



HAL
open science

Mise en place d'un outil opérationnel de suivi des étiages sur le Rhône

Blaise Calmel

► **To cite this version:**

Blaise Calmel. Mise en place d'un outil opérationnel de suivi des étiages sur le Rhône. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2020. dumas-03576724

HAL Id: dumas-03576724

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03576724v1>

Submitted on 16 Feb 2022

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

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



TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES

Pour obtenir le grade :

INGÉNIEUR DIPLÔMÉ DE L'ENGEES

Spécialité : **Hydrosystèmes - Eaux de surface**

Présenté par

Blaise CALMEL

Supervisé par

Laurie CAILLOUET

Référent école **Sylvain WEILL**

Réalisé au sein de la **Compagnie Nationale du Rhône - Direction de l'Ingénierie et des Grands Projets : Écoulements et Ressources en Eau**
du 13 Janvier au 13 Juillet 2020

Promotion Bretagne (2017-2020)

Mise en place d'un outil opérationnel de suivi des étiages sur le Rhône

OSSEC Rhône - Outil de Suivi et de Surveillance des Étiages en Cohérence sur le Rhône

TFE soutenu le **28 Août 2020**,
devant le jury composé de :

M. Sylvain Payraudeau

Professeur d'hydrologie et de transfert de contaminants, ENGEES-LHYGES (Strasbourg), Président

M. Guillaume Stinner

Chargé de projets, Référent hydraulique, RÉGION GRAND EST (Strasbourg), Examineur

M. Florent Fever

Chef du pôle hydrologie et risques naturels, DREAL GRAND EST (Strasbourg), Examineur

Remerciements

J'ai su dès les premières lignes de l'intitulé que ce stage allait être palpitant, et j'étais alors encore loin de me douter à quel point cela allait être passionnant! Pour cette incroyable opportunité, et pour tout le reste, je tiens à te remercier Laurie. Tu as été une tutrice formidable qui a su m'accompagner tant sur le plan professionnel que personnel, je pense que tu n'as pas idée combien je te suis reconnaissant pour cette magnifique expérience. Merci d'avoir pris le temps de répondre à mes questions à toute heure de la journée, même le weekend, d'avoir su me conseiller sur la vie professionnelle et la vie en général, toutes ces discussions ne seront pas oubliées. Merci également pour tous ces joyeux moments : l'escape game inopiné, la randonnée post-confinement, les interminables échanges Skype ponctués par Gandalf et Aiwén retournant ton salon... Bref, merci pour tout.

Bien évidemment, merci à Seb et Ana pour m'avoir si bien accueilli dans votre bureau. Merci pour vos conseils avisés et votre bonne humeur, cela a toujours été un plaisir de travailler à vos côtés. Je tiens également remercier nos chers voisins Olivier et Alex, répondant inlassablement à mes questions sur les shape du Rhône. Plus généralement, merci à l'équipe : FX, Emilio, Axelle, Carole, Grégoire, Violaine, Aurélie, Luc, Guillaume, Pierre, Lorène, Halimatou, Fabien... que ce soit pour vos échanges, les repas partagés, une pause café ou les différents points d'équipe. Je regrette simplement de ne pas avoir pu discuter davantage avec vous, le confinement nous poussant au télétravail. Peut-être nous croiserons-nous de nouveau dans un avenir plus ou moins proche. Pour conclure les remerciements professionnels, je tiens à remercier Jean-Philippe pour ses conseils méthodologiques qui m'ont été bien utiles lors de l'appariement. Tu étais l'épreuve du feu pour mes graphes et ma maîtrise de ggplot2, je suis heureux d'en être ressorti indemne.

Que seraient ces remerciements sans quelques mots pour mes proches et ma famille qui m'ont tant apporté? Tout d'abord, merci à toutes les rencontres que j'ai pu effectuer durant ces six mois sur Lyon, vous m'avez tous apporté quelque chose d'une façon ou d'une autre. Merci à la Bébousquad, sans doute les seuls qui ont réussi à me faire sortir le nez de mes codes. Même si je n'étais pas toujours très disponible, vous avez réussi à éclipser en un éclair ces longs mois de confinement. Bien évidemment, je remercie ma belle brochette d'amis qui m'accompagne depuis déjà tant d'années. Tous nos rires, nos expériences partagées, nos discussions sur tout et n'importe quoi... Tous ces petits moments insignifiants, passés et futurs, mais qui signifieront toujours tant pour nous. Je ne pouvais pas faire de remerciements sans remercier l'ensemble de ma famille pour leur éternel soutien. Merci à mes parents et à ma soeur qui ont toujours été derrière moi, avides de nouvelles de ma vie palpitante de confiné dans 18m², des avancées de mon projet dont vous ne compreniez pas forcément tous les détails mais ne faillant jamais dans votre soutien. Une pensée particulière pour mon grand-père qui a su nous transmettre l'importance de la curiosité au quotidien et du travail bien fait.

Enfin merci à vous d'avoir pris le temps de lire ces remerciements jusqu'ici, je ne doute pas que vous serez un lecteur critique et attentif du fruit de ces six mois de travail si riches d'enseignements, j'espère réussir à vous transmettre toute la passion qui a été la mienne!

Résumé

Le changement climatique favorisant les évènements hydrologiques extrêmes (Kay *et al.*, 2018), les étiages se doivent d'être suivis attentivement comme le souligne le plan cadre sécheresse. Dans son rôle de gestionnaire du Rhône, la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) transmet de manière mensuelle des rapports d'étiage à la DREAL. Ceux-ci correspondent à une comparaison du débit mensuel observé aux débits mensuels d'années d'étiage remarquable. Cette analyse ne caractérisant pas pleinement les évènements d'étiage, le projet d'un Outil de Suivi et de Surveillance des Étiages en Cohérence sur le Rhône (OSSEC Rhône) est né.

L'étude porte ainsi sur les principales stations CNR correspondant aux 12 stations sur le Rhône et les 20 stations des affluents du bassin versant rhodanien français tout au long de la période 1984-2020. Pour identifier localement un étiage, trois méthodes ont été appliquées. Tout d'abord, la méthode du seuil (TLM, Yevjevich 1967) définissant le début d'un étiage lorsque le débit passe sous un seuil pré-défini, et sa fin à la date où le seuil est de nouveau dépassé. Une limite de cette méthode est liée aux oscillations du débit autour du seuil, phénomène lié à de courtes périodes de regain entre plusieurs périodes de déficit. Ces déficits consécutifs représentent souvent le même évènement d'étiage. Le Sequent Peak Algorithm (SPA, Vogel et Steindinger 1987), une méthode de quantification des déficits permettant d'éviter ce phénomène, est appliquée. Enfin, en réponse au cas des bassins intermittents, l'application des travaux de Van Huijgevoort *et al.* (2012), séparant les périodes de débits positifs des périodes de débits nuls, permettent de proposer une méthode cohérente sur l'ensemble des bassins d'étude. Suite à ces étapes, un évènement peut être étudié localement que ce soit en durée ou en sévérité.

Cette définition locale est propre à chaque station et ne permet pas de qualifier un étiage spatialement, en comparant les résultats des différentes stations. Issue de la thèse de Caillouet (2016) et adaptée pour le cas présent, la méthode d'appariement des évènements permet de déterminer, selon un principe de chevauchement, si, à un instant donné, un étiage repéré par une station A est le même que celui repéré par une station B. Pour avoir des évènements spatialement cohérents, deux étapes ont été mises en place. Une première phase d'appariement des évènements est réalisée sur les stations indépendantes, autrement dit les affluents et l'exutoire du Rhône suisse, selon le régime hydrologique des cours d'eau. Les résultats sont, dans un second temps, reportés sur les stations du Rhône suivant une logique amont-aval : un étiage sur une station du Rhône est considéré comme la conséquence des évènements sur l'ensemble des stations indépendantes amont.

Une fois les étiages spatialement cohérents sur l'ensemble du bassin versant rhodanien, il est possible de déterminer leurs caractéristiques. Pour pouvoir comparer les évènements sur les différentes stations, la durée et la sévérité sont exprimées en fonction de leur période de retour. OSSEC Rhône est un outil opérationnel qui corrige les données d'entrée, applique les méthodes d'identification et d'appariement des étiages, génère des résultats graphiques permettant la compréhension des évènements et les place dans un historique. Si pour le moment l'outil n'est qu'en phase de prototypage, il pourra, à terme, être utilisé dans un contexte de prévision ou pour d'autres cours d'eau.

Abstract

Since climate change emphasizes extreme hydrological events (Kay *et al.*, 2018), it is necessary to keep track of low-flow events as underlines the Drought Action Plan. As responsible of the Rhône river, the Compagnie Nationale du Rhône (CNR) has to provide low-flow reports each month to the DREAL. This report compares monthly streamflows to those from exceptional low-flow years. This analysis does not fully characterize low-flow events. In this context, a tool for a coherent monitoring of low-flow events on the Rhône (OSSEC Rhône) has been developed.

This study focuses on CNR main stations with 12 stations on the main Rhône and 20 on tributaries distributed all around Rhone watershed on the 1984-2020 period. Three methods were applied to locally identify low-flow events. First, the Treshold Level Method (TLM, Yevjevich 1967) defines the start of a low-flow event when the flow rate falls below a predefined threshold and its end when the threshold is exceeded again. A limit of this method is related to fluctuations of flows around the threshold. This phenomenon is linked to short periods of water recovery between periods of deficit while these consecutive deficits represent the same low-flow event. To avoid these problems, the Sequent Peak Algorithm (SPA, Vogel et Stedinger 1987) is then applied. It combines periods of deficits into the same event if the recovery between these deficits has not been long enough. Finally, the works of Van Huijgevoort *et al.* (2012), which advises to separate positive and zero flows, has been used to adapt the case of intermittent basins. Following these steps, an event can be locally studied whether in duration or severity.

This local definition is specific to each station, and does not provide a spatial coherence through the different stations. The spatial matching method from Caillouet's PhD (2016) has been adapted to our case. It is based on an overlapping principle which determines if two low-flow events from two different stations come from the same global event. In order to have spatially coherent events, the process is applied in two steps. The first one matches events from independant stations, which means tributaries and outlet of the Swiss Rhone, depending on their hydrological regime. Then, results are reported to the Rhone stations according to an upstream-downstream logic. The idea is to consider each event on the main Rhône as a consequence of events from all upstream stations.

Once low-flow events are spatially coherent on the Rhone watershed, it is possible to determine their duration and severity. These characteristics are converted to their respective return period to allow comparison between different stations. OSSEC Rhône is an operational tool that corrects input data, applies methods of identification and matching of low-flow events, generates graphical results to understand events and places them in an history. Currently, the tool is still at the prototype stage, but it could also be used for forecasting purposes.

Table des matières

Partie I - Contexte et outils	6
1 Introduction	8
1.1 Présentation générale de CNR et du pôle DIGP-ERE	9
1.2 Problématique et enjeux	9
2 Données et paramètres utilisés	11
2.1 Zone d'étude	12
2.2 Période d'étude	13
3 Identification d'un étiage	14
3.1 Définition et caractérisation d'un étiage	15
3.2 Identification locale d'un événement	15
3.2.1 La méthode du seuil	16
3.2.2 Le Sequent Peak Algorithm (SPA)	16
3.3 Identification spatiale d'un événement	18
3.4 Périodes de retour	19
Partie II - Méthodologie : Définition et caractérisation d'un évènement	20
4 Analyse et correction des données d'entrée	21
4.1 Données anthropisées	22
4.2 Débits constants	23
4.3 Changement de débit réservé	24
4.4 Bassins intermittents	24
5 Identification spatiale d'un événement sur les bassins indépendants	26
5.1 Découpage en zones homogènes	27
5.2 Appariement par zone homogène	29
5.2.1 Initial : Évènements locaux	29
5.2.2 Appariement intra-groupe	30
5.2.3 Évènements représentatifs pondérés	31
5.3 Appariement global	32
5.3.1 Appariement des évènements représentatifs : appariement inter-groupe	32
5.3.2 Report de l'appariement inter-groupe au local	34
6 Identification spatiale d'un événement sur les stations du Rhône	35
6.1 Report d'appariement sur les stations du Rhône	36
6.1.1 Évènements représentatifs bornés amont	36
6.1.2 Report sur le Rhône	37

6.2	Corrections et validation des évènements spatialisés	38
6.3	Construction d'un historique	39
Partie III - Passage à l'opérationnel		43
7	Fonctionnement de l'outil opérationnel	44
7.1	Conception d'OSSEC	45
7.2	Paramétrage d'OSSEC	45
8	Graphiques et cartes générés	47
8.1	Analyses spatiales	48
8.1.1	Cartes de durée et de sévérité	48
8.1.2	Comparatifs d'évènements	48
8.2	Analyse temporelle	49
8.2.1	Chroniques de durée et de sévérité	49
8.2.2	Durée en fonction de la sévérité par station	50
8.2.3	Étendue spatiale d'un évènement	51
8.2.4	Dynamique d'un évènement	52
9	Limites et perspectives d'améliorations	53
9.1	Limites d'OSSEC Rhône	54
9.1.1	Anthropisation future des cours d'eau	54
9.1.2	Limites de la méthode	54
9.2	Perspectives de développement et d'utilisation	54
9.2.1	Finalisation et applications futures	54
9.2.2	Reconstruction de l'historique	55
Conclusion		56
Références bibliographiques		58
Annexes		60

Partie I - Contexte et outils

Chapitre 1

Introduction

Sommaire

1.1	Présentation générale de CNR et du pôle DIGP-ERE	9
1.2	Problématique et enjeux	9

1.1 Présentation générale de CNR et du pôle DIGP-ERE

La Compagnie Nationale du Rhône (CNR) est en charge de l'aménagement et de l'exploitation du Rhône selon trois missions : la production d'électricité, le développement de la navigation et la gestion de l'irrigation des terres agricoles le long du Rhône. Le premier producteur français d'énergie renouvelable n'est pas tout jeune. Suite à sa création en 1933, l'entreprise obtient la concession du fleuve franco-suisse et inaugure ses premiers ouvrages dès 1938. Malgré la nationalisation du service public en 1946 et la création d'Électricité de France (EDF), l'État va attribuer le rôle d'aménageur fluvial à CNR, qui finalisera l'aménagement du Rhône en 1986. Le véritable changement a lieu au début des années 2000 avec la libéralisation du marché de l'électricité qui donnera à CNR son indépendance et le rôle qu'on lui connaît aujourd'hui.

Depuis 2003, la société anonyme d'intérêt général a son capital divisé entre public et privé avec respectivement le Groupe Caisse des Dépôts couplé aux collectivités locales pour 50,03% des parts et le groupe ENGIE pour 49,97% des parts. CNR se positionne comme le deuxième producteur français d'électricité avec plus de 3800 MW de puissance installée pour une production de 15,1 TWh produits. Si elle produit près de 25% de l'hydroélectricité française (13,8 TWh), l'entreprise a su diversifier ses modes de production en développant de plus en plus de parcs éoliens (1,15 TWh) et de centrales photovoltaïques (0,11 TWh) à l'échelle du territoire français pour un chiffre d'affaire brut d'1,5 milliard d'euros (chiffres de 2019 issus du rapport CNR de Malissard (2020)). L'entreprise s'inscrit en tant qu'un des acteurs essentiels de la transition énergétique et ne cesse d'aménager le Rhône notamment via le financement d'un programme de missions d'intérêt général.

Les 1300 collaborateurs se répartissent suivant différentes directions territoriales et un siège social basé à Lyon. Au sein du siège social, la Direction de l'Ingénierie et des Grands Projets (DIGP) fait intervenir des ingénieurs et des techniciens, qui travaillent sur des domaines variés tels que l'hydrologie, l'hydraulique, l'électromécanique, l'environnement ou encore le génie civil. C'est au sein de cette direction que se trouve le pôle Écoulements et Ressources en Eau (ERE), responsable des études touchant l'hydrométéorologie, l'hydraulique ou le transport sédimentaire.

1.2 Problématique et enjeux

Au sein de CNR, il existe un service chargé des mesures, du contrôle et de la validation des données : le Centre d'Analyse Comportementale des Ouvrages Hydrauliques (CACOH). Celui-ci est également en charge de transmettre des rapports d'étiage mensuels à la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) en réponse aux obligations du Plan Cadre Sécheresse. En parallèle, un bulletin annuel est produit afin de réaliser une rétrospective sur les bas débits de l'année passée. Ces différents rapports caractérisent les étiages à travers des dates civiles et se fondent sur des années de référence fixées. Dans l'exemple de la Figure 1.1, le mois de janvier 2020 des principales stations du Rhône est notamment comparé au mois de janvier 1921 de ces mêmes stations. Cependant en 1921, l'étiage remarquable a majoritairement eu lieu en été, il n'est donc pas pertinent de le prendre comme référence à cette période de l'année. La méthode actuelle repose ainsi sur les débits moyens mensuels au niveau des différentes stations et permet, à terme, de classer le mois dans un historique prédéfini des débits sur les différentes stations. Cette caractérisation ne permet pas de mettre en avant des caractéristiques d'étiage, telles que la durée ou l'intensité.

Avec l'objectif d'obtenir une caractérisation cohérente des étiages sur le bassin versant rhodanien, il a été choisi de mettre à profit les résultats de la thèse cofinancée par CNR (Caillouet, 2016) qui caractérise les étiages de façon événementielle. Cette nouvelle méthodologie devra

pouvoir être appliquée en opérationnel, autrement dit "en direct", tout en replaçant les évènements dans un historique de telle sorte à les classer et les comparer. La création de cet outil, baptisé OSSEC Rhône (Outil de Suivi et de Surveillance des Étiages en Cohérence sur le Rhône), répond donc à un besoin exprimé par le CACOH pour disposer de données d'analyse pertinentes dans le cadre des différents bulletins d'étiages.

ANNEES D'ETIAGE REMARQUABLE SUR LE BASSIN DU RHONE

		DEBITS MOYENS MENSUELS (m ³ /s) - source des données : CNR - base HYDROMET					
ANNEE		BOGNES [V1020010]	PERRACHE [V3000015]	COUZON [La Saône]	TERNAY [V3130020]	VALENCE [V4010010]	BEAUCAIRE [V7200010]
	Moyenne sur la période 1920-2020	280	600	720	1 320	1 620	1 980
Années d'étiage estival remarquable	1921	170	360	460	820	980	1 020
	1949	200	400	590	990	1 140	1 470
	1976	220	380	460	840	1 070	1 190
	2003	390	790	870	1 630	2 170	2 640
	2005	220	460	650	1 080	1 320	1 480
	2009	310	600	460	1 070	1 390	1 790
Débit (m³/s)	2020	320	520	380	910	1 210	1 670
Rang *		70	43	19	30	36	42

* rang du mois dans le classement croissant des débits moyens mensuels sur la période 1920-2020

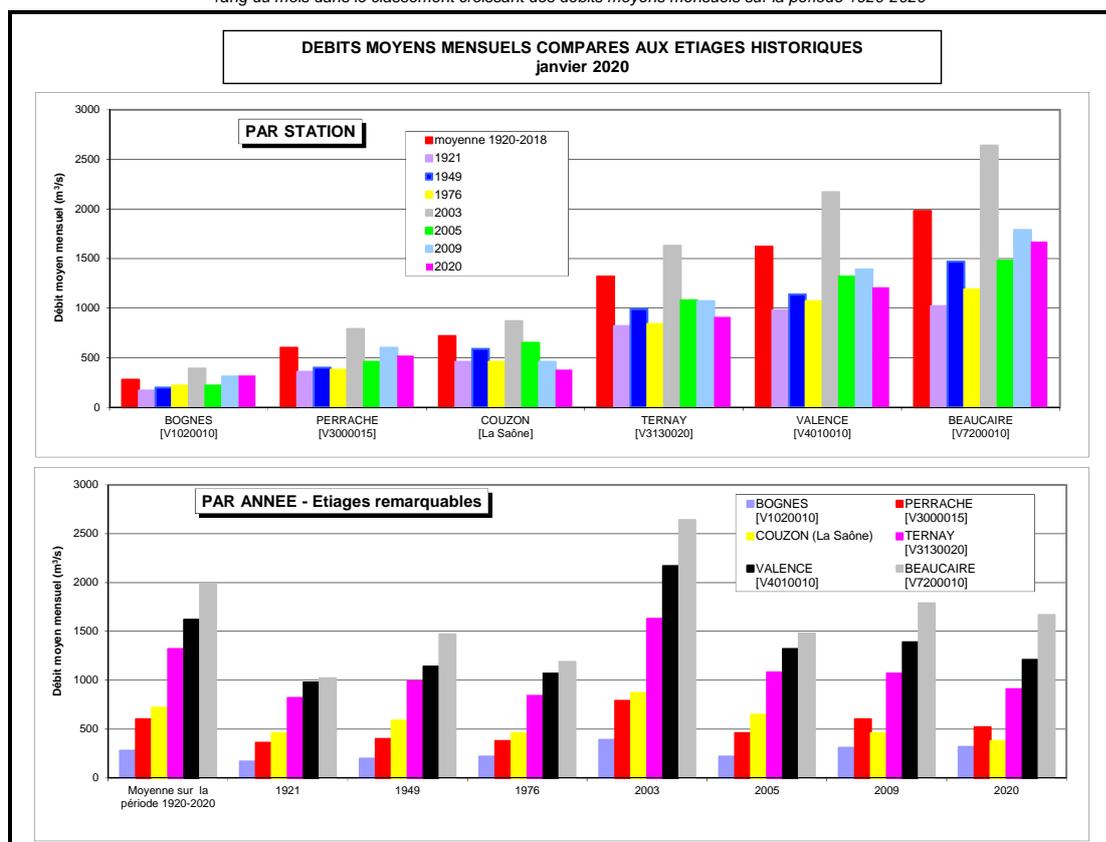


FIGURE 1.1 – Extrait du bulletin mensuel de janvier 2020 du CACOH (Grenier, 2020)

Chapitre 2

Données et paramètres utilisés

Sommaire

2.1 Zone d'étude	12
2.2 Période d'étude	13

2.1 Zone d'étude

L'étude porte sur l'ensemble du bassin versant rhodanien français, représenté à travers 32 stations CNR, que ce soit sur le Rhône ou ses affluents, comme l'illustre la Figure 2.1. Il y a ainsi 12 stations sur le fleuve à Pougny, Bognes, Brens, Pont de Lagnieu, Perrache, Ternay, Valence, Viviers, Chusclan, Beaucaire, Arles et Fourques dans l'ordre amont-aval. Ces stations mesurent des débits fortement anthropisés, pour une compréhension globale des événements d'étiages sur la région il est essentiel de s'intéresser aux affluents. Ceux-ci sont tous très différents, chacun ayant ses propres spécificités que ce soit en termes d'hydrologie, de climat ou d'influence humaine. Les stations retenues sont localisées le plus en aval possible de l'affluent, à proximité de la confluence avec le Rhône, de telle sorte à faire correspondre les mesures avec les données du fleuve. Certains affluents mineurs sur lesquels CNR ne dispose pas de station opérationnelle n'ont pas été pris en compte. Il y a ainsi l'Arve, la Valserine, les Usses, le Fier, le Séran, le Guiers, l'Ain, la Saône, l'Ain, le Doux, l'Isère, l'Eyrieux, la Drôme, l'Ouvèze rive droite, le Roubion, l'Ar-dèche, la Cèze, l'Aygues, l'Ouvèze rive gauche, la Durance et le Gard.



FIGURE 2.1 – Carte des bassins versants résiduels des différentes stations considérées (en vert les affluents avec leur nom en noir, en orange le Rhône avec la localisation des stations en blanc)

2.2 Période d'étude

Ces différentes stations permettent d'avoir une répartition spatiale assez générale du bassin versant rhodanien français, elles n'ont cependant pas toutes été mises en place la même année. En effet, si les premières ont été mises en place en 1920, les dernières n'ont été installées qu'au début des années 2000. La période d'étude retenue sert de référence notamment pour le calcul des paramètres permettant la caractérisation des événements d'étiage (Section 3.2).

Avant 1956, il n'y a qu'une dizaine de stations en fonctionnement, soit moins d'un tiers des 32 stations actuellement en place (voir Figure 2.2). De plus, entre 1920 et 1984 les infrastructures hydroélectriques ont été mises en place tout au long du Rhône, et les affluents sont sujets à de nombreux aménagements, ce qui perturbe leur débit respectif. Il y a alors près de 40% des stations disponibles concentrées sur les points d'intérêts que sont le Rhône et les affluents majeurs tels que l'Isère, la Saône et l'Ain. Pour avoir près de 90% des stations disponibles il faut attendre 1996, cela limiterait cependant la période d'étude à 24 années, ce qui est trop peu étendu. La période d'étude est donc comprise entre 1984 et 2020, permettant d'avoir 36 années de données pour les stations principales, tout en ayant une bonne cohérence générale avec peu de nouvelles installations majeures sur le Rhône.

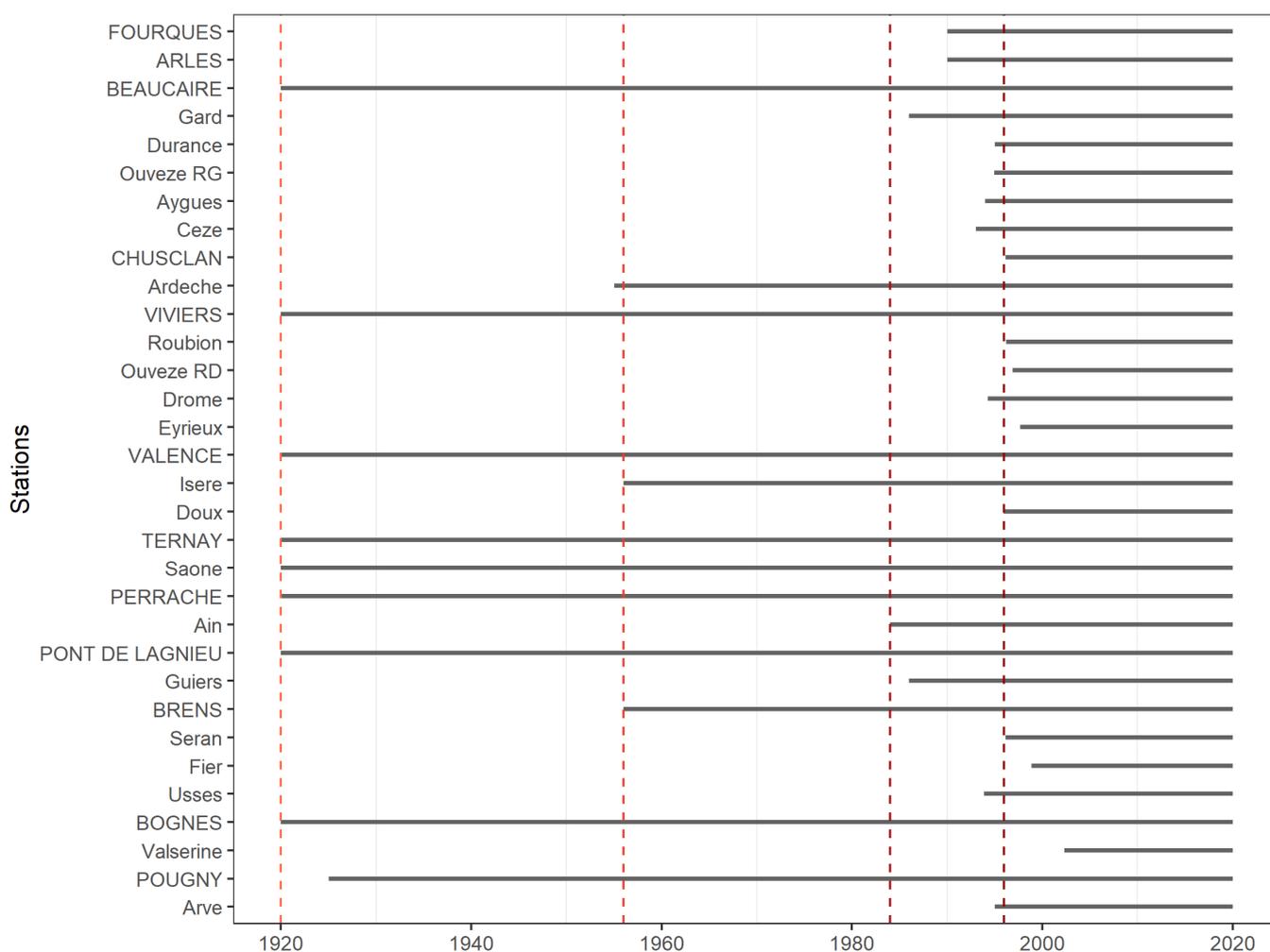


FIGURE 2.2 – Chronologie des données de débit disponibles sur les différentes stations (1920, 1956, 1984 et 1996 sont indiqués par des traits verticaux).

Chapitre 3

Identification d'un étiage

Sommaire

3.1	Définition et caractérisation d'un étiage	15
3.2	Identification locale d'un événement	15
3.2.1	La méthode du seuil	16
3.2.2	Le Sequent Peak Algorithm (SPA)	16
3.3	Identification spatiale d'un événement	18
3.4	Périodes de retour	19

À l'inverse des crues qui sont des événements ponctuels aisément identifiables, les étiages sont des événements complexes qui s'étendent sur la durée. Si dès le Moyen-Âge des travaux d'endiguement ont été réalisés dans le cadre de la prévention des crues, notamment sur le Rhône du côté d'Arles (Bethemont, 1998), il faut attendre la fin du XX^e siècle pour que la question des étiages prenne de l'ampleur. Suite aux impacts du changement climatique, la compréhension de l'ensemble des événements extrêmes est devenue une nécessité.

3.1 Définition et caractérisation d'un étiage

Avant de pouvoir étudier les étiages, il faut pouvoir clairement les définir. Lang-Delus (2011) a réalisé une revue des différentes définitions, allant de la définition générique du Glossaire International d'Hydrologie (Organisation Météorologique Mondiale, 1992), comme "le plus bas niveau atteint par un cours d'eau ou un lac", à des définitions plus précises. Certaines laissent entendre que l'étiage se produit chaque année, et serait donc un synonyme des basses eaux, comme par exemple celle de Roche (1986) "niveau annuel le plus bas atteint par un cours d'eau en un point donné". À l'inverse, Dacharry (1996) fait la distinction entre ces deux termes et définit un étiage comme étant un "débit exceptionnellement faible d'un cours d'eau, qu'il ne faut pas confondre avec les basses eaux saisonnières, même s'il en est l'exacerbation". Les étiages correspondent ainsi à un déficit d'eau dans les cours d'eau par rapport à leurs conditions normales, mais encore faut-il définir ce que sont des conditions normales. En l'absence de définition universelle, chaque étude détermine la définition qui lui est la plus adaptée selon son domaine d'expertise. Dans le cadre de cette étude, le terme d'étiage regroupera les périodes de déficit en dehors des périodes de basses eaux ainsi que basses eaux exceptionnellement faibles, également qualifiées d'étiages extrêmes ou de sécheresse hydrologique.

Un événement d'étiage peut se traduire par un certain nombre de caractéristiques tels que la durée, le déficit, la dynamique, etc. En France, la loi recommande de définir les étiages à partir du débit moyen mensuel le plus bas de l'année (QMNA) ; or, le pas de temps mensuel tend à faire disparaître les événements courts et forts tout en ne considérant pas les événements longs dans leur intégralité (Lang-Delus, 2004).

Plusieurs indices permettent de caractériser spatialement les sécheresses météorologiques (déficit pluviométrique), ou édaphiques (liée au sol). Cela est rendu possible du fait que les données météorologiques utilisées sont très souvent disponibles sur une grille homogène. Cela est différent pour les sécheresses hydrologiques, ou étiages extrêmes, puisque les données sont disponibles pour des stations ponctuelles, à la fois dans l'espace et dans le temps. Si pour les sécheresses météorologiques il est fréquent de relier des événements spatialement, cette procédure est souvent plus délicate du point de vue purement hydrologique. Dans sa thèse, Caillouet (2016) caractérise les événements d'étiage lorsque les valeurs de débit journalier passent sous un seuil prédéfini. Cette approche permet d'appréhender les événements dans leur intégralité quelle qu'en soit la durée ou l'intensité. Au-delà de l'identification des étiages par station, ceux-ci sont reliés entre eux à travers une méthode d'appariement permettant une cohérence spatiale sur l'ensemble de la zone d'étude. Dans cette étude, c'est cette méthodologie événementielle qui est retenue et appliquée.

3.2 Identification locale d'un événement

L'identification des événements d'étiage repose sur les déficits. Ces derniers sont définis à partir d'un seuil sur les débits journaliers, chaque période de déficit identifiée caractérise alors un événement d'étiage.

3.2.1 La méthode du seuil

La méthode du seuil, également appelée Threshold Level Method (Yevjevich, 1967), définit le début d'un étiage lorsqu'une variable d'intérêt passe sous un seuil pré-défini et sa fin correspond à la date où le seuil est à nouveau dépassé. Ainsi, les principales caractéristiques que sont la date début, la date de fin et la durée d'un évènement sont aisément déterminables. Le seuil correspond à un pourcentage statistique interannuel du débit journalier. Dans le cas présent, l'objectif est de définir les évènements d'étiage à partir des débits journaliers relevés par les stations.

Il existe deux types de seuil pour l'identification des étiages. **Le seuil fixe** (Figure 3.1 gauche) permet d'identifier des déficits durant la période de basses eaux, il correspond à une valeur constante égale à l'application du quantile sur l'ensemble des débits journaliers. À l'inverse, **le seuil variable** (Figure 3.1 centre) permet d'identifier un déficit dans n'importe quelle période de l'année, y compris celles des hautes eaux, qui peuvent marquer le début d'un étiage se prolongeant lors des basses eaux (Van Loon et Van Lanen, 2012). Une valeur seuil est calculée selon un quantile sur les débits journaliers mesurés pour ce jour de l'année.

Il existe un troisième seuil plus contraignant : **le seuil mixte** (Figure 3.1 droite) défini par le minimum journalier des deux seuils précédents. Il regroupe ainsi leurs caractéristiques en identifiant les évènements où le débit est inférieur au cycle saisonnier normal (seuil variable) mais seulement durant la période de basses eaux (seuil fixe). Le seuil mixte permet de se concentrer uniquement sur les étiages extrêmes (Caillouet, 2016). Le but de cette étude n'étant pas d'uniquement identifier les basses eaux mais bien de caractériser les évènements d'étiage, seuls le seuil variable et le seuil mixte sont utilisés. Le seuil variable sera préféré dans le cadre des rapports mensuels communiqués à la DREAL, permettant d'identifier des périodes de déficits anormales. Le seuil mixte sera quant à lui davantage utilisé pour les rapports annuels, permettant de détecter les évènements d'étiages extrêmes dans la période sèche de l'année.

L'identification d'évènements d'étiage est certes indissociable du type de seuil choisi, mais également du quantile associé. Pour les rivières pérennes, celui-ci est souvent compris entre le quantile 70% et le quantile 95% de la courbe des débits classés (Fleig *et al.*, 2006, Van Huijgevoort *et al.*, 2012). Les seuils sont ainsi calculés localement pour chaque bassin à partir des débits journaliers, puis sont lissés par une moyenne glissante sur 10 jours pour une cohérence globale sur la période d'étude. Dans l'ensemble de ce rapport, les exemples reposent sur un seuil mixte avec un quantile 90%.

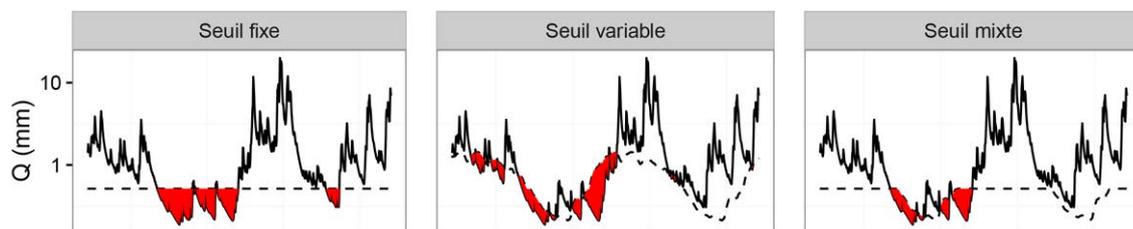


FIGURE 3.1 – Représentations des principaux types de seuils pour un quantile 90%. En noir le débit, en pointillés le seuil mixte 90%, en rouge les déficits associés avec, de gauche à droite, le seuil fixe, le seuil variable et le seuil mixte (Caillouet, 2016).

3.2.2 Le Sequent Peak Algorithm (SPA)

Un problème récurrent de l'identification des étiages de manière locale repose sur les oscillations du débit autour du seuil, qui entraînent des petites périodes de regain entre plusieurs

périodes de déficit. Pourtant, ces déficits consécutifs représentent souvent le même événement entrecoupé de courtes précipitations ou bien peut correspondre à du bruit de la méthode. Pour y palier, la méthode du **Sequent Peak Algorithm** (SPA, Vogel et Stedinger 1987) est utilisée. Celle-ci est similaire à une procédure de dimensionnement préliminaire de réservoir. Pour une quantité Q_i entrant dans le réservoir et une quantité Q_0 voulue, le stockage requis au début de la période i , S_i , est alors défini par l'équation 3.1.

$$S_i = \max(0, S_{i-1} + Q_0 - Q_i) \quad (3.1)$$

Une période d'épuisement de la ressource en eau se caractérise par une séquence continue de S_i positifs suivie d'un remplissage du réservoir. Le $\max(S)$ correspond au stockage nécessaire sur la période, autrement dit la sévérité de l'étiage. La date de début correspond est marquée par le premier déficit positif et la fin correspond au maximum de déficit. Pour résumer, le SPA permet de caractériser des événements d'étiage en regroupant plusieurs périodes de déficit grâce au calcul d'un déficit cumulé.

Le SPA permet ainsi de regrouper au sein d'un bassin versant des événements initialement séparés en un seul événement d'étiage, comme l'illustre la première ligne de la Figure 3.2. Si sur cette chronique il y a quatre périodes durant lesquelles le débit est inférieur au seuil, il n'y a pas quatre événements d'étiage mais un seul traduit par la chronique de SPA positive sur l'ensemble de la période (deuxième ligne de la Figure 3.2). Il est alors possible de déterminer la sévérité de l'évènement puisqu'elle correspond au maximum de SPA, la durée correspond alors au nombre de jour entre la première valeur de SPA positive et la date à laquelle la sévérité est atteinte. La dernière ligne de la Figure 3.2 représente ainsi la durée de l'évènement.

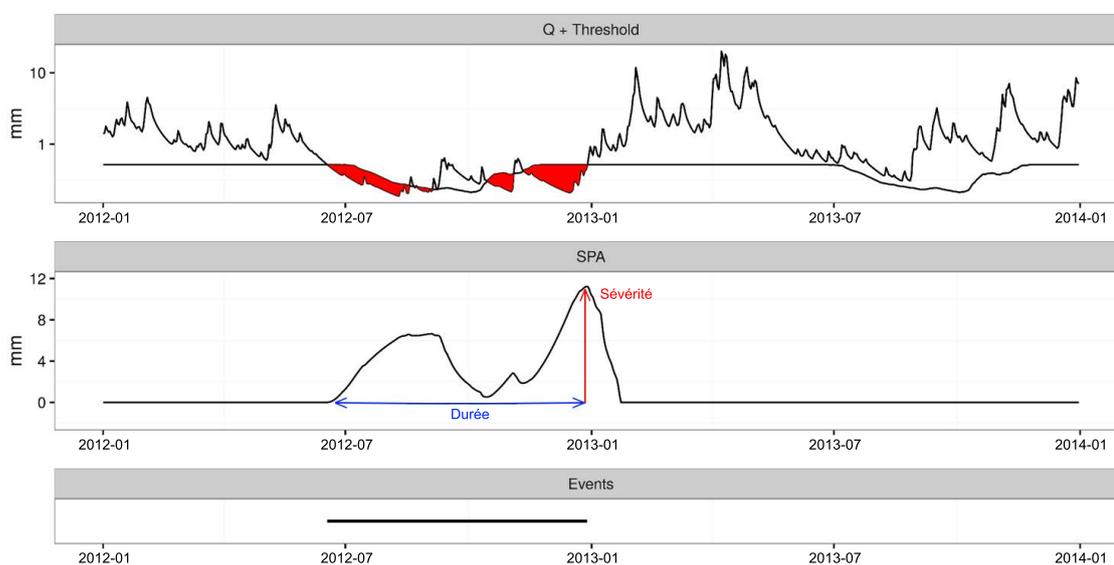


FIGURE 3.2 – Caractérisation des étiages par la méthode du SPA. La première ligne représente une chronique de débit, le seuil sélectionné et les déficits associés (en rouge). La deuxième ligne présente les SPA associés. La troisième ligne présente la formalisation d'un événement par une ligne entre la date de début et de fin (Caillouet, 2016).

Les caractéristiques locales en durée et en sévérité sont ainsi déterminées à l'échelle de la station. Cependant, il est essentiel de mettre en cohérence l'ensemble des résultats sur la zone d'étude de telle sorte à déterminer l'impact spatial qu'a pu avoir un événement d'étiage.

3.3 Identification spatiale d'un événement

Une fois les différents évènements d'étiage identifiés de manière locale, il s'agit de confronter les résultats entre les différentes stations de la zone d'étude. Par exemple, un étiage ayant lieu en mai sur la Valserine est-il le même que celui détecté au même moment sur le Fier et sur le Rhône? Des évènements successifs sur les Usses sont-ils en réalité la conséquence d'un même évènement global?

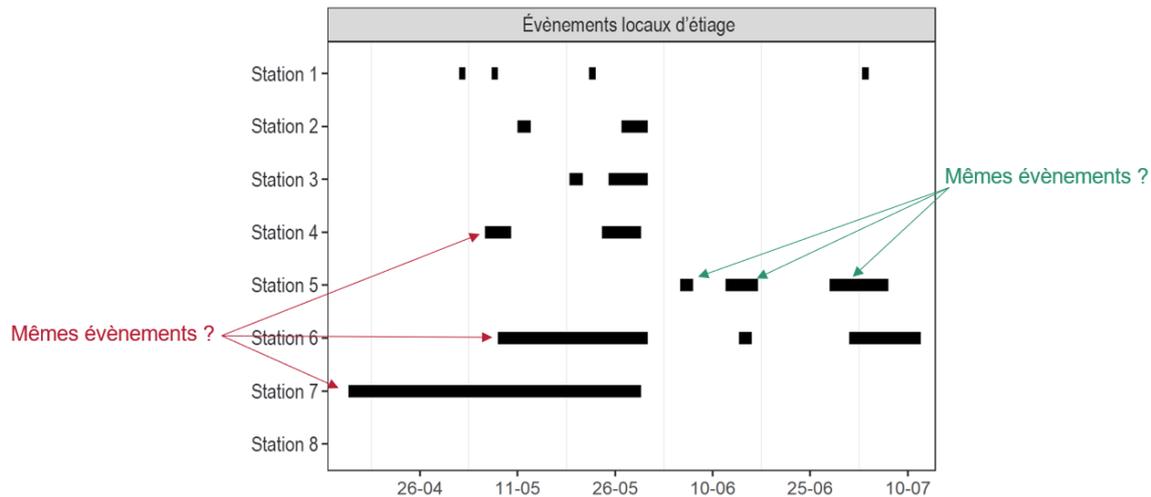


FIGURE 3.3 – Quelques évènements locaux d'étiage détectés par les stations nivales.

Dans sa thèse, Caillouet (2016) a développé une méthode pour regrouper des évènements et définir les étiages à l'échelle de la France. Cette méthode d'appariement d'évènements repose sur le principe de chevauchement de périodes d'étiage, de manière similaire à celle d'Uhlemann *et al.* (2010) pour identifier des crues sur plusieurs bassins. Cette identification spatiale utilise uniquement les dates de début et fin d'évènement, comme représenté sur la troisième ligne de la Figure 3.2. Lorsque des évènements d'étiage sur des stations différentes ont des jours en commun, alors ils sont considérés comme appartenir au même évènement global à l'échelle de toutes ces stations.

Dans ses travaux, une division du territoire français par hydroécocorégion (HER, Wasson *et al.* (2002)) a été nécessaire pour appliquer la méthode de spatialisation des évènements, l'ensemble des stations d'une même HER étant rassemblées dans un même groupe. Regrouper les stations dans une même HER permet de lisser les variations locales sur chaque station en réunissant les cours d'eau avec des influences similaires. Cela permet ainsi d'éviter de joindre un évènement en Bretagne avec un évènement sur les côtes méditerranéennes.

La Figure 3.4 présente les différentes étapes de la méthode d'appariement utilisées par Caillouet (2016) sur la France métropolitaine.

- **(a) Initial** : Évènements d'étiage représentés par leurs dates de début et de fin sur les différentes stations de la HER 11 (Les Causses Aquitains) ;
- **(b) Après appariement intra-HER** : Les évènements au sein de chaque HER sont regroupés selon le principe de chevauchement, un évènement représentatif est créé pour chaque évènement spatialisé à partir des médianes des dates de début et fin des évènements sur la HER ;
- **(c) Évènements représentatifs de HER** : L'ensemble des évènements représentatifs des 22 HER sont réunis ;

- **(d) Après appariement inter-HER :** Les événements représentatifs des 22 HER sont appariés entre eux selon le principe de chevauchement;
- **(e) Après appariement France :** Les événements représentatifs spatialisés sur l'ensemble de la France sont reportés localement sur l'ensemble des stations de chaque HER.

De manière plus concrète, sur cette même figure, la station 5 de la HER 11 détecte 5 événements indépendants (a). Après les avoir appariés au sein du groupe formé par la HER, ils sont regroupés en 4 événements (b) puis finalement 3 événements spatialisés après l'appariement à l'échelle de la France (e).

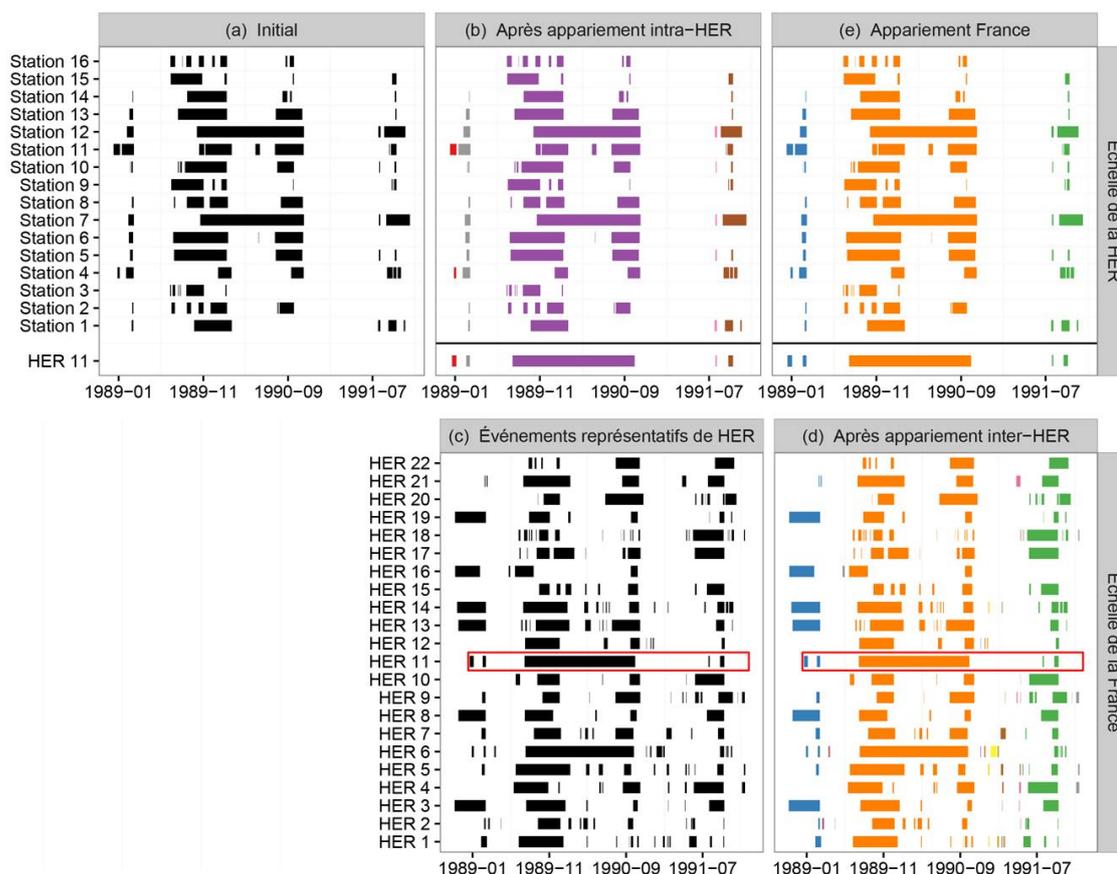


FIGURE 3.4 – Méthode d'appariement spatial pour les événements locaux identifiés sur la période 1989-1991 à l'échelle de la France (Caillouet, 2016).

3.4 Périodes de retour

La durée et la sévérité sont les principales caractéristiques d'un événement d'étiage sur un bassin versant. Pour comparer les impacts des périodes sèches sur différents bassins, ces deux paramètres sont exprimés en période de retour. Le temps caractéristique moyen entre deux événements sert de référence pour calculer les périodes de retour comme le suggère l'approche de Shiau et Shen (2001). Le choix de la loi de calage se réfère aux travaux de Caillouet (2016) suggérant d'utiliser une distribution de Pareto pour les périodes de retour des durées et une loi de Pearson type III pour les sévérités. Les coefficients de ces deux lois sont déterminés sur la période de référence 1984-2020.

Partie II - Méthodologie : Définition et caractérisation d'un évènement

Chapitre 4

Analyse et correction des données d'entrée

Sommaire

4.1	Données anthropisées	22
4.2	Débits constants	23
4.3	Changement de débit réservé	24
4.4	Bassins intermittents	24

Avec des cours d'eau aux régimes très différents, des données sur près de 36 années (Section 2.2) et toutes les contraintes techniques liées aux mesures en bas débit, un certain nombre de corrections sont nécessaires. Pour réaliser une identification pertinente des événements, il faut dans un premier temps assurer la cohérence des données d'entrée sur la période d'étude. Différents types d'erreur sont apparus au fil des analyses, menant à plusieurs processus de correction.

4.1 Données anthropisées

S'il y a des stations dont le cours d'eau est très peu influencé par les activités humaines, ce n'est pas le cas pour le Rhône et ses principaux affluents. En effet, de nombreuses installations perturbent leur fonctionnement naturel comme par exemple l'emblématique barrage-centrale de Génissiat, situé quelques kilomètres en aval du Rhône suisse, soit à l'aval direct de la station de Pougny. Les débits mesurés sont alors plus faibles les week-ends, en réponse à une consommation électrique moindre, d'où une production hydro-électrique plus faible. Cette anthropisation forte entraîne des oscillations des valeurs de débit autour du seuil, nuisant à l'identification des étiages sur le cours d'eau.

Pour palier ces déficits anthropisés, une moyenne glissante, entre trois et sept jours, selon le degré d'anthropisation du cours d'eau, est effectuée sur les périodes de bas débits. Cette correction visible sur la Figure 4.1 permet d'éviter les oscillations répétitives du débit autour du seuil tout en conservant les événements d'étiages caractérisés.

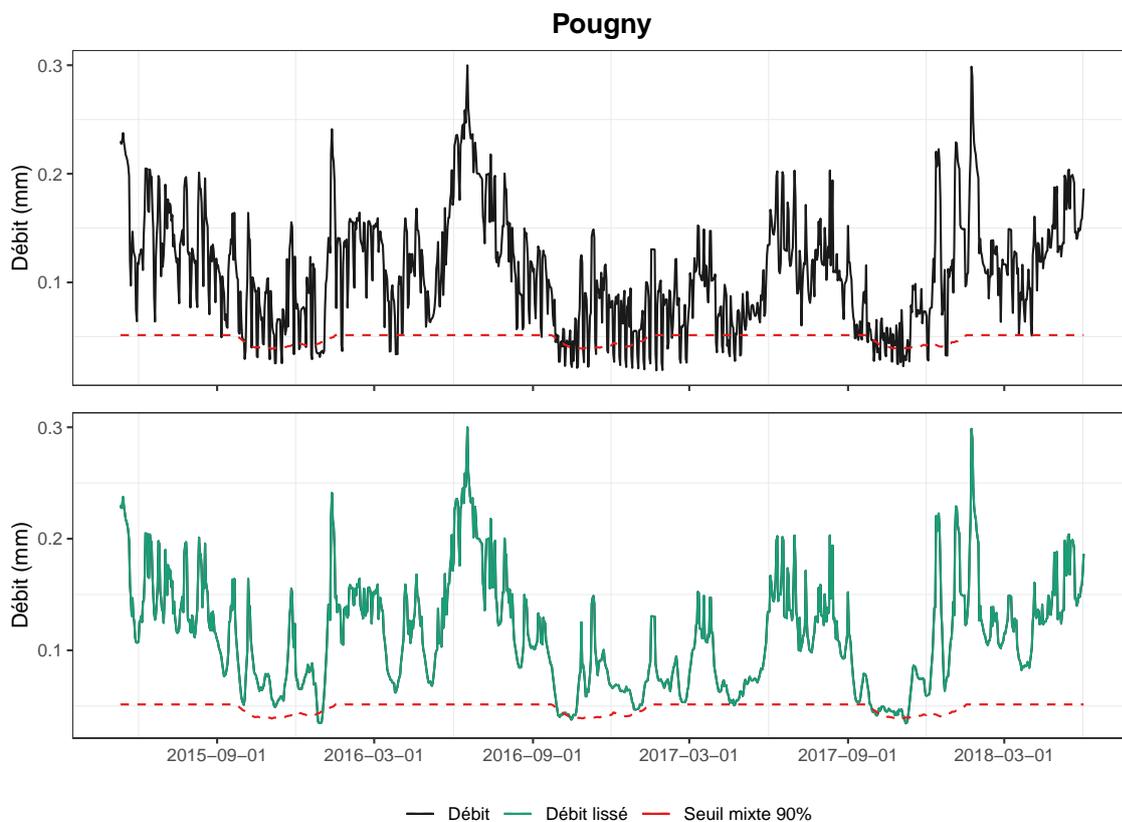


FIGURE 4.1 – Chronique de débit journalier lissé et non-lissé au niveau de la station de Pougny.

L'étude portant sur les périodes de bas débits mais ne se limitant pas exclusivement aux

basses eaux, le lissage s'effectue sur les débits inférieurs au quantile 60% des débits journaliers de la station. Le nombre de jours de lissage est adapté selon le degré d'anthropisation de la station. Celui-ci est à chaque fois impair par soucis de cohérence. Pour Pougny et Bognes, qui sont proches du barrage de Génissiat, ainsi que l'Isère, une moyenne glissante sur 7 jours est effectuée. De Brens à Perrache, le Fiers et la Durance le lissage se fait sur 5 jours. À partir de Ternay jusqu'à Beaucaire et sur l'Ain le lissage n'est plus que de 3 jours.

4.2 Débits constants

Les petits affluents pouvant avoir des débits plus faibles, voir même nuls, les stations ne sont pas toujours suffisamment équipées pour détecter correctement les très faibles variations de débit. Les périodes de bas débits peuvent ainsi être marquées par des absences de données ou des débits constants non nuls indiqués manuellement par l'opérateur suite à l'absence de données (Figure 4.2).

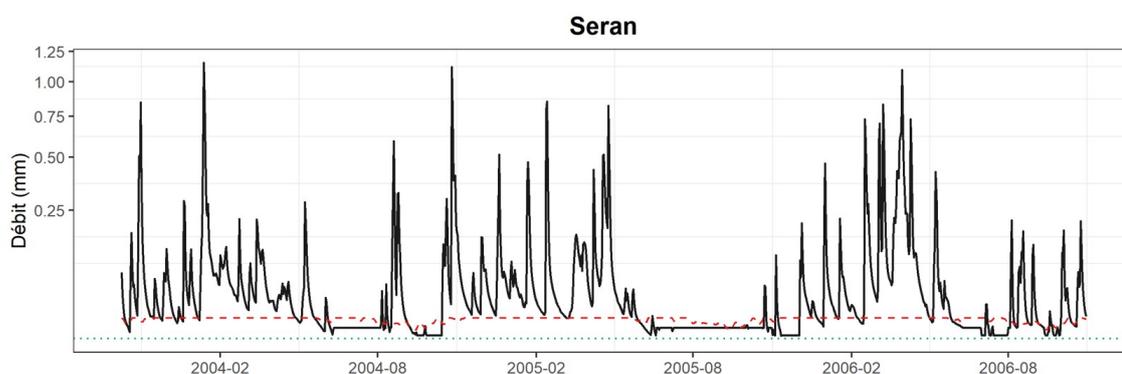


FIGURE 4.2 – Chronique de débit brut (noir) du Séran, en rouge le seuil mixte, en vert le débit nul.

Si les mesures de débits sont parfois faussées, le relevé de côte est globalement cohérent sur ces périodes. Il est dès lors possible de reconstituer approximativement le débit à partir de la courbe hauteur-débit du cours d'eau de telle sorte à pouvoir définir les événements d'étiage sur la période (Figure 4.3). Néanmoins les valeurs de débit ainsi obtenues comportent des approximations fortes, elles ne sont pas prises en compte dans les calculs de seuil.

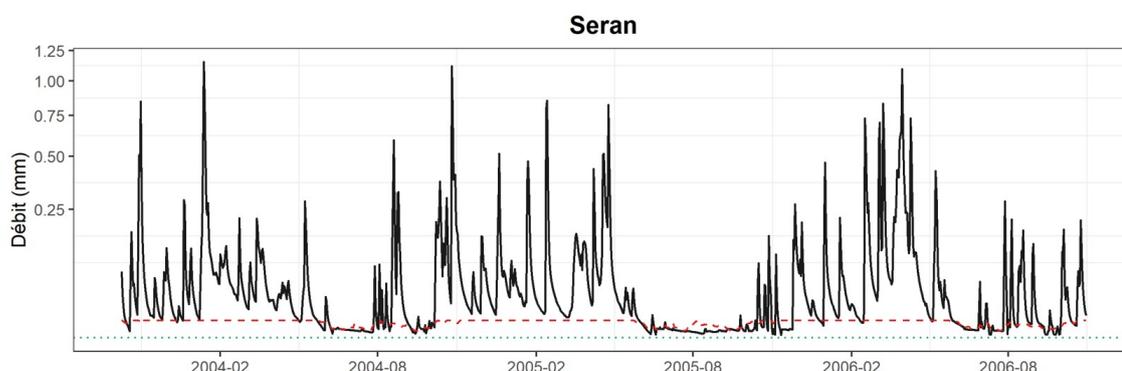


FIGURE 4.3 – Chronique de débit corrigé (noir) du Séran, en rouge le seuil mixte corrigé, en vert le débit nul.

4.3 Changement de débit réservé

Avec des données comprises entre janvier 1984 et janvier 2020, la topographie, la gestion, ou le régime d'un cours d'eau peuvent évoluer. Il y a les changements naturels qui ne nécessitent pas d'adaptation particulière des données, ces évolutions faisant partie intégrante de la vie d'un cours d'eau. Il y a d'autre part les changements liés aux activités humaines et qui nécessitent de redéfinir la période d'étude. C'est notamment le cas de la Durance qui a vu son débit réservé (débit minimal autorisé) passer de $4,7\text{m}^3/\text{s}$ tout au long de l'année avant 2014, à un débit réservé variant entre $4,7\text{m}^3/\text{s}$ et $15\text{m}^3/\text{s}$ selon la période de l'année (Bêchel *et al.*, 2018). Si le seuil était le même pour ces deux périodes, beaucoup moins d'étiages seraient observés à partir de 2014 suite à la hausse du débit minimum. Il n'était donc pas envisageable d'utiliser la même valeur de seuil suite au changement de débit réservé. Ainsi, chacune des périodes nécessite ses propres calculs de seuils bien que cela engendre une hausse des incertitudes, la période récente ne comportant que six années.

4.4 Bassins intermittents

Dans le cadre de l'identification des étiages pour des rivières pérennes, le quantile retenu est généralement de l'ordre de 90% (Section 3.2), cela n'est cependant pas adéquat pour le cas des bassins intermittents. En effet, les débits nuls tendent à écraser les seuils et donc à estomper les éventuels autres évènements, mais ils mènent également à des durées cumulées d'étiage supérieures à celles attendues pour le quantile choisi. Pour identifier les bassins intermittents, les courbes de débits classés sont tracées et si la station relève plus de 5% de débits nuls sur la période d'étude, alors le bassin est considéré comme intermittent. Sur le bassin versant rhodanien, le Roubion et l'Aygues sont les deux cours d'eau qui tendent le plus à être intermittents avec respectivement 5.1% et 5.6% de jours de débit nul.

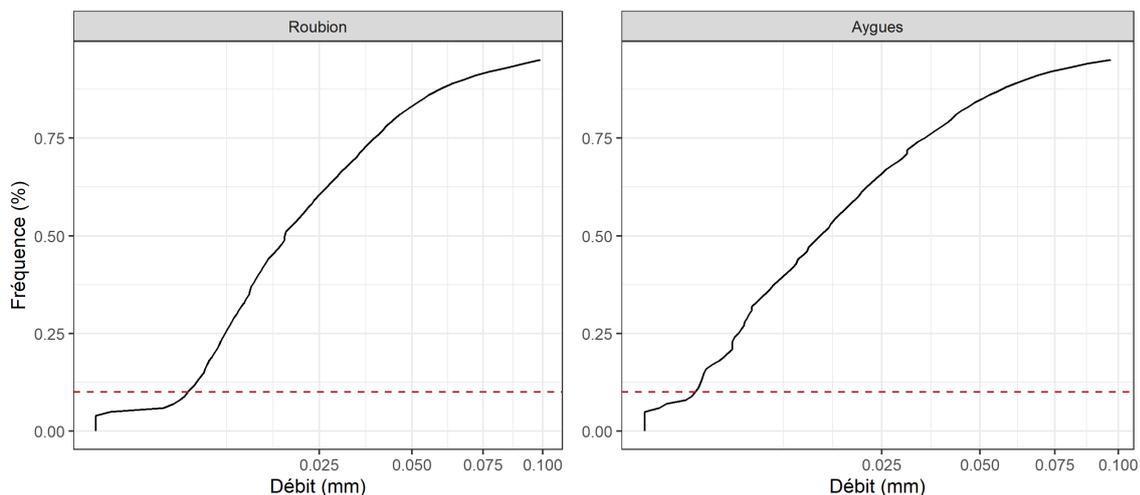


FIGURE 4.4 – En noir les courbes de débits classés du Roubion et de l'Aygues, en rouge la fréquence de 10% des débits dans la perspective d'un seuil mixte de quantile 90%.

Pour les bassins intermittents, Van Huijgevoort *et al.* (2012) associe la TLM à la Consecutive Dry Period Method (CDPM) en séparant les périodes de débit nul et celles de débit strictement positif. La TLM est directement appliquée sur ces derniers alors que les débits nuls sont d'office considérés comme un étiage. Par la suite, les différents évènements d'étiage obtenus sont regroupés puis classés en fonction de leur durée et sévérité. Sont finalement considérés comme

des évènements d'étiage les évènements les plus forts dont les durées cumulées n'excèdent pas les 10% de la durée totale pour un quantile 90%.

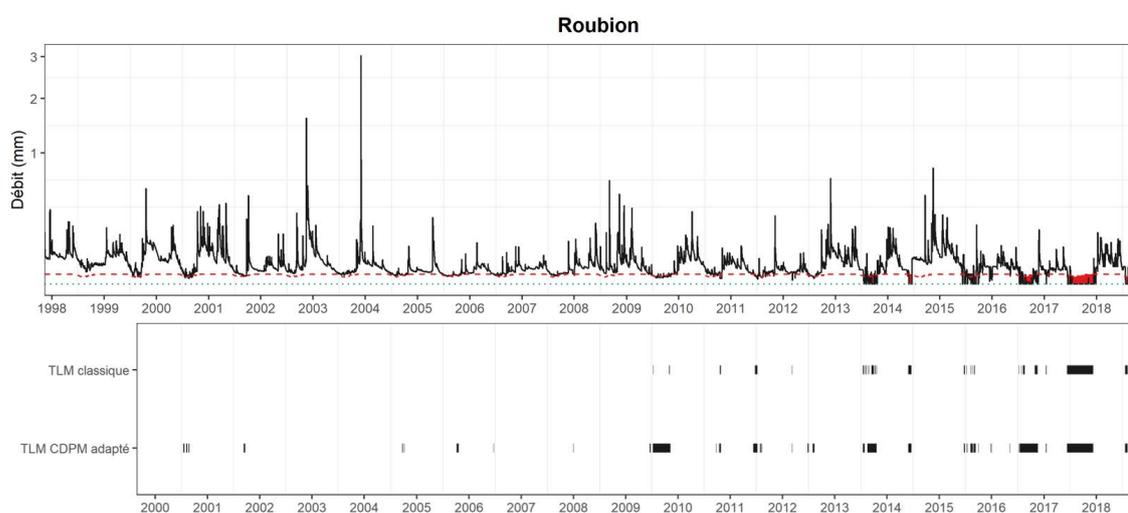


FIGURE 4.5 – Comparaison des méthodologie dans l'exemple du Roubion intermittent. Première ligne : en noir le débit, en pointillés rouges le seuil mixte, en pointillés verts la valeur 0 de débit, en rouge le déficit. Seconde ligne : les dates de début et fin d'évènements représentés par une barre noire selon la méthodologie choisie.

L'adaptation de la méthode de Van Huijgevoort *et al.* (2012) a permis de palier cette problématique des bassins intermittents. La TLM seule donne trop de poids aux débits nuls (Figure 4.5 TLM classique) en considérant que la moitié des étiages sont des débits nuls. Cette sur-représentation des débits nuls écrase les seuils, l'amenant parfois à zéro ce qui est problématique pour le SPA qui repose sur le déficit entre le seuil et le débit. Dans l'exemple du Roubion, des débits nuls sont apparus à partir de 2013, correspondant à une évolution naturelle du cours d'eau.

Coupler la TLM à la CDPM permet d'avoir des résultats plus pertinents sur les stations problématiques et permet de relever des évènements d'étiage hors période de débit nul (Figure 4.5 TLM CDPM adapté). Autre avantage de cette méthodologie : elle peut être appliquée à toutes les stations de la zone d'étude, les cours d'eau dont les débits sont toujours positifs se voient simplement appliquer la TLM. Cela permet ainsi d'éviter d'appliquer une méthode ou quantile différent pour les bassins intermittents et de maintenir une cohérence méthodologique sur l'ensemble du bassin versant rhodanien.

Chapitre 5

Identification spatiale d'un événement sur les bassins indépendants

Sommaire

5.1	Découpage en zones homogènes	27
5.2	Appariement par zone homogène	29
5.2.1	Initial : Évènements locaux	29
5.2.2	Appariement intra-groupe	30
5.2.3	Évènements représentatifs pondérés	31
5.3	Appariement global	32
5.3.1	Appariement des évènements représentatifs : appariement inter-groupe . .	32
5.3.2	Report de l'appariement inter-groupe au local	34

Un découpage par HER, développé par Caillouet (2016), a été présenté dans la Section 3.3. Ce dernier permet d'appliquer la méthode d'appariement en deux temps : un appariement intra-HER suivi d'un appariement inter-HER reporté localement sur les stations de référence. Cette méthodologie était performante dans le cadre d'un vaste territoire avec des bassins versants naturels indépendants.

En revanche cette étude porte sur le bassin du Rhône incluant aussi bien des affluents indépendants que des stations du Rhône soumises à différentes influences amont. Dans l'adaptation de la méthode, cette dissociation sera prise en compte pour éviter de comptabiliser plusieurs fois le même évènement d'étiage et lui donner trop de poids. Par exemple, les étiages de la Saône ne doivent pas être comptabilisés sur la Saône et sur la station du Rhône à l'aval direct de la confluence, Perrache.

5.1 Découpage en zones homogènes

Plusieurs méthodes de groupement et d'appariement ont été envisagées. Un découpage par HER ne prend pas suffisamment en compte les spécificités de chaque cours d'eau et réunit plusieurs stations du Rhône dans un même groupe : un étiage sur le Rhône est alors compté plusieurs fois, là où ceux des affluents sont comptés une seule fois.

Des groupes selon une logique amont-aval ont été envisagés mais encore une fois, regrouper les stations du Rhône directement avec celles des affluents menait également à des double comptage d'événements. Fort de ces échecs, il a été décidé d'effectuer dans un premier temps l'appariement sur les affluents et l'exutoire du Rhône suisse à Pougny pour ensuite le reporter sur le Rhône français (Section 5.2). Le choix s'est alors logiquement porté sur une classification par régime hydrologique de ces "stations indépendantes". La région entourant le Rhône est sujette à beaucoup d'influences climatologiques variées ce qui en fait une zone d'étude particulièrement délicate.

Du point de vue climatologique le Rhône est sujet à trois grandes influences (Guillaumin *et al.*, 2000, Auffray *et al.*, 2010). Tout d'abord une région au climat de montagne qui est régie par l'altitude sur l'ensemble des affluents Nord-Est du fleuve. Elle se traduit par des précipitations fréquentes et abondantes généralement sous forme solide lors des saisons froides, ce qui en fait leur période de basses eaux. En aval de Lyon, le climat est sous influence semi-continentale avec des étés chauds. Enfin, à partir de Valence et jusqu'au delta, le climat tend vers des influences méditerranéennes. Pour ces deux derniers climats, les périodes de basses eaux tendent à se concentrer en été, et de grandes quantités de précipitations tombent en automne, dans un laps de temps très court, tout particulièrement à proximité des reliefs dans le cas des épisodes méditerranéens.

Ces influences météorologiques jouent un rôle prédominant dans les régimes hydrologiques complexes des cours d'eau du bassin rhodanien. Dans le prolongement de l'utilisation brute des HER de Wasson *et al.* (2002), il a été choisi d'analyser au cas par cas les régimes hydrologiques des 21 stations indépendantes de telle sorte à prendre pleinement en compte la répartition du réseau hydrographique français. Les débits moyens mensuels sur la période de référence ont ainsi été comparés à la classification des régimes hydrologiques de Sauquet *et al.* (2008) représenté dans la Figure 5.1.

Divisés en 12 régimes-types, ceux-ci débutent par les régimes pluviaux et tendent au fur et à mesure vers un régime nival avec les étiages dans la période hivernale. Les hydrogrammes des 21 stations indépendante ont été tracés puis associés à leur régime-type en fonction de leur compatibilité avec les différents régimes hydrologiques (Annexes 9.2.2). Les grands bassins sont soumis à plusieurs dominantes ce qui les rend difficiles à classer, comme la Durance qui est soumise à un régime nival en amont qui tend vers un régime méditerranéen en aval.

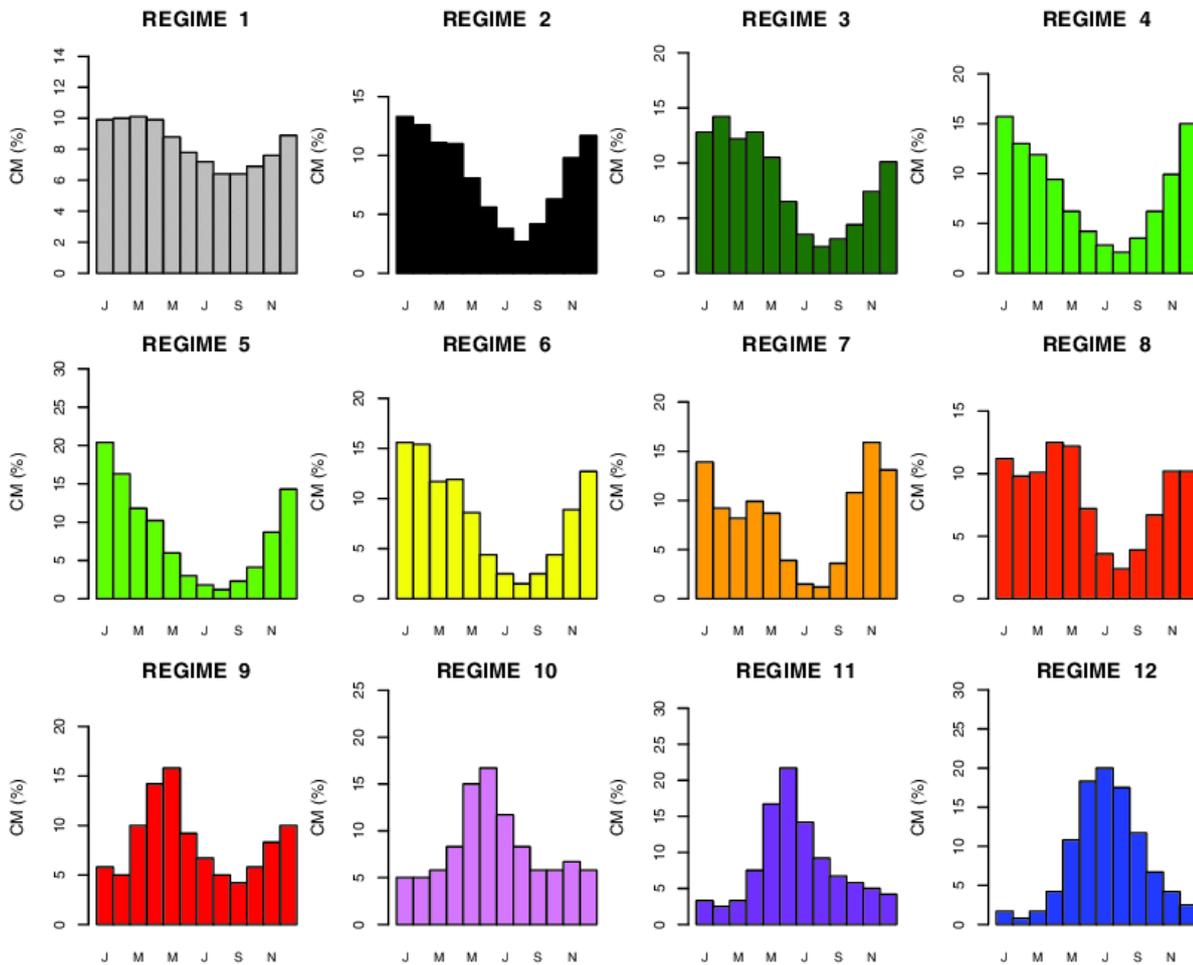


FIGURE 5.1 – Classification des régimes hydrologiques selon Sauquet *et al.* (2008). L'ordonnée représente les coefficients mensuels de débit (CM), définis par les débits mensuels moyen interannuels divisés par le module et exprimés en %.

En recoupant les caractéristiques hydrologiques et la localisation géographique des bassins indépendants du Rhône, il a été possible de les répartir suivant trois groupes comptant chacun entre six et huit stations :

- **Les bassins nivaux** correspondant à la région amont du Rhône avec les stations de Pougnny, l'Arve, la Valserine, les Usses, le Sérans, le Fier, le Guiers et l'Isère ;
- **Les bassins pluviaux** correspondant à la région intermédiaire du Rhône avec les stations de l'Ain, la Saône, le Doux, l'Eyrieux, la Drôme, l'Ouvèze Rive droite et le Roubion ;
- **Les bassins méditerranéens** correspondant à la région aval du Rhône avec les stations de l'Ardèche, la Cèze, l'Aygues, l'Ouvèze Rive gauche, la Durance et le Gard.

Par la suite, le groupe correspondant au régime nival sera nommé Groupe 1, celui au régime pluvial Groupe 2 et celui au régime méditerranéen, Groupe 3.

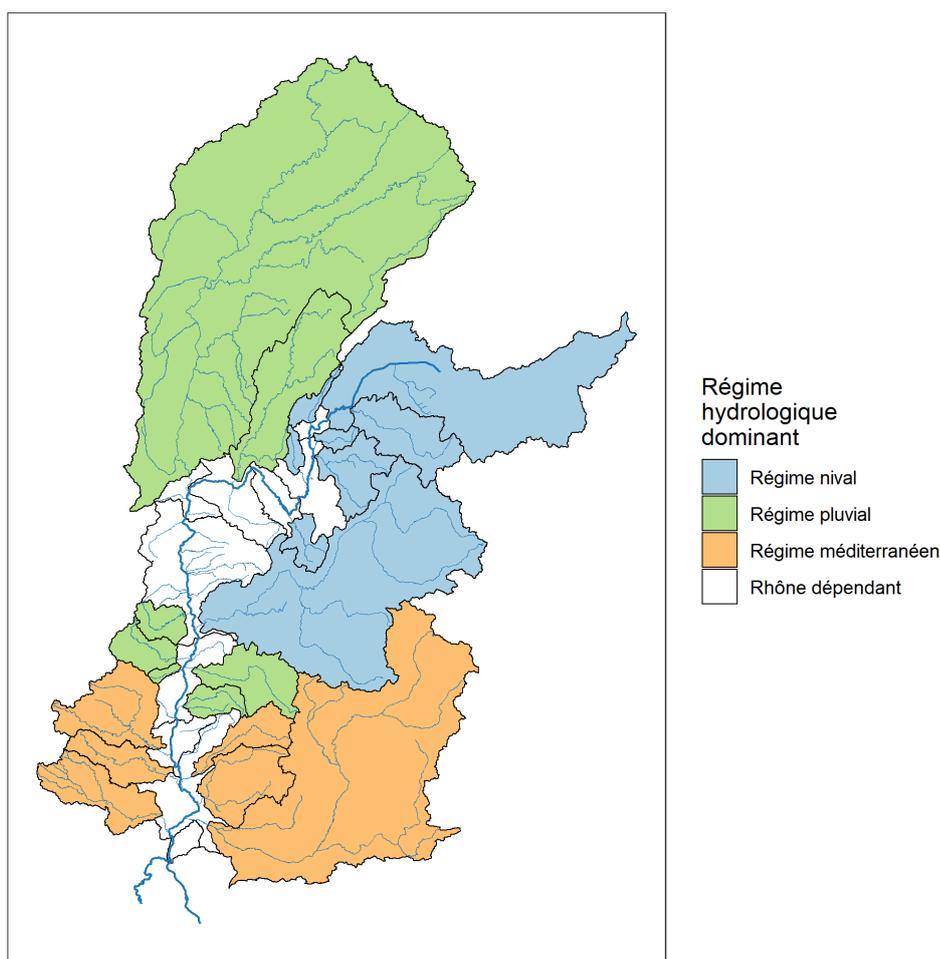


FIGURE 5.2 – Présentation des différents régimes hydrologiques influençant les cours d'eau indépendants.

5.2 Appariement par zone homogène

Une fois le découpage fixé, la caractérisation locale des événements est effectuée en appliquant le TLM couplée au CDPM pour effectuer les calculs de seuils sur tous les bassins, sur la période 1984-2020, et déterminer les SPA de chaque station. Comme dit précédemment, afin de caractériser les étiages de façon globale, un appariement est effectué par zones homogènes sur les bassins indépendants puis reporté au Rhône. Cette procédure est détaillée dans les sous sections suivantes.

Les étiages sont représentés par leurs dates de début et fin d'évènement, correspondant à une barre noire pour les événements locaux. Les événements appariés et caractérisant le même étiage sont représentés par une barre colorée, une même couleur représentant un même événement spatialement cohérent.

5.2.1 Initial : Évènements locaux

Après avoir appliqué la TLM sur les chroniques de débit journalier (Chapitre 3), les dates de début et de fin d'évènement d'étiage local sont déterminées pour l'ensemble des stations indépendantes et les événements sont localement identifiés (Figure 5.3).

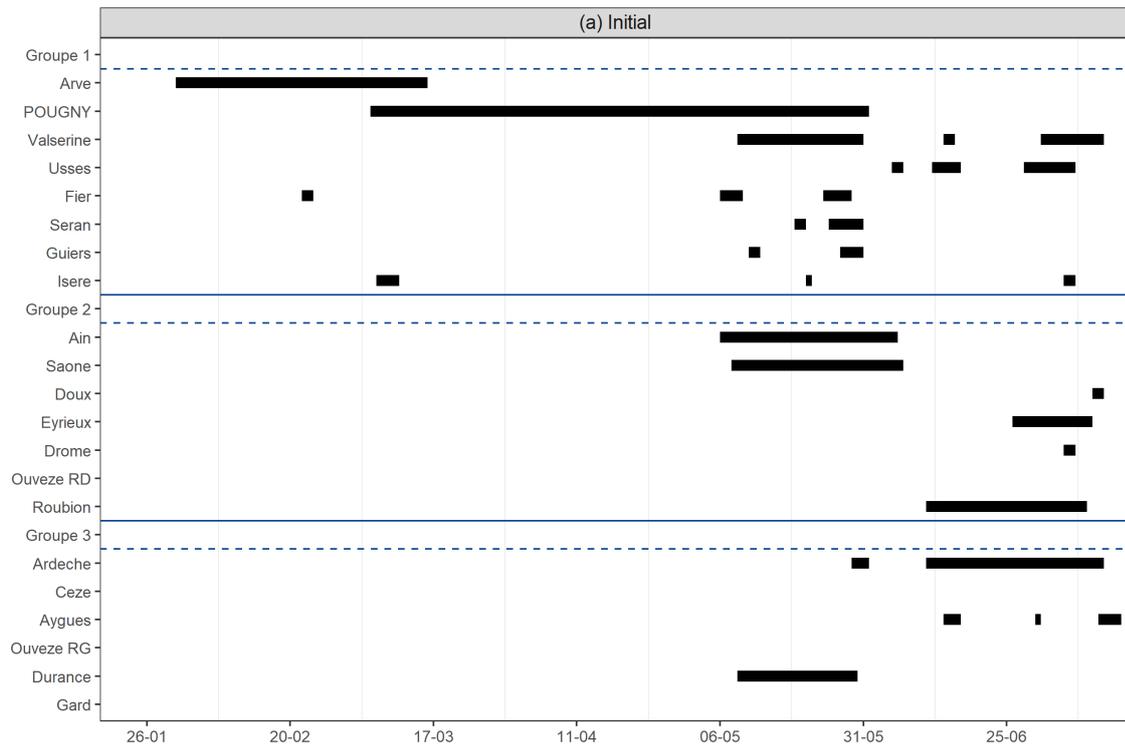


FIGURE 5.3 – Événements locaux d'étiage des stations indépendantes réparties selon leur groupe.

5.2.2 Appariement intra-groupe

La première étape d'appariement se réalise au sein de chaque groupe de régime hydrologique. Cette étape d'appariement repose sur le principe de chevauchement d'évènement utilisé dans la thèse de Caillouet (2016) : si un évènement long d'une station A a lieu sur la même période que deux évènements distincts d'une station B, alors l'évènement de la station A regroupe les évènements B. Ils sont alors considérés comme la conséquence du même phénomène d'étiage comme représenté sur la Figure 5.4 pour le groupe nival.

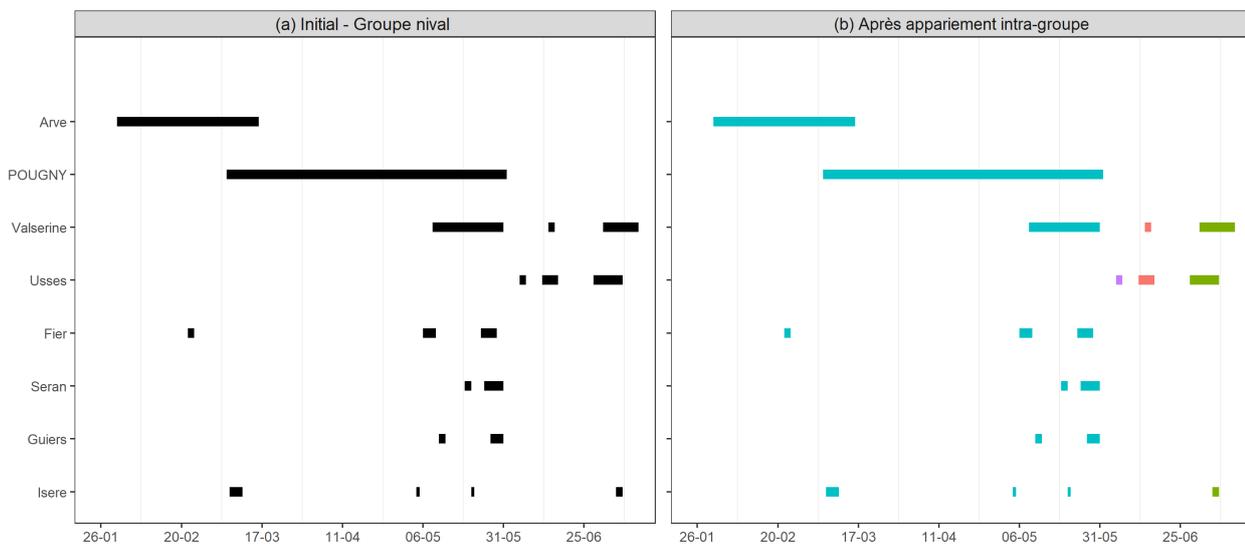


FIGURE 5.4 – Événements locaux d'étiage (a) et événements appariés (b) (exemple sur le Groupe 1).

Cet appariement est réalisé indépendamment au sein de chaque groupe. De plus, pour éviter que des petits affluents apparients des événements sur les bassins principaux, une valeur seuil de débit journalier moyen relatif est fixée pour pouvoir appairier. Pour une période d'étiage locale, le poids associé à une station correspond au rapport du débit de cette station sur la somme des débits des autres stations détectant l'évènement. Dans l'exemple de la Figure 5.5, toutes les stations du groupe nival, à l'exception du Sérans, voient un évènement tous les jours du 13/09 au 02/12. Sur cette période, les Ussees correspondent à 1% de la somme des débits des stations voyant l'évènement et l'Isère 40%.

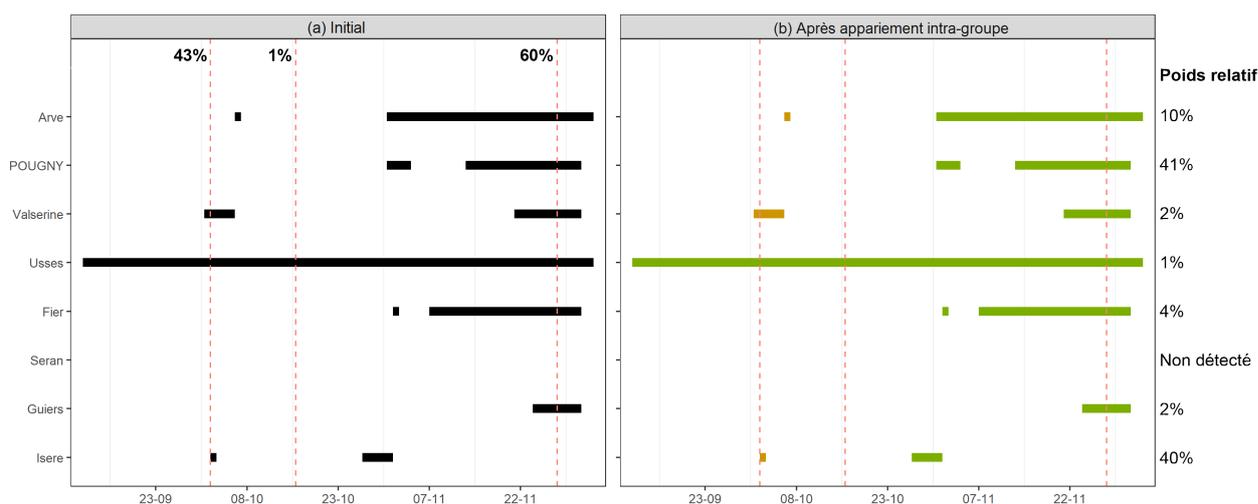


FIGURE 5.5 – Évènements locaux d'étiage et évènements appariés, les poids relatifs correspondant aux débits journaliers moyens de chaque station par rapport à la somme des débits détectant l'évènement (Groupe 1).

Or, la valeur seuil pour appairier correspond au rapport entre le troisième plus petit débit journalier moyen et la somme des deux plus grands débits journaliers moyens du groupe. Soit dans le cas du groupe nival, une valeur seuil de 2,11%, ne permettant pas aux Ussees d'appairier dans l'exemple de la figure ci-dessus.

5.2.3 Évènements représentatifs pondérés

Une fois les différents évènements appariés au sein du groupe, un évènement représentatif est généré pour chaque évènement de groupe. Dans sa thèse, Caillouet (2016) utilisait les médianes de dates de début et fin d'évènement, cette méthode pose ici problème. En effet, elle donne trop d'importance à de petits cours d'eau ayant donc peu d'influence sur le Rhône au détriment des stations principales telles que celles de Pougny et de l'Isère dans le cas du groupe nival. Pour éviter ce biais, une pondération selon le débit moyen annuel est effectuée. Chaque station a un poids relatif (Equation 5.1) associé, correspondant au débit moyen annuel de la station par rapport à la somme de l'ensemble des débits du groupe.

$$p_{Station,i} = \frac{Q_{Station,i}}{\sum Q_{Station}} \quad (5.1)$$

Ce poids est alors appliqué sur les dates de début et de fin d'évènement de telle sorte à ce que l'évènement représentatif soit cohérent avec l'importance des bassins dans le groupe (Equation 5.2).

$$t_{0,Event} = \frac{\sum t_{0,i} * p_{Station,i}}{\sum p_{Station,i}} \quad (5.2)$$

Où $\left\{ \begin{array}{l} p_{Station,i} \text{ est le poids associé à une station } i; \\ Q_{Station,i} \text{ est le débit journalier moyen de la station } i; \\ t_{0,Event} \text{ est la date de début de l'évènement représentatif associé;} \\ t_{0,i} \text{ est la date de début de l'évènement vu par la station } i \text{ (nul} \\ \text{si non détecté).} \end{array} \right.$

À titre d'exemple, le débit à Pougny compte pour 40% du groupe nival là où le débit du Sérán n'en représente que 1%, la date de début d'un évènement vu uniquement par ces deux cours d'eau sera très proche de celle de Pougny et correspond à l'Équation 5.3.

$$t_{0,Event} = \frac{40}{41} * t_{0,pougny} + \frac{1}{41} * t_{0,seran} \quad (5.3)$$

Un évènement pondéré représentatif est ainsi créé pour chaque étiage spatialisé au niveau du groupe (Figure 5.6).

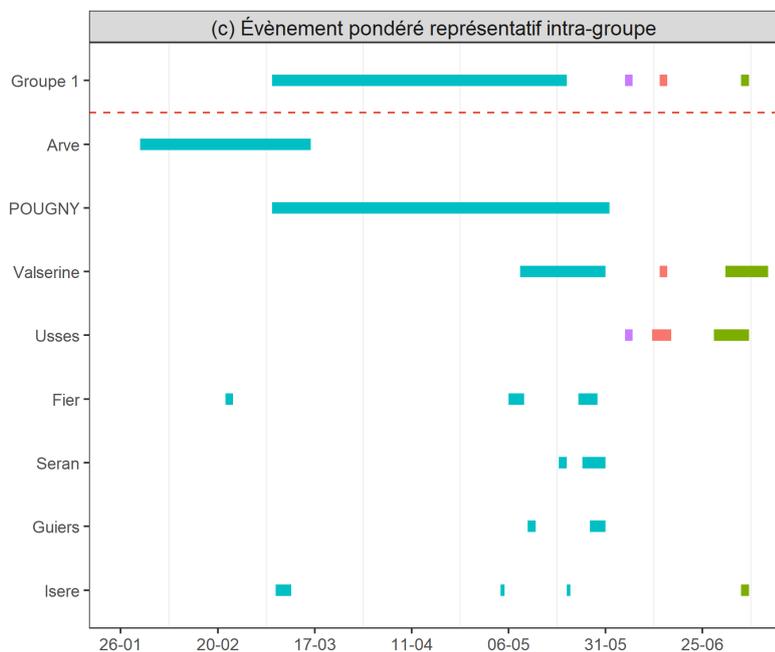


FIGURE 5.6 – Création d'évènements pondérés représentatifs du groupe nival.

5.3 Appariement global

Une fois les étapes d'appariement intra-groupe et de création d'évènements pondérés représentatifs effectuées pour les groupes nival, pluvial et méditerranéen, une mise en cohérences des évènements est nécessaire en passant par un appariement global.

5.3.1 Appariement des évènements représentatifs : appariement inter-groupe

Les évènements représentatifs jouent le rôle d'évènements tampons pour éviter de forcer des appariements qui ne seraient pas cohérents. La situation après avoir effectué les opérations énoncées dans la Section 5.2.3 est illustrée dans la Figure 5.7. À noter qu'à ce stade, les évènements représentatifs pondérés n'ont aucun lien entre eux, les groupes étant tous traités séparément.

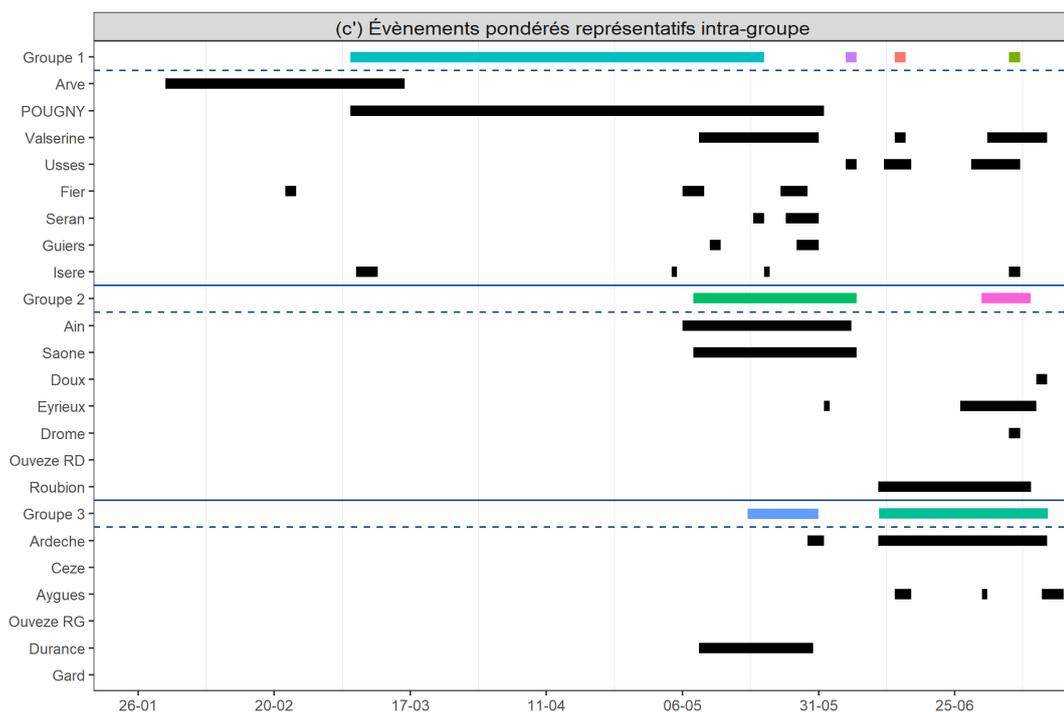


FIGURE 5.7 – Évènements locaux et évènements pondérés représentatifs de groupe.

De manière analogue à la précédente étape d'appariement, les évènements pondérés représentatifs sont appariés entre eux. Dans la Figure 5.8, une couleur correspond bien à un étiage représentatif spatialement cohérent sur l'ensemble des bassins indépendants.

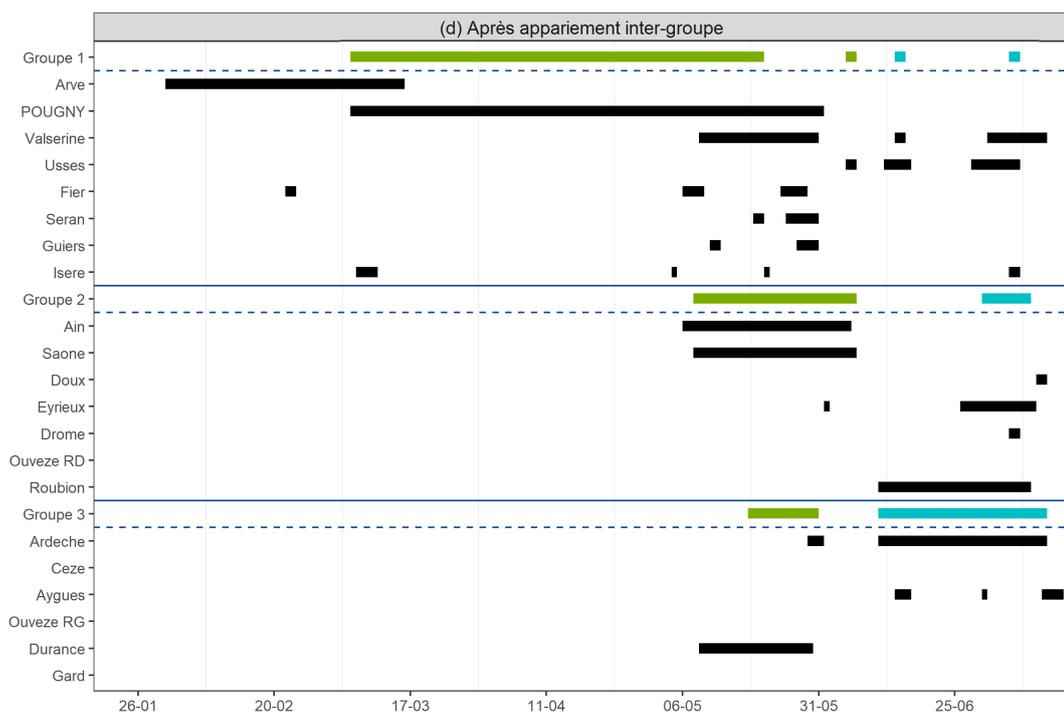


FIGURE 5.8 – Évènements pondérés représentatifs de groupe appariés.

Dans la Figure 5.8, une couleur correspond bien à un étiage représentatif spatialement cohérent sur les bassins indépendants. De manière analogue à la précédente étape d'appariement, les événements pondérés représentatifs sont appariés entre eux. De même, le système de poids, reposant sur le débit, est maintenu pour éviter qu'un petit affluent puisse apparier des événements d'un autre groupe. Le poids d'un événement représentatif correspond alors à la somme des poids des stations le détectant.

5.3.2 Report de l'appariement inter-groupe au local

Les événements représentatifs étant spatialement cohérents sur le domaine d'étude, il ne reste plus qu'à reporter ces résultats sur les événements locaux. Tous les événements locaux qui ont contribué à un événement représentatif lui sont rattachés, l'événement représentatif est alors reporté sur les stations locales qui ont permis de le construire.

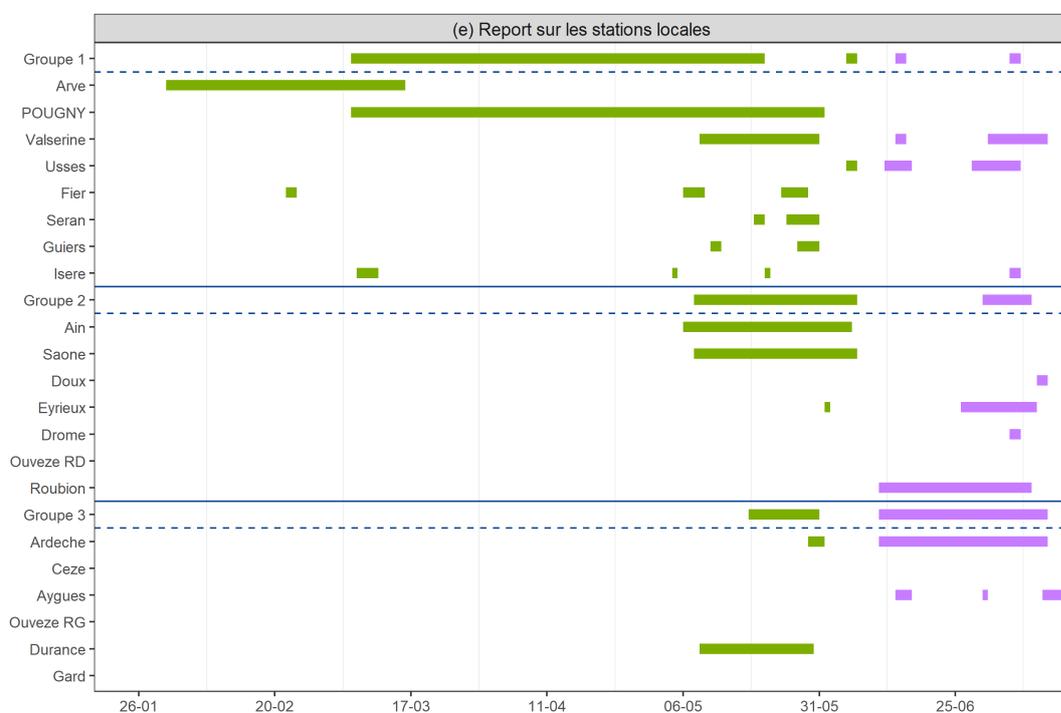


FIGURE 5.9 – Report des résultats de l'appariement inter-groupe sur les événements locaux.

Chapitre 6

Identification spatiale d'un événement sur les stations du Rhône

Sommaire

6.1	Report d'appariement sur les stations du Rhône	36
6.1.1	Évènements représentatifs bornés amont	36
6.1.2	Report sur le Rhône	37
6.2	Corrections et validation des évènements spatialisés	38
6.3	Construction d'un historique	39

6.1 Report d'appariement sur les stations du Rhône

Suite à l'appariement des stations indépendantes décrit dans le Chapitre 5, l'objectif est ici de reporter ces résultats sur les stations du Rhône suivant une logique amont-aval. Le principe part de l'hypothèse suivante : les événements d'étiage se déroulant sur une station du Rhône sont la conséquence d'évènements ayant lieu sur l'ensemble des bassins versants indépendants amont. Ce report se réalise en deux étapes successives.

6.1.1 Évènements représentatifs bornés amont

À ce stade, l'ensemble des stations indépendantes du bassin versant rhodanien sont spatialement cohérentes alors que les stations du Rhône aval sont encore de simples évènements détectés localement (Figure 6.1).



FIGURE 6.1 – Évènements spatialisés pour les stations indépendantes et évènements locaux sur le Rhône aval suite à la première étape d'identification spatiale (axe des ordonnées amont-aval).

La première étape consiste à créer un événement qui résume ce qui se passe sur les stations en amont de la station Rhône concernée. Cet événement sera appelé événement représentatif. Par exemple, dans le cas de la station de Perrache, les stations indépendantes amont correspondent à Pougny, la Valserine, les Usses, le Fier, le Séran, le Guiers et l'Ain. L'Arve n'est pas prise en compte car le cours d'eau se trouve en amont de la station de Pougny qui est considéré comme l'exutoire du Rhône suisse, les événements sur l'Arve impactant le Rhône sont censés se répercuter sur la station de Pougny.

Tous les étiages spatialisés des bassins indépendants sont résumés dans des événements représentatifs en prenant les dates extrêmes de chaque événement spatialisé. En réponse à des cas particuliers de petits affluents avec des événements excessivement longs par rapport aux autres cours d'eau détectant l'étiage, seules les dates des stations dont le débit moyen journalier

est supérieur à 2% de la somme des débits des stations détectant l'évènement sont prises en compte. Dans le cas de la station de Perrache, les dates des Usses et du Sérans ne sont donc pas prises en compte.

De plus, la fin de l'évènement représentatif borné est repoussé d'une journée par rapport aux stations indépendantes. Cela correspond au temps de réponse pouvant exister entre les affluents et le fleuve. Ainsi, dans l'exemple de la Figure 6.2, la date de fin de l'évènement représentatif en rouge de la Figure 6.2, correspond à celle de l'Ain plus un jour.

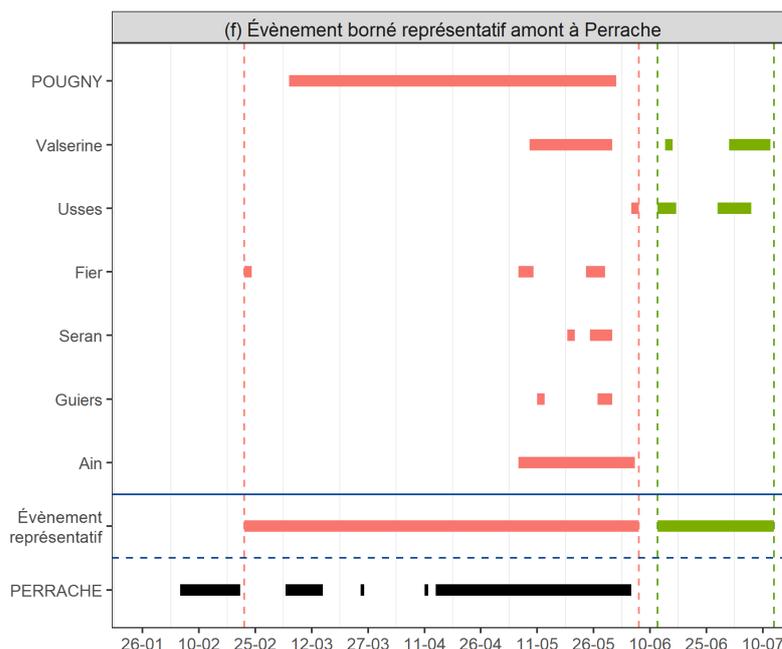


FIGURE 6.2 – Création d'un évènement borné représentatif dans l'exemple de la station à Perrache sur le Rhône.

Dans le cas d'évènements représentatifs se superposant ou imbriqués, une sélection s'effectue une nouvelle fois selon le débit moyen journalier de la station ayant le plus fort poids. Si l'évènement A, précédant l'évènement B, est détecté par des bassins dont les poids sont plus forts que ceux de l'évènement B, alors les dates de l'évènement A sont conservées et la date de début de l'évènement B est reportée un jour après la fin de l'évènement A. Dans le cas inverse, la date de fin de l'évènement A est avancée pour correspondre à la veille de la date de début de l'évènement B.

6.1.2 Report sur le Rhône

Les résultats des évènements représentatifs amont sont alors reportés sur la station du Rhône aval. Les évènements locaux détectés sur le Rhône sont associés à l'évènement spatialisé qui a le plus grand nombre de jours en commun avec celui-ci. Ce procédé est réalisé au fur et à mesure sur l'ensemble des stations du Rhône à l'exception de celle de Pougny qui reste catégorisée comme une station indépendante en tant qu'exutoire du Rhône suisse.

Cependant, il arrive que des évènements sur le Rhône ne soient pas détectés par les stations indépendantes amont comme l'illustre l'évènement à Perrache en février sur la Figure 6.3. Ces évènements restent alors uniquement définis de manière locale en attente d'une ultime étape de correction et validation décrite dans la Section 6.2.

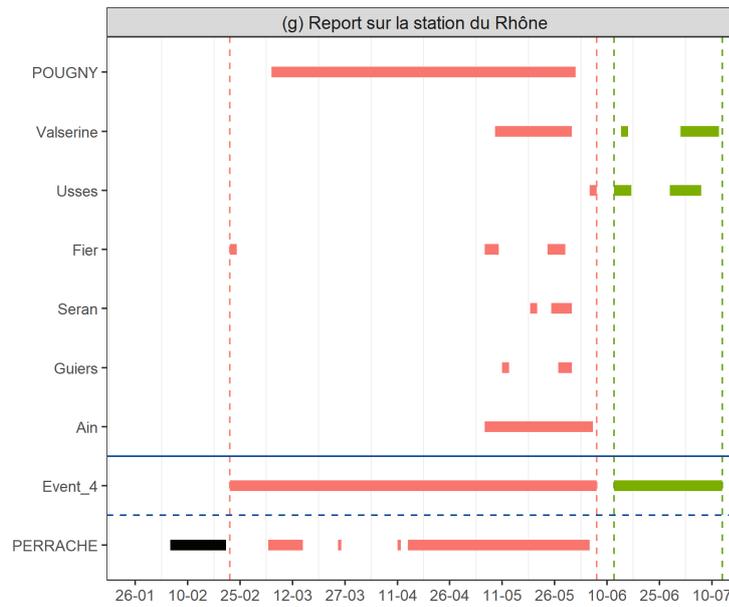


FIGURE 6.3 – Report des événements bornés représentatifs sur la station de Perrache.

6.2 Corrections et validation des événements spatialisés

Comme mentionné dans la section précédente, un étiage sur le Rhône n'est pas toujours détecté comme la conséquence d'événements amont. La Figure 6.4 illustre la situation après le report des événements bornés représentatifs sur le Rhône avec des événements non appariés à Bognes, Brens, Pont de Lagnieu et Perrache.



FIGURE 6.4 – Événements spatialisés et événements locaux post report d'appariement sur le Rhône.

La correction s'effectue selon plusieurs facteurs. Tout d'abord, dans le cas où des événements sur le Rhône n'ont pas été détectés pas des stations indépendantes et si des dates se chevauchent sur plusieurs stations du Rhône, un nouvel événement spatialisé est généré permettant de réunir ces événements (Figure 6.5). Ces erreurs peuvent être le fruit de problèmes de mesure à l'amont ou de bruit de la méthode.

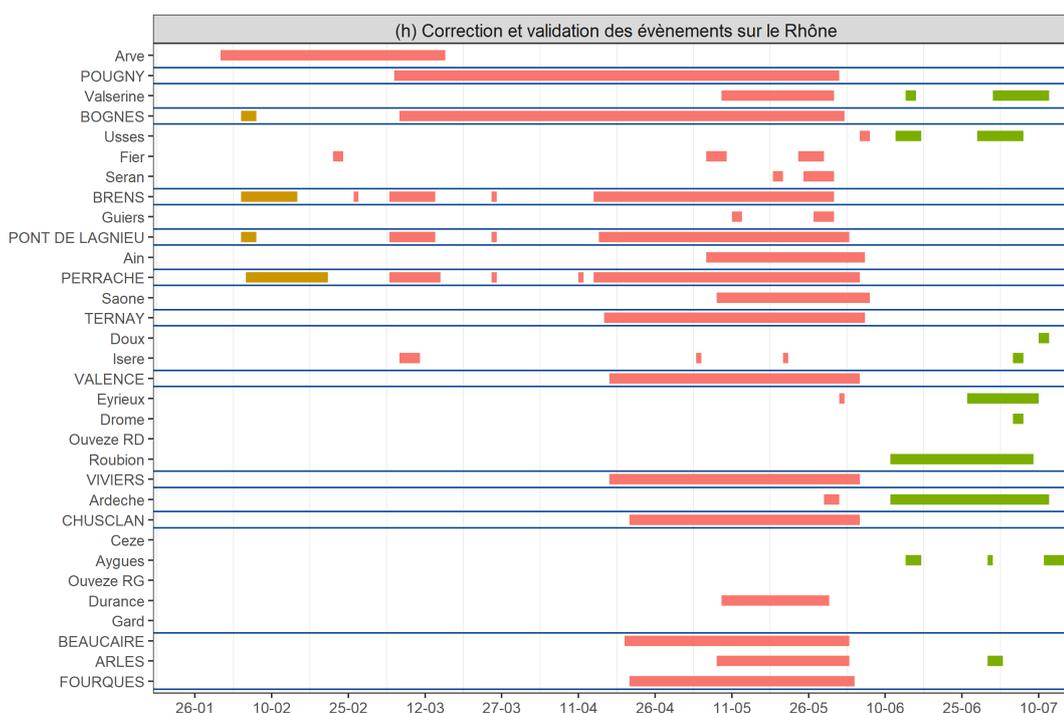


FIGURE 6.5 – Événements spatialisés sur l'ensemble du bassin versant rhodanien.

Il arrive également que deux événements semblent appartenir au même événement global sur le Rhône soient catégorisés différemment après l'appariement sur les stations indépendantes. En effet, un événement sur le Rhône peut survenir alors qu'aucune station en amont ne le détecte mais qu'il soit repéré par des stations plus en aval. Dans ce cas, sans étape corrective, les événements seraient considérés comme différents. Pour identifier ces superpositions d'événements, les événements sur le Rhône sont comparés entre eux pour repérer les jours où des événements différents ont lieu simultanément. Dans ce cas, les événements se superposant sont réunis en un unique événement spatialisé.

6.3 Construction d'un historique

Une fois l'identification des événements d'étiage effectuée sur l'ensemble des stations, il est possible de déterminer leur période de retour en durée et en sévérité. Ces dernières permettent de comparer les événements sur les différentes stations du bassin versant rhodanien. Un classement des événements par station est alors réalisé sur l'ensemble de la période d'étude. Plusieurs événements remarquables se dégagent alors.

L'événement de **1989-1990**, particulièrement fort en durée et en sévérité, s'inscrit dans une sécheresse hydrologique à l'échelle de la France (Merillon et Chaperon, 1990). Selon les sources historiques (Choisnel, 1990), cet événement exceptionnel est la conséquence de déficits pluviométriques touchant l'ensemble du territoire. Ceux-ci débutent fin 1988 et se poursuivent

jusqu'à l'été 1990. Au niveau du bassin rhodanien, de nombreux événements d'étiages ressortent sur l'ensemble de cette période avec des événements extrêmes à partir de l'été 1989 et se prolongeant jusqu'au début d'année 1990. Ils se caractérisent par des périodes de retour supérieures à 30 ans en durée et en sévérité sur les stations du Rhône ainsi que sur l'Isère. Il s'agit de l'événement le plus fort en sévérité sur la période 1984-2020 pour les stations de Beaucaire, l'Isère et l'Ardèche. Il est également premier en durée sur les stations du Rhône comprises entre Brens et Beaucaire avec des périodes de retour exceptionnelles dépassant les 35 ans sur la quasi-totalité du fleuve (Figure 6.6).

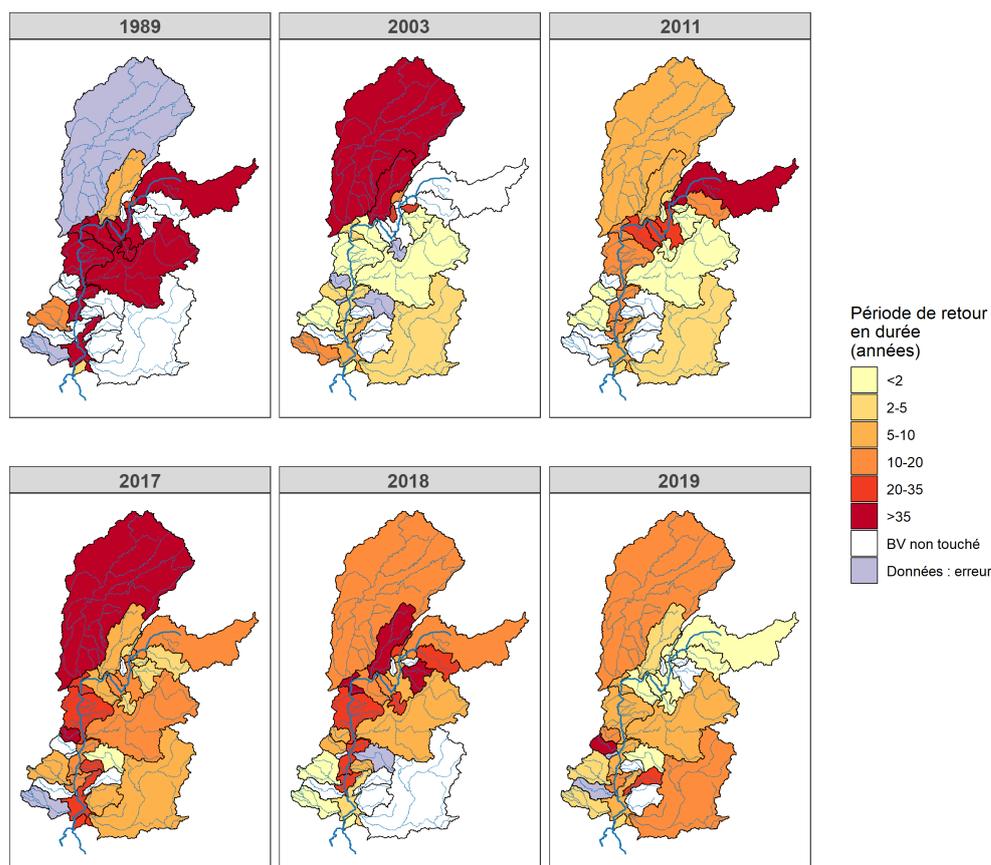


FIGURE 6.6 – Cartes des bassins versant résiduels pour les étiages historiques de 1989, 2003, 2011, 2017, 2018 et 2019.

L'évènement de **2003**, indissociable du célèbre évènement de canicule, est surtout le fruit d'une sécheresse beaucoup moins documentée. Des comparaisons aux évènements d'étiage antécédents tendent à montrer que cette sécheresse météorologique est bien moindre (Klein, 2009). L'ensemble des aménagements ayant permis de limiter l'impact de cette sécheresse hydrologique qui aurait pu être bien plus sévère autrement (Moreau, 2004). Certaines régions connaissent une période relativement humide grâce à un hiver précédent pluvieux, permettant de préserver les nappes (Landmann *et al.*, 2003). Cependant, du côté de la région Rhône-Alpes, des évènements longs et sévères ont touché les affluents. Les affluents nivaux et pluviaux tels que la Saône, l'Ain, la Valserine, l'Ouvèze Rive droite ou encore les Usses ont classé cet évènement parmi les trois plus forts en durée et en sévérité. Cette sécheresse hydrologique a débuté en mai et s'est conclue vers la fin du mois d'août 2003 avec des durées de l'ordre de la centaine de jours pour l'ensemble de ces stations. En revanche, les autres affluents et le Rhône

sont loin d'avoir été aussi touchés (Figure 6.6). Avec une étendue spatiale de 70% de la surface des bassins indépendants (Figure 6.7), beaucoup d'affluents sont touchés mais les impacts sont relativement limités sur toute la partie Sud du bassin versant.

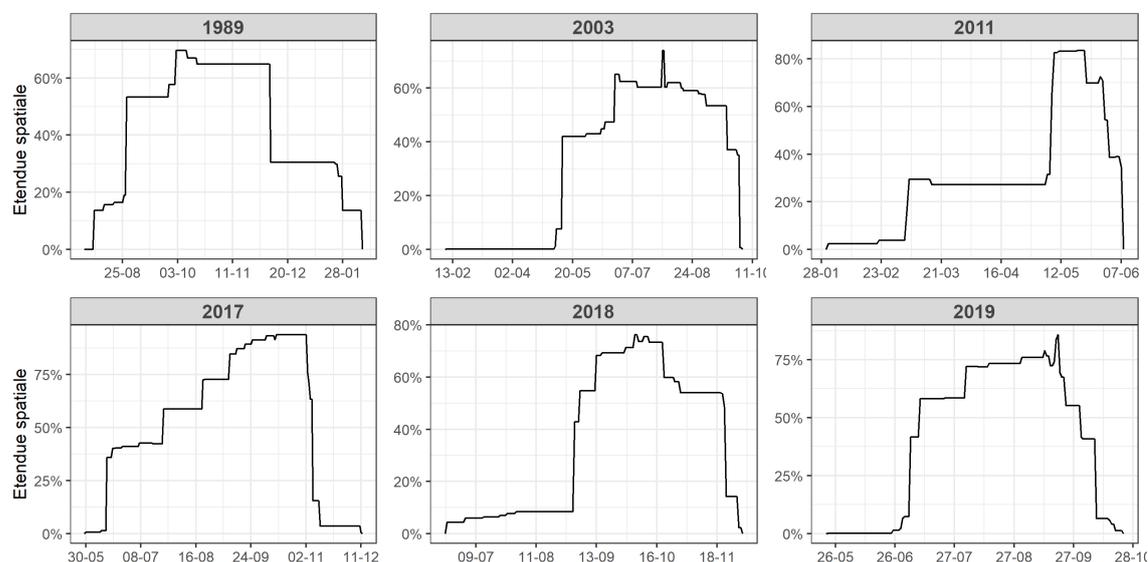


FIGURE 6.7 – Étendues spatiales respectives des étiages historiques de 1989, 2003, 2011, 2017, 2018 et 2019.

L'évènement de **2011** a sévi sur la quasi-totalité de la région Sud-Est mais a épargné les Alpes du Sud. Cette année sèche est marquée par un printemps chaud et sec, un été pluvieux suivi d'un automne très sec. Les déficits ont touchés l'ensemble de la France à l'exception de la région méditerranéenne (Caillouet, 2016). Cet étiage remarquable se démarque par des sévérités exceptionnellement élevées, notamment sur les stations du Rhône en amont de Valence avec des périodes de retour supérieures à 50 ans. Sur l'ensemble des stations amont, l'évènement de 2011 est le plus fort en sévérité depuis 1984. Il est détecté à partir de fin février - début mars 2011 et se prolonge jusqu'à atteindre son pic de sévérité en début juin de la même année. Avec une durée de 88 jours, c'est également l'évènement le plus long enregistré à Pougny, l'exutoire du Rhône suisse, et il tend à s'estomper en descendant vers la méditerranée (Figure 6.6). Cette année 2011 a connu des épisodes particulièrement sévères, la période de retour moyenne sur l'année étant supérieure à 15 ans (Figure 6.8) bien que la durée moyenne soit plus faible que les autres années remarquables.

Année	PdR Durée	PdR Sévérité	Rang Durée	Rang Sévérité	Durée
2018	17.3	11.8	7.2	10.6	54.4
1989	15.8	10.0	18.8	21.0	37.2
2019	7.6	6.1	18.5	19.2	33.7
2017	9.0	6.8	18.1	18.3	33.0
2003	6.7	7.2	23.7	24.3	25.8
2011	4.6	15.7	22.1	22.1	18.3

FIGURE 6.8 – Valeurs moyennes pour chaque année des périodes de retour (PdR) en durée et en sévérité exprimées en années, des rang en durée et en sévérité, de la durée en jours.

Les **étés 2017-2018-2019** ne caractérisent pas un même évènement mais sont notables

dans le sens pour ces trois années consécutives, des étiages records ont été relevés sur l'ensemble du bassin versant rhodanien entre juin et fin octobre. La Figure 6.8 l'illustre particulièrement bien, les trois années présentant des valeurs moyennes en durée et en sévérité extrêmement hautes. L'été 2017 a connu des précipitations particulièrement faibles sur les bassins pluviaux marquant des records en durée et sévérité sur le Doux, le Roubion, la Saône ainsi que la Durance. C'est l'évènement pour lequel le plus d'affluents ont été touchés avec une étendue spatiale proche de 96%. Le Rhône est également particulièrement touché avec un étiage record à Fourques et des durées dépassant les 50 jours consécutifs à partir de Valence. En 2018, les affluents ont de nouveau été particulièrement touchés avec des records en durée et sévérité sur l'Ain, le Fier et la Valserine. La Saône est également fortement touchée, ce qui a des répercussion au niveau de la confluence avec le Rhône à la station de Ternay. Celle-ci enregistre le second plus fort étiage de la période d'étude, derrière celui de 2011. Le Rhône, de Valence à Chusclan, subit fortement l'étiage avec des périodes de retour supérieures à 30 ans. Enfin, en 2019, les affluents soumis aux régimes pluviaux ou méditerranéens ainsi que les stations du Rhône en aval de Ternay enregistrent des évènements faisant régulièrement partis du top 5 en durée et en sévérité (Figure 6.8).

Partie III - Passage à l'opérationnel

Chapitre 7

Fonctionnement de l'outil opérationnel

Sommaire

7.1 Conception d'OSSEC	45
7.2 Paramétrage d'OSSEC	45

7.1 Conception d'OSSEC

L'ensemble de la méthode décrite précédemment a été codé sous R et a dû être adapté pour pouvoir réagir aux aléas de l'opérationnel. Les scripts vont chercher les dernières données disponibles de débit journalier des stations étudiées dans la base de données CNR. L'identification locale et spatiale des événements est ensuite appliquée à partir des paramètres issus de la période de référence étudiée. Les événements sont alors caractérisés en durée et en sévérité, les scripts calculent les différentes périodes de retour et classent les événements d'étiage dans l'historique (Section 6.3).

L'opérateur lance la procédure à partir d'une feuille Excel qu'il paramètre selon la configuration qu'il souhaite (Section 7.2). En appuyant sur le bouton "Lancer OSSEC", un fichier de commande MS-DOS est appelé et lance l'ensemble de la méthodologie sous R. Une fois l'ensemble de la méthode appliquée, l'opérateur obtient des graphiques et des cartes décrits dans le Chapitre 8. De plus, un fichier Excel regroupant l'ensemble des données avec une feuille par station permet à l'opérateur d'avoir une vue d'ensemble sur l'historique afin de lui permettre de repérer un événement d'intérêt.

7.2 Paramétrage d'OSSEC

L'opérateur indique les différents paramètres dans la feuille Excel présentée dans la Figure 7.1.

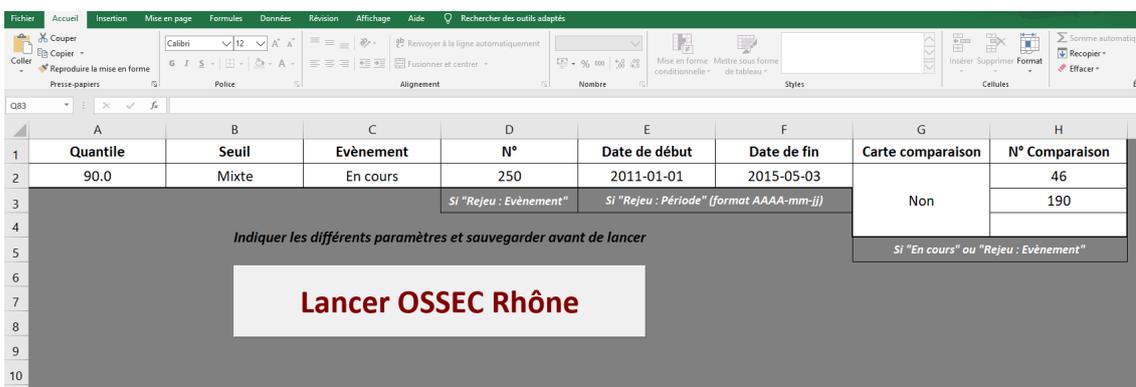


FIGURE 7.1 – Présentation de la feuille Excel de paramétrage.

Les paramètres que l'opérateur peut définir sont les suivants :

Quantile : Le choix du quantile utilisé pour les seuils parmi des valeurs prédéfinies (80%, 85%, 90% et 95%) afin d'éviter de prendre des valeurs trop faibles rendant incohérentes la méthode d'appariement et l'étude des étiages.

Seuil : Le choix du type de seuil selon la volonté de l'opérateur de caractériser les étiages extrêmes avec un seuil mixte ou plutôt les étiages saisonniers avec un seuil variable.

Évènement :

- **"En cours" :** lance la méthodologie entre la dernière date enregistrée et la date où est lancé l'outil, l'évènement en cours non terminé est alors classé selon son état actuel par rapport à l'historique, ce qui permet de suivre son évolution;

- "**Rejeu : Évènement**" : permet à l'opérateur de sortir des graphiques sur un évènement précis, il doit alors entrer son **N°** de référence indiqué dans l'historique Excel;
- "**Rejeu : Période**" : permet à l'opérateur de produire des graphiques uniquement sur une période choisie, il doit alors indiquer une **Date de début** et une **Date de fin**.

Carte comparaison : Donne la possibilité à l'opérateur de comparer un évènement (en cours ou choisi dans l'historique) avec jusqu'à 3 autres évènements, il doit alors indiquer leur référence dans la section **N° Comparaison**.

Une fois l'ensemble des paramètres nécessaires remplis, l'opérateur n'a plus qu'à enregistrer la feuille Excel et à cliquer sur le bouton **Lancer OSSEC Rhône** pour appliquer la méthodologie et ainsi obtenir les graphiques souhaités. L'historique se met alors jour avec l'ensemble des nouveaux évènements depuis le dernier lancement d'OSSEC Rhône.

Chapitre 8

Graphiques et cartes générés

Sommaire

8.1	Analyses spatiales	48
8.1.1	Cartes de durée et de sévérité	48
8.1.2	Comparatifs d'évènements	48
8.2	Analyse temporelle	49
8.2.1	Chroniques de durée et de sévérité	49
8.2.2	Durée en fonction de la sévérité par station	50
8.2.3	Étendue spatiale d'un évènement	51
8.2.4	Dynamique d'un évènement	52

OSSEC Rhône permet de générer plusieurs graphiques facilitant l'analyse des événements d'étiage. Il y a d'une part la possibilité d'analyser les données pour un événement donné sur l'ensemble du bassin versant à travers un comparatif spatial. D'autre part, il est possible d'effectuer un comparatif des événements sur l'ensemble de la période en fonction de leurs caractéristiques. Les exemples correspondent au lancement d'OSSEC avec un seuil mixte de quantile 90% pour le rejeu de l'étiage extrême de 2011 (Section 6.3).

8.1 Analyses spatiales

La comparaison spatiale permet, pour un événement terminé ou un événement en cours, de représenter sous forme de cartes les périodes de retour et les rangs en durée ou en sévérité. Chaque fichier comporte deux cartes : une avec uniquement les bassins versants des affluents, l'autre avec les bassins résiduels des stations sur le Rhône. Cette séparation permet d'avoir une meilleure vue d'ensemble tout en restant synthétique.

8.1.1 Cartes de durée et de sévérité

Quatre cartes différentes sont générées par OSSEC Rhône : les périodes de retour en durée, les périodes de retour en sévérité, les rangs en durée et les rangs en sévérité. Pour les périodes de retour, celles-ci sont indiquées par fourchette de valeurs. En effet, la valeur exacte d'une période de retour n'est pas représentative de l'évènement, notamment en raison de la courte période d'étude ne comportant que 36 années de données. C'est également pour cette raison que les périodes de retour sont considérées comme maximales au-delà de 35 ans (Figure 8.1).

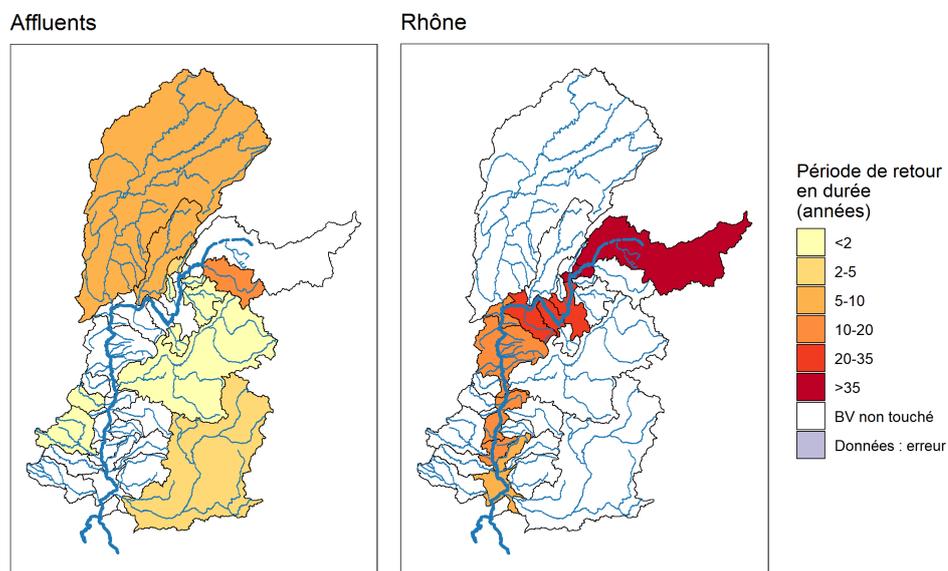


FIGURE 8.1 – Cartes des périodes de retour en durée de l'évènement de 2011.

8.1.2 Comparatifs d'évènements

L'opérateur peut choisir de comparer des événements en choisissant l'option "Carte comparaison" dans le fichier de paramétrage (Section 7.2). Il peut alors indiquer jusqu'à trois autres événements que ce soit des étiages historiques remarquables ou des événements proches (Figure 8.2).

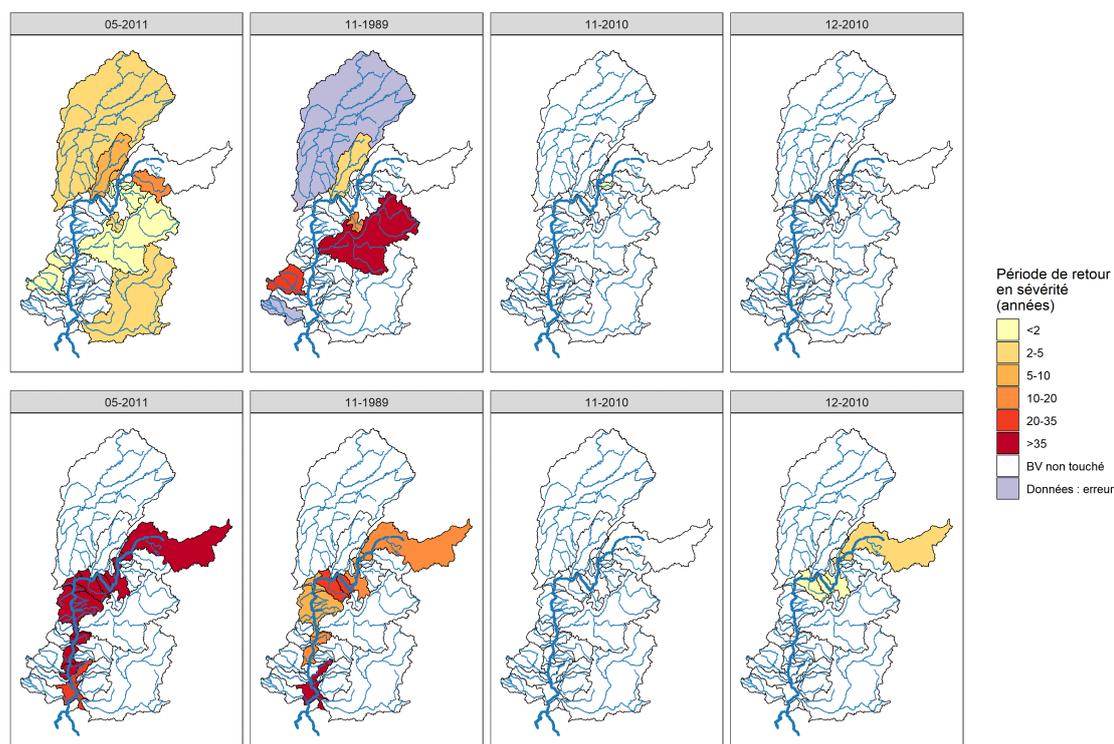


FIGURE 8.2 – Comparaison de l'évènement de référence de 2011 avec l'évènement historique de 1989 et les évènements le précédant en novembre et décembre 2010.

8.2 Analyse temporelle

8.2.1 Chroniques de durée et de sévérité

Des chroniques de durée et de sévérité sont générées de telle sorte à avoir une représentation spatio-temporelle générale des évènements d'étiage sur le bassin. Elles permettent de se pencher sur une période et de pouvoir caractériser les évènements selon leur durée et leur sévérité. S'il existe également une version par station (Annexes 9.2.2), l'historique sur l'ensemble des stations propose une caractérisation plus complète des évènements. Les évènements sur les stations du Rhône sont représentés par des boîtes à moustache noires. Pour éviter de surcharger le graphique avec l'ensemble des étiages sur les affluents, chaque évènement spatialisé est représenté une unique fois après avoir regroupé les évènements locaux en un seul évènement. Pour cela, les périodes de retour sont pondérées en fonction du débit de la station détectant l'évènement par rapport au débit total des affluents (Équation 8.1).

$$PDR_{sévérité} = \frac{\sum PDR_{sévérité,i} * Q_i}{\sum Q_{affluents}} \quad (8.1)$$

Avec $PDR_{sévérité,i}$ la période de retour en sévérité de l'affluent i détectant l'évènement, Q_i son débit journalier moyen, la somme des $Q_{affluents}$ est la somme des débits journaliers moyens de tous les affluents. Ces évènements sont alors représentés par une croix grise. Pour les périodes de retour supérieures à 20 ans, les valeurs sont ramenées autour de 20 ans par soucis de cohérence, la période d'étude étant assez courte, comme l'illustre la sécheresse hydrologique de 2011 sur la Figure 8.3.

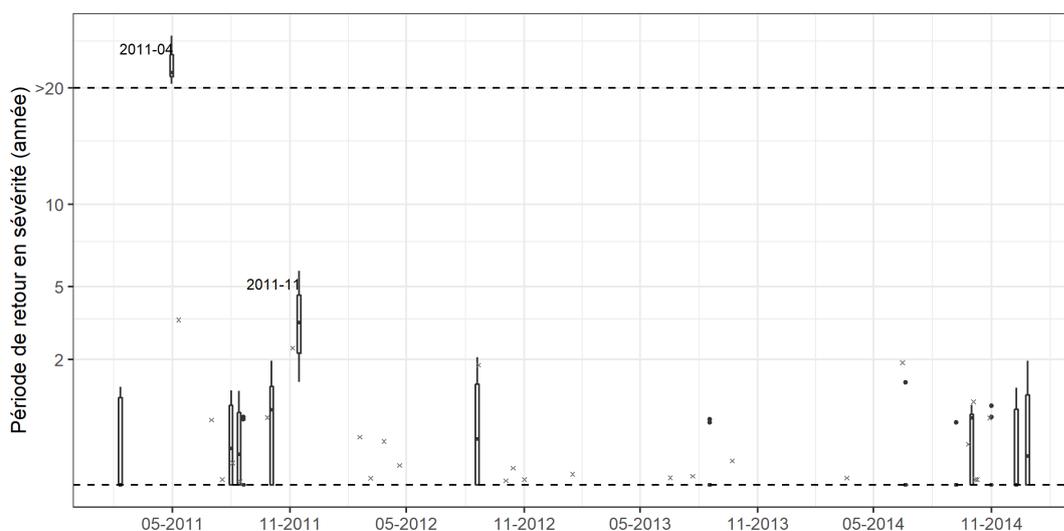


FIGURE 8.3 – Chronique des événements en période de retour en sévérité entre 2011 et 2015 .

8.2.2 Durée en fonction de la sévérité par station

Si les périodes de retour sont importantes pour pouvoir comparer les stations entre elles, il est également nécessaire de s'intéresser aux valeurs brutes en durée et sévérité sur chaque station.

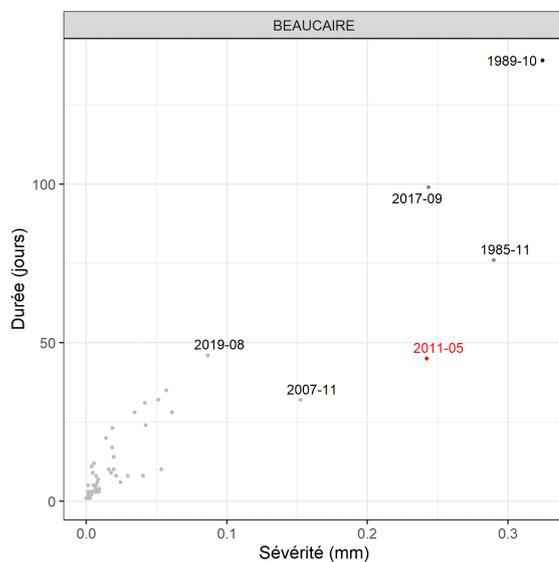


FIGURE 8.4 – Durée en fonction de la sévérité sur les événements d'étiage de la station de Beaucaire entre 1984 et 2020.

L'évènement étudié est indiqué en rouge, il est alors possible de le comparer aux autres étiages détectés par la station. Dans le cas de l'étiage extrême de 2011 (en rouge sur la Figure 8.4), la station de Beaucaire, à l'embouchure du delta du Rhône, le détecte comme l'un des cinq plus forts événements en durée et en sévérité mais il demeure bien inférieur aux trois événements les plus longs.

8.2.3 Étendue spatiale d'un évènement

Pour un évènement en cours, ou un évènement choisi dans l'historique, l'étendue spatiale permet de représenter la proportion des bassins versants indépendants détectant l'étiage. Cette caractéristique, indépendante de la durée et de la sévérité, permet d'indiquer l'amplitude géographique d'un étiage sur la région. La sécheresse hydrologique de 2011 a ainsi touché une grande superficie de la région avec près plus de 80% de la surface des bassins indépendants concernés (Figure 8.5).

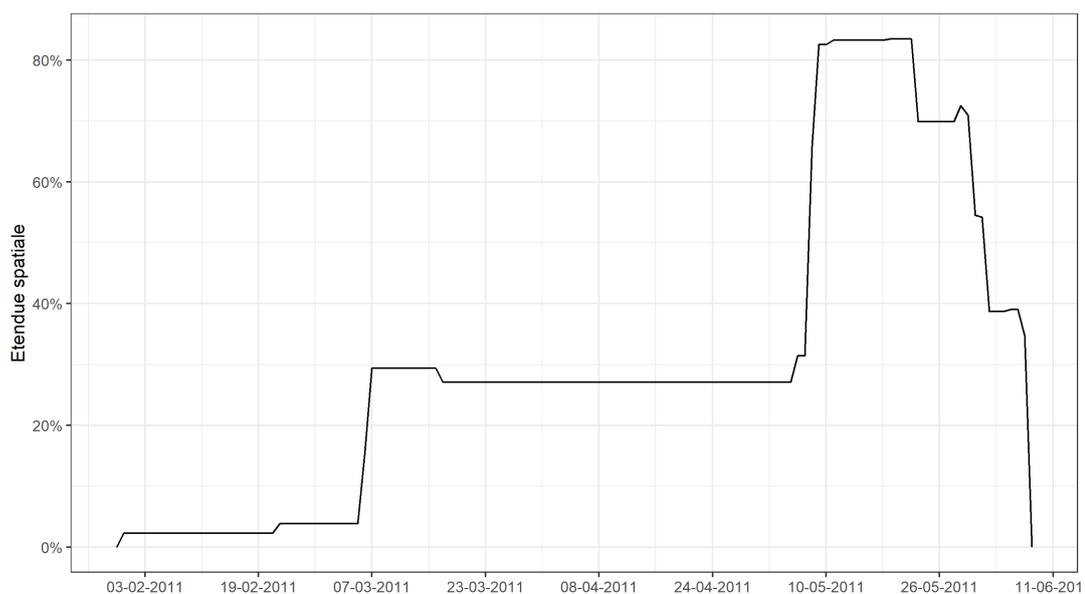


FIGURE 8.5 – Étendue spatiale journalière pour l'évènement d'étiage extrême de 2011.

L'étendue spatiale maximale des évènements peut également être représentée sous forme de chronique, un évènement pouvant avoir une étendue spatiale élevée sans avoir une durée et une sévérité élevées comme c'est par exemple le cas pour l'évènement d'août 2012 qui a touché plus de 75% de la surface des bassins indépendants (Figure 8.6).

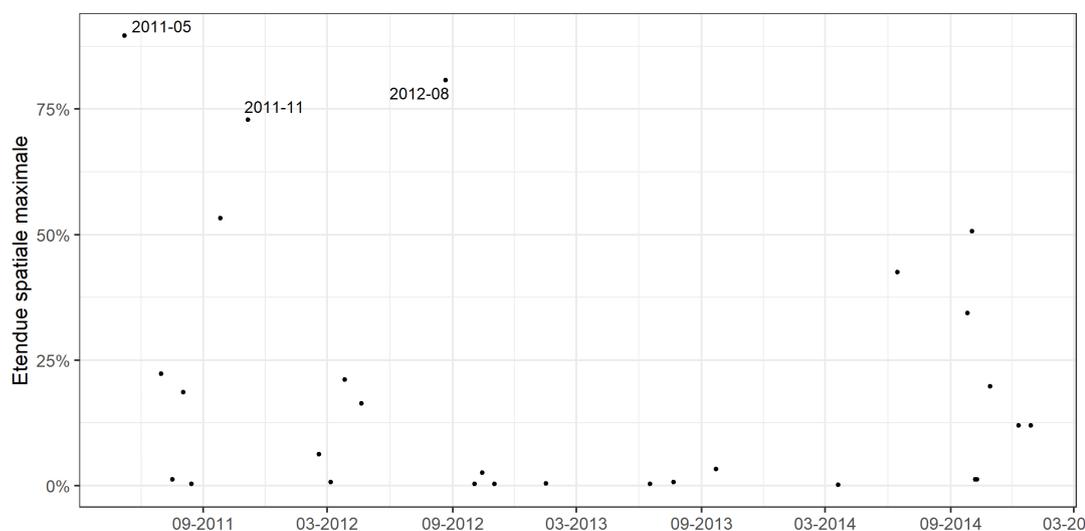


FIGURE 8.6 – Chronique des étendues spatiales maximales des évènements entre 2011 et 2015.

8.2.4 Dynamique d'un évènement

La dynamique d'un évènement permet de compléter sa caractérisation. Cette somme des déficits cumulés normalisés correspond à la somme des déficits journalier (SPA) normalisés par la sévérité de l'évènement sur chaque station. À la différence de l'étendue spatiale qui prend en compte toutes les stations indépendantes, il n'est question que des stations détectant l'évènement. Ainsi, si toutes les stations voyant l'étiage considèrent que le maximum de déficit est le même jour, alors la dynamique est de 100% ce jour-là.

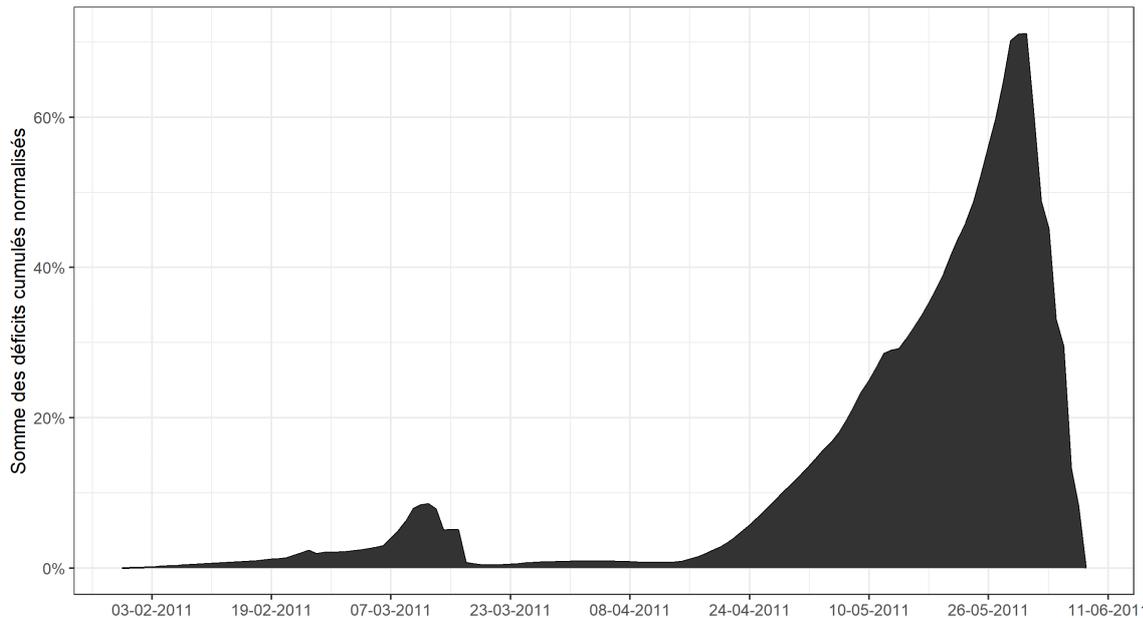


FIGURE 8.7 – Dynamique de l'évènement d'étiage extrême de 2011.

La dynamique permet ainsi de comprendre comment s'est déroulé l'étiage du point de vue des stations qui l'ont détecté. Dans le cas de l'évènement de 2011, présenté dans la Figure 8.7, celui-ci s'est déroulé en deux temps. Une première phase de déficit entre février et mars avant de connaître une courte période de regain. Puis une seconde phase plus longue et plus intense marquée par une somme des déficits normalisés de l'ordre de 70% sur les stations détectant l'évènement fin mai.

Chapitre 9

Limites et perspectives d'améliorations

Sommaire

9.1	Limites d'OSSEC Rhône	54
9.1.1	Anthropisation future des cours d'eau	54
9.1.2	Limites de la méthode	54
9.2	Perspectives de développement et d'utilisation	54
9.2.1	Finalisation et applications futures	54
9.2.2	Reconstruction de l'historique	55

9.1 Limites d'OSSEC Rhône

9.1.1 Anthropisation future des cours d'eau

Comme tout outil opérationnel, OSSEC Rhône possède un certain nombre de limites. Il est notamment important de relever que des changements de débit réservés ou des installations futures peuvent poser problème à la bonne application de la méthode. En effet, comme pour le cas de la Durance décrit dans la Section 4.3, des changements non-naturels forts peuvent entraîner la non détection d'étiages. Si à l'avenir il devait y avoir une hausse du débit réservé sur un cours d'eau, les seuils calculés sur la période 1984-2020 ne seront plus adéquats pour détecter des événements d'étiage. Il serait également difficile de calculer directement un nouveau seuil sur la période, comme cela est fait pour la Durance, car il n'y aurait alors pas suffisamment de données pour qu'il soit pertinent. Il faudrait ainsi repenser la méthodologie de définition des seuils pour pouvoir palier ces éventualités. De même, un changement de matériel ou de méthode de mesure pourront poser problème, il faudra alors corriger ces erreurs à la main.

9.1.2 Limites de la méthode

Un certain nombre de choix ont été effectués lors de l'adaptation de la méthode issue de la thèse de Caillouet (2016), notamment concernant les choix de pondération et des seuils limites pour qu'un affluents puisse apparier ou non des événements en fonction de son débit. Cela amène ainsi à des questionnements sur l'union ou la séparation d'événements d'étiage. La méthode actuelle est issue d'une multitude d'échanges et de tests afin d'avoir les appariements les plus pertinents possibles sur la période 1984-2020. Cette période d'étude, qui demeure courte, est également l'une des limites de l'outil, avec des perspectives d'amélioration (Section 9.2.2).

Enfin, les étiages sont détectés tels que mesurés et non pas tels qu'ils seraient de manière naturelle. Des bassins très anthropisés comme l'Isère ou la Durance vont détecter des successions d'étiages courts tandis que des bassins moins anthropisés tels que la Saône présentent des étiages naturels plus longs. Malgré le lissage qui a pour but d'éliminer ces disparités lors de l'appariement, les étiages comparés restent tout de même de source différente selon les bassins.

9.2 Perspectives de développement et d'utilisation

9.2.1 Finalisation et applications futures

Amélioration de l'interface : La feuille Excel de paramétrage présentée en Section 7.2 n'est là que pour une phase de test et de qualification de l'outil. Son interface devrait être prochainement améliorée en fonction des retours d'expérience.

Application d'OSSEC sur d'autres fleuves : OSSEC Rhône et sa méthode sont entièrement automatisés grâce aux différents scripts, il ne serait donc pas difficile de l'appliquer à d'autres fleuves français ou étrangers, du moment que suffisamment de stations sont disponibles avec des données de débit journalier fiables. Le seul point à adapter manuellement repose sur la division en groupes de régime hydrologique cohérent sur les affluents. Pour cela il est nécessaire de prendre en compte les régimes des différents cours d'eau en traçant leur hydrogramme, puis de les répartir en autant de groupes que nécessaire pour avoir une bonne cohérence entre les affluents de chaque groupe. L'ensemble des systèmes de pondérations ont été générés pour pouvoir facilement s'adapter à différents cas, ils ne devraient nécessiter que de sensibles ajustements selon le fleuve étudié.

Application d'OSSEC dans un contexte de prévision des étiages : OSSEC Rhône ne nécessite que des débits journaliers en données d'entrée, dès lors il est possible d'utiliser les sorties des outils de prévision de débit disponibles à CNR pour pouvoir effectuer des prévisions sur les événements d'étiage. Il faudra ici aussi faire preuve d'adaptation, les prévisions générant des débits modélisés naturels là où OSSEC génère des étiages selon les débits observés, et donc potentiellement anthropisés. Les résultats présenteront alors les événements modélisés sans anthropisation, ce qui diffère des résultats avec les données observées, et donc de l'historique existant.

9.2.2 Reconstruction de l'historique

La principale limite actuelle d'OSSEC Rhône est sa courte période d'historique. Les principales stations disposent de données observées remontant jusqu'en 1920, l'objectif est alors de pouvoir effectuer un appariement spatial sur ces données. Pour cela, la réanalyse FYRE (French hYdrometeorological Reanalysis Climate), issue des travaux de Devers (2019) a été identifiée. Dans ses travaux, Devers (2019) a utilisé des algorithmes d'assimilation de données pour créer une réanalyse hydrométéorologique sur les 140 dernières années et sur la France, à partir des reconstructions établies par Caillouet (2016). Cette réanalyse est probabiliste, elle propose donc 25 chroniques de débit, pour 661 stations identifiées en France. Les données FYRE ont été comparées sur la période 1984-2012 aux données observées sur les affluents (voir Annexes 9.2.2). FYRE a la particularité de modéliser des débits pour des stations en amont sur les affluents, autrement dit pour des stations avec des débits naturels. Les données FYRE étant trop éloignées des données observées anthropisées, il n'est pas possible d'utiliser FYRE pour reconstruire les débits observés avant 1984. Néanmoins, la réanalyse hydrologique pourra servir afin de réaliser l'appariement des événements sur les stations dont les données sont disponibles avant 1984, notamment les stations du Rhône disposant de données observées depuis 1920.

Conclusion

Avec des évènements hydrologiques extrêmes de plus en plus fréquents, la définition et l'identification des étiages est une tâche qui intéresse les gestionnaires de l'eau. Les sécheresses ont, pendant longtemps, été moins étudiées que les inondations du fait de leurs effets moins directement remarquables. Suite à la canicule de 2003, le plan cadre sécheresse a été mis en place progressivement sur l'ensemble du territoire, nécessitant des échanges hebdomadaires entre les gestionnaires des cours d'eau et les DREAL. Les étiages sont finalement devenus un enjeu majeur pour la France depuis quelques années, du fait des arrêtés sécheresses pris de façon récurrente durant la période estivale.

En tant que concessionnaire du Rhône, CNR produit tous les mois des bulletins d'étiage transmis à la DREAL et effectue également un rapport annuel pour ses besoins internes. Cependant, en l'état, la comparaison des débits moyens mensuels sur des dates civiles ne permet pas de relever toute la complexité d'un étiage. Il a ainsi été nécessaire de se pencher sur la définition d'un étiage et sa caractérisation sur un aussi grand bassin versant qu'est celui du Rhône. Le domaine du premier producteur d'énergie 100% renouvelable est vaste, avec 12 stations sur le fleuve et 20 sur les affluents, une méthodologie cohérente sur l'intégralité du bassin a été développée.

Dans un premier temps, la méthode de seuil (TLM, Yevjevich 1967) couplée à la Consecutive Dry Period Method (CDPM, Van Huijgevoort *et al.* 2012) et au Sequent Peak Algorithm (SPA, Vogel et Stedinger 1987) ont permis d'identifier localement les évènements d'étiage en durée et en sévérité. Toute la spécificité de cette étude est de trouver une manière de mettre en cohérence spatialement les résultats issus de différentes stations. Une adaptation de la méthode d'appariement développée par Caillouet (2016) a été effectuée sur le Rhône et ses affluents. Le principe repose sur le regroupement d'évènements ayant lieu sur différentes stations aux mêmes dates. Cependant, dans ses travaux, Caillouet (2016) travaillait sur des bassins indépendants naturels ce qui est loin d'être le cas du bassin versant rhodanien. Dans le but d'adapter cette méthode, un processus en deux temps a été réalisé. La première étape permet d'apparier les évènements sur les bassins indépendants correspondant aux débits entrant sur le Rhône français (les affluents et Pougny, l'exutoire du Rhône suisse). La seconde étape permet de reporter l'appariement issu de l'étape précédente sur les stations du Rhône.

Pour réaliser l'appariement des bassins indépendants, les stations ont été réparties dans trois groupes de régime hydrologique de telle sorte à réunir les cours d'eau similaires. Au sein de chaque groupe les évènements sont ensuite appariés selon le principe de chevauchement couplé à une pondération sur les débits, évitant ainsi que des petits affluents, très sensibles aux étiages, puissent apparier de manière incohérente des évènements sur les principales stations indépendantes. Cette étape permet de passer d'étiages locaux à des étiages spatialement cohérents à l'échelle du groupe. Pour pousser cette cohérence et avoir une homogénéité globale, une chronique d'évènements représentatifs pondérés est générée au sein de chaque groupe. Celle-ci reprend les dates de chaque évènement et, pour chacun d'eux, crée un évènement représentatif selon l'importance des stations le détectant. Les trois chroniques d'évènements re-

présentatifs pondérés issus de chacun des groupes sont ensuite appariées entre elles pour avoir une cohérence globale. Les résultats sont ensuite reportés localement permettant d'avoir des évènements d'étiage spatialement cohérents sur l'ensemble des bassins indépendants.

Une fois cette première étape terminée, l'appariement sur les stations du Rhône doit être reporté. Pour cela, il est considéré qu'un évènement d'étiage au niveau d'une station du Rhône est la conséquence de l'ensemble des cours d'eau indépendant amont. Ainsi, pour chaque station du Rhône, une chronique d'évènements représentatifs des stations indépendantes amont est créée puis reportée sur les évènements locaux du fleuve. Les évènements d'étiages étant caractérisés et mis spatialement en cohérence, il est alors possible de déterminer leur période de retour en durée et en sévérité.

Toute cette méthode d'identification des étiages et d'appariement a été programmée sous R dans l'outil OSSEC Rhône. Cet outil opérationnel de suivi des étiages donne la possibilité de choisir différents paramètres selon ce que souhaite étudier l'opérateur. Une fois ceux-ci sélectionnés, OSSEC Rhône effectue si besoin des corrections sur les débits journaliers d'entrée puis applique les méthodes d'identification et d'appariement des étiages. Après calcul de leur période de retour respective, il génère différents graphiques et cartes permettant à l'opérateur d'avoir une compréhension complète d'un évènement en cours ou terminé. En parallèle, les évènements sont classés et placés dans un historique se mettant à jour chaque fois que l'outil est lancé.

L'outil n'est encore qu'à la phase de test et est sujet à un certain nombre d'améliorations futures. Au-delà de la phase de test et de qualification, il est prévu de prolonger l'historique sur les affluents à l'aide de la réanalyse hydrologique FYRE Hydro (Devers, 2019). À terme, il est envisagé d'utiliser OSSEC Rhône couplé à des outils de prévision de débit pour effectuer des prévisions sur les évènements d'étiage. Enfin, les codes ainsi que la méthode pourraient être appliqués à d'autres cours d'eau et, qui sait, voir l'émergence d'un futur OSSEC Loire, OSSEC Rhin...

Références bibliographiques

- AUFFRAY, A., BRISSON, A., TAMBURINI, A., DZIAK, V., MALOISEL, V. et MARTIONI-LAPIERRE, S. (2010). Climat de la région Rhône-Alpes. *Météo-France Centre-Est, DREAL Rhône-Alpes*. Lien : auvergne-rhone-alpes.developpement-durable.gouv.fr, dernier accès 01/08/2020.
- BÊCHEL, L., DUMOUTIER, Q., VULLIET, J.-P. et GARRONE, C. (2018). Quelles influences du relèvement des débits réservés sur les biocénoses aquatiques dans les cours d'eau méditerranéens en France? *EDE, Sage Environment, Maison Régionale de l'eau*.
- BETHEMONT, J. (1998). Le thème de l'eau dans la vallée du Rhône. *Université de Saint-Etienne*. ISBN 2-85145-215-0.
- CAILLOUET, L. (2016). *Reconstruction hydrométéorologique des étiages historiques en France entre 1871 et 2012*. Thèse de doctorat, Université Grenoble Alpes. Lien : archives-ouvertes.fr, dernier accès 29/07/2020.
- CHOISNEL, E. (1990). Scénario inédit pour la dernière sécheresse. *La Recherche*, 219(21):353–354.
- DACHARRY, M. (1996). *Dictionnaire français d'hydrologie*.
- DEVERS, A. (2019). *Vers une réanalyse hydrométéorologique à l'échelle de la France sur les 150 dernières années par assimilation de données dans des reconstructions ensemblistes*. Thèse de doctorat, Université Grenoble Alpes. Lien : archives-ouvertes.fr, dernier accès 04/08/2020.
- FLEIG, A. K., TALLAKSEN, L. M., HISDAL, H. et DEMUTH, S. (2006). A global evaluation of stream-flow drought characteristics. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10(3-4):525–552.
- GRENIER, T. (2020). Bulletin mensuel - Situation hydrologique du Rhône - Janvier 2020. Rapport technique.
- GUILLAUMIN, E., CORTIER, B., LEVASSEUR, L., MICHELET, P., LE HY, J.-B. et DUMEZ, J. (2000). Etude globale pour une stratégie de réduction des risques dus aux crues du Rhône. *La Houille Blanche*, 3/4:126–132.
- KAY, A., BELL, V., GUILLOD, B., JONES, R. et RUDD, A. (2018). National-scale analysis of low flow frequency : historical trends and potential future changes. *Climatic Change*, 145:585–599.
- KLEIN, T. (2009). Comparaison des sécheresses estivales de 1976 et 2003 en Europe occidentale à l'aide d'indices climatiques. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 53(2):75–86.
- LANDMANN, G., BRÉDA, N., HOULLIER, F., DREYER, E. et FLOT, J.-L. (2003). Sécheresse et canicule de l'été 2003 : quelles conséquences pour les forêts françaises? *Revue Forestière Française*, 55(4):299–308.

- LANG-DELUS, C. (2004). Etiages et tarissement : Approche quantitative et modélisation appliquées à quatre bassins tests. *Mémoire de D.E.A, Université Paul Verlaine Metz*.
- LANG-DELUS, C. (2011). *Etiages et tarissements : vers quelles modélisations? L'approche conceptuelle et l'analyse statistique en réponse à la diversité spatiale des écoulements en étiage des cours d'eau de l'Est français*. Thèse de doctorat, Université Paul Verlaine Metz. Lien : archives-ouvertes.fr, dernier accès 04/08/2020.
- MALISSARD, M. (2020). Il n'y a pas de planète B - Rapport Annuel 2019. *CNR*. Lien : www.cnr.tm.fr, dernier accès 25/07/2020.
- MERILLON, Y. et CHAPERON, P. (1990). La sécheresse de 1989 (Drought in France in 1989). *La Houille Blanche*, 5:325–340.
- MOREAU, F. (2004). Drought crisis management : Loire basin example. *La Houille Blanche*, 4:70–76.
- ORGANISATION MÉTÉOROLOGIQUE MONDIALE (1992). *Glossaire international d'hydrologie. Organisation des Nations Unies*.
- ROCHE, M. (1986). *Dictionnaire français d'hydrologie de surface*. ISBN : 2-225-80739-6.
- SAUQUET, E., GOTTSCHALK, L. et KRASOVSKAI, I. (2008). Estimating mean monthly runoff at ungauged locations : an application to France. *Hydrology Research*, 39(5-6):403–423.
- SHIAU, J. T. et SHEN, H. W. (2001). Recurrence analysis of hydrologic droughts of differing severity. *Journal of water resources planning and management*, 127:30–40.
- UHLEMANN, S., THIEKEN, A. H. et MERZ, B. (2010). A consistent set of trans-basin floods in Germany between 1952-2002. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14:1277–1295.
- VAN HUIJGEVOORT, M. H. J., HAZENBERG, P., VAN LANEN, H. A. J. et UIJLENHOET, R. (2012). A generic method for hydrological drought identification across different climate regions. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16:2437–2451.
- VAN LOON, A. F. et VAN LANEN, H. A. J. (2012). A process-based typology of hydrological drought. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16:1915–1946.
- VOGEL, R. M. et STEDINGER, J. R. (1987). Generalized storage-reliability-yield relationships. *Journal of Hydrology*, 89:303–327.
- WASSON, J. G., CHANDESRI, A., PELLA, H. et BLANC, L. (2002). Les hydro-écorégions de France métropolitaine. approche régionale de la typologie des eaux courantes et éléments pour la définition des peuplements de référence d'invertébrés. *Ministère de l'Ecologie et du Développement durable, Cemagref (Irstea) BEA/LHQ*.
- YEVJEVICH, V. (1967). An objective approach to definition and investigations of continental hydrologic droughts. *Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA*.

Annexes

Annexes A : Hydrogrammes des stations sur les bassins indépendants

Suite à plusieurs essais sur le groupement des stations (groupes par HER, suivant les stations du Rhône, séparer les affluents du Rhône...), il a finalement été choisi d'effectuer un appariement en deux temps avec une première phase sur les bassins indépendants suivant un groupement par régime hydrologique (Section 5.1). Il a fallu construire les hydrogrammes des différents cours d'eau indépendants sur la période d'étude.

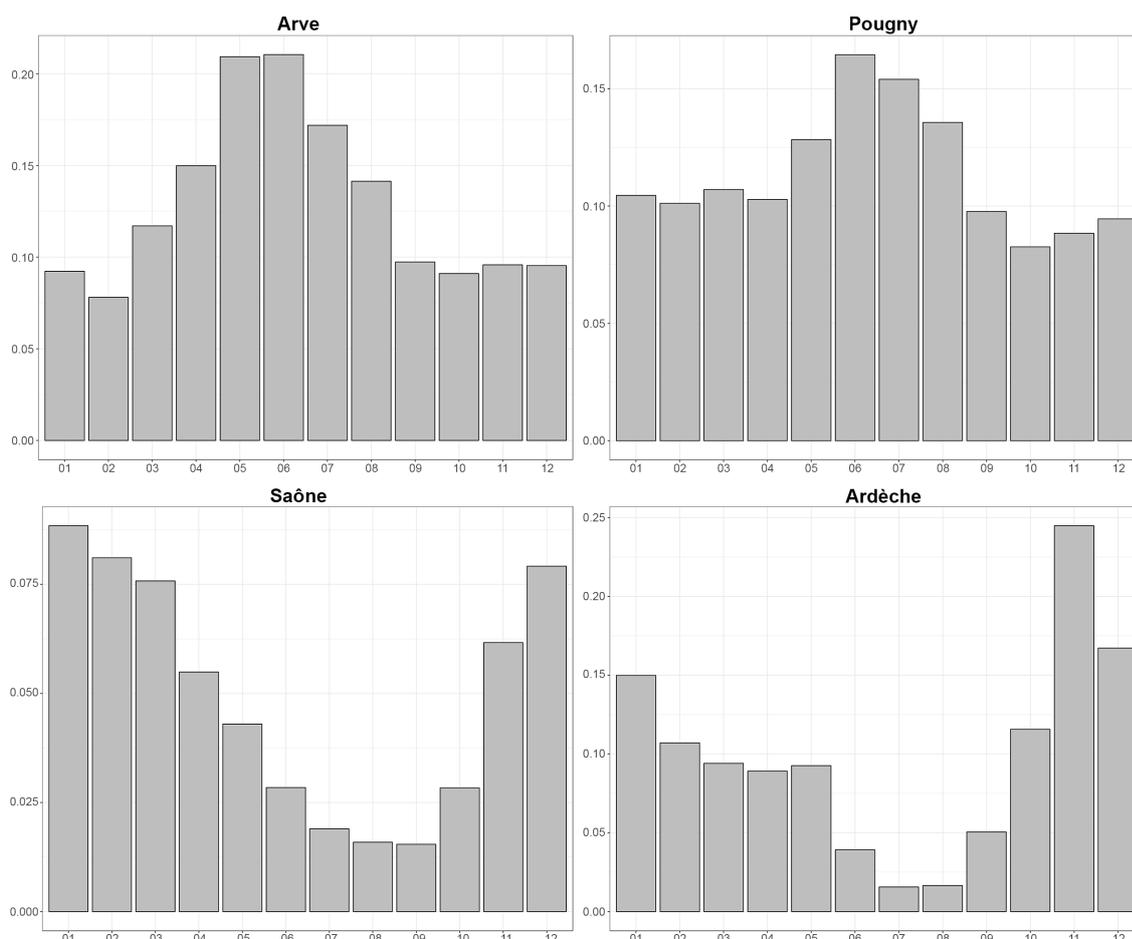


FIGURE 9.1 – Hydrogrammes des stations des bassins indépendants de l'Arve, à Pougny, de la Saône et de l'Ardèche (en abscisse les mois civils, en ordonnée les débits en mm).

Comme mentionné précédemment, les grands affluents sont souvent difficiles à positionner puisqu'ils sont soumis à plusieurs influences météorologiques. Des clusters ayant été es-

sayés sans succès (Figure 9.2), il a finalement fallu effectuer les groupes à la main et grouper les principaux affluents avec les cours d'eau aux régimes similaires. La création des groupes n'est donc pas automatique, elle a été générée manuellement avant de l'intégrer à la méthodologie d'appariement.

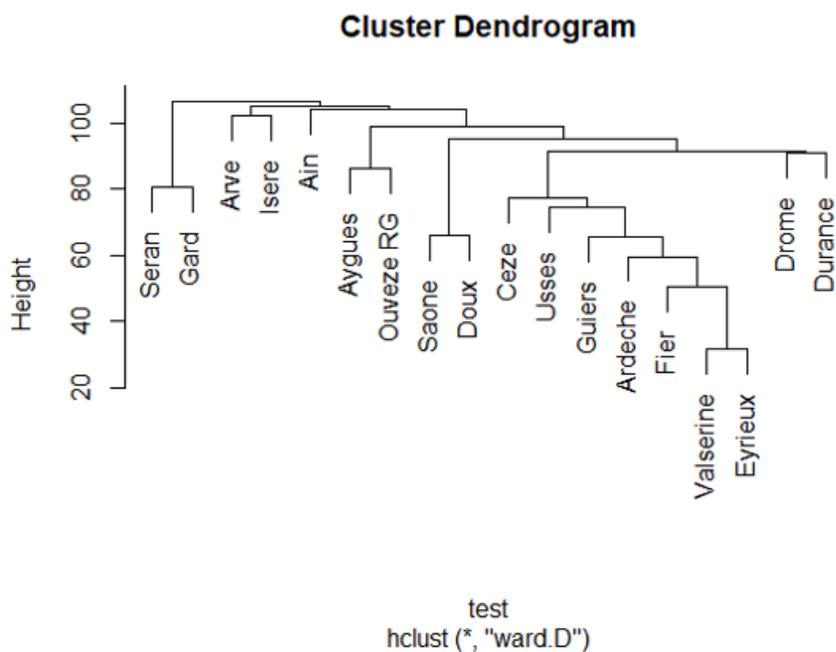


FIGURE 9.2 – Cluster sur les hydrogrammes des affluents selon la méthode de Ward.

Annexes B : Graphiques supplémentaires générés

OSSEC Rhône permet notamment de générer des graphiques en durée et en sévérité pour l'ensemble des 32 stations du Rhône et de ses affluents. Par défaut les chroniques sont réalisées à partir 1996 jusqu'au jour où l'outil opérationnel est lancé, mais il est possible de choisir la période des graphiques en l'indiquant dans "Rejeu : Période" (Section 7.2).

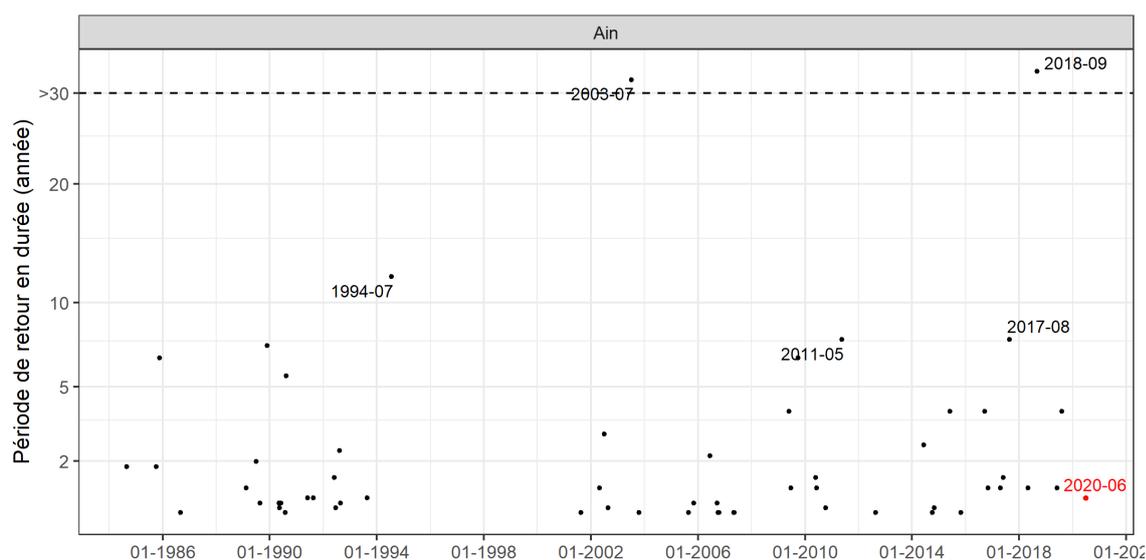


FIGURE 9.3 – Chroniques des périodes de retour en durée pour l'Ain sur l'ensemble de la période d'étude.

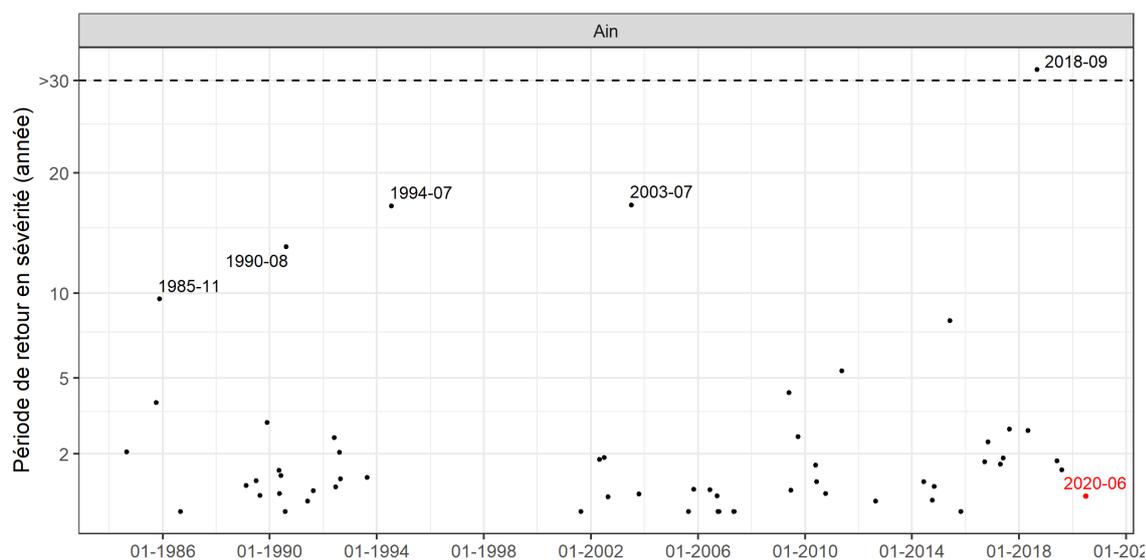


FIGURE 9.4 – Chroniques des périodes de retour en sévérité pour l'Ain sur l'ensemble de la période d'étude.

De plus, il est possible de générer un graphique illustrant l'appariement sur l'ensemble des stations de l'étude. Les événements locaux d'un même événement spatialisé sont regroupés au sein de la même couleur, chaque couleur étant par ailleurs liée à un numéro servant d'indice. Au-delà des possibilités d'analyse, cela permet de vérifier la cohérence de l'appariement sur la

période. Si un évènement en cours est sélectionné, le graphique est effectué sur l'année précédente. Si l'évènement est terminé, le graphique sera effectué sur les douze mois autour. Enfin, il est possible de choisir la période à générer en l'indiquant dans "Rejeu : Période" (Section 7.2).

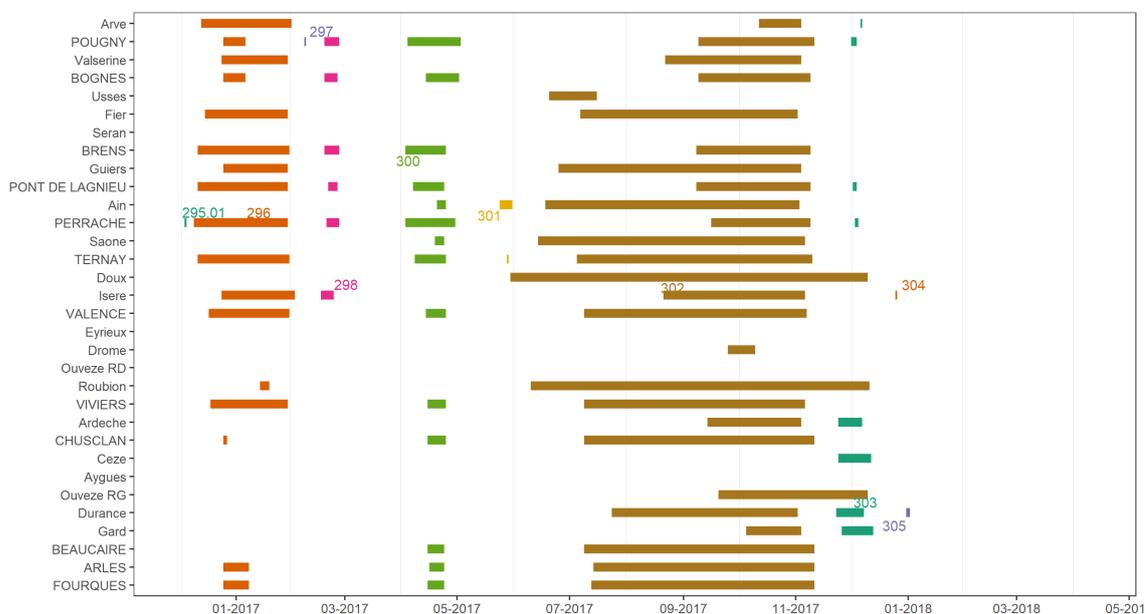


FIGURE 9.5 – Appariement des évènements à partir de la fonctionnalité "Rejeu : Évènement" pour l'été historique de 2017 (Étiage N°302).

Annexes C : French hYdrometeorological Reanalysis Climate (FYRE, Devers (2019))

La réanalyse FYRE a été comparée aux débits observés. La méthodologie d'identification locale des étiages est appliquée à FYRE, selon la méthodologie de Caillouet (2016) pour prendre en compte l'aspect probabiliste. Les étiages reconstruits des 25 membres de la station la plus proche dans FYRE sont comparés aux observations des étiages relevés par la station CNR sur la même période. Dans le cas de l'Ain, présenté dans la Figure 9.6, les 25 membres de la station V2202010 (plus proche station de la station CNR sur l'Ain) détectent des événements d'étiage (en noirs) relativement similaires aux principaux événements d'étiage observé (en rouge) sur la période commune.

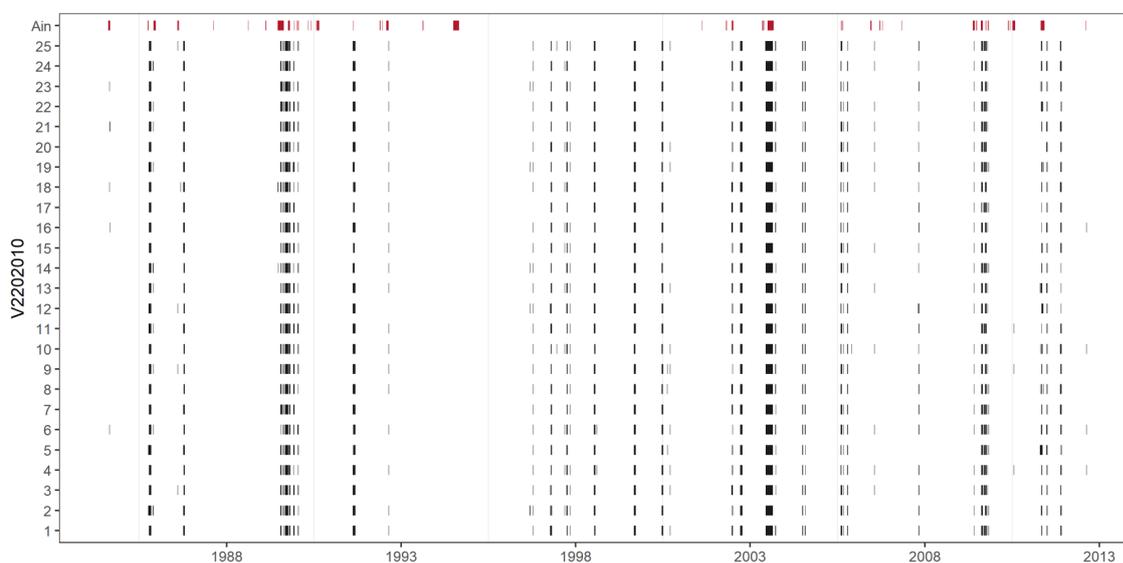


FIGURE 9.6 – Comparaison des événements d'étiage observés (en rouge) et reconstruits pour les 25 membres FYRE de la station la plus proche (en noir) de l'Ain sur la période commune 1984-2012.

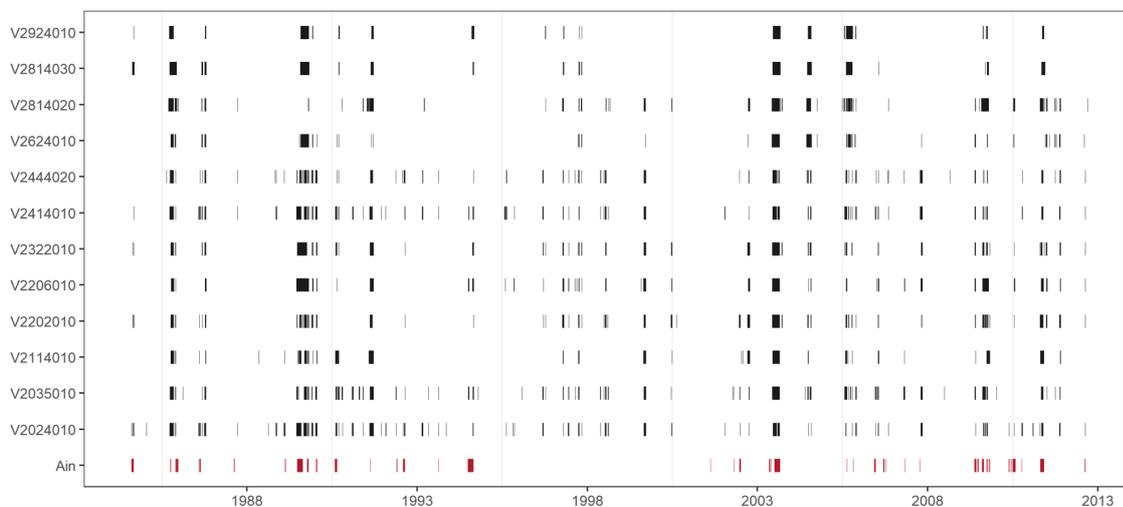


FIGURE 9.7 – Comparaison des événements d'étiage observés (en rouge) et les événements moyens reconstruits sur les 12 stations FYRE de l'Ain (en noir) sur la période commune 1984-2012.

Il y a en réalité 12 stations FYRE sur l'Ain. Les évènements issus des 25 membres de chaque station FYRE sont moyennés en un évènement FYRE par station. Les 12 chroniques d'évènements moyens (en noir Figure 9.7) sont comparées à la station CNR observée utilisée (en rouge Figure 9.7). Même en considérant l'ensemble des stations FYRE sur le cours d'eau, une cohérence générale ressort, malgré parfois plusieurs centaines de kilomètres entre les stations aux débits reconstitués en amont et la station aux débits observés la plus en aval sur la période 1984-2012 (Figure 9.7).

Cependant, pour des affluents aux débits sujets à d'importants changements entre l'amont et l'aval du fait de l'anthropisation, FYRE ne dispose que de trop peu de stations, avec des débits naturels difficilement comparables aux débits observés à l'aval. C'est le cas de l'Isère dont les évènements d'étiage sont représentés sur la Figure 9.8 avec les quatre stations FYRE disponibles. Aucune cohérence globale ne ressort entre ces évènements d'étiage.



FIGURE 9.8 – Comparaison des évènements d'étiage observés (en rouge) et les évènements moyens reconstitués sur les 4 stations FYRE de l'Isère (en noir) sur la période commune 1984-2012.

Il n'est donc pas possible d'appliquer directement les données de FYRE pour reconstruire les données de débit, les écarts entre les cours d'eau "naturels" modélisés et les données observées anthropisées étant trop grands. Néanmoins, FYRE sera un bon proxy pour remplacer les données manquantes des affluents avant 1984 pour apparier des évènements locaux sur le Rhône.

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Diplôme(s)
Ingénieur diplômé de l'ENGEES

Spécialité : Hydrosystèmes – Eaux de surface

Auteur
Blaise CALMEL

Année
2020

Titre
Mise en place d'un outil opérationnel de suivi des étiages sur le Rhône

Nombre de pages *texte : 59* *annexes : 6*

Nombre de références bibliographiques : 28

Structure d'accueil

Compagnie Nationale du Rhône, Lyon 69002

Maître de stage
Laurie CAILLOUET

Résumé

La Compagnie Nationale du Rhône (CNR) transmet de manière mensuelle des rapports d'étiage à la DREAL. La méthode actuelle n'étant pas parfaitement adaptée à la caractérisation des étiages, le projet d'un Outil de Suivi et de Surveillance des Étiages en Cohérence sur le Rhône (OSSEC Rhône) est né. Les données des stations CNR permettent de définir localement les étiages via une méthode de seuil (Yevjevich, 1967) couplé à une méthode de quantification des déficits (Vogel, 1987). Ces événements locaux sont ensuite mis spatialement en cohérence grâce à une adaptation de la méthode d'appariement développée par Caillouet (2016).

Mots-clés

Hydrologie, étiage, opérationnel, Rhône