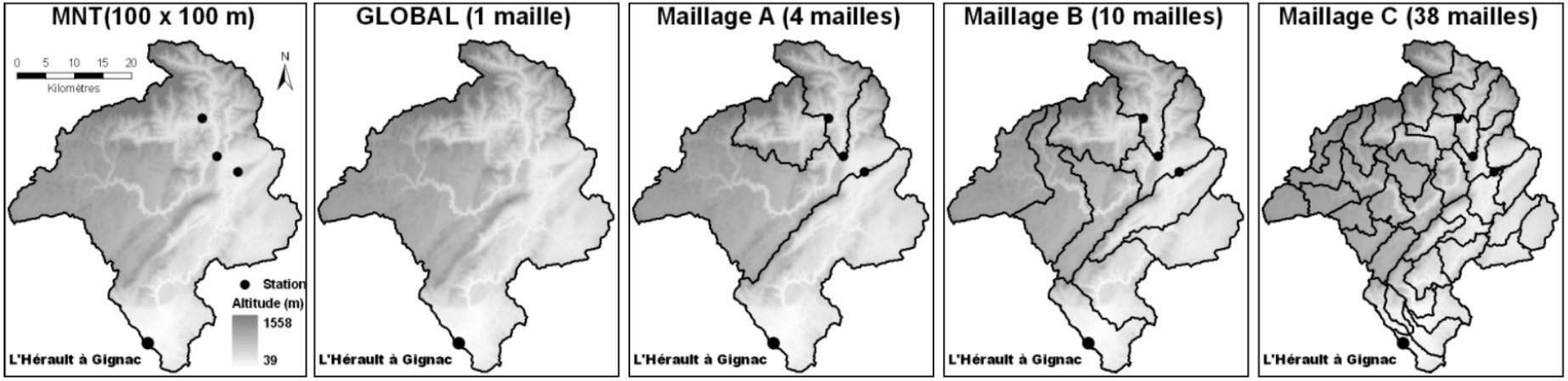


Replacement des stations sur le réseau théorique

Vérification visuelle



Discrétisation spatiale du bassin versant



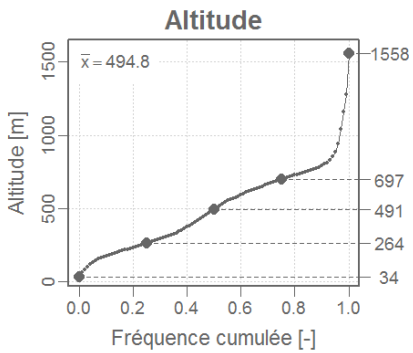
Discrétisation en sous-bassins dont la taille dépend :

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

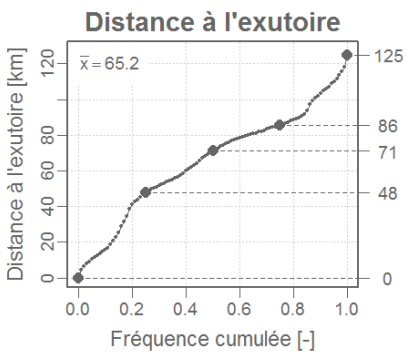
Calcul des variables sur le bassin versant

Données morphologiques

- courbes hypsométriques

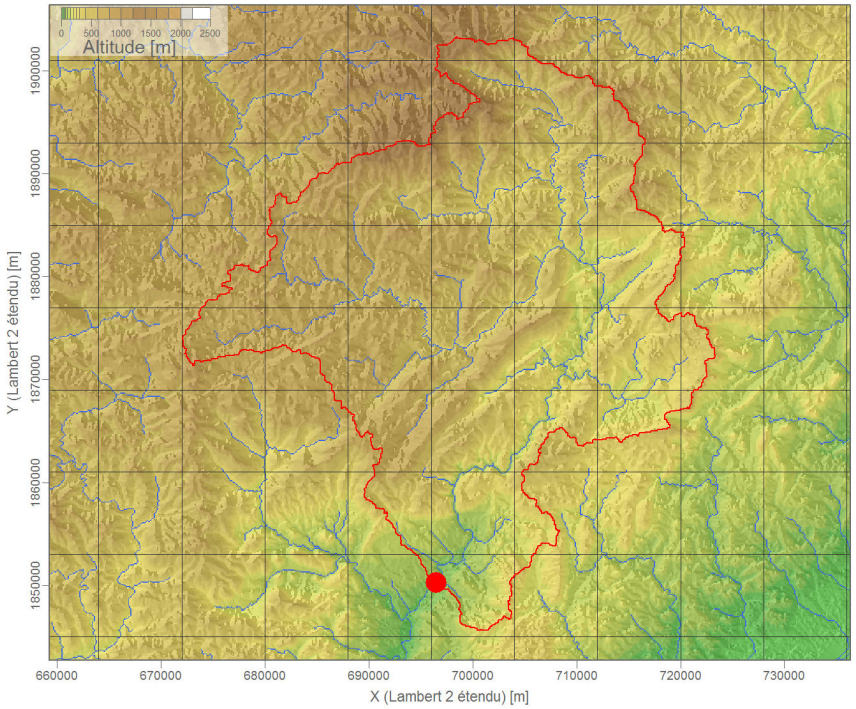


- longueurs hydrauliques



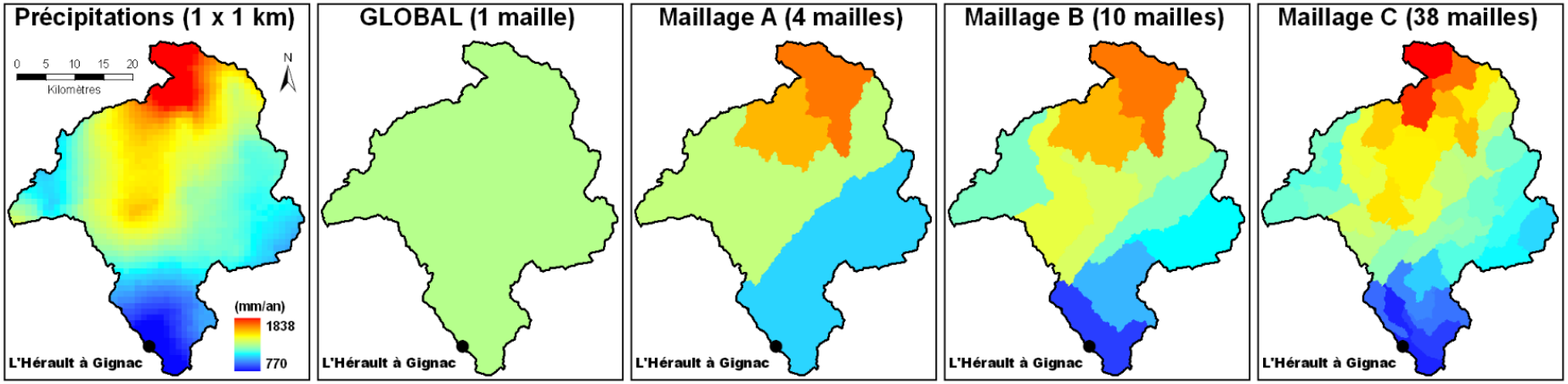
Donnés climatiques

- proportions de pixels du raster qui intersectent le bassin versant

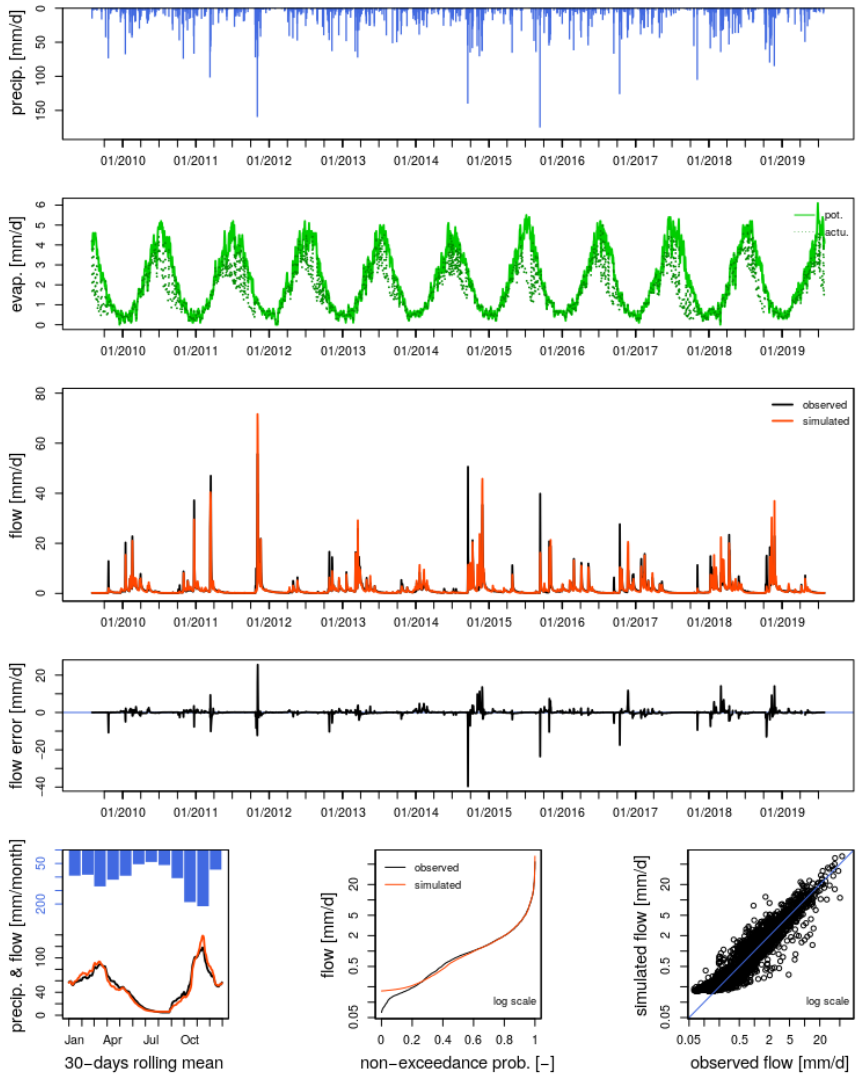


Calcul des variables sur le bassin versant

Précipitations pour différents maillages de sous-bassins

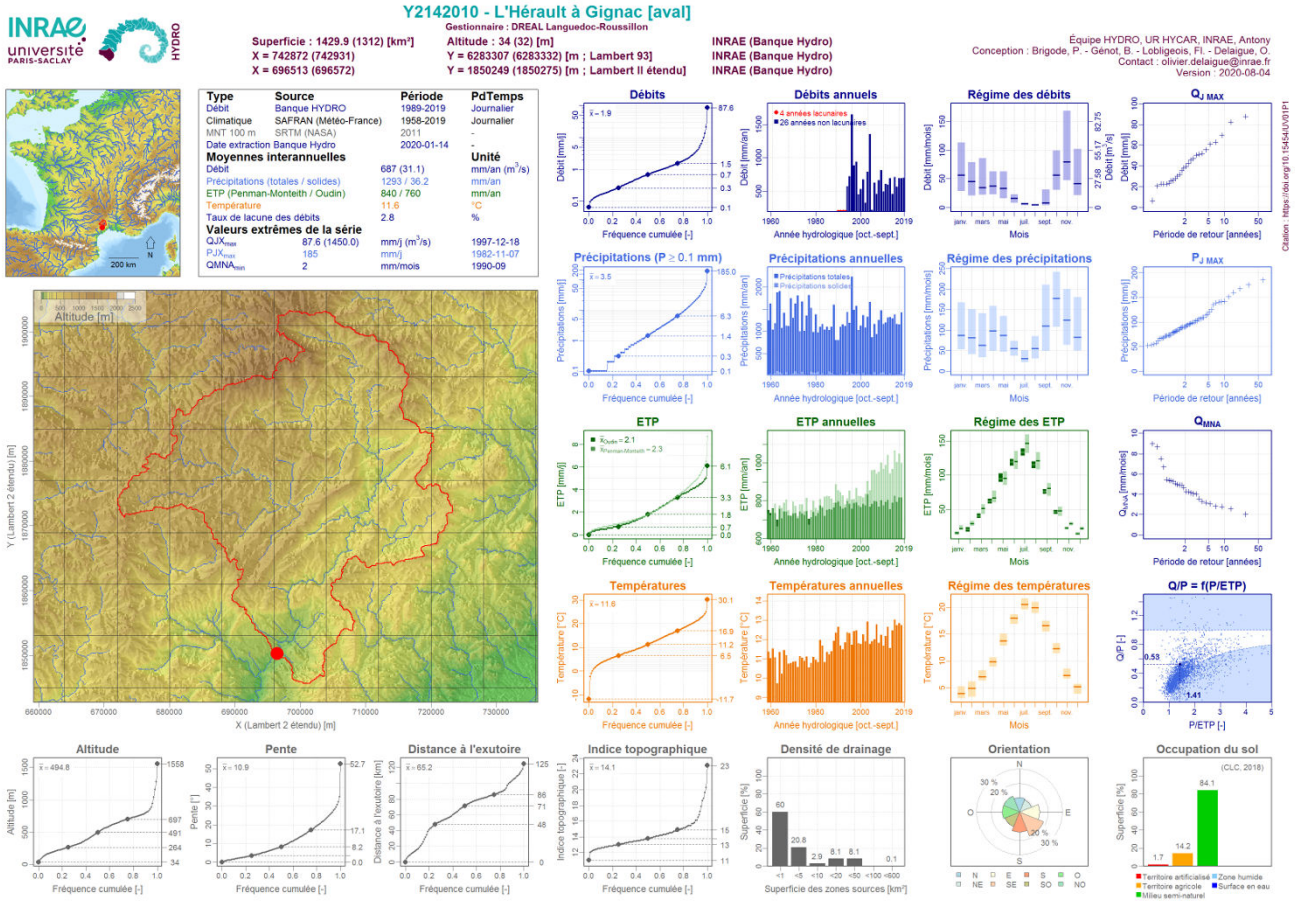


Résultats de la modélisation hydrologique



Fiches de synthèse graphique

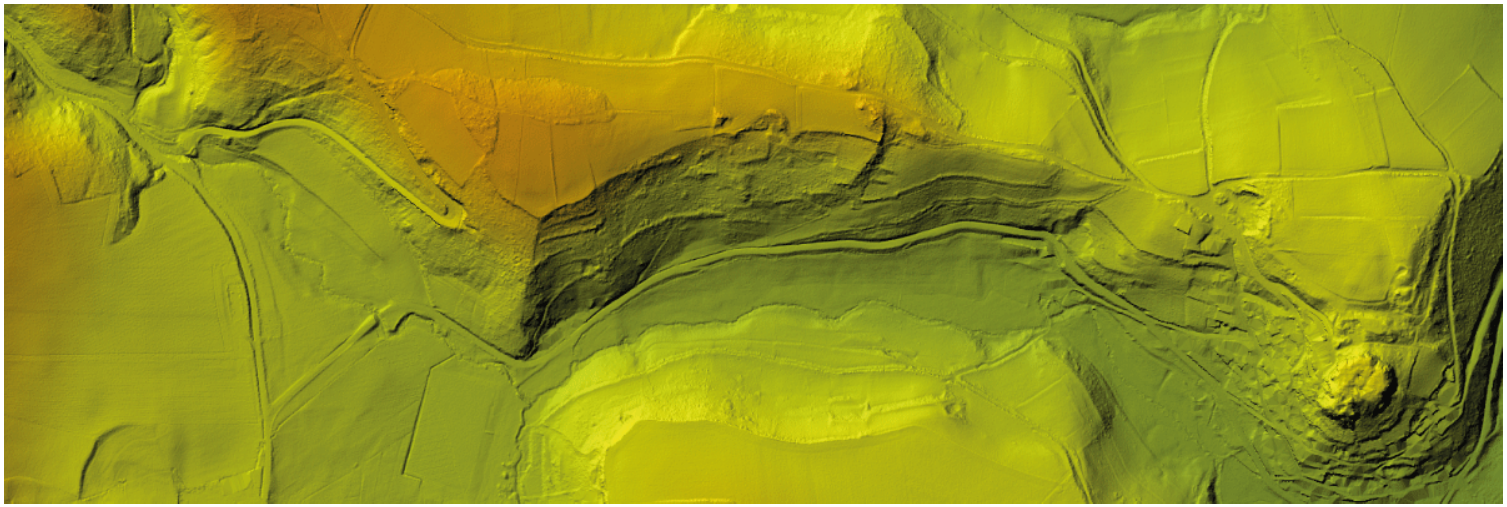
Fiches générées pour plus de 4 000 stations de France métropolitaine



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)

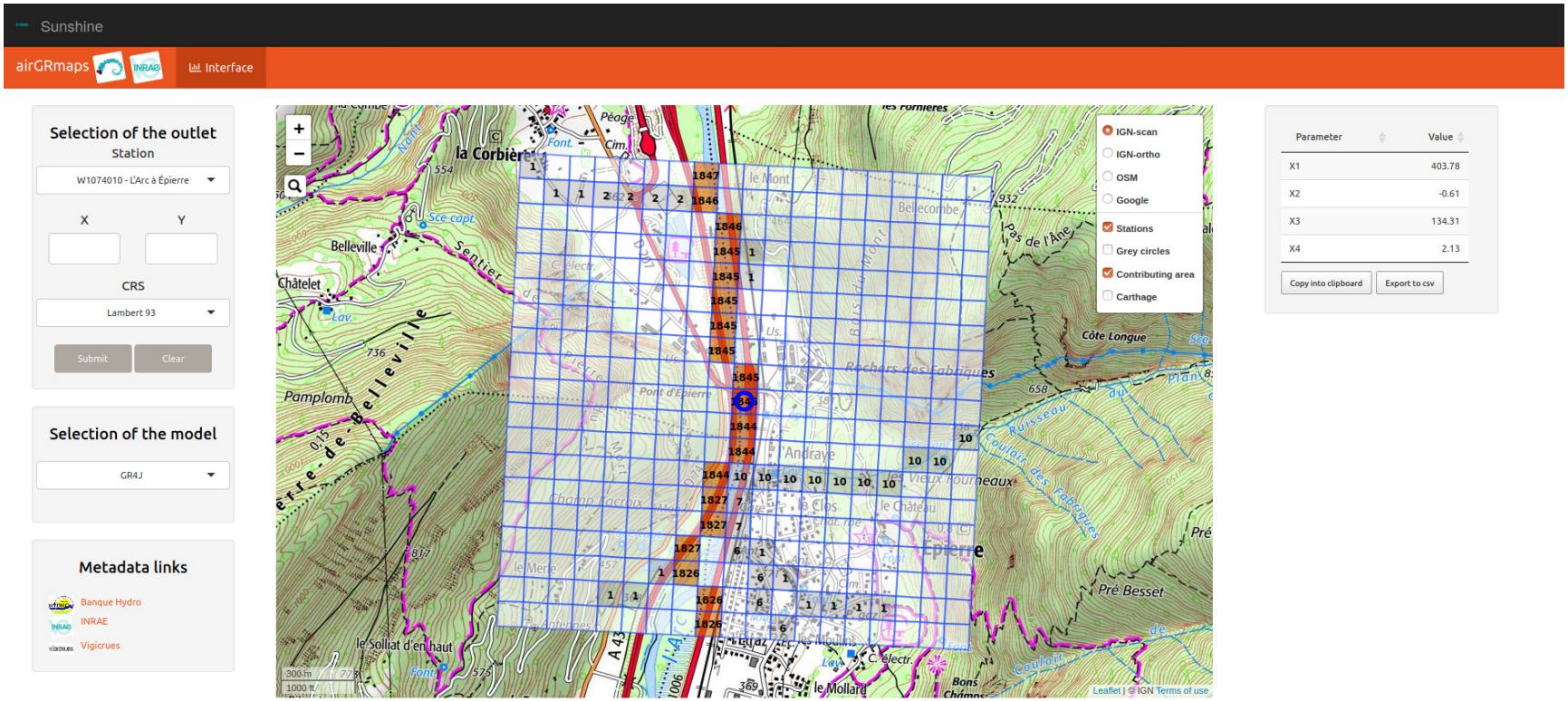
Logiciels ou bibliothèques appelés en lignes de commande

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

Développement d’applications pour le Web

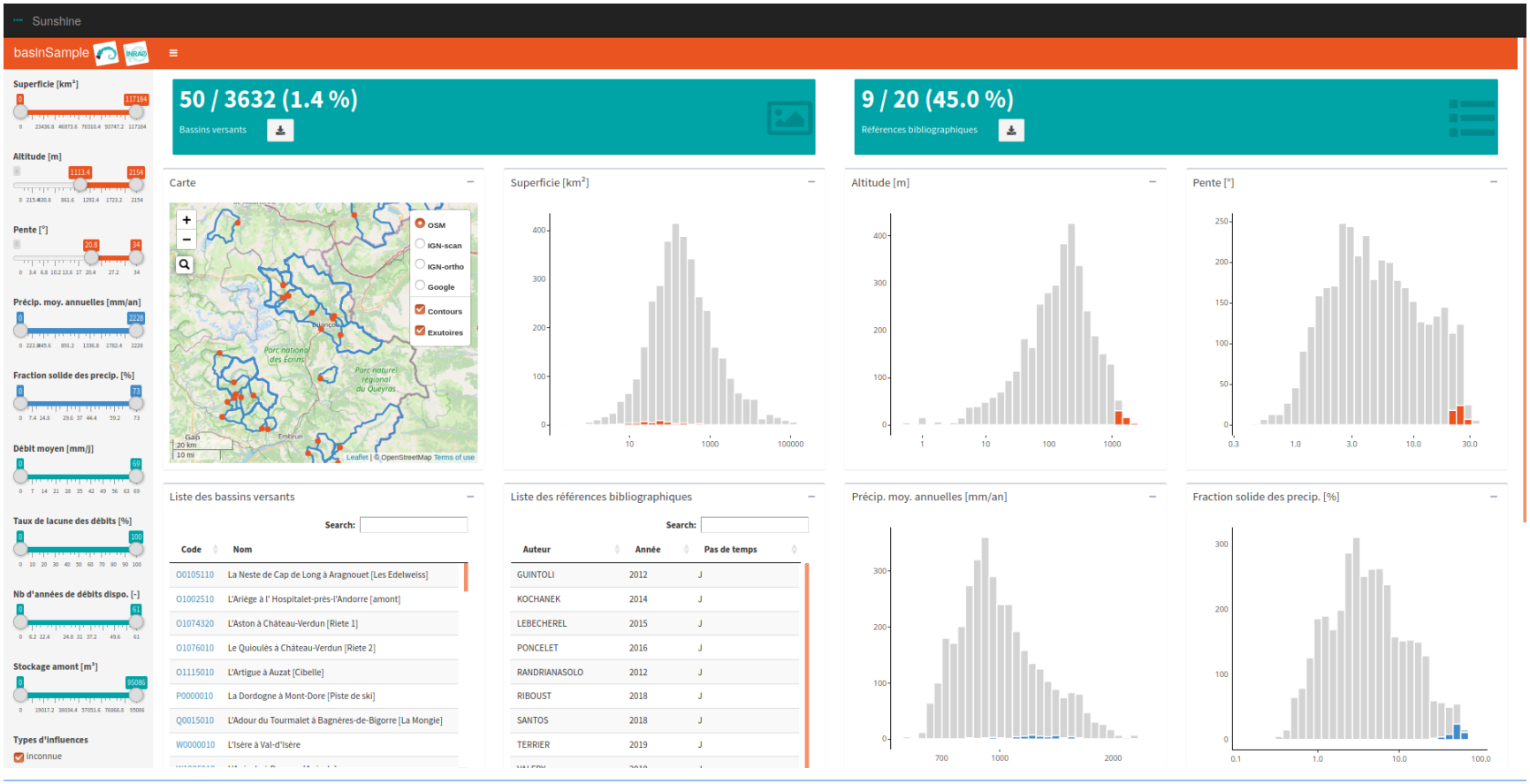
airGRmaps

Cartographie des paramètres des modèles GR (bassins non jaugés)



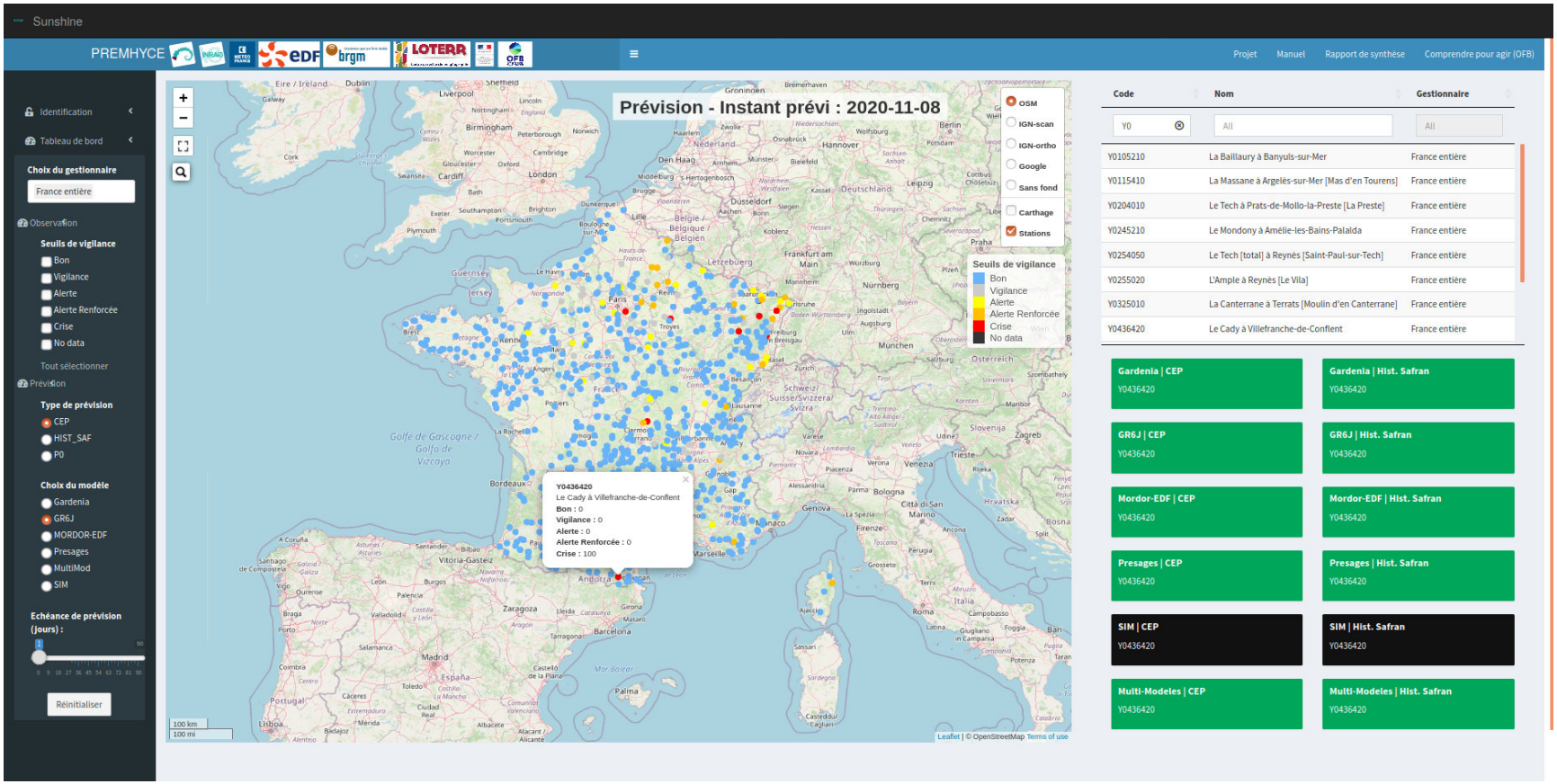
basinSample

Sélection de bassins (critères hydro-climatiques et morphologiques)



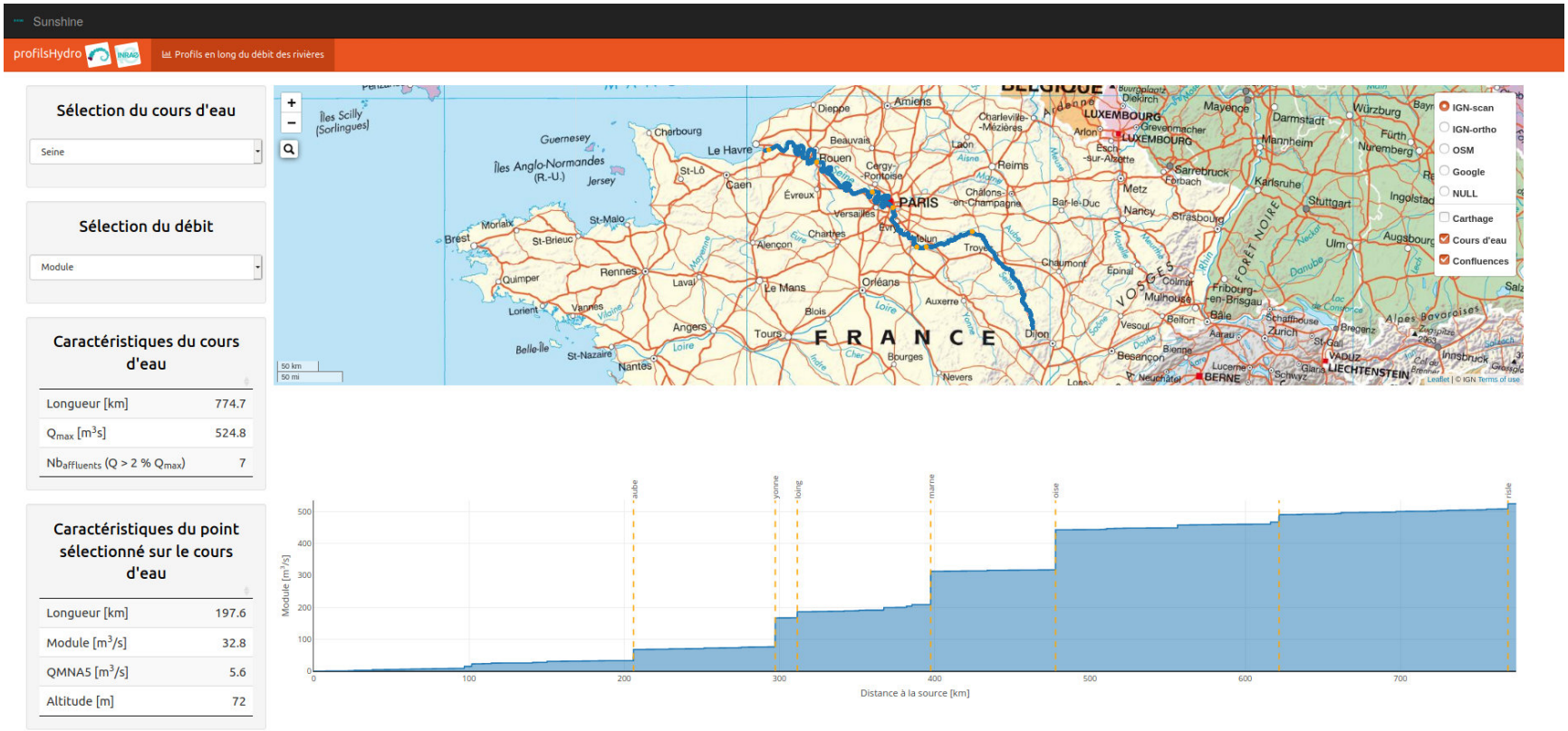
PREMHYCE

Plateforme de prévision des étiages par modélisation hydrologique



profilsHydro

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



Merci de votre attention

webGR.inrae.fr