

# Description des caractéristiques morphologiques, climatiques et hydrologiques de 3728 bassins versants français.

Delaigue, O., Génot, B., Lebecherel, L., Brigode, P., Bourgin, P.Y.

23 avril 2020

**Contributeurs :**

Andréassian Vazken  
Bourgin Pierre-Yves  
Brigode Pierre  
Coron Laurent  
Delaigue Olivier  
Génot Benoît  
Khalifa Abderrahmen  
Lebecherel Laure  
Le Moine Nicolas  
Lobligeois Florent  
Perrin Charles  
Peschard Julien  
Ramos Helena

# Table des matières

<b>Résumé</b>	<b>1</b>
<b>Introduction</b>	<b>2</b>
<b>1 Construire une grille de direction des écoulements pour définir les bassins versants à l'échelle de la France</b>	<b>2</b>
1.1 Du modèle numérique de terrain à la grille de direction d'écoulement . . . . .	2
1.2 Correction du MNT sous contraintes de données vectorielles . . . . .	5
1.3 Remplacement des stations hydrométriques sur la grille de direction d'écoulement . . . . .	6
1.4 Traçage du contour des bassins versants . . . . .	7
<b>2 Extraction des caractéristiques des bassins versants</b>	<b>8</b>
2.1 Caractéristiques morphologiques issues d'une analyse du MNT . . . . .	8
2.2 Autres caractéristiques morphologiques . . . . .	10
2.3 Caractéristiques climatiques . . . . .	13
<b>3 Traitement des données de débit</b>	<b>18</b>
3.1 Métadonnées de BD_HYDRO . . . . .	18
3.2 Détection des anomalies de traitement des données manquantes . . . . .	20
3.3 Evaluation de l'impact des barrages-réservoirs . . . . .	20
3.4 BD_HYDRO . . . . .	20
<b>4 Structure de la base de données</b>	<b>22</b>
<b>5 Volume de la base de données</b>	<b>25</b>
<b>Annexes</b>	<b>28</b>
<b>Foire aux questions</b>	<b>29</b>

## Résumé

Cette note est la documentation d'un chantier entrepris depuis 2010 par l'équipe d'hydrologie de INRAE Antony pour la constitution d'une vaste base de données hydro-climatique à l'échelle nationale. Réalisé en collaboration avec le SCHAPI et Météo-France, ce travail procure une ressource de qualité "clé en main" pour tous les acteurs de l'hydrologie. Près de 3728 bassins versants français sont décrits en termes de caractéristiques morphologiques, climatiques et hydrologiques. Ce travail s'est confronté à certaines difficultés et il convient ici de rappeler l'intérêt que INRAE porte à la refonte du référentiel hydrographique français (BD Carthage, BD TOPO), outil indispensable pour les études hydrologiques à l'échelle nationale.

## Introduction – Source des données

Dans l'unité HYCAR de INRAE Antony, les travaux en hydrologie portent sur la modélisation pluie-débit. Les modélisateurs manipulent donc au quotidien des bases de données hydro-climatiques qui alimentent les modèles et permettent de contrôler leurs résultats. La mise à disposition d'une vaste base de données hydro-climatique doit permettre aux membres permanents et non permanents de trouver rapidement la "matière première" dont ils ont besoin pour leurs travaux et de faciliter les échanges grâce au partage d'une même base de données.

Ce chantier a été initié en 2010 avec la collaboration des principaux producteurs de données hydro-métriques et météorologiques. Le ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer a permis la livraison des données hydrométriques de la Banque Hydro via son Service central d'hydrométéorologie et d'appui à la prévision des inondations (SCHAPI). Pour sa part, Météo-France a mis à disposition les données de réanalyses SAFRAN couvrant la France métropolitaine sur la période 1958-2019 (le contenu des bases de données sera explicité par la suite).

La base de données hydro-climatique s'organise en trois entités principales. La volonté de conserver des données « brutes » se traduit par la coexistence indépendante des données hydrométriques d'une part et des données météorologiques d'autre part. Enfin, l'association de ces deux entités est réalisée pour aboutir à une base de données hydro-climatique dont l'échelle de restitution est le bassin versant. Les fichiers permettent donc une utilisation immédiate à l'échelle du bassin versant.

## 1 Construire une grille de direction des écoulements pour définir les bassins versants à l'échelle de la France

L'analyse hydrologique nécessite d'associer aux mesures de débit ponctuelles (réalisées à l'exutoire d'un bassin versant), les mesures des forçages climatiques intégrées sur l'ensemble de la surface du bassin. Il faut donc pouvoir en tout point du réseau hydrographique identifier le bassin versant correspondant.

Pour cela, nous avons utilisé une grille de direction d'écoulement, c'est-à-dire une matrice résumant les relations topologiques pour l'ensemble de la France. Cette grille est bien entendu issue d'une analyse topographique. Nous présentons dans ce chapitre le passage du modèle numérique de terrain (MNT) à la grille de direction d'écoulement, puis l'obtention des contours d'un grand nombre de bassins versants français.

### 1.1 Du modèle numérique de terrain à la grille de direction d'écoulement

#### Cas général

Le calcul de la grille de directions d'écoulement (*flow direction grid*) consiste à choisir, pour chaque pixel, vers lequel de ses 8 voisins il s'écoule. Pour cela, on fait l'hypothèse que l'eau s'écoule selon la direction de plus grande pente donnée par le modèle numérique de terrain (MNT). Pour un pixel donné à l'altitude  $z_0$ , on sélectionne donc le pixel qui maximise :  $(z_0 - z_i)/d_i$  (si plusieurs solutions sont possibles, on tire au hasard ou, si l'on préfère une méthode déterministe, on choisit en fonction d'un ordre de parcours du cadran).

Dans l'exemple suivant, on cherche à affecter une direction d'écoulement au pixel central d'altitude  $z_0 = 60 \text{ m}$ . En notant  $a$  le pas du MNT, on a :

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

donc la direction d'écoulement doit être assignée vers l'un des pixels à  $z = 57 \text{ m}$  (SO ou SE).

67	65	63
61	60	59
57	58	57

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

**Figure 1** – Construction de la zone contributive du pixel « puits » encadré en rouge ( $z = 32\text{ m}$ ), par enveloppes successives (en nuances de bleu)

La façon de coder les directions d'écoulement varie selon les logiciels. Dans la suite ESRI (ArcView / ArcGis), la convention est la suivante (puissances de 2 en partant de l'azimuth Est et en parcourant le cadran dans le sens horaire) :

32	64	128
16		1
8	4	2

Le raster de direction d'écoulement (ou plan de drainage) utilisé au sein de l'équipe est appelé `France_100m_L2E_DF8.flt`. La façon de coder les directions d'écoulement dans ce raster est la suivante :

0	1	2
3		5
6	7	8

Un pixel ayant comme valeur 4 correspond à un pixel terminal, c'est-à-dire un pixel qui coule au-delà du bord du raster.

### Cas des « dépressions » ou « puits »

1. On construit de façon itérative la zone contributive au pixel « puits ». Chaque fois que l'on rencontre un pixel jouxtant la zone contributive et possédant l'un de ses 8 voisins situé dans la zone contributive et à une altitude inférieure ou égale à la sienne, ce pixel est inclus dans la zone contributive.
2. Une fois que la zone contributive est identifiée, on applique une procédure de type « remplissage jusqu'à débordement » (Figure 1) : on identifie l'altitude minimale jusqu'à laquelle il faut combler la dépression pour permettre l'écoulement (schéma de gauche). Dans des versions plus sophistiquées, on autorise symétriquement un « creusement » de certaines cellules de façon à modifier moins brutalement le MNT (voir par exemple Martz and Garbrecht 1996). La performance du traitement se mesure par la somme des volumes ajoutés ou enlevés au MNT).

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

**Figure 2** – Exemples de traitements de la zone contributive précédente. À gauche, un algorithme de « remplissage » - « débordement » classique (l'altitude de débordement est 36 m, tous les pixels de la zone contributive dont l'altitude est inférieure à cette valeur sont donc modifiés). À droite, un algorithme autorisant un « percement » sur une distance de 1 pixel (l'érosion du pixel marqué en vert de 36 à 34 m permet de limiter l'altitude de débordement à 34 m).

### Cas des zones plates

Une variante de la situation précédente est le cas où un pixel ne présente aucun pixel situé à une altitude strictement inférieure à la sienne, mais un ou plusieurs pixels situés à une altitude égale, constituant une zone plate. Ces zones peuvent être présentes initialement dans le MNT (typiquement dans les zones de faible pente comme les plaines alluviales, dans lesquelles la différence d'altitude entre 2 pixels est trop faible devant la résolution verticale du MNT, mais aussi au niveau des plans d'eau), mais elles sont aussi produites par le traitement des puits (cf. paragraphe précédent) : le comblement de la zone contributive d'une cellule puits crée, en contrepartie, une zone plate. Le traitement classique consiste à identifier les pixels de la zone plate qui ont au moins un voisin à une altitude strictement inférieure (en orange sur la Figure 3), puis à traiter itérativement les pixels voisins dans la zone plate en ajoutant des petits incréments d'altitude  $\epsilon$ .

Là encore, de nombreuses variantes existent. En particulier, suivant le même principe, il est possible de superposer à ce premier gradient croissant en s'éloignant des zones d'altitude inférieures (en orange), un second gradient décroissant en s'éloignant des zones d'altitude plus élevées (en bleu). Cela assure une meilleure convergence des écoulements et évite les effets d'écoulements « planaires » (filets parallèles, voir par exemple l'algorithme de Garbretch and Martz 1997).

### Finalisation de la grille de direction d'écoulement

Le calcul de la grille de direction d'écoulement se fait donc en 3 étapes :

1. Premier parcours du MNT dans lequel on identifie les pixels n'ayant pas d'exutoire défini (pixels « puits » ou « plats »)
2. Traitement des pixels « puits » (en général, la construction d'une zone contributive englobe plusieurs pixels marqués comme « puits » ou « plats » à l'étape 1)
3. Traitement des zones plates

Il est important de noter que les traitements effectués (dont la finalité, rappelons-le, est de pouvoir assigner des directions locales d'écoulement) modifient fortement les données brutes du MNT. En conséquence, il ne faut absolument pas les voir comme des outils de « réparation » du MNT : il s'agit bien plutôt de le brutaliser ! En particulier, le calcul de grandeurs de pente le long des drains est souvent très affecté par ces traitements et, si l'on souhaite calculer des indices morphologiques (pente, distribution d'indice

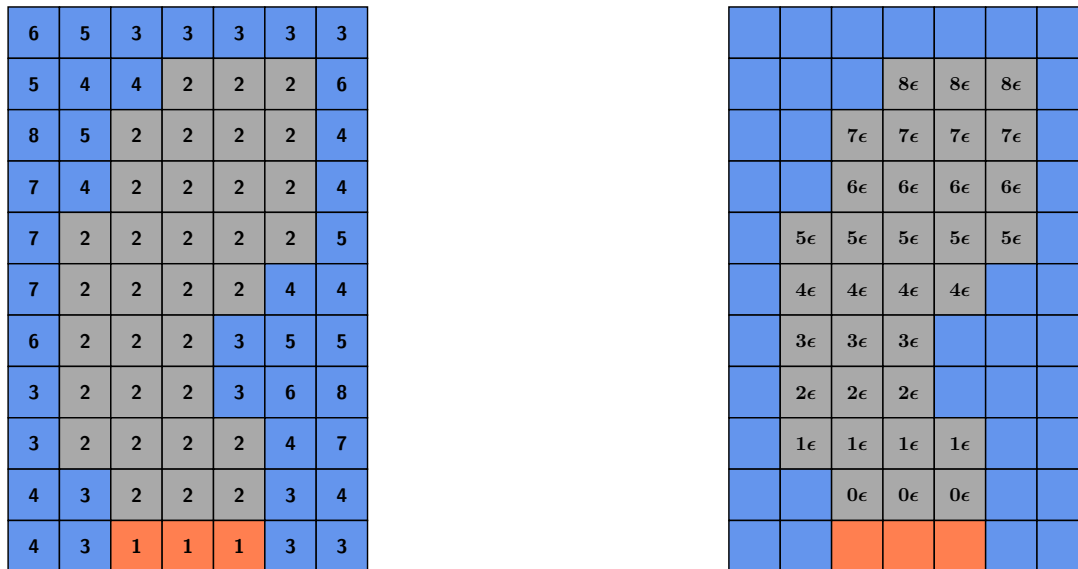


Figure 3 – Identification des pixels d'une zone plate

topographique, courbe hypsométrique, etc.), il vaut bien mieux utiliser le MNT initial conjointement avec la grille de direction d'écoulement obtenue.

## 1.2 Correction du MNT sous contraintes de données vectorielles

Les traitements décrits dans la partie précédente se basent uniquement sur les données MNT (raster). Cependant, on dispose souvent de données complémentaires pour définir les axes de drainage, comme par exemple des données vectorielles décrivant le réseau hydrographique jusqu'à un chevelu plus ou moins précis. Deux cas de figure se présentent alors, selon que ces données vectorielles possèdent ou non une topologie adéquate (orientation amont-aval et chainage des tronçons).

### Correction du MNT sous contrainte d'un réseau vectoriel avec topologie

Dans le cas où les tronçons de la couche vecteur possèdent une topologie adéquate, il est possible d'en faire un ensemble d'arbres, c'est-à-dire de graphes orientés (via la relation amont-aval) et acycliques (la topologie permettant de ne conserver qu'un drain principal entre 2 nœuds) ayant les racines aux exutoires côtiers finaux. Chacun de ses arbres peut alors être parcouru récursivement et les altitudes reclassées (de façon globale ou, solution qui semble préférable, uniquement entre deux nœuds).

### Correction du MNT sous contrainte d'un réseau vectoriel sans topologie

Dans le cas où la topologie des tronçons ne permet pas de construire des arbres, le réseau vectoriel peut tout de même être utilisé pour contraindre les directions d'écoulement via la technique de stream-burning. Cette technique consiste à « graver » initialement le réseau vecteur dans le MNT en abaissant artificiellement l'altitude des pixels appartenant au réseau. Cependant, dans la mesure où aucune information amont-aval n'est transmise dans cette opération, il reste systématiquement des puits et des zones plates parmi ces pixels « réseau », et les traitements suivants (comblement des dépressions, etc.) « effacent » fréquemment la « gravure » du réseau.

### Diagnostic sur les référentiels français

Il existe actuellement deux référentiels utilisables pour contraindre un MNT à l'échelle de la France : la BD Carthage, issue des cartes au 1 : 50000 et enrichie par les agences de l'eau, et la couche Hydro de la BD Topo, issue elle du 1 : 25000 (élément du Référentiel à grande échelle (RGE)). La qualité des informations topologiques de la BD Carthage permet d'appliquer la procédure décrite en section 1.2 (construction d'un arbre moyennant l'élimination des cycles dans les tronçons à bras multiples), mais son exhaustivité laisse à désirer concernant la description du chevelu fin. Inversement, la couche Hydro de



la BD Topo donne une description nettement plus précise et complète du chevelu, mais l'absence ou la médiocrité de topologie font que l'on ne peut l'utiliser à l'échelle nationale que dans une procédure de streamburning.

La grille de directions d'écoulement utilisée à INRAE a été contrainte par un réseau vecteur possédant une topologie correcte, mais ne représentant pas le chevelu fin (version simplifiée de la BD Carthage). Idéalement, cette solution transitoire pourrait être nettement améliorée si l'on disposait d'un référentiel vecteur possédant une exhaustivité et une topologie adéquate : cette remarque montre tout l'intérêt que INRAE porte à la refonte du référentiel hydrographique français, outil indispensable pour les études hydrologiques à l'échelle nationale.

### **1.3 Remplacement des stations hydrométriques sur la grille de direction d'écoulement**

La majorité des rivières françaises sont équipées de stations hydrométriques qui permettent la mesure des débits, la surveillance et le suivi des crues et des étiages. Certaines de ces stations relèvent d'une gestion et d'intérêts d'ordre privé (principalement Électricité de France). La majorité des stations hydrométriques forment néanmoins un vaste réseau public de mesures dont la gestion est confiée aux services décentralisés de l'État, anciennement les DIREN, aujourd'hui les SPC (Service de prévision des crues). Les données hydrométriques sont traitées et rassemblées au sein d'une plate-forme unique gérée par le SCHAPI : c'est la Banque HYDRO du ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer [<http://www.hydro.eaufrance.fr/>].

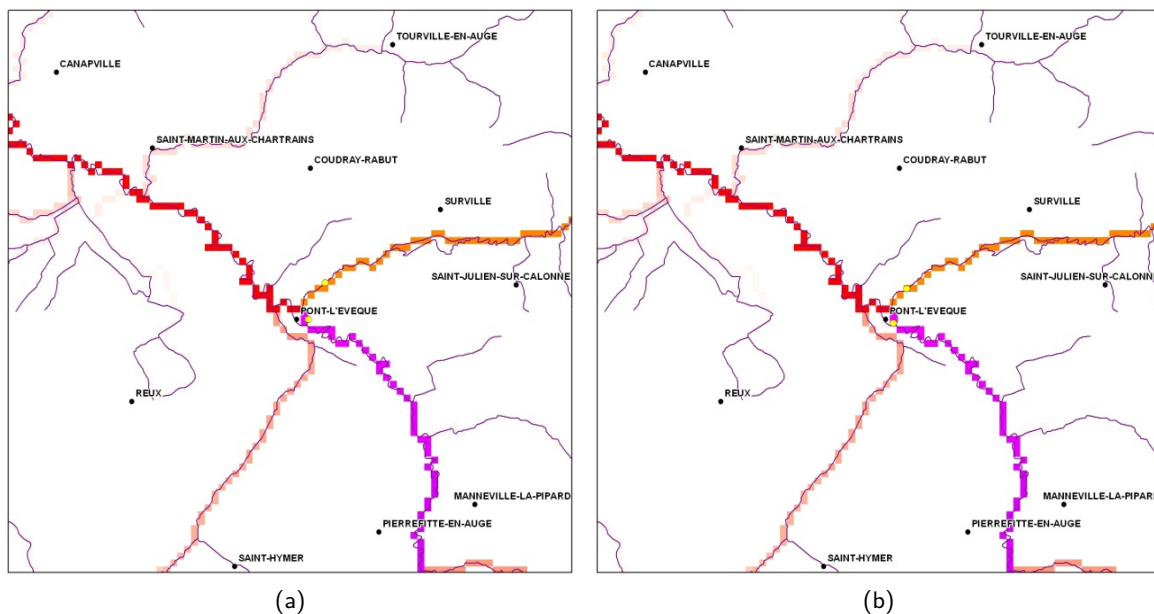
Au total, 5077 stations ont été recensées sur la Banque Hydro. Lorsque les métadonnées concernant les stations sont bien renseignées, les coordonnées géographiques (latitude, longitude et altitude) et la surface du bassin versant à l'amont de la station sont disponibles. Cependant, ces informations ne sont pas toujours cohérentes avec la grille de direction d'écoulement que nous avons construite (sous-section 1.1). Par exemple, si la station n'est pas exactement localisée sur un pixel de la grille de direction d'écoulement de la rivière correspondante, le bassin versant correspondant sera erroné.

Une étape préliminaire de remplacement des stations hydrométriques sur la grille de direction d'écoulement calculée est donc nécessaire. Il s'agit d'associer à chaque station hydrologique la maille « rivière » de la grille de direction d'écoulement adéquate. C'est uniquement à cette condition que l'on peut ensuite déterminer le contour et la surface du bassin versant. Nous décrivons ici la procédure suivie pour cette étape.

Les stations hydrométriques de la Banque Hydro ont été vectorisées à l'aide d'ARCGIS et des coordonnées en Lambert II étendu indiquées. On dispose ainsi d'une couche cartographique contenant les stations hydrométriques à leur position Banque Hydro. On superpose ensuite à cette couche la grille de direction d'écoulement, qui est composée de pixels de  $100 \times 100$  m. À chaque pixel est associée une surface drainée. À l'aide d'une analyse spatiale nous pouvons comparer au droit de chaque station la surface drainée du pixel de la grille de direction d'écoulement à la surface Banque Hydro du bassin versant associé à cette station hydrométrique. Ainsi, on teste la concordance ou non de la grille de direction d'écoulement par rapport au réseau hydrographique naturel. À ce stade, peu de stations tombent effectivement sur une maille rivière de la grille de direction d'écoulement, ce qui est normal, car la grille de direction d'écoulement est un modèle, c'est-à-dire une représentation simplifiée du réseau hydrographique naturel.

Pour les stations qui ne sont pas correctement placées, on cherche dans les vingt-quatre pixels alentours, soit dans un rayon de 200m autour de la localisation indiquée, en calculant à chaque fois la surface du bassin versant situé à l'amont de ce pixel. L'objectif est alors de minimiser l'écart entre la surface indiquée par la Banque Hydro (si elle est disponible) et la surface calculée sur la grille de direction d'écoulement. Si la surface n'est pas indiquée par la Banque Hydro, nous choisissons les coordonnées pour lesquelles la surface calculée sur la grille de direction d'écoulement est maximale. Cette méthode permet de replacer automatiquement une grande partie des stations hydrométriques sur la grille de direction d'écoulement.

Cependant, des erreurs persistent sur certaines stations : là où les écarts de surface entre la surface indiquée par la Banque Hydro et le calcul sur la grille de direction d'écoulement sont trop importants, il se peut que la rivière n'ait pas été trouvée sur la grille de direction d'écoulement ou qu'une rivière voisine ait été privilégiée lors de la recherche dans un rayon de 200 m. Il faut alors procéder à un remplacement « à la main » selon le schéma suivant :



**Figure 4** – Illustration du remplacement des stations hydrométriques sur la grille de direction d'écoulement calculé. Sur les cartes ci-dessus, le réseau hydrographique naturel (BD Carthage) est représenté en trait fin violet. Les mailles rivières de la grille de direction d'écoulement sont superposées. L'intensité de la coloration des pixels reproduit l'importance des écoulements. Sur la figure (a) les stations hydrométriques (points jaunes) sont placées selon leurs coordonnées Banque Hydro et on constate qu'elles « tombent » juste à côté des mailles rivières de la grille de direction d'écoulement. Sur la figure (b), ces stations ont été déplacées (on retient alors les coordonnées INRAE ou dites de la grille de direction d'écoulement) sur les mailles rivières. On s'assure par ailleurs que la surface amont contrôlée par la maille rivière est proche de la surface du bassin versant indiqué dans la banque Hydro.

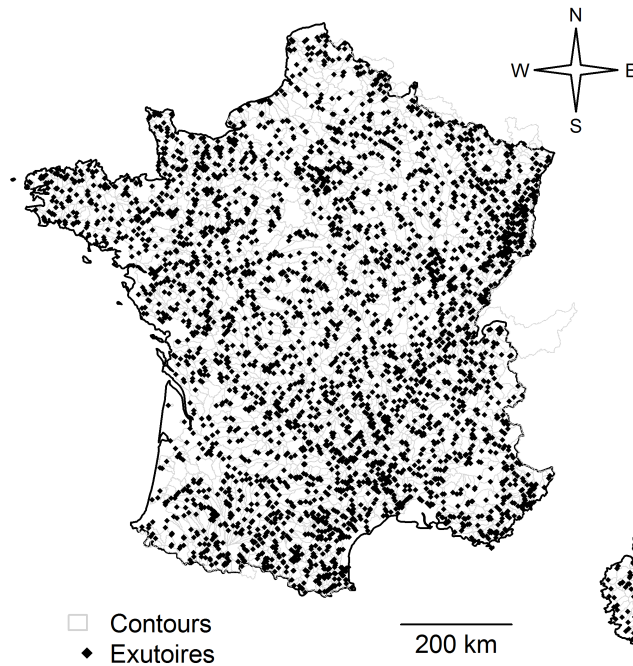
1. On s'oriente en priorité vers le cours d'eau correspondant et la commune correspondante, en restant au plus proche de l'emplacement d'origine.
2. Si la différence de surface de bassin versant entre la valeur de la Banque Hydro et la grille de direction d'écoulement est inférieure à  $\pm 5\%$  alors le nouvel emplacement est validé et considéré comme bon.
3. Si la localisation de la station est précisée (pont, RD, lieu-dit) alors les scans 25 de l'IGN, Géoportail et Google Earth sont utilisés pour localiser au mieux la station sur la grille de direction d'écoulement en prenant en compte les critères 1 et 2.
4. Certaines stations avec des coordonnées mal renseignées dans la Banque Hydro ont été remplacées selon les critères 2 et 3.
5. Lorsque les valeurs de surface Banque Hydro et grille de direction d'écoulement ne correspondent pas du tout, une recherche d'erreur sur le réseau de la grille de direction d'écoulement a été effectuée en s'aidant des scans 25, Géoportail et du tracé du réseau hydrographique naturel Carthage. Si aucune erreur n'a été trouvée alors la valeur de la Banque Hydro est ignorée et le point est placé au mieux selon les critères 1 et 3. Si une erreur sur la grille de direction d'écoulement est suspectée alors la validation reste en attente .

*Un total de 4190 stations recensées dans la Banque HYDRO a pu ainsi être déplacé avec succès sur le plan de drainage.*

#### 1.4 Traçage du contour des bassins versants

La délimitation du contour des bassins s'effectue à partir de la grille de direction d'écoulement et ne peut s'opérer que pour les stations hydrométriques qui ont été correctement remplacées.

Le bassin versant à l'amont d'une station hydrométrique est défini en remontant la grille de direction d'écoulement suivant les directions d'écoulement. Tous les pixels situés en amont de la station considérée



**Figure 5** – Contour des bassins versants replacés sur le MNT 100 m.

appartiennent au bassin et sont sauvegardés. Pour chaque pixel du bassin, si les huit pixels voisins appartiennent aussi au bassin alors il s'agit d'un pixel intérieur du bassin, sinon (si au moins un pixel voisin n'appartient pas au bassin) il s'agit d'un pixel de contour du bassin. Le contour des bassins versants à l'amont de chaque station hydrométrique est défini en joignant les centres des pixels de contour. La figure suivante présente les contours des 4190 bassins versants délimités grâce à la grille de direction d'écoulement.

L'ensemble des bassins versant couvre la quasi-totalité de la France métropolitaine.

## 2 Extraction des caractéristiques des bassins versants

### 2.1 Caractéristiques morphologiques issues d'une analyse du MNT

Les caractéristiques des bassins versants sont calculées à partir du MNT initial de résolution 100 mètres. Seuls les bassins dont les stations hydrométriques ont été replacées avec succès sur la grille de direction d'écoulement ont été traités. Chaque bassin versant est identifié par le code à 8 caractères de sa station hydrométrique. Par exemple, l'Isle à Cognac-sur-Isle correspond au code hydrologique P6081510. Pour chaque bassin, un fichier texte correspondant (Figure 6) contient les caractéristiques physiographiques qui ont été calculées sur chacun des pixels du MNT inclus dans le bassin versant.

Les caractéristiques physiographiques calculées sont les suivantes :

- Coordonnée du pixel  $X$  et  $Y$  : il s'agit des coordonnées (en Lambert II étendu) des centres des pixels issus du MNT. On remarque que les pixels sont distants de 100m conformément à la résolution du MNT.
- Altitude  $Z$  : il s'agit de l'altitude (en m) du pixel du MNT de résolution 100 m.
- Pente  $DZ/DX$  : il s'agit de la pente (en %) vers l'aval du pixel. Le pixel en aval est défini selon la direction de la grille de direction d'écoulement. La pente du pixel considéré est calculée par la formule suivante :

$$DZ/DX = \frac{(Z_i - Z_{i\text{aval}})}{[(X_i - X_{i\text{aval}})^2 + (Y_i - Y_{i\text{aval}})^2]^{1/2}}$$

X	Y	Z	DZ/DX	Sc_km2	Lhy_km	Itopo	Ix	Iy	crs
487712.99	2043949.38	223.00	0.0638	0.01	4.56	13.46	4417	6462	L2E
487712.99	2043849.38	217.00	0.0100	0.01	4.70	15.32	4417	6463	L2E
487712.99	2043749.38	216.00	0.0284	0.01	4.40	14.27	4417	6464	L2E
487712.99	2043649.38	221.00	0.0900	0.01	4.40	13.12	4417	6465	L2E
487712.99	2043549.38	220.00	0.0800	0.01	4.36	13.24	4417	6466	L2E
487812.99	2044149.38	218.00	0.0800	0.01	4.42	13.24	4418	6460	L2E
487812.99	2044049.38	214.00	0.0700	0.02	4.46	13.37	4418	6461	L2E
487812.99	2043949.38	217.00	0.0900	0.01	4.56	13.12	4418	6462	L2E
487812.99	2043849.38	216.00	0.0567	0.02	4.56	13.58	4418	6463	L2E
487812.99	2043749.38	218.00	0.0709	0.01	4.30	13.36	4418	6464	L2E
487812.99	2043649.38	212.00	0.0400	0.03	4.30	13.93	4418	6465	L2E
487812.99	2043549.38	212.00	0.0400	0.02	4.26	13.93	4418	6466	L2E
487912.99	2044349.38	217.00	0.1000	0.01	4.24	13.01	4419	6458	L2E
487912.99	2044249.38	213.00	0.0957	0.01	4.32	13.06	4419	6459	L2E
487912.99	2044149.38	210.00	0.1050	0.02	4.32	12.96	4419	6460	L2E
487912.99	2044049.38	207.00	0.0532	0.03	4.32	13.64	4419	6461	L2E
487912.99	2043949.38	208.00	0.0355	0.05	4.42	14.05	4419	6462	L2E
487912.99	2043849.38	212.00	0.0400	0.01	4.56	13.93	4419	6463	L2E
487912.99	2043749.38	219.00	0.1100	0.01	4.30	12.92	4419	6464	L2E
487912.99	2043649.38	208.00	0.0567	0.06	4.16	13.58	4419	6465	L2E
487912.99	2043549.38	208.00	0.0800	0.03	4.16	13.24	4419	6466	L2E
487912.99	2043449.38	212.00	0.0851	0.01	4.16	13.17	4419	6467	L2E
488012.99	2045049.38	226.00	0.0780	0.01	4.42	13.26	4420	6451	L2E
488012.99	2044949.38	221.00	0.0851	0.01	4.32	13.17	4420	6452	L2E
488012.99	2044849.38	216.00	0.0780	0.01	4.22	13.26	4420	6453	L2E
488012.99	2044749.38	213.00	0.1064	0.01	4.18	12.95	4420	6454	L2E
488012.99	2044649.38	208.00	0.1000	0.01	4.18	13.01	4420	6455	L2E
488012.99	2044549.38	209.00	0.1100	0.01	4.14	12.92	4420	6456	L2E
488012.99	2044449.38	209.00	0.0780	0.01	4.14	13.26	4420	6457	L2E

**Figure 6** – Extrait du fichier P6081510\_MORPHO.txt contenant les informations physiographiques de l'Isle à Corgnac-sur-l'Isle.

avec :

- $X_i, Y_i$  les coordonnées en Lambert II étendu du centre du pixel,
- $Z_i$  l'altitude du pixel considéré,
- $X_{iaval}, Z_{iaval}$  les coordonnées du pixel en aval

- Surface contributive  $Sc\_km2$  : il s'agit de la surface (en  $km^2$ ) à l'amont du pixel considéré. Elle est calculée en remontant la grille de direction d'écoulement et correspond à la somme des pixels en amont multipliée par la surface d'un pixel. La résolution du MNT étant 100 m, la surface d'un pixel est  $100m \times 100m = 0.01 km^2$ . La surface contributive  $Sc_i$  du pixel  $i$  est calculée par la formule suivante :

$$Sc_i = n_i \times C^2$$

avec :

- $n_i$  le nombre de pixels en amont du pixel  $i$ ,
- $C$  la résolution du MNT (ici  $C = 100$  m).

- Longueur hydraulique  $Lhy\_km$  : il s'agit de la distance (en km) entre le pixel considéré et celui correspondant à l'exutoire du bassin (i.e. la station hydrométrique) en suivant la grille de direction d'écoulement. En considérant que tout pixel appartient à une rivière, la longueur hydraulique calculée ici correspond à la longueur de la rivière. C'est le chemin suivi par une goutte de pluie qui ne s'infiltre pas dans le sol.
- Indice topographique  $Itopo$  : il s'agit de l'indice topographique défini dans TOPMODEL (Beven and Kirkby, 1979). Cet indice est reformulé pour être indépendant de la résolution du MNT (Ducharne, 2009). Il est calculé par la formule suivante :

$$Itopo = \ln\left(\frac{n_i}{DZ/DX_i}\right)$$

avec :

- $n_i$  le nombre de pixels en amont du pixel  $i$ ,
- $DZ/DX$  la pente (en %) du pixel  $i$ .

L'indice topographique utilisé dans TOPMODEL est  $ITOPO = Itopo + \ln(C)$  avec  $C$  la résolution du MNT (ici  $C = 100$  m).

Les indices  $Ix$  et  $Iy$  sont respectivement le numéro de colonne et de ligne des pixels dans la matrice du MNT. Nous rappelons que le MNT utilisé ici correspond à une grille régulière (pixel de 100 m de côté) de 10500 colonnes et 10000 lignes.

## Densité de drainage [Le Moine, 2008]

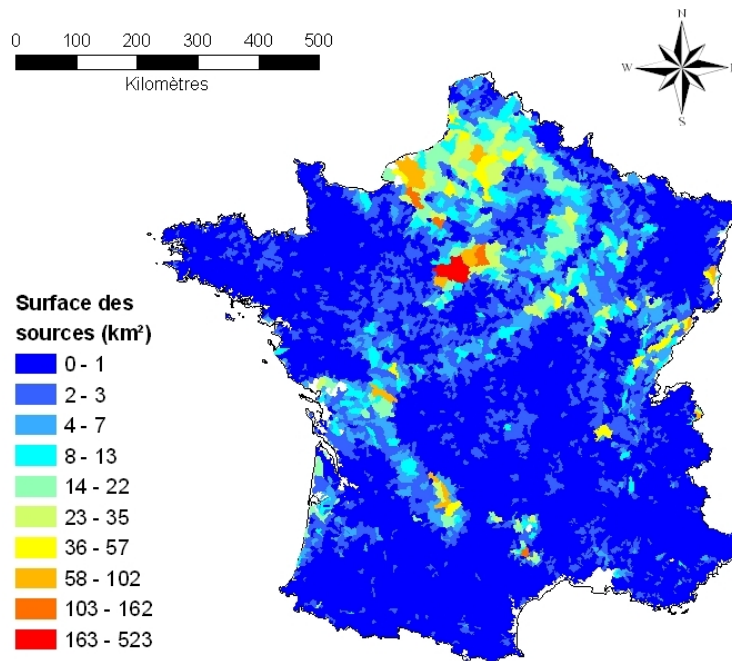


Figure 7 – Densité de drainage selon Le Moine (2008) sur le territoire métropolitain français

## 2.2 Autres caractéristiques morphologiques

### Densité de drainage des bassins versants

La densité de drainage a été calculée par Le Moine (2008). Elle correspond à la surface des sources et s'exprime en km<sup>2</sup>. Il s'agit de la surface amont nécessaire pour observer un cours d'eau, ce dernier étant défini par convention sur la base des « lignes bleues » des cartes IGN. La figure suivante présente la densité de drainage sur le territoire français.

Les surfaces des sources varient entre 0,0056 km<sup>2</sup> et 523 km<sup>2</sup>. Une faible surface des sources traduit un réseau de drainage très dense (i.e. beaucoup de cours d'eau, fleuves ou rivières sont observés), tandis qu'une surface des sources importante traduit une faible densité de drainage. Pour l'ensemble des stations hydrométriques traitées, la densité de drainage a été intersectée avec le contour des bassins versants. Ainsi, la surface d'occupation des densités de drainage sur le bassin est renseignée pour chaque station hydrométrique remplacée. De plus, pour chaque bassin versant, la moyenne géométrique des densités de drainage pondérées par l'occupation du bassin a été calculée. Nous obtenons ainsi une valeur par bassin représentative de la densité de drainage moyenne. La moyenne géométrique  $MG$  est calculée par la formule suivante :

$$MG = \exp\left(\frac{\sum(S_i \times \ln(D_i))}{S_{bv}}\right)$$

avec :

$S_i$  la surface d'occupation de la densité de drainage  $D_i$ ,

$S_{bv}$  la surface du bassin versant.

La figure suivante présente un exemple d'occupation des densités de drainage sur le bassin de La Truyère au Malzieux-Ville.

Le bassin de La Truyère au Malzieux-Ville (code station : O7272510, 582 km<sup>2</sup>) se divise en 13 zones de densités de drainage différentes : la plus faible densité de drainage (surface des sources est égale à 0,22 km<sup>2</sup>) s'étend sur 20 km<sup>2</sup> (soit 3 % du bassin), la plus forte densité de drainage (surface des sources est égale à 1,26 km<sup>2</sup>) s'étend sur 47 km<sup>2</sup> (soit 8 % du bassin) et la moyenne géométrique des densités de drainage sur ce bassin est 0,626 km<sup>2</sup>.

## La Truyère au Malzieux-Ville (582 km<sup>2</sup>) Densité de drainage

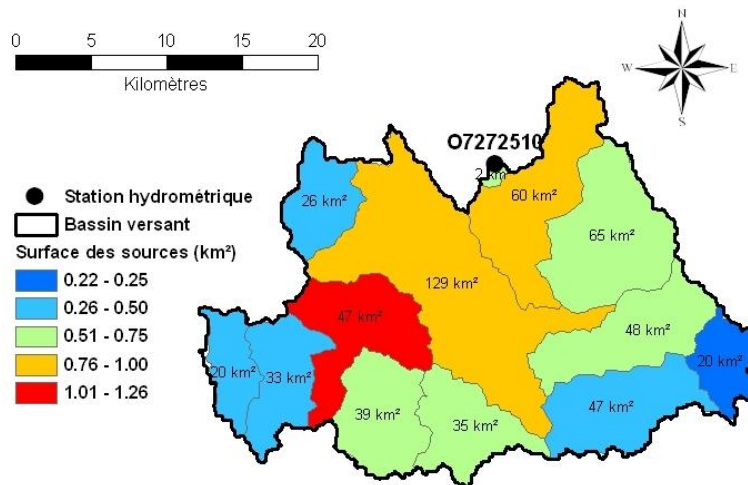


Figure 8 – Densité de drainage sur le bassin de La Truyère au Malzieux-Ville

### Occupation du sol des bassins versants

La base de données européenne Corine Land Cover regroupe les informations d'occupation biophysique des sols. Cette base de données se divise en 5 grandes classes (territoires artificialisés, territoires agricoles, forêts et milieu semi-naturel, zones humides, surface en eau) et 3 niveaux de détails. Le Tableau 1 présente la nomenclature de Corine Land Cover 2006. La Figure 9 présente la base de données sur le territoire métropolitain français.

<b>1 Territoires artificialisés</b>		
11 Zones urbanisées		111 Tissu urbain continu 112 Tissu urbain discontinu
12 Zones industrielles ou commerciales et réseaux de communication		121 Zones industrielles ou commerciales et installations publiques 122 Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés 123 Zones portuaires 124 Aéroports
13 Mines, décharges et chantiers		131 Extraction de matériaux 132 Décharges 133 Chantiers
14 Espaces verts artificialisés, non agricoles		141 Espaces verts urbains 142 Equipements sportifs et de loisirs
<b>2 Territoires agricoles</b>		
21 Terres arables		211 Terres arables hors périmètres d'irrigation 212 Périmètres irrigués en permanence 213 Rizières
22 Cultures permanentes		221 Vignobles 222 Vergers et petits fruits 223 Oliveraies
23 Prairies		231 Prairies et autres surfaces toujours en herbe à usage agricole
24 Zones agricoles hétérogènes		241 Cultures annuelles associées à des cultures permanentes 242 Systèmes culturaux et parcellaires complexes 243 Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants 244 Territoires agroforestiers
<b>3 Forêts et milieux semi-naturels</b>		
31 Forêts		311 Forêts de feuillus 312 Forêts de conifères 313 Forêts mélangées
32 Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée		321 Pelouses et pâturages naturels 322 Landes et broussailles 323 Végétation sclérophylle 324 Forêt et végétation arbustive en mutation
33 Espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation		331 Plages, dunes et sable 332 Roches nues 333 Végétation clairsemée 334 Zones incendiées 335 Glaciers et neiges éternelles
<b>4 Zones humides</b>		
41 Zones humides intérieures		411 Marais intérieurs 412 Tourbières
42 Zones humides côtières		421 Marais maritimes 422 Marais salants 423 Zones intertidales
<b>5 Surfaces en eau</b>		
51 Eaux continentales		511 Cours et voies d'eau 512 Plans d'eau
52 Eaux maritimes		521 Lagunes littorales 522 Estuaires 523 Mers et océans

**Table 1 – Nomenclature de la base de données Corine Land Cover 2018.**

Pour l'ensemble des stations hydrométriques traitées, la base de données Corine Land Cover 2006 a été intersectée avec le contour des bassins versants. Ainsi, la surface d'occupation biophysique des sols sur le bassin est renseignée pour chaque station hydrométrique replacée. La figure suivante présente un exemple sur le bassin de La Truyère au Malzieux-Ville.

Le bassin de La Truyère au Malzieux-Ville est essentiellement recouvert par les forêts (code 3) et les territoires agricoles (code 2). Les territoires artificialisés (code 1) sont essentiellement des tissus urbains discontinus (code 112) et occupent une faible partie du bassin.

## 2.3 Caractéristiques climatiques

Les données météorologiques que nous avons utilisées sont issues des réanalyses SAFRAN produites et fournies par Météo-France, au pas de temps journalier. SAFRAN/France est un système d'analyse à mésoéchelle de variables atmosphériques près de la surface. Il utilise des observations de surface, combinées à des données d'analyse de modèles météorologiques, notamment la réanalyse ERA du Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (CEPMMT) pour produire les paramètres horaires nécessaires au fonctionnement d'ISBA qui est un modèle SVAT (sol-végétation-atmosphère). Ces paramètres (température, humidité, vent, précipitations solides et liquides, équivalent en eau de la neige, rayonnement solaire et infrarouge incident), sont analysés par pas de 300 m d'altitude. Ils sont ensuite interpolés sur une grille de calcul régulière ( $8 \times 8$  km). Pour les questions de validation de la réanalyse SAFRAN, on se référera à l'article de Vidal *et al.* (2010).

Les données météorologiques couvrent l'ensemble du territoire, Corse incluse, ainsi que des espaces aux frontières, notamment débordant sur la Suisse et l'Allemagne. Il y a un total de 9892 mailles identifiées par un numéro d'identification (de 1 à 9892) et géoréférencées. Par ailleurs, ces données permettent de calculer d'autres variables utiles en modélisation hydrologique notamment, on calcule ainsi en interne les évapotranspirations potentielles selon les formulations de Oudin et de Penman-Monteith (Oudin *et al.*, 2005). La livraison des données météorologiques a lieu sous la forme de fichiers années pour la période 1958-2019. On trouve ainsi pour chaque année un fichier contenant au pas de temps journalier les données SAFRAN en chaque maille, un autre fichier avec les données d'équivalent en eau de la neige (SWE) et un dernier fichier avec les données de températures minimale et maximale.

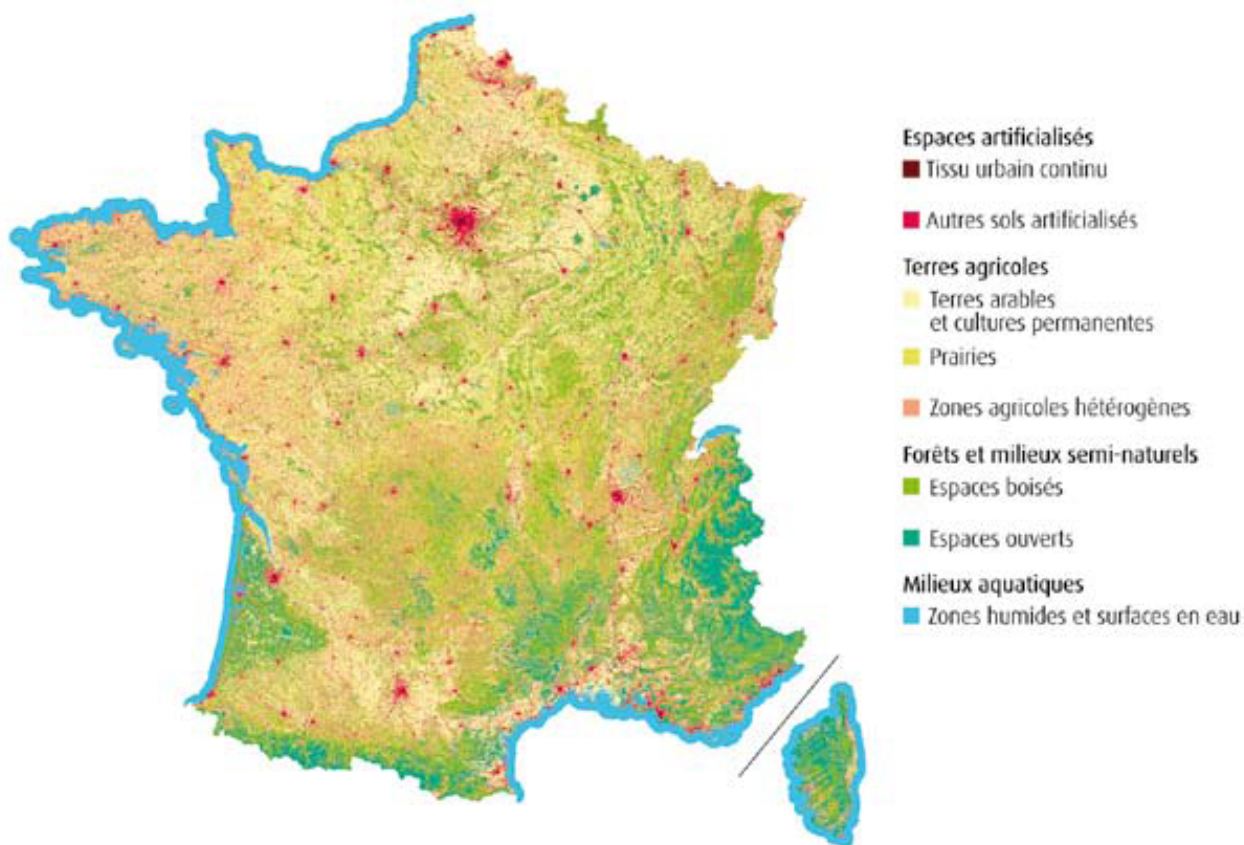
Notre traitement a seulement consisté à écrire les chroniques journalières sur l'ensemble de la période indépendamment pour chaque maille SAFRAN. BD\_SAFRAN désigne donc l'ensemble des fichiers obtenus par le traitement des données brutes livrées par Météo-France. Il s'agit donc de la restitution à l'échelle des mailles SAFRAN ( $8 \times 8$  km<sup>2</sup>) des réanalyses SAFRAN ou dérivées de SAFRAN (ETP) au pas de temps journalier sur la période 1958-2019. Les variables sont : précipitation solide, précipitation liquide, température de l'air, vitesse du vent, humidité spécifique de l'air, rayonnement atmosphérique et visible. D'autres variables sont également présentes : indice d'humidité des sols ISBA (issu du module ISBA de type SVAT, indice d'humidité des sols INRAE (calcul interne), ainsi que l'évapotranspiration potentielle obtenue par les formulations de Oudin et de Penman-Monteith, également calculées en interne et dérivées des données SAFRAN initiales. Récemment, ont été ajoutées l'équivalent en eau de la neige (SWE issu du module ISBA) ainsi que les températures minimales et maximales.

BD\_SAFRAN est donc formée de 9892 fichiers pour autant de mailles SAFRAN où sont stockées les chroniques journalières des variables décrites ci-dessus sur la période 01/08/1958 – 31/07/2016. La nomenclature retenue est MAILLE\_SAFRAN.txt où MAILLE est le numéro en 4 caractères de la maille SAFRAN (de 0001\_SAFRAN à 9892\_SAFRAN). Les fichiers de BD\_SAFRAN sont écrits comme dans l'extrait de la Figure 14.

Les caractéristiques climatiques des bassins versants sont obtenues par agrégation spatiale des mailles SAFRAN intersectant le contour des bassins versants. Les variables SAFRAN sont moyennées avec une pondération par la surface intersectante, comme illustré sur la Figure 15, on obtient ainsi pour chaque variable SAFRAN une valeur moyenne de bassin.

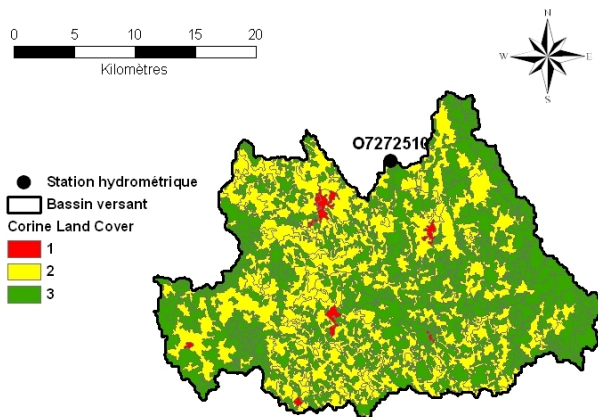
Au final, à chaque pas de temps, toutes les variables issues ou dérivées des réanalyses SAFRAN sont moyennées à l'échelle du bassin versant. Dans un dernier temps, la fraction solide des précipitations est calculée comme le rapport de la précipitation solide moyenne de bassin et de la précipitation totale moyenne de bassin. Ces variables climatiques à l'échelle du bassin versant sont écrites en fichier texte dans le dossier /02\_SAFRAN\_PAR\_BV/. BD\_CLIM est ainsi composée de 4190 fichiers station où sont stockées les



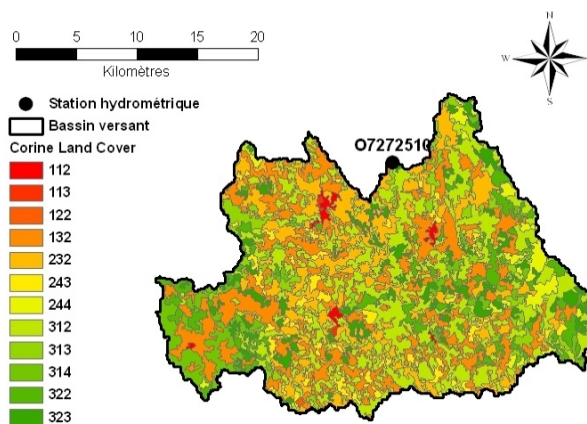


**Figure 9** – Occupation des sols selon la base de données Corine Land Cover 2006 [source : Commissariat général au développement durable - Service de l'observation et des statistiques].

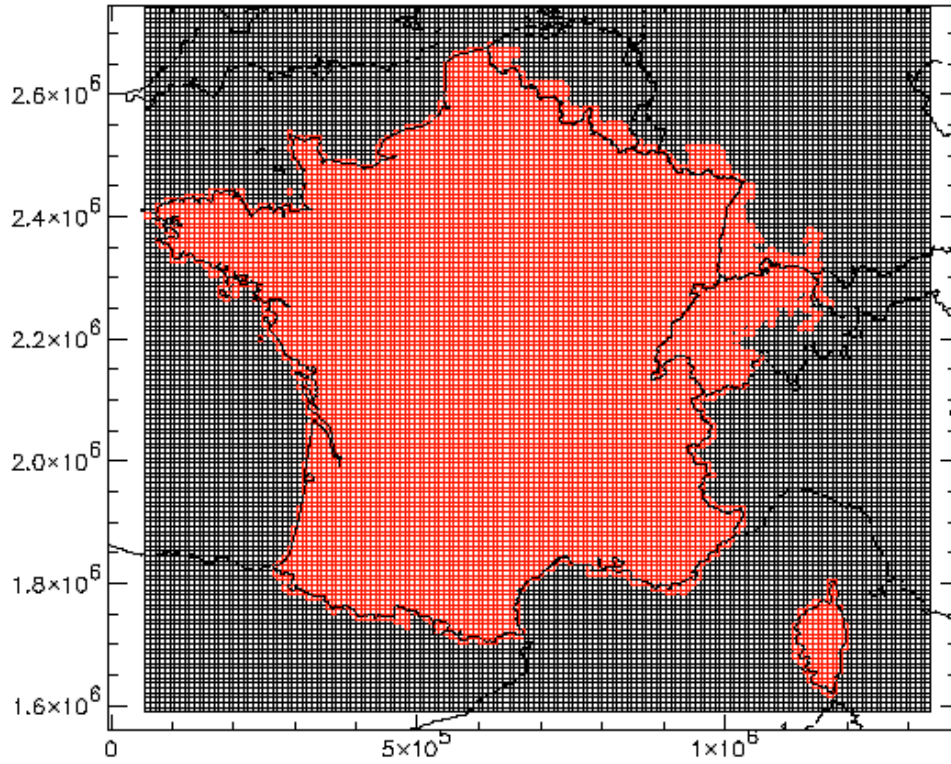
La Truyère au Malzieux-Ville (582 km<sup>2</sup>)  
Corine Land Cover 2006



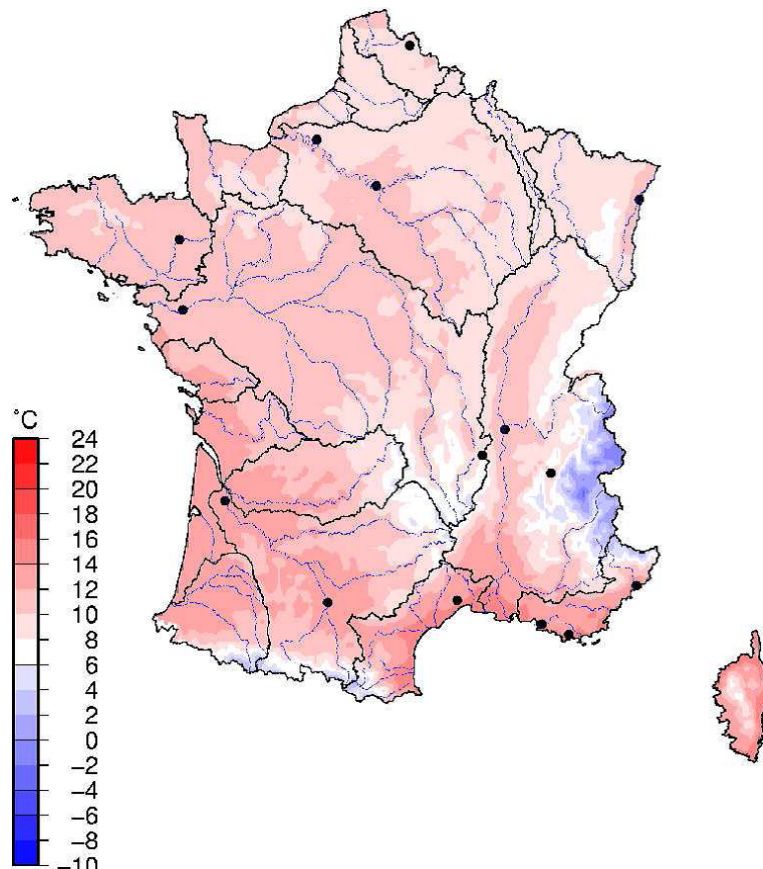
La Truyère au Malzieux-Ville (582 km<sup>2</sup>)  
Corine Land Cover 2006



**Figure 10** – Occupation biophysique des sols sur le bassin de La Truyère au Malzieux-Ville.



**Figure 11** – Couverture spatiale du maillage SAFRAN. En rouge les 9892 mailles SAFRAN du produit SAFRAN/France livré par Météo-France.



**Figure 12** – Température moyenne annuelle SAFRAN en °C pour la période 1961-1990.

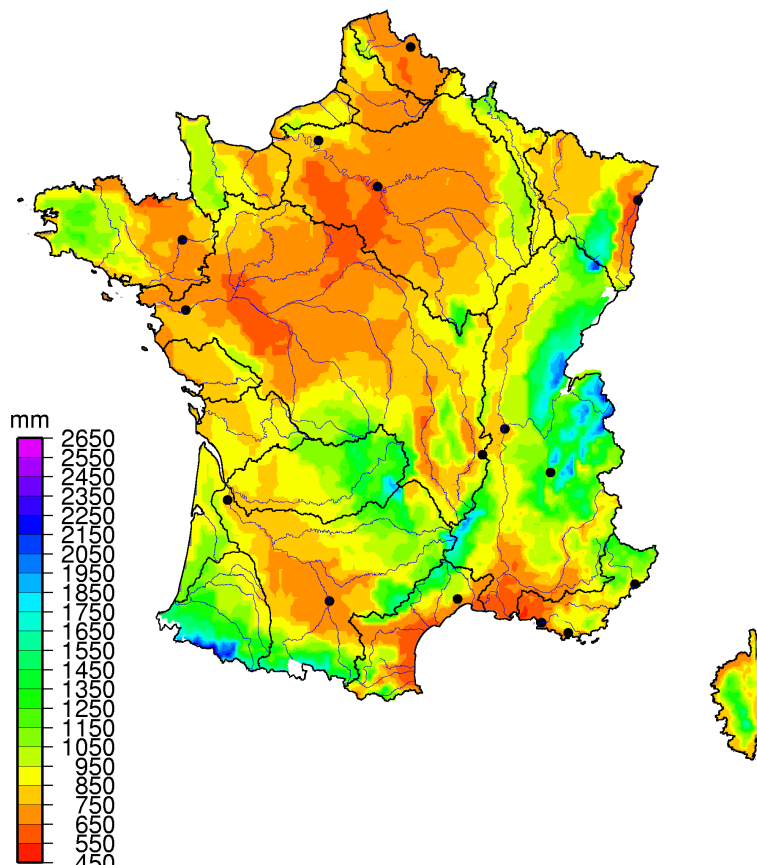


Figure 13 – Cumul moyen annuel de précipitations SAFRAN, pour la période 1961-1990. En mm/an.

```

Date de creation du fichier ; 2020-01-09 10:38:00
Auteurs ; Olivier Delaigue, Vazken Andréassian, Laure Lebecherel & Benoît Génot
Entité ; INRAE UR HYCAR - Antony
Données Climatiques ; Livraison SAFRAN novembre 2019
Versions ; Modification du MNT utilisé pour la grille SIM
Versions ; Décembre 2013 - Anomalie Pluie Alsace corrigée - mise à jour 2016
Versions ; 1958 - 2017 - Correction Bug "08-01 et 07-31" - mise à jour juillet 2018
Fournisseur ; Météo-France
-----
Maille
0001
-----
Coordonnées du centre ; 620000. ; 2681000. ; 3. ;(X,Y,Z, Lambert II étendu)
Coordonnées du centre ; 2.62204 ; 51.12120 ; (degrés décimaux)
Taille (km²) ; 64 ;
-----
Champs
Date : date (AAAAMMJJ)
Psol : précipitations solides (mm) ]06h,06h]
Pliq : précipitations liquides (mm) ]06h,06h]
Temp : température de l'air (°C) ]00h,00h]
Vent : vitesse du vent (m/s) ]00h,00h]
Humi : humidité spécifique de l'air (g/kg) ]00h,00h]
DLI : rayonnement atmosphérique (J/cm²) ]00h,00h]
SSI : rayonnement visible (J/cm²) ]00h,00h]
SWI : indice d'humidité des sols ISBA (-)
IHGR : indice d'humidité des sols INRAE (calculé pour un reservoir GR de 275 mm, varie entre 0 et 1) (-)
E_OU : evapotranspiration potentielle de Oudin (mm)
E_PE : evapotranspiration potentielle de Penman (mm) avec prise en compte de l'albedo de la neige
E_PM : evapotranspiration potentielle de Penman-Monteith (mm) avec prise en compte de l'albedo de la neige
SWE : équivalent en eau de la neige (mm) du modèle ISBA
TN : température minimale de l'air (°C) sur la période ](J-1)18h,J18h]
TX : température maximale de l'air (°C) sur la période ]J06h,(J+1)06h]
-----
Date; Psol; Pliq; Temp;Vent;Humi; DLI; SSI; SWI; IHGR; E_OU; E_PE; E_PM; SWE; TN; TX
19580801; 0.0; 3.4; 15.0; 3.6; 9.1; 2666.6; 705.1;0.330;-99.00; 3.1; 0.7; 0.5; 0.0; 13.8; 15.9
19580802; 0.0; 0.0; 14.6; 9.8; 8.4; 2940.1; 2139.9;0.319;-99.00; 3.0; 6.1; 3.1; 0.0; 11.1; 17.4
19580803; 0.0; 0.2; 15.5; 4.6; 8.8; 3253.4; 873.9;0.308;-99.00; 3.2; 3.1; 2.2; 0.0; 12.8; 17.2

```

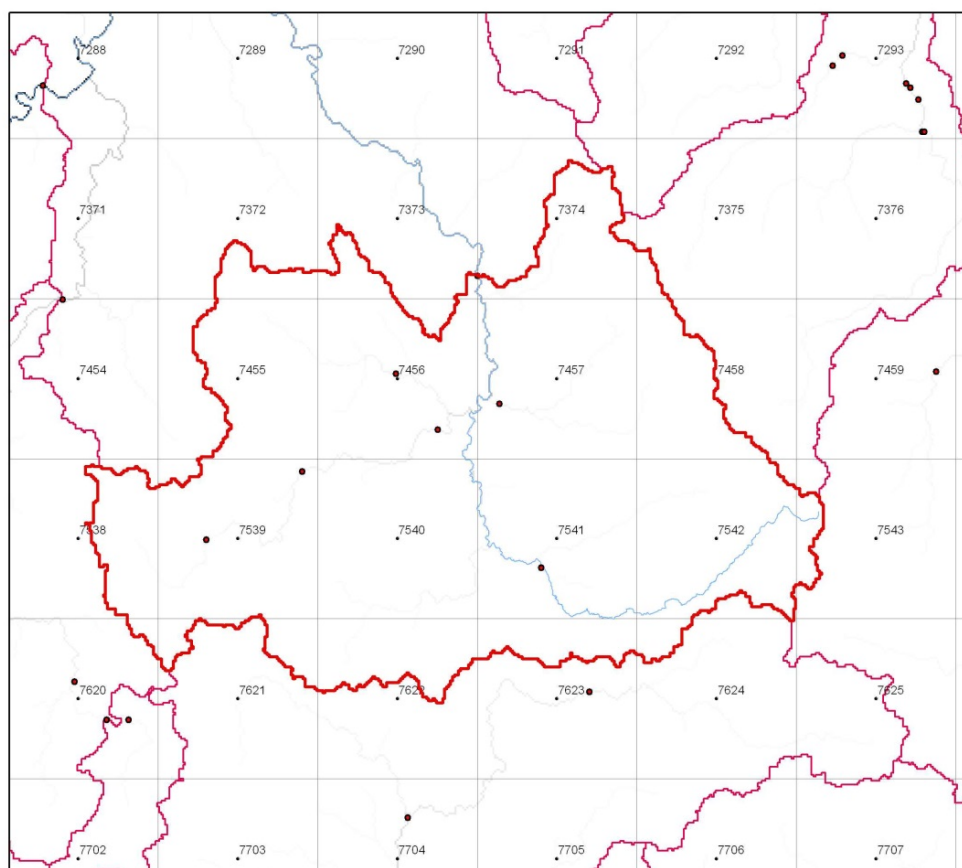
Figure 14 – Exemple de fichier de BD\_SAFRAN

### Legend

- SAFRAN\_9892
- HYDRO\_100M
- BV\_100M
- Grille SAFRAN



0 2 4 Kilomètres



**Figure 15** – Illustration du calcul des valeurs moyennes de bassins des variables climatiques issues et dérivées des données SAFRAN. Exemple du bassin de la Truyère à Malzieu-Ville (O07272510), dessiné en trait épais rouge. Une quinzaine de mailles SAFRAN intersectent le bassin, certaines complètement incluses (maille 7540), d'autres de façon très partielle (maille 7372 au nord-ouest du bassin). La pondération par la section intersectée permet de rendre compte de la contribution relative de chaque maille SAFRAN à la moyenne à l'échelle du bassin.

```

## =====
## Date de création du fichier      : 2020-01-16 03:41:50
## Auteurs                        : Laure Lebecherel, Benoît Génot
## Créateur du fichier            : Benoît Genot
## Entité                         : INRAE - UR HYCAR - Antony
## Extraction données climatiques : INRAE - UR HYCAR - Antony - Novembre 2019
## Producteur données climatiques : Météo-France (réanalyse SAFRAN)
## Versions                       : Modification du MNT utilisé pour la grille SIM
## Versions                       : Décembre 2013 - Anomalie Pluie Alsace corrigée - mise à jour 2016
## Versions                       : 1958 - 2017 - Correction Bug "08-01 et 07-31" - mise à jour juillet 2018
## Source MNT                     : France_100m_L2E [NASA - SRTM]
## Source plan de drainage        : France_100m_L2E [INRAE - Nicolas Le Moine (Sorbonne Université - UMR METIS)]
## =====
## Code station                   : P6081510
## =====
## Champs
## Date                          : date [AAAA-MM-JJ]
## Ptot                          : précipitations (liquides + solides) [mm] sur la période [(J)06h,(J+1)06h]
## Fsol                          : fraction solide des précipitations [-] sur la période [(J)06h,(J+1)06h]
## E_OU                          : évapotranspiration potentielle de Oudin [mm]
## E_PE                          : évapotranspiration potentielle de Penman [mm]
## E_PM                          : évapotranspiration potentielle de Penman-Monteith [mm]
## Temp                          : température de l'air [°C] sur la période [(J)00h,(J+1)00h]
## Vent                          : vitesse du vent [m/s] sur la période [(J)00h,(J+1)00h]
## Humi                          : humidité spécifique de l'air [g/kg] sur la période [(J)00h,(J+1)00h]
## DLI                           : rayonnement atmosphérique [J/cm2] sur la période [(J)00h,(J+1)00h]
## SSI                           : rayonnement visible [J/cm2] sur la période [(J)00h,(J+1)00h]
## IHGR                          : indice INRAE d'humidité des sols du bassin (calculé pour un réservoir GR de 275 mm) [-]
## SWI                           : indice ISBA d'humidité des sols du bassin [-]
## SWE                           : équivalent en eau de la neige du modèle ISBA [mm]
## TN                            : température minimale de l'air [°C] sur la période [(J-1)18h,J18h]
## TX                            : température maximale de l'air [°C] sur la période [(J)06h,(J+1)06h]
## =====
## Date; Ptot; Fsol; Temp; E_OU; E_PE; E_PM; Vent; Humi; DLI; SSI; IHGR; SWI; SWE; TN; TX
19580801; 1.4; 0.00; 23.5; 4.6; 2.8; 2.4; 2.4; 12.7; 2551.5; 2002.7; -99.000; 0.190; 0.00; 9.7; 29.3
19580802; 0.0; 0.00; 17.8; 3.6; 3.5; 3.0; 1.9; 9.6; 2954.9; 1806.6; -99.000; 0.184; 0.00; 14.0; 21.0
19580803; 0.0; 0.00; 14.8; 3.2; 3.0; 2.6; 1.8; 7.1; 2684.6; 1737.3; -99.000; 0.177; 0.00; 9.2; 20.8
19580804; 0.0; 0.00; 16.0; 3.3; 4.0; 3.6; 1.4; 7.8; 2728.0; 2337.3; -99.000; 0.171; 0.00; 8.4; 21.7

```

Figure 16 – Exemple de fichier de BD\_CLIM pour le bassin de l'Isle à Cognac-sur-l'Isle (P6081510).

chroniques journalières de ces variables climatiques (voir exemple en Figure 16). La nomenclature retenue est CODE\_SAFRAN.txt, où CODE est le code à 8 caractères identifiant chaque station hydrométrique selon la nomenclature Banque Hydro. On trouve également le dossier /01\_LISTE\_MAILLES\_PAR\_BV/ qui accueille des résultats intermédiaires de la routine de calcul BASSINS\_100M, à savoir pour chaque bassin versant traité les mailles SAFRAN intersectant le bassin.

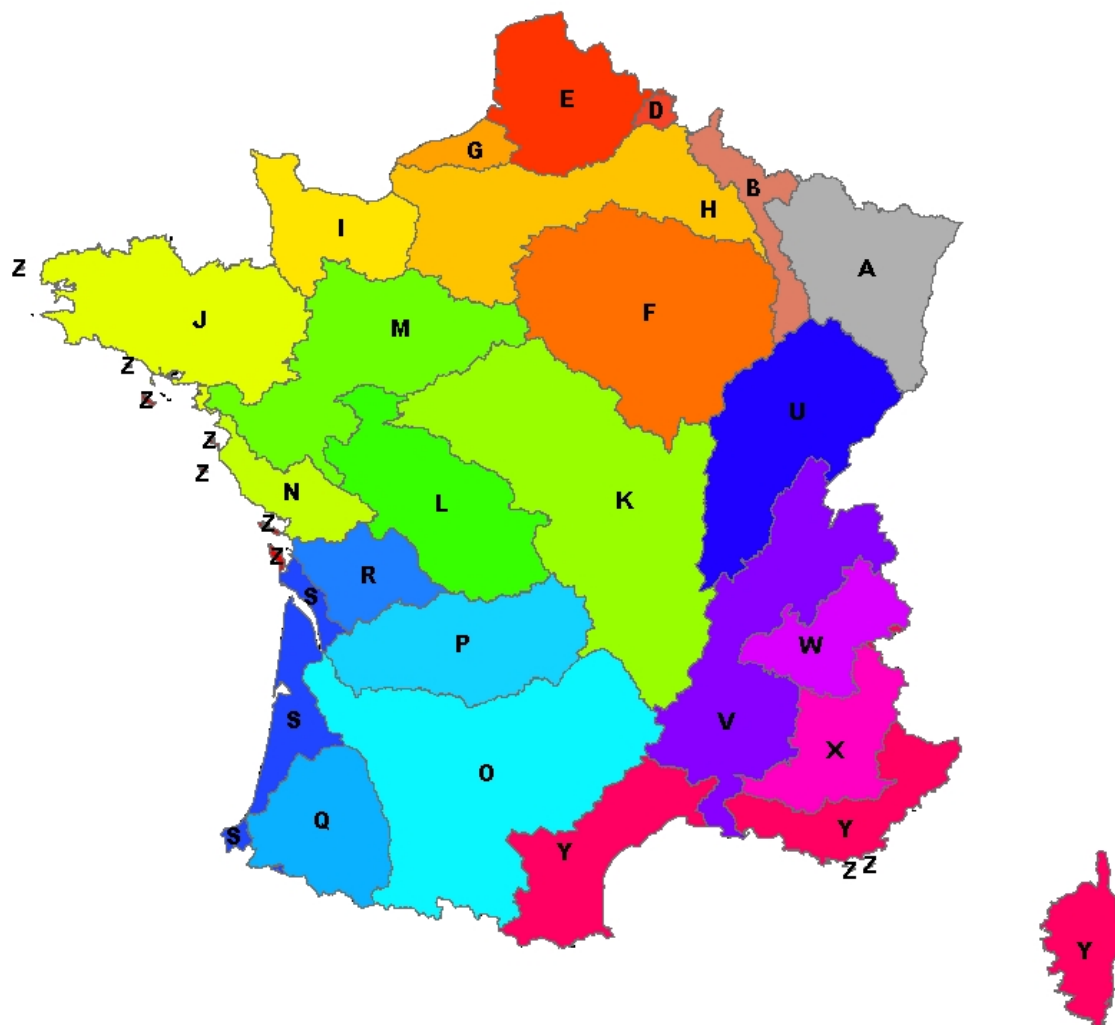
### 3 Traitement des données de débit

Les données hydrométriques sont issues d'une extraction depuis l'outil Hydro2 de la Banque Hydro au mois de février 2017. Cette extraction consiste dans un premier temps à récupérer à l'aide de différentes procédures la liste complète des stations hydrométriques disponibles dans la base de données de la Banque Hydro, puis les métadonnées associées à chaque station et enfin leurs données de débit (pas de temps journalier, horaire, ou pas de temps variable). Une note décrivant les étapes d'utilisation de l'outil Hydro2, notamment concernant la sélection des procédures, est disponible dans le dossier /00\_DOC/ et se nomme 00\_README\_HYDRO2.txt.

L'extraction des métadonnées fournit plusieurs fichiers texte regroupant chacun les métadonnées de plusieurs stations et nécessitant ainsi d'être traités afin d'obtenir un fichier texte unique regroupant les métadonnées de toutes les stations. L'extraction des débits journaliers fournit un unique fichier texte par station. Un traitement final est réalisé afin d'assembler les métadonnées et les débits de chaque station hydrométrique sous la forme d'un unique fichier texte par station. Chaque fichier comprend alors un en-tête de métadonnées, suivi de la chronique au pas de temps journalier des débits observés. Désormais, nous utiliserons l'acronyme BD\_HYDRO pour désigner l'ensemble de ces fichiers stations hydrologiques issus du traitement de l'extraction depuis l'outil Hydro2. Chaque station hydrométrique (donc chaque fichier) est identifiée par un code hydrologique à 8 caractères. Le premier caractère permet de localiser la station géographiquement comme indiqué sur la Figure 17.

#### 3.1 Métadonnées de BD\_HYDRO

Il s'agit de distinguer les métadonnées initialement présentes dans la Banque Hydro des métadonnées rajoutées par le traitement de ces données. Pour clarifier les choses, tout ce qui relève du traitement a été systématiquement associé à la mention INRAE.



**Figure 17** – Découpage géographique de la France métropolitaine en zones hydrologiques selon la nomenclature des codes Banque Hydro des stations hydrométriques.

Les métadonnées Banque Hydro spécifient certaines caractéristiques de la station hydrométrique et des données renseignées. On y trouve les coordonnées géographiques, la surface du bassin versant associé à la station, la finalité, le type, le niveau d'influence et un indice global de qualité des mesures de débits (décliné en basses eaux, moyennes eaux et hautes eaux). Par ailleurs, à chaque mesure de débits (à chaque pas de temps) est associé un code de validité de la mesure. Il convient de mettre en garde l'utilisateur contre l'utilisation de ces informations avec une confiance excessive. En effet, il existe un certain nombre d'anomalies identifiées (notamment concernant les surfaces de bassin versant) et les métadonnées ne sont pas toujours renseignées par le producteur des données, les indices ont alors une valeur par défaut qui peut tromper l'utilisateur (notamment le niveau d'influence). Malgré ces limites, les métadonnées Banque Hydro peuvent être intelligemment mises à profit pour opérer par exemple des sélections de stations hydrométriques. Les métadonnées nouvelles apportées par notre traitement concernent la position de la station sur la grille de direction d'écoulement (section 1), et donc la surface du bassin versant associé à cette même grille de direction d'écoulement. Les dates de début et de fin des mesures de débits sont renseignées, ainsi qu'une estimation des capacités de stockage dans des ouvrages réservoirs à l'amont des stations (sous-section 3.3). Enfin un code de validité INRAE est associé à la mesure journalière du débit. La signification et le mode d'obtention de cet indice de validité est explicité ci-dessous (sous-section 3.2).

### 3.2 Détection des anomalies de traitement des données manquantes

Les chroniques de débits observés révèlent parfois quelques surprises à la signification hydrologique douteuse. Bien souvent, ces anomalies supposées apparaissent en cas des données manquantes, mal codées par le producteur de données.

Il nous est donc apparu nécessaire d'introduire lors du traitement des données hydrométriques journalières de la Banque Hydro, un module de détection des anomalies issues du traitement des données manquantes. Comme nous n'avions pas les moyens (ni le souhait) de nous substituer aux producteurs des données, nous nous sommes contenté d'outils très simples pour détecter les anomalies jugées les plus grossières, à savoir les interpolations linéaires sur plusieurs pas de temps. Le code de validité INRAE ne prétend pas rendre compte d'autre chose que cela et ne constitue donc en aucun un critère objectif de "bonne mesure". Concrètement, ce code se présente sous la forme d'un indice binaire de valeur 0 si une anomalie est supposée, 1 sinon. Une anomalie au pas de temps  $j$  est retenue comme telle lorsque les deltas de mesures ( $Q_{j+1} - Q_j$ ) jusqu'à  $(j + 4)$  sont tous égaux entre eux.

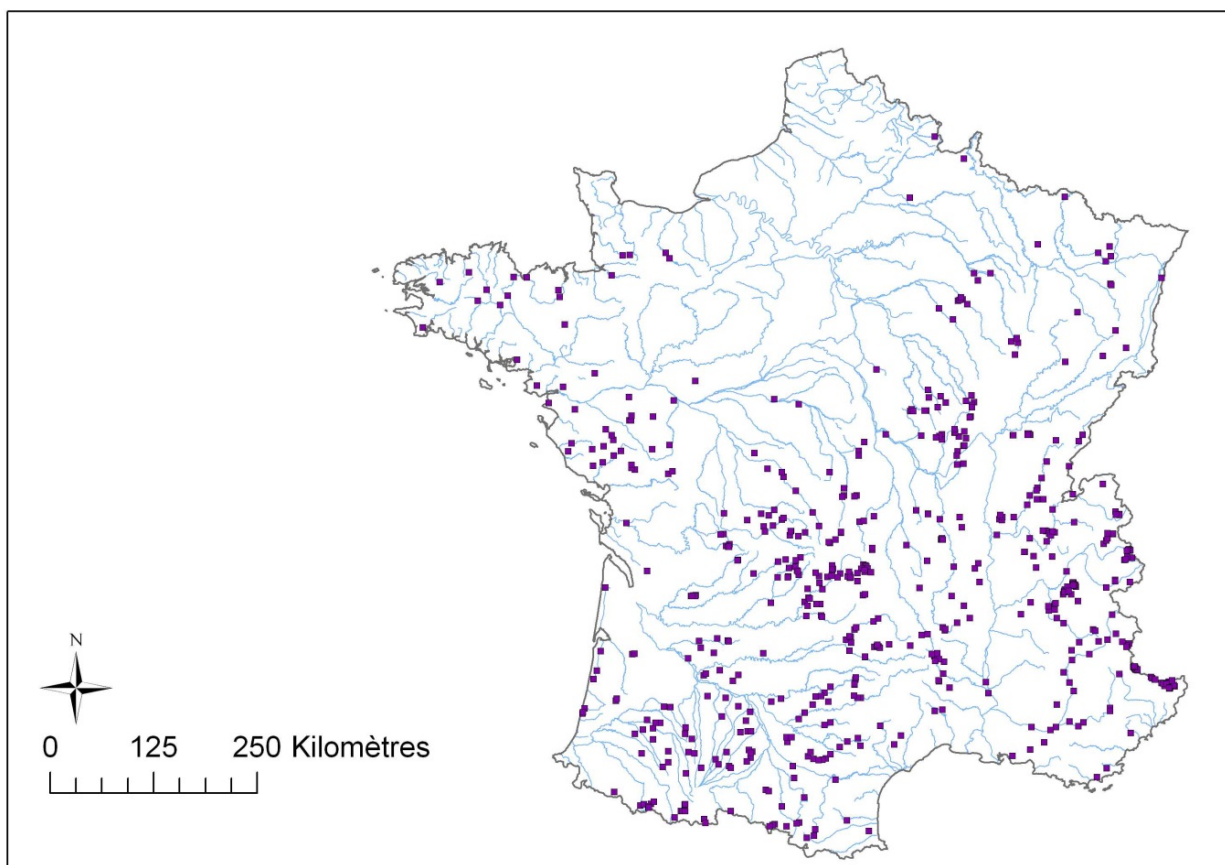
### 3.3 Evaluation de l'impact des barrages-réservoirs

La mise en place de la base de données hydro-climatique a été l'occasion de valoriser une base de données géoréférencée des principaux ouvrages de type barrage-réservoir. Bien qu'incomplète, cette base compile les capacités de stockage de 283 ouvrages. L'échantillon s'étend de 0.3 à 1280 millions de  $m^3$  (capacité maximale de stockage au lac de Serre-Ponçon). Une estimation grossière du niveau d'influence d'une station hydrométrique peut être donnée en rapportant le volume maximum stockable dans les retenues en amont de cette station au module du débit de cette station (on aurait également pu se fixer une référence à un débit de crue ou d'étiage et distinguer des niveaux d'influence différents suivant chaque gamme de débit). Un outil de calcul a donc été mis en place pour déterminer pour chaque station hydrométrique la capacité totale de stockage d'eau en amont.

### 3.4 BD\_HYDRO

Au final, BD\_HYDRO est composée de 4504 fichiers station où sont stockées les chroniques journalières des débits journaliers. La nomenclature retenue est CODE\_HYDRO.txt où CODE est le code à 8 caractères identifiant chaque station hydrométrique selon la nomenclature Banque Hydro. S'y ajoute le fichier 00\_Liste\_HYDRO.txt qui compile certaines des métadonnées relatives aux stations hydrométriques.

Les fichiers de BD\_HYDRO sont écrits comme dans l'extrait en Figure 19.



**Figure 18** – Localisation des ouvrages réservoirs recensés dans la base de données des principaux ouvrages de type barrages-réservoirs.

```

=====
## Date de création du fichier      : 2020-04-08 19:00:44
## Auteurs                        : Pierre-Yves Bourgin - Pierre Brigode - Laurent Coron - Olivier Delaigue - Benoît Génot
## Créateur du fichier            : Mesure Hban
## Entité                         : INRAE - UR HYCAR
## Extraction données hydrologiques : INRAE - UR HYCAR - 2020-01-14
## Producteur données hydrologiques : SCHAPI (BANQUE HYDRO) DREAL Aquitaine
## Source MNT                    : France_100m_L2E [NASA - SRTM]
## Source plan de drainage        : France_100m_L2E [INRAE - Nicolas Le Moine (Sorbonne Université - UMR METIS)]
=====
## Code station                   : P6081510
## Nom station                    : L'Isle à Cognac-sur-l'Isle
## Territoire                     : Métropole continentale
##
## Définition position stations   : 2018
## Coordonnées station L93       : 539515 ; 6477205 ; 539500 ; 6477325 ; (BANQUE HYDRO ; INRAE Lambert 93 [m])
## Coordonnées station L2E       : 491329 ; 2042629 ; 491313 ; 2042749 ; (BANQUE HYDRO ; INRAE Lambert 2 étendu [m])
## Coordonnées station WGS84     : 0.94940 ; 45.37549 ; 0.94917 ; 45.37657 ; (BANQUE HYDRO ; INRAE WGS84 [degrés décimaux])
## Superficie bassin             : 432.00 ; 448.25 ; (BANQUE HYDRO ; INRAE [km2])
## Altitude station              : 134 ; 137 ; (BANQUE HYDRO ; INRAE [m])
=====
## Pas de temps                   : Journalier
## Interpolation des débits      : -
## Taux de lacunes               : 30.4 [%]
## Débits disponibles            : 1918-01-01 ; 2020-01-12 ; (BANQUE HYDRO ; Période [AAAA-MM-JJ])
## Caractéristiques              : 1 ; 3/1/1/- ; 1/1/1 ; 01/09 ; (BANQUE HYDRO ; Statut ; Finalité/Type/Influence/Débit ; QBE/QME/QHE ; MoisE/M)
## Statut                        : [0] inconnu, [1] station avec signification hydrologique, [2] station sans signification hydrologique, [3] station d'essai
## Finalité                      : [0] inconnue, [1] hydrométrie générale, [2] alerte de crue, [3] 1 et 2, [4] gestion d'ouvrage, [5] police des eaux, [6] suivi d'étiage, [7] bassin ex
## Type                          : [0] inconnu, [1] une échelle, [2] deux échelles, station mère, [3] deux échelles, station fille, [4] débits mesurés, [5] virtuelle
## Influence                     : [0] inconnue, [1] nulle ou faible, [2] en étiage seulement, [3] forte en toute saison
## Débit                         : [0] reconstitué, [1] réel (prise en compte de l'eau rajoutée ou retirée du bassin selon aménagements), [2] naturel
## QBE,QME,QHE                  : qualité basses, moyennes, hautes eaux : [0] inconnue, [1] bonne, [2] douteuse
## MoisE/MoisA                  : premier mois d'étiage, premier mois de l'année hydrologique [MM]
=====
## Champs
## Date                          : date [AAAA-MM-JJ] (horodatage : UTC)
## Qls                           : débit [l/s]
## Qmmj                          : lame d'eau [mm/j] (calcul avec la surface INRAE)
## Val_H                          : code de validité BANQUE HYDRO ([5] estimé (anciennement douteux), [I] inconnu faible, [S] inconnu fort, [8] reconstitué bon, [9] bon)
## Val_I                          : code de validité INRAE ([0] anomalie présumée : valeur interpolée, [1] pas d'anomalie détectée, [2] débit négatif)
=====
Date; Qls; Qmmj; val_H; val_I
19180101; 6400; 1.234; 9; 1
19180102; 4750; 0.916; 9; 1
19180103; 3850; 0.742; 9; 1

```

**Figure 19** – Exemple de fichier de BD\_HYDRO



## FLOW-CHART DE LA CREATION DE LA BASE DE DONNEES HYDRO-CLIMATIQUES

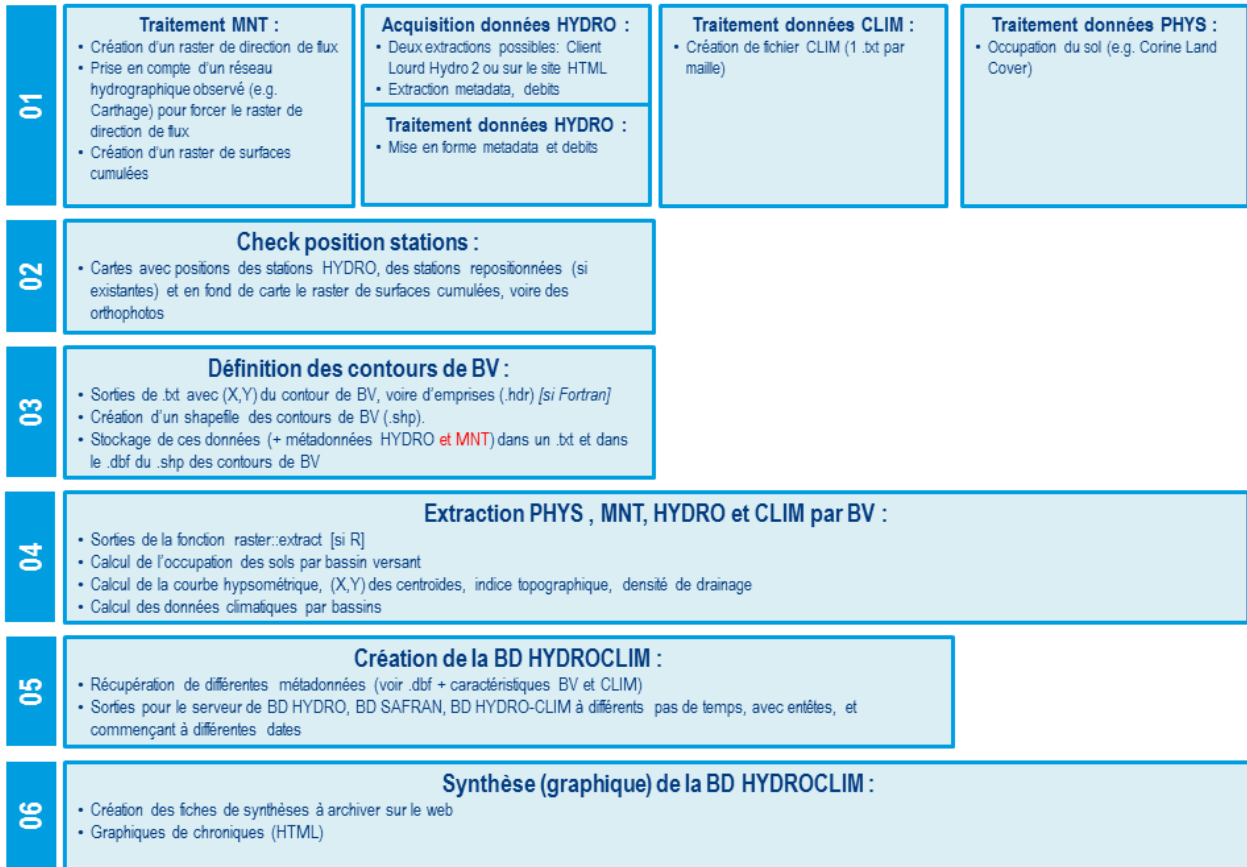


Figure 20 – Descriptif des étapes permettant la création de la base de données hydro-climatiques

## 4 Structure de la base de données

La base de données est organisée par niveaux de traitement et cette organisation est décrite dans la Figure 20.

Une description plus détaillée par niveau de traitement des différentes étapes nécessaires à la construction de la base de données hydro-climatiques est disponible dans le fichier excel BD\_BASSIN\_chainage\_nouvelle\_organisation\_2017-03-02.xlsx (voir extrait Figure 21). Les données d'entrée et de sortie, le nom des codes ainsi que les logiciels utilisés sont également indiqués à chaque étape de calcul.

Au niveau 01, se trouvent les données brutes ainsi que les différents traitements concernant le MNT, les bases de données hydrologiques (HYDRO), climatiques (CLIM) et physiques (PHYS).

Au niveau 02, on trouve les différents traitements permettant à partir de la base de données HYDRO de repositionner les stations hydrométriques sur le raster de direction des flux.

LOGICIEL	ACTION	FUNCTION / SCRIPT	FICHER(S) D'ENTRÉE	FICHER(S) DE SORTIE
	<b>ET MNT - Traitement de modèle numérique de terrain</b>			
FORTRAN	Création d'un raster de direction d'écoulement Création d'un raster de direction d'écoulement		France_100m_L2E_MNT_RAV.R	France_100m_L2E_DF3.R (code -0,18,2)
SCILAB	Création d'un raster de direction d'écoulement forcé par un réseau hydrographique (e.g. Carthage) Voir Nicolas Le Moine (jésomats@Sorbonne Université)		France_100m_L2E_MNT_RAV.R carthage.shp	
R	Création d'un raster de direction d'écoulement forcé par un réseau hydrographique (e.g. Carthage) Surcoassement du MNT par le réseau hydrographique observé	mapote_mnt_traitement_GRASS_bun_2016-06-02.R voir aide "01_formation_R_032-geomatique_wrappers_tutoriel.pdf"	France_100m_L2E_MNT_RAV.R	France_100m_L2E_DF3.R (code -0,6,0)
FORTRAN	Création d'un raster de surfaces cumulées, de la distance à la mer, d'indice topographique et de pixels terminaux estuaires (attention si raster ne contient pas la mer) Chaque pixel contient la surface totale des pixels en amont Chaque pixel contient la distance à la mer totale des pixels en amont	__COMPILATION_CREATION_SCUM_PTERM_DMER_ITOPO.bat _MAIN.Tor	France_100m_L2E_DF3.R	France_100m_L2E_SCUM.R France_100m_L2E_DMER.R
FORTRAN	Chaque pixel contient l'indice topographique calculé à partir du nombre de mailles total des pixels en amont et de la pente entre le pixel et son pixel aval Chaque pixel terminal contient la valeur 1 (si non 0 ou N/A)	_COMMON_DATA.Tor Gestion_coordonnees.Tor Lst_PlatDrainage.Tor Lst_MNT.Tor Coutte.Tor	France_100m_L2E_MNT_relasse.R	France_100m_L2E_ITOPO.R France_100m_L2E_FTERM.hdr
R	Chaque pixel contient la surface totale des pixels en amont	mapote_mnt_traitement_GRASS_bun_2016-06-02.R		_ACC.R
R	Créer une matrice de pixels de rivières On choisit un seuil de surface cumulée à partir duquel on définit ce qu'est un cours d'eau	e.g. _extraction_point_reseau_hydro_CORSE_FL_T_L33.R mapote_mnt_traitement_GRASS_bun_2016-06-02.R	France_100m_L2E_SCUM.R	RDATA ou csv

Figure 21 – Descriptif des étapes permettant la création de la base de données hydro-climatiques

Au niveau 03, on trouve les traitements permettant de définir le contour des bassins versants associés aux stations hydrométriques à partir des coordonnées « corrigées » des stations hydrométriques (niveau 02).

Au niveau 04, on trouve les étapes permettant d'extraire les caractéristiques morphologiques, climatiques et hydrologiques à partir de la définition des contours de bassin versant (niveau 03) ou du post-traitement du MNT et de la grille de direction d'écoulement. L'impact des barrages-réservoirs en amont des stations hydrologiques est également calculé à ce niveau-ci.

Au niveau 05, on trouve les étapes permettant de créer la base de données hydroclimatiques (BD\_HYDROCLIM) en assemblant les données de la base HYDRO (BD\_HYDRO) et celles de la base CLIM (BD\_CLIM). BD\_HYDROCLIM est donc formée de 3729 fichiers où sont stockées les chroniques journalières des variables hydro-climatiques sur la période 01/08/1958 – 31/07/2019. La nomenclature retenue est CODE\_HYDROCLIM.txt où CODE est le code à 8 caractères identifiant chaque station hydrométrique selon la nomenclature Banque Hydro. S'y ajoute le fichier 00\_Liste\_BV.txt qui compile certaines des métadonnées relatives aux stations hydrométriques. Les fichiers de BD\_HYDROCLIM sont écrits comme dans l'extrait en Figure 22.

Au niveau 06, on trouve un catalogue de fiches synthétiques de bassin versant. Sur un même document sont reprises les caractéristiques morphologiques, physiologiques, hydrologiques et climatiques d'un bassin versant, ainsi qu'une représentation cartographique du bassin. Ces fiches doivent être lues comme des "cartes d'identité" des bassins versants. Elles sont produites dans un format image (PNG) au moyen d'une routine de traitement fonctionnant sous R.

À ce même niveau 06, on trouve également les résultats de post-traitement (représentations graphiques des chroniques). Pour chaque bassin de BD\_BASSIN, un fichier graphique PDF est édité. On y trouve les chroniques de précipitation, débits, température, fraction solide et ETP (selon la formule d'Oudin). Ces fichiers sont obtenus grâce à une routine d'édition (BilanVisuelChroniques.r) développée en R par Laurent Coron, également mise à disposition de l'utilisateur, qui pourra ainsi et moyennant quelques précautions adapter les modalités de représentation à ses besoins. Un manuel d'utilisation de cette routine est d'ailleurs disponible dans la racine /03\_GRAPHIS\_R/. Les diagrammes sont placés dans /03\_GRAPHIS\_R/Graphiques/. Les fichiers sources pour l'édition des diagrammes sont dans /03\_GRAPHIS\_R/Chroniques/. Le contenu des représentations est relativement explicite. Précisons simplement qu'un trait rouge signifie une absence de données, tandis qu'un trait noir (pour les chroniques de débits seulement) signifie la présence d'une anomalie supposée de mesure.

À chaque niveau, les codes de calcul spécifiques à chaque étape sont localisés au sein d'un répertoire /00\_SCRIPT/, les données éventuellement nécessaires aux calculs sont disponibles dans le répertoire /00\_DATA/.

Les sous-routines Fortran utilisées au sein de plusieurs programmes sont localisées dans un répertoire unique /00\_SUBROUTINES\_FORTRAN/, à la racine du dossier /DATABASE/. Les codes Fortran sont compatibles avec les compilateurs GFortran et Intel, un code (1 ou 2) est à renseigner dans le COMMON\_DATA.for afin que l'utilisateur renseigne le compilateur souhaité. Si l'on souhaite utiliser le compilateur GFortran, les .for peuvent être compilés et exécutés à l'aide de .bat.

Enfin, afin de faciliter la lecture et l'utilisation des codes R et Fortran, un fichier texte Liste\_chemin\_BDD.txt associe des balises constituées de 6 caractères aux chemins des répertoires lus par les différents codes R et Fortran (voir extrait Figure 24). Dans ces programmes, les différentes balises utiles à l'exécution du code sont repérées dans le fichier texte et les chemins associés sont lus. Pour exécuter les différents programmes, l'utilisateur devra simplement changer les chemins des répertoires dans ce dossier et indiquer dans chaque code l'emplacement de ce fichier texte.

*Mise en garde !*

Au sein du large ensemble considéré traité, on trouve certaines stations pour lesquelles les chroniques de débit sont très courtes, à peine quelques semaines. En dépit des précautions prises, ces stations peuvent donc réserver quelques surprises sur les aspects hydrologiques à la lecture des fiches synthétiques. Nous avons fait le choix de garder ces stations au sein de la base de données, car certaines informations sont néanmoins précieuses (climatologie, morphologie). Il en va de la responsabilité de l'utilisateur de lire avec la précaution requise les données des fiches synthèses.

```

#####
## Date de création du fichier      : 2020-04-08 19:00:44
## Auteurs                          : Pierre-Yves Bourgin - Pierre Brigode - Laurent Coron - Olivier Delaigue - Benoît Génot
## Créateur du fichier              : Mesure Hban
## Entité                            : INRAE - UR HYCAR
## Extraction données hydrologiques  : INRAE - UR HYCAR - 2020-01-14
## Producteur données hydrologiques : SCHAPI (BANQUE HYDRO) DREAL Aquitaine
## Extraction données climatiques    : INRAE - UR HYCAR - Antony - Novembre 2019
## Producteur données climatiques    : Météo-France (réanalyse SAFRAN)
## Versions                          : Modification du MNT utilisé pour la grille SIM
## Versions                          : Décembre 2013 - Anomalie Pluie Alsace corrigée - mise à jour 2016
## Versions                          : 1958 - 2017 - Correction Bug "08-01 et 07-31" - mise à jour juillet 2018
## Source MNT                        : France_100m_L2E [NASA - SRTM]
## Source plan de drainage           : France_100m_L2E [INRAE - Nicolas Le Moine (Sorbonne Université - UMR METIS)]
#####
## Code station                     : P6081510
## Nom station                       : L'Isle à Cognac-sur-l'Isle
## Territoire                        : Métropole continentale
#####
## Définition position stations      : 2018
## Coordonnées station L93           : 539515 ; 6477205 ; 539500 ; 6477325 ; (BANQUE HYDRO ; INRAE Lambert 93 [m])
## Coordonnées station L2E           : 491329 ; 2042629 ; 491313 ; 2042749 ; (BANQUE HYDRO ; INRAE Lambert 2 étendu [m])
## Coordonnées station WGS84        : 0.94940 ; 45.37549 ; 0.94917 ; 45.37657 ; (BANQUE HYDRO ; INRAE WGS84 [degrés décimaux])
## Coordonnées centre bassin L93     : 549776.6 ; 6493674.8 ; (INRAE ; Lambert 93 [m])
## Coordonnées centre bassin L2E     : 501463 ; 2059199 ; (INRAE ; Lambert 2 étendu [m])
## Coordonnées centre bassin WGS84   : 1.075335 ; 45.526074 ; (INRAE ; WGS84 [degrés décimaux])
## Superficie bassin                 : 432.00 ; 448.25 ; (BANQUE HYDRO ; INRAE [km2])
## Altitudes du bassin               : Qmin ; Q10 ; Q20 ; Q30 ; Q40 ; Q50 ; Q60 ; Q70 ; Q80 ; Q90 ; Qmax ; (INRAE ; Quantiles [m])
##                                  : 136 ; 240 ; 276 ; 300 ; 320 ; 337 ; 352 ; 368 ; 384 ; 406 ; 559 ;
#####
## Stockage Amont                    : - ; (Estimation des capacités de stockage à l'amont de la station dans des ouvrages réservoirs [10e6 m3])
#####
## Pas de temps                      : Journalier
## Interpolation des débits          : -
## Taux de lacunes                   : 30.4 [%]
## Débits disponibles                 : 1918-01-01 ; 2020-01-12 ; (BANQUE HYDRO ; Période [AAAA-MM-JJ])
## Caractéristiques                   : 1 ; 3/1/1/- ; 1/1/1 ; 01/09 ; (BANQUE HYDRO ; Statut ; Finalité/Type/Influence/Débit ; QBE/QME/QHE ; MoisE/M)
## Statut                            : [0] inconnu, [1] station avec signification hydrologique, [2] station sans signification hydrologique, [3] station d'essai
## Finalité                           : [0] inconnue, [1] hydrométrie générale, [2] alerte de crue, [3] 1 et 2, [4] gestion d'ouvrage, [5] police des eaux, [6] suivi d'étiage, [7] bassin ex
## Type                               : [0] inconnu, [1] une échelle, [2] deux échelles, station mère, [3] deux échelles, station fille, [4] débits mesurés, [5] virtuelle
## Influence                          : [0] inconnue, [1] nulle ou faible, [2] en étiage seulement, [3] forte en toute saison
## Débit                              : [0] reconstitué, [1] réel (prise en compte de l'eau rajoutée ou retirée du bassin selon aménagements), [2] naturel
## QBE,QME,QHE : qualité basses, moyennes, hautes eaux : [0] inconnue, [1] bonne, [2] douteuse
## MoisE/MoisA : premier mois d'étiage, premier mois de l'année hydrologique [MM]
#####
## Champs
## Date                              : date [AAAA-MM-JJ] (horodatage : UTC)
## Qls                               : débit [l/s]
## Qmmj                              : lame d'eau [mm/j] (calcul avec la surface INRAE)
## Val_H                             : code de validité BANQUE HYDRO ([5] estimé (anciennement douteux), [I] inconnu faible, [S] inconnu fort, [8] reconstitué bon, [9] bon)
## Val_I                             : code de validité INRAE ([0] anomalie présumée : valeur interpolée, [1] pas d'anomalie détectée, [2] débit négatif)
## Ptot                              : précipitations (liquides + solides) [mm] sur la période [(J)06h,(J+1)06h]
## Fsol                              : fraction solide des précipitations [-] sur la période [(J)06h,(J+1)06h]
## E_OU                              : évapotranspiration potentielle de Oudin [mm]
## E_PE                              : évapotranspiration potentielle de Penman [mm]
## E_PM                              : évapotranspiration potentielle de Penman-Monteith [mm]
## Temp                              : température de l'air [°C] sur la période [(J)00h,(J+1)00h]
## Vent                              : vitesse du vent [m/s] sur la période [(J)00h,(J+1)00h]
## Humi                              : humidité spécifique de l'air [g/kg] sur la période [(J)00h,(J+1)00h]
## DLI                              : rayonnement atmosphérique [J/cm2] sur la période [(J)00h,(J+1)00h]
## SSI                              : rayonnement visible [J/cm2] sur la période [(J)00h,(J+1)00h]
## IHGR                             : indice INRAE d'humidité des sols du bassin (calculé pour un réservoir GR de 275 mm) [-]
## SWI                              : indice ISBA d'humidité des sols du bassin [-]
## SWE                              : équivalent en eau de la neige du modèle ISBA [mm]
## TN                              : température minimale de l'air [°C] sur la période [(J-1)18h,J18h]
## TX                              : température maximale de l'air [°C] sur la période [J06h,(J+1)06h]
#####
## Date; Qls; Qmmj; val_H; val_I; Ptot; Fsol; Temp; E_OU; E_PE; E_PM; Vent; Humi; DLI; SSI; IHGR; SWI; SWE; TN; TX
19580801; -99; -99.000; -99; -99; 1.4; 0.00; 23.5; 4.6; 2.8; 2.4; 2.4; 12.7; 2551.5; 2002.7; -99.000; 0.190; 0.00; 9.7; 29.3
19580802; -99; -99.000; -99; -99; 0.0; 0.00; 17.8; 3.6; 3.5; 3.0; 1.9; 9.6; 2954.9; 1806.6; -99.000; 0.184; 0.00; 14.0; 21.0
19580803; -99; -99.000; -99; -99; 0.0; 0.00; 14.8; 3.2; 3.0; 2.6; 1.8; 7.1; 2684.6; 1737.3; -99.000; 0.177; 0.00; 9.2; 20.8
19580804; -99; -99.000; -99; -99; 0.0; 0.00; 16.0; 3.3; 4.0; 3.6; 1.4; 7.8; 2728.0; 2337.3; -99.000; 0.171; 0.00; 8.4; 21.7

```

Figure 22 – Exemple de fichier de BD\_HYDROCLIM



Type	Source	Période	PdTemps
Débit	Banque HYDRO	1993-2019	Journalier
Climatique	SAFRAN (Météo-France)	1958-2019	Journalier
MNT 100 m	SRTM (NASA)	2011	-
Date extraction	Banque Hydro	2020-01-14	-
Moyennes Interannuelles			
Débit	197 (0,106)	mm/an	(m <sup>3</sup> /s)
Precipitations (totales / solides)	529 / 69,9	mm/an	
ETP (Penman-Monteith / Oudin)	560 / 696	mm/an	
Température	9,5	°C	
Taux de lacune des débits	3	%	
Valeurs extrêmes de la série			
Q <sub>J</sub> MAX	17,4 (3,4)	mm/j	(m <sup>3</sup> /s)
P <sub>J</sub> MAX	58,7	mm/j	
Q <sub>MIN</sub>	4	mm/mois	
			1994-05-19
			2007-08-08
			2004-09

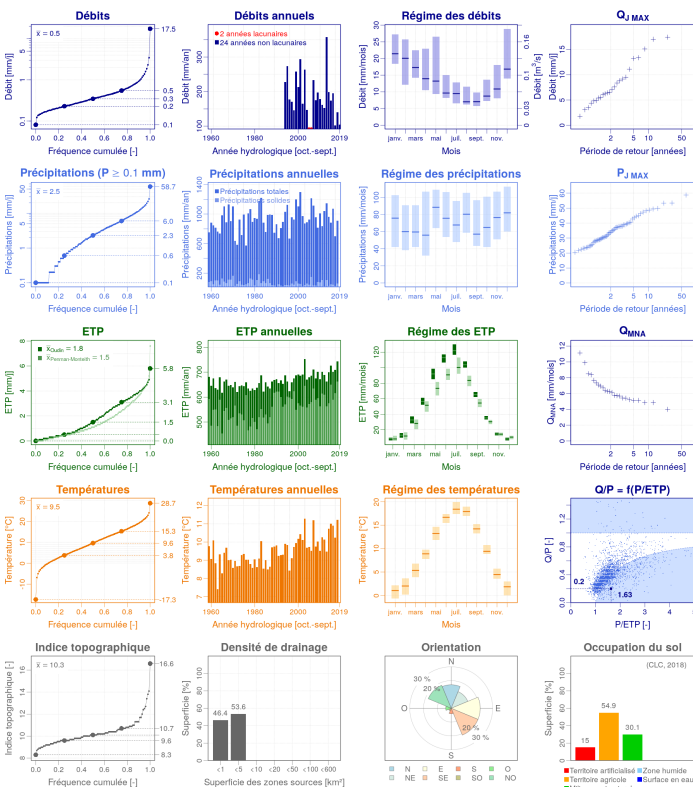
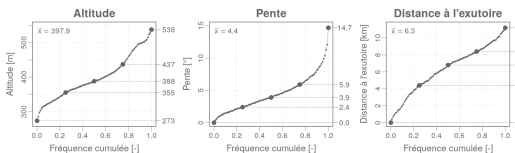
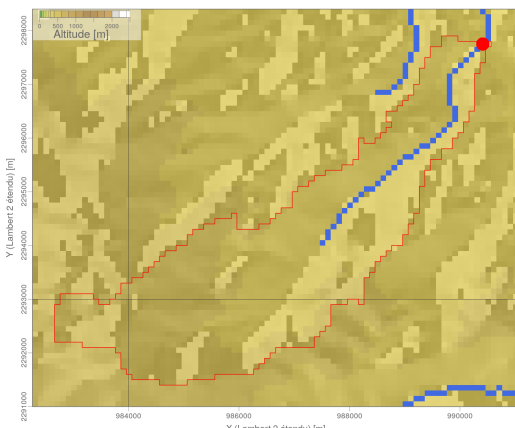


Figure 23 – Fiche synthèse de la station A0220200 – le Lertzbach à Hégenheim

## 5 Volume de la base de données

Table 2 – Volume des données de la base de données hydrométéorologique

Description	Nom dossier	Volume (Go)
Entrées diverses	00_Source_DIVERS	0,5
Entrées de BD_HYDRO	00_Source_HYDRO	0,5
Entrées de BD_SAFRAN	00_Source_SAFRAN	21,5
BD_HYDRO	01_BD_HYDRO	1,1
BD_SAFRAN	01_BD_SAFRAN	15,9
BD_BASSINS	02_BD_BASSINS	7,4
DIAGRAMMES CHRONIQUES	03_GRAPHES_R	4,5
BD_MORPHO	04_MORPHO	86,3
FICHES SYNTHESE	05_SYNTHESE	1,2

```

# Liste des chemins et parametres utilises pour la construction de la base de donnees hydroclimatiques de l'equipe HYDRO d'INRAE Antony
#####
## SUBROUTINES FORTRAN ##
#####

# Emplacement des sousroutines Fortran
0;SUBfor;00_SUBROUTINES_FORTRAN\

#####
## DATA TEMP ##
#####

0;DATAtm;0000_DATA_TMP\

#####
## DATA SIG ##
#####
#repertoire data SIG
0;DATsig;99_SIG\

#fichier avec decoupage zones hydro en france
1;ZONhyd;99_SIG\vector\FR_zone_hydro_L2E

#fichier avec reseau hydro
0;RESHyd;99_SIG\vector\Rivieres

#! nom et coord des stations vigicruces
1;POSvig;99_SIG\vector/Stations_VigiCruces/stations_vigicruces.txt

#BD cartahge
0;CARshp;99_SIG\vector\FR_CARTHAGE_2016_L93

#BD TOPO
0;DATtop;99_SIG\vector\FR_TOPO_2017_L93_IGN

#fichier contours admin europe
0;CONeur;99_SIG\vector\Contour_Europe

#fichier contours admin france
1;CONTfr;99_SIG\vector\FR_admin_area0_L2E_IGN

#fichier commune france
0;CONTco;99_SIG\vector\GEOFLA_1-1_SHP_LAMB93_FR-ED121\COMMUNES

#MNT bathy
0;BATgeb;99_SIG\raster\MNT_GEBCO\

#palette couleurs SIG
0;PALsig;99_SIG\_PAL\

#mailles safran
0;MAIsaf;99_SIG\vector\SAFRAN

#####

```

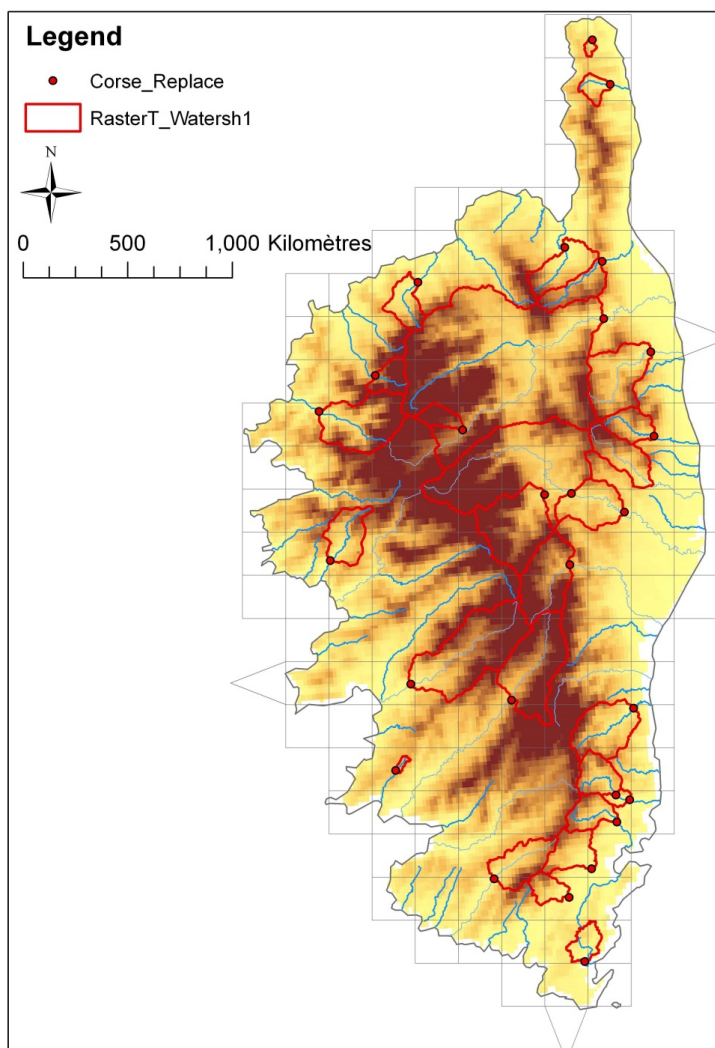
**Figure 24** – Extrait du fichier répertoriant la liste des chemins utilisés pour la construction de la base de données et les balises associées.

## Références

- K. Beven and M. Kirkby. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Sciences Bulletin*, 24(1) :43–69, 1979.
- A. Ducharne. Reducing scale dependence in topmodel using a dimensionless topographic index. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13(12) :2399–2412, 2009.
- J. Garbretch and L. Martz. 1997.
- N. Le Moine. *Le bassin versant de surface vu par le souterrain :une voie d'amélioration des performances et du réalisme des modèles pluie-débit ?* PhD thesis, Université Pierre et Marie Curie, 2008.
- L. Martz and J. Garbretch. 1996.
- L. Oudin, C. Michel, and F. Anctil. Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall-runoff model? : Part 1—can rainfall-runoff models effectively handle detailed potential evapotranspiration inputs? *Journal of Hydrology*, 303(1) :275 – 289, 2005. ISSN 0022-1694.
- J. Vidal, E. Martin, L. Franchistéguy, M. Baillon, and J. Soubeyrou. A 50-year high-resolution atmospheric reanalysis over france with the safran system. *International Journal of Climatology*, 30(11) : 1627–1644, 9 2010. ISSN 1097-0088.

## Annexe – Cas de la Corse

Le passage du MNT à la grille de direction d'écoulement n'a pas été réalisé pour la Corse. La délimitation des contours ne peut donc pas se passer comme décrit section 2. Dans le cadre d'un travail réalisé en AMO pour le MEDDTL, une base de données hydrométéorologique a été néanmoins réalisée sur le même modèle et mise à disposition ici /02\_BD\_BASSINS/02\_BASSINS\_CORSE/. Il s'agit du croisement entre les données hydrométriques issues de la Banque HYDRO (une sélection de bassins en réalité) et les données SAFRAN. Le contour des bassins versants a été obtenu par analyse spatiale sous logiciel SIG et vérifié au cas par cas. Les variables sont précipitations totales, fraction solide, température, ETP Oudin et ETP Penman. 28 bassins ont été traités. De récents travaux ont été menés sur la Corse (voir rapport de P. Brigode (2014)). De la même manière que pour la France métropolitaine, les différentes étapes de traitement en vue de la construction de la base de données hydro-climatiques ont été réalisées. Cette étude a été menée sur 35 stations hydrométriques dont 11 sont des stations d'Électricité de France).



**Figure 25** – L'ensemble des bassins versant corses disponibles dans BD\_BASSINS.

## **Foire Aux Questions**

### **Pourquoi dans BD\_HYDRO certaines stations n'ont-elles pas de surfaces associées ?**

BD\_HYDRO est un produit intermédiaire qui n'a d'autre objectif que l'organisation fonctionnelle des chroniques de débits disponibles dans la Banque HYDRO. Ces stations n'ont pas toujours été replacées avec succès sur la grille de direction d'écoulement et n'ont donc pas de surface INRAE associée. Dans ce cas, elles ne seront pas dans BD\_HYDROCLIM. Par ailleurs, la surface n'est pas toujours indiquée dans les métadonnées Banque HYDRO.

### **Que faire si le bassin qui m'intéresse n'est pas dans la base de données BD\_HYDROCLIM ?**

Nous avons essayé dans ce travail d'être le plus exhaustif possible, notamment dans l'étape clef du remplacement des stations sur la grille de direction d'écoulement. Il se peut cependant que l'utilisateur ne trouve pas le bassin versant qui l'intéresse. Dans la majorité des cas, il s'agirait de stations/bassins pour lesquels le remplacement sur la grille de direction d'écoulement présentait trop d'incertitudes. Nous avons préféré écarter ces points.

### **Pourquoi un bassin versant présent dans BD\_HYDRO n'est-il pas dans BD\_HYDROCLIM ?**

Il se peut qu'un bassin présent dans BD\_HYDRO n'apparaisse pas dans BD\_HYDROCLIM. Plusieurs raisons sont possibles. Soit la station n'a pas été replacée sur la grille de direction d'écoulement (canal, incertitudes élevées, limites intrinsèques à la modélisation des écoulements), soit les données de débits disponibles ne couvrent pas la période SAFRAN. Typiquement, une station hydrométrique dont la chronique s'arrête avant 1958 n'apparaîtra pas dans BD\_HYDROCLIM.

### **Qu'en est-il des départements et territoires d'Outre-mer ?**

Nous avons vu que les piliers de la base de données hydrométéorologique sont le MNT, la grille de direction d'écoulement, les données hydrométriques Banque HYDRO et les données SAFRAN. Or la grille de direction d'écoulement calculé et les réanalyses SAFRAN ne couvrent pas les départements et territoires d'Outre-mer. Le traitement de ces territoires nécessitera un travail spécifique.