

Mention Sciences de l'Environnement Terrestre (SET)

Spécialité Sciences de l'Eau (SCE)

Parcours Gestion des Milieux Aquatiques (GEMA)

Rapport de stage de Master Professionnel

**Caractérisation régimes hydrologiques des bassins versants de
l'Infrastructure de Recherche OZCAR (Observatoires de la Zone Critique.
Applications et Recherche) à l'aide de signatures hydrologiques**

Ousseynou KA

Encadrante à INRAE : Isabelle BRAUD

Tuteur enseignant : Jean Christophe RODITIS



**Institut National de Recherche pour l'Agriculture,
l'Alimentation et l'Environnement (Villeurbanne)**



Septembre 2020

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier vivement ma maitre de stage, Madame Isabelle Braud, directrice de recherche à INRAE (Villeurbanne), pour son accueil, sa patience, sa disponibilité, ses judicieux conseils et le partage de son expertise au quotidien. Grâce aussi à sa confiance, j'ai pu m'accomplir totalement dans mes missions. Elle fut d'une aide précieuse dans les moments les plus délicats et surtout pendant le confinement. Elle a aussi relu attentivement le présent mémoire.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à Monsieur Ivan Horner (doctorant de l'équipe Hydrologie des bassins versants à Riverly). Je le remercie sincèrement de m'avoir donné l'opportunité de m'appuyer et de travailler avec les scripts R qu'il a développés et le jeu de signatures hydrologiques qu'il a élaborés. Je me suis beaucoup appuyé sur ses travaux pour mener à bien mon stage.

Je remercie en particulier l'IR-OZCAR pour le financement de mon stage. Je remercie aussi les personnels de l'UR RiverLy pour leur accueil chaleureux.

Je désire aussi remercier toutes les personnes qui ont fourni des données et des informations sur les sites sur lesquels j'ai travaillé : Sylvain Kuppel, Ophélie Fovet, Flora Branger, Anne Probst, Jean-Luc Probst, Marie-Claire Pierret, Nathalie Folton, Guillaume Nord, Pierre-Alain Ayral, Didier Josselin, Jean-François Didon-Lescot, Arnaud Blanchouin, Gaëlle Tallec, Laurie Boithias, Damien Raclot, Jérôme Molénat, Eric Lajeunesse, Basile Hector, Sylvie Galle, Christophe Peugeot. Merci aussi à Florence Habets et Aurélie Floriou pour des échanges sur certains jeux de données.

Un grand merci au corps professoral et administratif de l'OSU Pythéas, particulièrement au département SET et la spécialité Sciences de l'Eau pour l'encadrement de qualité.

Je remercie du fond du cœur mon grand-père Ousmane SOW, pour son amour, sa bienveillance et ses sacrifices à mon égard.

Je voudrais exprimer ma reconnaissance envers mon ami et compagnon Pierre Dusza qui m'a apporté son soutien moral et intellectuel tout au long de mon master. Un grand merci à mon ami Fatou Ndao pour ses conseils et sa disponibilité.

ABSTRACT

It is important to study and understand how the critical zone works. The objective of the work is therefore to estimate a set of hydrological signatures on 28 watersheds of the OZCAR Research Infrastructure (Critical Zones Observatory - Application and Research) in order to characterize the hydrological regimes of these basins from data from rain and flow. From these hydrological signatures, statistical analyzes are carried out to identify similarities / dissimilarities in the behavior of the watersheds according to their geologies, climates, land use, data derived from DEM. The aim is to answer the following questions: 1 / does the set of hydrological signatures make it possible to characterize the functioning of catchments and to classify a set of catchments ? 2 / Can the classifications obtained be explained by the hydroclimatic and physiographic characteristics of the catchments?

To answer these questions, statistical analyzes (ACP, FAMD and HCPC) are proposed. Correlation analyzes on the one hand between hydrological signatures and on the other hand between signatures and hydroclimatic factors have made it possible to simplify and refine our dataset. Catchments in France were analyzed and classified among themselves first according to hydrological signatures alone and then according to hydrological signatures, climatic and physiographic factors. At the end of this classification, the catchments with the longest data series were selected in each class in order to perform other statistical analyzes with catchments outside France.

The set of hydrological signatures made it possible to characterize the functioning of the catchments. Hydrological processes related to these signatures were highlighted. Classes of watersheds have been formed according to their slow or fast flow generation process, depending on their storage capacity and their water release characteristics. The climatic and physiographic characteristics of the watersheds such as geology, land use, slope, elevation, drainage density, topographic humidity index have strongly influenced the classification. The range of variation of climatic factors is greater in the classification of watersheds outside France. Groups of watersheds marked by high proportions of base flow, strong soil drainage, strong contributions from groundwater, intermittent flows, significant runoff or infiltration, rapid or slow recessions, small or large water storage stood out. These groups can be explained by high or low values of climatic factors and / or physiographic factors cited above.

Keywords : Hydrological signatures, hydroclimatic and physiographic factors, Catchments classification

RESUME

Il est important d'étudier et de comprendre le fonctionnement de la zone critique. L'objectif du travail est donc d'estimer un jeu de signatures hydrologiques sur 28 bassins versants de l'Infrastructure de Recherche OZCAR (Observatoire des Zones Critiques – Application et Recherche) afin de caractériser les régimes hydrologiques de ces bassins à partir de données de pluie et de débit. A partir de ces signatures hydrologiques, des analyses statistiques ont été menées pour dégager des ressemblances/dissembances dans les comportements des bassins versants en fonction de leurs géologies, climats, occupations du sol, données dérivées des MNT. Il s'agit de répondre aux questions suivantes : 1/ le jeu de signatures hydrologiques permet-il de caractériser le fonctionnement des bassins versants et de classier un ensemble de bassins versants ? 2/ les classifications obtenues peuvent-elles être expliquées par les caractéristiques hydroclimatiques et physiographiques des bassins versants ?

Pour répondre à ces questions, des analyses statistiques (ACP, FAMD et HCPC) ont été proposées. Des analyses de corrélations d'une part entre signatures hydrologiques et d'autres part entre signatures et facteurs hydroclimatiques ont permis de simplifier et de raffiner notre jeu de données. Les bassins versants en France ont été analysés et classifiés entre eux d'abord en fonction des signatures hydrologiques seules et ensuite en fonction des signatures hydrologiques, des facteurs climatiques et physiographiques. A l'issue de cette classification, les bassins versants ayant les plus longues séries de données ont été sélectionnés dans chaque classe afin d'effectuer d'autres analyses statistiques avec les bassins versants hors France.

Le jeu de signatures hydrologiques a permis de caractériser le fonctionnement des bassins versants. Des processus hydrologiques en lien avec ces signatures ont été mis en exergue. Des classes de bassins versants ont été identifiées en fonction de leur processus de génération d'écoulement lents ou rapides, en fonction de leur capacité de stockage et de leurs caractéristiques de restitution des eaux. Les caractéristiques climatiques et physiographiques des bassins versants comme la géologie, l'occupation du sol, la pente, l'élévation, la densité de drainage, l'indice d'humidité topographiques ont fortement influencé la classification. La gamme de variation des facteurs climatiques est plus importante sur la classification des bassins versants hors France. Des groupes de bassins versant marqués par de fortes proportions de débit de base, de forts drainages des sols, de fortes contributions des eaux souterraines, des intermittences sur les écoulements, d'importantes ruissellements ou d'infiltrations, de récessions rapides ou lentes, de petites ou de grands stockage des eaux se sont distingués. Ces groupes peuvent être expliqués par de fortes ou de faibles valeurs des facteurs climatiques et/ou des facteurs physiographiques cités au-dessus.

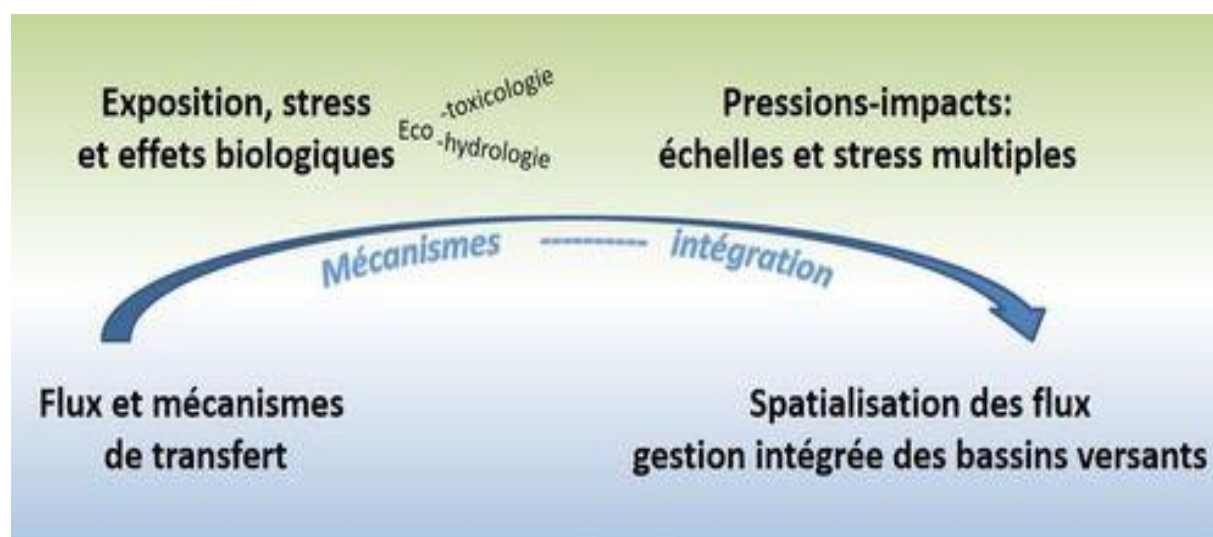
Mots-clés : Signatures hydrologiques, facteurs hydroclimatiques et physiographiques, classification des bassins versants

PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

INRAE, l'Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement est né le 1er janvier 2020. Il est issu de la fusion entre l'INRA, Institut National de la Recherche Agronomique et IRSTEA, Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture.

J'ai effectué mon stage au sein de RiverLy du Centre INRAE de Lyon-Grenoble Auvergne-Rhône-Alpes précisément dans l'équipe Hydrologie des bassins versants. RiverLy est une unité de recherche pluridisciplinaires sur le fonctionnement des hydrosystèmes. Elle allie des compétences en écologie, microbiologie, écotoxicologie, chimie environnementale, hydrologie et hydraulique.

Les chercheurs y développent des approches couvrant l'ensemble des niveaux d'organisation du vivant (de la cellule aux communautés d'organismes) aux différentes échelles structurant les hydrosystèmes (des microsites jusqu'aux grands bassins versants) pour appréhender la qualité, le fonctionnement et les dynamiques des hydrosystèmes¹.



RiverLy

Nos recherches sont organisées autour de 4 thèmes
Elles visent à intégrer des mécanismes généraux
pour l'analyse des hydrosystèmes et la prédiction de leur trajectoires

¹ <https://riverly.inrae.fr/presentation-2/>

SOMMAIRE

Remerciements	A
Résumé	C
Présentation de la structure d'accueil	D
Table des matières	E
Liste des tableaux	G
Liste des figures	H
1 Introduction	1
1.1 Contexte général	1
1.2 Etat de l'art	2
1.2.1 Cycle hydrologique et processus hydrologiques	2
1.2.2 Les signatures hydrologiques	3
1.2.3 Classification de bassins versants	4
1.3 Objectifs du stage	5
2 Matériels et Méthode	6
2.1 Les données	6
2.1.1 Présentation des bassins versants d'étude	6
2.1.2 Les données de climats	8
1.1.1 Les données de climat	8
1.1.2 Les données de climat	8
2.1.3 Les données de débits	11
2.1.4 Les données SIG	13
2.1.5 Vérification de la qualité des données par l'approche BUDYKO	16
2.2 Les signatures hydrologiques utilisées dans notre étude	17
2.2.1 Le coefficient de ruissellement (Runoff-coef)	20
2.2.2 Les signatures tirées de la courbe des débits classés	20
2.2.3 L'indice du débit de base (BFI)	21
2.2.4 L'amplitude de la variation du régime d'écoulement de base (Bf_magn)	21
2.2.5 L'approche P-Q (PQ_Slope_dry, PQ_Slope_wet, PQ_Break_date, PQ_Slope_strength)	21
2.2.6 Les récessions précoces et tardives (REC_early et REC_late)	22
2.3 Méthode d'analyses statistiques utilisées et les indicateurs de descriptions des bassins versants	23
3 Résultats et Analyse	24
3.1 Signatures hydrologiques obtenues	24
3.2 Les signatures calculées pour le bassin Kervidy-Naizin	25

3.3	Les signatures pour les autres bassins versants	26
3.4	Analyse des bassins versants Français.....	28
3.4.1	Analyse des corrélations entre variables	28
3.4.2	Simplification du jeu de données	28
3.5	ACP sur les signatures hydrologiques et HCPC sur ce jeu de données.....	29
3.5.1	ACP sur les signatures hydrologiques	29
3.5.2	HCPC sur ce jeu de données.....	30
3.6	Influence des facteurs hydro-climatiques et physiographiques sur les régimes hydrologiques des bassins versants en France	32
3.6.1	FAMD sur les signatures hydrologiques avec les variables SIG et climatiques puis HCPC sur ce jeu de données	32
3.6.1.1	FAMD sur les signatures hydrologiques avec les variables SIG et climatiques.	32
3.6.1.2	HCPC sur ce jeu de données	33
3.7	Analyse des bassins versants en France et hors France	34
3.7.1	Analyse des corrélations entre variables et simplification du jeu de données.....	35
3.7.2	ACP sur les signatures hydrologiques et HCPC sur ce jeu de données	36
3.7.2.1	ACP sur les signatures hydrologiques	36
3.7.2.2	HCPC sur ce jeu de données	36
3.8	Influence des facteurs hydro-climatiques et physiographiques sur les régimes hydrologiques des bassins versants en France et hors France	38
3.9	FAMD sur les signatures hydrologiques avec les variables SIG et climatiques puis HCPC sur ce jeu de données	38
3.9.1	FAMD sur les signatures hydrologiques avec les variables SIG et climatiques.	38
3.9.2	HCPC sur ce jeu de données	39
4	Discussion	41
4.1	Pertinence des signatures hydrologiques	41
4.2	Les analyses Statistiques (ACP, FAMD, HCPC)	42
5	Conclusion et perspectives	44
	BIBLIOGRAPHIE	45
	ANNEXE A : Les tableaux de tous les jeux de données	0
	Annexe A-1 : Jeu de signatures hydrologiques calculé sur toute les années hydrologiques complètes	i
	Annexe A-2 : Jeu de signatures hydrologiques calculé par saison WET (préfixe W) et DRY (préfixe D)	i
	Annexe A-3 : jeu de données des facteurs physiographiques.....	ii
	Annexe A-4 : jeu de signatures simplifié pour les bv en France	iii
	Annexe A-5 : jeu de signatures simplifié pour les bv en France et hors de France	iii

Annexe A-6 : Années hydrologiques complètes utilisées pour le calcul des signatures hydrologiques par bassin versant.....	iv
ANNEXE B : ACP, FAMD et HCPC pour toutes les signatures hydrologiques et tous les bassins versants en France.....	V
ANNEXE C / Fiche par bassin versant d'étude.....	Vii

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Présentation des bassins versants d'étude	6
Tableau 2 : Synthèse des sources de données climatiques utilisées et des traitements principaux réalisés. BDOH est la Base de Données des Observatoires Hydrologiques d'INRAE (ex-Irstea) (https://bdoh.irstea.fr/) qui possède des fonctionnalités d'agrégation temporelles	9
Tableau 3 : Synthèse des sources de données de débits utilisées, des périodes et pas de temps disponibles et des principaux traitements réalisés.	11
Tableau 4 : Quelques fonctions SAGA utilisées pour le calcul des données dérivées des MNT.....	14
Tableau 5 : Synthèse des natures et sources de données SIG utilisées et des principaux systèmes de coordonnées	14
Tableau 6 : Signatures hydrologiques utilisées dans notre étude et leur interprétation en termes de processus hydrologiques. Tableau tiré de l'article Horner et al., (2020) et de la thèse de Horner, (2020)	18
Tableau 7 : Jeu de données de signatures, de facteurs hydroclimatiques et physiographiques pour Kervidy-Naizin	25

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Bassins versants (les cubes) de l'IR OZCAR tracés en fonction des gradients climatiques et lithologiques, notés avec les types d'utilisation des terres. Source : Gaillardet et al. (2018)	2
Figure 2 : Comparaison des séries chronologiques de P et de T Safran et locales	8
Figure 3 : courbe de Budyko	16
Figure 4 : Courbe FDC et les signatures utilisées pour décrire sa forme	20
Figure 5 : Baseflow Regime Magnitude	21
Figure 6 : Schéma utilisant les 4 signatures hydrologiques issues de l'approche P-Q. adapté de Horner, (2020).....	22
Figure 7 : Récessions précoces et tardives	23
Figure 8 : La courbe FDC du bassin versant Kervidy-Naizin avec et sans débit nul	24
Figure 9 : Illustration du baseflow_Regime_magnitude sur le bassin versant de Kervidy_Naizin.....	24
Figure 10 : L'approche P-Q sur le bassin versant de Kervidy-Naizin.....	25
Figure 11 : zoom sur les récessions précoces et tardives sur le bassin versant de Kervidy-Naizin...	25
Figure 12 : Corrélations entre les variables des bassins versants en France et Hors France	28
Figure 13 : Résultats de l'ACP sur 23 individus dont 8 supplémentaires et 16 variables hydrologiques	29
Figure 14 : Classification Ascendante Hiérarchique des bassins versants Français en fonction des signatures hydrologiques.....	30
Figure 15 : Résultats de l'FAMD sur 23 individus dont 8 supplémentaires et 33 variables dont 4 sont qualitatives.....	32
Figure 16 : Classification Ascendante Hiérarchique des bassins versants en France	33
Figure 17 : Corrélations entre les variables des bassins versants en France et Hors France; Significance levels : ***: $\alpha=0.001$	35
Figure 18 : Résultats de l'ACP sur 13 individus et 21 variables hydrologiques.....	36
Figure 19 : Classification Ascendante Hiérarchique des bassins versants en France et hors France....	37
Figure 20 : Résultats de l'FAMD sur 13 individus et 34 variables dont 1 est qualitative.....	38
Figure 21 : Classification Ascendante Hiérarchique des bassins versants en France et Hors France...	39
Figure 22 : Les bassins versants coloriés en fonction de leur géologie	39

1 Introduction

1.1 Contexte général

La zone critique est la fine couche poreuse à la surface de la Terre où ont lieu des interactions chimiques entre l'eau, l'air et les roches. Elle est située entre la basse atmosphère et le substratum rocheux non altéré et est fortement influencée par les activités du vivant visibles et invisibles (Gaillardet et al., 2018). C'est l'habitat humain dans lequel nous construisons nos villes, d'où nous extrayons notre nourriture et notre eau, et où nous rejetons la plupart de nos déchets (Guo et al., 2016). Les changements globaux devraient avoir des implications importantes à l'échelle régionale où les ressources telles que l'eau, le sol et la biodiversité peuvent être dangereusement affectées, entraînant potentiellement une dégradation sans précédent des habitats humains, des migrations dramatiques ou des catastrophes économiques (Gaillardet et al., 2018). Il est donc important d'étudier et comprendre le fonctionnement de la zone critique.

Ainsi, l'Infrastructure de Recherche (IR) OZCAR (Observatoire de la Zone Critique – Applications et Recherche) regroupe 22 observatoires s'intéressant aux différents compartiments de la zone critique : hydrologie, hydrogéologie, cryosphère, échanges surface – atmosphère, tourbières. Elle regroupe plusieurs centaines de chercheurs, ingénieurs et techniciens travaillant sur des sites hautement instrumentés (plus d'une soixantaine de sites).

Dans ce travail, nous nous intéressons à des observatoires centrés sur l'hydrologie. Les grandes questions scientifiques abordées dans les observatoires sont multiples et variées. Les observatoires hydrologiques de l'IR OZCAR produisent des données sur des sites instrumentés dans des contextes hydroclimatiques et géologiques différents (Figure 1, tirée Gaillardet et al., 2018) . La colonne 5 du tableau 1 tiré de l'annexe de l'article (Gaillardet et al., 2018) résume les questions de recherches individuelles des observatoires considérés dans notre étude.

Des travaux ont cherché à caractériser la réponse hydrologique de chaque bassin et à comprendre les processus qui la déterminent. A ce jour cependant, peu de travaux ont porté sur un ensemble de bassins versants pour essayer de caractériser les ressemblances ou dissemblances entre réponse hydrologique en fonction des contextes. Ceci suppose de pouvoir caractériser la réponse hydrologique des bassins versants par un ensemble d'indicateurs pertinents et de pouvoir les analyser conjointement avec des informations sur les caractéristiques physiographiques des bassins. C'est l'objectif du travail présenté dans ce mémoire qui s'inscrit dans une tradition d'hydrologie comparative (Jehn et al, 2020 ; Sivaplan et al., 2003 ; Wagener et al., 2007; Hrachowitz et al., 2013, Coopersmith et al., 2012) et de compréhension des processus hydrologiques qui conditionnent la réponse des bassins versants (Wagener et al., 2007, Sivaplan, 2005, Horner, 2020). Le présent travail s'appuie sur la thèse de Ivan Horner, (2020) qui visait à définir un ensemble de signatures hydrologiques pouvant être utilisé pour l'évaluation diagnostic de modèles hydrologiques.

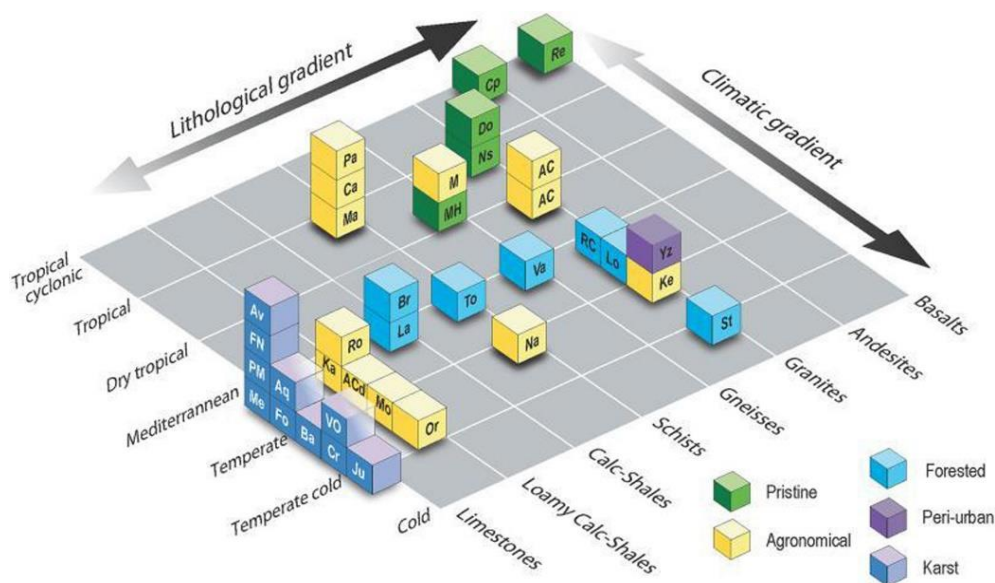


Figure 1 : Bassins versants (les cubes) de l'IR OZCAR tracés en fonction des gradients climatiques et lithologiques, notés avec les types d'utilisation des terres. Source : Gaillardet et al. (2018)

1.2 Etat de l'art

1.2.1 Cycle hydrologique et processus hydrologiques

Le cycle hydrologique global peut être décrit de la façon suivante : grâce à l'énergie fournie par le rayonnement solaire, l'eau est évaporée des surfaces océaniques et terrestres (si de l'eau y est disponible). Cette vapeur d'eau est transportée par les vents puis condensée pour former des nuages et des précipitations qui tombent sur la terre et les océans. Les précipitations sur la terre peuvent être stockées temporairement sous forme de neige ou d'humidité du sol, tandis que les précipitations en excès s'écoulent et forment des ruisseaux et des rivières, qui rejettent l'eau douce dans les océans, complétant ainsi le cycle global de l'eau.

L'hydrologie du bassin versant qui se définit comme étant la science qui étudie le trajet de l'eau à l'intérieur d'un bassin versant se concentre sur tous les mécanismes de stockage et de transfert de l'eau se produisant à l'intérieur de ses limites (Wagener et al., 2007). Les interactions entre l'eau et diverses entités physiques constituant un bassin versant comme l'occupation du sol sont à l'origine de ces mécanismes ou processus hydrologiques (Horner, 2020). Une grande hétérogénéité des caractéristiques physiques des bassins versants et une grande variabilité des apports climatiques (précipitations, énergie) dans le monde entraînent de grandes différences dans les comportements hydrologiques des bassins versants (Horner, 2020). Les divers processus hydrologiques naturels qui contrôlent le comportement hydrologique du bassin versant se produisent dans un large spectre d'échelles spatiales et temporelles (Sivaplan, 2005). Par exemple les processus hydrologiques lents sont ceux qui contrôlent le mouvement de l'eau dans les sols non saturés, le stockage des eaux souterraines et les aquifères (Horner, 2020). Le rôle et l'importance des processus hydrologiques varient considérablement selon les régions climatiques, les caractéristiques physiques du bassin versant, l'état du bassin versant et les conditions météorologiques (Horner, 2020). C'est ce

que l'hydrologie cherche à comprendre et que nous aborderons via les signatures hydrologiques.

1.2.2 Les signatures hydrologiques

Les signatures hydrologiques sont des métriques qui quantifient et caractérisent différents aspects de la réponse d'un bassin versant (Sawicz et al., 2011 ; Addor et al., 2018). Elles sont désormais couramment utilisées pour comprendre la variabilité spatio-temporelle des processus hydrologiques (Sawicz et al., 2011 ; Troch et al., 2009). Elles peuvent être calculées à partir d'une large éventail de source de données (Addor et al., 2018) mais dans la pratique, elles sont le plus souvent calculées à l'aide de séries chronologiques de débits (Yilmaz et al., 2008). Dans la littérature on trouve différents types de signatures hydrologiques calculées à l'aide de débit journalier à l'échelle du bassin versant. On peut trouver le coefficient d'écoulement qui est le rapport entre le débit quotidien moyen et les précipitations quotidiennes moyennes et la pente de la courbe des débits classés (Flow Duration Curve en anglais) dans Sawicz et al. (2011). La fréquence des jours à débit élevé (> 9 fois le débit quotidien médian) et la fréquence des jours à faible débit (<0,2 fois le débit quotidien moyen) sont utilisées dans (Olden et Poff, 2003 ; Clausen et Biggs, 2000 ; Westerberg et McMillan, 2015). Ces derniers utilisent aussi la durée moyenne des événements à faible débit (nombre de jours consécutifs <0,2 fois le débit quotidien moyen). En plus on peut trouver dans Addor et al. (2018) la fréquence des jours avec $Q = 0$ mm / jour. Toutes ces signatures hydrologiques permettent de caractériser le comportement hydrologique des bassins versants et sont toutes sensibles aux processus se déroulant à différentes échelles de temps Addor et al. (2018).

Relier les signatures aux processus sous-jacents permet de multiples applications, telles que la sélection de la structure d'un modèle hydrologique, l'analyse des changements hydrologiques, la réalisation de prévisions dans les bassins non jaugés et la classification de la fonction des bassins versants (Mc Milan, 2020 ; Addor et al., 2018). Il n'est pas toujours simple de déterminer quelles signatures sont liées à quels processus, car une caractéristique de la réponse de l'écoulement peut être causée par de multiples processus hydrologiques (Mc Milan, 2020).

Wagner et al. (2007) recherchent des signatures de réponses de bassins versants qui donnent un aperçu du fonctionnement holistique du bassin versant, dont l'étude détaillée pourrait éclairer sur la cartographie entre la structure du paysage et les réponses du bassin versant. Différentes signatures hydrologiques de la réponse du bassin versant peuvent émerger à différentes échelles temporelles et spatiales (Wagner et al., 2007), par exemple, la variation mensuelle moyenne du ruissellement (courbe de régime), la courbe des débits classés, etc. (Kirchner et al., 2004; Sivapalan, 2005).

Les signatures hydrologiques sont particulièrement utiles pour caractériser et comparer la dynamique de **grands échantillons de bassins versants, pour lesquels les observations se limitent généralement au débit des cours d'eau** (Addor et al., 2018). Dans un sens, les signatures hydrologiques sont un moyen indirect d'explorer les processus hydrologiques,

lorsque ces processus ne peuvent pas être isolés en raison du manque de données mesurées. Selon Addor et al., (2018). Cela permet de donner un aperçu du comportement hydrologique dans des endroits où peu ou pas de données sont disponibles en dehors du débit (Kuentz et al., 2017).

1.2.3 Classification de bassins versants

Les bassins versants hydrologiques possèdent des caractéristiques topographiques, climatiques et géologiques qui leur sont propres d'où l'hétérogénéité de leur débit. Ceci, à son tour, rend difficile la généralisation des comportements au-delà des bassins versants individuels (Beven, 2000). L'hétérogénéité substantielle des processus selon les lieux et les échelles spatiales et temporelles a longtemps limité la compréhension de ce qui contrôle les processus hydrologiques et de la façon dont ils sont liés (Hrachowitz et al., 2013). L'objectif de la classification des bassins est de comprendre comment la structure du bassin versant, le climat et la fonction du bassin versant (c'est-à-dire le modèle de réponse) interagissent (Wagener et al., 2007). Différents types de classification sont déjà utilisés, mais ne fournissent pas une image complète des modèles de réponse hydrologique et des causes des similitudes entre les bassins versants (Hrachowitz et al., 2013). Un schéma de classification efficace doit donc être caractérisé par la capacité d'identifier l'ensemble des facteurs dominants à l'origine du comportement hydrologique d'un bassin versant, combinant ainsi la « forme », c'est-à-dire les conditions aux limites ou la structure du système, et le forçage, c'est-à-dire les caractéristiques climatiques (Hrachowitz et al., 2013). Idéalement, un tel système de classification devrait s'appuyer sur les fonctions de base d'un bassin versant, telles que les mécanismes de partage, de stockage, de libération et de transmission de l'eau dans le bassin versant, potentiellement quantifiables par différentes signatures de bassin versant, comme le suggèrent Wagener et al., (2007).

Historiquement, la classification des bassins versants utilisée pour trouver des modèles et des lois dans l'hétérogénéité des paysages et des intrants climatiques (Sivapalan et al., 2003) était souvent effectuée en utilisant simplement des considérations géographiques, administratives ou physiographiques (Jehn et al., 2020). Cependant, ces régions ne se sont pas révélées suffisamment homogènes (Burn, 1997). Selon (Wagener et al., 2007) un modèle perceptuel d'un bassin versant est basé sur la compréhension subjective des processus hydrologiques se produisant et n'est pas limité par notre capacité (ou incapacité) à représenter ces processus sous forme mathématique (Beven, 2000). Il n'est également certainement pas basé sur la description du processus au niveau du point ou à petite échelle (Wagener et al., 2007). Dans la perspective d'étudier la classification et la similitude des bassins versants, des caractéristiques structurelles des versants ont été proposées sous forme de nombres (souvent sans dimension), de courbes ou de distributions, et de modèles conceptuels et mathématiques (Wagener et al., 2007). Par ailleurs (Burn, 1997) a proposé d'utiliser des mesures de saisonnalité avec des caractéristiques physiographiques et météorologiques, mais il a été jugé difficile d'obtenir ces informations pour un grand nombre de bassins versants (Jehn et al., 2020) même si seuls de simples attributs de bassin versant (par exemple, aridité) sont utilisés (Wagener et al., 2007). La région hydro-climatique dans laquelle

se trouve un bassin versant doit jouer un rôle important dans tout système de classification de bassins versants (Wagener et al., 2007). Le climat est une autre mesure qui a un fort impact sur le comportement hydrologique des bassins versants, ainsi que sur l'écologie et même sur les caractéristiques physiques des bassins versants (Wagener et al., 2007). Une autre classification est **basée sur la réponse fonctionnelle** (Wagener et al., 2007). Celle-ci se caractérise par des signatures qui devraient inclure le débit des cours d'eau, l'évapotranspiration, la couverture neigeuse, l'humidité du sol, la dynamique des eaux sous terraines, la distribution du temps de résidence et de l'âge de l'eau voire même la composition isotopique et les concentrations des produits chimiques tel que le chlorure et le nitrate (Sivapalan, 2005). Kuentz et al., (2017) ont utilisé dans une étude récente des ensembles de données extrêmement volumineux de 35 000 bassins versants en Europe et les ont classés à l'aide de signatures hydrologiques.

1.3 Objectifs du stage

Plusieurs travaux en cours (Horner, 2020 ; Horner et al., 2020, Branger et al., 2020) ont permis de proposer un ensemble de signatures hydrologiques, qui sont des grandeurs caractéristiques dérivées des données (pluie, débit, température, humidité du sol), permettant de caractériser le fonctionnement d'un bassin versant : coefficient de ruissellement, pente caractéristique de la courbe des débits classés, indicateurs tirés des récessions de débit, indices de changement de comportements des bassins. L'hypothèse de travail, qui sera évaluée dans ce stage, est que l'ensemble des signatures hydrologiques permet de dégager – pour les échelles de temps annuelles à saisonnières – les déterminants des comportements des bassins versants (géologie, topographie, occupation du sol, données dérivées des MNT).

L'objectif du stage est donc d'estimer un même jeu de signatures hydrologiques sur un ensemble de bassins versants de l'Infrastructure de Recherche OZCAR (Observatoire des Zones Critiques – Application et Recherche) afin de caractériser les régimes hydrologiques de ces bassins à partir de données de pluie et de débit. A partir de ces signatures hydrologiques, des analyses statistiques seront menées pour dégager des ressemblances/dissembances dans les comportements des bassins versants en fonction de leurs géologies, climats, occupations du sol, topographies. Il s'agira de répondre aux questions suivantes : **1/ le jeu de signatures hydrologiques permet-il de caractériser le fonctionnement des bassins versants et de classer un ensemble de bassins versants ? 2/ les classifications obtenues peuvent-elles être expliquées par les caractéristiques physiographiques des bassins versants ?** Cette caractérisation des bassins versants permettra de fournir un cadre comparatif pour d'autres analyses en cours dans l'IR OZCAR, et plus ciblées sur un nombre restreint de bassins versants (modélisation, analyse des signaux géochimiques), en donnant des éléments objectifs pour évaluer la représentativité d'un sous-ensemble de bassins.

2 Matériels et Méthodes

Dans le cadre de mon stage, je m'appuie sur le travail d'un doctorant de RiverLy (Ivan Horner, INRAE Lyon) qui a proposé un jeu de 12 signatures hydrologiques pour caractériser le fonctionnement de différents bassins versants. Mon travail c'est d'appliquer l'approche à un ensemble de bassins du réseau SOZCAR avec des données de pluie, de débit, de température et d'évapotranspiration de référence.

La connexion entre les signatures hydrologiques et les attributs des bassins versants (géologie, occupation du sol, topographie) est déterminée en utilisant une analyse statistique (ACP (Analyse en Composantes Principales) et FAMD (Analyse Factorielle de Données Mixtes) du jeu de signatures obtenu sur l'ensemble des bassins versants et de leurs attributs.

Les étapes du travail ont été les suivantes :

- Récupération et mise en forme des données pour l'analyse (pas de temps journalier)
- Calcul des signatures hydrologiques à l'aide de scripts sous R
- Analyse statistique (ACP et FAMD) du jeu de signatures obtenu sur l'ensemble des bassins versants et identification des facteurs déterminants ces signatures. Cette analyse a été menée en deux temps : d'abord sur l'ensemble des bassins français, puis sur l'ensemble du jeu de bassins versants.

2.1 Les données

2.1.1 Présentation des bassins versants d'étude

Nous avons travaillé sur 28 bassins versants dont les 23 sont des bassins versants français et les 6 sont des bassins versants hors France (Tableau 1). Dans le cadre de cette étude, nous avons privilégié les bassins versants où les caractéristiques géologie, occupation du sol, sont homogènes, donc a priori les petits bassins versants. Hormis les bassins versants Taffignon (129.99 km²), Craponne (40.972 km²), Claduegne (42.335km²) et Meyras (98.453 km²), tous les autres bassins versants ont des surfaces qui varient entre 0.475km² et 23.215 km². La longueur des chroniques aussi est un critère de choix des bassins versants. En effet, plus la chronique est longue, plus les résultats sont fiables (sauf s'il y a des tendances dans les données), mais on peut travailler avec des chroniques de 7-8 ans minimum. En plus on a besoin d'années hydrologiques complètes soit moins de 5% de valeurs manquantes dans le cadre de notre étude.

Tableau 1 : Présentation des bassins versants d'étude

Observatoire	Bassin versant	Surface (km2)	Climat	Questions de recherche individuelles	Références
OTHU/Yzeron	Yzeron_Taffignon	129,990	Continental avec influence méditerranéenne	Impact de l'urbanisation sur l'hydrologie, la géomorphologie et la qualité de l'eau, l'écohydrologie	Braud et al. (2013) .
	Yzeron_Craponne	40,972			
	Yzeron_Charbonnières	23,215			
	Yzeron_Ratier	19,193			
	Yzeron_Mercier	6,774			
	Yzeron_PontBarge	2,186			
	Yzeron_Lechere	4,104			
AGRHYS	Kervidy-Naizin	4,844	Océanique	Temps de réponse des flux hydrogéochimiques au forçage climatique et anthropique	Fovet et al. (2018)
	Kerbernez_E30	0,475			
OHGE	Strengbach	0,801	océanique tempéré montagneux	Réponse des écosystèmes aux perturbations climatiques et anthropiques (exploitation forestière, pollution atmosphérique) - Transfert d'éléments et d'eau à l'interface atmosphère / sol / plante	Pierret et al. (2018)
OHMCV	Gazel	3,360	Méditerranéen	Cycles biogéochimiques, changement climatique, extrêmes hydrométéorologiques en Méditerranée: épisodes de pluies intenses et crues soudaines consécutives, érosion	https://dx.doi.org/10.17180/OBS.OHM-CV.GARDONS
	Claduegne	42,335			
	Meyras	98,453			
	Valescure_Aval	3,889			
	Cartaou	0,577			
	Cloutasse	1,115			
ORACLE	Orgeval_Melarchez	7,069	Océanique tempéré	Impact de la variabilité climatique sur le cycle hydrologique (focus sur les inondations et la sécheresse) et des pratiques agricoles sur les flux hydro-biogéochimiques et la qualité de l'eau	Talleg et al. (2015)
AURADE	Auradé	3,234	Océanique tempéré	Impact des activités agricoles sur l'eau, l'équilibre de la matière (nitrate, carbone) et les flux dans l'eau, les sols et les écosystèmes	Ponnou-Delaffon, 2020
REAL COLLOBRIER	Real_Maurets	8,392	Méditerranéen	Crues éclair	Folton et al. (2019)
	Real_Valescure	9,327			
	Real_Rimbaud	1,475			
	Real_Vaubarnier	1,612			
OMERE	Roujan	0,910	méditerranéen	Impact du changement d'affectation des terres et des pratiques anthropogéniques sur le régime hydrologique et sédimentologique, impact des pesticides sur la qualité de l'eau	Molénat et al. (2018)
	Kamech	2,631			
M-TROPICS	Mule Hole	4,232	forêt tropicale humide	Altération chimique des roches silicatées	Riotte et al. (2014) Ribolzi et al. (2017)
	Houay Pano	0,600	Tropical	Changements d'utilisation des terres et conséquences sur les processus du sol et de l'eau dans les environnements de montagnes tropicales	
AMMA-CATCH	Ara	11,441	Soudanais	Suivi écohydrologique en milieu pastoral	Galle et al., (2018)
OBSERA	Bras David	11,335	Tropical	Altération et érosion, sédiments et carbone organique	Base de données ObsEra: http://webobserra.ipgp.fr/ Dessert et al. (2020)
	Capesterre	16,408			

2.1.2 Les données de climats

Dans notre étude, nous cherchons à obtenir des séries chronologiques de Pluie (mm/jour), de Température (°C) et d'Evapotranspiration potentielle (ET0, mm/jour) à l'origine sous des formats, des unités et des pas de temps différents. La pluie est utilisée dans le calcul des certaines signatures hydrologiques. La températures et l'ET0 seront utilisées pour caractériser le contexte climatique des bassins versants. En particulier, nous avons calculé les moyennes interannuelles journalières, mensuelles et annuelles de ces grandeurs à savoir la Pluie, la Température et l'ET0.

Le Tableau 3 récapitule les données sources utilisées, les périodes et pas de temps disponibles et les traitements effectués en fonction de la nature et du pas de temps des données sources. Un script R par observatoire a été écrit pour lire et mettre en forme les données afin d'aboutir à un objet.RData ayant un format commun pour tous les bassins versants, et ensuite utilisé en entrée des scripts de calcul des signatures hydrologiques.

Sur la France, on disposait de la réanalyse SAFRAN (Vidal et al., 2010) sur la période 1958-2019, avec une résolution de 8x8 km², agrégée au pas de temps journalier et fournissant la pluie totale, la température et un calcul d'évapotranspiration de référence, ET0 selon la méthode FAO (Allen et al., 1998). Les mailles intersectant les bassins d'études ont été extraites, ce qui a permis de calculer des valeurs moyennes par bassin, selon les pourcentages d'intersection entre les mailles et le bassin. Pour les bassins situés hors de France, les données climatiques utilisées sont celles mesurées localement. Les lacunes n'ont pas été comblées, ce qui rend les estimations des grandeurs climatiques de synthèse plus incertaines. Lorsque les données récupérées avaient un pas de temps inférieur à la journée, un script spécifique, développé par B. Renard (RiverLy, Lyon) a été utilisé pour réaliser l'agrégation au pas de temps journalier.

Sur la France, lorsque des données locales mesurées par les observatoires étaient disponibles, ces informations ont aussi été récupérées et des comparaisons avec les données SAFRAN ont été réalisées. Un exemple est donné sur la Figure 2. La corrélation a été jugée suffisante pour que, lorsque des lacunes étaient présentes sur les données locales, elles aient été comblées par les données SAFRAN.

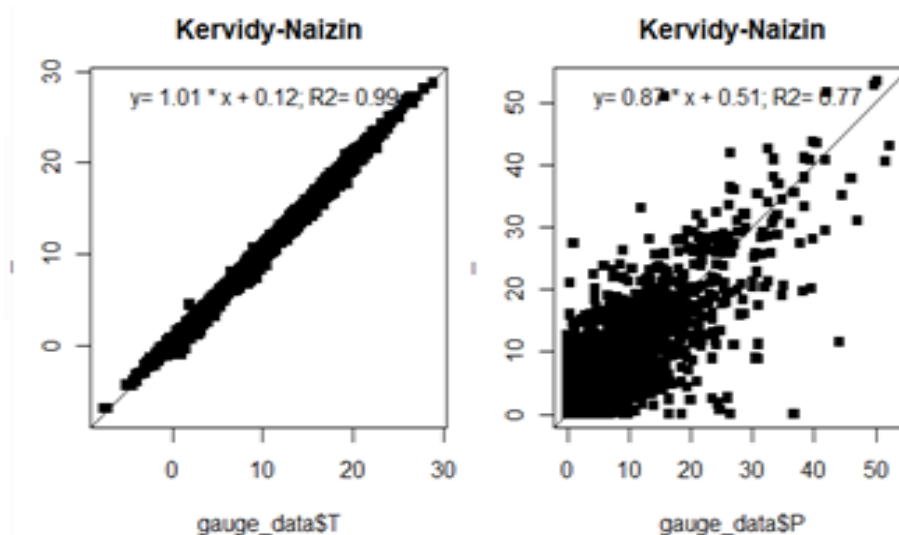


Figure 2 : Comparaison des séries chronologiques de P et de T Safran et locales

Tableau 2 : Synthèse des sources de données climatiques utilisées et des traitements principaux réalisés. BDOH est la Base de Données des Observatoires Hydrologiques d'INRAE (ex-Irstea) (<https://bdoh.irstea.fr/>) qui possède des fonctionnalités d'agrégation temporelles

Observatoire	Bassin versant	Sources et pas de temps des données	Traitements effectués sur les données locales et références sur les données.
OTHU/Yzeron	Yzeron_Taffignon	Réanalyse SAFRAN : P, T et ET0 (1958-2019)	
	Yzeron_Craponne		
	Yzeron_Charbonnières		
	Yzeron_Ratier	Réanalyse SAFRAN : P, T et ET0 (1958-2019). Données journalières de pluie issues de BDOH aux stations Pollionnay (1998-2019), Grézieu (2001-2019), Col de la Croix du Ban (2005-2019)	Pluie de bassin par polygone de Thiessen des stations Pollionnay, Grézieu, Col de la Croix du Ban. Lagouy et al. https://dx.doi.org/10.17180/OBS.YZERON
	Yzeron_Mercier		Pluie de bassin par polygone de Thiessen des stations Pollionnay, Grézieu. Lagouy et al.
	Yzeron_PontBarge		
Yzeron_Lechere			
AGRHYS	Kervidy-Naizin	Réanalyse SAFRAN : P, T et ET0 (1958-2019). Données journalières de pluie et de température fournies par O. Fovet (SAS) aux stations météo de chaque bassin (1993-2019)	
	Kerbernez_E30		
OHGE	Strengbach	Réanalyse SAFRAN : P, T et ET0 (1958-2019). Données journalières de pluie et de température fournies par M.C. Pierret (LHYGES) à la station météo du bassin (1987-2018)	
OHMCV	Gazel	Réanalyse SAFRAN : P, T et ET0 (1958-2019). Pluies de bassin à 2 minutes pour Gazl et 10 minutes pour Claduegne calculées par N. Hachgenei (IGE) à partir du réseau HpPiconet de pluviographes	Agrégation des données 10 minutes au pas de temps journalier. Pour des informations sur le réseau Hpiconet voir (Nord et al., 2017) et https://doi.osug.fr/public/OHMCV/OHMCV.RTS.AUZ.10-14.1.html
	Claduegne		
	Meyras	Réanalyse SAFRAN : P, T et ET0 (1958-2019)	
	Valescure_Aval	Réanalyse SAFRAN : P, T et ET0 (1958-2019). Données journalières de pluie issues de BDOH à la station Château (2003-2016)	Didon-Lescot, J.-F. et al.: OHM-CV mesures sur les Gardons https://dx.doi.org/10.17180/OBS.OHM-CV.GARDONS
	Cartaou		
Cloutasse	Réanalyse SAFRAN : P, T et ET0 (1958-2019). Données journalières de pluie (1981-2019), de température minimale et maximale (1983-2019) à la station La Vialasse issues de BDOH	Température moyenne calculée comme la moyenne de la valeur minimale et maximale. Didon Lescot et al. https://doi.org/10.18713/datab-110220-1-3 ; Didon Lescot et al., https://doi.org/10.18713/datab-110220-1-2	
ORACLE	Orgeval_Melarchez	Réanalyse SAFRAN : P, T et ET0 (1958-2019). Données journalières de pluie, température, ET0 compilées par G. Tallec (HYCARE)	Tallec et al. https://dx.doi.org/10.17180/obs.oracle
AURADE	Auradé	Réanalyse SAFRAN : P, T et ET0 (1958-2019). Données journalières de température et de pluie locales (1982-2018) combinant une station météo située sur le bassin et une station Météo-France (Francazal ou Blagnac) fournies par A. Probst (ECOLAB)	
REAL COLLOBRIER	Real_Maurets	Réanalyse SAFRAN : P, T et ET0 (1958-2019). Données journalières de pluie calculées (1967-2017) par interpolation des 19 pluviographes disponibles sur les bassins et fournis par Nathalie Floton (Recover)	Pour des informations sur les données utilisées voir Folton et al. (2019)
	Real_Valescure		
	Real_Rimbaud		
	Real_Vaubarnier		

Observatoire	Bassin versant	Sources et pas de temps des données	Traitements effectués sur les données locales et références sur les données.
OMERE	Roujan	Réanalyse SAFRAN : P, T et ET0 (1958-2019). Données de pluie, de température et d'ET0 journalières (1992-2019) fournies par Jérôme Molénat et Damien Raclot (LISAH)	Voir aussi https://data.umr-lisah.fr/hysae/
	Kamech	Données de pluie, de température et d'ET0 journalières (2004-2019) fournies par Jérôme Molénat et Damien Raclot (LISAH)	
M-TROPICS	Mule Hole	Données de pluie, de température et d'ET0 journalières (2003-2019) fournies par Jean Riotte (GET) et complétées/corrigées par Sylvain Kuppel (IPGP/RiverLy)	Aggrégation de la pluie à 6 minutes au pas de temps journalier. Calcul de la moyenne des 7 pluviométriques journaliers mais beaucoup de valeurs manquantes. Les données de la station météo ont été conservées. Pour l'ET0 calcul à partir des données de la station météo selon Allen et al. (1998). La radiation incidente de grande longueur d'onde a été calculée par la formule de Brutsaert (1975) pour ciel clair. Base de données M-TROPICS/MSEC: https://mtropics-fr.obs-mip.fr/msec-data-access/ . DOI: 10.6096/MSEC.LAOS.4, DOI: 10.6096/MSEC.LAOS.5, DOI: 10.6096/MSEC.LAOS.6
	Houay Pano	Données de pluie à 6 minutes (station météo) et journalières (R1 à R7) (2001-2014), données météo (rayonnement solaire incident, température, humidité relative de l'air, vitesse du vent) horaires (2001-2014, station météo) récupérées sur la base de données M-TROPICS/MSEC	
AMMA-CATCH	Ara	Données de pluie à 30 minutes (2005-2018) aux stations de Nolohou_2 et _3 et Bakayaka dont les lacunes ont été comblées par Guillaume Quentin (IGE). Données de pluie 30 minutes (2003-2004) aux stations Nalohou_1 et _2 issues de la base AMMA-CATCH_DB. Données météo (rayonnement solaire et grande longueur d'ondes incident, température et humidité relative de l'air, vitesse du vent) à 30 minutes à la station Nolohou_2, dont les lacunes ont été comblées par Guillaume Quentin (IGE) et fournies par Basile Hector (IGE)	Pour la pluie de bassin, utilisation de la moyenne des stations disponibles. Pour l'ET0 calcul à partir des données de la station météo selon Allen et al. (1998). La radiation incidente de grande longueur d'onde a été calculée par la formule de Brutsaert (1975) pour ciel clair. Pluie: http://dx.doi.org/10.17178/AMMA-CATCH.CL.Rain_Od ; Données météo: http://dx.doi.org/10.17178/AMMA-CATCH.AL.Met_Od ; Base de données AMMA-CATCH http://bd.amma-catch.org/main.jsf
OBSERA	Bras David	Données de pluie et de température à 10 minutes issues de la base de données ObsERa (2011-2019). Données journalières de pluie aux stations Météo-France (2013-2019) (stations 97118008, 97118002, 971070008, 97107002). Données journalières d'ETP (2013-2019) aux stations 97118002 et 97107002)	Calcul des pluies journaliers ObsERa par aggrégation. Suppression de l'année 2019 pour Bras David et des années 2018 et 2019 pour Capesterre (valeurs erronées). Comblement des lacunes par les données de MF. Les stations MF sont situées autour de 250 m d'altitude et sous-estiment vraisemblablement la pluie fortement influencée par le gradient altitudinal. Base de données ObsEra: http://webobserra.ipgp.fr/
	Capesterre		

2.1.3 Les données de débits

Les données utilisées sont des séries chronologiques de débits (Q) en (mm/jour) qui étaient à l'origine sous des formats, des pas de temps de temps (pas de temps variables de l'ordre de quelques secondes à des pas de temps journaliers) et **des unités différentes (m³/s ou l/s)** (voir détail des traitements dans le Tableau 3 pour les sources des données, les périodes et pas de temps disponibles). Un certain nombre de bassins ont des débits intermittents et nous avons **vérifié avec les gestionnaires des bassins versants si les débits sont bien mis à zéro lorsqu'il n'y a pas d'eau dans la rivière ou s'ils sont mis en valeurs manquantes**. Des corrections ont été effectuées si nécessaire.

Les traitements réalisés ont permis :

- Le calcul des surfaces réelles des bv pour convertir les Q en mm/j
- La mise en forme des données de débit à l'aide de scripts R, afin d'obtenir des données d'entrée sur les débits au pas de temps quotidien et en mm/jour. Pour les données à pas de temps variable ou infra-journalier, un code R + Fortran développé par B. Renard (RiverLy, INRAE) a été utilisé. A l'issue de ces traitements, on obtenait un objet .RData de structure similaire pour tous les bassins et utilisable en entrée des scripts de calcul des signatures hydrologiques.

Pour chaque bassin, **nous avons défini l'année hydrologique** dont le début correspond au minimum de stockage dans le bassin versant et des périodes dites « dry » et « wet » dans la suite. Pour les bassins versants français, la période « dry » correspond à la période estivale avec végétation et la période « wet » à la période hivernale sans végétation. Pour les bassins tropicaux au régime de mousson, la période « dry » correspond à la période sans pluie, et la période « wet » à la période de mousson (*voir détails dans le tableau 3*).

Tableau 3 : Synthèse des sources de données de débits utilisées, des périodes et pas de temps disponibles et des principaux traitements réalisés.

Observatoire	Bassin versant	Sources et pas de temps des données	Traitements effectués sur les données locales et références sur les données.	Année hydrologique	Période "Dry"	Période "Wet"
OTHU/Yzeron	Yzeron_Taffignon	Données Q (l/s) journalières au format quotidien Hydro2 issues de la Banque Hydro pour les stations de Craponne (1969-2019) et Taffignon (1988-2019)	Stations V3015010 et V3015020 de la Banque Hydro. http://www.hydro.eaufrance.fr/selection.php	Du 01 Octobre au 30 Septembre	Du 01 Mai au 31 Octobre	Du 01 Novembre au 30 Avril
	Yzeron_Craponne					
	Yzeron_Charbonnières	Données de Q (l/s) journalières au format BDOH issues de la BDOH. Périodes 2010-2019 pour le Ratier, 2009-2019 pour Charbonnières, 1997-2019 pour Mercier et Pont de la Barge, 1999-2019 pour la Léchère	Interpolation des données à pas de temps variable directement via les outils de BDOH. Lagouy et al. https://dx.doi.org/10.17180/OBS.YZERON			
	Yzeron_Ratier					
	Yzeron_Mercier					
Yzeron_PontBarge						
AGRHYS	Kervidy-Naizin	Données de débits (l/s) à 1 min issus de la BDD AgrHys sur la période 1993-2019 pour Kervidy-Naizin et 1997-2019 pour Kerbernez	Agrégation des données au pas de temps journalier. http://agrhy.fr/BVE/vidae/			
	Kerbernez_E30					
OHGE	Strengbach	Données journalières de débits (m3/s) fournies par M.C. Pierret (LHYGES) à l'exutoire du bassin (1987-2018)				
OHMCV	Gazel	Données de débits journalières (l/s) (2011-2014) issues de BDOH et données à 2 min. fournies par G. Nord pour 2015-2016	Interpolation des données (2011-2014) à pas de temps variable directement via les outils de BDOH. Agrégation des données à 2mn en données journalières pour 2015-2016			
	Claduegne	.Rdata (m3/s) issus de la thèse de Ivan Horner (2020) fournis par I. Horner. 2011-2016 pour Claduegne et 1983-2018 pour Lmeyras	Conversion des débits en mm/jour			
	Meyras					
	Valescure_Aval	Données de Q (l/s) journalières (2003-2016) au format BDOH issues de la BDOH				
	Cartaou					
Cloutasse	Données de débits journaliers (l/s) (1981-2019) issus de BDOH	Didon Lescot et al. https://doi.org/10.18713/datab-210420-1-5				
ORACLE	Orgeval_Melarchez	Données de Q (l/s) journalières (1969-2019) au format BDOH issues de la BDOH	Taltec et al. https://dx.doi.org/10.17180/obs.oracle			
AURADE	Auradé	Données journalières de débits (l/s) (1985-2018) fournies par A. Probst (ECOLAB)				
REAL COLLOBRIER	Real_Maurets	Données journalières de débits (l/s) (1967-2017) disponibles sur les bassins et fournis par Nathalie Floton (Recover)	Pour des informations sur les données utilisées voir Folton et al. (2019)			
	Real_Valescure					
	Real_Rimbaud					
	Real_Vaubarnier					
OMERE	Roujan	Données de débits journaliers (1992-2017) pour Roujan et (1996-2016) pour OMERE (mm/jour) fournies par Jérôme Molénat et	Voir aussi https://data.umn-lisah.fr/hysae/			
	Kamech					
M-TROPICS	Mule Hole	Données de débits journaliers (2003-2019) fournies par Jean Riotte (GET) et complétées/corrigées par Sylvain Kuppel (IPGP/RiverLy)				
	Houay Pano	Données de hauteur d'eau à pas de temps variable à la station Houay Pano S4 issues de la BDD M-TROPICS/MSEC (2001-2014)	Calcul du débit à l'aide de la courbe de tarage (barème reliant la hauteur d'eau au débit) puis agrégation au pas de temps journalier des données à pas de temps variable. https://mtropics-fr.obs-mip.fr/msec-data-access/ ; DOI: 10.6096/MSEC.LAOS.3			
AMMA-CATCH	Ara	Débits (m3/s) (2003-2018) à 10 min à la station Ara Pont issus de la base de données AMMA-CATCH-DB	Agrégation des données à pas de temps journalier. Débits: doi:10.17178/AMMA-CATCH.CL.Run_Od; Base de données AMMA-CATCH http://bd.amma-catch.org/main.jsf			
OBSERA	Bras David	Données issues de la base de données WebObsera à pas de temps de 10 minutes et stations 10150351 et 11200701 journalières de la Banque Hydro (2013-2019)	Agrégation des données ObsEra à pas de temps journalier, comparaison aux données de la Banque Hydro. Cette comparaison montre des données aberrantes pour décembre 2016 à Bras David. Les données Banque Hydro sont systématiquement plus élevées que celles de la base ObsEra. Remplacement des valeurs manquantes ObsEra par les corrélations avec les données de la Banque Hydro. Source des données: http://webobserra.ipgp.fr/ et http://www.hydro.eaufrance.fr/selection.php .			
	Capesterre					

2.1.4 Les données SIG

Pour les bassins versants français les traitements effectués sur les données SIG sont les suivants :

- Faire une intersection entre les .Shp des contours des bassins versants avec SAFRAN pour calculer les zones d'intersection(en m2).
- Reclassification de la carte d'occupation du sol OCS_2018_CESBIO.tif en 5 classes à savoir Urbain, Agricole, Forêt, prairie et Eaux&Plages (Annexe A-3) puis traitement à l'aide SIG (Système d'Information Géographique) SAGA² dans QGIS³ pour obtenir les pourcentages d'occupation du sol des bassins versants d'études.
- Obtention des géologies des bassins versants avec la carte géologique du BRGM via l'outil SAGA.
- Obtention sous QGIS de la nature, du milieu et du thème BDLISA des bassins versants français avec la carte hydrogéologique BDLISA (Annexe A-3).
- Calculs de diverses données dérivés des MNT_25m (Annexe A-3) à l'aide de l'outil SAGA dans QGIS.

Pour les bassins versants hors de France, la géologie et l'occupation du sol sont obtenues soit directement des .shp ou rasters fournis par les gestionnaires des bassins versants soit dans la littérature. Les facteurs physiographiques liés aux MNT ont été obtenus suite à de multiples traitements sous QGIS avec l'outil SAGA (Tableau 4).

Les dérivés MNT_25m calculés pour tous les bassins versants sont les suivantes :

- L'altitude moyenne et la pente moyenne (Mean_elev et Mean_Slope) en m
- L'indice d'humidité topographique Le Topographic Wetness Index (TWI) est un indice hydrologique classique pour identifier les zones hydrologiquement homogènes et quantifier l'effet de la topographie sur les processus hydrologiques (entre autres l'engorgement des sols) et les autres processus biologiques et chimiques qui en découlent. Il est défini comme $\ln(A/\tan(B))$, où $\tan(B)$ [m/m] est la pente locale et A [m²/m] est, pour chaque pixel et par unité de largeur, l'aire contributive (càd. la surface située à l'amont du pixel et drainée par ce pixel)⁴
- La densité de drainage (Dd) est exprimée par le rapport de la longueur totale des cours d'eau (somme des Li) permanents et temporaires à la surface du bassin versant (A). C'est un paramètre qui reflète la dynamique du bassin et le type de ruissellement. Elle est définie comme $Dd = (\sum Li/A)$ en km^{-1} .
- L'indice de Horton (IH, indice sans dimension) qui renseigne sur la forme du bassin versant (IH < 1 : bassin versant de forme allongée, IH > 1 : bassin versant de forme ramassée). Il est défini comme $IH = A/L^2$ avec A = surface en km² et L = Longueur du cours d'eau principal en km.

² <http://www.saga-gis.org/en/index.html>

³ <https://www.qgis.org/fr/site/>

⁴ https://environnement.brussels/sites/default/files/user_files/fichemethodo_aleainondation_20140116.pdf

Le tableau suivant résume quelques fonctions utilisées pour le calcul des données dérivées des MNT. La nature et les sources des données sont montrées dans le Tableau 5. Les MNT inférieurs ou supérieurs à 25m ont été agrégé à un MNT de 25m pour uniformiser les données et de faciliter les comparaisons des résultats.

Tableau 4 : Quelques fonctions SAGA utilisées pour le calcul des données dérivées des MNT

Dérivés MNT	Fonctions saga utilisées
Mean_elev (élévation moyenne)	Statistique de zone (Analyse Raster)
Mean_slope (Pente moyenne)	Pente et statistique de zone (Analyse Raster)
TWI (Indice d'humidité topographique)	Terrain Analysis - Hydrology <ul style="list-style-type: none"> • Fill sinks xxi (wang & liu) • Catchment area • Topographic wetness index
Dd (Densité de drainage)	Terrain Analysis – Hydrology <ul style="list-style-type: none"> • Fill sinks xxi (wang & liu) • Channel network and drainage basins • Outils de géotraitement • Statistiques basiques pour les champs
IH (Indice de Horton)	Terrain Analysis – Hydrology <ul style="list-style-type: none"> • Fill sinks xxi (wang & liu) • Maximum flow path length • Statistiques basiques pour les champs

Tableau 5 : Synthèse des natures et sources de données SIG utilisées et des principaux systèmes de coordonnées

Observatoire	Bassin versant	Nature et source des données		Système de coordonnées
OTHU/Yzeron	Yzeron_Taffignon	Contour (.shp) des bassins versants fournis par les producteurs de données (Flora Branger, RiverLy)	Carte géologique du BRGM au 1/1000000ème (vecteur) https://infoterre.brgm.fr/viewer/MainTileForward.do ; la BD_LISA du BRGM du référentiel hydrogéologique français (vecteur) https://www.brgm.fr/projet/referentiel-hydrogeologique-francais-bdlisa ; Carte d'occupation du sol 2018 à la résolution de 10 m OCS_2018_CESBIO.tif (Raster) http://osr-cesbio.ups-tlse.fr/~oso/ ; MNT 25m par région de l'IGN (BDALTI2_DST_25M_ASC_LAMB93_IGN) https://geoservices.ign.fr/ressources_documentaires/Espace_documentaire/MODELES_3D/BDALTI2/DC_BDALTI_2-0.pdf	15
	Yzeron_Craponne			
	Yzeron_Charbonnieres			
	Yzeron_Ratier			
	Yzeron_Mercier			
	Yzeron_PontBarge			
Yzeron_Lechere				
AGRHYS	Kervidy-Naizin	Contour (.shp) des bassins versants fournis par les producteurs de données (Ophélie Fovet, SAS)		
	Kerbernez_E30			
OHGE	Strengbach	Contour (.shp) du bassin versant fourni par les producteurs de données (Marie-Claire Pierret, LHyges)		
OHMCV	Gazel	Contour (.shp) des bassins versants fournis par les producteurs de données (Guillaume Nord, IGE)		
	Claduegne			
	Meyras	Contour (.shp) du bassin versant fourni Flora Branger (RiverLy)		
	Valescure_Aval	Contour (.shp) des bassins versants fournis par les producteurs de données (Pierre-Alain Ayrat, ESPACE)		
	Cartaou			
	Cloutasse	Contour (.shp) du bassin versant fourni par Julien Bouchez (IPGP) et obtenu par Antoine Lucas (IPGP)		
ORACLE	Orgeval_Melarchez	Contour (.shp) du bassin versant fourni par les producteurs de données (Arnaud Blanchouin)		
AURADE	Auradé	Contour (.shp) du bassin versant fourni par les producteurs de données (Anne Probst, ECOLAB)		
REAL COLLOBRIER	Real_Maurets	Contour (.shp) des bassins versants fournis par les producteurs de données (Nathalie Folton, Recover)		
	Real_Valescure			
	Real_Rimbaud			
	Real_Vaubarnier			
OMERE	Roujan	Contour (.shp) des bassins versants fournis par les producteurs de données (Jérôme Molénat et Damien Raclot, LISAH)	MNT 10m fourni pas les producteurs de données (voir https://data.umr-lisah.fr/geonetwork/srv/fre/catalog.search#/metadata/Expire_515e70d559bf7)	Lambert Conformal Conic Carthage / Nord Tunisie (ESPG 22391)
	Kamech			
M-TROPICS	Mule Hole	Contour (.shp) du bassin versant fourni par les producteurs de données (Jean Riotte, GET)	MNT 30 m fourni par les producteurs de données (Jean Riotte, GET)	WGS84 / UTM Zone 43N (ESPG 32643)
	Houay Pano	Contour (.shp) du bassins versant extrait à partir du MNT et la position de l'exutoire fournis par les producteurs de données (Laurie Boithias, GET)	MNT 10 m fourni par les producteurs de données (Laurie Boithias, GET)	WGS 84 / UTM Zone 47N (ESPG 32647)
AMMA-CATCH	Ara	Contour (.shp) du bassin versant fourni par les producteurs de données (Basile Hector, IGE)	MNT 10 m, carte d'occupation du sol à 20m, carte géologique fournies par les producteurs de données (Basile Hector, IGE)	WGS 84 / UTM Zone 31N (ESPG 32631)
OBSERA	Bras David	Contour (.shp) des bassins versants fournis par les producteurs de données (Eric Lajeunesse, IPGP)	MNT 10 m fourni par les producteurs de données (Eric Lajeunesse, IPGP)	WGS 72/ UTM Zone 20N (ESPG 32220)
	Capesterre			

2.1.5 Vérification de la qualité des données par l'approche BUDYKO

L'approche Budyko est un moyen de synthèse de la diversité climatique de l'échantillon utilisé dans le cadre de notre étude. Elle permet également de valider la cohérence hydro-climatique des données et d'évaluer leur qualité. On peut trouver des détails sur l'approche et les formules dans Carmona et al. (2016) et Sposito (2017). Sur le long terme, si on suppose que les bilans d'eau dépendent essentiellement de la précipitation P et de l'énergie disponible (dont un proxy est l'évapotranspiration potentielle ET_0), alors l'évapotranspiration réelle E est telle que si l'eau disponible est limitante, alors E tend vers P si la variation de stock dans le bassin est négligeable. Et si l'énergie disponible est limitée, alors E tend vers ET_0 . Ceci a été traduit par Budyko dans une courbe empirique reliant le facteur d'aridité (ET_0/P) au rapport E/P qui est donné par la formule suivante (Carmona et al., 2016).

$$\frac{E}{P} = \left[\frac{E_p}{P} \tanh\left(\frac{P}{E_p}\right) \left(1 - \exp\left(-\frac{E_p}{P}\right)\right) \right]^{1/2}$$

Pour un bassin versant, si son bilan hydrologique est équilibré et si la qualité des données utilisées est suffisante on s'attend à ce que le rapport E/P soit situé sur la courbe de Budyko.

Dans le cadre de ce travail, nous avons estimé la moyenne interannuelle de la pluie annuelle P et de l' ET_0 , ce qui fournit la valeur de l'abscisse ET_0/P . Si on suppose par ailleurs que le bilan hydrologique du bassin est équilibré et que la variation de stock dans le bassin est négligeable, alors $E=P-Q$ où Q est la moyenne interannuelle du débit annuel. On obtient donc une estimation de l'ordonnée par $E/P = 1-Q/P$. Le nombre et les années hydrologiques utilisées (moins de 5% de valeurs manquantes sur les débits) pour ces estimations apparaissent dans l'Annexe A6. On note que le nombre d'année est très variable : de 5 années pour les séries les plus courtes à 50 années pour les plus longue. L'estimation des bilans hydrologiques interannuels sera peu fiable pour les bassins ayant peu d'années disponibles. L'ensemble des bassins sont positionnés sur la courbe de Budyko dans la figure 3.

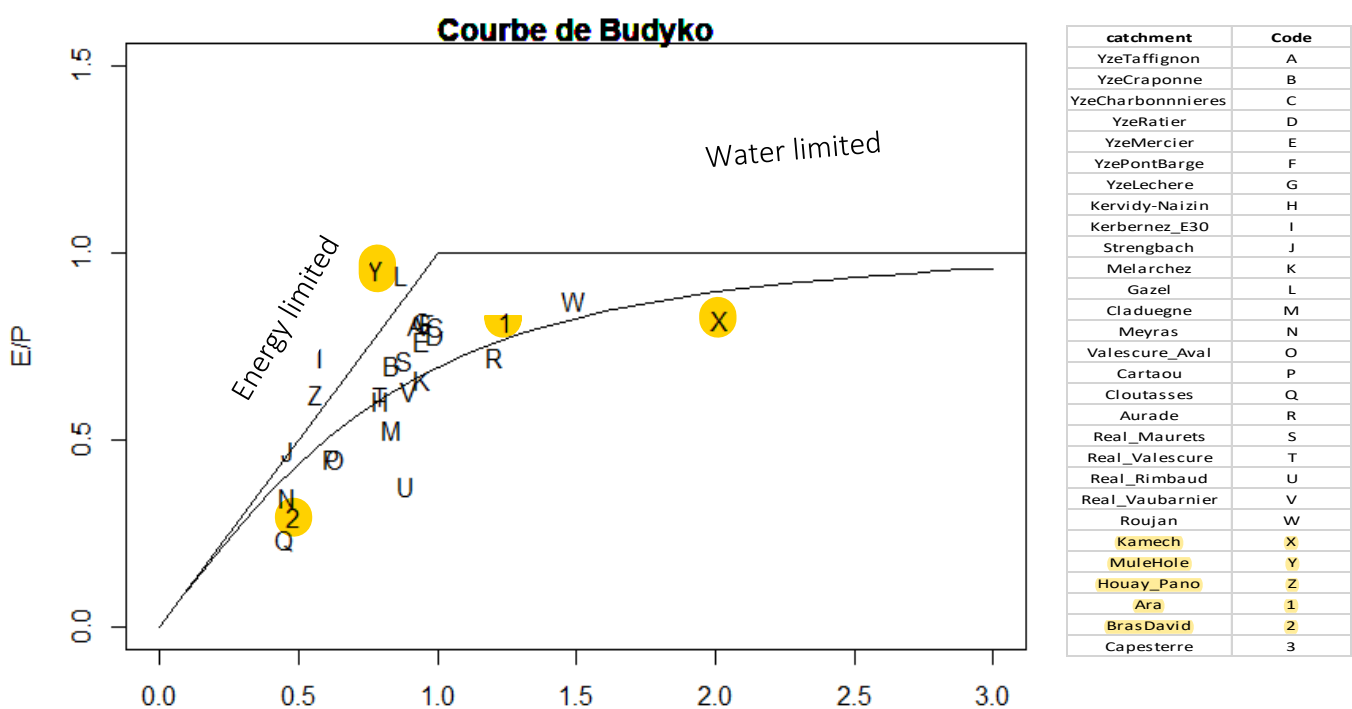


Figure 3 : courbe de Budyko ET₀/P

Les bassins versants situés tout à fait à droite du graphe comme Roujan et Kamech sont caractérisés par de fortes ETO par rapport aux pluies ($ET0 > P$). Les bassins situés sur la gauche ont quant à eux une ETO inférieure à la pluie. On voit que les bassins versants de l'IR OZCAR couvrent une large gamme de conditions climatiques. Le bassin de Capesterre n'apparaît pas sur la figure car l'estimation de la pluie est inférieure à celle du débit, ce qui conduit à $E/P < 0$. L'estimation de la pluie de bassin pour Capesterre, situé en Guadeloupe, est très incertaine car nous ne disposons que de deux stations pluviométriques situées à environ 250m, alors que le bassin culmine autour de 1000 m et que des travaux antérieurs ont montré des gradients pluviométriques annuels de l'ordre de 600 mm /100 m d'altitude (Chaperon et al., 1985). Il est aussi probable que la pluviométrie de Bras David, lui aussi situé en Guadeloupe, soit aussi sous-estimée car ce gradient topographique n'a pas été prise en compte dans l'analyse


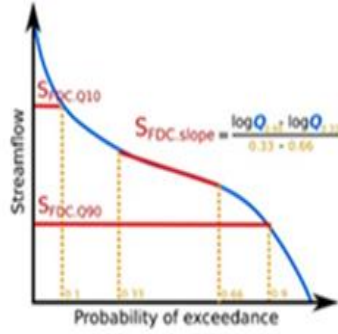
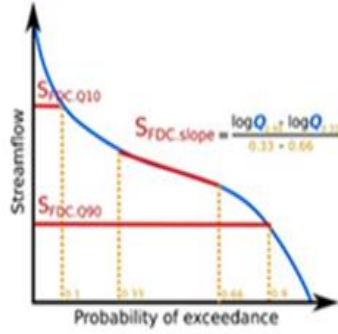
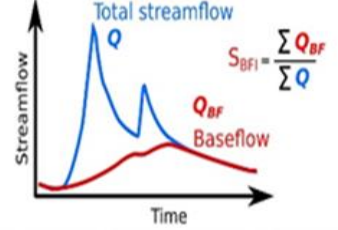
Sur le graphique nous pouvons voir des bassins versants qui sont au-dessus des limites d'eau et d'énergie de la courbe avec de fortes coordonnées E/P sur l'axe des ordonnées et de faibles coordonnées ETO/P sur l'axe des abscisses. C'est le cas des bassins versants comme MuleHole, Gazel, Kerbernez_E30 et HouayPano. Si on suppose que l'estimation de la pluie est correcte, on peut envisager soit une sous-estimation du débit, soit une sous-estimation de l'ETO (pour les bassins tropicaux en particulier où cette estimation est très incertaine). Certains bassins sont aussi très en dessous de la courbe de Budyko (Real_Raimbaud par exemple). Dans ce cas, il est possible que le débit soit surestimé.


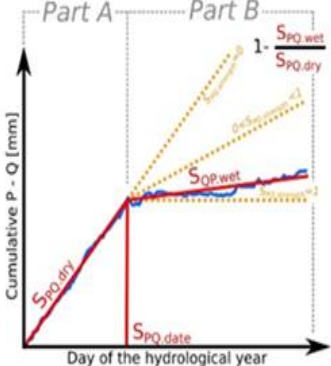
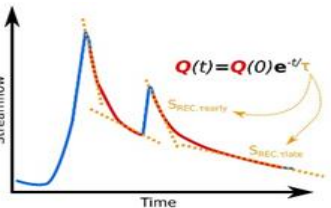
Dans la suite, nous considérerons que la qualité des données est suffisante pour l'étude sur les signatures hydrologiques que nous conduisons.

2.2 Les signatures hydrologiques utilisées dans notre étude

Le tableau 6 adapté de Horner et al., (en préparation) et de la thèse de Horner, (2020), résume les différentes signatures utilisées et comment ces signatures hydrologiques pourraient être interprétées individuellement en terme de fonctionnement du bassin versant mais également leurs liens possibles avec les processus hydrologiques.

Tableau 6 : Signatures hydrologiques utilisées dans notre étude et leur interprétation en termes de processus hydrologiques. Tableau tiré de l'article Horner et al., (2020) et de la thèse de Horner, (2020)

Symbole	Unité	Courte description	Graphes d'illustration	Lien avec le processus hydrologique	Interprétation
Runoff-coef	[-]	Coefficient de ruissellement		Demande d'évapotranspiration ; eau disponible pour l'évapotranspiration	Proportion à long terme des précipitations entrantes qui sont libérées sous forme d'écoulement. Il mesure la répartition entre l'évapotranspiration et le débit.
FDC-Slope	[-]	FDC mid-segment slope		Partition entre les processus de génération d'écoulement rapide et lent (écoulement de surface / infiltration du sol, écoulement souterrain / percolation)	Répartition du débit moyen entre les processus de génération de débit rapide et lent mesurant l'effet d'amortissement du bassin versant.
FDC-Q90	[mm/day]	FDC 90% quantile		Processus de génération de flux lent (percolation, stockage et restitution des eaux souterraines)	Réponse du débit des bassins versants dans des conditions de faible débit principalement affectée par les apports des eaux souterraines.
FDC -Q10	[mm/day]	FDC 10% quantile		Processus de génération d'écoulement rapide (écoulement de surface, écoulement souterrain)	Réponse du débit des bassins versants dans des conditions de débit élevé, lors d'événements de précipitations principalement dus à un écoulement de surface et à un drainage rapide du sol
W2	[-]	Q écoulé en 2% du temps		Écoulement rapide et leur puissance	Réponse des bassins versants dans des conditions d'écoulement rapides.
ZeroFR	[-]	Fréquence des zéros	Écoulement souterrain, connexion rivière et réservoir souterrain	Réponse des bassins versants dans des conditions d'écoulement lent dû à des écoulements souterrains.	
BFI	[-]	Baseflow index		Séparation entre les écoulements rapides (écoulement de surface / souterrain) et lents (eaux souterraines)	Proportion à long terme de contributions à écoulement lent par rapport au débit total. Il mesure la répartition entre les processus de génération à débit rapide (écoulement terrestre et écoulement souterrain rapide) et les contributions à écoulement lent (écoulement latéral lent et écoulement des eaux souterraines).

Symbole	Unité	Courte description	Graphe d'illustration	Lien avec le processus hydrologique	Interprétation
BF-magn	[-]	Baseflow Regime Magnitude		Capacité de stockage des bassins versants (sol, eau souterraine) et caractéristiques des restitutions (écoulement de surface, écoulement souterrain et écoulement des eaux souterraines)	Différence dans les contributions d'écoulements lents entre les conditions sèches et humides.
PQ-Slope-dry	[mm/day]	P-Q curve dry periode slope		Demande d'évapotranspiration; capacité de stockage des bassins versants; écoulement de surface et écoulement souterrain	Déficit de la production de débit de captage par rapport aux apports de précipitations dus à la recharge du sol et à l'évapotranspiration en conditions sèches, pendant la période de réhumidification.
PQ-Slope-wet	[mm/day]	P-Q curve wet periode slope		Capacité de stockage du bassin versant, écoulement de surface, écoulement souterrain et écoulement des eaux souterraines	Déficit de la production de débit de captage par rapport aux apports de précipitations dus à l'infiltration et au taux global de stockage et de restitution du bassin versant.
PQ-Break-date	[day]	P-Q curve breakpoint date		Demande d'évapotranspiration; capacité de stockage des bassins versants; écoulement de surface et écoulement souterrain	Temps nécessaire pour qu'un bassin versant change de comportement en termes de réponse du débit en raison du changement de son état d'humidité, c'est-à-dire qu'il mesure la durée de la période sèche qui se produit à l'automne.
PQ-Slope-Strengh	[-]	P-Q curve threshold strengh		Demande d'évapotranspiration; capacité de stockage du bassin versant et taux de restitution du bassin versant	Différences dans la réponse du débit entre la période sèche et la période humide. Il mesure la variation de la réponse du débit aux précipitations entre les périodes sèches et humides de la première moitié d'une année hydrologique.
REC-early	[day]	Early recession time		Processus d'écoulement de surface et d'écoulement souterrain	Taux de restitution des bassins versants immédiatement après un événement de précipitation. Il se concentre sur les réservoirs qui appauvrissent rapidement les bassins versants ou sur les apports des débits de surface.
REC-late	[day]	Late recession time		Evapotranspiration, percolation, capacité de stockage des eaux souterraines et caractéristiques des rejets	Taux de restitution de stockage de captage plus lents en raison de l'épuisement lent du stockage de captage en raison d'un drainage du sol plus lent, d'un drainage du sol plus vertical et / ou d'une restitution plus lente des eaux souterraines

Nous présentons ici les méthodes utilisées pour calculer les signatures hydrologiques à partir de séries de pluie et de débit journaliers. Dans la suite nous appellerons régime les séries journalières obtenues en calculant, pour chaque jour calendaire, la moyenne des valeurs de ce jour.

2.2.1 Le coefficient de ruissellement (Runoff-coef)

$$\text{Runoff_coef} = \frac{\sum_{t=t_1}^{t_2} Q(t)}{\sum_{t=t_1}^{t_2} P(t)}$$

Ou $Q(t)$ et $P(t)$ sont les séries chronologiques de Q et de P et t_1 et t_2 étant le début et la fin de la période considérée (Horner et al., (2020))

2.2.2 Les signatures tirées de la courbe des débits classés

La courbe des débits classés (FDC) est obtenue en classant les débits par ordre décroissant et en calculant, pour une valeur de débit donnée, la proportion de temps pendant laquelle la valeur a été égalée ou dépassée. Elle est utilisée ici pour dériver trois signatures hydrologiques: les valeurs de débit correspondant aux quantiles 10% et 90% (**FDC-Q10** et **FDC-Q90**) et la pente de son segment médian (**FDC-Slope**) entre les quantiles 33 et 66 % (Horner et al., 2020).

Dans le travail de Horner (2020), les bassins étudiés présentaient peu d'intermittence, ce qui n'est pas le cas de certains des bassins de notre étude. Nous avons donc ajouté deux signatures : le W2 qui désigne le pourcentage de Q total qui s'écoule pendant 2% du temps et ZeroFR, la fréquence des zéros correspond aux périodes sans écoulement d'eau. Les calculs de FDC-Slope, FDC-Q10 et FDC-Q90 ont été modifiés pour être calculés sur les débits positifs uniquement (Figure 4).

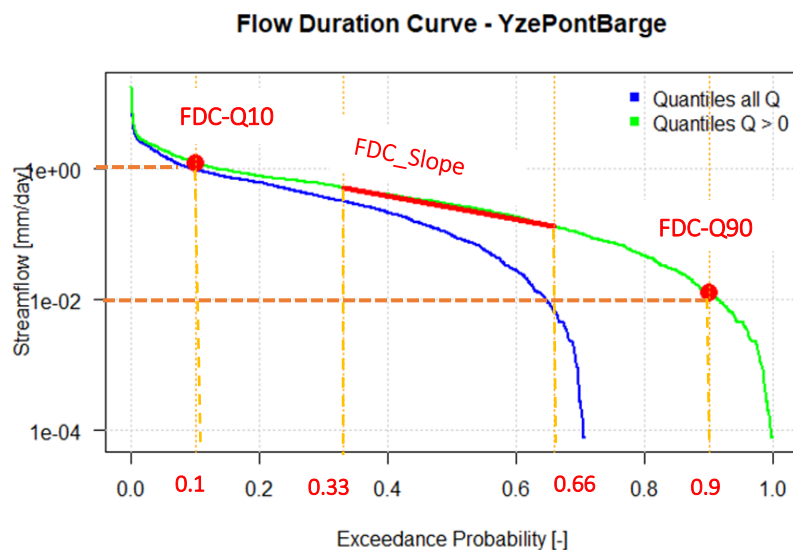


Figure 4 : Courbe FDC et les signatures utilisées pour décrire sa forme

2.2.3 L'indice du débit de base (BFI)

L'indice de débit de base (BFI) est utilisé ici comme signature hydrologique pour étudier l'importance relative des composants de débit lent par rapport au débit total. Cette signature quantifie le partitionnement à long terme entre débit rapide et débit lent. Le débit de base est calculée par la méthode de Gustard (Horner et al. (2020).

$$\text{BFI} = \frac{\sum_t Q_{QF}(t)}{\sum_t Q(t)}$$

Qui est le rapport entre le volume du débit de base et le volume total du débit calculé sur une longue période de temps (Horner,2020)

2.2.4 L'amplitude de la variation du régime d'écoulement de base (Bf_magn)

Le BF_magn varie entre 0 et 1 et caractérise l'ampleur des contributions d'écoulement lent entre la période sèche et humide figure 5. Plus il est proche de 1, plus la variation saisonnière est grande. Il est lié à la capacité globale de stockage des bassins versants et aux taux de relargage, car ils contrôlent la variation des contributions lentes entre les conditions humides et sèche (Horner et al., 2020).

$$\text{BF_magn} = \frac{Q_{\text{BFR.max}} - Q_{\text{BFR.min}}}{Q_{\text{BFR.max}}}$$

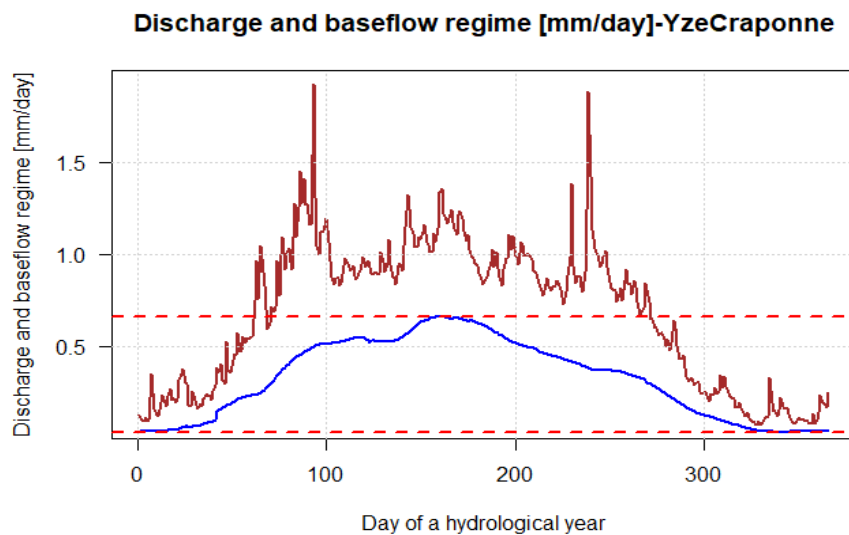


Figure 5 : Baseflow Regime Magnitude

2.2.5 L'approche P-Q ((PQ_Slope wet et dry) , PQ_Break_date, PQ_Slope_strength)

La courbe P-Q représente la différence entre la courbe du régime des précipitations et la courbe du régime des débits. Elle représente la quantité cumulée de précipitations d'entrée qui n'a pas (encore) généré de débit au jour j. Cette eau est stockée dans le bassin versant

pour être rejetée sous forme d'évapotranspiration ou sous forme de débit. Comme illustré sur la figure 6, une période sèche, humide et une transition entre les deux périodes peuvent être identifiées sur la courbe P-Q (Horner et al., 2020).

Les signatures extraites de la courbe P-Q sont les pentes des périodes A (PQ_dry) et B (PQ_wet), la date du changement de tendance (PQ_break_date) et la force du changement de tendance (PQ_strength) comme illustré sur la figure 6.

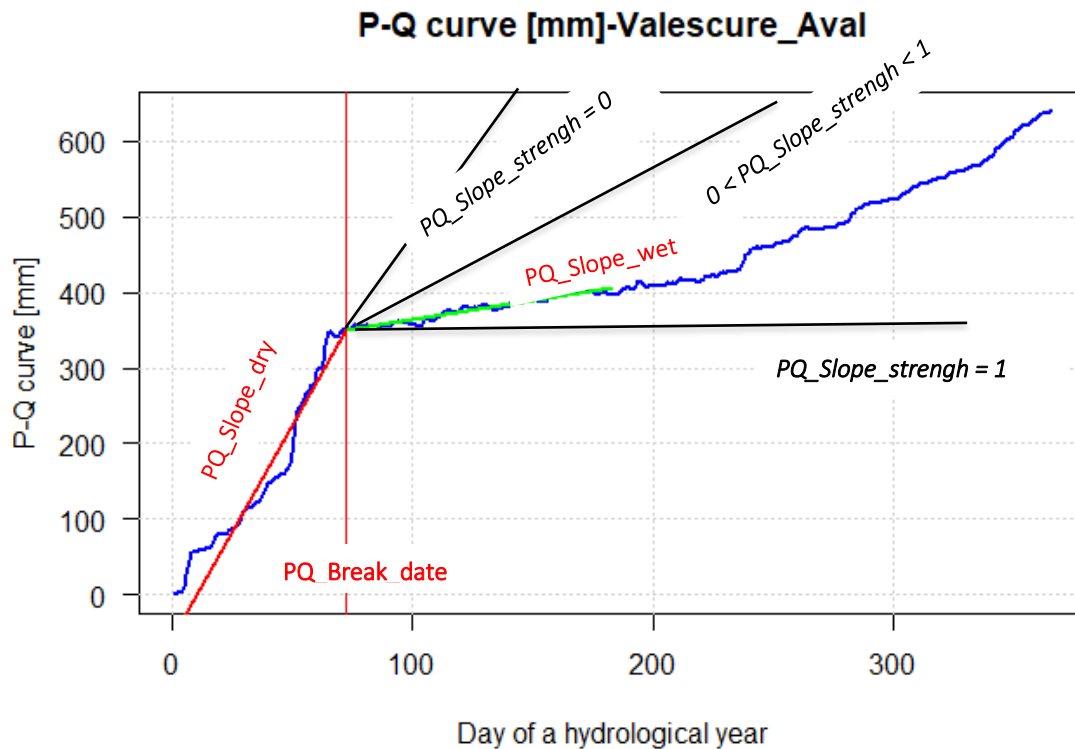


Figure 6 : Schéma utilisant les 4 signatures hydrologiques issues de l'approche P-Q. adapté de Horner, (2020)

$$PQ_Slope_Strength = 1 - (PQ_slope_wet / PQ_Slope_dry)$$

La définition du PQ_Slope_Strength est telle que s'il n'y a pas de point de rupture, (PQ_slope_dry = PQ_slope_wet), il donne 0 et si la seconde pente est horizontale (PQ_slope_wet = 0), il donne 1.

2.2.6 Les récessions précoces et tardives (REC_early et REC_late)

$$Q(t) = Q(0)e^{-t/\tau}$$

L'analyse de récession est l'analyse des parties décroissantes du débit, c'est-à-dire lorsque $dQ(t) / dt < 0$ où $Q(t)$ est le débit au temps t (Horner, 2020). Sur la figure 7a, il faut extraire

tous les évènements de récession de la série chronologique des débits. Pour chaque récession, ajuster un modèle exponentiel sur la partie Early et Late (figure 7b).

Où $Q(t)$ est le débit au temps t et τ est une caractéristique de temps de récession. La médiane de tous les τ des segments de récession précoce ou tardive définit les périodes de récession précoce (REC_early) ou tardive (REC_late) (Horner et al., 2020).

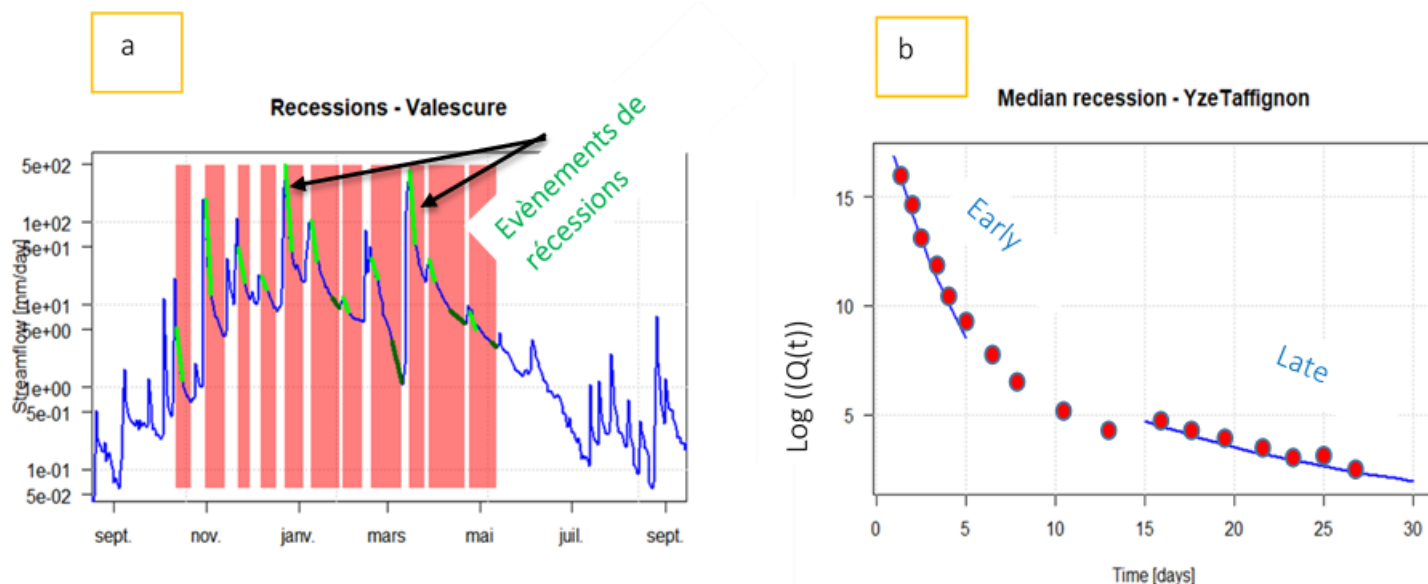


Figure 7 : Récessions précoces et tardives

2.3 Méthode d'analyses statistiques utilisées et les indicateurs de descriptions des bassins versants

Dans notre étude nous avons utilisé l'analyse en composante principale (ACP) et l'analyse factorielle de données mixtes (FAMD), ainsi qu'une analyse des corrélations entre les différentes variables.

L'analyse des corrélations permet de déterminer si certaines variables sont redondantes afin de simplifier l'analyse en limitant le nombre des variables considérées et en ne conservant, autant que faire se peut, que des variables qui portent des informations différentes. Ceci est d'autant plus important que le jeu de données que nous manipulons contient peu d'individus (28) et que le nombre de variables (une trentaine à une quarantaine selon les cas) est largement supérieur au nombre d'individus.

L'ACP nous permet de décrire et de visualiser nos tableaux de données où les individus (bassins versants) sont décrits par des variables quantitatives (Signatures hydrologiques). Il est aussi possible de considérer des variables qualitatives ou quantitatives comme supplémentaires ou illustratives⁵.

⁵ <https://husson.github.io/index.html>

Le FAMD nous permet de prendre en compte simultanément des variables quantitatives (signatures hydrologiques et facteurs physiographiques) et qualitatives (géologie et BDLISA) comme variables actives⁶.

Les indicateurs de description des bassins versants sont les facteurs hydroclimatiques (P, T, ET0, Q), la géologie, les natures, milieux et thèmes BDLISA pour les bassins versants français, l'occupation du sol et les données dérivées des MNT comme l'altitude moyenne, la pente moyenne, l'Indice d'humidité topographique, la densité de drainage et l'Indice de Horton (Annexe A-3).

Enfin, des classifications ascendantes hiérarchiques (HCPC) ont été réalisées sur les résultats de l'ACP ou le FAMD pour mettre en évidence des groupes de bassins ayant des comportements similaires.

Les analyses ACP, FAMD, HCPC ont été réalisées à l'aide du package FactoMineR⁷ (Lê et al., 2008) et les graphiques de corrélation à l'aide du package corrplot⁸.

3 Résultats et Analyse

3.1 Signatures hydrologiques obtenues

Sur chaque bassin versant nous avons calculé la pluie moyenne interannuelle, la température interannuelle, l'évapotranspiration interannuelle et un ensemble de signatures hydrologiques calculées par saison DRY et WET et par année hydrologique complète (Annexe A-1 et Annexe A-2).

Une fiche de synthèse par bassin a été produite et nous détaillons ici un exemple pour le bassin de Kervidy-Naizin (Figure 8 à 11, Tableau 7).

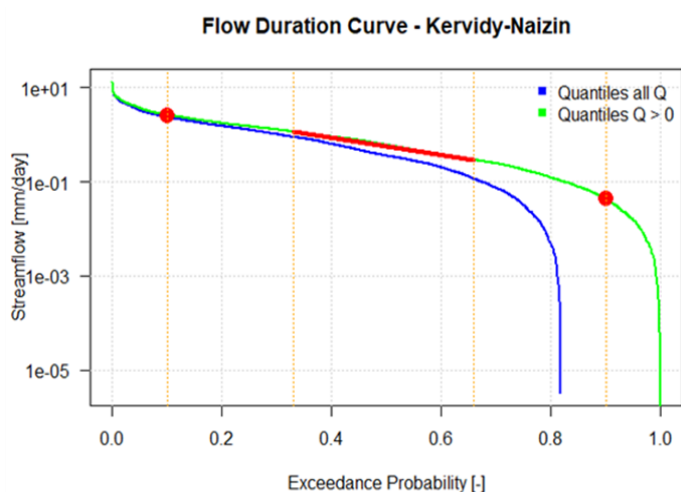


Figure 8 : La courbe FDC du bassin versant Kervidy-Naizin avec et sans débit nul

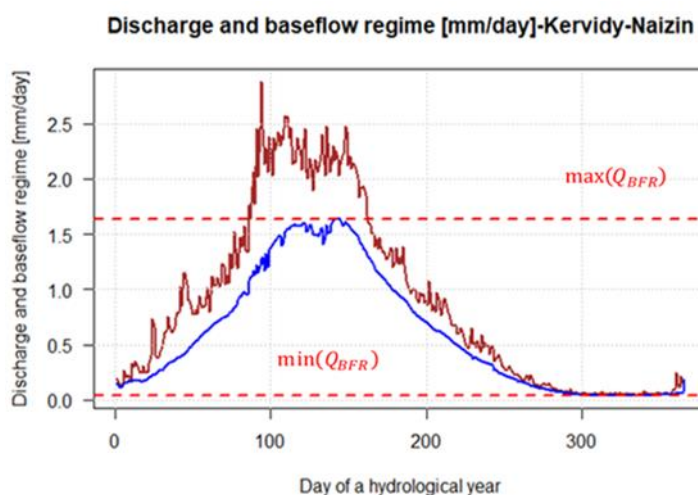


Figure 9 : Illustration du baseflow_Regime_magnitude sur le bassin versant de Kervidy_Naizin

⁶ <https://husson.github.io/index.html>

⁷ http://factominer.free.fr/index_fr.html

⁸ <https://cran.r-project.org/web/packages/corrplot/index.html>

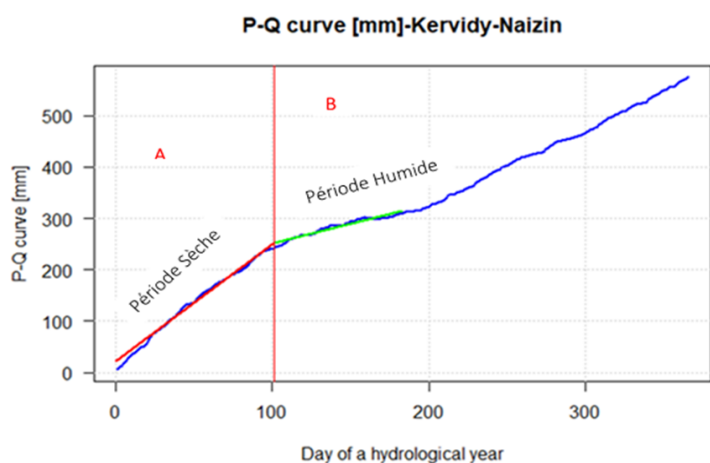


Figure 10 : L'approche P-Q sur le bassin versant de Kervidy-Naizin

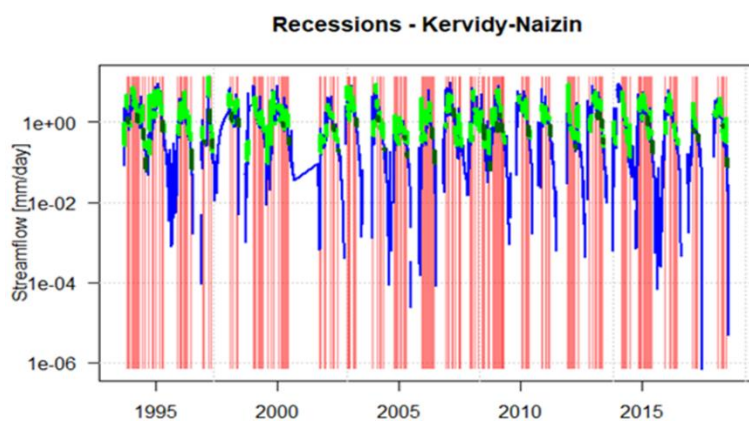


Figure 11 : zoom sur les récessions précoces et tardives sur le bassin versant de Kervidy-Naizin

3.2 Les signatures calculées pour le bassin Kervidy-Naizin

Le bassin de Kervidy-Naizin est un petit bassin (4.8 km²) avec un indice d'aridité faible $ET0/P=0.8$. Le coefficient d'écoulement est de 0.4, avec un fort contraste entre l'été (0.12) et l'hiver (0.59). On note aussi un fort degré d'intermittence (18%) très marqué en été (33%) et faible en hiver (3%). Le W2 est de 14% montrant qu'une part significative des écoulements passe en 2% de l'année, avec là encore un contraste entre l'été (22%) et l'hiver (9%). Une forte proportion des écoulements sont du débit de base (BFI de 68%) et cette proportion est stable sur l'année (peu de variation en été et en hiver). Les récessions sont assez longues (REC_early de 9.9 jours). Le bassin présente une valeur de FCD_Slope assez faible (1.8) ce qui traduit une capacité de stockage assez importante. On note aussi un effet saisonnier du stockage avec une cassure assez marquée de la courbe P-Q au bout de 100 jours et un P-Q_Strength de 0.8.

Le tableau 7 montre les signatures calculées par année hydrologique et par saison humide et sèche. Il manque les signatures de l'approche P-Q pour l'année hydrologique complète. Elles sont montrées sur le Tableau des signatures annuelles en annexe (Annexe A-1).

Année hydrologique complète	P-ave	ET0-ave	T-ave	Q-ave	runoff-coef	fdc-slope	fdc-Q10	fdc-Q90	ZeroFR	W2	BFI	BF-magn	REC-early	REC-late
	816,51	652,30	11,26	322,45	0,39	1,84	2,62	0,04	0,18	0,14	0,68	0,98	9,89	26,37
Dry season	D-P-ave	D-ET0-ave	D-T-ave	D-Q-ave	D-runoff-coef	D-fdc-slope	D-fdc-Q10	D-fdc-Q90	D-ZeroFR	D-W2	D-BFI	D-BF-magn	D-REC-early	D-REC-late
	351,11	468,72	15,12	41,78	0,12	1,63	0,81	0,01	0,33	0,22	0,65	0,90	7,77	17,83
Wet season	W-P-ave	W-ET0-ave	W-T-ave	W-Q-ave	W-runoff-coef	W-fdc-slope	W-fdc-Q10	W-fdc-Q90	W-ZeroFR	W-W2	W-BFI	W-BF-magn	W-REC-early	W-REC-late
	469,76	185,60	7,34	281,23	0,59	0,96	3,35	0,27	0,03	0,09	0,67	0,91	9,71	28,10
Mean_elev	Mean_slope	Mean_TWI	Densité de drainage	Indice de Horton	% Urbain	% Agricole	% Forêt	% Prairie	% Eaux & plage	Geologie	Nature_BDLISA	Milieu_BDLISA	Theme_BDLISA	
118,35	1,72	8,08	0,917	0,611	5,639	74,452	3,239	16,655	0,014	shales	semi-permeable	fissure	socle	

Tableau 7 : Jeu de données de signatures, de facteurs hydroclimatiques et physiographiques pour Kervidy-Naizin

3.3 Les signatures pour les autres bassins versants

A l'image du bassin versant Kervidy-Naizin, nous avons également calculé les mêmes signatures pour l'ensemble des 28 bassins versants en France et hors France de notre étude. Les tableaux avec les signatures calculées par année hydrologiques et par saison humide et sèche pour l'ensemble des bassins versants sont mis en annexe (Annexe A-1 et Annexe A-2). Les bassins versants Taffignon (129.99 km²), Craponne (40.972 km²), Claduègne (42.335km²) et Meyras (98.453 km²) ont des surfaces plus grandes par rapport autres bassins versants dont les surfaces varient entre 0.475km² et 23.215 km². Le bassin versant de Kamech possède un indice d'aridité élevé de l'ordre de 2.07. Les bassins versants comme Ara, Roujan et Aurade ont aussi des indices d'aridité assez élevés de l'ordre de 1.3 en moyenne (section 2.1.5). A l'inverse nous avons des bassins versants ayant des indices d'aridité faible. C'est le cas des bassins versants comme Meyras, Cloutasses, Strengbach, kerbernez_E30, Cartaou, HouayPano et BrasDavid ayant un indice d'aridité de l'ordre de 0.4 en moyenne. Les bassins versants comme Cartaou, Meyras, Cloutasses, real_Rimbaud et BrasDavid sont marqués par un coefficient de ruissellement assez élevé variant de 0.55 à 0.7 avec des contrastes élevés pour les saisons humides et sèches (Annexe A-1 et Annexe A-2). Cela peut être expliqué par le fait que sur ces bassins versants on observe moins d'évapotranspiration, un faible stockage du sol et moins de résistance au drainage du sol. Les signatures comme W2 et la fréquence des zéros que nous avons intégré dans nos analyses sont informatives sur le fonctionnement interne des bassins versants. MuleHole, Ara, Roujan et Kamech sont marqués par un fort degré d'intermittence variant de l'ordre de 59.8% pour Ara à 70.8% pour Roujan. Ces degrés d'intermittences sont très marqués en saison sèche mais ils sont aussi assez élevés durant les saisons humides sur ces bassins versants et peuvent atteindre 34% pour Ara et 53% pour Roujan. Le W2 est de 58% pour Roujan, 70% pour Kamech, 66% pour MuleHole et 43.8% pour Ara montrant qu'une part significative des écoulements passe en 2% de l'année, avec là des contrastes assez élevés pour Kamech et MuleHole par exemple entre la saison sèche (85.8%, 74.4%) et la saison humide (58.7%, 56.6%). Les bassins versants comme Ratier, Gazel, MuleHole et Kamech présentent des valeurs de FDC-Slope assez élevées variant entre 2.7 et 4.12 ce qui traduit une capacité de stockage assez faible et à des épuisements rapides du stockage des eaux souterraines (Horner et al., 2020). L'inverse peut être observée avec les bassins versant comme Gazel, Aurade, MuleHole, Meyras, Roujan, Cloutasses, Taffignon, Craponne, kerbernez-E30, HouayPano et Ara. Ces derniers présentent des valeurs de FDC-Slope assez faibles de l'ordre 1. Concernant les valeurs du fort quantile de débit (FDC-Q90) pour le bassin versant de Strenbach (0.33) et Brasdavid en particulier (2.74), nous pouvons dire que ces derniers sont marqués par des processus de génération d'écoulement lent (percolation, stockage et restitution des eaux des eaux souterraines), un plus grand stockage et un taux d'épuisement des eaux souterraines assez lent. Les bassins versants comme Taffignon, Gazel, Melarchez, Roujan, real_Mauret, Real_Rimbaud, kamech, MuleHole et Mercier présentent de faibles valeurs valeurs de FDC-Q90 de l'ordre de 0.01. Les bassins versants marqués par une forte valeur de FDC_Q10 variant de 4.4 à 9.9 sont Strengbach, Meyras, valescure_Aval, cartaou, Cloutasses, Real-Rimbaud et BrasDavid. Les autres bassins versants ont des valeurs de FDC-Q10 assez faibles qui oscillent entre 0.4 et 3.7. On note un fort contraste entre la saison sèche et humide. Cette dernière est marquée par des valeurs de

FDC-Q10 plus élevées que celles calculée pour l'année hydrologique. Par exemple pour BrasDavid, la valeur de FDC-Q10 calculée pour l'année hydrologique est de 9.9 alors que celle calculée pour la saison humide est de 11.3. Une forte valeur de cette signature (FDC_Q10) traduit la réponse du débit des bassins versants dans des conditions de débit élevé, lors d'événements de précipitations principalement dus à un écoulement de surface et à un drainage rapide du sol (Horner et al., 2020). De fortes proportions des écoulements pour les bassins versants comme Kervidy-Naizin, Mercier, Gazel, Strengbach, Aurade et BrasDavid sont du débit de base (BFI variant entre 50.3% à 68.3%). Les bassins versants comme Ara, MuleHole, cartaou, Valescure-Aval et Gazel présente de fortes valeurs pour la signature hydrologique PQ-Slope-dry variant de 5.4 à 9.3. Cela traduit une grande capacité de stockage du sol, une grande infiltration et moins de drainage du sol sur ces bassins versants (Horner et al., 2020). Les autres bassins versants présentent des valeurs de PQ-Slope-Dry assez faible variant entre 1.4 et 4.4. Les bassins versants comme Kamech et Gazel partagent de fortes valeurs de la signature PQ-Slope-wet (1.7, 2.13). Cela est lié à une demande élevée d'évapotranspiration sur ces bassins versants et à un épuisement du stockage des eaux souterraines lent (Horner, 2020). Un effet saisonnier de certains comportements ou processus hydrologiques de certains bassins versants est noté avec une cassure assez marquée de la courbe P-Q au bout de quelques jours variant de 36 à 134 jours et un P-Q_Strength proche de 1. C'est le cas des bassins versants comme Kervidy-Naizin, Meyras, Valescure-aval, Cartaou, Cloutasses, Real-Rimbaud, MuleHole, HouayPano et Ara. Les récessions sont assez longues pour les bassins de kerbernez_E30 et Strengbach (REC-early de 13 jours). Il n'y a pas une grande différence de récession précoce entre l'année et les saisons humide et sèche. Les valeurs de récessions précoces (REC-early) pour ces deux bassins versants sont de 13 et 14 jours en saison sèche, 14 et 11 jours en saison humide. Cela traduit un grand stockage des eaux souterraines, un drainage du sol plus vertical et/ou des restitutions des eaux souterraines lents (Horner et al., 2020). Les autres bassins versants ont des récessions précoces sur l'année comprises entre 1.6 jour et 9.9 jours. Les récessions précoces pour ces bassins versants en saison sèche oscillent entre 1.6 jour et 9.6 jours et entre 1.6 jour et 11 jours en saison humide.

Les bassins versants comme Mercier, PontBarge, Roujan et Kamech présentent une variation maximale de l'amplitude du débit de base (BF-magn = 1). Cette valeur traduit une variation saisonnière importante entre ces bassins versants et un épuisement des eaux souterraines. Les autres bassins versants présentent également des valeurs plus ou moins élevées de BF-magn comprises entre 0.4 et 0.99.

3.4 Analyse des bassins versants Français

3.4.1 Analyse des corrélations entre variables

Elles sont présentées sur la Figure 12. Nous pouvons voir de fortes corrélations positives ($0.75 < R < 1$) et négatives ($-1 < R < -0.75$) entre les signatures hydrologiques également entre les signatures hydrologiques et les facteurs

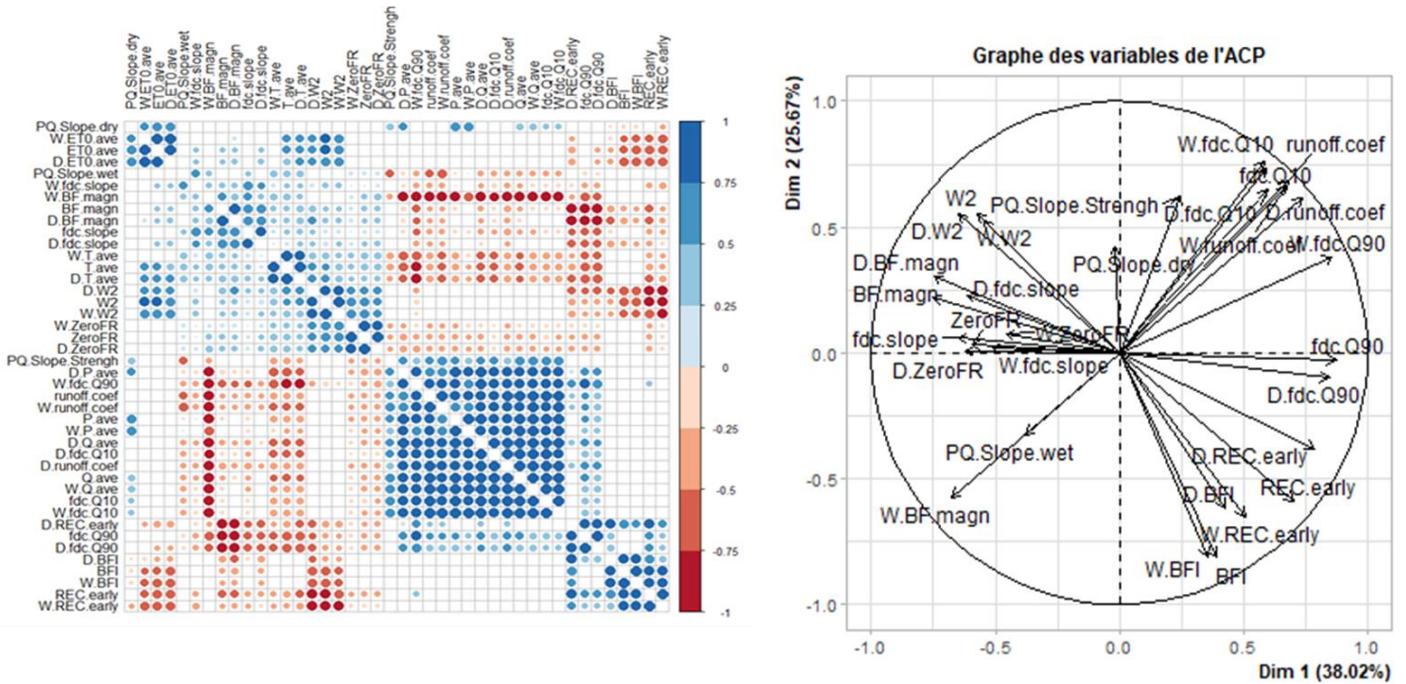


Figure 12 : Corrélations entre les variables des bassins versants en France; Significance levels: ***: $\alpha=0.001$

hydroclimatiques.

En bleu foncé nous avons de fortes corrélations positives et en rouge de fortes corrélations négatives entre les différentes variables. La plupart des variables calculées par saison sèche (Dry) et humide (Wet) sont corrélées positivement avec les variables calculées sur l'année hydrologique complète. C'est le cas des P moyennes, des Q moyennes, des T moyennes, des ET0 moyennes, des W2, des coefficients de ruissellement, des fdc_Q10 et des Rec_early. Nous pouvons bien voir aussi sur la la matrice de corrélation que la variable W-BF-mag est corrélée négativement avec plusieurs variables.

3.4.2 Simplification du jeu de données

Sur le cercle de corrélations, nous pouvons voir de fortes redondances entre certaines variables hydrologiques et hydroclimatiques. Les variables réunies sur le gros paquet en bleu foncé sur la matrice de corrélation ont des flèches orientées dans le même sens et parfois superposées. Dans la suite des analyses, nous allons simplifier le jeu de données en considérant les variables ayant de fortes corrélations positives et négatives. Ensuite effectuer

des analyses statistiques (ACP et FAMD) en éliminant du jeu de données les variables qui sont redondantes. Les variables ayant des flèches qui sont un peu décalées les unes des autres peuvent être laissées dans le jeu de données. Le tableau du nouveau jeu de données simplifié est mis en annexe (Annexe A-4).

3.5 ACP sur les signatures hydrologiques et HCPC sur ce jeu de données

Sur les 23 bassins versants en France, nous en avons mis 8 bassins en individus supplémentaires pour les analyses ACP et FAMD. Il s'agit des bassins versants Taffignon, Charbonnières, Ratier, Mercier, PontBarge, Cartaou, Real_Maurets et Real_Valescure. Nous avons considéré comme individus supplémentaires les bassins qui étaient proches et avec des géologies similaires. Cela permet d'avoir des classifications entre bassins versants beaucoup plus correctes

3.5.1 ACP sur les signatures hydrologiques

Ce jeu de données contient 23 individus et 16 variables, 8 individus en bleu sur le graphique (Taffignon, Charbonnières, Ratier, Mercier, PontBarge, Cartaou, Real_Maurets et Real_Valescure) sont illustratifs (supplémentaires).

Description du plan 1 :2

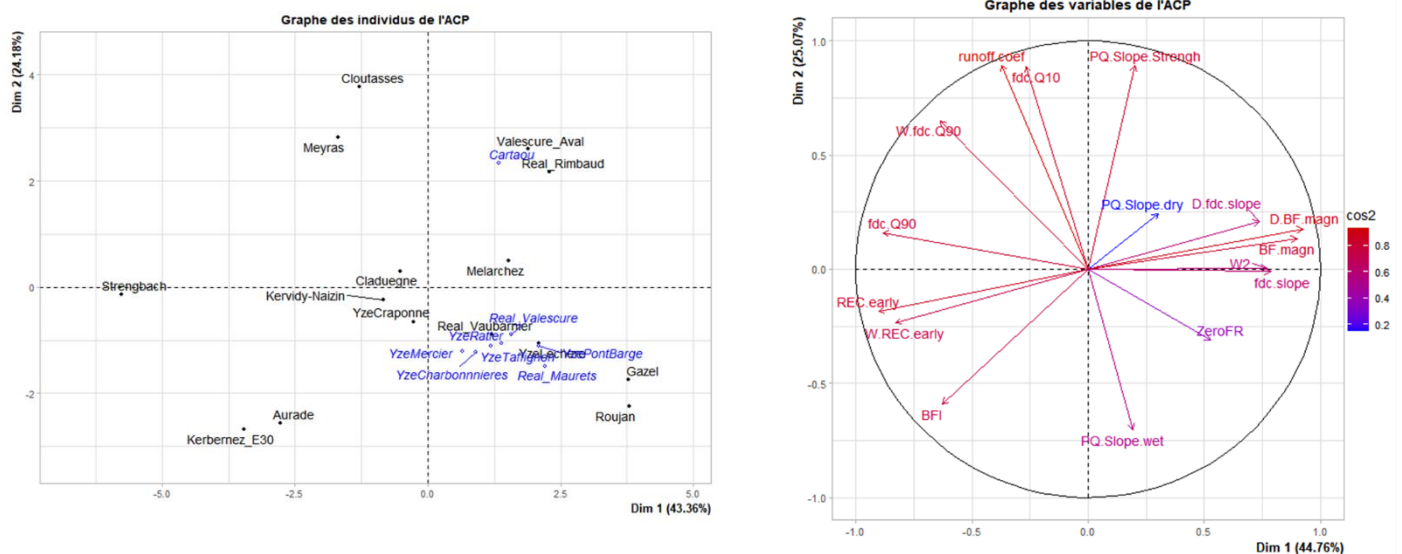


Figure 13 : Résultats de l'ACP sur 23 individus dont 8 supplémentaires et 16 variables hydrologiques

Les 2 premiers axes de l'analyse expriment 67.54% de l'inertie totale du jeu de données ; cela signifie que 67.54% de la variabilité totale du nuage des individus (ou des variables) est représentée dans ce plan. C'est un pourcentage assez important, et le premier plan représente donc convenablement la variabilité contenue dans une grande part du jeu de données actif.

La **dimension 1** oppose des individus tels que Gazel et Roujan à des individus comme Strengbach, Kerbernez_E30, Aurade. Le groupe auquel le bassin versant Roujan appartient partage de fortes valeurs pour les variables D.fdc.slope, ZeroFR et de faibles valeurs pour les variables runoff.coef, fdc.Q10, W.fdc.Q90 et fdc.Q90. Le groupe auquel le bassin versant

Strengbach appartient partage de fortes valeurs pour les variables fdc.Q90, REC.early et de faibles valeurs pour les variables D.BF.magn et BF.magn. Le groupe auquel les bassins versants Kerbernez_E30 et Aurade appartiennent partage de fortes valeurs pour les variables BFI, W.REC.early et REC.early et de faibles valeurs pour la variable D.fdc.slope.

La **dimension 2** oppose des individus tels que Meyras, Cloutasses, Valescure_Aval et Real_Rimbaud à des individus comme Kerbernez_E30, Aurade et Gazel. Le groupe auquel les individus Meyras et Cloutasses appartiennent partage de fortes valeurs pour les variables W.fdc.Q90, fdc.Q10 et runoff.coef. Le groupe auquel les individus Valescure_Aval et Real_Rimbaud appartiennent partage de fortes valeurs pour les variables PQ.Slope.Strengch et PQ.Slope.dry.

Le groupe auquel les individus Kerbernez_E30 et Aurade appartiennent partage de fortes valeurs pour les variables BFI, W.REC.early, REC.early et de faibles valeurs pour la variable D.fdc.slope. Le groupe auquel l'individu Gazel appartient partage de fortes valeurs pour les variables D.fdc.slope, ZeroFR et de faibles valeurs pour les variables runoff.coef, fdc.Q10, W.fdc.Q90 et fdc.Q90.

3.5.2 HCPC sur ce jeu de données

La classification réalisée sur les individus dont 8 supplémentaires fait apparaître 4 classes (Figure 14). Ces individus ou bassins versants sont répartis en fonction des signatures hydrologiques. On peut retrouver en annexe la classification réalisée avec toutes les individus.

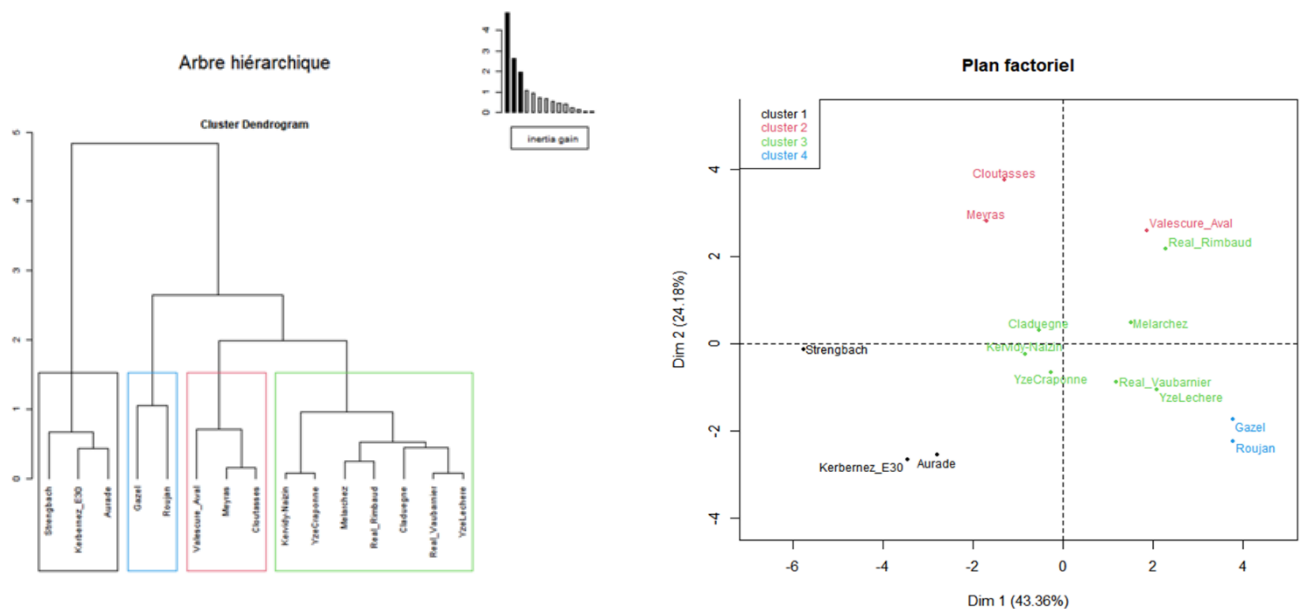


Figure 14 : Classification Ascendante Hiérarchique des bassins versants Français en fonction des signatures hydrologiques

La **classe 1** est composée d'individus tels que Kerbernez_E30, Strengbach et Aurade. Ce groupe est caractérisé par de fortes valeurs pour les variables REC.early, W.REC.early, BFI, W.BFI et fdc.Q90 et de faibles valeurs pour les variables D.BF.magn, BF.magn, D.fdc.slope,

fdc.slope et PQ.Slope.Strength. Sur ces bassins versants, les contributions des eaux souterraines lentes sur toutes les saisons sont importantes en raison d'importantes infiltrations du sol ou d'un drainage vertical important. Ils sont caractérisés aussi par un épuisement moyennement lent du stockage de l'eau dans le bassin versant sur toute l'année et pendant la saison humide. Sur ces derniers, les taux d'infiltration et de l'épuisement des stockages des eaux ne diffèrent pas trop entre les conditions sèches et humides (Horner et al., 2020).

La **classe 2** est composée d'individus tels que Meyras, Valescure_Aval et Cloutasses. Ce groupe est caractérisé par de fortes valeurs pour les variables fdc.Q10, W.fdc.Q90, runoff.coef, PQ.Slope.Strength et PQ.Slope.dry. Cette forte valeur de la signature fdc_Q10 en toute saison expliquent les processus d'écoulement de surface ou de subsurface rapides sur ces bassins versants. Ces processus de génération de débits rapides sont dus à de faibles taux d'infiltration, des sols saturés ou des drainages rapides des sols. La saison humide, en plus des écoulements rapides est aussi caractérisée par des écoulements lents souterrains. Les fortes valeurs des coefficients de ruissellement en toute saison peuvent expliquer ces processus d'écoulement rapides sur ces bassins versants (Horner et al., 2020).

La **classe 3** est composée d'individus tels que Real_Rimbaud, Melarchez, Claduegne, Craponne, Real-Vaubarnier, Lechere et Kervidy-Naizin. Ce groupe est caractérisé par des variables dont les valeurs ne diffèrent pas significativement de la moyenne. Cette classe est caractérisée par des signatures dont les valeurs ne diffèrent pas significativement de la moyenne. Cette classe sera expliquée plus tard lorsqu'on va intégrer les facteurs climatiques et physiographiques dans les analyses.

La **classe 4** est composée d'individus tels que Gazel et Roujan. Ce groupe est caractérisé par de fortes valeurs pour les variables ZeroFR, PQ.Slope.wet, W2 et fdc.slope et de faibles valeurs pour les variables Rec.Early, fdc-Q10 et runoff.coef. Ces bassins versants sont caractérisés par un fort volume de débit qui s'écoule pendant 2% du temps en toute saison en raison d'une forte fréquence des zéros liée aux intermittences. La faible valeur de la récession précoce peut expliquer ce phénomène avec un épuisement rapide du stockage de l'eau dans le bassin versant. Une forte pente de la FDC peut être expliquée par le fait que sur ce bassin versant on assiste à des taux d'épuisement plus rapides des eaux souterraines sur toute l'année hydrologique et en saison humide. Les processus de génération de débit lent (percolation, stockage et restitution des eaux souterraines) sont dominants sur ces bassins versants en raisons des forts apports des eaux souterraines (Horner, 2020).

3.6.1.2 HCPC sur ce jeu de données

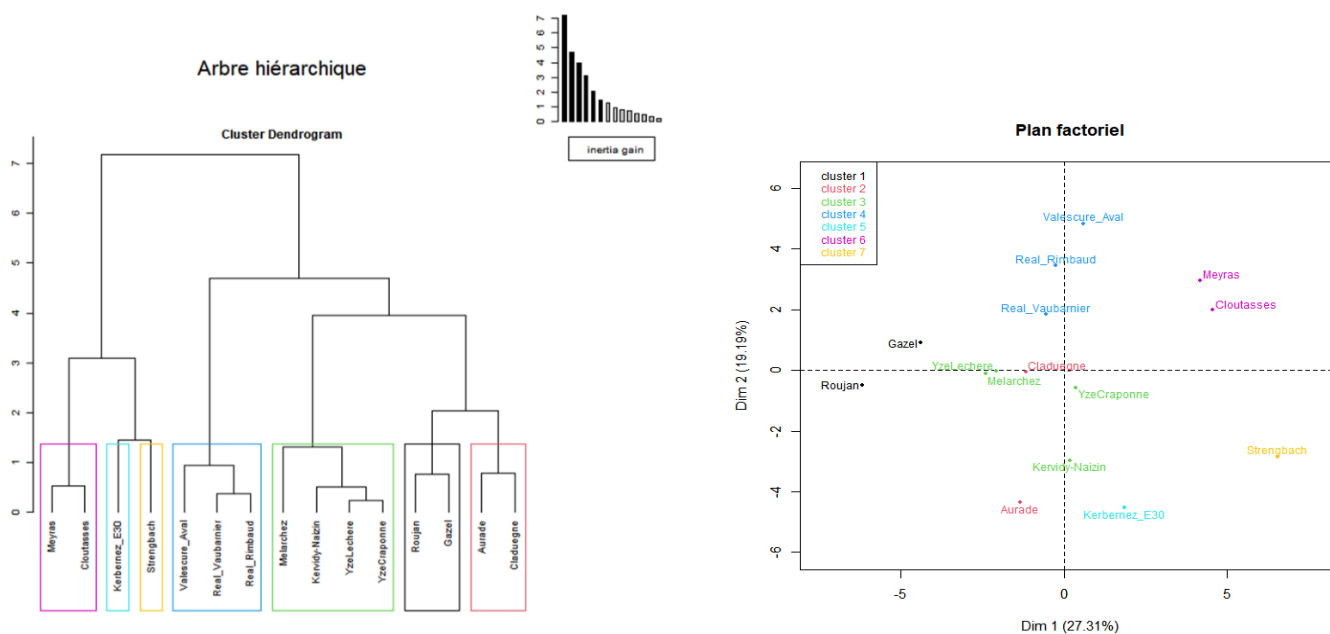


Figure 16 : Classification Ascendante Hiérarchique des bassins versants en France

La classification réalisée sur les bassins versants Français fait apparaître 7 classes (Figure 16). On avait 4 classes sans les facteurs climatiques et physiographiques mais nous pouvons voir des bassins versants qui changent de classes en fonction de ces variables rajoutées sur l'analyse FAMD. Nous allons essayer d'expliquer ces différentes classes en fonction des signatures hydrologiques, des facteurs climatiques et physiologiques

La classe 1 est composée de bassins versants tels que Gazel et Roujan ayant tous les deux comme géologie Marnes-Calcaires. Ces bassins versant sont caractérisés par de faibles variables telles que l'indice de Horton la Pluie moyenne, l'élévation moyenne, la pente moyenne et de fortes valeurs pour la température moyenne, l'ET0 moyenne et la densité de drainage. Les processus de génération de débit lent (percolation, stockage et restitution des eaux souterraines) sont dominants sur ces bassins versants en raisons des forts apports des eaux souterraines. Ils sont caractérisés par un épuisement rapide du stockage de l'eau dans le bassin versant, une forte variable de W2 et de la fréquence des zéros.

La classe 2 est composée de bassins versants tels que Claduegne et Aurade. Ces derniers ont la même géologie (Marnes-Calcaires), le même thème BDLISAH (sédimentaire), la même nature_BDLISAH (semi-perméable) et le même milieu_BDLISAH (poreux).

Le bassin versant Aurade est caractérisé par des contributions des eaux souterraines lentes sur toutes les saisons et par un épuisement moyennement lent du stockage de l'eau dans le bassin versant pendant la saison humide.

La classe 3 regroupe les bassins versants tels que Melarchez, Kervidy-Naizin, Craponne et Lechere. Ces bassins versants ont des géologies différentes (Marnes-Calcaires, Shales et Gneiss) et partagent de faibles pourcentage de Forêt, pente moyenne, Pluie moyenne, ET0

moyenne et de températures moyennes assez élevés. Ces bassins versants sont caractérisés à la fois par de faibles valeurs des signatures fd_c_{Q10} et fd_c_{Q90} et un fd_c_{slope} moyen. D'où une répartition des écoulements sur ces bassins versants entre les processus de génération d'écoulements rapides et lents.

Dans **la classe 4**, les bassins versants Valescure_Aval, Real_Rimbaud et Real_Vaubarnier se regroupent ensemble. Ce nouveau groupe est caractérisé par de faibles valeurs de BFI, fd_c_{Q90} , REC-early et un fort coefficient de ruissellement. Ces bassins versants ont des géologies différentes (Schiste, gneiss et granite) et partagent de fortes valeurs pour les variables %Forêt, L'indice d'humidité topographique moyenne, l'ET0 moyenne et la densité de drainage. Sur ces bassins versants les processus de génération d'écoulement rapides (écoulement de surface et écoulement subsurface) dominent ceux de génération d'écoulements lents (écoulement d'eau souterraines). Ils sont caractérisés aussi par un épuisement moyennement rapide du stockage de l'eau lors d'un évènement pluvieux.

La **classe 5** est composée de bassins versants tel que kerbernez_E30. Ce dernier présente de fortes valeurs pour les signatures hydrologiques BFI, BF_magn et REC_early. Il a comme géologie granite et présente des valeurs élevées pour les variables IH (Indice de Horton), Dd (Densité de drainage), température moyenne et de faibles pentes moyennes. Sur ce bassin versant, les contributions des eaux souterraines lentes sont importantes en raison d'importantes infiltrations du sol ou d'un drainage vertical important. Il est caractérisé aussi par un épuisement moyennement lent du stockage de l'eau lors d'un évènement pluvieux.

La classe 6 composée de bassins versants tels que Meyras et Cloutasses ayant des géologies différentes (Gneiss et Granite) est influencée par de fortes valeurs de pluie moyenne, d'élévation moyenne, de coefficient de ruissellement et de faibles valeurs d'indice d'humidité topographique et de température moyenne. Les processus d'écoulement rapides expliqués à la (section 3.5.2) sont expliqués entre autres par ces facteurs hydro-climatiques et physiographiques.

La classe 7 est composée de bassins versant tels que Strengbach. Ce dernier est caractérisé par une géologie granitique, une faible densité de drainage, une température moyenne faible. Les processus d'écoulement lents expliqués à la (section 3.5.2) sont expliqués entre autres par ces facteurs climatiques et physiographiques. En plus de la forte valeur de fd_c_{Q90} et de faibles valeurs de D.BF.magn et de BF.magn.

3.7 Analyse des bassins versants en France et hors France

Dans cette partie, nous allons choisir un représentant de chaque classe des bassins versants en France puis rajouter les cinq bassins versants hors France à savoir Kamech, MuleHole, HouayPano, Ara et BrasDavid pour effectuer les différentes analyses statistiques. Le choix du représentant de chaque classe des bassins versants en France sera effectué en fonction de la longueur des chroniques et de la fiabilité des variables hydrologiques. En somme nous avons 8 bassins versants en France car nous avons voulu considérer le bassin versant Craponne de l'Yzeron afin d'avoir en même temps un représentant dans chaque observatoire. Le nouveau tableau des 13 bassins versants en France et hors France avec le jeu de données est mis en annexe (Annexe A-5).

3.7.1 Analyse des corrélations entre variables et simplification du jeu de données

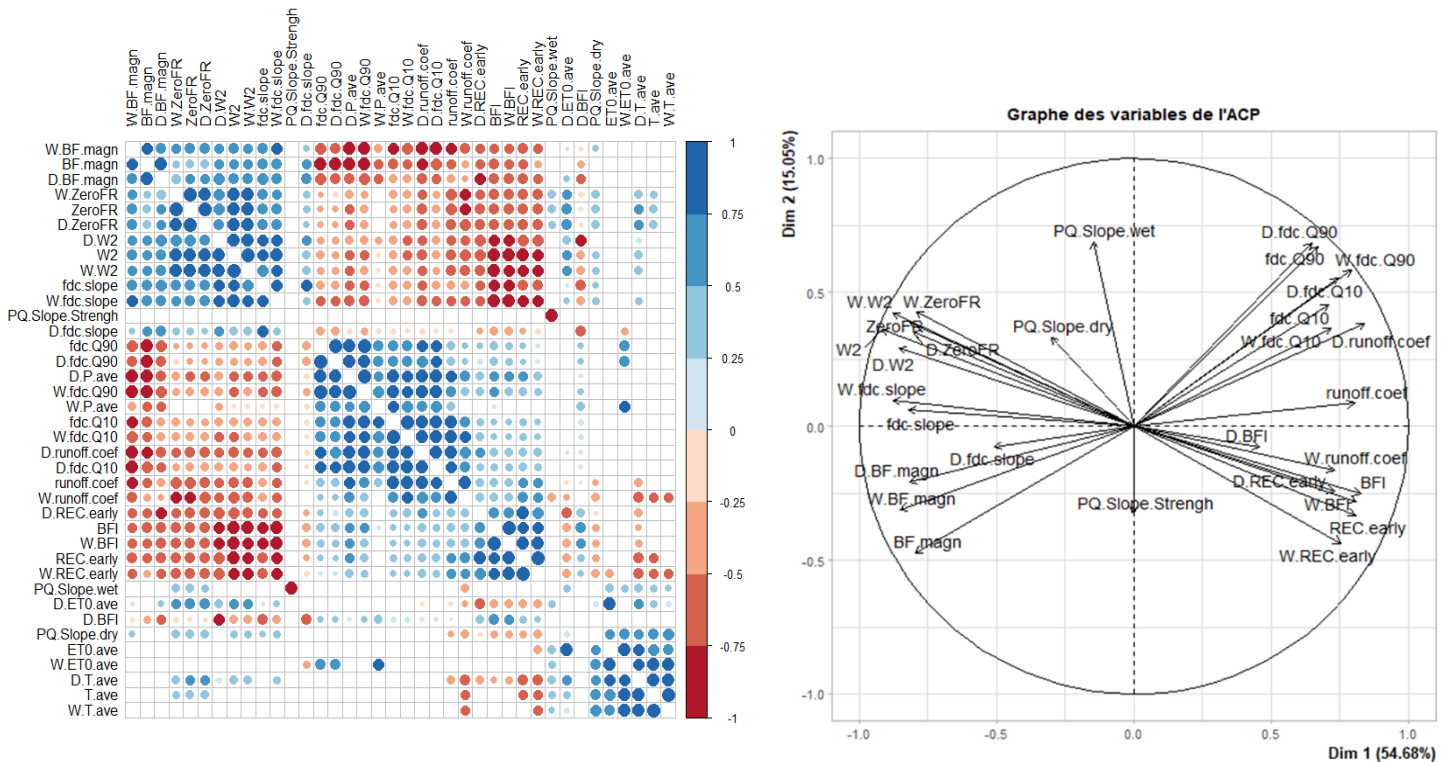


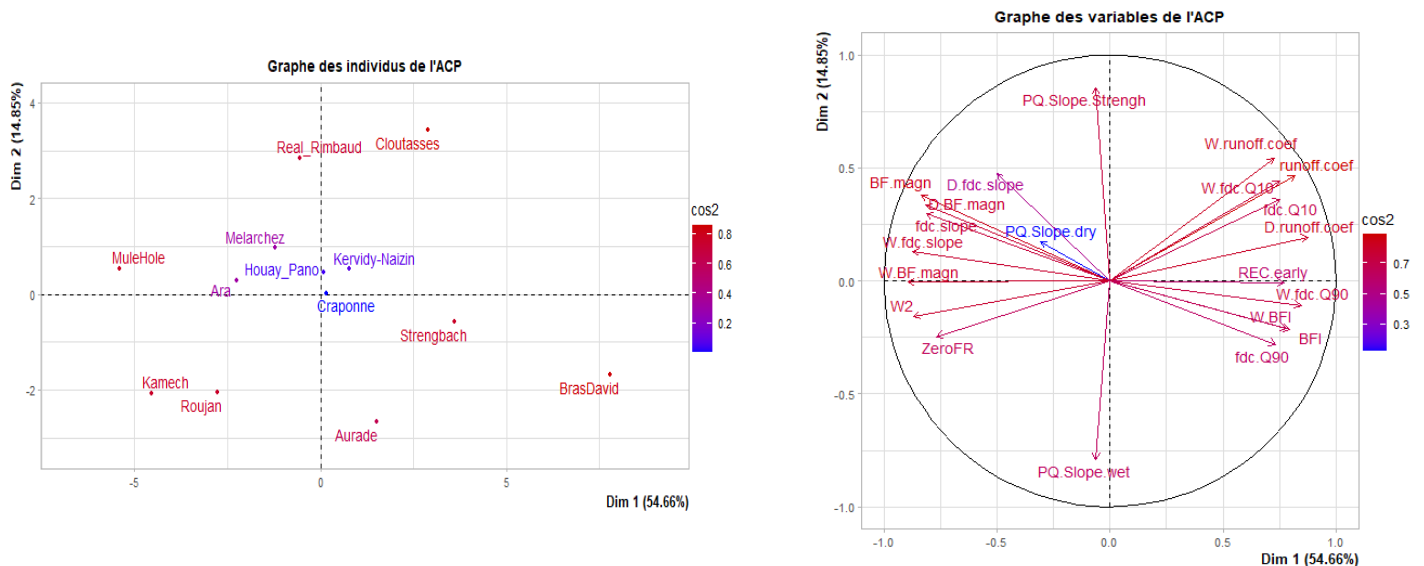
Figure 17 : Corrélations entre les variables des bassins versants en France et hors France ; Significance levels: ***: $\alpha=0.001$

Comme nous l'avons constaté précédemment sur les corrélations entre les variables des bassins versants Français, il existe aussi des redondances d'une part entre les variables hydrologiques et d'autre part entre celles hydrologiques et climatiques des bassins versants sélectionnés en France et des bassins versants hors France (Figure 17). Nous pouvons voir que le W2 est fortement corrélé positivement avec la ZeroFR, ce qui n'est pas le cas sur les bassins versants en France. Dans la suite des analyses, nous allons simplifier le jeu de données en considérant les variables ayant de fortes corrélations positives et négatives. Ensuite effectuer des analyses statistiques (ACP et FAMD) en éliminant du jeu de données les variables qui sont redondantes. Les variables ayant des flèches qui sont un peu décalées les unes des autres peuvent être laissées dans le jeu de données. Le tableau du nouveau jeu de données simplifié est mis en annexe (Annexe A-5).

3.7.2 ACP sur les signatures hydrologiques et HCPC sur ce jeu de données

3.7.2.1 ACP sur les signatures hydrologiques

Ce jeu de données contient 13 individus (bassins versants en France et hors France) et 21 variables (signatures hydrologiques). Les 2 premiers axes (Figure 18) de l'analyse expriment 69.52% de l'inertie totale du jeu de données ; cela signifie que 69.52% de la variabilité totale du nuage des individus (ou des variables) est représentée dans ce plan.



La **dimension 1** oppose des individus tels que BrasDavid, Strengbach, Aurade, Kervidy-Naizin et Cloutasses à des individus comme MuleHole, Kamech et Roujan. Le groupe auquel les individus BrasDavid, Strengbach et Aurade appartiennent partage de fortes valeurs pour les variables REC.early, fdc.Q90, W.fdc.Q90 et BFI et de faibles valeurs pour les variables D.BF.magn, BF.magn, W.BF.magn, fdc.slope, W.fdc.slope et D.fdc.slope. Le groupe auquel les individus MuleHole, Kamech et Roujan appartiennent partage de fortes valeurs pour les variables ZeroFR, W2 et W.fdc.slope et de faibles valeurs pour les variables W.runoff.coef, runoff.coef, REC.early, W.BFI, BFI et D.runoff.coef.

3.7.2.2 HCPC sur ce jeu de données

La classification réalisée sur les bassins versants en France et hors France fait apparaître 4 classes (Figure 19). Ces individus ou bassins versants sont répartis en fonction des signatures hydrologiques. On peut retrouver en annexe la classification réalisée avec toutes les signatures hydrologiques redondantes ou pas.

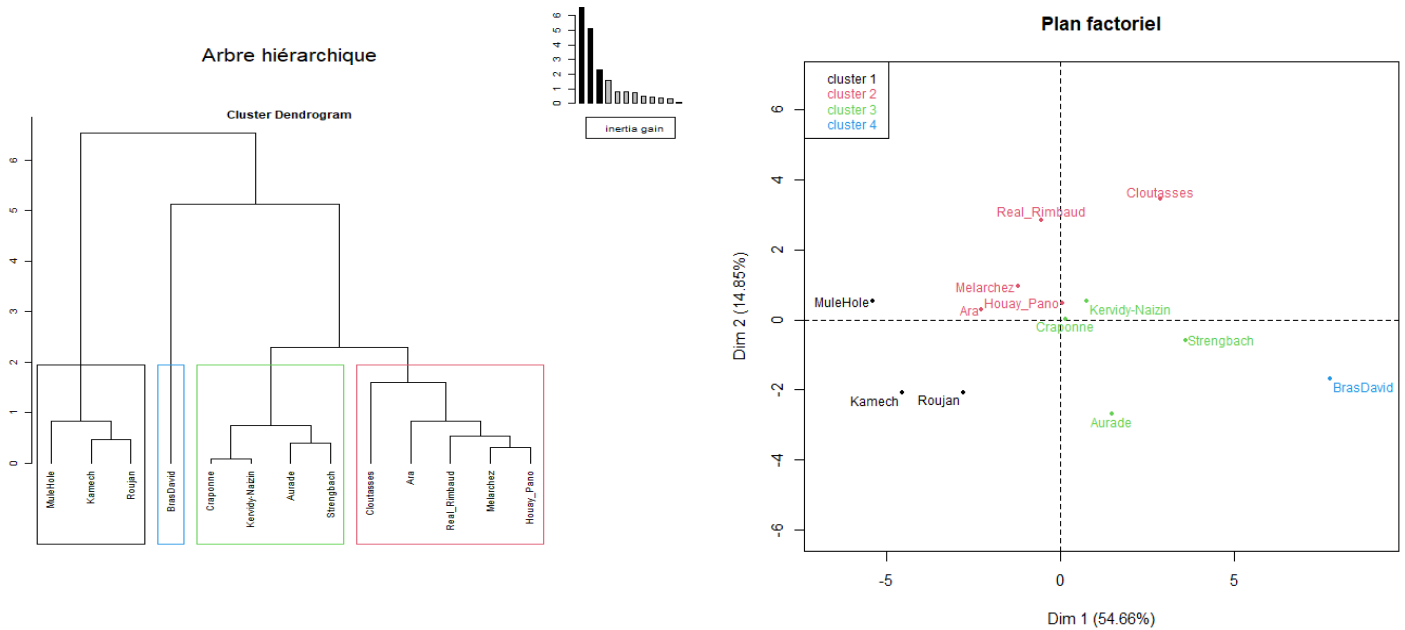


Figure 19 : Classification Ascendante Hiérarchique des bassins versants en France et hors France

La **classe 1** est composée d'individus tels que Roujan, Kamech et MuleHole. Ce groupe est caractérisé par de fortes valeurs pour les variables W2, ZeroFR, fdc.slope, PQ.Slope.wet et W.fdc.slope et de faibles valeurs pour les variables W.runoff.coef, runoff.coef, BFI, W.BFI et REC.early. Ce groupe est marqué par des intermittences au niveau des écoulements. Ceci provoque d'importantes volumes de débit qui s'écoulent en peu de temps provoquant ainsi des taux d'épuisement plus rapides des eaux souterraines, de petites quantités de stockages des eaux souterraines et moins de drainage des sols (Horner et al., 2020).

La **classe 2** est composée d'individus tels que Cloutasses, Real_Rimbaud, Melarchez, Ara et HouayPno. Ce groupe est caractérisé par de fortes valeurs pour la variable PQ.Slope.Strength et de faibles valeurs pour la variable PQ.Slope.wet. La faible valeur de la signature PQ.Slope.wet peut être lié à plusieurs facteurs dont une faible demande d'évapotranspiration ou de fortes écoulements pendant la saison humide. L'intégration des facteurs climatiques dans la suite des analyses pourrait permettre d'expliquer ce phénomène. La forte valeur de PQ.Slope.Strength est lié au fait que sur ces bassins versants, les processus hydrologiques diffèrent trop entre les conditions sèches et humides en raison des dissemblances dans l'état d'humidité global des bassins versants (Horner et al., 2020).

La **classe 3** est composée d'individus tels que Strengbach, Aurade, Craponne et Kervidy-Naizin. Ce groupe est caractérisé par de fortes valeurs pour les variables REC.early, W.BFI et BFI. Sur ces bassins versants, les intermittences y sont rares ou absentes sur toute l'année et même en saison sèche. En plus, ils sont caractérisés par des proportions à long terme des contributions à écoulement lent (écoulement latéral lent et écoulement des eaux souterraines) par rapport aux écoulements totaux sur toute l'année et en saison humide. Sur ces bassins versants les restitutions d'eau après un événement de précipitation sont moyennement lentes (Horner et al., 2020).

La **classe 4** est composée d'individus tels que BrasDavid. Ce groupe est caractérisé par de fortes valeurs pour les variables fdc.Q90, W.fdc.Q90, D.runoff.coef, fdc.Q10 et W.fdc.Q10 et de faibles valeurs pour les variables BF.magn, W.BF.magn et D.BF.magn. Ce bassin versant est caractérisé à la fois par des processus de génération de débit lent sur toute l'année hydrologique et en toute saison et des processus de génération d'écoulements rapides sur toute l'année hydrologique. Ces derniers sont liés à des apports d'eau souterraines mais également à des écoulements de surface et des drainages rapides des sols. La faible valeur de l'amplitude de la variation du régime d'écoulement de base en toute saison peut expliquer ce processus lié à l'épuisement moyennement rapide des eaux souterraines (Horner et al., 2020).

3.8 Influence des facteurs hydro-climatiques et physiographiques sur les régimes hydrologiques des bassins versants en France et hors France

3.9 FAMD sur les signatures hydrologiques avec les variables SIG et climatiques puis HCPC sur ce jeu de données

3.9.1 FAMD sur les signatures hydrologiques avec les variables SIG et climatiques

Ce jeu de données contient 13 individus (bassins versants en France et hors France) et 34 variables (signatures hydrologiques, facteurs climatiques et physiographiques) dont 1 variable qualitative à savoir la géologie (Figure 20).

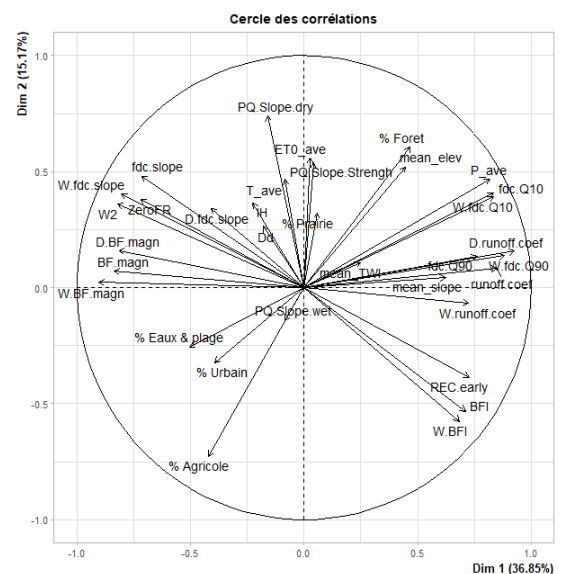
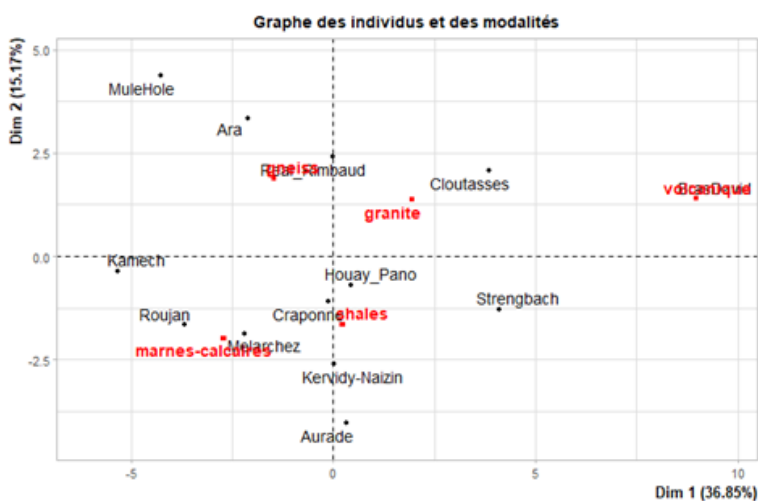


Figure 20 : Résultats de l'FAMD sur 13 individus et 34 variables dont 1 est qualitative

La **dimension 1** oppose des individus tels que BrasDavid, Strengbach et Cloutasses (de fortes valeurs pour les variables fdc.Q10, D.runoff.coef, W.fdc.Q10, W.fdc.Q90, P_ave, runoff.coef, mean_elev, W.runoff.coef, REC.early, fdc.Q90 et faibles valeurs pour les variables W.BF.magn, BF.magn et D.BF.magn) à des individus comme MuleHole, deKamech et Ara (de fortes valeurs pour les variables ZeroFR, W2, W.fdc.slope, %Eaux.&.plage, ET0_ave et de

faibles valeurs pour les variables W.runoff.coef, runoff.coef, REC.early, W.BFI, BFI et D.runoff.coef).

La **dimension 2** oppose des individus tels que MuleHole, Kamech et Ara (de fortes valeurs pour les variables ZeroFR, W2, W.fdc.slope, %.Eaux.&.plage, ETO_ave et de faibles valeurs pour les variables W.runoff.coef, runoff.coef, REC.early, W.BFI, BFI et D.runoff.coef) à des individus comme Aurade et Kervidy-Naizin (de faibles valeurs pour la variable ETO_ave).

3.9.2 HCPC sur ce jeu de données

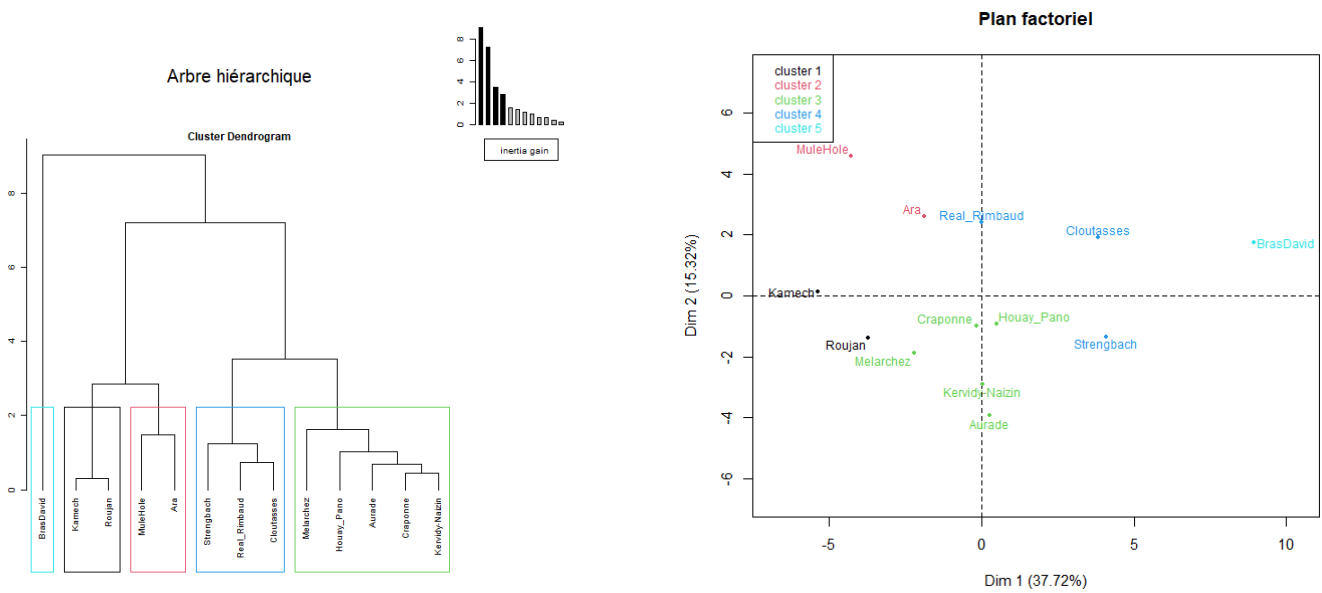


Figure 21 : Classification Ascendante Hiérarchique des bassins versants en France et Hors France

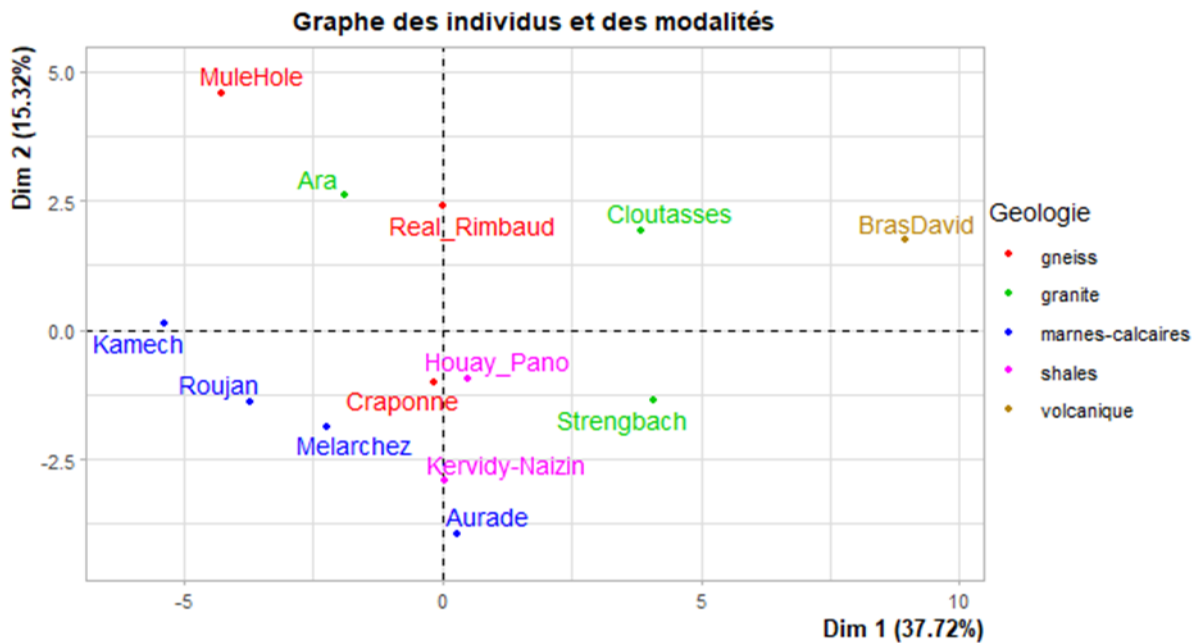


Figure 22 : Les bassins versants coloriés en fonction de leur géologie

A l'issue de cette classification entre certains bassins versants en France et hors France, on se retrouve avec 5 classes (Figure 21 et 22). On avait 4 classes avec l'analyse sur le jeu de données des signatures hydrologiques. Par contre, certains bassins versants ont changé de classe lorsqu'on a ajouté sur l'analyse FAMD des facteurs climatiques et physiographiques.

La **classe 1** est composée d'individus tels que Kamech et Roujan. Ce groupe est caractérisé par de fortes valeurs pour les variables `%.Eaux.&.plage`, `PQ.Slope.wet`, `W2` et `ZeroFR` de faibles valeurs pour la variable `PQ.Slope.Strength`. Ces bassins versants de géologie marne-calcaires sont marqués par des pluies interannuelles faibles, une élévation moyenne faible, des intermittences sur les écoulements et d'une forte demande d'évapotranspiration. Sur ces bassins versants, les taux d'infiltration et/ou de l'épuisement des stockages des eaux ne diffèrent pas trop entre les conditions sèches et humides en raison des ressemblances dans l'état d'humidité global des bassins versants.

La **classe 2** est composée d'individus tels que MuleHole et Ara. Ce groupe est caractérisé par de fortes valeurs pour les variables `PQ.Slope.dry`, `ZeroFR` et de faibles valeurs pour la variable `W.runoff.coef` et `D.runoffcoef`. Ces bassins versants ont comme géologie gneiss et granite. Ils sont marqués par des intermittences au niveau des écoulements sur toute l'année. Les températures y sont élevées et les coefficients de ruissellements y sont faible sur toute l'année et durant les saisons. L'occupation du sol est composée essentiellement de forêt pour MuleHole et de prairie pour Ara. La forte valeur de `PQ_Slope_dry` est liée à une grande capacité de stockage du sol et à un faible drainage causé par une forte infiltration pendant la saison sèche.

La **classe 3** est composée d'individus tels que Kervidy-Naizin, Craponne, Houaypano, Melarchez et Aurade. Ces bassins versants de géologie shales, gneiss et marne_Calcaire partagent une faible évapotranspiration moyenne interannuelle, moins de fréquence des zéros sur les écoulements et un `W2` faible. Ils sont marqués par d'importantes contributions des eaux souterraines en raison d'importantes infiltrations du sol ou d'un drainage vertical important.

La **classe 4** est composée d'individus tels que Cloutasses, Real_Rimbaud et Strengbach. Ce groupe est caractérisé par de fortes valeurs pour les variables `runoff.coef`, `W.runoff.coef` et `W.fdc.Q10`. Ils ont comme géologie granite et gneiss. Cette forte valeur de la signature `W_fdc_Q10` en saison humide explique les processus d'écoulement de surface ou de subsurface rapides sur ces bassins versants. Ces processus de génération de débits rapides sont dus à de faibles taux d'infiltration, des sols saturés ou des drainages rapides des sols. Les fortes valeurs des coefficients de ruissellement sont liées à un taux d'évapotranspiration faible, un petit stockage du sol et moins de résistance au drainage du sol (Horner et al., 2020).

La **classe 5** est composée d'individus tels que BrasDavid. Les processus de génération de débits à la fois lents et rapides sur ce bassin versant expliqués à la (3.7.2.2) peuvent être expliqués par la géologie de nature volcanique sur ce bassin versant et des fortes valeurs des facteurs climatiques comme la pluie moyenne mais également des facteurs physiographiques tels que la forêt, la densité de drainage et l'indice d'humidité topographique.

4 Discussion

4.1 Pertinence des signatures hydrologiques

L'ensemble des signatures utilisées dans le cadre de notre travail a été conçu pour caractériser les comportements hydrologiques des bassins versants. Nos résultats ont clairement montré une certaine redondance dans les signatures étudiées en termes de relation avec les processus hydrologiques. Plusieurs interprétations non exclusives sont possibles pour chaque signature mais certaines d'entre elles redondantes ou non peuvent permettre de valider et de mieux comprendre le comportement du bassin versant expliqué par les autres. Ainsi l'utilisation de plusieurs signatures peut aider à identifier plus précisément les processus hydrologiques particuliers en jeu. Par exemple, le coefficient de ruissellement cible les processus évapotranspiration ainsi que d'autres processus hydrologiques tels que l'accumulation d'eau à la surface du sol, l'infiltration dans le sol, le stockage et le drainage de l'eau du sol, etc (Horner et al., 2020). Cette complexité valable quasiment pour toutes les autres signatures hydrologiques met en évidence la nécessité d'en intégrer d'autres afin de démêler l'impact de différents processus hydrologiques et développer une bonne compréhension du fonctionnement du bassin versant. Sur les analyses nous nous sommes basés sur la force et la faiblesse des valeurs des signatures et des autres variables climatiques et physiographiques obtenues afin d'avoir une étude plus fine des comportements et des fonctionnements internes des bassins versants.

Les analyses statistiques (ACP et FAMD) nous ont permis de classer les bassins versants en France et hors France en fonction des signatures hydrologiques. L'intégration dans les analyses statistiques des facteurs climatiques (T, ETO et P) et physiographique (Annexe A-3) a permis d'expliquer les comportements hydrologiques des classes de bassins versants en terme de climat et d'occupation du sol, de géologie et des données dérivées des MNT comme la densité drainage, la pente moyenne et l'indice d'humidité topographique. Elle a permis également de corriger l'ancienne classification car à l'issue de la réanalyse, certains bassins versants ont changé de classe et de nouvelles classes sont apparues (Section 3.5).

Sur l'ensemble des signatures étudiées, certaines sont plus informatives que d'autres en terme de classification et d'explication des fonctionnements internes des bassins versants. Par contre toutes les 14 signatures calculées, sauf la récession tardive et la date de rupture de la courbe P-Q qui présentaient des défauts, sont entrées en jeu sur la classification des bassins versants. La combinaison entre valeurs faibles et fortes des signatures hydrologiques a permis de mieux interpréter le comportement des bassins versants. Le coefficient de ruissellement et les pentes de la courbe P-Q pendant et après la période de réhumidification sont identifiés comme des signatures qui expliquent l'évapotranspiration, les processus de surface en particulier sur le stockage du sol (Horner et al., 2020). Ils ont permis d'obtenir par exemple une classe constituée de bassins versants comme Kamech, Roujan et MuleHole caractérisés par un faible coefficient de ruissellement et une forte valeur de la pente de la courbe P-Q après la réhumidification. Cette classe est obtenue également grâce à de importantes signatures que nous avons intégrées dans notre étude en plus des 12 signatures développées par Ivan Horner à savoir la fréquence des zéros (ZeroFR) et le volume de Q qui

s'écoule en 2% du temps (W2). Toutes ces signatures ont permis de voir que ce groupe est marqué par des intermittences au niveau des écoulements. Ceci provoque d'importantes volumes de débit qui s'écoulent en peu de temps provoquant ainsi des taux d'épuisement plus rapides des eaux souterraines, de petites quantités de stockages des eaux souterraines et moins de drainage des sols (Horner et al., 2020). L'indice du débit de base, le fort quantile de débit (fdc-Q90) et une forte valeur de la récession précoce nous ont permis de ressortir des classes de bassins versants ayant des processus à écoulement lent. C'est le cas des bassins versants comme Strengbach et Aurade. Sur ces bassins versants, les contributions des eaux souterraines lentes sur toutes les saisons sont importantes en raison d'importantes infiltrations du sol ou d'un drainage vertical important. Ils sont caractérisés aussi par un épuisement moyennement lent du stockage de l'eau dans le bassin versant sur toute l'année et pendant la saison humide en raison de la forte valeur de la récession précoce. La faible valeur de la force de la pente de la courbe P-Q (P-Q-Slope-Strength) montre que les processus générés sur ces bassins versants ne diffèrent pas trop entre les conditions sèches et humides (Horner et al., 2020). Le bassin versant de BrasDavid qui est isolé dans son groupe est marqué entre autres d'une forte valeur du faible quantile de débit (fdc-Q10) expliquant les processus d'écoulement rapide et une faible valeur de l'amplitude de la variation du régime d'écoulement de base expliquant le processus lié à l'épuisement moyennement rapide des eaux souterraines sur ce bassin versant (Horner et al., 2020).

4.2 Les analyses Statistiques (ACP, FAMD, HCPC)

Les résultats des analyses statistiques sont sensibles aux variables utilisées. Nous pouvons voir la classification que nous avons effectuée avec toutes les signatures hydrologiques en annexe (Annexe B) qui est un peu différente de la classification faite lorsque nous avons éliminé certaines signatures hydrologiques qui étaient redondantes. Ces dernières sont surtout celles que nous avons calculées par saison humide et sèche. En effet certaines signatures différentes peuvent être redondantes mais laissées dans l'analyse pour pouvoir expliquer ou justifier certains comportements des bassins versants. C'est le cas des signatures hydrologiques comme le coefficient de ruissellement et le faible quantile de débit (fdc-Q10) qui peuvent ensemble expliquer la réponse du débit des bassins versants dans des conditions de débit élevé, lors d'événements de précipitations principalement dus à un débit élevé, un écoulement de surface et à un drainage rapide du sol.

Cette sensibilité des résultats aux variables utilisées est observée également lorsque nous avons intégré les facteurs climatiques (T, ET0, P), l'occupation du sol, la géologie, la nature, milieu et thème BDLISA et les données dérivées des MNT (Annexe A-3) dans l'analyse FAMD. La classification effectuée seulement en fonction des signatures hydrologiques a changé. De nouveaux bassins versants se sont retrouvés ensemble. C'est le cas des bassins versants kerbernez_E30 et Kervidy_Naizin qui sont retrouvés ensemble après l'ajout des variables climatiques et physiographiques. Ils ont des géologies différentes (Granite et Shales) et partagent des valeurs élevées pour les variables IH (Indice de Horton), Dd (Densité de drainage), température moyenne et de faibles pentes moyennes.

Les résultats sont par contre faiblement sensibles quant aux choix des individus supplémentaires pour les bassins versants en France. Les individus considérés comme inactifs dans l'ACP pour chaque observatoire sont ceux qui sont proches et ayant des géologies similaires. Lorsque nous avons mis certains bassins versants en individus supplémentaires, la projection des individus actifs (Cos2) et la contribution à la construction du plan aussi ont légèrement augmentée. La contribution est fonction de la distance du centre de gravité du nuage des individus. L'opposition des bassins versants par les dimensions des graphiques en fonction des variables hydrologiques n'a pas quasiment changé aussi.

Les analyses statistiques (FAMD) sont également testées en termes de robustesse dans le cadre de notre travail, c'est-à-dire sont-elles insensibles au grand nombre des variables (signatures et facteurs physiographiques) et au faible nombre des individus (bassins versants). En tout nous avons 74 variables hydrologiques, climatiques et physiographiques et 28 bassins versants en France et hors France. Certaines variables ne sont pas prises en compte comme le P-Q-break-date, la Rec-late, les écart-types des récessions précoces et tardives, les écart-types de certaines données dérivées des MNT et les débits moyennes interannuelles. Les matrices et les cercles de corrélations aussi ont permis d'éliminer plusieurs variables saisonnières qui sont redondantes aux variables annuelles. En somme nous nous sommes retrouvés avec un nombre restreint et raffiné de variables et de bassins versants français choisis en fonction des longueurs des séries les plus longues pour des signatures plus fiables.

Les facteurs explicatifs climatiques et physiographiques sont différents selon le jeu de données utilisé et surtout selon le jeu de bassins versants utilisé. On note une gamme de variation des facteurs climatiques beaucoup plus importante à l'échelle globale (particulièrement la température et l'évapotranspiration) qu'à l'échelle de la France. Les différences vont au-delà d'une petite sensibilité de la méthode d'analyse mais surtout sur les processus hydrologiques.

5 Conclusion et perspectives

L'étude présentée dans ce mémoire, réalisée pendant 6 mois au sein de l'INRAE, s'inscrit dans une tradition d'hydrologie comparative. Le but était de caractériser la réponse hydrologique des bassins versants par un ensemble d'indicateurs pertinents (signatures hydrologiques) et de pouvoir les analyser conjointement avec des informations sur les caractéristiques climatiques et physiographiques des bassins versants. Nous avons privilégié dans nos analyses les bassins versants de l'IR OZCAR où les caractéristiques géologie, occupation du sol, sont homogènes, donc a priori les petits bassins versants. La plupart des signatures hydrologiques proposées par Ivan Horner et utilisées dans notre étude reposent sur des séries chronologiques de débits, parfois en combinaison avec les données de pluie (par exemple le coefficient de ruissellement, le PQ-Slope-Strength, le PQ-Slope-wet et le PQ-Slope-dry). Une analyse de corrélation des variables hydrologiques et climatiques est effectuée afin de voir les redondances entre les variables et de pouvoir simplifier le jeu de données. Des analyses statistiques (ACP, FAMD, HCPC) sont proposées afin de répondre aux différentes questions posées.

Les données de température et d'évapotranspiration ont permis d'expliquer certaines classes de bassins versants obtenues. Par exemple le groupe de Cloutasses, Real_Rimbaud et Strengbach marqué de fortes valeurs des coefficients de ruissellement annuelles et en saison humide est caractérisé par un faible taux d'évapotranspiration et de température, un petit stockage, et moins de résistance au drainage du sol. Nous avons eu **une classe marquée par des intermittences au niveau des écoulements sur toute l'année**. Les températures y sont élevées et les coefficients de ruissellements y sont faible sur toute l'année. Certains bassins versants présentent **d'importantes proportions de débit de bases et d'importante contributions des eaux souterraines**. Ces derniers sont marqués par des processus d'écoulements lents (percolation, stockage et restitutions des eaux souterraines). En parallèle d'autres bassins versants se regroupent en fonctions de leurs **processus de génération de débits rapide** (écoulement de surface, écoulement subsurface). Le bassin versant de BrasDavid est caractérisé à la fois par des processus de génération de débits lents et rapides. La géologie, l'occupation du sol et les fortes ou faibles valeurs des facteurs physiographiques comme la pente, l'élévation, l'indice d'humidité topographique et la densité de drainage expliquent et influencent cette classification. Les fortes valeurs de certaines signatures obtenues expliquent la capacité de stockage des bassins versants (PQ-slope-wet et PQ-Slope-dry élevés), un volume important de débit qui passe en 2% du temps (W2 élevé) ou même un effet saisonnier sur certains bassins versants (PQ-Slope-Strength élevé).

Les signatures hydrologiques ne sont pas des valeurs fixes. Ainsi ce serait intéressant **d'intégrer la notion d'incertitude pour la suite de ce travail**. Il faut reprendre la courbe de tarage de chaque bassin versant, faire son estimation, recalculer les chroniques de débit, recalculer les signatures et donner des intervalles de confiances pour chaque signature hydrologique (voir par exemple Horner et al., 2018). On pourra connaître par exemple **est ce que l'incertitude qu'on a sur la signature est plus grande ou plus petite que la différence entre les bassins versants**.

BIBLIOGRAPHIE

- Addor, N., G. Nearing, C. Prieto, A. J. Newman, N. Le Vine, et M. P. Clark. « A Ranking of Hydrological Signatures Based on Their Predictability in Space ». *Water Resources Research* 54, n° 11 (novembre 2018): 8792-8812. <https://doi.org/10.1029/2018WR022606>.
- Allen, Richard G, Luis S Pereira, Dirk Raes, et Martin Smith. « Crop Evapotranspiration - Guidelines for Computing Crop Water Requirements - FAO Irrigation and Drainage Paper 56 », s. d., 15.
- Beven, 2000. « Uniqueness of place and process representations in hydrological modelling ». *Hydrology and earth System Sciences*, 4(2), 203-113 (2000). <https://core.ac.uk/download/pdf/52752539.pdf>
- Branger, Flora, et Hillary K. McMillan. « Deriving Hydrological Signatures from Soil Moisture Data ». *Hydrological Processes* 34, n° 6 (15 mars 2020): 1410-27. <https://doi.org/10.1002/hyp.13645>.
- Brutsaert, Wilfried. « On a Derivable Formula for Long-Wave Radiation from Clear Skies ». *Water Resources Research* 11, n° 5 (octobre 1975): 742-44. <https://doi.org/10.1029/WR011i005p00742>.
- Burn, Donald H. « Catchment Similarity for Regional Flood Frequency Analysis Using Seasonality Measures ». *Journal of Hydrology* 202, n° 1-4 (décembre 1997): 212-30. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(97\)00068-1](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00068-1).
- Carmona, A. M., G. Poveda, M. Sivapalan, S. M. Vallejo-Bernal, et E. Bustamante. « A Scaling Approach to Budyko's Framework and the Complementary Relationship of Evapotranspiration in Humid Environments: Case Study of the Amazon River Basin ». *Hydrology and Earth System Sciences* 20, n° 2 (3 février 2016): 589-603. <https://doi.org/10.5194/hess-20-589-2016>.
- Chaperon, P., Y. L'Hôte, et G. Vuillaume. *Les ressources en eau de surface de la Guadeloupe*. Monographies hydrologiques ORSTOM 7. Paris: Éd. de l'ORSTOM, 1985. <https://core.ac.uk/download/pdf/39874427.pdf>
- Clausen, B, et B.J.F Biggs. « Flow Variables for Ecological Studies in Temperate Streams: Groupings Based on Covariance ». *Journal of Hydrology* 237, n° 3-4 (novembre 2000): 184-97. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00306-1](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00306-1).
- Coopersmith, E., M. A. Yaeger, S. Ye, L. Cheng, et M. Sivapalan. « Exploring the Physical Controls of Regional Patterns of Flow Duration Curves – Part 3: A Catchment Classification System Based on Regime Curve Indicators ». *Hydrology and Earth System Sciences* 16, n° 11 (26 novembre 2012): 4467-82. <https://doi.org/10.5194/hess-16-4467-2012>.
- Folton, Nathalie, Eric Martin, Patrick Arnaud, Pierre L'Hermite, et Mathieu Tolsa. « A 50-Year Analysis of Hydrological Trends and Processes in a Mediterranean Catchment ». *Hydrology and Earth System Sciences* 23, n° 6 (25 juin 2019): 2699-2714. <https://doi.org/10.5194/hess-23-2699-2019>.
- Fovet, Ophélie, Laurent Ruiz, Gérard Gruau, Nouraya Akkal, Luc Aquilina, Sylvain Busnot, Rémi Dupas, et al. « AgrHyS: An Observatory of Response Times in Agro-Hydro Systems ». *Vadose Zone Journal* 17, n° 1 (2018): 180066. <https://doi.org/10.2136/vzj2018.04.0066>.
- Gaillardet, J., I. Braud, F. Hankard, S. Anquetin, O. Bour, N. Dorfliger, J.R. de Dreuzy, et al. « OZCAR: The French Network of Critical Zone Observatories ». *Vadose Zone Journal* 17, n° 1 (2018): 180067. <https://doi.org/10.2136/vzj2018.04.0067>.

- Galle, S., M. Grippa, C. Peugeot, I. Bouzou Moussa, B. Cappelaere, J. Demarty, E. Mougin, et al. « AMMA-CATCH, a Critical Zone Observatory in West Africa Monitoring a Region in Transition ». *Vadose Zone Journal* 17, n° 1 (2018): 180062. <https://doi.org/10.2136/vzj2018.03.0062>.
- Guo, Li, et Henry Lin. « Critical Zone Research and Observatories: Current Status and Future Perspectives ». *Vadose Zone Journal* 15, n° 9 (septembre 2016): vzj2016.06.0050. <https://doi.org/10.2136/vzj2016.06.0050>.
- Horner, I., B. Renard, J. Le Coz, F. Branger, H. K. McMillan, et G. Pierrefeu. « Impact of Stage Measurement Errors on Streamflow Uncertainty ». *Water Resources Research* 54, n° 3 (mars 2018): 1952-76. <https://doi.org/10.1002/2017WR022039>.
- Horner, I., Branger, F., Vannier, O., Braud, I., Lauvernet, C., 2020 Evaluation and value of hydrological signatures for the diagnosis and improvement of a process-based distributed model using a sensitivity analysis, *Water Ressources Research*, in preparation,.
- Horner, Ivan, 2020. Diagnostic-evaluation of distributed models using hydrological signatures: building up a multi-scale methodology including observational uncertainty. Ecole doctorale Terre, Univers, Environnement. Communauté Université Grenoble Alpes.
- Hrachowitz, M., H.H.G. Savenije, G. Blöschl, J.J. McDonnell, M. Sivapalan, J.W. Pomeroy, B. Arheimer, et al. « A Decade of Predictions in Ungauged Basins (PUB)—a Review ». *Hydrological Sciences Journal* 58, n° 6 (août 2013): 1198-1255. <https://doi.org/10.1080/02626667.2013.803183>.
- Jehn, Florian U., Konrad Bestian, Lutz Breuer, Philipp Kraft, et Tobias Houska. « Using Hydrological and Climatic Catchment Clusters to Explore Drivers of Catchment Behavior ». *Hydrology and Earth System Sciences* 24, n° 3 (5 mars 2020): 1081-1100. <https://doi.org/10.5194/hess-24-1081-2020>.
- Kirchner, James W., Xiahong Feng, Colin Neal, et Alice J. Robson. « The Fine Structure of Water-Quality Dynamics: The(High-Frequency) Wave of the Future ». *Hydrological Processes* 18, n° 7 (mai 2004): 1353-59. <https://doi.org/10.1002/hyp.5537>.
- Kuentz, Anna, Berit Arheimer, Yeshewatesfa Hundecha, et Thorsten Wagener. « Understanding Hydrologic Variability across Europe through Catchment Classification ». *Hydrology and Earth System Sciences* 21, n° 6 (12 juin 2017): 2863-79. <https://doi.org/10.5194/hess-21-2863-2017>.
- Lê, S., Josse, J. & Husson, F. (2008). FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software*. 25(1). pp. 1-18.
- McMillan, Hilary. « Linking Hydrologic Signatures to Hydrologic Processes: A Review ». *Hydrological Processes* 34, n° 6 (15 mars 2020): 1393-1409. <https://doi.org/10.1002/hyp.13632>.
- Molénat, J., D. Raclot, R. Zitouna, P. Andrieux, G. Coulouma, D. Feurer, O. Grunberger, et al. « OMERE: A Long-Term Observatory of Soil and Water Resources, in Interaction with Agricultural and Land Management in Mediterranean Hilly Catchments ». *Vadose Zone Journal* 17, n° 1 (2018): 180086. <https://doi.org/10.2136/vzj2018.04.0086>.
- Nord, Guillaume, Brice Boudevillain, Alexis Berne, Flora Branger, Isabelle Braud, Guillaume Dramais, Simon Gérard, et al. « A High Space–Time Resolution Dataset Linking Meteorological Forcing and Hydro-Sedimentary Response in a Mesoscale Mediterranean Catchment (Auzon) of the Ardèche Region, France ». *Earth System Science Data* 9, no 1 (22 mars 2017): 221-49. <https://doi.org/10.5194/essd-9-221-2017>.

- Olden, Julian D., et N. L. Poff. « Redundancy and the Choice of Hydrologic Indices for Characterizing Streamflow Regimes ». *River Research and Applications* 19, n° 2 (mars 2003): 101-21. <https://doi.org/10.1002/rra.700>.
- Pierret, Marie-Claire, Solenn Cotel, Philippe Ackerer, Emilie Beaulieu, Sylvain Benarioumlil, Marie Boucher, René Boutin, et al. « The Strengbach Catchment: A Multidisciplinary Environmental Sentry for 30 Years ». *Vadose Zone Journal* 17, n° 1 (2018): 180090. <https://doi.org/10.2136/vzj2018.04.0090>.
- Ponnou-Delaffon, Vivien, Anne Probst, Virginie Payre-Suc, Franck Granouillac, Sylvain Ferrant, Anne-Sophie Perrin, et Jean-Luc Probst. « Long and Short-Term Trends of Stream Hydrochemistry and High Frequency Surveys as Indicators of the Influence of Climate Change, Agricultural Practices and Internal Processes (Aurade Agricultural Catchment, SW France) ». *Ecological Indicators* 110 (mars 2020): 105894. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105894>.
- Ribolzi, Olivier, Olivier Evrard, Sylvain Huon, Anneke de Rouw, Norbert Silvera, Keo Oudone Latsachack, Bounsamai Souleuth, et al. « From Shifting Cultivation to Teak Plantation: Effect on Overland Flow and Sediment Yield in a Montane Tropical Catchment ». *Scientific Reports* 7, n° 1 (décembre 2017): 3987. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04385-2>.
- Riotte, J., J.C. Maréchal, S. Audry, C. Kumar, J.P. Bedimo Bedimo, L. Ruiz, M. Sekhar, et al. « Vegetation Impact on Stream Chemical Fluxes: Mule Hole Watershed (South India) ». *Geochimica et Cosmochimica Acta* 145 (novembre 2014): 116-38. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2014.09.015>.
- Sawicz, K., T. Wagener, M. Sivapalan, P. A. Troch, et G. Carrillo. « Catchment Classification: Empirical Analysis of Hydrologic Similarity Based on Catchment Function in the Eastern USA ». *Hydrology and Earth System Sciences* 15, n° 9 (15 septembre 2011): 2895-2911. <https://doi.org/10.5194/hess-15-2895-2011>.
- Sivapalan, Murugesu. « Pattern, Process and Function: Elements of a Unified Theory of Hydrology at the Catchment Scale ». In *Encyclopedia of Hydrological Sciences*, édité par Malcolm G. Anderson et Jeffrey J. McDonnell, hsa012. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2005. <https://doi.org/10.1002/0470848944.hsa012>.
- Sivapalan, Murugesu, Günter Blöschl, Lu Zhang, et Rob Vertessy. « Downward Approach to Hydrological Prediction: DOWNWARD APPROACH TO HYDROLOGICAL PREDICTION ». *Hydrological Processes* 17, n° 11 (15 août 2003): 2101-11. <https://doi.org/10.1002/hyp.1425>.
- Sposito, Garrison. « Understanding the Budyko Equation ». *Water* 9, n° 4 (25 mars 2017): 236. <https://doi.org/10.3390/w9040236>.
- Troch, Peter A., Guillermo F. Martinez, Valentijn R. N. Pauwels, Matej Durcik, Murugesu Sivapalan, Ciaran Harman, Paul D. Brooks, Hoshin Gupta, et Travis Huxman. « Climate and Vegetation Water Use Efficiency at Catchment Scales ». *Hydrological Processes* 23, n° 16 (30 juillet 2009): 2409-14. <https://doi.org/10.1002/hyp.7358>.
- Vidal, Jean-Philippe, Eric Martin, Laurent Franchistéguy, Martine Baillon, et Jean-Michel Soubeyrou. « A 50-Year High-Resolution Atmospheric Reanalysis over France with the Safran System: A 50-YEAR HIGH-RESOLUTION ATMOSPHERIC REANALYSIS OVER FRANCE ». *International Journal of Climatology* 30, n° 11 (septembre 2010): 1627-44. <https://doi.org/10.1002/joc.2003>.

Wagener, Thorsten, Murugesu Sivapalan, Peter Troch, et Ross Woods. « Catchment Classification and Hydrologic Similarity ». *Geography Compass* 1, n° 4 (juillet 2007): 901-31.
<https://doi.org/10.1111/j.1749-8198.2007.00039.x>.

Westerberg, I. K., et H. K. McMillan. « Uncertainty in Hydrological Signatures ». *Hydrology and Earth System Sciences* 19, n° 9 (24 septembre 2015): 3951-68. <https://doi.org/10.5194/hess-19-3951-2015>.

Yilmaz, Koray K., Hoshin V. Gupta, et Thorsten Wagener. « A Process-Based Diagnostic Approach to Model Evaluation: Application to the NWS Distributed Hydrologic Model: PROCESS-BASED DIAGNOSTIC EVALUATION OF HYDROLOGIC MODEL ». *Water Resources Research* 44, n° 9 (septembre 2008).
<https://doi.org/10.1029/2007WR006716>.

DOI des jeux de données utilisés

Didon-Lescot, J.-F.; Ayrat, P.-A.; Grard, N.; (2015): OHM-CV mesures sur les Gardons
<https://dx.doi.org/10.17180/OBS.OHM-CV.GARDONS>

Jean-François DIDON-LESCOT, Jean-Marc DOMERGUE, Yves PELLEQUER & Nadine GRARD, Relevé journalier de température sous abri à la station de La Vialasse (Mont Lozère) de 1981 à 2019 - Série temporelle météorologique et métadonnées – UMR ESPACE 7300, OHM-CV, OZCAR, <https://doi.org/10.18713/datab-110220-1-2>, licence CC-BY-NC 4.0

Jean-François DIDON-LESCOT, Jean-Marc DOMERGUE, Yves PELLEQUER & Nadine GRARD, Quantité journalière de pluie à la station de La Vialasse (Mont Lozère) de 1981 à 2019 - Série temporelle météorologique et métadonnées – UMR ESPACE 7300, OHM-CV, OZCAR, <https://doi.org/10.18713/datab-110220-1-3>, licence CC-BY-NC 4.0

Jean-François DIDON-LESCOT, Claude MARTIN, Jean-Marc DOMERGUE & Nadine GRARD, Hauteur et débit d'eau à la station de La Cloutasse entre 1981 et 2020 - Série temporelle hydrologique et métadonnées – UMR ESPACE 7300, OHM-CV, OZCAR, <https://doi.org/10.18713/datab-210420-1-5>, licence CC-BY-NC 4.0

Lagouy, M.; Branger, F.; Thollet, F.; Breil, P.; Dramais, G.; (2015): Suivi hydrologique du bassin versant périurbain de l'Yzeron; Irstea <https://dx.doi.org/10.17180/OBS.YZERON>

Talleg, G., Ansart, P., Guérin, A., Delaigue, O., & Blanchouin, A. (2015). Observatoire Oracle [Data set]. Irstea. <https://dx.doi.org/10.17180/obs.oracle>

DOI des jeux de données M-TROPICS/MSEC/Houay Pano utilisés : DOI: 10.6096/MSEC.LAOS.4, DOI: 10.6096/MSEC.LAOS.5, DOI: 10.6096/MSEC.LAOS.6, DOI: 10.6096/MSEC.LAOS.3

DOI des jeux de données AMMA-CATCH utilisés : Pluie: http://dx.doi.org/10.17178/AMMA-CATCH.CL.Rain_Od; Données météo: http://dx.doi.org/10.17178/AMMA-CATCH.AL.Met_Od; Débits: [doi:10.17178/AMMA-CATCH.CL.Run_Od](http://dx.doi.org/10.17178/AMMA-CATCH.CL.Run_Od)

ANNEXE A : Les tableaux de tous les jeux de données

Annexe A-1 : Jeu de signatures hydrologiques calculé sur toute les années hydrologiques complètes

Bassin versant	Surface_(km2)	P_ave	ETO_ave	T_ave	Q_ave	runoff_coef	fdc_slope	fdc_Q10	fdc_Q90	ZeroFR	W2	BFI	BF_magn	PQ_Break_date	PQ_Slope_dry	PQ_Slope_wet	PQ_Slope_Strength	REC_early	REC_late
YzeTaffignon	129,99	804,54	745,78	11,56	155,83	0,19	1,71	1,06	0,01	0,07	0,24	0,41	0,99	60,48	2,41	0,91	0,62	5,80	16,49
YzeCraponne	40,97	820,71	685,82	10,55	246,85	0,30	1,76	1,63	0,03	0,00	0,18	0,48	0,95	60,24	1,95	0,59	0,70	8,38	16,51
YzeCharbonnières	23,21	779,71	774,23	12,10	154,60	0,20	2,22	1,09	0,01	0,00	0,17	0,44	0,99	57,07	2,78	1,04	0,62	6,69	21,01
YzeRatier	19,19	759,51	751,09	11,86	165,64	0,22	3,32	1,25	0,00	0,00	0,18	0,48	1,00	60,32	2,55	0,89	0,65	9,38	13,82
YzeMercier	6,77	752,37	710,50	11,54	179,20	0,24	1,93	1,36	0,01	0,14	0,19	0,53	1,00	57,99	2,32	0,75	0,68	9,86	13,35
YzePontBerge	2,19	797,05	767,54	11,74	151,14	0,19	1,89	1,49	0,01	0,34	0,27	0,33	1,00	57,00	2,61	0,95	0,64	4,78	9,11
YzeLechere	4,10	797,58	753,75	11,38	146,66	0,18	1,99	1,07	0,01	0,12	0,25	0,30	0,98	68,58	2,23	0,96	0,57	4,11	11,17
Kervidy-Naizin	4,84	816,51	652,30	11,26	322,45	0,39	1,84	2,62	0,04	0,18	0,14	0,68	0,98	95,34	1,99	0,36	0,82	9,89	26,37
Kerbernez_E30	0,47	1125,91	650,45	12,06	315,97	0,28	1,19	2,04	0,17	0,00	0,11	0,79	0,90	112,58	3,58	1,64	0,54	13,70	40,00
Strengbach	0,80	1371,69	627,26	6,27	727,68	0,53	1,09	4,38	0,40	0,00	0,13	0,55	0,73	67,53	1,89	0,77	0,59	13,20	17,20
Melarchez	7,07	676,53	639,59	10,35	230,70	0,34	1,99	1,44	0,02	0,00	0,31	0,29	0,96	71,41	1,45	0,26	0,82	3,59	18,83
Gazel	3,36	1033,22	902,68	12,44	60,45	0,06	3,62	0,40	0,00	0,07	0,33	0,50	0,99	43,60	6,90	2,13	0,69	4,42	26,42
Claduegne	42,33	1131,75	948,94	12,47	537,15	0,47	1,18	2,62	0,13	0,00	0,33	0,29	0,89	37,00	2,67	0,92	0,66	4,67	25,88
Meyras	98,45	1810,26	829,25	8,58	1180,53	0,65	1,26	6,70	0,23	0,00	0,28	0,38	0,89	36,82	4,39	0,60	0,86	6,81	21,13
Valescure_Aval	3,89	1675,70	1053,65	12,46	926,12	0,55	1,88	5,20	0,05	0,00	0,32	0,30	0,99	36,43	9,30	0,86	0,91	3,79	19,38
Cartaou	0,58	1697,92	1052,11	12,43	938,72	0,55	1,96	5,88	0,06	0,00	0,32	0,31	0,98	37,66	8,89	1,02	0,89	5,92	16,96
Cloutasses	1,11	1859,39	833,77	7,20	1429,33	0,77	1,62	8,70	0,13	0,00	0,25	0,39	0,94	41,17	3,46	0,36	0,90	8,78	16,02
Aurade	3,23	633,88	765,72	13,96	178,41	0,28	0,65	0,91	0,12	0,02	0,24	0,59	0,79	85,03	1,44	0,89	0,38	8,83	35,13
Real_Maurets	8,39	1057,23	934,63	13,32	305,64	0,29	2,17	2,08	0,01	0,14	0,37	0,34	0,98	97,37	3,24	1,75	0,46	5,16	21,86
Real_Valescure	9,33	1168,69	933,27	13,30	448,66	0,38	2,19	3,24	0,01	0,14	0,33	0,35	0,91	80,51	3,34	1,67	0,50	4,76	18,24
Real_Rimbaud	1,47	1060,26	939,17	13,57	659,43	0,62	2,54	5,17	0,02	0,20	0,36	0,22	0,99	63,44	1,90	0,28	0,85	4,24	13,44
Real_Vaubarnier	1,61	1044,88	937,57	13,57	385,44	0,37	2,03	2,65	0,03	0,10	0,32	0,41	0,95	94,32	3,16	1,39	0,56	5,40	22,90
Roujan	0,91	671,06	1003,41	14,67	85,90	0,13	1,94	1,20	0,01	0,71	0,58	0,37	1,00	57,28	2,62	1,40	0,47	3,77	29,41
Kamech	2,63	619,15	1248,77	17,90	112,55	0,18	2,74	1,47	0,01	0,63	0,70	0,05	1,00	89,74	2,56	1,69	0,34	1,60	NA
MuleHole	4,23	1227,40	960,18	21,85	59,37	0,05	4,12	0,99	0,00	0,66	0,66	0,12	0,99	178,65	5,36	0,80	0,85	2,74	NA
Houay_Pano	0,60	1200,94	674,55	22,66	454,11	0,38	1,39	3,04	0,07	0,00	0,24	0,47	0,93	124,94	4,44	0,66	0,85	4,92	36,56
Ara	11,44	1255,61	1566,02	25,32	230,94	0,18	1,55	3,70	0,03	0,60	0,44	0,28	0,98	161,85	5,81	0,37	0,94	3,72	14,59
BrasDavid	11,33	3082,47	1485,28	25,26	2177,88	0,71	0,44	9,86	2,74	0,00	0,10	0,66	0,41	235,62	3,05	1,34	0,56	8,36	NA

Annexe A-2 : Jeu de signatures hydrologiques calculé par saison WET (préfixe W) et DRY (préfixe D)

Bassin versant	D-P-ave	D-ETO-ave	D-T-ave	D-Q-ave	D-runoff-coef	D-fdc-slope	D-fdc-Q10	D-fdc-Q90	D-ZeroFR	D-W2	D-BFI	D-BF-magn	D-REC-early	D-REC-late	W-P-ave	W-ETO-ave	W-T-ave	W-Q-ave	W-runoff-coef	W-fdc-slope	W-fdc-Q10	W-fdc-Q90	W-ZeroFR	W-W2	W-BFI	W-BF-magn	W-REC-early	W-REC-late
YzeTaffignon	457,96	550,41	17,22	41,22	0,09	2,14	0,59	0,00	0,12	0,31	0,23	0,97	3,17	9,77	35,152	199,43	5,82	116,06	0,33	1,17	1,31	0,09	0,01	0,20	0,45	0,66	7,90	17,57
YzeCraponne	474,16	506,85	16,01	65,77	0,14	1,90	0,86	0,02	0,00	0,24	0,36	0,89	5,39	11,06	350,99	182,32	5,01	182,53	0,52	1,08	2,15	0,16	0,00	0,15	0,50	0,71	9,39	17,79
YzeCharbonnières	418,16	575,60	17,68	32,87	0,08	1,75	0,40	0,00	0,00	0,32	0,30	0,97	3,63	46,53	372,62	201,22	6,43	124,59	0,33	1,12	1,42	0,12	0,00	0,12	0,48	0,91	7,80	16,77
YzeRatier	390,56	565,19	17,41	31,33	0,08	2,87	0,41	0,00	0,00	0,34	0,37	0,99	4,48	13,35	374,73	187,59	6,21	136,07	0,36	1,31	1,68	0,08	0,00	0,13	0,50	0,93	10,38	12,81
YzeMercier	426,11	532,25	17,04	45,50	0,11	2,55	0,78	0,00	0,28	0,30	0,41	1,00	6,12	6,68	331,54	179,91	5,94	135,32	0,40	1,43	1,64	0,05	0,00	0,15	0,56	0,87	11,00	14,90
YzePontBerge	430,84	567,74	17,14	29,73	0,07	2,45	1,04	0,00	0,57	0,30	0,10	1,00	3,01	NA	368,49	201,99	6,25	121,52	0,33	1,38	1,69	0,02	0,12	0,24	0,38	1,00	8,73	9,11
YzeLechere	442,64	554,98	16,86	41,84	0,09	2,47	0,73	0,00	0,23	0,33	0,13	0,98	2,43	NA	359,25	200,91	5,81	105,69	0,29	1,40	1,27	0,04	0,00	0,21	0,34	0,82	5,51	11,77
Kervidy-Naizin	351,11	468,72	15,12	41,78	0,12	1,63	0,81	0,01	0,33	0,22	0,65	0,90	7,77	17,84	469,76	185,60	7,34	281,23	0,59	0,96	3,35	0,27	0,03	0,09	0,67	0,91	9,71	28,10
Kerbernez_E30	434,44	447,43	15,49	77,77	0,18	0,78	0,81	0,14	0,00	0,09	0,77	0,75	13,22	40,46	696,16	205,24	8,56	239,15	0,34	1,00	2,75	0,24	0,00	0,08	0,77	0,83	14,01	35,49
Strengbach	701,68	458,60	11,45	211,87	0,30	0,94	2,42	0,30	0,00	0,11	0,59	0,49	14,10	16,48	672,43	171,03	1,02	517,95	0,77	1,02	6,11	0,71	0,00	0,11	0,51	0,49	11,10	18,03
Melarchez	359,91	464,61	15,26	35,77	0,10	1,20	0,28	0,01	0,00	0,46	0,27	0,96	4,74	20,53	311,90	177,16	5,36	195,13	0,61	1,66	2,63	0,07	0,00	0,22	0,28	0,83	3,26	18,68
Gazel	510,88	653,86	17,76	17,21	0,03	2,96	0,31	0,00	0,14	0,30	0,51	0,99	5,31	12,48	524,50	249,90	7,03	43,34	0,08	4,00	0,45	0,00	0,00	0,31	0,47	0,97	4,01	26,42
Claduegne	536,87	687,48	17,90	135,76	0,25	0,90	1,19	0,09	0,00	0,35	0,35	0,77	5,87	18,95	602,93	262,75	6,93	404,28	0,67	0,96	4,42	0,35	0,00	0,29	0,26	0,49	3,97	25,85
Meyras	854,52	602,11	13,74	367,71	0,43	1,45	4,04	0,14	0,00	0,33	0,34	0,84	7,88	18,77	967,66	231,67	3,36	821,04	0,85	1,07	8,80	0,79	0,00	0,25	0,40	0,39	6,14	23,66
Valescure_Aval	717,55	744,44	17,98	210,55	0,29	2,10	2,05	0,03	0,00	0,40	0,25	0,99	3,50	16,42	975,22	312,60	6,86	720,69	0,74	1,30	7,82	0,34	0,00	0,26	0,29	0,52	3,70	19,89
Cartaou	710,99	740,35	17,90	216,91	0,30	2,07	2,73	0,04	0,00	0,34	0,28	0,98	4,04	13,90	1004,32	315,19	6,89	727,72	0,73	1,41	8,01	0,32	0,00	0,26	0,32	0,52	5,84	16,28
Cloutasses	837,89	599,94	12,20	458,53	0,55	2,35	6,13	0,08	0,00	0,29	0,33	0,91	8,23	13,89	1042,77	236,38	2,11	975,70	0,95	1,06	10,60	0,86	0,00	0,22	0,42	0,41	8,50	17,70
Aurade	315,34	555,00	19,08	70,76	0,22	0,67	0,59	0,07	0,03	0,32	0,53	0,70	8,68	35,35	322,95	213,36	8,75	108,28	0,34	0,88	1,14	0,19	0,00	0,18	0,62	0,62	8,50	29,75
Real_Maurets	381,05	656,78	18,47	48,82	0,13	2,17	0,68	0,00	0,26	0,43	0,36	0,93	6,83	14,49	678,08	280,70	8,09	257,98	0,38	2,06	3,42	0,03	0,02	0,29	0,33	0,82	4,17	22,82
Real_Valescure	417,29	655,83	18,45	85,03	0,20	2,67	1,40	0,00	0,27	0,39	0,38	0,79	4,67	11,38	753,65	280,15	8,07	365,30	0,48	1,75	4,70	0,09	0,01	0,25	0,32	0,72	4,02	19,46
Real_Rimbaud	382,85	659,18	18,74	116,50	0,30	2,25	1,82	0,01	0,35	0,54	0,15	0,98	4,61	10,86	679,39	282,73	8,32	545,20	0,80	1,68	7,23	0,12	0,04	0,28	0,21	0,73	3,94	13,99
Real_Vaubarnier	363,86	658,88	18,73	71,80	0,20	1,55	0,96	0,02	0,17	0,34	0,48	0,90	6,77	20,80	682,86	281,40	8,33	315,21	0,46	1,74	3,87	0,08	0,02	0,26	0,37	0,75	4,30	24,07
Roujan	314,07	692,81	19,6																									

Annexe A-3 : jeu de données des facteurs physiographiques

Bassin versant	Surface_(km2)	mean_elev	mean_slope	mean_TWI	Dd	IH	% Urbain	% Agricole	% Foret	% Prairie	% Eaux & plage	Geologie	Nature_BDLISA	Milieu_BDLISA	Theme_BDLISA
YzeTaffignon	129,99	391,47	8,02	8,11	1,14	0,25	34,84	5,55	28,75	30,78	0,08	gneiss	aquifere	fissure	socle
YzeCraponne	40,97	525,93	12,17	8,28	1,00	0,17	21,29	7,92	34,42	36,26	0,11	gneiss	aquifere	fissure	socle
YzeCharbonnieres	23,21	343,39	6,72	8,18	1,16	0,30	28,83	2,81	36,91	31,33	0,13	gneiss	aquifere	fissure	socle
YzeRatier	19,19	417,25	8,86	8,22	1,06	0,24	24,17	6,43	29,93	39,41	0,07	gneiss	aquifere	fissure	socle
YzeMercier	6,77	469,23	10,72	8,27	1,03	0,24	16,30	8,02	36,62	38,95	0,12	gneiss	aquifere	fissure	socle
YzePontBarge	2,19	390,42	6,81	7,99	0,95	0,19	28,67	19,46	5,47	46,18	0,23	gneiss	aquifere	fissure	socle
YzeLechere	4,10	360,96	5,08	8,27	1,09	0,26	55,88	11,43	3,49	29,08	0,12	gneiss	aquifere	fissure	socle
Kervidy-Naizin	4,84	118,35	1,72	8,08	0,92	0,61	5,64	74,45	3,24	16,66	0,01	shales	semi-permeable	fissure	socle
Kerbemez_E30	0,47	26,21	4,13	8,10	0,79	0,49	12,41	13,84	7,79	65,97	0,00	granite	semi-permeable	fissure	socle
Strengbach	0,80	1044,79	14,69	8,45	0,00	0,33	0,58	20,60	73,91	4,91	0,00	granite	impermeable	fissure	socle
Melarchez	7,07	174,74	0,87	4,96	1,36	0,26	3,29	90,73	2,16	3,82	0,00	mames-calcaires	aquifere	matrice/fissure	sedimentaire
Gazel	3,36	407,62	8,68	8,42	1,10	0,14	6,44	12,78	15,17	65,40	0,22	mames-calcaires	semi-permeable	poreux	sedimentaire
Claduegne	42,33	485,41	10,29	8,40	1,15	0,13	3,55	5,89	30,05	60,28	0,23	mames-calcaires	semi-permeable	poreux	sedimentaire
Meyras	98,45	895,66	23,65	0,23	0,72	0,14	1,60	0,44	86,59	11,29	0,09	gneiss	aquifere	fissure	socle
Valescure_Aval	3,89	504,12	27,34	7,95	1,27	0,28	0,06	0,01	92,96	6,96	0,01	granite	semi-permeable	matrice/fissure	socle
Cartaou	0,58	632,07	31,57	8,07	0,95	0,49	2,17	0,49	57,96	39,38	0,00	granite	semi-permeable	matrice/fissure	socle
Cloutasses	1,11	1394,39	9,24	8,14	0,44	0,21	0,49	0,00	41,87	57,64	0,00	granite	semi-permeable	fissure	socle
Aurade	3,23	221,34	7,29	8,10	1,20	0,26	7,84	87,91	1,58	2,61	0,06	mames-calcaires	semi-permeable	poreux	sedimentaire
Real_Maurets	8,39	444,46	21,92	8,08	1,00	0,15	0,46	0,37	96,69	2,48	0,01	schiste	impermeable	fissure	socle
Real_Valescure	9,33	464,99	29,91	8,05	1,02	0,21	0,36	0,11	97,04	2,46	0,03	schiste	impermeable	fissure	socle
Real_Rimbaud	1,47	546,87	12,87	7,80	1,30	0,52	0,06	0,03	94,01	5,91	0,00	gneiss	impermeable	fissure	socle
Real_Vaubarnier	1,61	384,76	20,15	7,99	1,18	0,24	0,58	0,17	95,97	3,27	0,01	schiste	impermeable	fissure	socle
Roujan	0,91	100,95	4,35	7,66	0,57	0,34	2,97	81,13	4,14	11,11	0,66	mames-calcaires	semi-permeable	poreux	sedimentaire
Kamech	2,63	143,52	6,15	8,08	1,15	0,29	30,00	69,50	0,00	0,00	0,50	mames-calcaires	NA	NA	NA
MuleHole	4,23	859,12	4,08	8,15	1,26	0,37	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	gneiss	NA	NA	NA
Houay_Pano	0,60	571,34	25,02	7,99	0,00	0,59	0,00	91,00	9,00	0,00	0,00	shales	NA	NA	NA
Ara	11,44	462,08	2,51	7,33	1,41	1,62	0,00	32,00	7,00	61,00	0,00	granite	NA	NA	NA
BrasDavid	11,33	495,50	20,11	7,97	1,48	0,21	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	volcanique	NA	NA	NA

Bassin versant	P.ave	ET0.ave	T.ave	runoff.coef	fdc.slope	fdc.Q10	fdc.Q90	ZeroFR	W2	BFI	BF.magn	PQ.Slope.dry	PQ.Slope.wet	PQ.Slope.Strength	REC.early	D.fdc.slope	D.BF.magn	W.fdc.Q90	W.REC.early
YzeTaffignon	804,54	745,78	11,56	0,19	1,71	1,06	0,01	0,07	0,24	0,41	0,99	2,41	0,91	0,62	5,80	2,14	0,97	0,09	7,91
YzeCraponne	820,71	685,82	10,55	0,30	1,76	1,63	0,03	0,00	0,18	0,48	0,95	1,95	0,59	0,70	8,38	1,90	0,89	0,16	9,39
YzeCharbonnieres	779,71	774,23	12,10	0,20	2,22	1,10	0,01	0,00	0,17	0,44	0,99	2,78	1,04	0,62	6,69	1,75	0,97	0,12	7,80
YzeRatier	759,51	751,09	11,86	0,22	3,32	1,25	0,00	0,00	0,18	0,48	1,00	2,55	0,89	0,65	9,38	2,87	0,99	0,08	10,38
YzeMercier	752,37	710,50	11,54	0,24	1,93	1,36	0,01	0,14	0,19	0,54	1,00	2,32	0,75	0,68	9,86	2,55	1,00	0,05	11,00
YzePontBarge	797,05	767,54	11,74	0,19	1,89	1,49	0,01	0,34	0,27	0,33	1,00	2,61	0,95	0,64	4,78	2,46	1,00	0,02	8,73
YzeLechere	797,59	753,75	11,38	0,18	1,99	1,07	0,01	0,12	0,25	0,30	0,98	2,23	0,96	0,57	4,11	2,47	0,98	0,04	5,51
Kervidy-Naizin	816,51	652,30	11,26	0,39	1,84	2,62	0,04	0,18	0,14	0,68	0,98	1,99	0,36	0,82	9,89	1,63	0,90	0,27	9,71
Kerbernez_E30	1125,91	650,45	12,06	0,28	1,19	2,04	0,17	0,00	0,11	0,79	0,90	3,58	1,64	0,54	13,70	0,78	0,75	0,24	14,01
Strengbach	1371,69	627,26	6,27	0,53	1,09	4,38	0,40	0,00	0,13	0,56	0,73	1,89	0,77	0,59	13,20	0,94	0,49	0,71	11,10
Melarchez	676,53	639,59	10,35	0,34	1,99	1,44	0,02	0,00	0,31	0,29	0,96	1,45	0,26	0,82	3,59	1,20	0,96	0,07	3,26
Gazel	1033,22	902,68	12,44	0,06	3,62	0,40	0,00	0,07	0,33	0,50	0,99	6,90	2,14	0,69	4,42	2,96	0,99	0,00	4,01
Claduegne	1131,75	948,94	12,47	0,47	1,18	2,62	0,13	0,00	0,34	0,30	0,89	2,67	0,92	0,66	4,67	0,90	0,77	0,35	3,97
Meyras	1810,26	829,25	8,59	0,65	1,26	6,70	0,23	0,00	0,29	0,38	0,89	4,39	0,60	0,86	6,81	1,45	0,84	0,79	6,14
Valescure_Aval	1675,70	1053,65	12,46	0,55	1,88	5,20	0,05	0,00	0,32	0,30	0,99	9,30	0,86	0,91	3,79	2,10	0,99	0,34	3,70
Cartaou	1697,92	1052,11	12,43	0,55	1,96	5,88	0,06	0,00	0,32	0,31	0,98	8,89	1,02	0,89	5,92	2,07	0,98	0,32	5,84
Cloutasses	1859,39	833,77	7,20	0,77	1,62	8,70	0,13	0,00	0,25	0,39	0,94	3,46	0,36	0,90	8,78	2,35	0,91	0,86	8,50
Aurade	633,88	765,72	13,96	0,28	0,65	0,91	0,12	0,02	0,24	0,60	0,79	1,44	0,89	0,38	8,83	0,67	0,70	0,19	8,50
Real_Maurets	1057,23	934,63	13,32	0,29	2,17	2,09	0,01	0,14	0,37	0,34	0,98	3,24	1,75	0,46	5,16	2,17	0,93	0,03	4,17
Real_Valescure	1168,69	933,27	13,30	0,38	2,19	3,25	0,01	0,14	0,33	0,35	0,91	3,34	1,67	0,50	4,77	2,67	0,79	0,09	4,03
Real_Rimbaud	1060,26	939,17	13,57	0,62	2,54	5,17	0,02	0,20	0,36	0,22	0,99	1,90	0,28	0,85	4,24	2,25	0,98	0,12	3,94
Real_Vaubarnier	1044,88	937,57	13,57	0,37	2,03	2,65	0,03	0,10	0,32	0,41	0,95	3,16	1,39	0,56	5,41	1,55	0,90	0,08	4,30
Roujan	671,06	1003,41	14,67	0,13	1,94	1,20	0,01	0,71	0,58	0,37	1,00	2,63	1,40	0,47	3,77	2,16	1,00	0,02	3,61

Annexe A-5: jeu de signatures simplifié pour les bassins versants en France et hors de France

Bassin versant	runoff.coef	fdc.slope	fdc.Q10	fdc.Q90	ZeroFR	W2	BFI	BF.magn	PQ.Slope.dry	PQ.Slope.wet	PQ.Slope.Strength	REC.early	D.runoff.coef	D.fdc.slope	D.BF.magn	W.runoff.coef	W.fdc.slope	W.fdc.Q10	W.fdc.Q90	W.BFI	W.BF.magn
Craponne	0,30	1,76	1,63	0,03	0,00	0,18	0,48	0,95	1,95	0,59	0,70	8,38	0,14	1,90	0,89	0,52	1,08	2,15	0,16	0,50	0,71
Kervidy-Naizin	0,39	1,84	2,62	0,04	0,18	0,14	0,68	0,98	1,99	0,36	0,82	9,89	0,12	1,63	0,90	0,59	0,96	3,35	0,27	0,67	0,91
Strengbach	0,53	1,09	4,38	0,40	0,00	0,13	0,56	0,73	1,89	0,77	0,59	13,20	0,30	0,94	0,49	0,77	1,02	6,11	0,71	0,51	0,49
Melarchez	0,34	1,99	1,44	0,02	0,00	0,31	0,29	0,96	1,45	0,26	0,82	3,59	0,10	1,20	0,96	0,61	1,66	2,63	0,07	0,28	0,83
Cloutasses	0,77	1,62	8,70	0,13	0,00	0,25	0,39	0,94	3,46	0,36	0,90	8,78	0,55	2,35	0,91	0,95	1,06	10,60	0,86	0,42	0,41
Aurade	0,28	0,65	0,91	0,12	0,02	0,24	0,60	0,79	1,44	0,89	0,38	8,83	0,22	0,67	0,70	0,34	0,88	1,14	0,19	0,62	0,62
Real_Rimbaud	0,62	2,54	5,17	0,02	0,20	0,36	0,22	0,99	1,90	0,28	0,85	4,24	0,30	2,25	0,98	0,80	1,68	7,24	0,12	0,21	0,73
Roujan	0,13	1,94	1,20	0,01	0,71	0,58	0,37	1,00	2,63	1,40	0,47	3,77	0,05	2,16	1,00	0,20	1,25	1,39	0,02	0,38	0,80
Kamech	0,18	2,74	1,47	0,01	0,63	0,70	0,05	1,00	2,56	1,69	0,34	1,60	0,05	1,45	1,00	0,23	2,43	1,65	0,01	0,07	1,00
MuleHole	0,05	4,13	0,99	0,00	0,66	0,66	0,12	0,99	5,36	0,80	0,85	2,74	0,04	3,05	0,98	0,05	2,25	1,29	0,00	0,09	0,96
Houay_Pano	0,38	1,39	3,04	0,07	0,00	0,24	0,48	0,93	4,44	0,66	0,85	4,92	0,28	1,27	0,70	0,40	1,57	5,09	0,16	0,42	0,92
Ara	0,18	1,55	3,71	0,03	0,60	0,44	0,28	0,98	5,81	0,37	0,94	3,72	0,06	0,47	0,86	0,20	1,70	4,41	0,03	0,26	0,96
BrasDavid	0,71	0,44	9,86	2,74	0,00	0,10	0,66	0,41	3,05	1,34	0,56	8,36	0,71	0,38	0,41	0,70	0,48	11,28	2,55	0,62	0,21

Annexe A-6 : Années hydrologiques complètes utilisées pour le calcul des signatures hydrologiques par bassin versant

iv

Observatoire	Bassin versant	Chronique de débit	Nombre d'années hydrologiques utilisées	Années hydrologiques utilisées pour le calcul des signatures hydrologiques
OTHU	Yzeron-Taffignon	1988-2019	27	"1988 1989 1990 1991 1993 1994 1995 1997 1998 1999 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017"
	Yzeron-Craponne	1969-2020	48	"1970 1971 1972 1973 1974 1975 1976 1977 1978 1979 1980 1981 1982 1983 1984 1985 1986 1987 1988 1989 1990 1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017"
	Yzeron-Charbonnières	2009-2019	8	"2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017"
	Yzeron-Ratier	2010-2019	6	"2012 2013 2014 2015 2016 2017"
	Yzeron-Mercier	1997-2019	8	"1999 2001 2006 2010 2014 2015 2016 2017"
	Yzeron-PontBarge	1997-2018	5	"2006 2007 2014 2015 2016"
	Yzeron-Lechere	2005-2018	11	"2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2016 2017"
Aghrys	Kervidy-Naizin	1993-2019	24	"1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017"
	Kerbernez-E30	1997-2019	20	"1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017"
OHGE	Strengbach	1987-2018	31	"1987 1988 1989 1990 1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017"
OHMCV	Meyras	1986-2019	27	" 1985 1986 1987 1988 1989 1990 1994 1995 1996 1997 1999 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 "
	Claduegne	2011-2016	6	" 2012 2013 2014 2015 2016 2017 "
	Gazel	2011-2016	5	"2011 2012 2013 2014 2015"
	Valescure-Aval	2003-2016	10	"2003 2004 2005 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014"
	Cloutasse	1981-2020	31	" 1981 1982 1983 1984 1985 1986 1987 1990 1991 1993 1994 1995 1996 1997 1998 2000 2001 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 "
	Cartaou	2003-2016	11	" 2003 2004 2005 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 "
ORACLE	Orgeval-Melarchez	1958-2017	55	" 1962 1963 1964 1965 1966 1967 1968 1969 1970 1971 1972 1973 1974 1975 1976 1977 1978 1979 1980 1981 1982 1983 1984 1985 1986 1987 1988 1989 1990 1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 "
OMERE	Roujan	1992-2017	22	" 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2004 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 "
	Kamech	1996-2016	12	" 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 "
AURADE	Auradé	1985-2018	32	" 1986 1987 1988 1989 1990 1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 "
REAL-COLLOBRIER	Real-Maurets	1968-2017	48	" 1969 1970 1971 1972 1973 1974 1975 1976 1977 1978 1979 1980 1981 1982 1983 1984 1985 1986 1987 1988 1989 1990 1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 "
	Real-Valescure	1967-2007	49	" 1968 1969 1970 1971 1972 1973 1974 1975 1976 1977 1978 1979 1980 1981 1982 1983 1984 1985 1986 1987 1988 1989 1990 1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 "
	Real-Rimbaud	1967-2007	50	" 1967 1968 1969 1970 1971 1972 1973 1974 1975 1976 1977 1978 1979 1980 1981 1982 1983 1984 1985 1986 1987 1988 1989 1990 1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 "
	Real-Vaubarnier	1968-2017	44	" 1969 1970 1971 1972 1973 1974 1975 1976 1977 1978 1979 1980 1981 1982 1983 1984 1986 1987 1988 1989 1990 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 "
OBSERA	BrasDavid	2013-2020	6	" 2014 2015 2016 2017 2018 2019 "
	Capesterre	2012-2020	7	" 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019 "
M-TROPICS	Mule Hole	2003-2019	12	" 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2013 2015 2016 2017 2018 "
	Houay-Pano	2003-2014	11	" 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 "
AMMA-CATCH	Ara	2003-2015	11	" 2003 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 "

ANNEXE B : ACP, FAMD et HCPC pour toutes les signatures hydrologiques et tous les bassins versants en France

ACP sur toutes les signatures hydrologiques des 23 bassins versants Français

Le jeu de données contient **23 individus** (bassins versants français) et 30 variables (signatures hydrologiques).

Plan 1:2

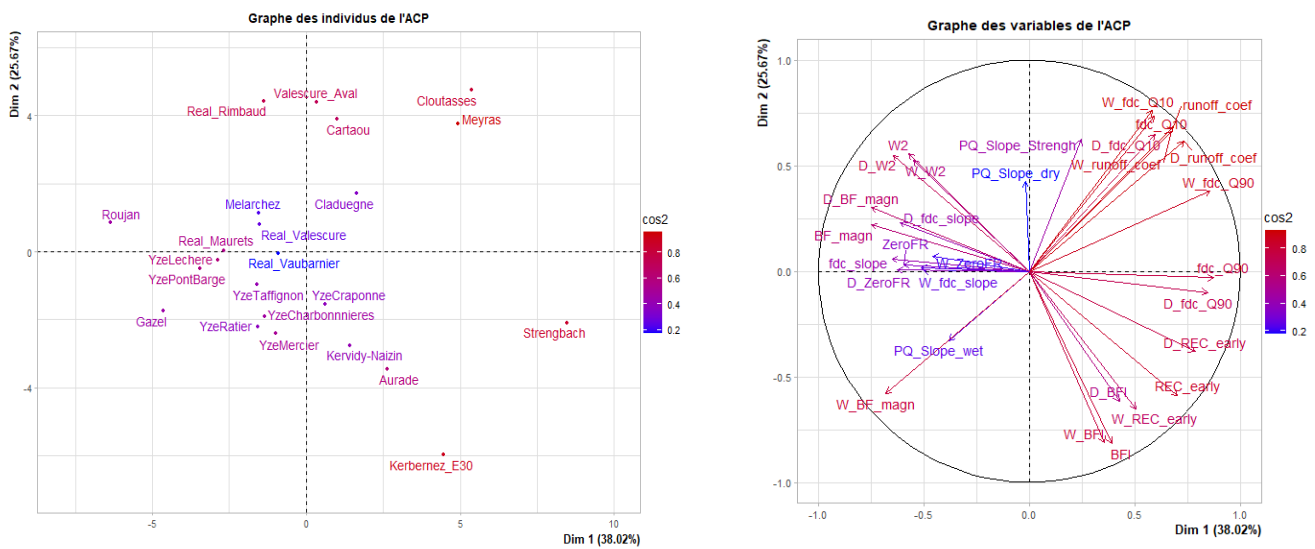


Figure a : Résultats de l'ACP sur les 30 signatures hydrologiques des bassins versants français

HCPC sur les résultats de l'ACP

La classification réalisée sur les bassins versants en France fait apparaître 4 classes. Nous l'avons redécomposé en 6 classes.

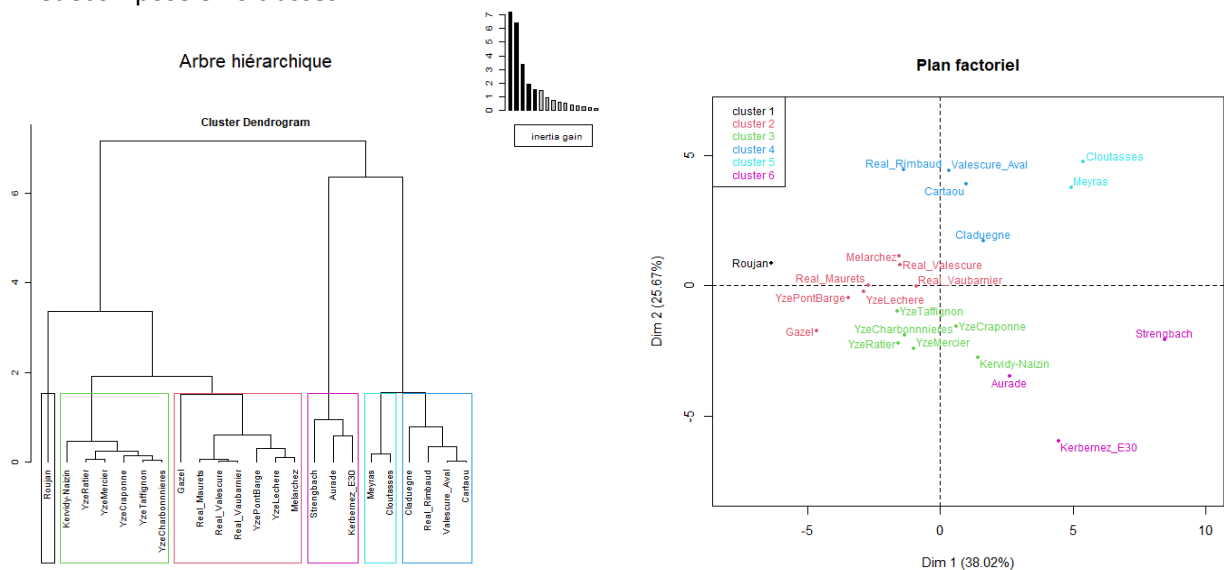
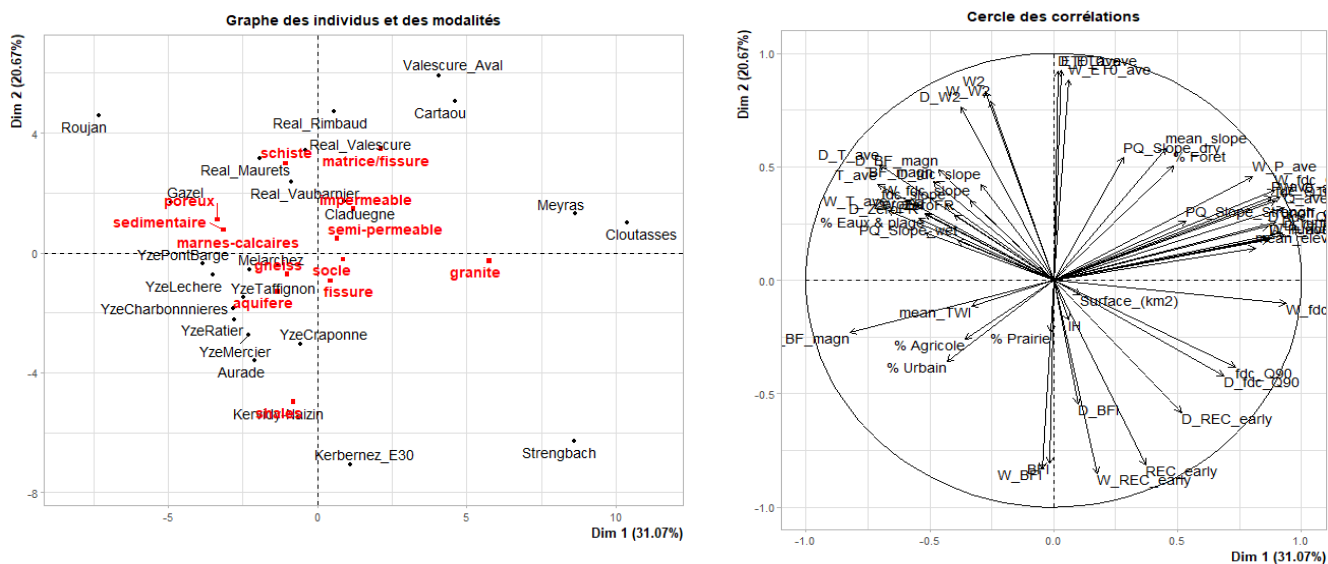


Figure b : Classification Ascendante Hiérarchique des 23 bassins versants en France

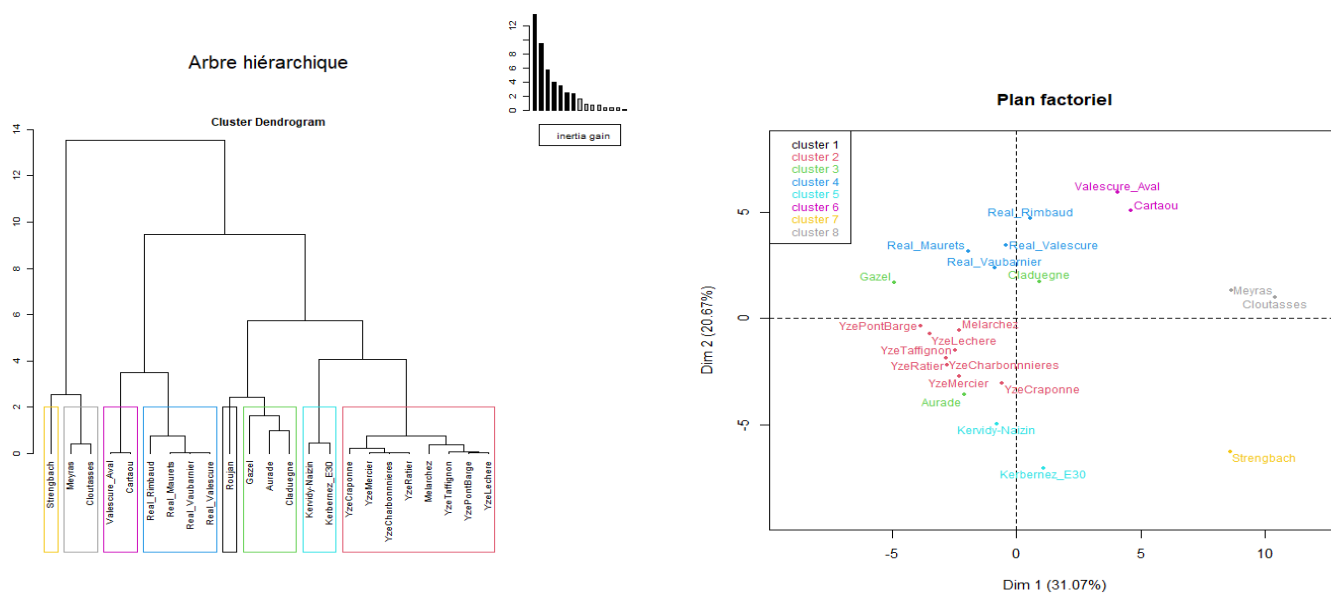
FAMD sur toutes les signatures hydrologiques avec les variables SIG et climatiques des 23 bassins versants en France

Le jeu de données contient **23 individus** (bassins versants français) et 57 variables (signatures hydrologiques, facteurs hydroclimatiques et physiographiques) dont 4 variables qualitatives (Géologie et nature, milieu, thème BD LISA).



HCPC sur les résultats de l'FAMD

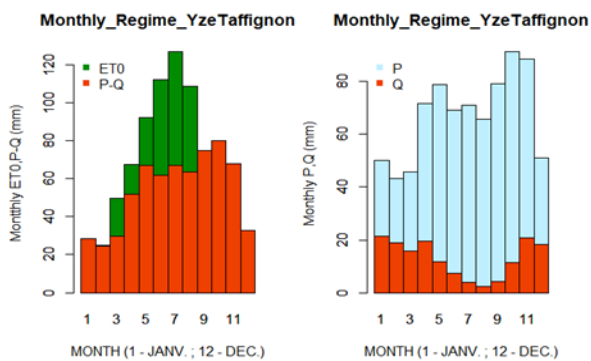
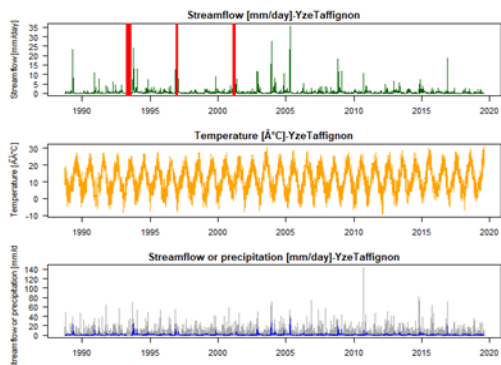
La classification réalisée sur les bassins versants en France fait apparaître 8 classes.



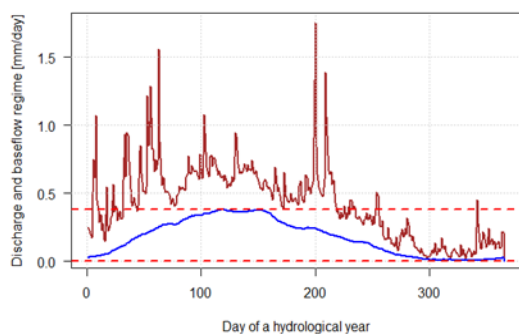
ANNEXE C : Fiche par bassin versant d'étude

Les graphes ci-dessous (générés avec les **données hydroclimatiques annuelles** et non saisonnières) sont celles qui expliquent le plus les comportements des bassins versants de notre étude. Le premier graphe s'agit des chroniques de températures, de débit et de précipitation en fonctions des années. Les graphes permettent de voir les données manquantes aux années précises. Nous avons aussi un graphe montrant les régimes mensuels de données hydroclimatiques. Les deux graphes du milieu montrent les régimes de débits de bases et la courbe P-Q. Les deux derniers graphes montrent les courbes de débits classés et les récessions précoces et tardives sur les bassins versants. La quasi-totalité des signatures hydrologiques ont été dérivées de ces graphiques.

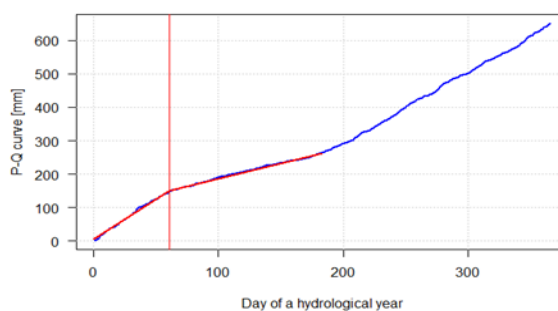
NB : Les graphes des récessions ne sont pas titrés.



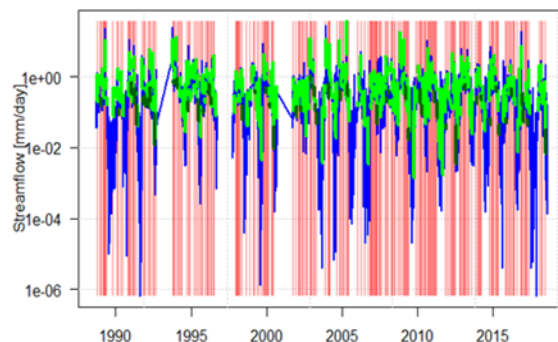
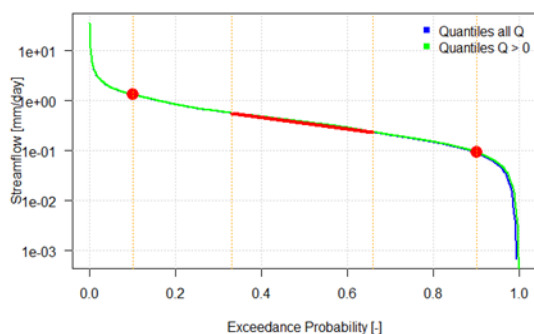
Discharge and baseflow regime [mm/day]-YzeTaffignon



P-Q curve [mm]-YzeTaffignon



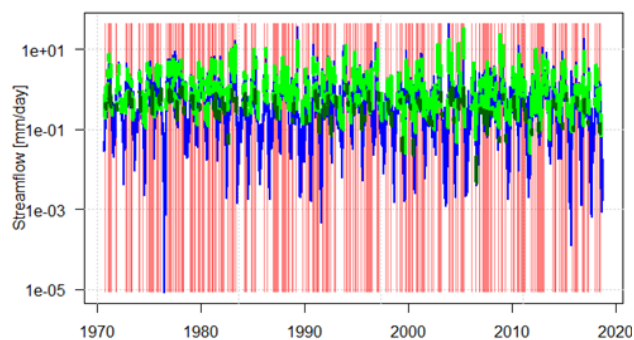
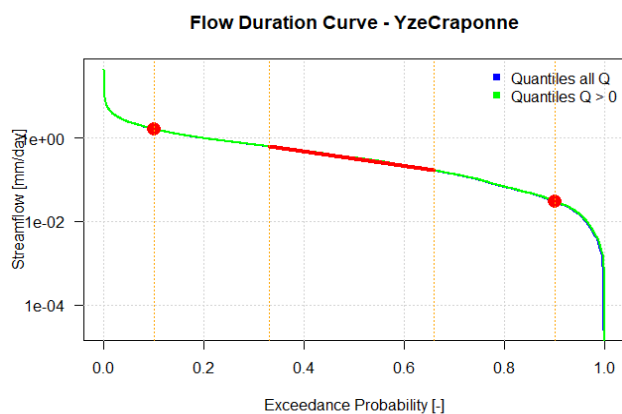
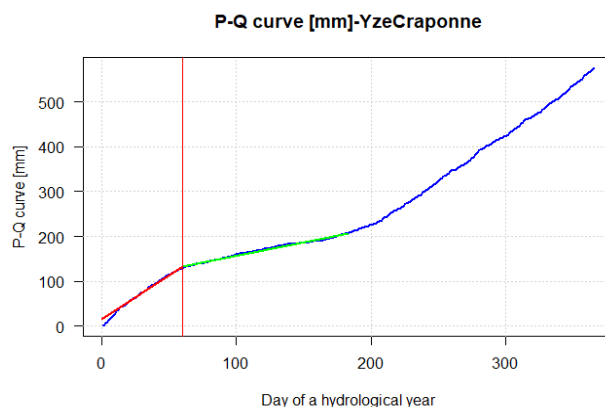
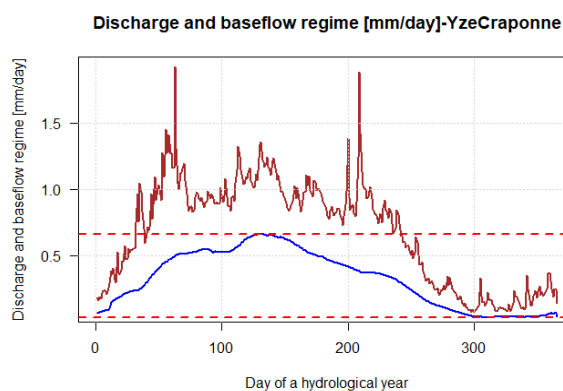
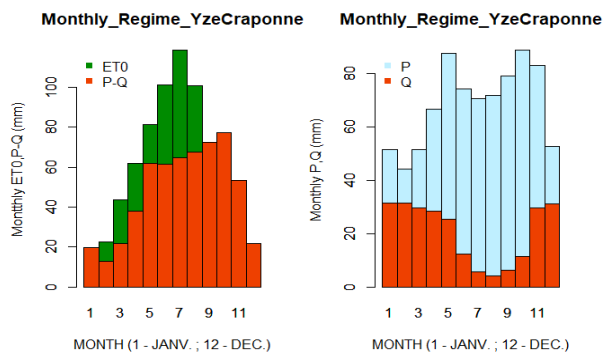
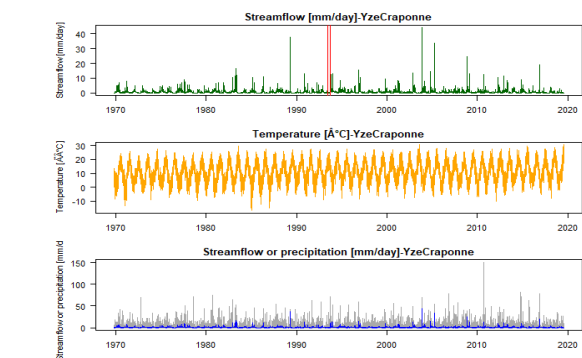
Flow Duration Curve - YzeTaffignon



Année hydrologique complete	P-ave	ET0-ave	T-ave	Q-ave	runoff-coef	fdc-slope	fdc-Q10	fdc-Q90	ZeroFR	W2	BFI	BF-magn	REC-early	REC-late
	804,54	745,78	11,56	155,83	0,19	1,71	1,06	0,01	0,07	0,24	0,41	0,99	5,80	16,49
Dry season	D-P-ave	D-ET0-ave	D-T-ave	D-Q-ave	D-runoff-coef	D-fdc-slope	D-fdc-Q10	D-fdc-Q90	D-ZeroFR	D-W2	D-BFI	D-BF-magn	D-REC-early	D-REC-late
	457,96	550,41	17,22	41,22	0,09	2,14	0,59	0,00	0,12	0,31	0,23	0,97	3,17	9,77
Wet season	W-P-ave	W-ET0-ave	W-T-ave	W-Q-ave	W-runoff-coef	W-fdc-slope	W-fdc-Q10	W-fdc-Q90	W-ZeroFR	W-W2	W-BFI	W-BF-magn	W-REC-early	W-REC-late
	351,52	199,43	5,82	116,06	0,33	1,17	1,31	0,09	0,01	0,20	0,45	0,66	7,90	17,57
Mean_elev	Mean_slope	Mean_TWI	Densité de drainage	Indice de Horton	% Urbain	% Agricole	% Forêt	% Prairie	% Eaux & plage	Geologie	Nature_BDLISA	Milieu_BDLISA	Theme_BDLISA	
391,47	8,02	8,11	1,14	0,25	34,84	5,55	28,75	30,78	0,08	gneiss	aquifere	fissure	socle	

Tableau a : Jeu de données de signatures, de facteurs hydroclimatiques et physiographiques pour Taffignon

Le bassin versant de Craponne

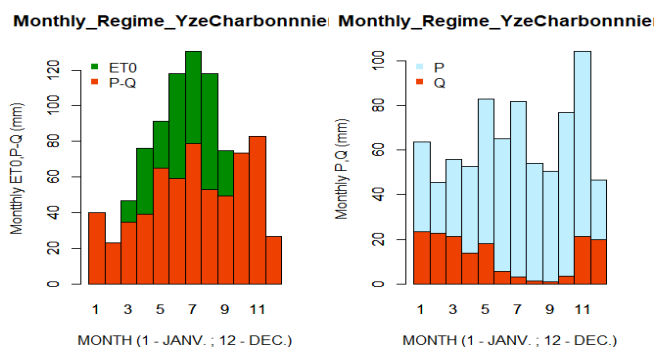
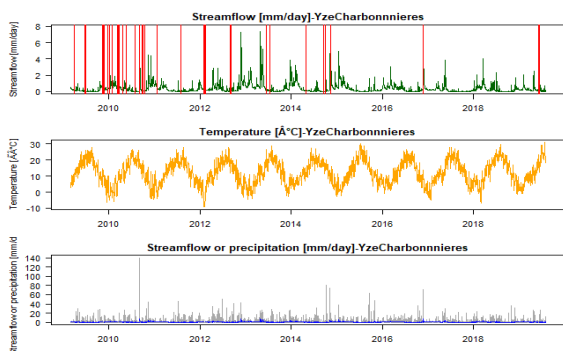


Année hydrologique complete	P-ave	ETO-ave	T-ave	Q-ave	runoff-coef	fdc-slope	fdc-Q10	fdc-Q90	ZeroFR	W2	BFI	BF-magn	REC-early	REC-late
		820,71	685,82	10,55	246,85	0,30	1,76	1,63	0,03	0,00	0,18	0,48	0,95	8,38
Dry season	D-P-ave	D-ETO-ave	D-T-ave	D-Q-ave	D-runoff-coef	D-fdc-slope	D-fdc-Q10	D-fdc-Q90	D-ZeroFR	D-W2	D-BFI	D-BF-magn	D-REC-early	D-REC-late
		474,16	506,85	16,01	65,77	0,14	1,90	0,86	0,02	0,00	0,24	0,36	0,89	5,39
Wet season	W-P-ave	W-ETO-ave	W-T-ave	W-Q-ave	W-runoff-coef	W-fdc-slope	W-fdc-Q10	W-fdc-Q90	W-ZeroFR	W-W2	W-BFI	W-BF-magn	W-REC-early	W-REC-late
		350,99	182,32	5,01	182,53	0,52	1,08	2,15	0,16	0,00	0,15	0,50	0,71	9,39

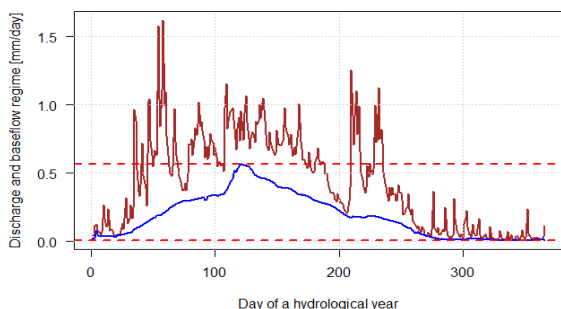
Mean_elev	Mean_slope	Mean_TWI	Densité de drainage	Indice de Horton	% Urbain	% Agricole	% Forêt	% Prairie	% Eaux & plage	Geologie	Nature_BDLISA	Milieu_BDLISA	Theme_BDLISA
525,93	12,17	8,28	1,00	0,17	21,29	7,92	34,42	36,26	0,11	gneiss	aquifere	fissure	socle

Tableau b : Jeu de données de signatures, de facteurs hydroclimatiques et physiographiques pour Craponne

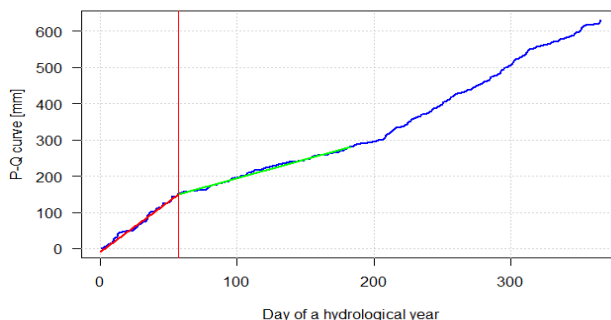
Le bassin versant de Charbonnières



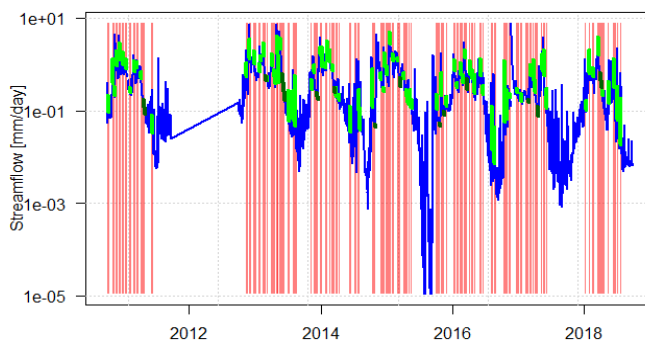
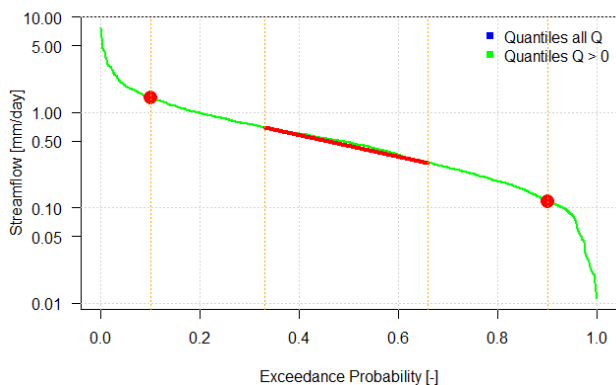
Discharge and baseflow regime [mm/day]-YzeCharbonnieres



P-Q curve [mm]-YzeCharbonnieres



Flow Duration Curve - YzeCharbonnieres

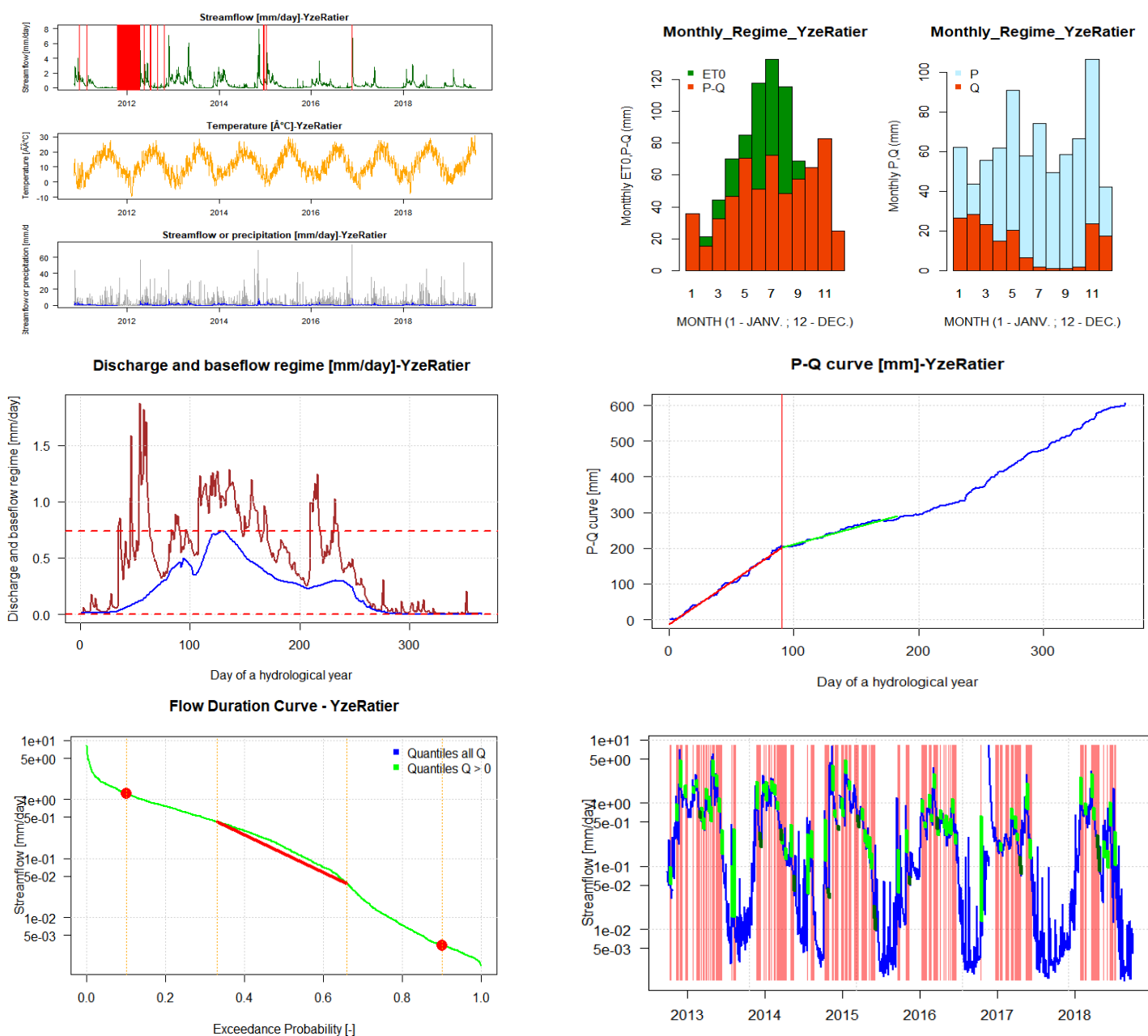


Année hydrologique complete	P-ave	ET0-ave	T-ave	Q-ave	runoff-coef	fdc-slope	fdc-Q10	fdc-Q90	ZeroFR	W2	BFI	BF-magn	REC-early	REC-late
	779,71	774,23	12,10	154,60	0,20	2,22	1,09	0,01	0,00	0,17	0,44	0,99	6,69	21,01
Dry season	D-P-ave	D-ET0-ave	D-T-ave	D-Q-ave	D-runoff-coef	D-fdc-slope	D-fdc-Q10	D-fdc-Q90	D-ZeroFR	D-W2	D-BFI	D-BF-magn	D-REC-early	D-REC-late
	418,16	575,60	17,68	32,87	0,08	1,75	0,40	0,00	0,00	0,32	0,30	0,97	3,63	46,53
Wet season	W-P-ave	W-ET0-ave	W-T-ave	W-Q-ave	W-runoff-coef	W-fdc-slope	W-fdc-Q10	W-fdc-Q90	W-ZeroFR	W-W2	W-BFI	W-BF-magn	W-REC-early	W-REC-late
	372,62	201,22	6,43	124,59	0,33	1,12	1,42	0,12	0,00	0,12	0,48	0,91	7,80	16,77

Mean_elev	Mean_slope	Mean_TWI	Densité de drainage	Indice de Horton	% Urbain	% Agricole	% Forêt	% Prairie	% Eaux & plage	Geologie	Nature_BDLISA	Milieu_BDLISA	Theme_BDLISA
343,39	6,72	8,18	1,16	0,30	28,83	2,81	36,91	31,33	0,13	gneiss	aquifere	fissure	socle

Tableau c : Jeu de données de signatures, de facteurs hydroclimatiques et physiographiques pour Charbonnière

Le bassin versant de Ratier

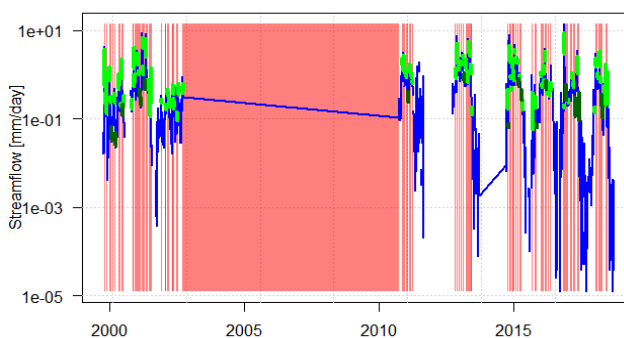
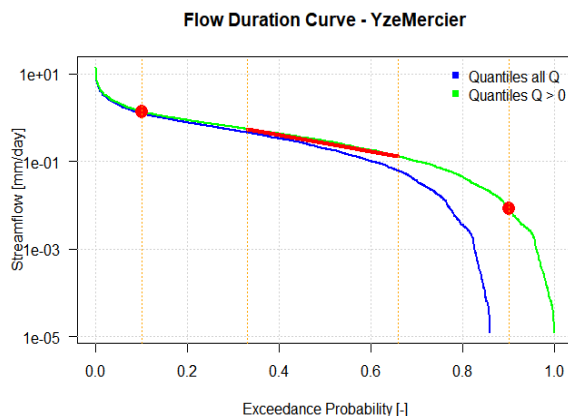
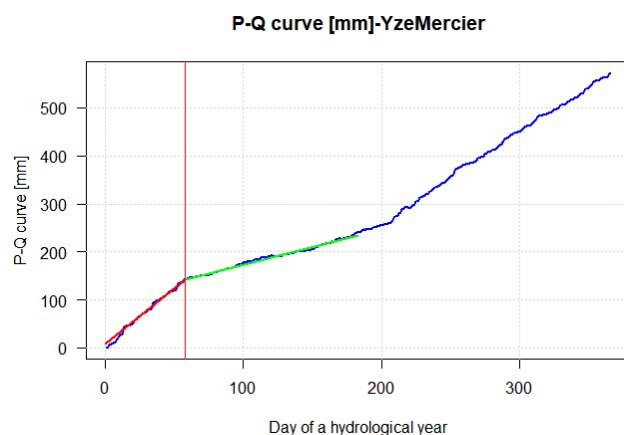
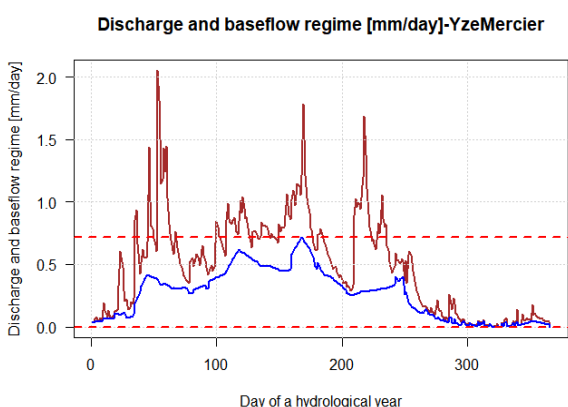
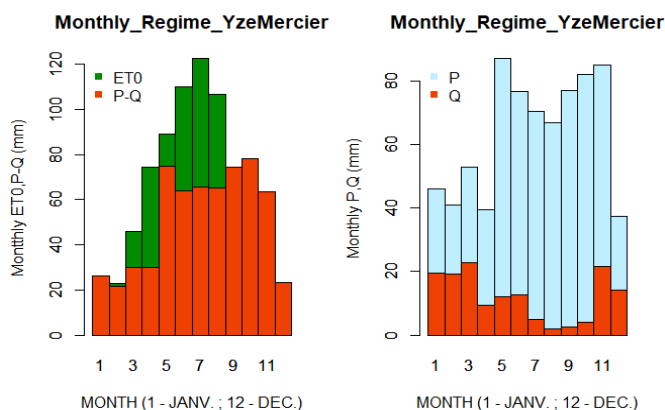
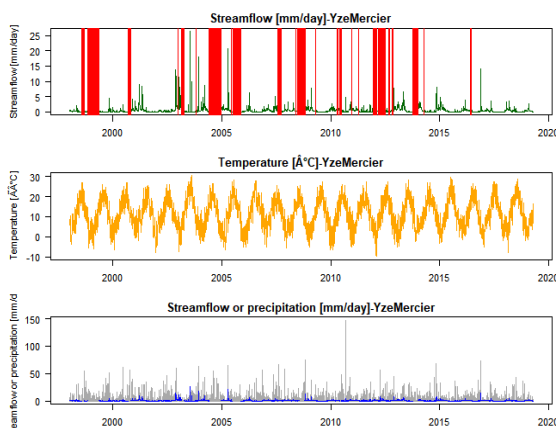


Année hydrologique complète	P-ave	ET0-ave	T-ave	Q-ave	runoff-coef	fdc-slope	fdc-Q10	fdc-Q90	ZeroFR	W2	BFI	BF-magn	REC-early	REC-late
	759,51	751,09	11,86	165,64	0,22	3,32	1,25	0,00	0,00	0,18	0,48	1,00	9,38	13,82
Dry season	D-P-ave	D-ET0-ave	D-T-ave	D-Q-ave	D-runoff-coef	D-fdc-slope	D-fdc-Q10	D-fdc-Q90	D-ZeroFR	D-W2	D-BFI	D-BF-magn	D-REC-early	D-REC-late
	390,56	565,19	17,41	31,33	0,08	2,87	0,41	0,00	0,00	0,34	0,37	0,99	4,48	13,35
Wet season	W-P-ave	W-ET0-ave	W-T-ave	W-Q-ave	W-runoff-coef	W-fdc-slope	W-fdc-Q10	W-fdc-Q90	W-ZeroFR	W-W2	W-BFI	W-BF-magn	W-REC-early	W-REC-late
	374,73	187,59	6,21	136,07	0,36	1,31	1,68	0,08	0,00	0,13	0,50	0,93	10,38	12,81

Mean_élev	Mean_slope	Mean_TWI	Densité de drainage	Indice de Horton	% Urbain	% Agricole	% Forêt	% Prairie	% Eaux & plage	Géologie	Nature_BDLISA	Milieu_BDLISA	Thème_BDLISA
417,25	8,86	8,22	1,06	0,24	24,17	6,43	29,93	39,41	0,07	gneiss	aquifere	fissure	socle

Tableau d : Jeu de données de signatures, de facteurs hydroclimatiques et physiographiques pour Ratier

Le bassin versant de Mercier

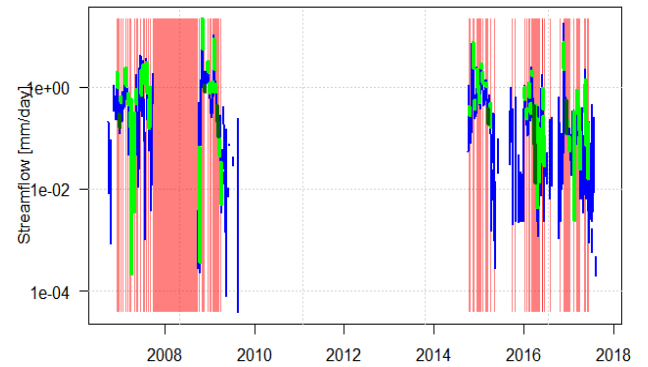
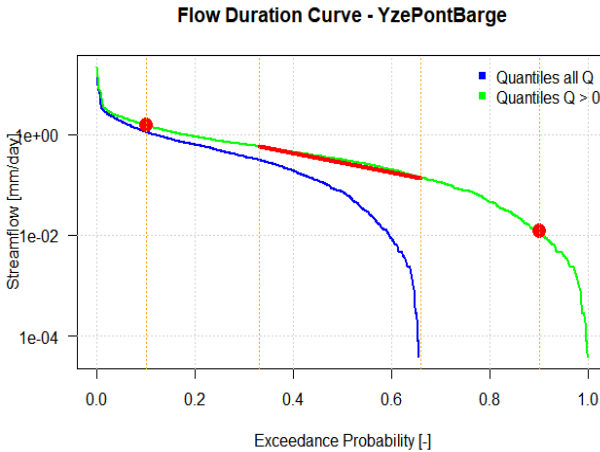
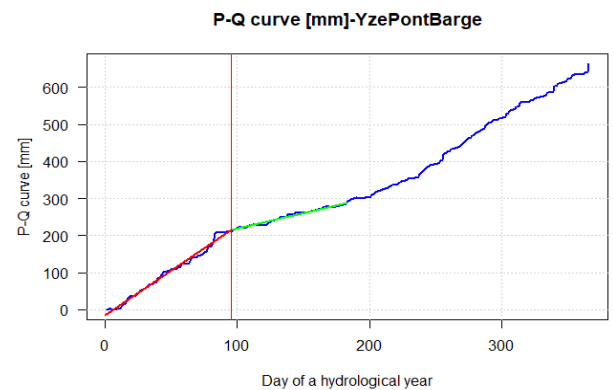
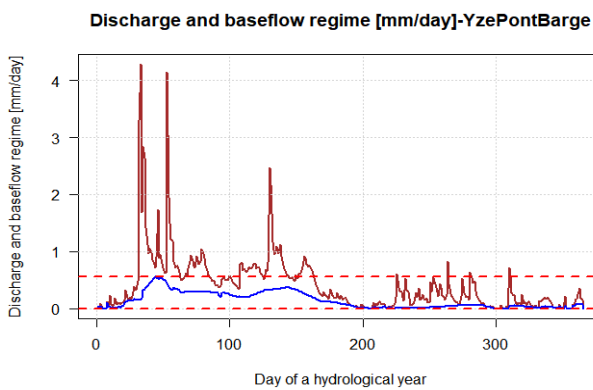
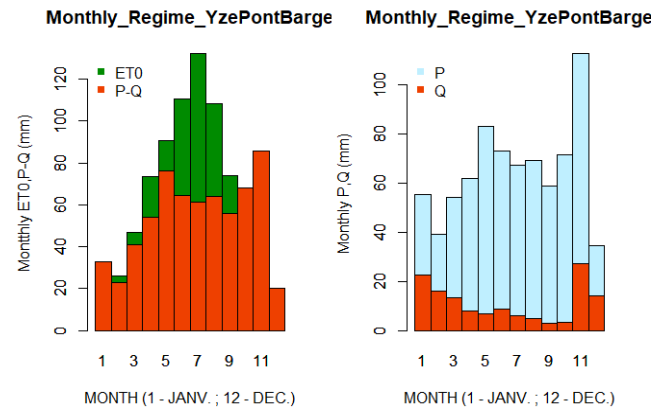
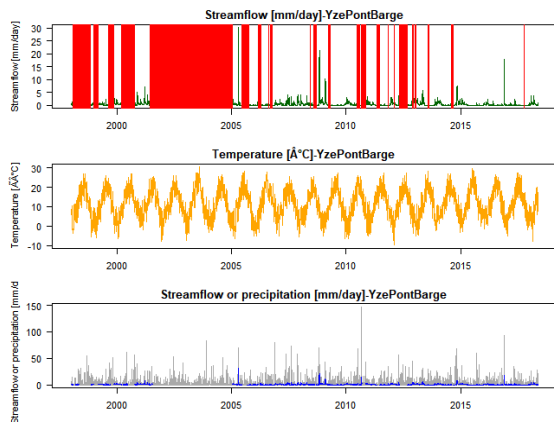


Année hydrologique complète	P-ave	ET0-ave	T-ave	Q-ave	runoff-coef	fdc-slope	fdc-Q10	fdc-Q90	ZeroFR	W2	BFI	BF-magn	REC-early	REC-late
	752,37	710,50	11,54	179,20	0,24	1,93	1,36	0,01	0,14	0,19	0,53	1,00	9,86	13,35
Dry season	D-P-ave	D-ET0-ave	D-T-ave	D-Q-ave	D-runoff-coef	D-fdc-slope	D-fdc-Q10	D-fdc-Q90	D-ZeroFR	D-W2	D-BFI	D-BF-magn	D-REC-early	D-REC-late
	426,11	532,25	17,04	45,50	0,11	2,55	0,78	0,00	0,28	0,30	0,41	1,00	6,12	6,68
Wet season	W-P-ave	W-ET0-ave	W-T-ave	W-Q-ave	W-runoff-coef	W-fdc-slope	W-fdc-Q10	W-fdc-Q90	W-ZeroFR	W-W2	W-BFI	W-BF-magn	W-REC-early	W-REC-late
	331,54	179,91	5,94	135,32	0,40	1,43	1,64	0,05	0,00	0,15	0,56	0,87	11,00	14,90

Mean_élev	Mean_slope	Mean_TWI	Densité de drainage	Indice de Horton	% Urbain	% Agricole	% Forêt	% Prairie	% Eau & plage	Géologie	Nature_BDLISA	Milieu_BDLISA	Thème_BDLISA
469,23	10,72	8,27	1,03	0,24	16,30	8,02	36,62	38,95	0,12	gneiss	aquifere	fissure	socié

Tableau e : Jeu de données de signatures, de facteurs hydroclimatiques et physiographiques pour Mercier

Le bassin versant de PontBarge

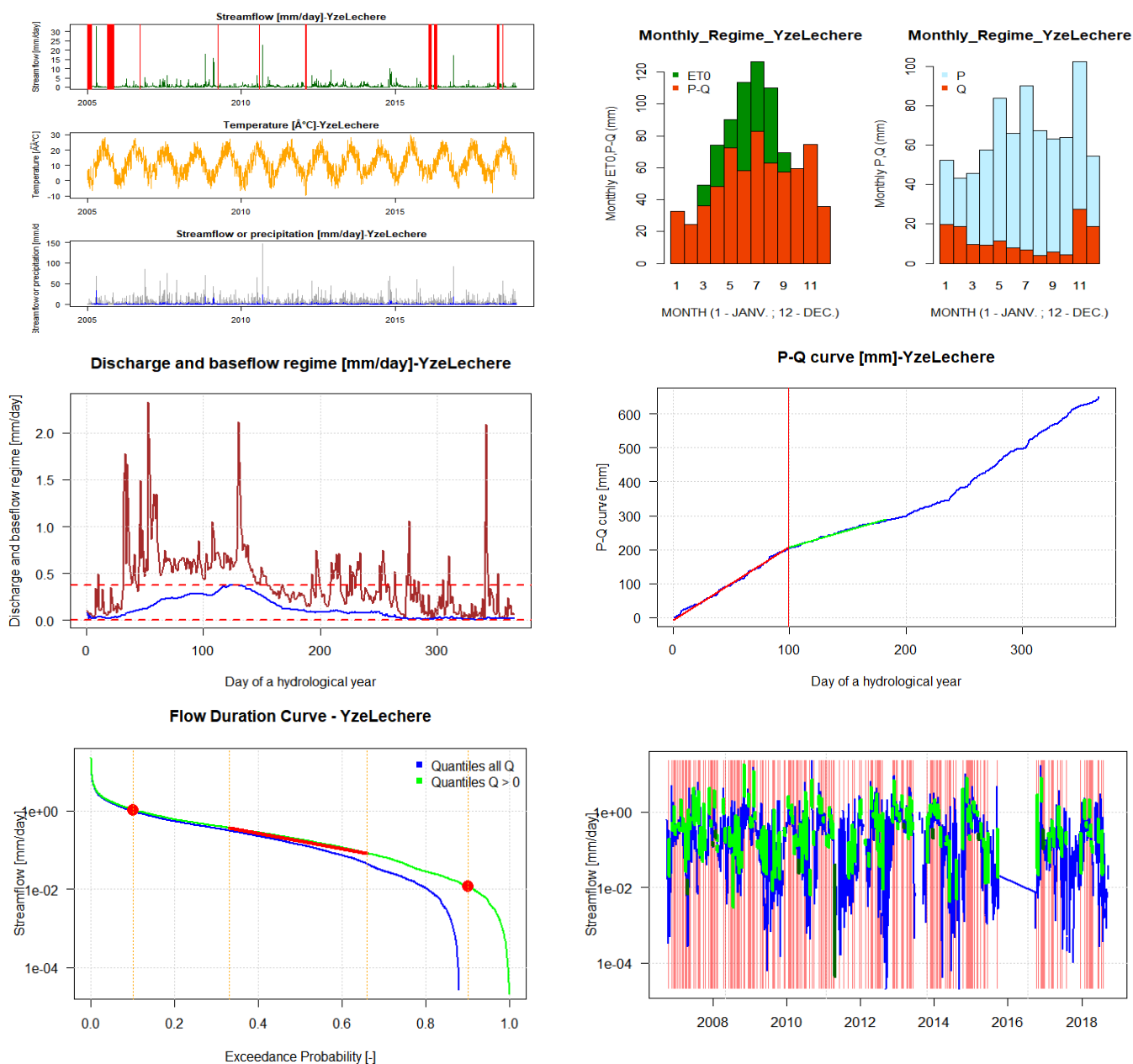


Année hydrologique complète	P-ave	ET0-ave	T-ave	Q-ave	runoff-coef	fdc-slope	fdc-Q10	fdc-Q90	ZeroFR	W2	BFI	BF-magn	REC-early	REC-late
	797,05	767,54	11,74	151,14	0,19	1,89	1,49	0,01	0,34	0,27	0,33	1,00	4,78	9,11
Dry season	D-P-ave	D-ET0-ave	D-T-ave	D-Q-ave	D-runoff-coef	D-fdc-slope	D-fdc-Q10	D-fdc-Q90	D-ZeroFR	D-W2	D-BFI	D-BF-magn	D-REC-early	D-REC-late
	430,84	567,74	17,14	29,73	0,07	2,45	1,04	0,00	0,57	0,30	0,10	1,00	3,01	NA
Wet season	W-P-ave	W-ET0-ave	W-T-ave	W-Q-ave	W-runoff-coef	W-fdc-slope	W-fdc-Q10	W-fdc-Q90	W-ZeroFR	W-W2	W-BFI	W-BF-magn	W-REC-early	W-REC-late
	368,49	201,99	6,25	121,52	0,33	1,38	1,69	0,02	0,12	0,24	0,38	1,00	8,73	9,11

Mean_élev	Mean_slope	Mean_TWI	Densité de drainage	Indice de Horton	% Urbain	% Agricole	% Forêt	% Prairie	% Eaux & plage	Géologie	Nature_BDLISA	Milieu_BDLISA	Thème_BDLISA
390,42	6,81	7,99	0,95	0,19	28,67	19,46	5,47	46,18	0,23	gneiss	aquifere	fissure	socle

Tableau f : Jeu de données de signatures, de facteurs hydroclimatiques et physiographiques pour PontBarge

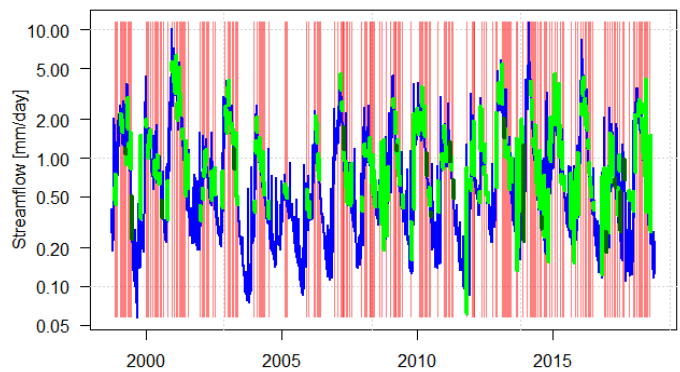
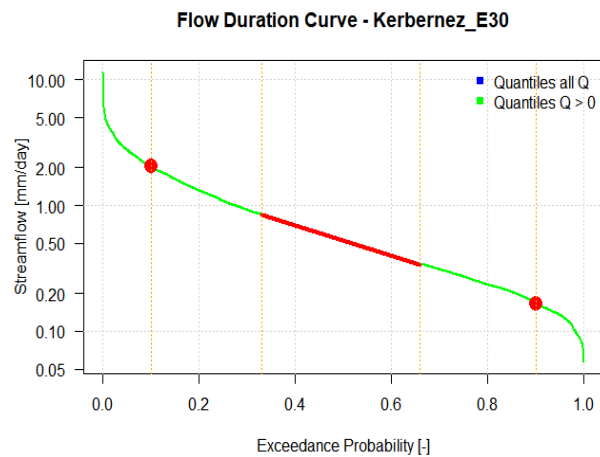
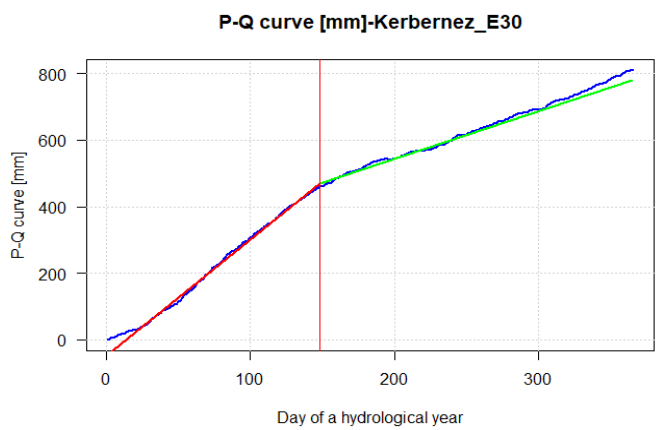
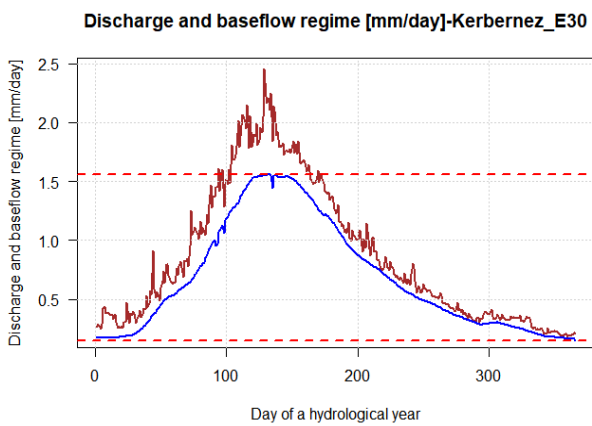
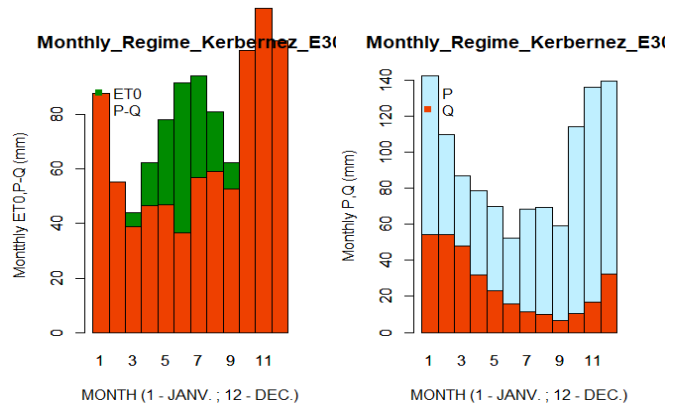
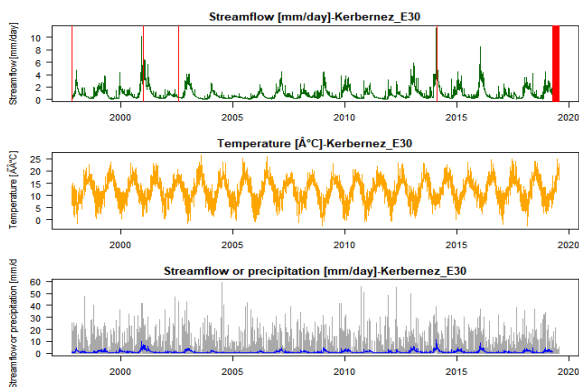
Le bassin versant de Léchère



Année hydrologique complète	P-ave	ET0-ave	T-ave	Q-ave	runoff-coef	fdc-slope	fdc-Q10	fdc-Q90	ZeroFR	W2	BFI	BF-magn	REC-early	REC-late
	797,58	753,75	11,38	146,66	0,18	1,99	1,07	0,01	0,12	0,25	0,30	0,98	4,11	11,17
Dry season	D-P-ave	D-ET0-ave	D-T-ave	D-Q-ave	D-runoff-coef	D-fdc-slope	D-fdc-Q10	D-fdc-Q90	D-ZeroFR	D-W2	D-BFI	D-BF-magn	D-REC-early	D-REC-late
	442,64	554,98	16,86	41,84	0,09	2,47	0,73	0,00	0,23	0,33	0,13	0,98	2,43	NA
Wet season	W-P-ave	W-ET0-ave	W-T-ave	W-Q-ave	W-runoff-coef	W-fdc-slope	W-fdc-Q10	W-fdc-Q90	W-ZeroFR	W-W2	W-BFI	W-BF-magn	W-REC-early	W-REC-late
	359,25	200,91	5,81	105,69	0,29	1,40	1,27	0,04	0,00	0,21	0,34	0,82	5,51	11,77
Mean_elev	Mean_slope	Mean_TWI	Densité de drainage	Indice de Horton	% Urbain	% Agricole	% Forêt	% Prairie	% Eaux & plage	Géologie	Nature_BDLISA	Milieu_BDLISA	Thème_BDLISA	
360,96	5,08	8,27	1,09	0,26	55,88	11,43	3,49	29,08	0,12	gneiss	aquifère	fissure	socle	

Tableau g : Jeu de données de signatures, de facteurs hydroclimatiques et physiographiques pour Léchère

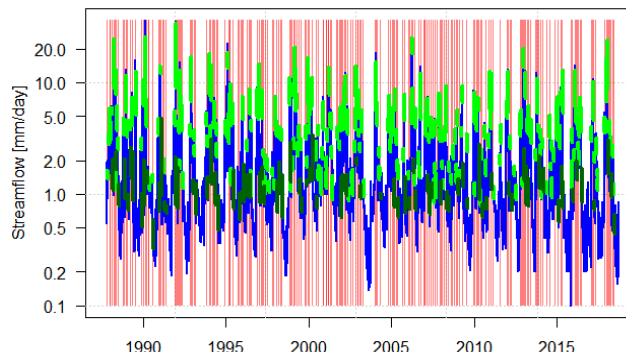
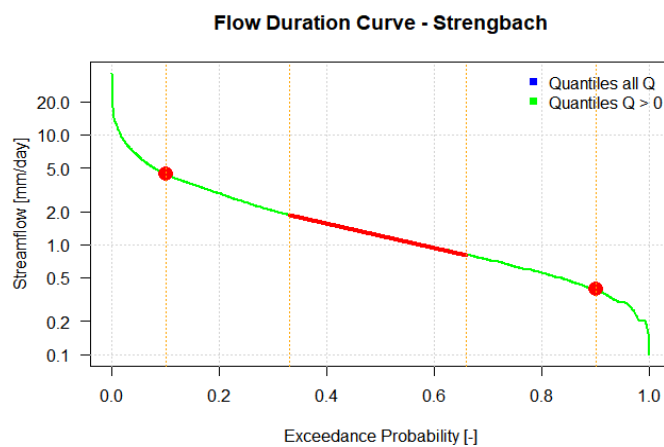
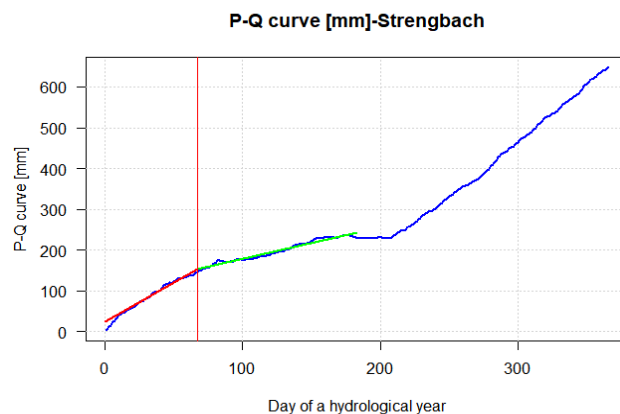
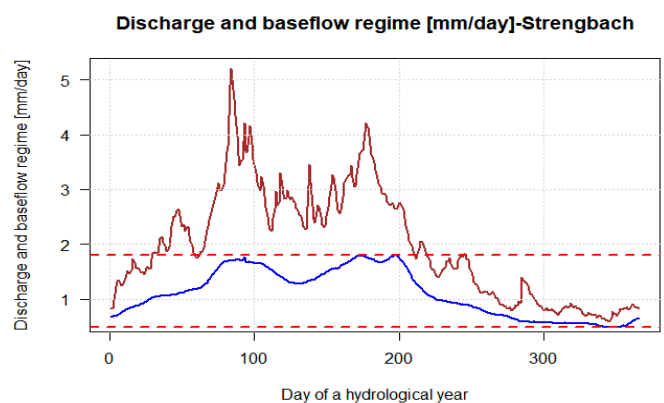
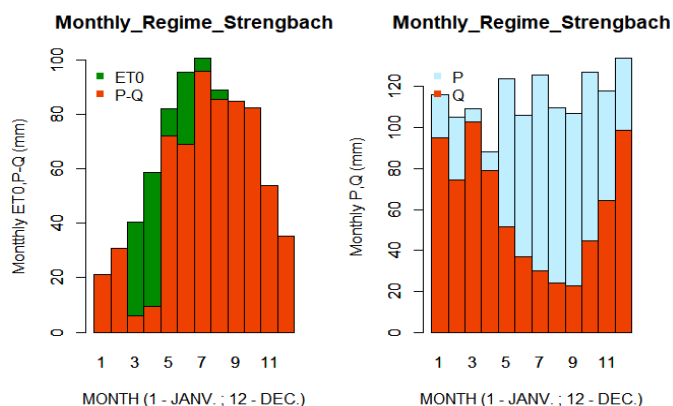
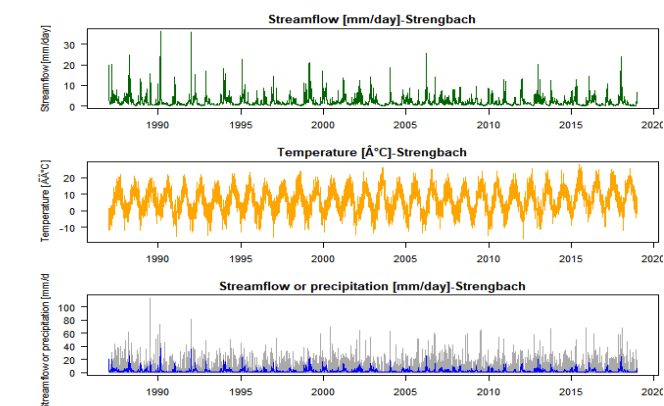
Le bassin versant de Kerbernez_E30



Année hydrologique complète	P-ave	ET0-ave	T-ave	Q-ave	runoff-coef	fdc-slope	fdc-Q10	fdc-Q90	ZeroFR	W2	BFI	BF-magn	REC-early	REC-late
	1125,91	650,45	12,06	315,97	0,28	1,19	2,04	0,17	0,00	0,11	0,79	0,90	13,70	40,00
Dry season	D-P-ave	D-ET0-ave	D-T-ave	D-Q-ave	D-runoff-coef	D-fdc-slope	D-fdc-Q10	D-fdc-Q90	D-ZeroFR	D-W2	D-BFI	D-BF-magn	D-REC-early	D-REC-late
	434,44	447,43	15,49	77,77	0,18	0,78	0,81	0,14	0,00	0,09	0,77	0,75	13,22	40,46
Wetseason	W-P-ave	W-ET0-ave	W-T-ave	W-Q-ave	W-runoff-coef	W-fdc-slope	W-fdc-Q10	W-fdc-Q90	W-ZeroFR	W-W2	W-BFI	W-BF-magn	W-REC-early	W-REC-late
	696,16	205,24	8,56	239,15	0,34	1,00	2,75	0,24	0,00	0,08	0,77	0,83	14,01	35,49
Mean_élev	Mean_slope	Mean_TWI	Densité de drainage	Indice de Horton	% Urbain	% Agricole	% Forêt	% Prairie	% Eaux & plage	Géologie	Nature_BDLISA	Milieu_BDLISA	Thème_BDLISA	
26,21	4,13	8,10	0,79	0,49	12,41	13,84	7,79	65,97	0,00	granite	semi-permeable	fissure	solc	

Tableau h : Jeu de données de signatures, de facteurs hydroclimatiques et physiographiques pour Kerbernez_E30

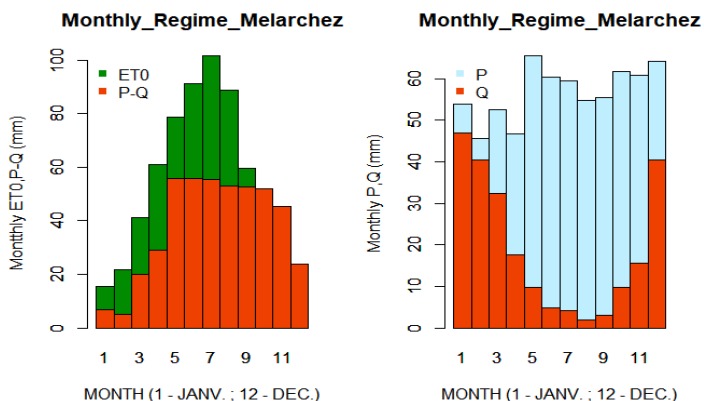
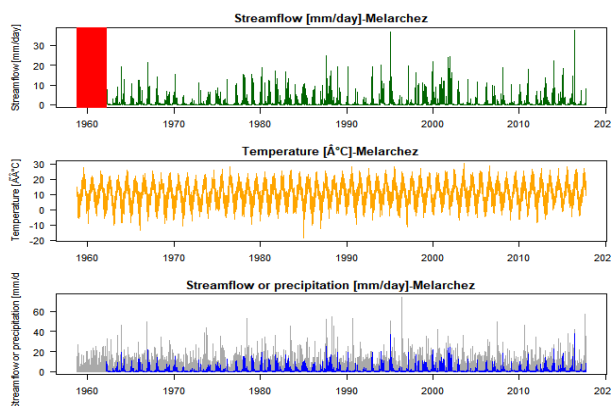
Le bassin versant de Strengbach



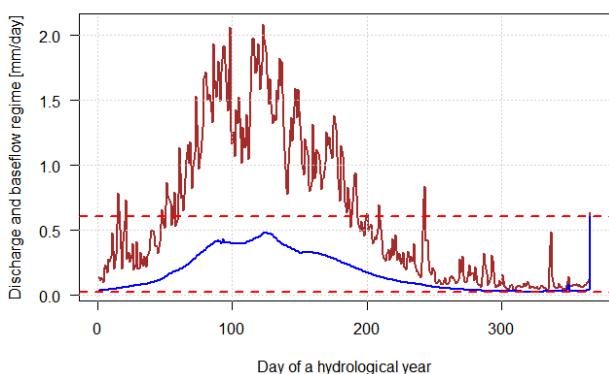
Année hydrologique complète	P-ave	ET0-ave	T-ave	Q-ave	runoff-coef	fdc-slope	fdc-Q10	fdc-Q90	ZeroFR	W2	BFI	BF-magn	REC-early	REC-late
	1371,69	627,26	6,27	727,68	0,53	1,09	4,38	0,40	0,00	0,13	0,55	0,73	13,20	17,20
Dry season	D-P-ave	D-ET0-ave	D-T-ave	D-Q-ave	D-runoff-coef	D-fdc-slope	D-fdc-Q10	D-fdc-Q90	D-ZeroFR	D-W2	D-BFI	D-BF-magn	D-REC-early	D-REC-late
	701,68	458,60	11,45	211,87	0,30	0,94	2,42	0,30	0,00	0,11	0,59	0,49	14,10	16,48
Wet season	W-P-ave	W-ET0-ave	W-T-ave	W-Q-ave	W-runoff-coef	W-fdc-slope	W-fdc-Q10	W-fdc-Q90	W-ZeroFR	W-W2	W-BFI	W-BF-magn	W-REC-early	W-REC-late
	672,43	171,03	1,02	517,95	0,77	1,02	6,11	0,71	0,00	0,11	0,51	0,49	11,10	18,03
Mean_élev	Mean_slope	Mean_TWI	Densité de drainage	Indice de Horton	% Urbain	% Agricole	% Forêt	% Prairie	% Eaux & plage	Géologie	Nature_BDLISA	Milieu_BDLISA	Thème_BDLISA	
1044,79	14,69	8,45	0,00	0,33	0,58	20,60	73,91	4,91	0,00	granite	impermeable	fissure	socle	

Tableau i : Jeu de données de signatures, de facteurs hydroclimatiques et physiographiques pour Strengbach

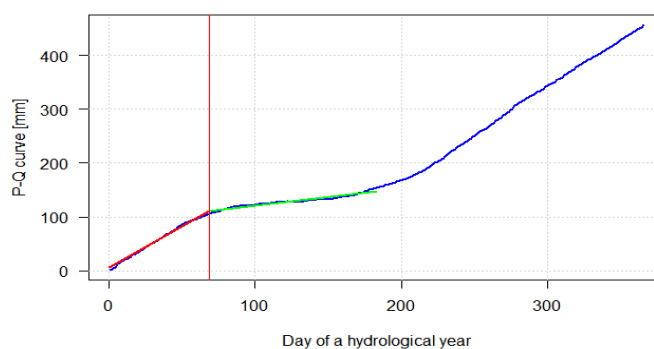
Le bassin versant de Mélarchez



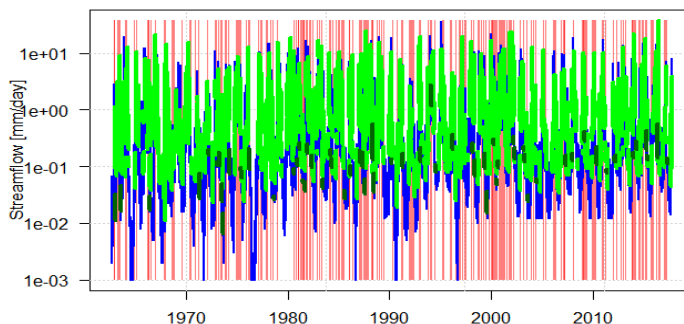
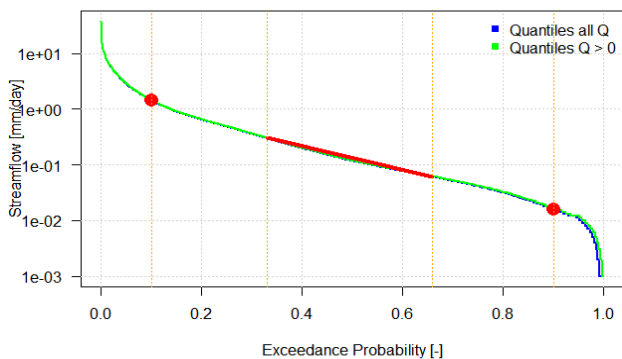
Discharge and baseflow regime [mm/day]-Melarchez



P-Q curve [mm]-Melarchez



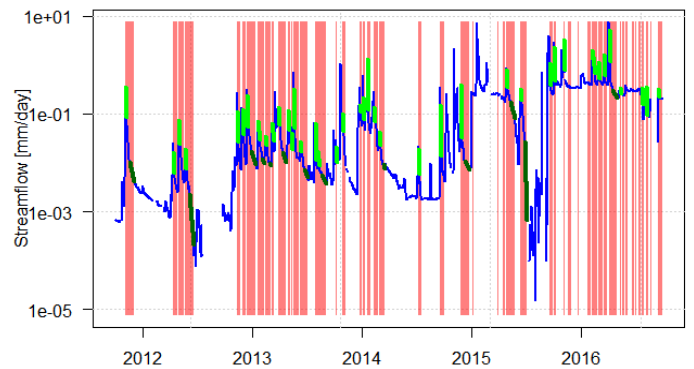
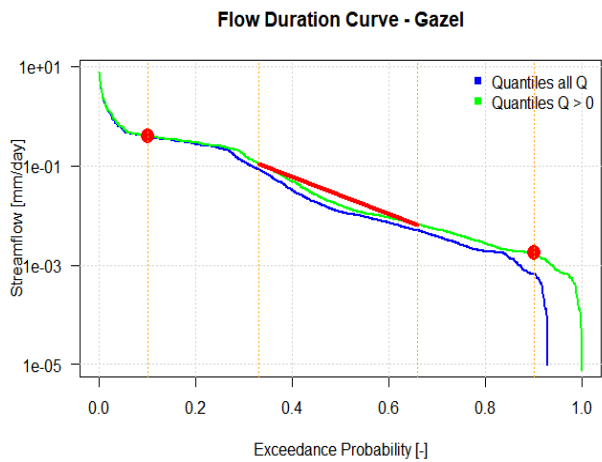
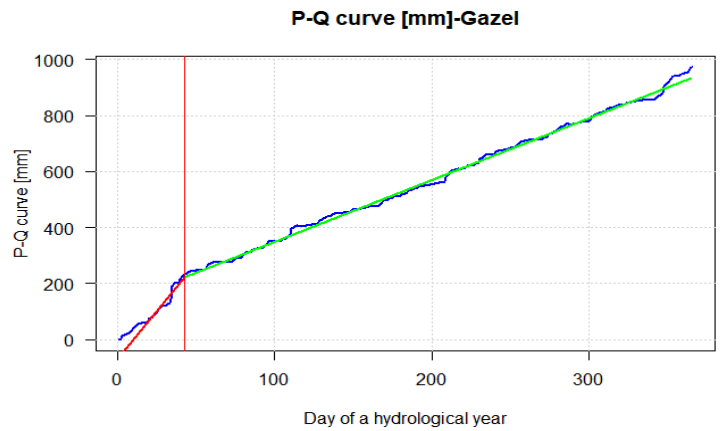
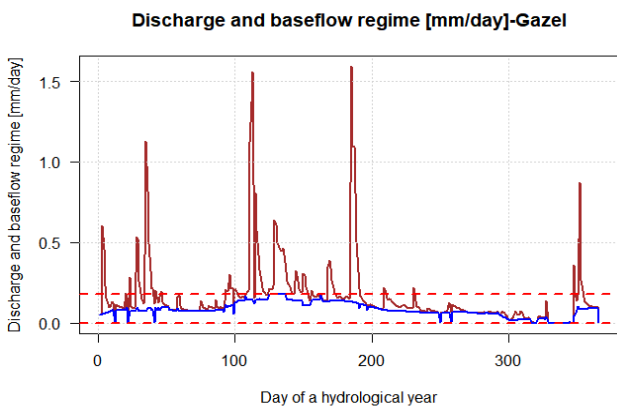
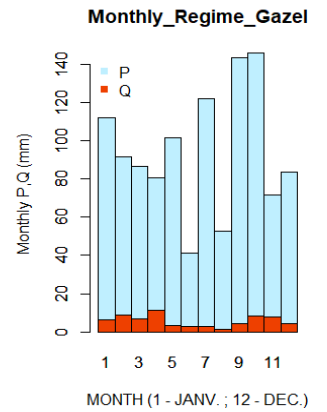
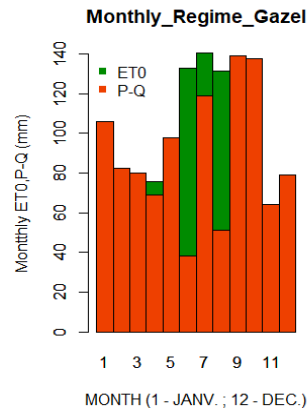
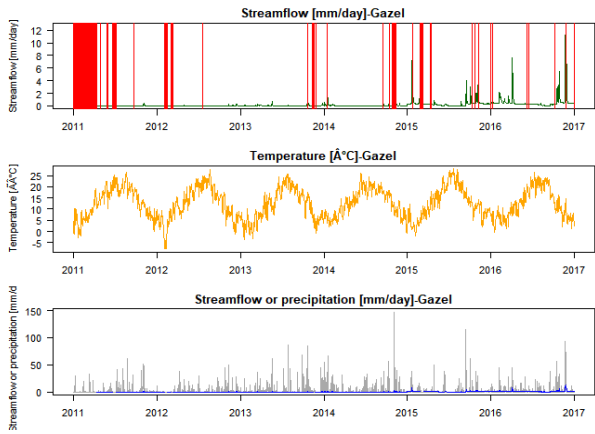
Flow Duration Curve - Melarchez



Année hydrologique complète	P-ave	ET0-ave	T-ave	Q-ave	runoff-coef	fdc-slope	fdc-Q10	fdc-Q90	ZeroFR	W2	BFI	BF-magn	REC-early	REC-late
	676,53	639,59	10,35	230,70	0,34	1,99	1,44	0,02	0,00	0,31	0,29	0,96	3,59	18,83
Dry season	D-P-ave	D-ET0-ave	D-T-ave	D-Q-ave	D-runoff-coef	D-fdc-slope	D-fdc-Q10	D-fdc-Q90	D-ZeroFR	D-W2	D-BFI	D-BF-magn	D-REC-early	D-REC-late
	359,91	464,61	15,26	35,77	0,10	1,20	0,28	0,01	0,00	0,46	0,27	0,96	4,74	20,53
Wet season	W-P-ave	W-ET0-ave	W-T-ave	W-Q-ave	W-runoff-coef	W-fdc-slope	W-fdc-Q10	W-fdc-Q90	W-ZeroFR	W-W2	W-BFI	W-BF-magn	W-REC-early	W-REC-late
	317,90	177,16	5,36	195,13	0,61	1,66	2,63	0,07	0,00	0,22	0,28	0,83	3,26	18,68
Mean_élev	Mean_slope	Mean_TWI	Densité de drainage	Indice de Horton	% Urbain	% Agricole	% Forêt	% Prairie	% Eaux & plage	Géologie	Nature_BDLISA	Milieu_BDLISA	Thème_BDLISA	
174,74	0,87	4,96	1,36	0,26	3,29	90,73	2,16	3,82	0,00	marnes-calcaires	aquifere	matrice/fissure	sedimentaire	

Tableau j : Jeu de données de signatures, de facteurs hydroclimatiques et physiographiques pour Mélarchez

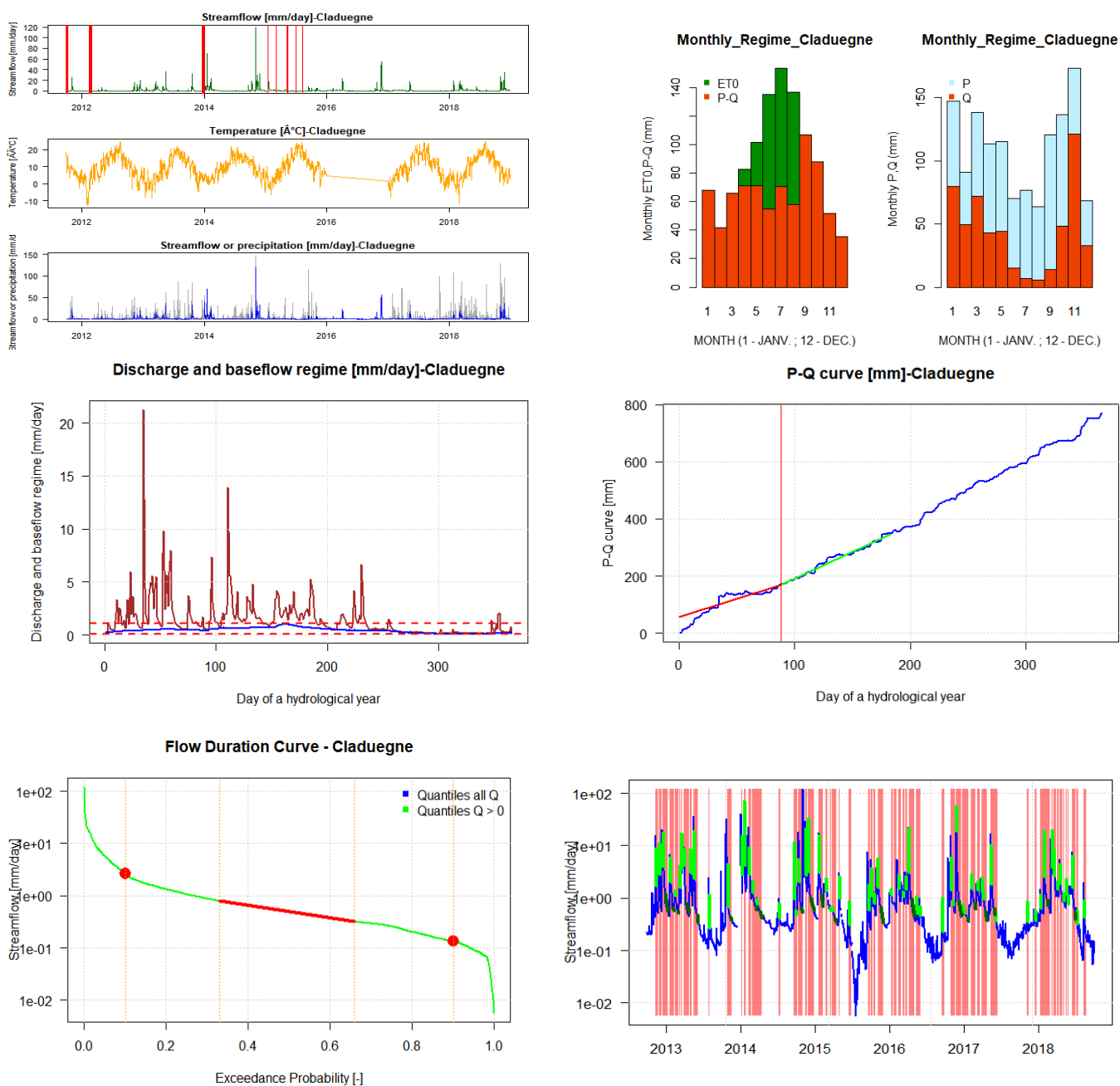
Le bassin versant de Gazel



Année hydrologique complète	P-ave	ET0-ave	T-ave	Q-ave	runoff-coef	fdc-slope	fdc-Q10	fdc-Q90	ZeroFR	W2	BFI	BF-magn	REC-early	REC-late
	1033,22	902,68	12,44	60,45	0,06	3,62	0,40	0,00	0,07	0,33	0,50	0,99	4,42	26,42
Dry season	D-P-ave	D-ET0-ave	D-T-ave	D-Q-ave	D-runoff-coef	D-fdc-slope	D-fdc-Q10	D-fdc-Q90	D-ZeroFR	D-W2	D-BFI	D-BF-magn	D-REC-early	D-REC-late
	510,88	653,86	17,76	17,21	0,03	2,96	0,31	0,00	0,14	0,30	0,51	0,99	5,31	12,48
Wet season	W-P-ave	W-ET0-ave	W-T-ave	W-Q-ave	W-runoff-coef	W-fdc-slope	W-fdc-Q10	W-fdc-Q90	W-ZeroFR	W-W2	W-BFI	W-BF-magn	W-REC-early	W-REC-late
	524,50	249,90	7,03	43,34	0,08	4,00	0,45	0,00	0,00	0,31	0,47	0,97	4,01	26,42
Mean_élev	Mean_slope	Mean_TWI	Densité de drainage	Indice de Horton	% Urbain	% Agricole	% Forêt	% Prairie	% Eaux & plage	Géologie	Nature_BDLISA	Milieu_BDLISA	Thème_BDLISA	
407,62	8,68	8,42	1,10	0,14	6,44	12,78	15,17	65,40	0,22	marnes-calcaires	semi-permeable	poreux	sedimentaire	

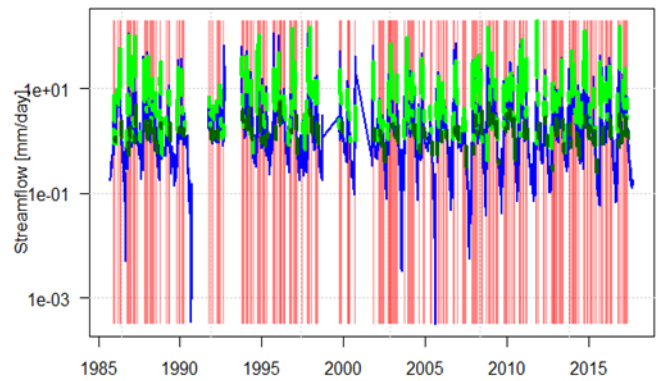
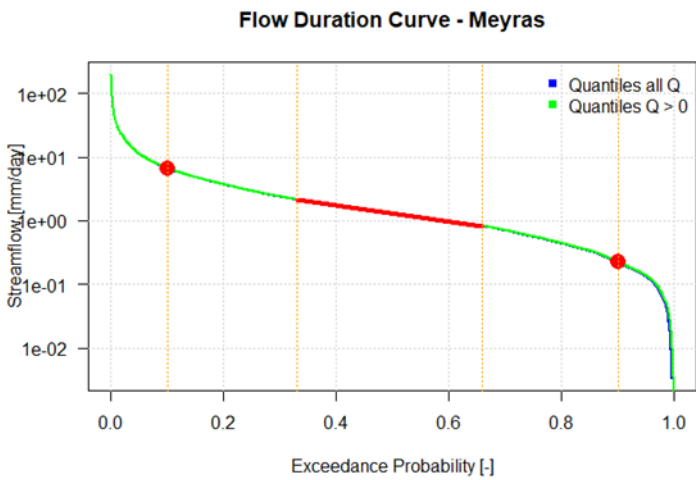
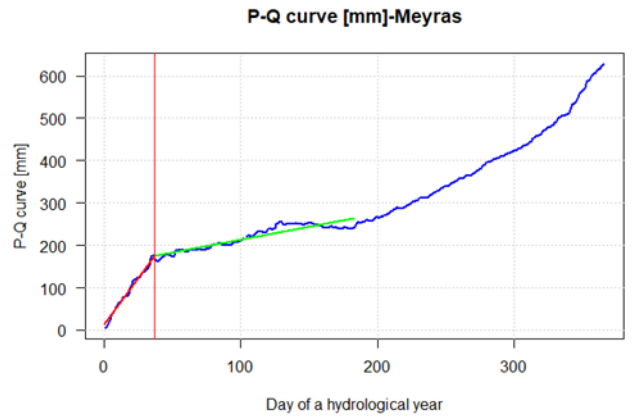
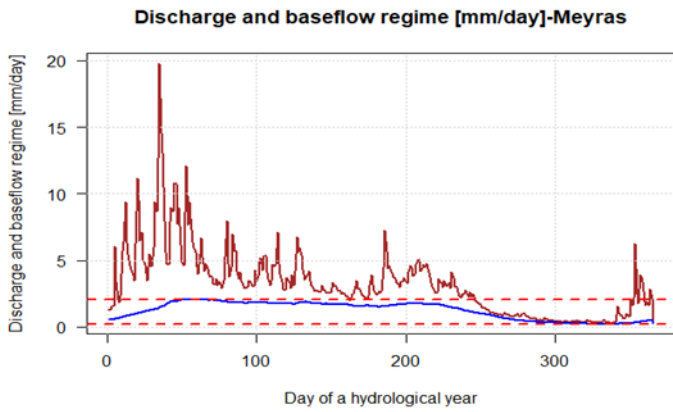
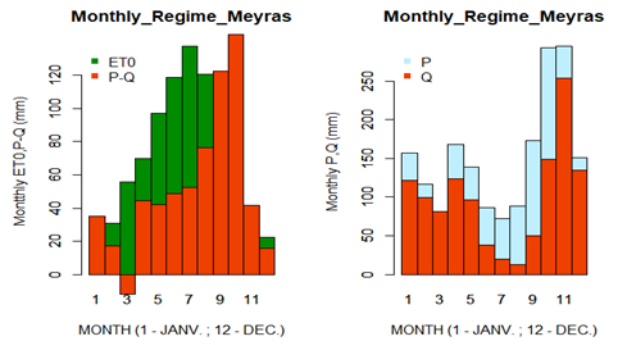
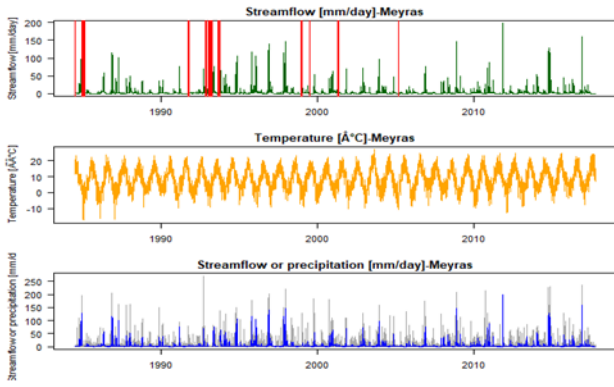
Tableau k : Jeu de données de signatures, de facteurs hydroclimatiques et physiographiques pour Gazel

Le bassin versant de Claduegne



Année hydrologique complète	P-ave	ET0-ave	T-ave	Q-ave	runoff-coef	fdc-slope	fdc-Q10	fdc-Q90	ZeroFR	W2	BFI	BF-magn	REC-early	REC-late
	1131,75	948,94	12,47	537,15	0,47	1,18	2,62	0,13	0,00	0,33	0,29	0,89	4,67	25,88
Dry season	D-P-ave	D-ET0-ave	D-T-ave	D-Q-ave	D-runoff-coef	D-fdc-slope	D-fdc-Q10	D-fdc-Q90	D-ZeroFR	D-W2	D-BFI	D-BF-magn	D-REC-early	D-REC-late
	536,87	687,48	17,90	135,76	0,25	0,90	1,19	0,09	0,00	0,35	0,35	0,77	5,87	18,95
Wet season	W-P-ave	W-ET0-ave	W-T-ave	W-Q-ave	W-runoff-coef	W-fdc-slope	W-fdc-Q10	W-fdc-Q90	W-ZeroFR	W-W2	W-BFI	W-BF-magn	W-REC-early	W-REC-late
	602,93	262,75	6,93	404,28	0,67	0,96	4,42	0,35	0,00	0,29	0,26	0,49	3,97	25,85
Mean_élev	Mean_slope	Mean_TWI	Densité de drainage	Indice de Horton	% Urbain	% Agricole	% Forêt	% Prairie	% Eaux & plage	Géologie	Nature_BDLISA	Milieu_BDLISA	Thème_BDLISA	
485,41	10,29	8,40	1,15	0,13	3,55	5,89	30,05	60,28	0,23	marnes-calcaires	semi-permeable	poreux	sedimentaire	

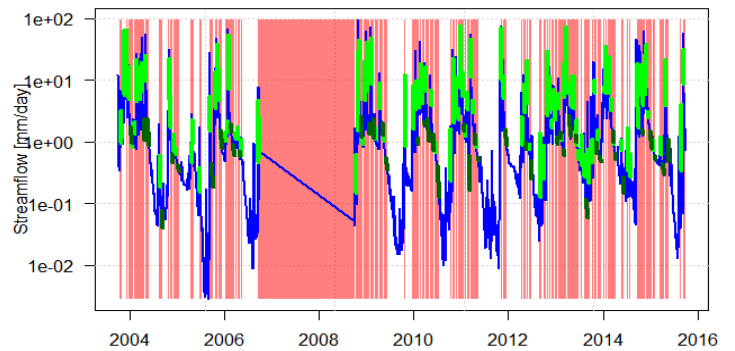
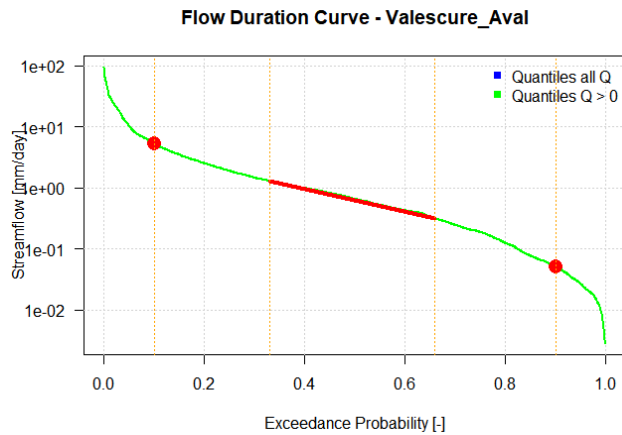
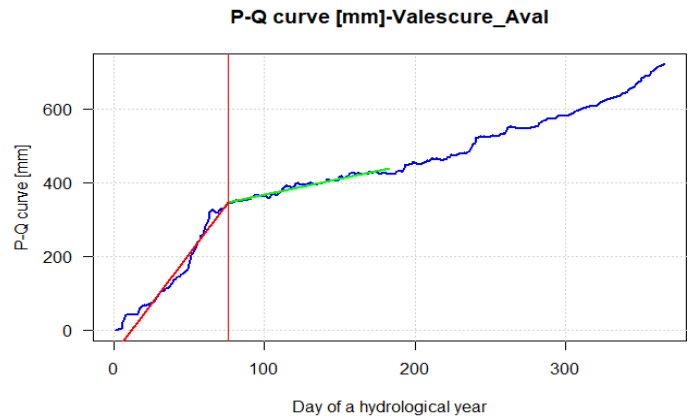
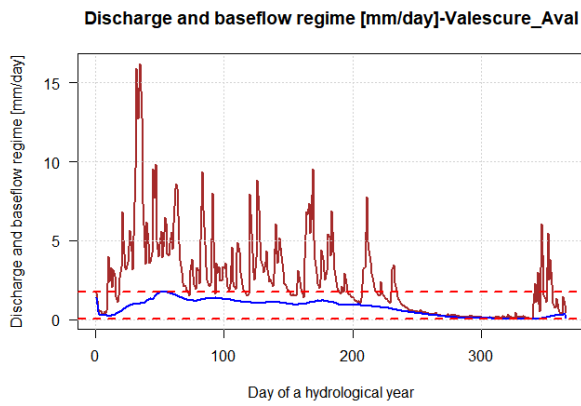
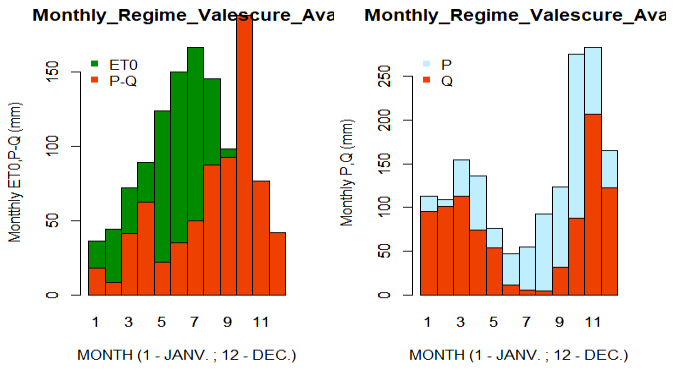
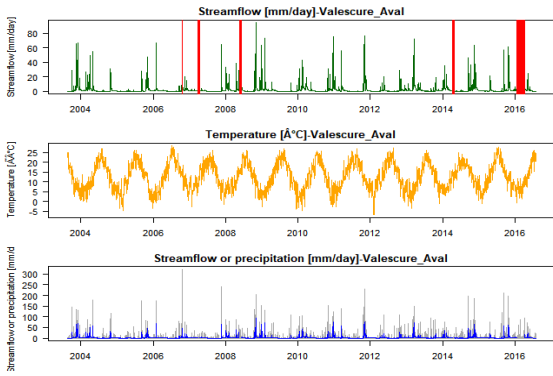
Tableau I : Jeu de données de signatures, de facteurs hydroclimatiques et physiographiques pour Claduegne



Année hydrologique complète	P-ave	ETO-ave	T-ave	Q-ave	runoff-coef	fdc-slope	fdc-Q10	fdc-Q90	ZeroFR	W2	BFI	BF-magn	REC-early	REC-late
	1810,26	829,25	8,58	1180,53	0,65	1,26	6,70	0,23	0,00	0,28	0,38	0,89	6,81	21,13
Dry season	D-P-ave	D-ETO-ave	D-T-ave	D-Q-ave	D-runoff-coef	D-fdc-slope	D-fdc-Q10	D-fdc-Q90	D-ZeroFR	D-W2	D-BFI	D-BF-magn	D-REC-early	D-REC-late
	854,52	602,11	13,74	367,71	0,43	1,45	4,04	0,14	0,00	0,33	0,34	0,84	7,88	18,77
Wet season	W-P-ave	W-ETO-ave	W-T-ave	W-Q-ave	W-runoff-coef	W-fdc-slope	W-fdc-Q10	W-fdc-Q90	W-ZeroFR	W-W2	W-BFI	W-BF-magn	W-REC-early	W-REC-late
	967,66	231,67	3,36	821,04	0,85	1,07	8,80	0,79	0,00	0,25	0,40	0,39	6,14	23,66

Mean_élev	Mean_slope	Mean_TWI	Densité de drainage	Indice de Horton	% Urbain	% Agricole	% Forêt	% Prairie	% Eaux & plage	Géologie	Nature_BDLISA	Milieu_BDLISA	Thème_BDLISA
895,66	23,65	0,23	0,72	0,14	1,60	0,44	86,59	11,29	0,09	gneiss	aquifere	fissure	socle

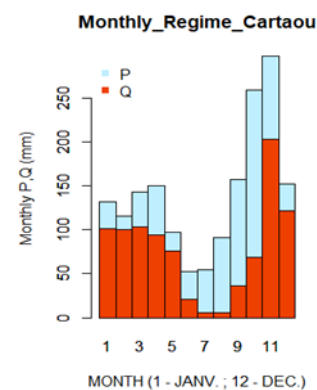
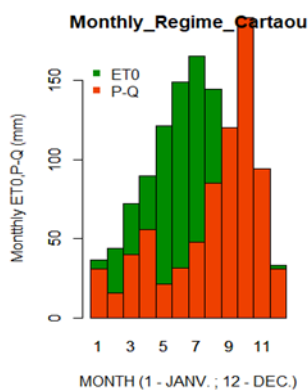
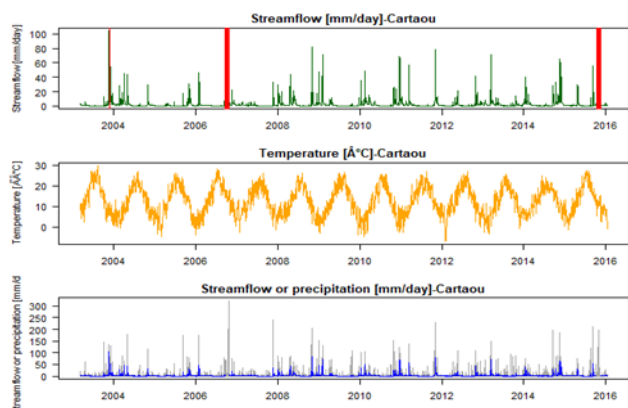
Tableau m : Jeu de données de signatures, de facteurs hydroclimatiques et physiographiques pour Meyras



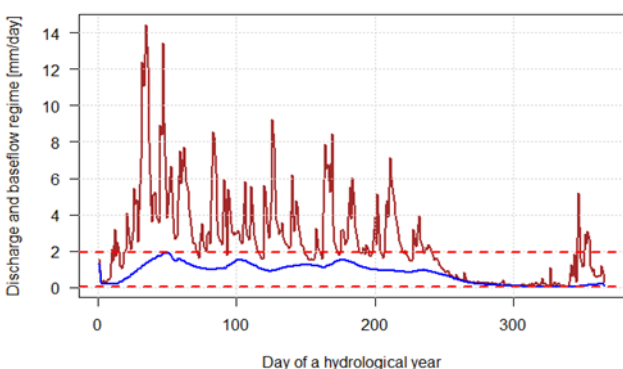
Année hydrologique complète	P-ave	ET0-ave	T-ave	Q-ave	runoff-coef	fdc-slope	fdc-Q10	fdc-Q90	ZeroFR	W2	BFI	BF-magn	REC-early	REC-late													
		1675,70	1053,65	12,46	926,12	0,55	1,88	5,20	0,05	0,00	0,32	0,30	0,99	3,79	19,38												
Dry season	D-P-ave	D-ET0-ave	D-T-ave	D-Q-ave	D-runoff-coef	D-fdc-slope	D-fdc-Q10	D-fdc-Q90	D-ZeroFR	D-W2	D-BFI	D-BF-magn	D-REC-early	D-REC-late													
	717,55	744,44	17,98	210,55	0,29	2,10	2,06	0,03	0,00	0,40	0,25	0,99	3,50	16,42													
Wet season	W-P-ave	W-ET0-ave	W-T-ave	W-Q-ave	W-runoff-coef	W-fdc-slope	W-fdc-Q10	W-fdc-Q90	W-ZeroFR	W-W2	W-BFI	W-BF-magn	W-REC-early	W-REC-late													
	975,22	312,60	6,86	720,69	0,74	1,30	7,82	0,34	0,00	0,26	0,29	0,52	3,70	19,89													
Mean_élev	504,12	Mean_slope	27,34	Mean_TWI	7,95	Densité de drainage	1,27	Indice de Horton	0,28	% Urbain	0,06	% Agricole	0,01	% Forêt	92,96	% Prairie	6,96	% Eaux & plage	0,01	Géologie	granite	Nature_BDLISA	semi-permeable	Milieu_BDLISA	matrice/fissure	Thème_BDLISA	socle

Tableau n : Jeu de données de signatures, de facteurs hydroclimatiques et physiographiques pour Valescure_Aval

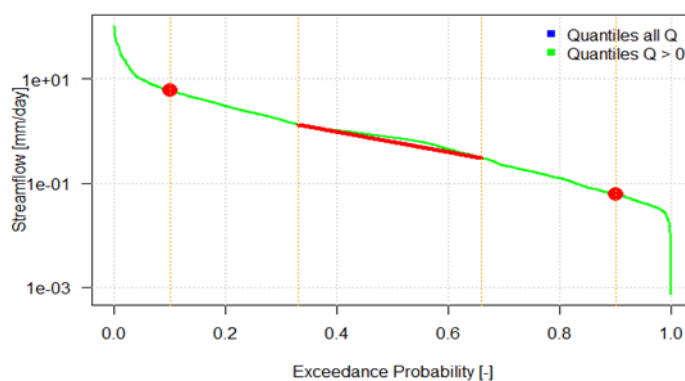
Le bassin versant de Cartau



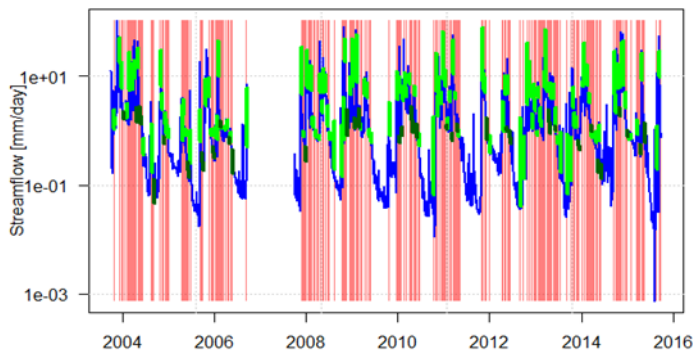
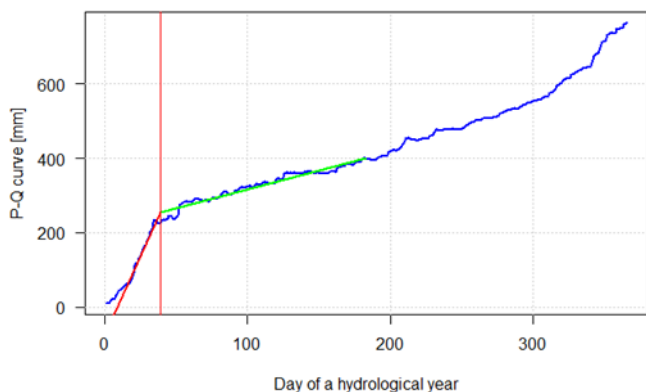
Discharge and baseflow regime [mm/day]-Cartau



Flow Duration Curve - Cartau



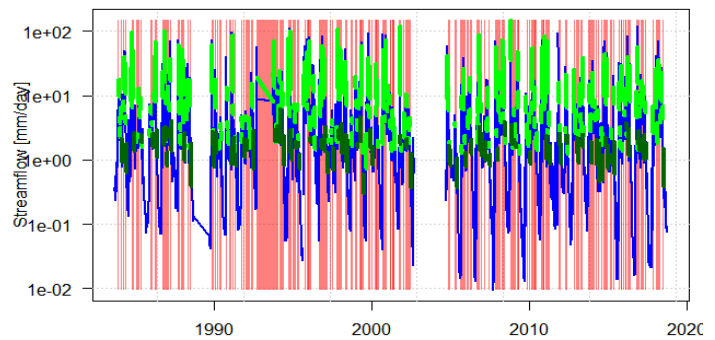
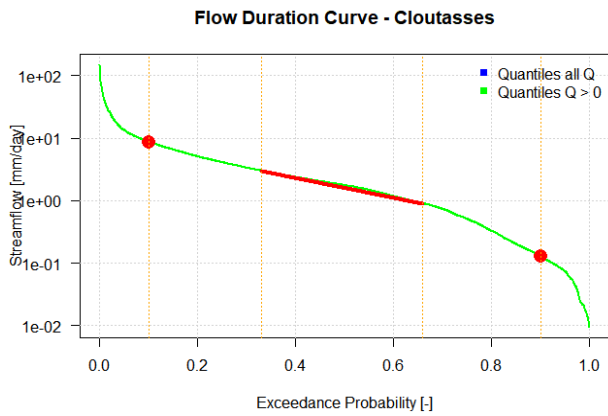
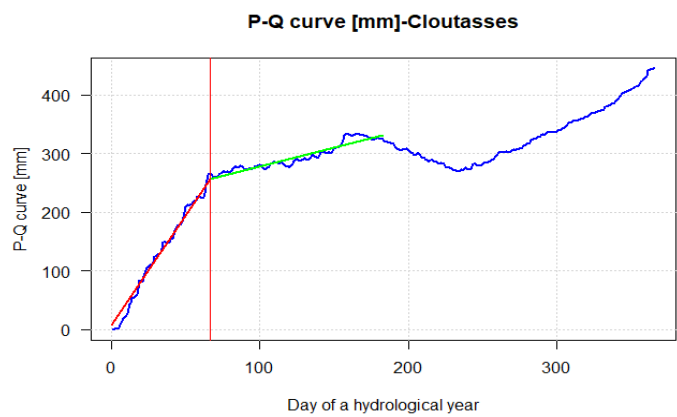
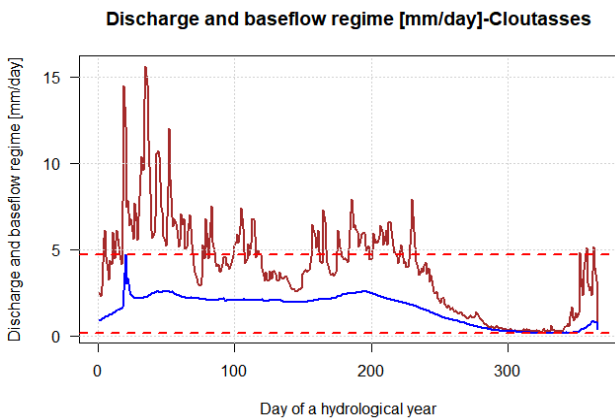
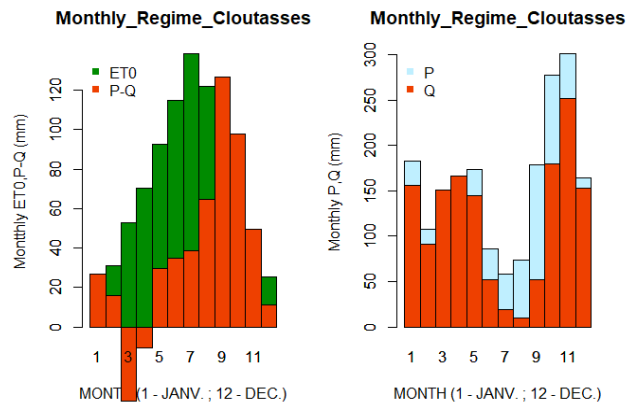
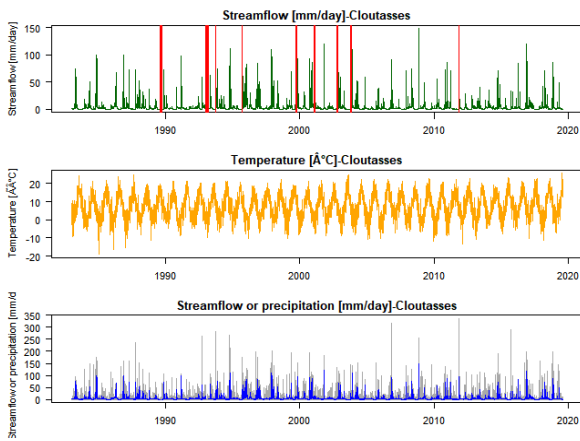
P-Q curve [mm]-Cartau



Année hydrologique complète	P-ave	ET0-ave	T-ave	Q-ave	runoff-coef	fdc-slope	fdc-Q10	fdc-Q90	ZeroFR	W2	BFI	BF-magn	REC-early	REC-late
	1697,92	1052,11	12,43	938,72	0,55	1,96	5,88	0,06	0,00	0,32	0,31	0,98	5,92	16,96
Dry season	D-P-ave	D-ET0-ave	D-T-ave	D-Q-ave	D-runoff-coef	D-fdc-slope	D-fdc-Q10	D-fdc-Q90	D-ZeroFR	D-W2	D-BFI	D-BF-magn	D-REC-early	D-REC-late
	710,99	740,35	17,90	216,91	0,30	2,07	2,73	0,04	0,00	0,34	0,28	0,98	4,04	13,90
Wet season	W-P-ave	W-ET0-ave	W-T-ave	W-Q-ave	W-runoff-coef	W-fdc-slope	W-fdc-Q10	W-fdc-Q90	W-ZeroFR	W-W2	W-BFI	W-BF-magn	W-REC-early	W-REC-late
	1004,32	315,19	6,89	727,72	0,73	1,41	8,01	0,32	0,00	0,26	0,32	0,52	5,84	16,28
Mean_élev	Mean_slope	Mean TWI	Densité de drainage	Indice de Horton	% Urbain	% Agricole	% Forêt	% Prairie	% Eaux & plage	Géologie	Nature_BDLISA	Milieu_BDLISA	Thème_BDLISA	
632,07	31,57	8,07	0,95	0,49	2,17	0,49	57,96	39,38	0,00	granite	semi-permeable	matrice/fissure	socle	

Tableau o : Jeu de données de signatures, de facteurs hydroclimatiques et physiographiques pour Cartau

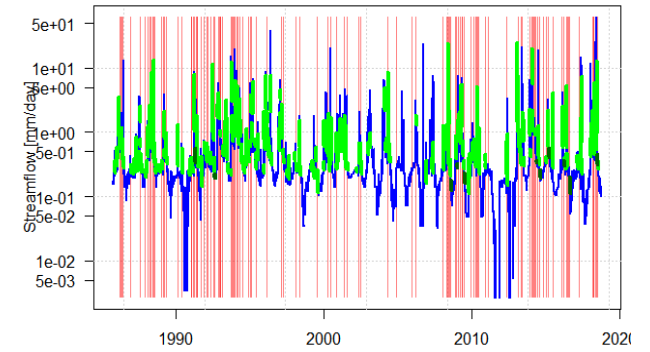
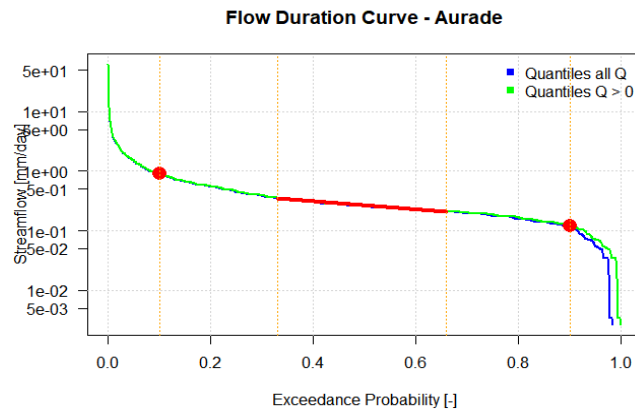
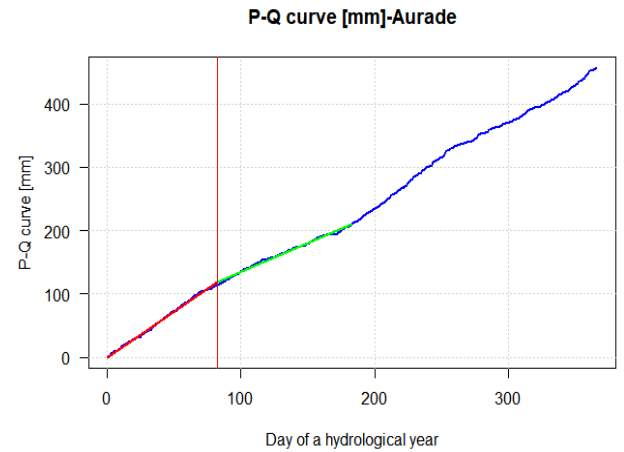
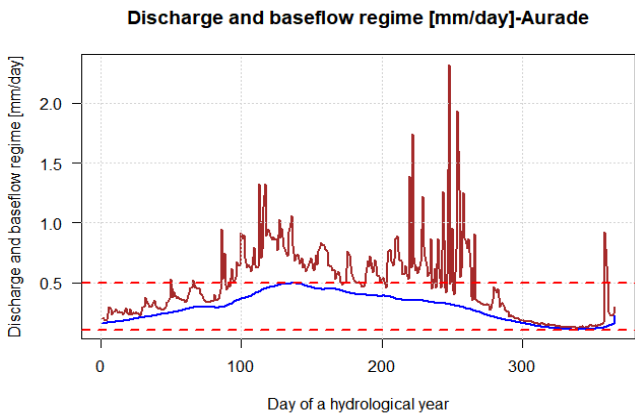
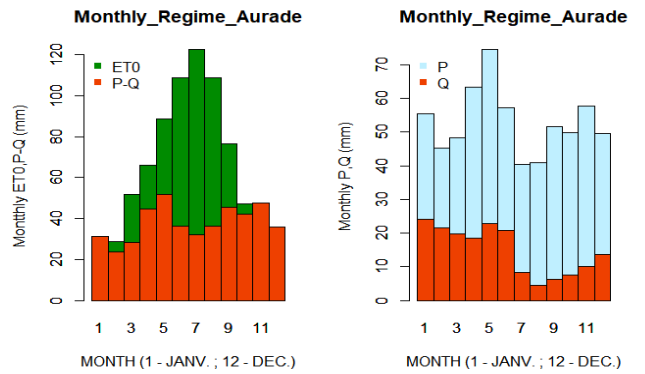
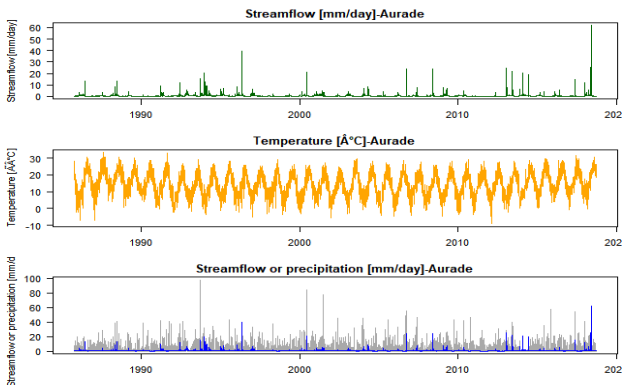
Le bassin versant de Cloutasses



Année hydrologique complète	P-ave	ET0-ave	T-ave	Q-ave	runoff-coef	fdc-slope	fdc-Q10	fdc-Q90	ZeroFR	W2	BFI	BF-magn	REC-early	REC-late
	1859,39	833,77	7,20	1429,33	0,77	1,62	8,70	0,13	0,00	0,25	0,39	0,94	8,78	16,02
Dry season	D-P-ave	D-ET0-ave	D-T-ave	D-Q-ave	D-runoff-coef	D-fdc-slope	D-fdc-Q10	D-fdc-Q90	D-ZeroFR	D-W2	D-BFI	D-BF-magn	D-REC-early	D-REC-late
	837,89	599,94	12,20	458,53	0,55	2,35	6,13	0,08	0,00	0,29	0,33	0,91	8,23	13,89
Wet season	W-P-ave	W-ET0-ave	W-T-ave	W-Q-ave	W-runoff-coef	W-fdc-slope	W-fdc-Q10	W-fdc-Q90	W-ZeroFR	W-W2	W-BFI	W-BF-magn	W-REC-early	W-REC-late
	1042,77	236,38	2,11	975,70	0,95	1,06	10,60	0,86	0,00	0,22	0,42	0,41	8,50	17,70
Mean_élev	Mean_slope	Mean_TWI	Densité de drainage	Indice de Horton	% Urbain	% Agricole	% Forêt	% Prairie	% Eaux & plage	Géologie	Nature_BDLISA	Milieu_BDLISA	Thème_BDLISA	
1394,39	9,24	8,14	0,44	0,21	0,49	0,00	41,87	57,64	0,00	granite	semi-permeable	fissure	socle	

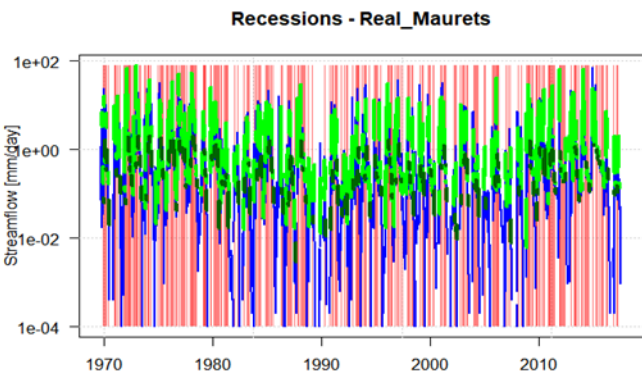
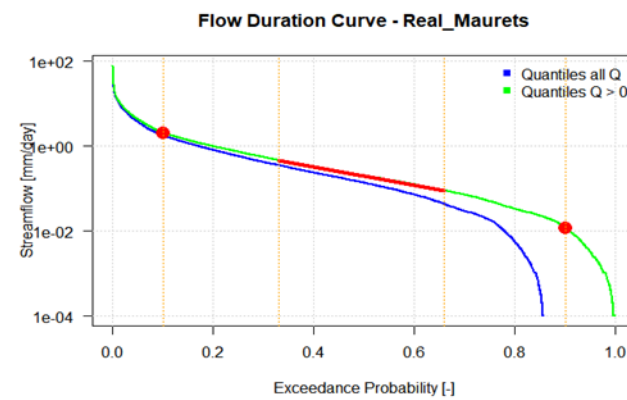
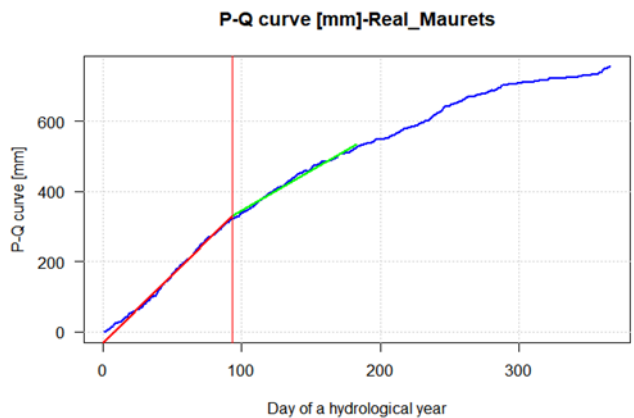
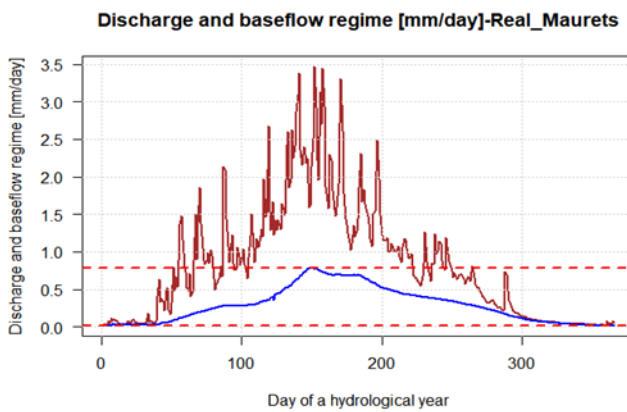
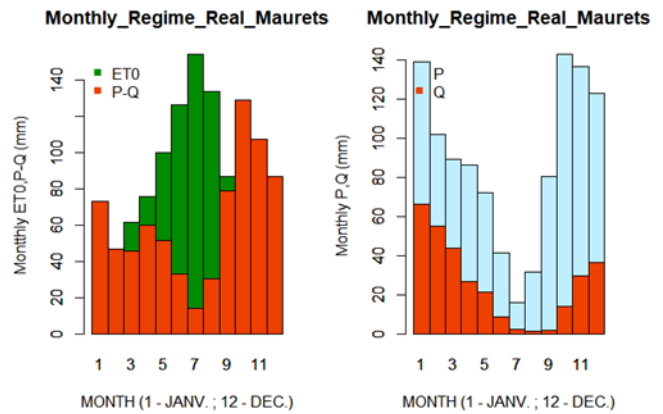
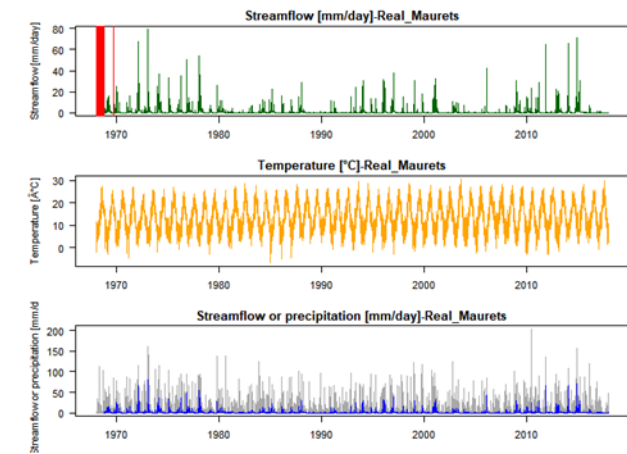
Tableau p : Jeu de données de signatures, de facteurs hydroclimatiques et physiographiques pour Cloutasses

Le bassin versant d'Auradé



Année hydrologique complète	P-ave	ET0-ave	T-ave	Q-ave	runoff-coef	fdc-slope	fdc-Q10	fdc-Q90	ZeroFR	W2	BFI	BF-magn	REC-early	REC-late
	633,88	765,72	13,96	178,41	0,28	0,65	0,91	0,12	0,02	0,24	0,59	0,79	8,83	35,13
Dry season	D-P-ave	D-ET0-ave	D-T-ave	D-Q-ave	D-runoff-coef	D-fdc-slope	D-fdc-Q10	D-fdc-Q90	D-ZeroFR	D-W2	D-BFI	D-BF-magn	D-REC-early	D-REC-late
	315,34	555,00	19,08	70,76	0,22	0,67	0,59	0,07	0,03	0,32	0,53	0,70	8,68	35,35
Wet season	W-P-ave	W-ET0-ave	W-T-ave	W-Q-ave	W-runoff-coef	W-fdc-slope	W-fdc-Q10	W-fdc-Q90	W-ZeroFR	W-W2	W-BFI	W-BF-magn	W-REC-early	W-REC-late
	322,95	213,36	8,75	108,28	0,34	0,88	1,14	0,19	0,00	0,18	0,62	0,62	8,50	29,75
Mean_élev	Mean_slope	Mean_TWI	Densité de drainage	Indice de Horton	% Urbain	% Agricole	% Forêt	% Prairie	% Eaux & plage	Géologie	Nature_BDLISA	Milieu_BDLISA	Thème_BDLISA	
221,34	7,29	8,10	1,20	0,26	7,84	87,91	1,58	2,61	0,06	marnes-calcaires	semi-permeable	poreux	sedimentaire	

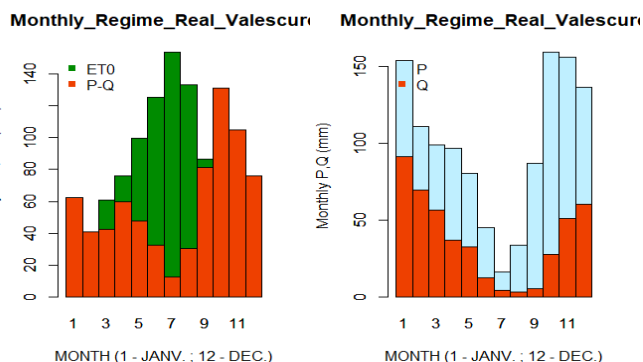
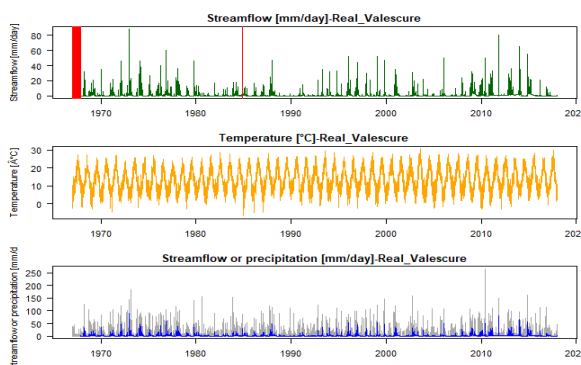
Tableau q : Jeu de données de signatures, de facteurs hydroclimatiques et physiographiques pour Auradé



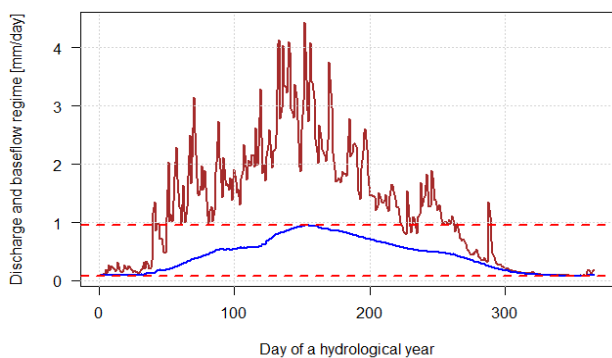
Année hydrologique complète	P-ave	ET0-ave	T-ave	Q-ave	runoff-coef	fdc-slope	fdc-Q10	fdc-Q90	ZeroFR	W2	BFI	BF-magn	REC-early	REC-late
	1057,23	934,63	13,32	305,64	0,29	2,17	2,08	0,01	0,14	0,37	0,34	0,98	5,16	21,86
Dry season	D-P-ave	D-ET0-ave	D-T-ave	D-Q-ave	D-runoff-coef	D-fdc-slope	D-fdc-Q10	D-fdc-Q90	D-ZeroFR	D-W2	D-BFI	D-BF-magn	D-REC-early	D-REC-late
	381,05	656,78	18,47	48,82	0,13	2,17	0,68	0,00	0,26	0,43	0,36	0,93	6,83	14,49
Wet season	W-P-ave	W-ET0-ave	W-T-ave	W-Q-ave	W-runoff-coef	W-fdc-slope	W-fdc-Q10	W-fdc-Q90	W-ZeroFR	W-W2	W-BFI	W-BF-magn	W-REC-early	W-REC-late
	678,08	280,70	8,09	257,98	0,38	2,06	3,42	0,03	0,02	0,29	0,33	0,82	4,17	22,82
Mean_elev	Mean_slope	Mean_TWI	Densité de drainage	Indice de Horton	% Urbain	% Agricole	% Forêt	% Prairie	% Eaux & plage	Géologie	Nature_BDLISA	Milieu_BDLISA	Thème_BDLISA	
444,46	21,92	8,08	1,00	0,15	0,46	0,37	96,69	2,48	0,01	schiste	impermeable	fissure	socle	

Tableau r : Jeu de données de signatures, de facteurs hydroclimatiques et physiographiques pour Real_Maurets

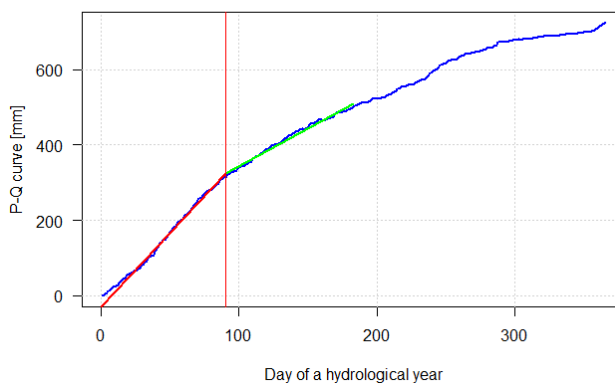
Le bassin versant de Real_Valescure



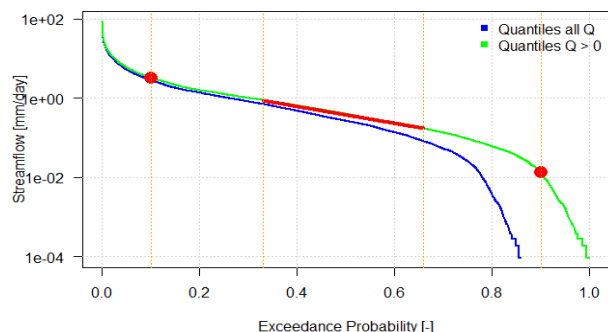
Discharge and baseflow regime [mm/day]-Real_Valescure



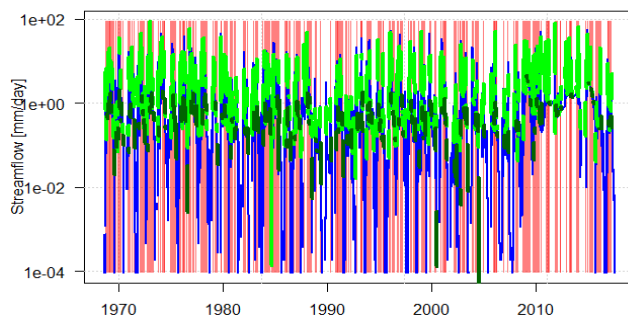
P-Q curve [mm]-Real_Valescure



Flow Duration Curve - Real_Valescure



Recessions - Real_Valescure

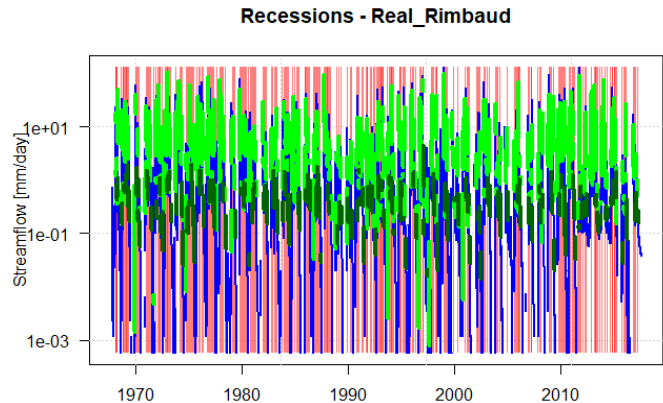
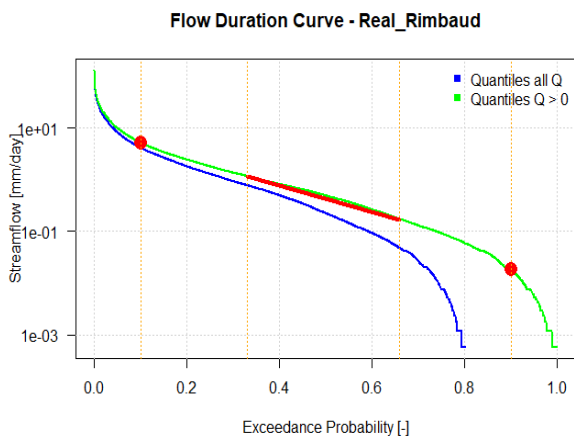
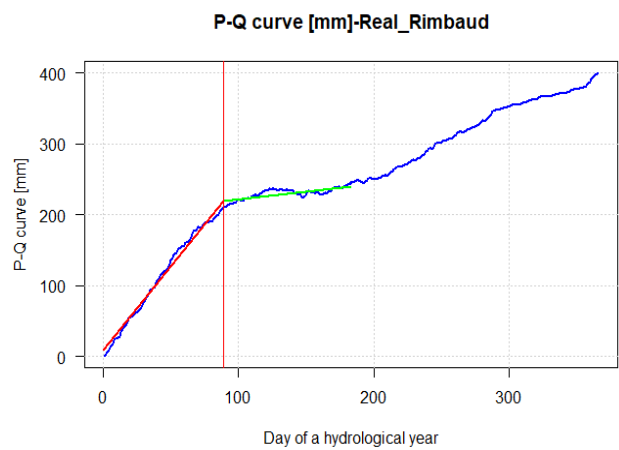
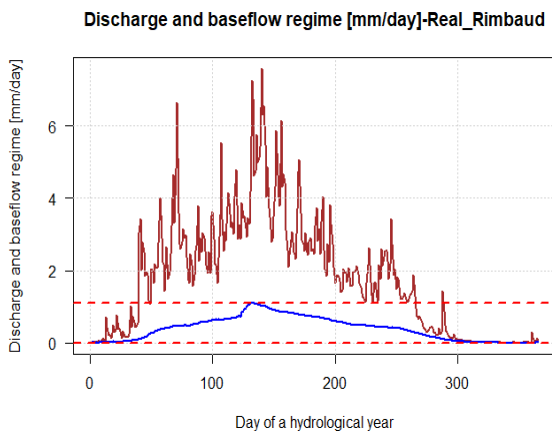
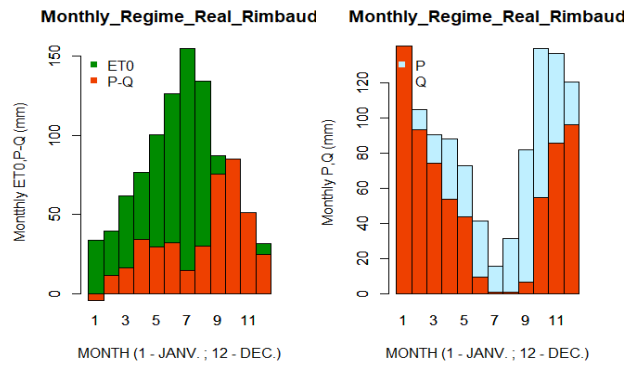
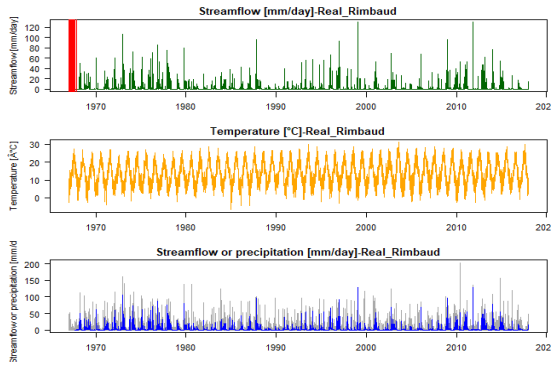


Année hydrologique complète	P-ave	ET0-ave	T-ave	Q-ave	runoff-coef	fdc-slope	fdc-Q10	fdc-Q90	ZeroFR	W2	BFI	BF-magn	REC-early	REC-late
		1168,69	933,27	13,30	448,66	0,38	2,19	3,24	0,01	0,14	0,33	0,35	0,91	4,76
Dry season	D-P-ave	D-ET0-ave	D-T-ave	D-Q-ave	D-runoff-coef	D-fdc-slope	D-fdc-Q10	D-fdc-Q90	D-ZeroFR	D-W2	D-BFI	D-BF-magn	D-REC-early	D-REC-late
	417,29	655,83	18,45	85,03	0,20	2,67	1,40	0,00	0,27	0,39	0,38	0,79	4,67	11,38
Wet season	W-P-ave	W-ET0-ave	W-T-ave	W-Q-ave	W-runoff-coef	W-fdc-slope	W-fdc-Q10	W-fdc-Q90	W-ZeroFR	W-W2	W-BFI	W-BF-magn	W-REC-early	W-REC-late
	753,65	280,15	8,07	365,30	0,48	1,75	4,70	0,09	0,01	0,25	0,32	0,72	4,02	19,46

Mean_élev	Mean_slope	Mean_TWI	Densité de drainage	Indice de Horton	% Urbain	% Agricole	% Forêt	% Prairie	% Eaux & plage	Géologie	Nature_BDLISA	Milieu_BDLISA	Thème_BDLISA
464,99	29,91	8,05	1,02	0,21	0,36	0,11	97,04	2,46	0,03	schiste	impermeable	fissure	socle

Tableau 5 : Jeu de données de signatures, de facteurs hydroclimatiques et physiographiques pour Real_Valescure

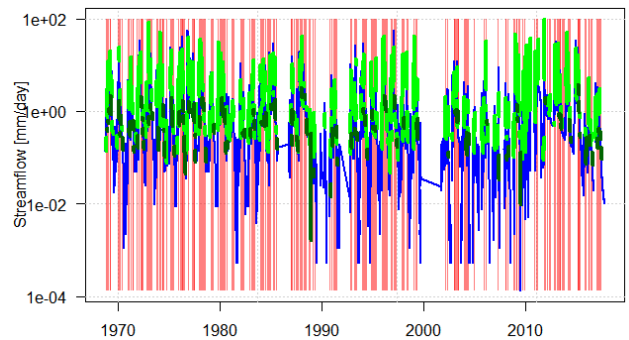
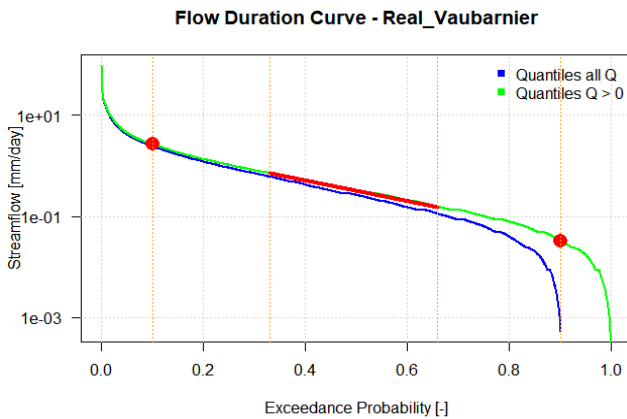
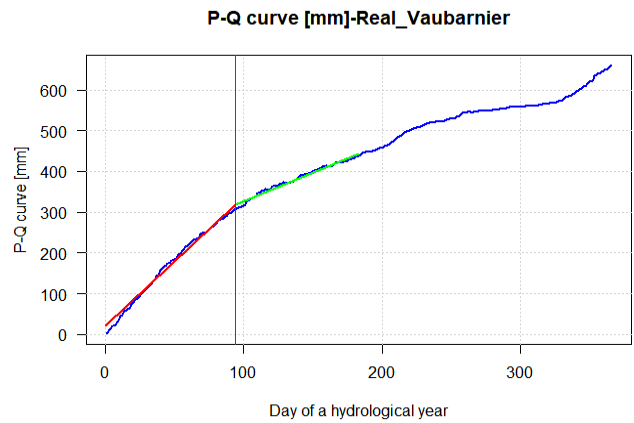
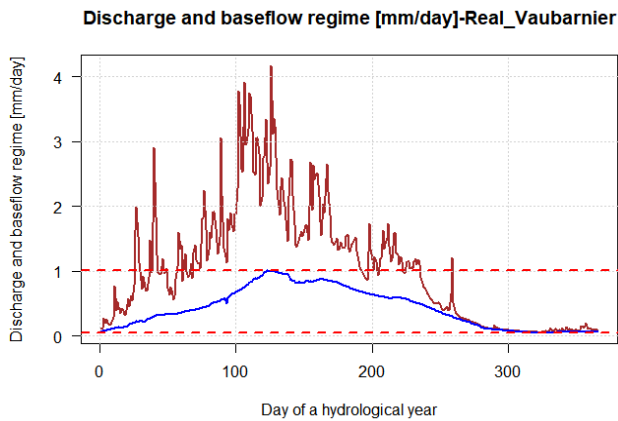
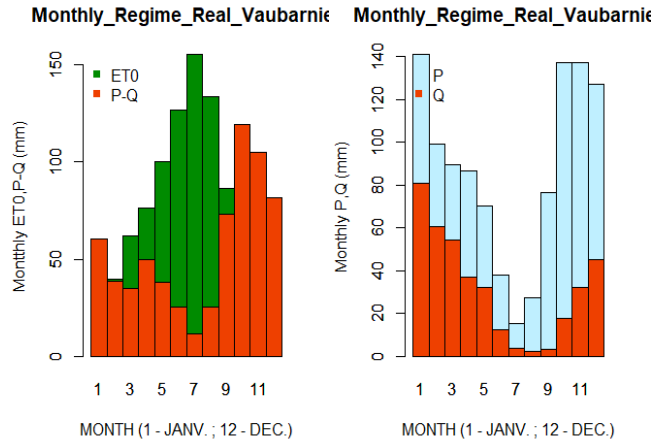
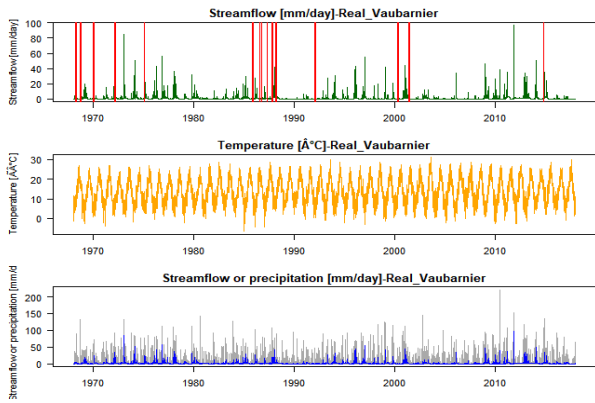
Le bassin versant de Real_Rimbaud



Année hydrologique complète	P-ave	ET0-ave	T-ave	Q-ave	runoff-coef	fdc-slope	fdc-Q10	fdc-Q90	ZeroFR	W2	BFI	BF-magn	REC-early	REC-late
	1060,26	939,17	13,57	659,43	0,62	2,54	5,17	0,02	0,20	0,36	0,22	0,99	4,24	13,44
Dry season	D-P-ave	D-ET0-ave	D-T-ave	D-Q-ave	D-runoff-coef	D-fdc-slope	D-fdc-Q10	D-fdc-Q90	D-ZeroFR	D-W2	D-BFI	D-BF-magn	D-REC-early	D-REC-late
	382,85	659,18	18,74	116,50	0,30	2,25	1,82	0,01	0,35	0,54	0,15	0,98	4,61	10,86
Wet season	W-P-ave	W-ET0-ave	W-T-ave	W-Q-ave	W-runoff-coef	W-fdc-slope	W-fdc-Q10	W-fdc-Q90	W-ZeroFR	W-W2	W-BFI	W-BF-magn	W-REC-early	W-REC-late
	679,39	282,73	8,32	545,20	0,80	1,68	7,23	0,12	0,04	0,28	0,21	0,73	3,94	13,99

Mean_élev	Mean_slope	Mean_TWI	Densité de drainage	Indice de Horton	% Urbain	% Agricole	% Forêt	% Prairie	% Eaux & plage	Géologie	Nature_BDLISA	Milieu_BDLISA	Thème_BDLISA
546,87	12,87	7,80	1,30	0,52	0,06	0,03	94,01	5,91	0,00	gneiss	impermeable	fissure	socle

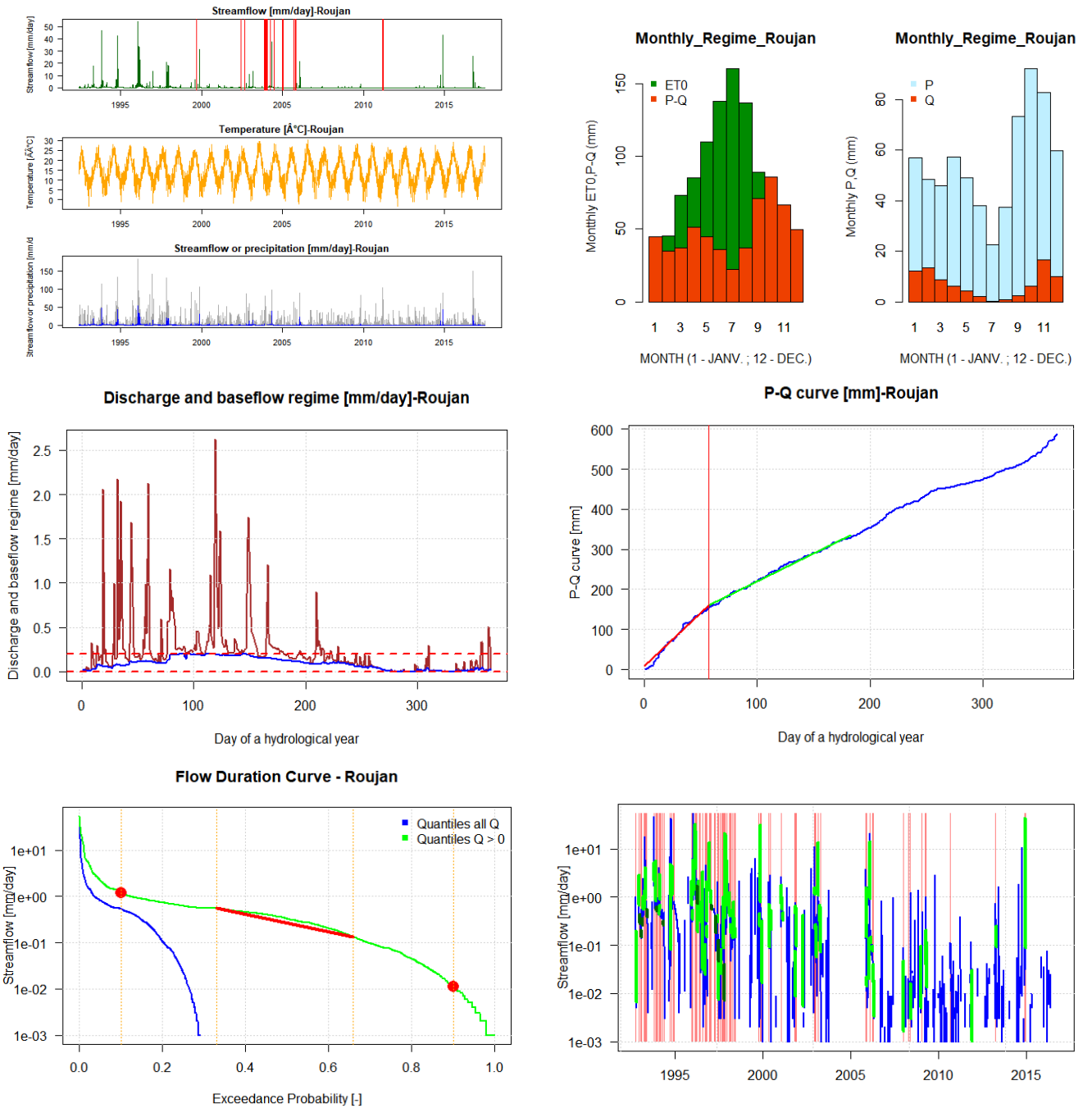
Tableau t : Jeu de données de signatures, de facteurs hydroclimatiques et physiographiques pour Real_Rimbaud



Année hydrologique complète	P-ave	ET0-ave	T-ave	Q-ave	runoff-coef	fdc-slope	fdc-Q10	fdc-Q90	ZeroFR	W2	BFI	BF-magn	REC-early	REC-late
	1044,88	937,57	13,57	385,44	0,37	2,03	2,65	0,03	0,10	0,32	0,41	0,95	5,40	22,90
Dry season	D-P-ave	D-ET0-ave	D-T-ave	D-Q-ave	D-runoff-coef	D-fdc-slope	D-fdc-Q10	D-fdc-Q90	D-ZeroFR	D-W2	D-BFI	D-BF-magn	D-REC-early	D-REC-late
	363,86	658,88	18,73	71,80	0,20	1,55	0,96	0,02	0,17	0,34	0,48	0,90	6,77	20,80
Wet season	W-P-ave	W-ET0-ave	W-T-ave	W-Q-ave	W-runoff-coef	W-fdc-slope	W-fdc-Q10	W-fdc-Q90	W-ZeroFR	W-W2	W-BFI	W-BF-magn	W-REC-early	W-REC-late
	682,86	281,40	8,33	315,21	0,46	1,74	3,87	0,08	0,02	0,26	0,37	0,75	4,30	24,07
Mean_élev	Mean_slope	Mean_TWI	Densité de drainage	Indice de Horton	% Urbain	% Agricole	% Forêt	% Prairie	% Eaux & plage	Géologie	Nature_BDLISA	Milieu_BDLISA	Thème_BDLISA	
384,76	20,15	7,99	1,18	0,24	0,58	0,17	95,97	3,27	0,01	schiste	impermeable	fissure	socle	

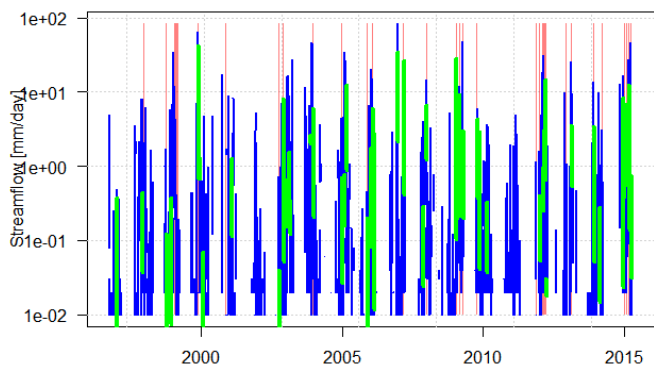
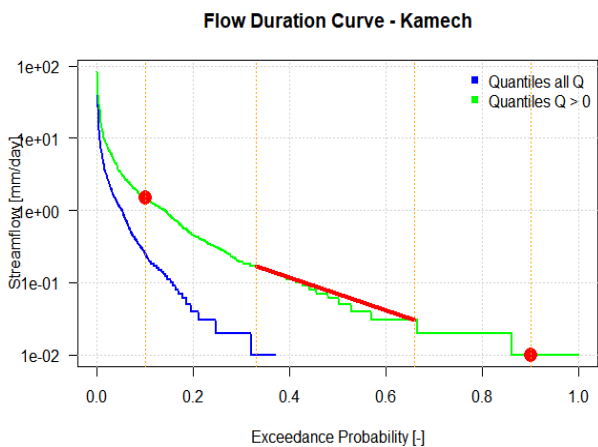
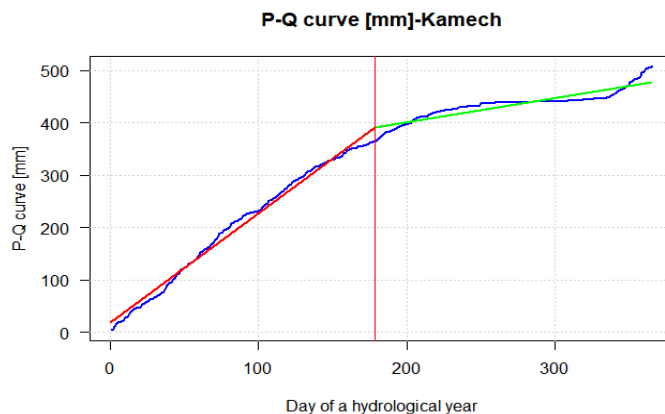
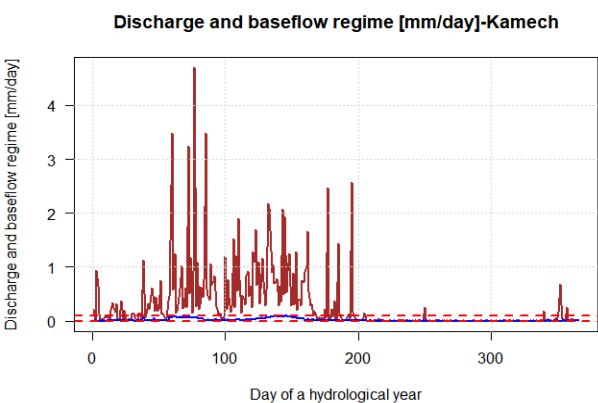
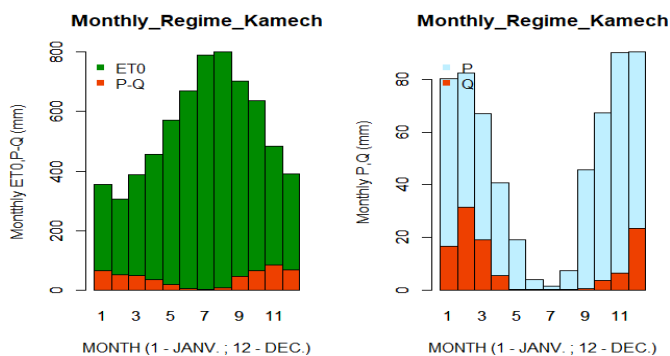
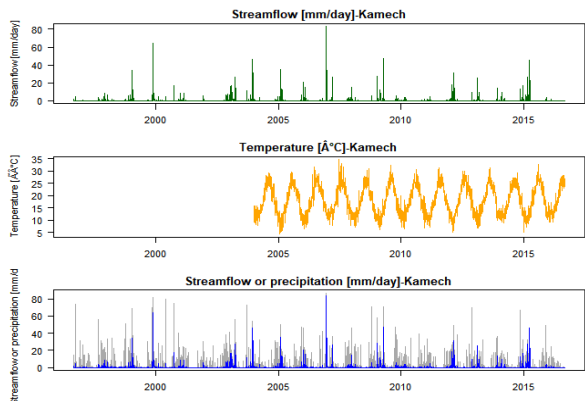
Tableau u : Jeu de données de signatures, de facteurs hydroclimatiques et physiographiques pour Vaubarnier

Le bassin versant de Roujan



Année hydrologique complète	P-ave	ET0-ave	T-ave	Q-ave	runoff-coef	fdc-slope	fdc-Q10	fdc-Q90	ZeroFR	W2	BFI	BF-magn	REC-early	REC-late
	671,06	1003,41	14,67	85,90	0,13	1,94	1,20	0,01	0,71	0,58	0,37	1,00	3,77	29,41
Dry season	D-P-ave	D-ET0-ave	D-T-ave	D-Q-ave	D-runoff-coef	D-fdc-slope	D-fdc-Q10	D-fdc-Q90	D-ZeroFR	D-W2	D-BFI	D-BF-magn	D-REC-early	D-REC-late
	314,07	692,81	19,64	16,03	0,05	2,16	0,90	0,01	0,82	0,66	0,41	1,00	3,91	8,54
Wet season	W-P-ave	W-ET0-ave	W-T-ave	W-Q-ave	W-runoff-coef	W-fdc-slope	W-fdc-Q10	W-fdc-Q90	W-ZeroFR	W-W2	W-BFI	W-BF-magn	W-REC-early	W-REC-late
	363,35	312,92	9,61	70,75	0,19	1,25	1,39	0,02	0,59	0,53	0,38	0,80	3,61	29,41
Mean_élev	Mean_slope	Mean_TWI	Densité de drainage	Indice de Horton	% Urbain	% Agricole	% Forêt	% Prairie	% Eaux & plage	Géologie	Nature_BDLISA	Milieu_BDLISA	Thème_BDLISA	
100,95	4,35	7,66	0,57	0,34	2,97	81,13	4,14	11,11	0,66	marnes-calcaires	semi-permeable	poreux	sedimentaire	

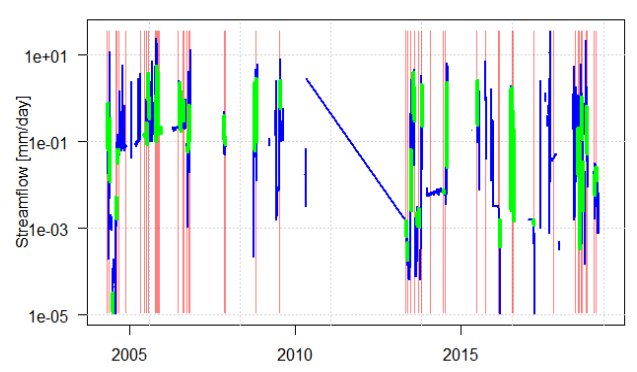
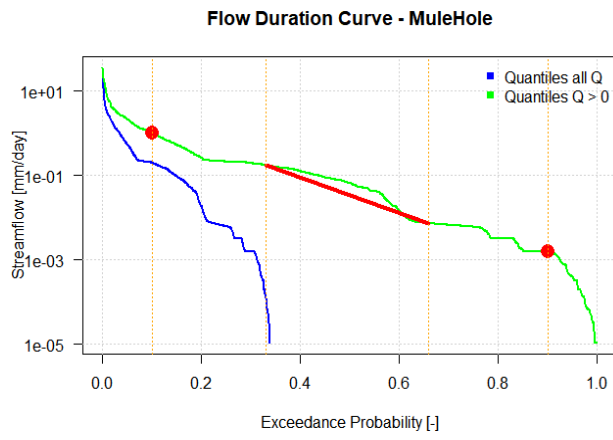
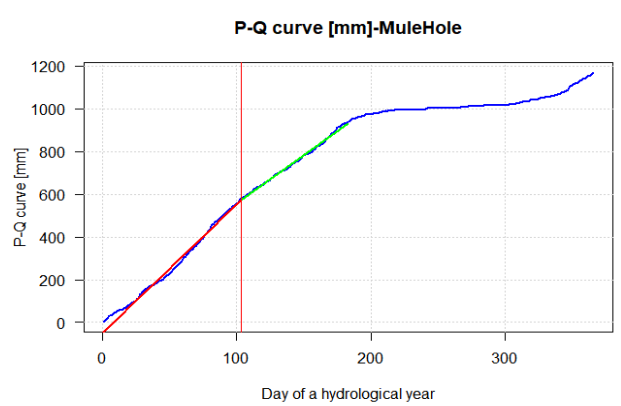
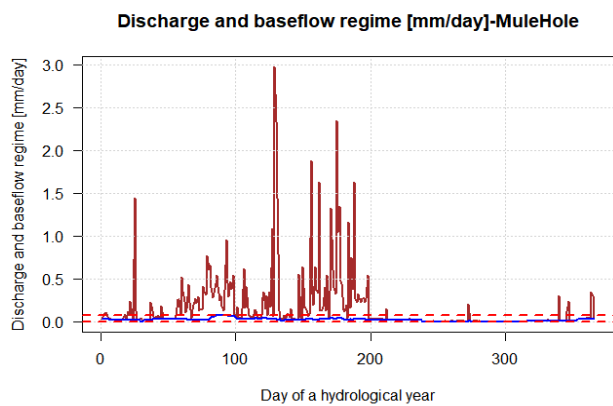
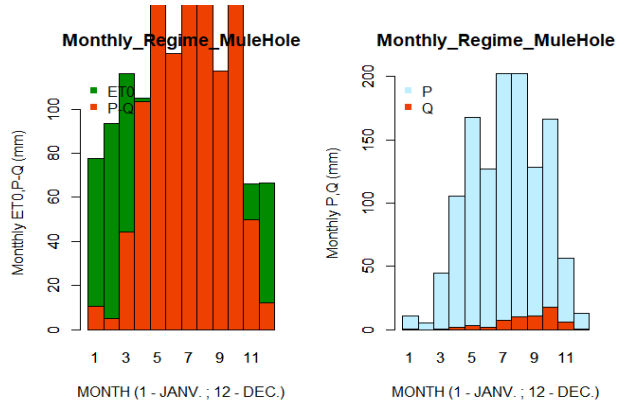
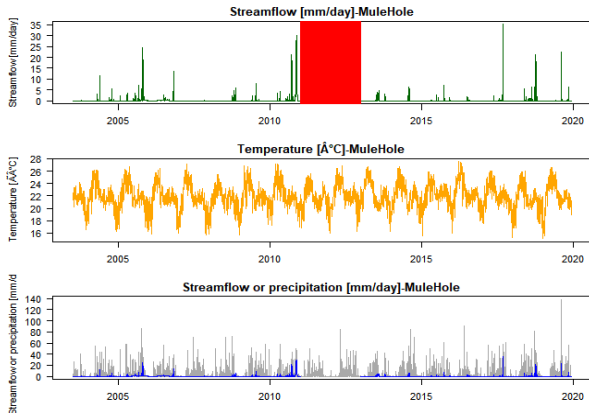
Tableau v : Jeu de données de signatures, de facteurs hydroclimatiques et physiographiques pour Roujan



Année hydrologique complète	P-ave	ET0-ave	T-ave	Q-ave	runoff-coef	fdc-slope	fdc-Q10	fdc-Q90	ZeroFR	W2	BFI	BF-magn	REC-early	REC-late
	619,15	1248,77	17,90	112,55	0,18	2,74	1,47	0,01	0,63	0,70	0,05	1,00	1,60	NA
Dry season	D-P-ave	D-ET0-ave	D-T-ave	D-Q-ave	D-runoff-coef	D-fdc-slope	D-fdc-Q10	D-fdc-Q90	D-ZeroFR	D-W2	D-BFI	D-BF-magn	D-REC-early	D-REC-late
	170,22	881,26	22,65	7,66	0,04	1,45	0,35	0,01	0,86	0,88	0,13	1,00	1,62	NA
Wet season	W-P-ave	W-ET0-ave	W-T-ave	W-Q-ave	W-runoff-coef	W-fdc-slope	W-fdc-Q10	W-fdc-Q90	W-ZeroFR	W-W2	W-BFI	W-BF-magn	W-REC-early	W-REC-late
	448,95	371,43	13,06	104,91	0,23	2,43	1,65	0,01	0,40	0,59	0,07	1,00	1,56	NA

Mean_élev	Mean_slope	Mean_TWI	Densité de drainage	Indice de Horton	% Urbain	% Agricole	% Forêt	% Prairie	% Eaux & plage	Géologie
143,52	6,15	8,08	1,15	0,29	30,00	69,50	0,00	0,00	0,50	marnes-calcaires

Tableau w : Jeu de données de signatures, de facteurs hydroclimatiques et physiographiques pour Kamech

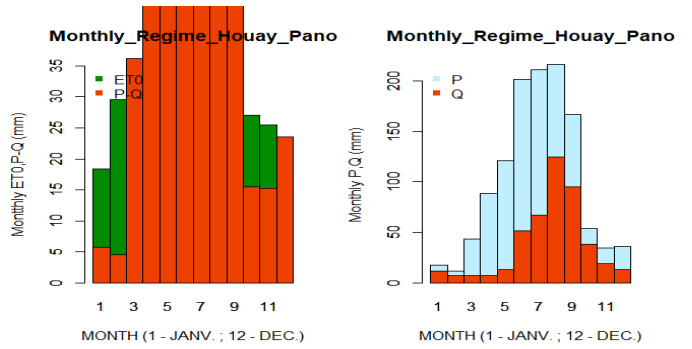
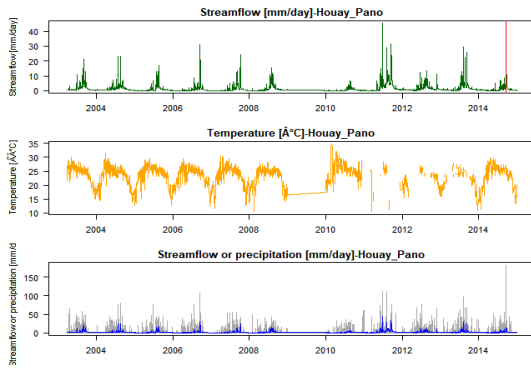


Année hydrologique complète	P-ave	ET0-ave	T-ave	Q-ave	runoff-coef	fdc-slope	fdc-Q10	fdc-Q90	ZeroFR	W2	BFI	BF-magn	REC-early	REC-late
	1227,40	960,18	21,85	59,37	0,05	4,12	0,99	0,00	0,66	0,66	0,12	0,99	2,74	NA
Dry season	D-P-ave	D-ET0-ave	D-T-ave	D-Q-ave	D-runoff-coef	D-fdc-slope	D-fdc-Q10	D-fdc-Q90	D-ZeroFR	D-W2	D-BFI	D-BF-magn	D-REC-early	D-REC-late
	236,65	518,23	21,60	9,09	0,04	3,05	0,21	0,00	0,74	0,79	0,18	0,98	5,82	NA
Wet season	W-P-ave	W-ET0-ave	W-T-ave	W-Q-ave	W-runoff-coef	W-fdc-slope	W-fdc-Q10	W-fdc-Q90	W-ZeroFR	W-W2	W-BFI	W-BF-magn	W-REC-early	W-REC-late
	990,76	441,95	22,09	50,27	0,05	2,25	1,29	0,00	0,58	0,57	0,09	0,96	1,89	NA

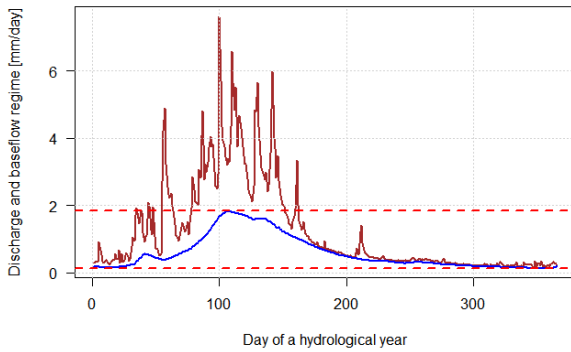
Mean_élev	Mean_slope	Mean_TWI	Densité de drainage	Indice de Horton	% Urbain	% Agricole	% Forêt	% Prairie	% Eaux & plage	Géologie
859,12	4,08	8,15	1,26	0,37	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	gneiss

Tableau x : Jeu de données de signatures, de facteurs hydroclimatiques et physiographiques pour MuleHole

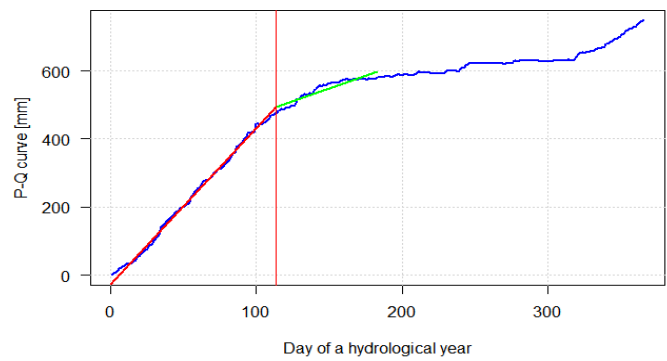
Le bassin versant de Houay-Pano



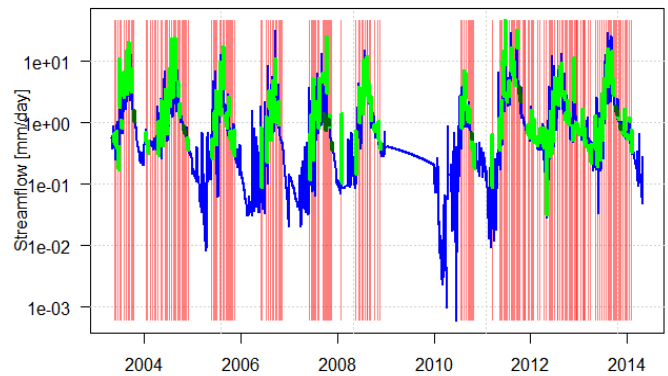
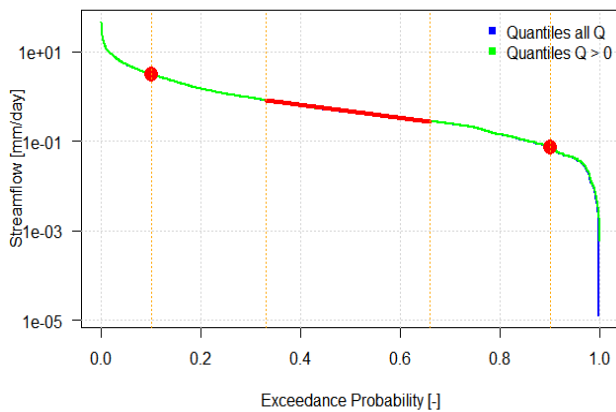
Discharge and baseflow regime [mm/day]-Houay_Pano



P-Q curve [mm]-Houay_Pano



Flow Duration Curve - Houay_Pano

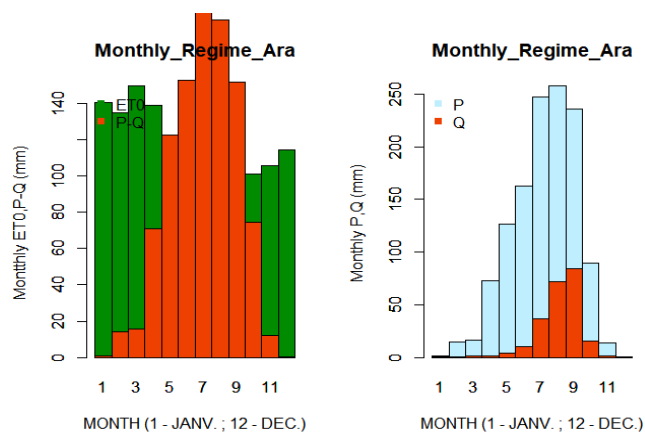
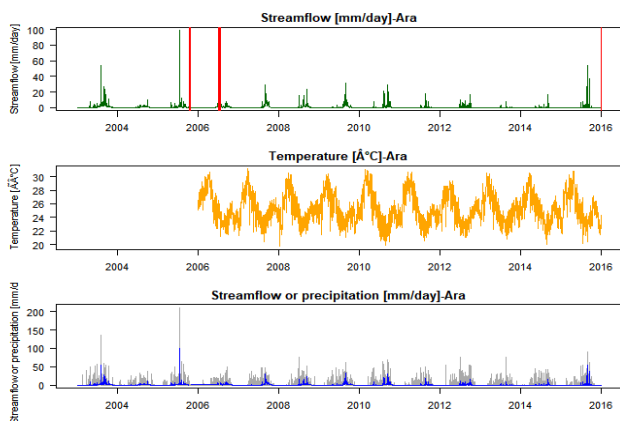


Année hydrologique complète	P-ave	ET0-ave	T-ave	Q-ave	runoff-coef	fdc-slope	fdc-Q10	fdc-Q90	ZeroFR	W2	BFI	BF-magn	REC-early	REC-late
	1200,94	674,55	22,66	454,11	0,38	1,39	3,04	0,07	0,00	0,24	0,47	0,93	4,92	36,56
Dry season	D-P-ave	D-ET0-ave	D-T-ave	D-Q-ave	D-runoff-coef	D-fdc-slope	D-fdc-Q10	D-fdc-Q90	D-ZeroFR	D-W2	D-BFI	D-BF-magn	D-REC-early	D-REC-late
	230,75	329,64	21,08	64,58	0,28	1,27	0,72	0,04	0,00	0,12	0,72	0,70	9,63	19,07
Wet season	W-P-ave	W-ET0-ave	W-T-ave	W-Q-ave	W-runoff-coef	W-fdc-slope	W-fdc-Q10	W-fdc-Q90	W-ZeroFR	W-W2	W-BFI	W-BF-magn	W-REC-early	W-REC-late
	970,18	344,91	24,23	389,53	0,40	1,57	5,09	0,16	0,00	0,18	0,42	0,92	4,35	19,72

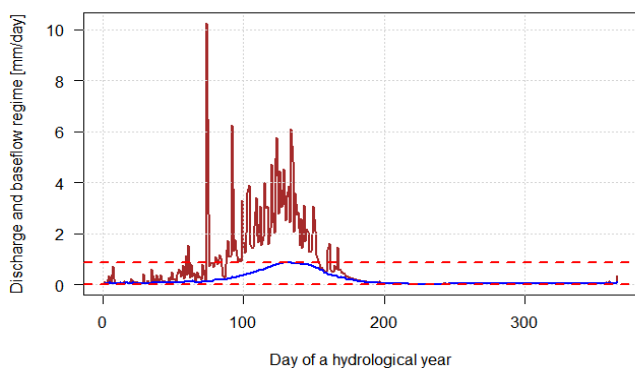
Mean_élev	Mean_slope	Mean_TWI	Densité de drainage	Indice de Horton	% Urbain	% Agricole	% Forêt	% Prairie	% Eaux & plage	Géologie
571,34	25,02	7,99	0,00	0,59	0,00	91,00	9,00	0,00	0,00	shales

Tableau y : Jeu de données de signatures, de facteurs hydroclimatiques et physiographiques pour HouayPano

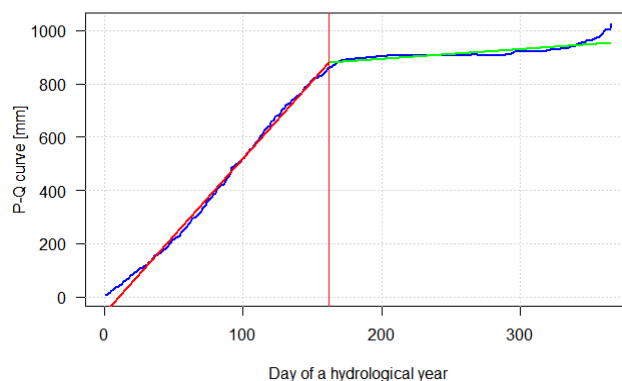
Le bassin versant de Ara



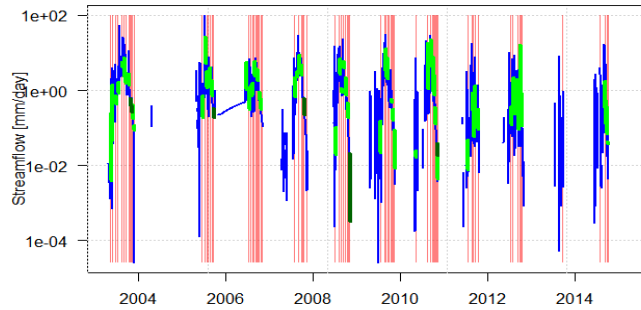
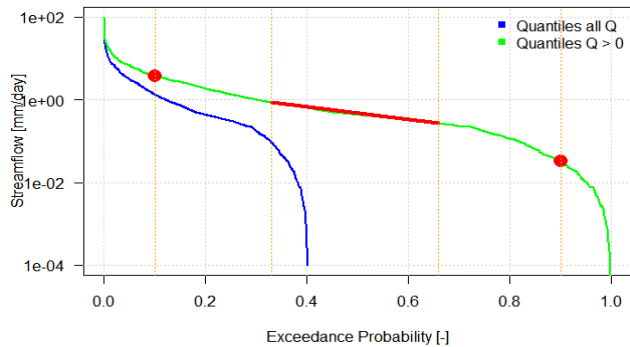
Discharge and baseflow regime [mm/day]-Ara



P-Q curve [mm]-Ara



Flow Duration Curve - Ara

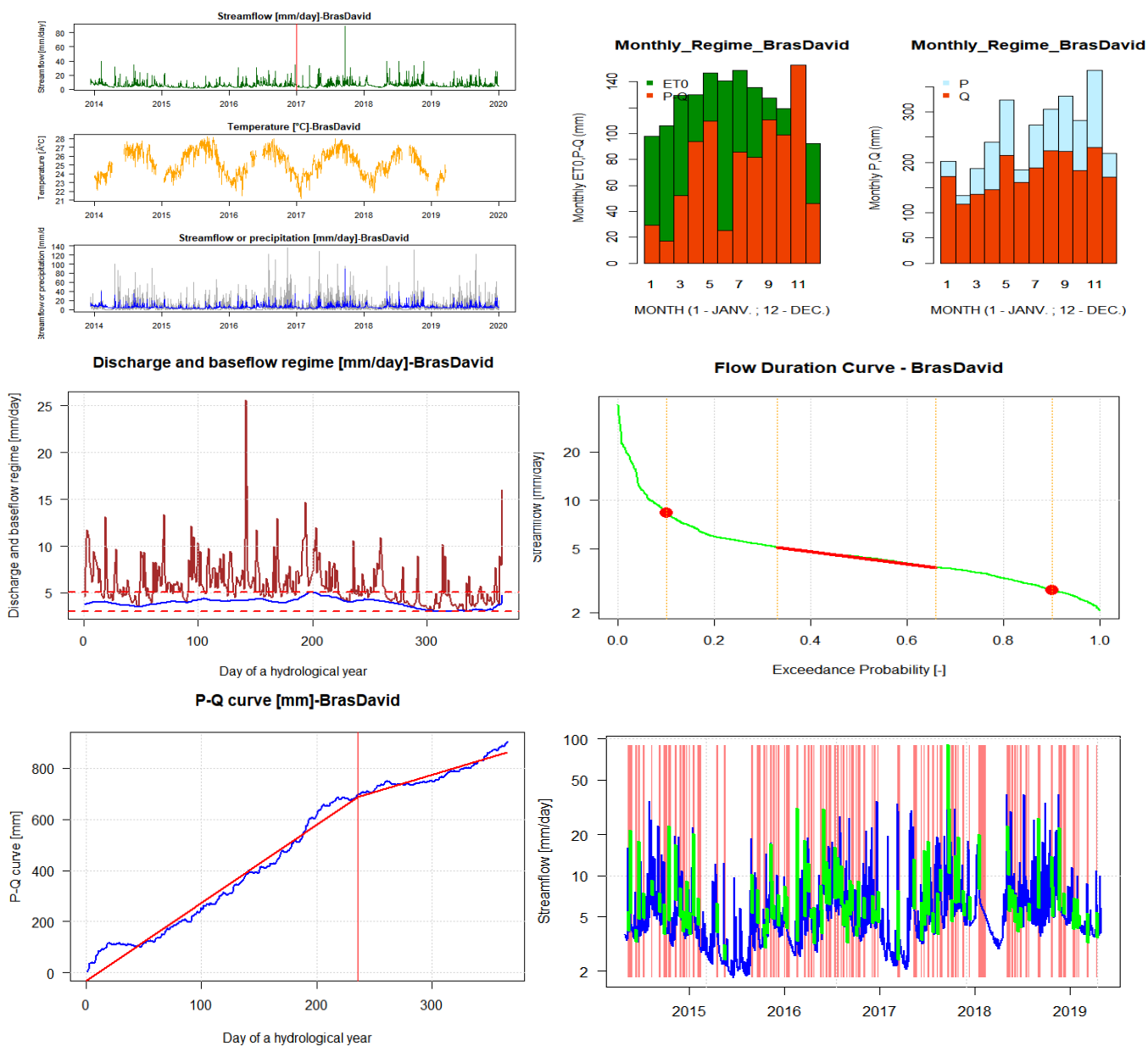


Année hydrologique complète	P-ave	ET0-ave	T-ave	Q-ave	runoff-coef	fdc-slope	fdc-Q10	fdc-Q90	ZeroFR	W2	BFI	BF-magn	REC-early	REC-late
	1255,61	1566,02	25,32	230,94	0,18	1,55	3,70	0,03	0,60	0,44	0,28	0,98	3,72	14,59
Dry season	D-P-ave	D-ET0-ave	D-T-ave	D-Q-ave	D-runoff-coef	D-fdc-slope	D-fdc-Q10	D-fdc-Q90	D-ZeroFR	D-W2	D-BFI	D-BF-magn	D-REC-early	D-REC-late
	136,34	892,53	26,41	6,89	0,06	0,47	0,41	0,02	0,85	0,24	0,98	0,85	4,67	NA
Wet season	W-P-ave	W-ET0-ave	W-T-ave	W-Q-ave	W-runoff-coef	W-fdc-slope	W-fdc-Q10	W-fdc-Q90	W-ZeroFR	W-W2	W-BFI	W-BF-magn	W-REC-early	W-REC-late
	1119,27	673,49	24,24	224,04	0,20	1,70	4,41	0,03	0,34	0,32	0,26	0,96	3,48	15,39

Mean_élev	Mean_slope	Mean_TWI	Densité de drainage	Indice de Horton	% Urbain	% Agricole	% Forêt	% Prairie	% Eaux & plage	Géologie
462,08	2,51	7,33	1,41	1,62	0,00	32,00	7,00	61,00	0,00	granite

Tableau z : Jeu de données de signatures, de facteurs hydroclimatiques et physiographiques pour Ara

Le bassin versant de BrasDavid



Année hydrologique complète	P-ave	ET0-ave	T-ave	Q-ave	runoff-coef	fdc-slope	fdc-Q10	fdc-Q90	ZeroFR	W2	BFI	BF-magn	REC-early	REC-late
	3082,47	1485,28	25,26	2177,88	0,71	0,44	9,86	2,74	0,00	0,10	0,66	0,41	8,36	NA
Dry season	D-P-ave	D-ET0-ave	D-T-ave	D-Q-ave	D-runoff-coef	D-fdc-slope	D-fdc-Q10	D-fdc-Q90	D-ZeroFR	D-W2	D-BFI	D-BF-magn	D-REC-early	D-REC-late
	1379,41	657,71	24,13	986,53	0,71	0,38	8,38	2,76	0,00	0,09	0,70	0,41	8,46	NA
Wet season	W-P-ave	W-ET0-ave	W-T-ave	W-Q-ave	W-runoff-coef	W-fdc-slope	W-fdc-Q10	W-fdc-Q90	W-ZeroFR	W-W2	W-BFI	W-BF-magn	W-REC-early	W-REC-late
	1703,06	827,57	26,38	1191,35	0,70	0,48	11,28	2,54	0,00	0,10	0,62	0,21	6,79	NA

Mean_élev	Mean_slope	Mean_TWI	Densité de drainage	Indice de Horton	% Urbain	% Agricole	% Forêt	% Prairie	% Eaux & plage	Géologie
495,50	20,11	7,97	1,48	0,21	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	volcanique

Tableau za : Jeu de données de signatures, de facteurs hydroclimatiques et physiographiques pour BrasDavid