



Année universitaire 2021/2022

Mémoire de stage

Comment fonctionne un bassin versant méditerranéen de montagne en période d'étiage, et quelles sont les tensions qui en résultent ? Le cas du Caillan dans les Pyrénées Orientales.

Présenté par : **Yorick BONETZKY-BERNARD**

Numéro d'étudiant : **3179416**

Sous la direction de **Marc BOURGEOIS**, enseignant-chercheur.

Sous le tutorat de **Floriane LE MOING**, chargée de mission ressource en eau au **Syndicat Mixte Têt Bassin Versant**.

Mémoire présenté le 13/09/2022, devant un jury composé de :

- Marc BOURGEOIS, Enseignant-chercheur à Lyon 3
- Etienne COSSART, Enseignant-chercheur à Lyon 3

Mémoire de Master 2 Gestion de l'Environnement – Géosystèmes Environnementaux à l'Université Lyon 3 Jean Moulin.

Résumé

Depuis plusieurs années, les changements climatiques importants qui impactent notre quotidien et nous nous devons d'anticiper le futur. Cette étude a pour objectif de comprendre le fonctionnement d'un bassin versant méditerranéen sous tension durant l'étiage, le Caillan. In fine, il s'agit de produire un plan de gestion de la ressource en eau cohérent d'adaptation aux évolutions climatiques actuelles et futures. Le périmètre d'étude pour une gestion optimisée de l'eau s'applique à l'échelle de bassins hydrographiques.

Dans ce mémoire il est question d'étudier l'évolution des débits le long du cours d'eau afin de comprendre le comportement de celui-ci durant l'étiage. Nous étudierons les paramètres extérieurs influents. Les tensions qui s'exercent sur le cours d'eau seront mis en avant L'ensemble des paramètres influant sur l'étiage, que ce soit naturelle ou anthropique, seront abordées.

Table des matières

Remerciements	6
1. Introduction	7
1.1. Définition des termes.....	8
1.2. Présentation du stage.....	9
1.3. Contexte générale : le bassin versant de la Têt.....	10
1.4. Contexte de l'étude : le bassin versant du Caillan.....	14
1.5. Problématique et annonce du plan.....	19
2. Etat de l'art	20
2.1. L'étiage.....	20
2.2. Le climat spécifique méditerranéen de montagne	24
2.3. Les recherches sur le bassin versant du Caillan	25
3. Méthodologie	27
3.1. Les mesures de débits	27
3.2. Le choix des points de mesure	29
3.3. Le réseau de station de la réserve naturelle de Nohèdes	30
3.4. Le traitement des données	32
3.5. Les acteurs locaux, la concertation	33
4. Résultats	33
4.1. La courbe des débits : modèle hydrographique du Caillan.....	33
4.1.1. Les débits moyens mensuels.....	34
4.1.2. Courbe des débits en juillet.....	36
4.1.3. Courbe des débits en août.....	37
4.1.4. Le cours d'eau Urbanya : le plus grand affluent.....	39
4.1.5. Analyse et conclusion courbe des débits	39
4.2. Les facteurs naturels	41
4.2.1. Le climat : températures et précipitations	41
4.2.2. Géomorphologie	44
4.2.3. L'occupation naturelle du sol.....	46
4.3. Les facteurs anthropiques	48
4.3.1. Une vallée historique	Erreur ! Signet non défini.
4.3.2. La microcentrale électrique de Nohèdes.....	48
4.3.3. Des canaux mettant l'exutoire sous pression.....	49
4.3.4. La politique des canaux	52

4.4.	Les tensions, conséquences de l'étiage	52
4.4.1.	Le partage de la ressource en eau pour les usagers	52
4.4.2.	La question de la biodiversité.....	53
4.5.	Les changements climatiques futurs	53
5.	Discussion	Erreur ! Signet non défini.
5.1.	Les limites	55
5.2.	L'objectif final.....	55
	Bibliographie	58
	ANNEXE	61
	Annexe 1 : tableau des valeurs de hauteur courantomètres	61
	Annexe 2 : Bulletin hydro juillet 2022 Caillan	62

Table des figures

Figure 1 : Carte de localisation du BV de la Têt	11
Figure 2 : Carte des bassins versants des PO	12
Figure 3 : Carte récapitulative du bassin versant de la Têt.....	13
Figure 4 : Carte de localisation du BV du Caillan	14
Figure 5 : Carte représentant la topographie du Caillan et ses limites administratives	15
Figure 6 : Cartographie de l'hydrographie à l'amont du bassin versant	16
Figure 7 : Cartographie de l'hydrographie générales du bassin versant du Caillan..	17
Figure 8 : Carte des canaux importants à l'aval de la vallée du Caillan.....	18
Figure 9 : Schéma des différents processus hydrologiques et de stockages sur un bassin versant	22
Figure 10 : Schéma montrant la méthode du champs des vitesses	28
Figure 11 : Carte des points de mesure	30
Figure 12 : Carte du réseau de stations de la RN Nohèdes	31
Figure 13 : Photo du répartiteur.....	32
Figure 14 : Courbe des débits moyens mensuels du Caillan, été 2022.....	34
Figure 15 : Cartes des usages autour de la ressource en eau sur l'aval de la rivière du Caillan.....	35
Figure 16 : Courbe des débits juillet 2022 du Caillan	36
Figure 17 : Courbe des débits du Caillan en août 2022.....	37
Figure 18 : Comparaison des hauteurs d'eau entre le 6 juillet, le 12 juillet puis le 31 août	40
Figure 19 : Mesure des anomalies de températures juillet 2022	42
Figure 20 : Cumul et anomalie de précipitations pour juillet 2022	43
Figure 21 : Suivi de l'indice d'humidité des sols été 2022 en PO.....	44
Figure 22 : Carte de la faille de Mérens par rapport au Caillan	45
Figure 23 : Carte géologique simplifiée du bassin versant de Nohèdes-Conat	45
Figure 24 : Carte de l'occupation du sol du bassin versant du Caillan.....	47
Figure 25 : Vues depuis Nohèdes (Gauche) et Conat (droite).....	47
Figure 26 : Conduite forcée de la microcentrale	49
Figure 27 : prise d'eau du canal Rec Comou (gauche) et du Balajat (droite)	50
Figure 28 : Carte des points importants du canal de Canoha.....	51
Figure 29 : Desman des Pyrénées	Erreur ! Signet non défini.

Table des tableaux

Tableau 1 : Débits de l'Urbanya au fil du temps	39
Tableau 2 : Tableau des débits du Rec Comou en L/s durant l'été 2022	50
Tableau 3 : Tableau des débits de Canoha en L/s durant l'été 2022.....	51
Tableau 4: Scénario futurs potentiels à propos la quantité d'eau dans le Caillan.....	54

Remerciements

Je tiens à remercier en premier lieu Floriane Le Moing, ma tutrice, qui m'a fait découvrir tout un univers en étant très disponible pour moi, mais aussi pour nos réflexions durant les longues journées de terrain et le kilométrage non négligeable .

Je remercie plus généralement toute l'équipe du Syndicat Mixte Têt Bassin Versant, qui m'a permis une intégration très facile au sein de l'équipe où l'ambiance est très agréable et motivante.

Je souhaite aussi remercier M. Marc Bourgeois, mon professeur-référent, pour son accord et sa disponibilité afin de jouer ce rôle important.

Je tiens à remercier les membres des réserves naturelles de Conat de Nohèdes, notamment David Morichon et Antoine Sénac avec qui j'ai beaucoup échangé et partagé quelques repas de midi bien agréables au milieu de nos journées de travail de terrain. Je remercie aussi les acteurs locaux qui m'ont fourni des informations précieuses et permis d'avancer mon travail.

Et enfin, je remercie ma famille pour le soutien, ma mère pour les conseils de relecture et enfin mes amis avec qui nous avons partagé cette épreuve de fin d'étude.

1. Introduction

« L'eau ne résout rien mais rend tout possible ». C'est avec cette phrase que Wilfried Hachenev (2003), chercheur sur l'eau, nous décrit celle-ci comme le moteur de toute la vie sur Terre. L'eau trace le relief et permet de nourrir tous les êtres vivants de la planète. C'est pourquoi il est primordial de la conserver, en comprenant au mieux son fonctionnement et en appliquant une gestion cohérente. Parmi les enjeux liés à la gestion des ressources en eau, le phénomène de sécheresse constitue certainement l'un des risques aux conséquences humaines, économiques et environnementales les plus graves. L'été est une période délicate dans les Pyrénées Orientales. Les acteurs locaux tentent de se protéger des conséquences (canaux, retenues, barrages, etc.), mais les crises perdurent et des comités sécheresse menés par le préfet du département sont mobilisés presque chaque année dans certains bassins versants. L'année de rédaction de ce travail est 2022 : c'est un contexte particulier car nous sommes sur une décennale sèche au niveau des pluies et des débits d'étiage. C'est une information primordiale pour comprendre la situation. Certains acteurs locaux emploient le terme « dramatique » pour définir cette année.

Les changements climatiques actuels et futurs sont au premier plan quand nous parlons de l'eau. Dans un futur proche, la zone méditerranéenne est menacée par des changements marquants, entre la montée des températures et la diminution des précipitations moyennes, ou encore l'apparition d'aléas encore plus extrêmes (Milano, 2009). Dans le bassin méditerranéen, une augmentation de 1,5°C est à noter depuis l'ère pré-industrielle. D'après le GIEC le réchauffement de la région pourrait atteindre 2 à 3°C de plus d'ici 2050. On parle de +5°C à l'horizon 2100 : des questions se posent donc quant à la gestion de l'environnement sur ce bassin, et notamment avec la gestion de l'eau. Dans plusieurs années on pourrait se retrouver avec des climats type Afrique du Nord sur la côte française.

Ces changements climatiques et crises sécheresse impliquent des conséquences : des pénuries d'eau potable, des problèmes pour les activités touristiques sur le littoral les stations de ski qui peuvent disparaître, la baisse de la qualité des eaux pour la vie aquatique ou encore des problèmes d'assainissement. Il

est donc primordial de comprendre comment ces vallées fonctionnent afin d'agir au mieux et anticiper. C'est pourquoi des études sont portées sur les vallées sous tensions.

1.1. Définition des termes

Un bassin versant est avant tout une notion géographique avec des limites naturelles. Un bassin est l'ensemble de la zone drainée par un cours d'eau majeur et ses affluents, s'écoulant et convergeant vers un même point de sortie, l'exutoire. Il a des frontières naturelles que l'on appelle lignes de partage des eaux et qui suivent la crête des montagnes. Tous les cours d'eau forment un bassin versant, qu'importe l'échelle. Ils s'emboîtent tous pour former des bassins versants plus grands, jusqu'à atteindre le fleuve le plus important de la région et une embouchure dans un océan ou une mer. Sylvie Vieillard-Coffre, en 2003, nous dit que « Reprendre les limites d'un bassin versant pour organiser la gestion de l'eau semble donc être le meilleur moyen non seulement de respecter la nature, mais aussi de transcender les intérêts particuliers, puisque cette organisation naturelle de l'espace apparaît difficilement contestable. ». Bien que les choses ne soient pas aussi simples, étant donnée la diversité de surface des bassins versants, on garde cette logique générale dans la gestion de l'eau en France. On peut aussi parler de bassin fluvial, qui concerne les fleuves et donc des bassins de plus grandes tailles, ou encore de bassin hydrographique. Chaque sous-bassin compose une maille qui forme un ensemble : il faut une gestion commune, pour les besoins humains mais aussi pour tout ce qui concerne la biodiversité par exemple. Nous allons étudier ici une rivière précise – et son bassin versant –, le Caillan, affluent de la Têt rive gauche dans les Pyrénées Orientales.

Ce que l'on appelle étiage est une période naturelle de basses eaux, si ce n'est même leur assèchement dans certains cas. C'est un phénomène saisonnier qui est lié à la nature du cours d'eau et à son fonctionnement. Dans la littérature il y a plusieurs définitions reprenant différents éléments que nous verrons dans la partie 2.1. Généralement, l'étiage est décrit comme un phénomène saisonnier, plus ou moins sévère, plus ou moins long, qui concerne tous les cours d'eau (Smakhtin,

2001). C'est un phénomène naturel qui a toujours existé, et les populations au fil du temps se sont toujours adaptées, étant donnée l'importance des cours d'eau pour la civilisation. Parmi les risques liés au cycle hydrologique, le phénomène de sécheresse est probablement l'un des aléas aux conséquences humaines, économiques et environnementales les plus critiques. Malgré la mise en place de protection contre les pénuries d'eau, le danger persiste et peut encore provoquer aujourd'hui des crises majeures.

Quand on évoque des tensions autour de la ressource en eau, on parle de problématiques liées au quantitatif comme au qualitatif. Pour notre développement, nous allons aborder le côté quantitatif : la période d'étiage, quand l'eau est au plus bas pendant l'année. Les tensions peuvent être d'ordre écologiques, sociales/humaines ou encore économiques. Ces tensions impliquent parfois des conflits entre les acteurs locaux sur le partage de cette précieuse ressource. Ils sont nombreux, et défendent des points de vue différents.

1.2. Présentation du stage

Mon stage se déroule au sein du Syndicat Mixte Têt Bassin Versant (SMTBV), basé à Perpignan. J'accompagne ma tutrice, qui est chargée de mission ressource en eau sur l'ensemble du bassin versant. Le syndicat mixte est situé de manière transversale parmi la multitude d'acteurs qui agissent sur la question de l'eau : il est en position centrale dans ces échanges et anime une « concertation ». Le SMTBV agit sur plusieurs missions : la gestion des milieux aquatiques et la prévention des inondations (GEMAPI), la quantité d'eau, l'hydrogéomorphologie et la biodiversité aquatique. Il faut répondre à ces besoins avec de bons raisonnements afin d'améliorer le fonctionnement du bassin versant, entre la multitude d'acteurs. Le syndicat mixte regroupe des collectivités territoriales, les EPCI. Les prises de décisions sont effectuées par les élus représentant du bassin versant.

Mes missions durant ce stage se sont concentrées sur la gestion quantitative de l'eau. Bien que je prenne part à une multitude de réunions pour découvrir au mieux ce domaine, je reste centré sur l'étude d'un sous-bassin versant de la Têt : le

Caillan. Cette rivière a été choisie car un déficit quantitatif a été déterminé par l'agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, suite aux études EVP évaluation volume prélevable de 2012. Le lieu d'étude sera présenté plus précisément en 1.3 et 1.4. Un suivi a été effectué il y a 2 ans sur cette rivière et l'objectif est de continuer ce travail afin d'apporter une connaissance plus complète et exhaustive du fonctionnement de cette rivière en période d'étiage, et atteindre par la suite une gestion de l'eau qui permette de soutenir les besoins et de maintenir l'état du milieu. En 2020 l'année était peu représentative, car il y a eu la tempête Gloria et donc des excédents inhabituels de précipitations. Nous menons des réunions de concertation entre les acteurs et usagers de l'eau sur cette vallée pour transmettre de l'information, apprendre et enfin les faire dialoguer. A la fin il faudra faire émerger un plan de gestion de la ressource en eau composé d'un diagnostic et de fiches actions à mettre en place. L'objectif est vraiment de comprendre le fonctionnement global pour ainsi voir les enjeux et essayer d'y répondre avec ce plan de gestion de la ressource en eau.

1.3. Contexte générale : le bassin versant de la Têt

Situé au Sud de la France dans la région Occitanie, le département des Pyrénées Orientales est montagneux ainsi que côtier. Il est bordé par la mer Méditerranée à l'Est, l'Aude au Nord, l'Andorre et l'Ariège à l'Ouest et l'Espagne au Sud.

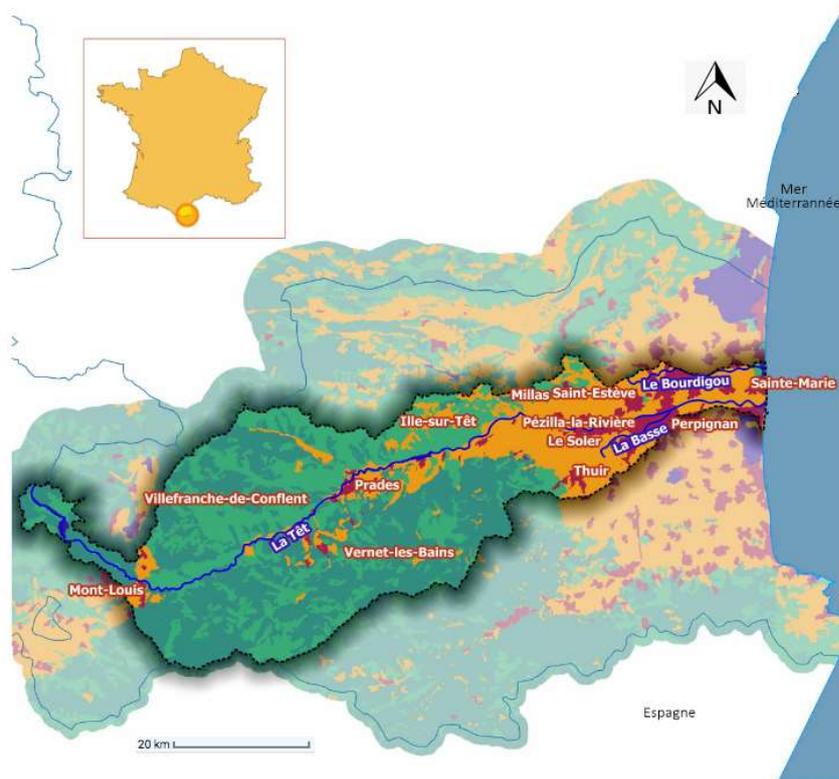


Figure 1 : Carte de localisation du BV de la Têt, SMTBV

Le réseau hydrographique du département est majoritairement composé de quatre cours d'eau principaux, tous représentés par un syndicat mixte tel que le SMTBV. On a, du Nord au Sud, l'Agly, la Têt, le Réart et le Tech comme on voit sur la figure 1 ci-dessous. On a le Sègre à l'Ouest qui finit en Espagne

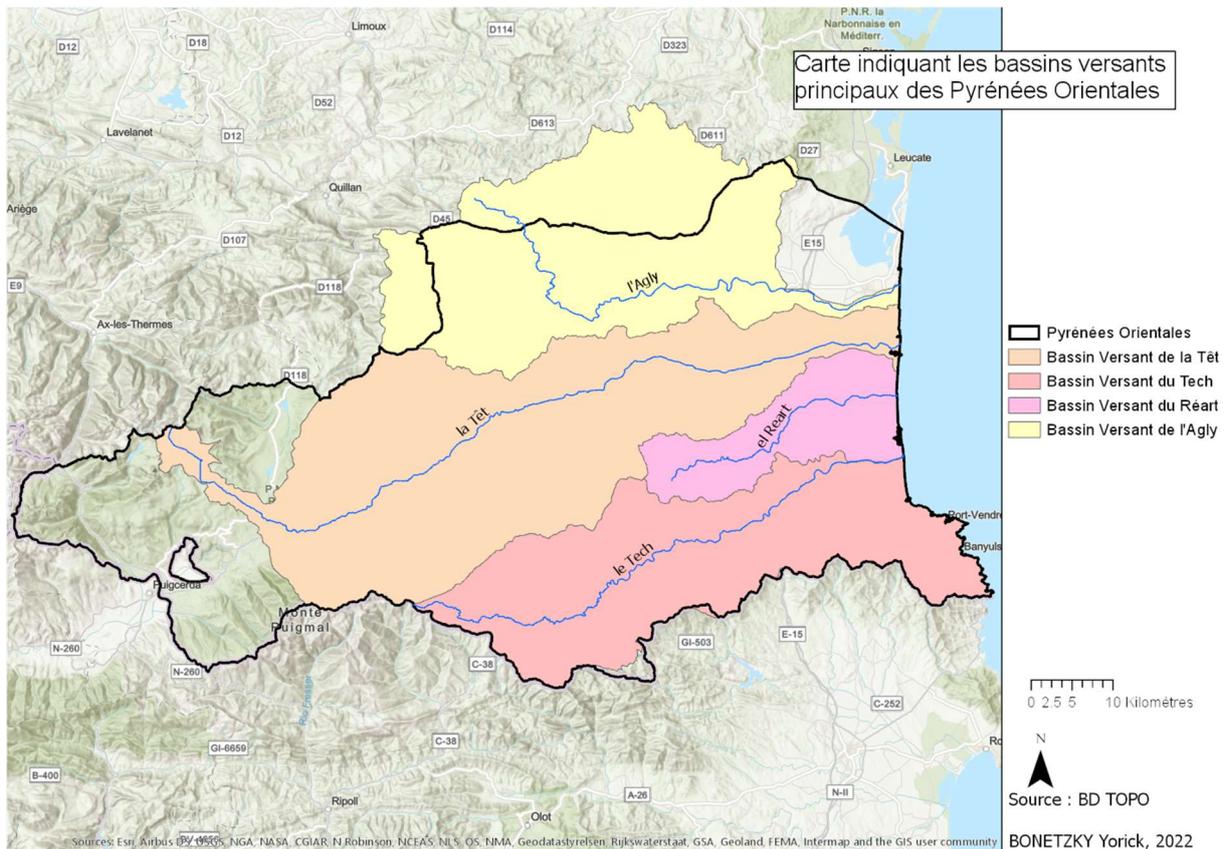


Figure 2 : Carte des bassins versants des PO, BONETZKY, 2022

Notre étude a pour périmètres le bassin versant de la Têt, le plus grand en surface et longueur du cours d'eau de ce département. C'est un fleuve de 115 km qui prend sa source au Pic du Carlit à 2900 mètres d'altitude, et qui finit dans la mer Méditerranée entre Canet-en-Roussillon et Sainte-Marie-la-Mer.

Le bassin versant est composé de trois zones distinctes, de l'amont à l'aval : le Capcir, le Conflent et enfin la plaine du Roussillon. On voit la séparation ci-dessous via la figure 2 :



Figure 3 : Carte récapitulative du bassin versant de la Têt, SMTBV

Ces trois zones présentent des caractéristiques différentes, avec des enjeux spécifiques et donc une gestion qui doit s'adapter en fonction du contexte. Il faut noter la présence de deux barrages le long de la Têt, avec le barrage des Bouillouses à l'amont et le barrage de Vinça qui marque la séparation entre le Conflent et la plaine du Roussillon. Ces ouvrages sont importants dans les périodes d'étiage que l'on étudie, car ils permettent de soutenir un débit significatif pour les besoins des usagers de l'eau, essentiellement agricoles. Ce cours d'eau est régi par un régime pluvio-nival, et majoritairement influencé par un climat méditerranéen. Cette étendue représente 1500 km², 600km de cours d'eau principaux, 104 communes pour un total de 225 000 habitants. Le Pic du Canigou au sud, sur la rive droite, est le point le plus haut du bassin versant avec une altitude de 2784m.

1.4. Contexte de l'étude : le bassin versant du Caillan

Le Caillan, autrement appelé « *El Callau* », est un affluent rive gauche de la Têt (côté Nord). Il se situe dans la région du Conflent, évoquée auparavant. Il se trouve au sein du massif du Madres-Coronat. A l'usage et dans certains écrits on pourra entendre « rivière de Nohèdes » pour parler de l'amont, passant par le village du même nom.

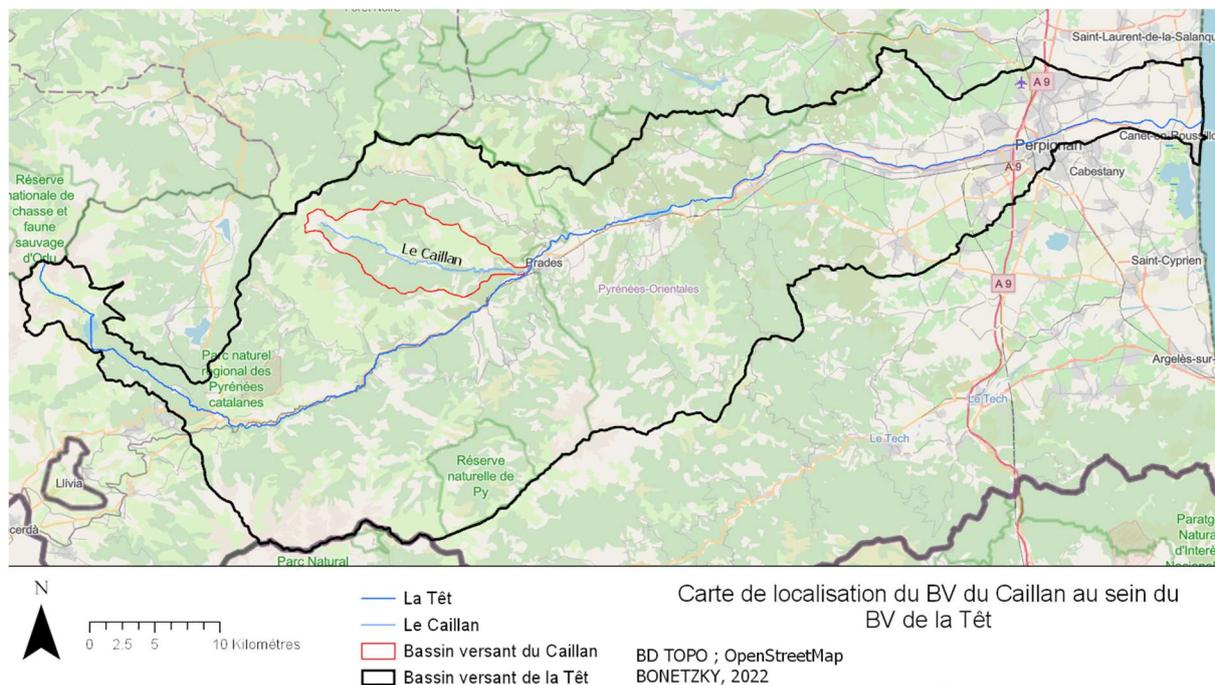


Figure 4 : Carte de localisation du BV du Caillan, BONETZKY, 2022

Cette rivière possède une longueur de 20,9 km et est orientée Nord-Ouest – Sud-Est. Le point le plus haut du bassin versant est à 2021 mètres d'altitude, et finit à 350 mètres. La surface totale est de 67,7 km². Comme pour la Têt, le Caillan est régi par un rythme dit nivo-pluvial, ce qui signifie que le cours d'eau est majoritairement influencé par la pluie et la fonte des neiges. On a donc des hautes eaux au printemps avec la fonte des neiges, et en automne lors de pluies importantes. L'été et l'hiver sont donc la période des basses eaux, autrement appelé étiage. C'est un climat méditerranéen montagnard (océanique plus généralement), ce qui signifie que les gradients pluviométriques et thermiques varient fortement en fonction de l'altitude (De Bentzmann, 2020). Au niveau de la ville de Conat, au centre de notre vallée, il y a une classification de Koppen qui est Cfb, ce qui signifie climat océanique et qui

témoigne de l'impact de la montagne par rapport à la localisation géographique. Les étés sont plus frais que sur la plaine du Roussillon à l'Est, vers Perpignan.

D'un point de vue démographique, on trouve quatre villages que l'on peut séparer en deux parties : dans la vallée nous avons d'abord Nohèdes (65 hab), Urbanya (36 hab), Conat (56 hab) dans la vallée pour ensuite finir à Ria-Sirach à l'exutoire avec 1314 habitants.

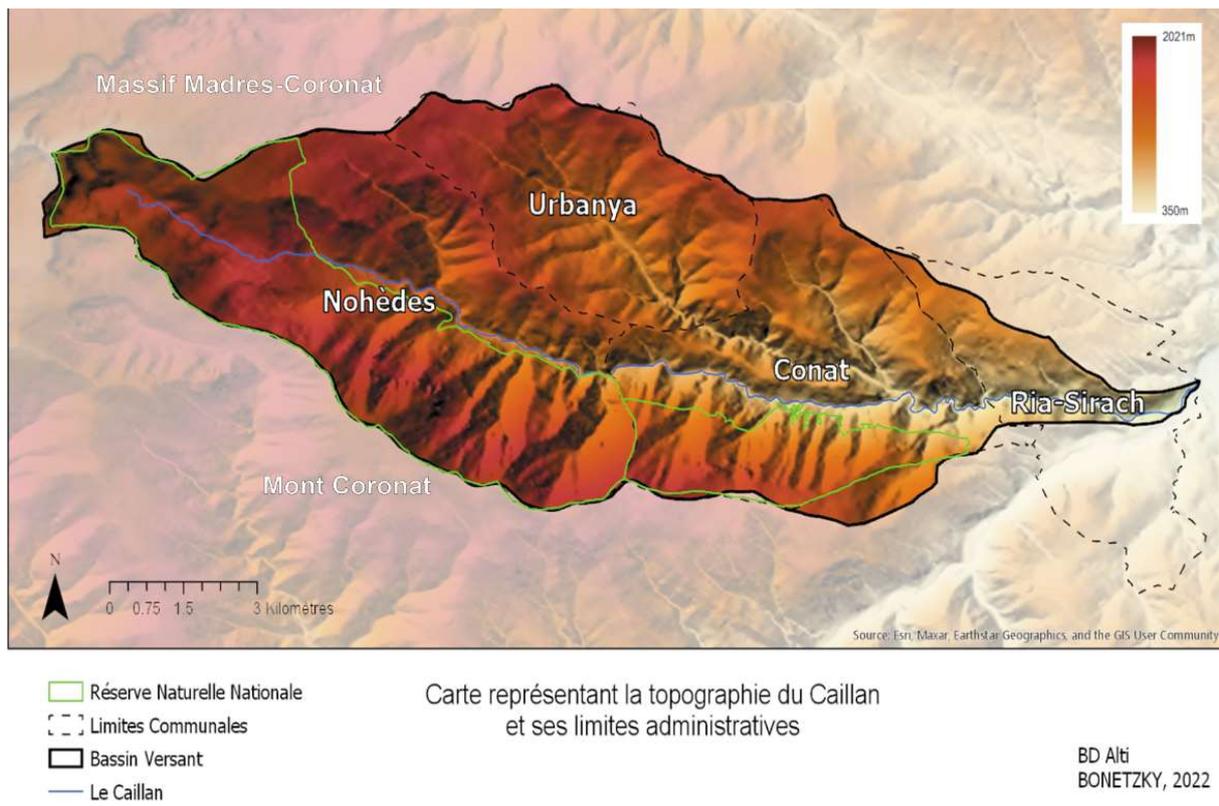


Figure 5 : Carte représentant la topographie du Caillan et ses limites administratives, BONETZKY, 2022

Sur la figure 5 on situe les quatre villages principaux composant notre bassin versant. On remarque aussi le relief, qui témoigne de pentes importantes sur la majorité de cet espace. La topographie permet donc aux humains de ne s'installer qu'à certains endroits précis. On peut aussi noter la présence de la réserve naturelle de Nohèdes et celle de Conat, en vert sur leur village respectifs, qui sont de bonnes opportunités de travail collaboratif. Ils œuvrent principalement sur la protection et le suivi à long terme de la nature et de la biodiversité sur un espace définie. Toute cette zone prend part au Parc Naturel Régionale Pyrénées Catalanes.

Pour ce qui est de l'hydrographie naturelle, le cours d'eau principal de notre bassin versant commence avec deux lacs glaciaires, le gorg Estelat et gorg Blau. Un

peu plus bas l'étang du Clot, qui est artificiel, est également important sur cette partie amont. Il possède différents affluents, dans l'ordre de l'amont à l'aval, comme on le voit en figure 6 qui représente l'amont :

- Rivière du Camps Reals
- Ruisseau de l'homme mort
- Rec de Lhoste
- Ruisseau de Toreilles
- Ruisseau de la Rouhèrde

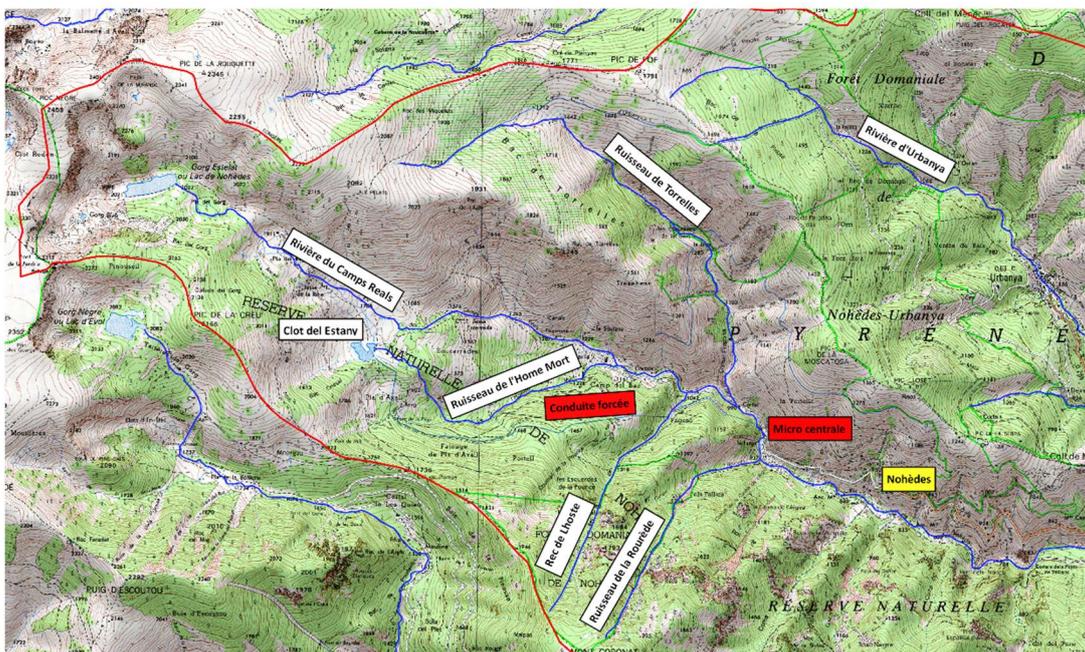


Figure 6 : Cartographie de l'hydrographie à l'amont du bassin versant, DE BENTZMANN, 2020

La retenue d'eau de l'étang du Clot (Clot del Estany) est utile pour soutenir une microcentrale hydroélectrique. En amont, un répartiteur permet de gérer les débits laissés à la rivière et ceux qui partent à la centrale. Durant l'étiage elle ne fonctionne pas car elle ne peut pas laisser un minimum de 50L/s au milieu naturel, comme inscrit dans son règlement intérieur datant de 1974. Durant l'été tout le débit doit donc aller directement à la rivière.

La rivière de Nohèdes, autrement dit le Caillan amont, est ensuite rejoint par l'Urbanya au niveau de Conat pour donner cette vue générale en figure 7 :

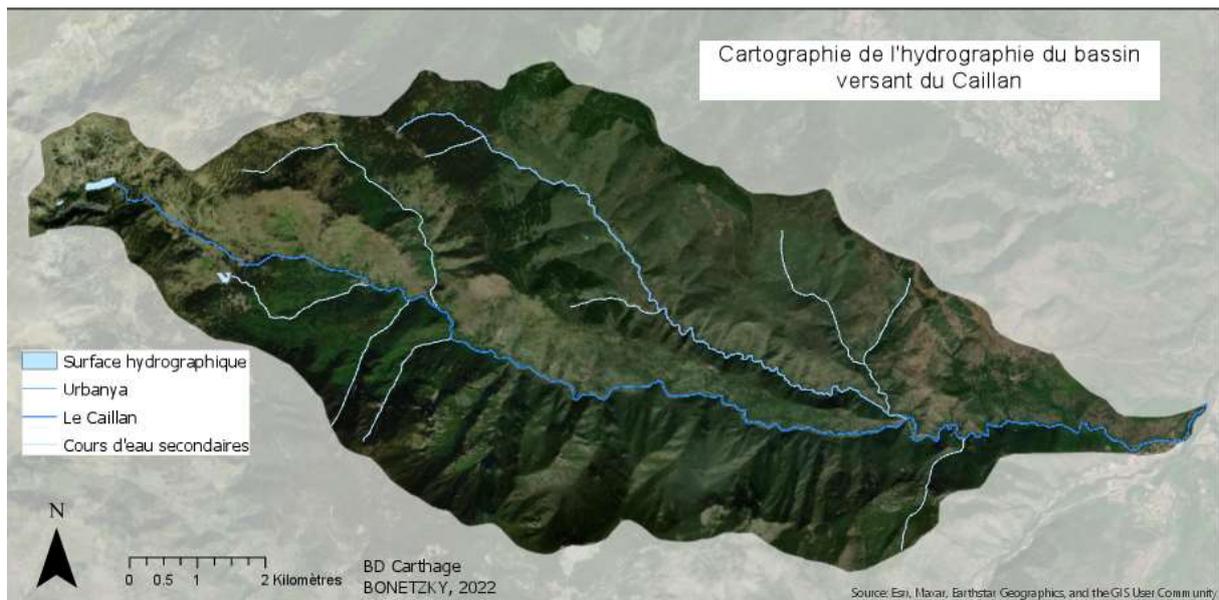


Figure 7 : Cartographie de l'hydrographie générales du bassin versant du Caillan, BONETZKY, 2022

Selon une étude des volumes prélevables de 2011 par l'agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, le module est de 581 L/s. On appelle module le débit hydrologique moyen interannuel, sur une période de 30 ans généralement.

Au niveau de la ressource en eau potable, Nohèdes à l'amont se nourrit par le ruisseau de Rourède, qui est un affluent amont. La consommation n'est pas comptée. Pour Conat, une résurgence du mont Coronat alimente un château d'eau qui envoie son trop plein dans le Caillan. La quantité est estimée à environ 5 L/s. La commune de Ria-Sirach à l'aval est alimentée par le captage d'une résurgence karstique (rivière souterraine d'En Gorner). L'alimentation n'est pour l'instant pas une source de problème sur le Caillan. Cependant il s'avère que à Urbanya elle devient problématique durant l'été lorsque la population augmente d'un coup et vide leurs réserves. Ils n'ont pas d'autres choix que d'aller chercher dans les réserves incendies. Les trois canaux les plus importants se situent à la fin du bassin versant, sur la commune de Ria-Sirach. On trouve le Rec Comou, le canal de Balajat et enfin le Canal de Canoha (figure 8). Ils sont tous gérés respectivement par la mairie de Ria-Sirach, l'ASA Balajat et l'ASA Prades Branche Ancienne. Ce dernier est le plus important en débit.

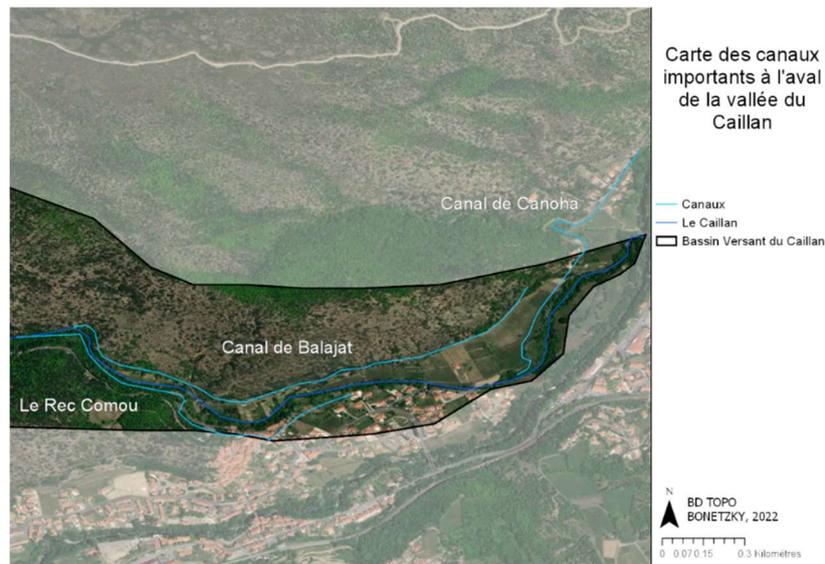


Figure 8 : Carte des canaux importants à l'aval de la vallée du Caillan, BONETZKY, 2022

Historiquement considérée comme la vallée de la fraise, la vallée du Caillan possède un héritage fort d'agriculture sur les parties aplanies du bassin versant, autour du cours d'eau. Aujourd'hui, on observe de nombreuses parcelles où l'exploitation du sol a disparu et où la nature a repris ses droits. Néanmoins on trouve toujours des surfaces importantes dédiées à l'exploitation agricole et maraîchère, que ce soit à Nohèdes, Conat ou Ria-Sirach. Ces espaces peuvent être à usage particulier ou professionnel. Il y a aussi du pâturage à Nohèdes avec des éleveurs possédant vaches et moutons. On retrouve un certain nombre de crépines et autres prises d'eau de canaux d'irrigation. Légalement, tant que l'on reste sous la barre des 1000 m³ par an de prélèvement, les usagers ne sont pas soumis à autorisation (mais doivent le déclarer).

Il y a donc des besoins autour de la ressource en eau tout le long du cours d'eau et ce depuis des dizaines (voire centaines) d'années. On retrouve des écrits datant d'avant 1900 par rapport à des ouvrages sur l'eau. Nous avons appris lors de notre première réunion début août que, à l'époque, il y avait en tout neuf grands canaux sur la vallée. Certains d'entre eux permettaient même de contourner les failles karstiques autour de l'axe Conat-Betllans. Ils sont aujourd'hui abandonnés, et des études pourraient faire surface afin de réfléchir au réaménagement de certains de ces canaux. Nous avons aussi entendu dire qu'à cette époque la rivière était assec en fin d'été, Une véritable culture de l'eau et de sa gestion doit donc être menée.

1.5. Problématique et annonce du plan

À la suite de l'étude de 2012 des évaluations de volumes prélevables globaux par l'agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse et les campagnes de jaugeage du SMTBV de 2019, un déficit hydrique sur le Caillan a été identifié. Un premier stage a été mené en 2020, et l'étude est complétée cette année via un nouveau stage de 4 mois. Cette vallée est considérée comme sous tension et il faut améliorer la connaissance sur la vallée par des mesures de terrain et résoudre le déficit quantitatif par des mesures structurelles et de gestion.

Au vu du contexte spécifique du Caillan et de son bassin versant, nous allons nous demander : comment fonctionne un bassin versant méditerranéen de montagne en période d'étiage, et quelles sont les tensions qui en résultent ? Pour y répondre, nous allons tout d'abord poser un état des connaissances à propos de l'étiage, de l'hydrologie des bassins versants méditerranéens et sur notre territoire. Ensuite, la méthodologie utilisée quant au protocole de jaugeage et les données disponibles sera présentée plus en détails. Et enfin, nous examinerons les différents éléments influant sur l'eau : la courbe des débits, les facteurs naturels, les facteurs anthropiques, les tensions et enfin les conséquences du changement climatique.

2. Etat de l'art

Depuis très longtemps les cours d'eau, leur fonctionnement, et toutes leurs composantes sont étudiés (crue, étiage, morphologie). Nous allons tout d'abord faire une revue des connaissances à propos du phénomène d'étiage, pour ensuite parler des bassins versants avec des contextes comme le nôtre, et enfin finir sur une revue de ce qui a été produit sur notre rivière.

2.1. L'étiage

On peut d'abord souligner que le terme étiage est un mot français ne connaît pas vraiment d'équivalent dans d'autres langues (Garcia, 2017). En anglais par exemple, on dit « low flow » ou encore « hydrological drought ». Cela fonctionne aussi avec l'allemand qui utilise le terme de « Niedrigwasser », ce qui signifie littéralement basses eaux. Un questionnement que l'on retrouve régulièrement dans la littérature scientifique à propos de l'étiage est relatif à la définition même de ce mot. D'après le Glossaire International d'Hydrologie, l'étiage correspond au « niveau le plus bas atteint par un cours d'eau ou un lac ». Cette définition ne prend pas en compte un élément comme la temporalité, qui est primordial ici. Roche (1986), dans le dictionnaire français de l'hydrologie de surface, choisit de prendre en compte la notion de temporalité en précisant « niveau annuel le plus bas atteint par un cours d'eau en un point donné ». On ne parle toujours pas de différence entre basses eaux, sécheresse et étiage mais la définition devient plus précise. On arrive enfin à Dachary (1996) qui, dans le dictionnaire français d'hydrologie, mentionne « débit exceptionnellement faible d'un cours d'eau, qu'il ne faut pas confondre avec les basses eaux saisonnières habituelles, même s'il est en exacerbation ». La mention de la temporalité apparaît alors, en parlant des eaux saisonnières, mais aussi de la

différence avec sécheresse et basses eaux. Dans un texte très important sur l'étiage, « low-flow hydrology : a review » de Smakhtin en 2001, c'est la définition qui va être favorisée. Ici nous n'étudierons pas la sécheresse à proprement parler : une sécheresse peut inclure une période d'étiage, mais une période d'étiage ne constitue pas forcément une sécheresse (Smakhtin, 2001 ; Clausen and Pearson, 1995).

Une multitude de facteurs peuvent expliquer l'apparition du phénomène d'étiage. On comprend qu'il y a plusieurs composantes temporelles et spatiales qui influent sur les débits. On parle de climat, topographie, géologie, les sols ou encore l'action humaine (Smakhtin, 2001). Il indique que le débit d'une rivière dépend de plusieurs concepts : c'est un réseau de réservoirs qui ont tous des caractéristiques de recharge, stockage et décharge. La recharge dépend principalement des précipitations, alors que les autres dépendent de caractéristiques physiographiques. L'écoulement du cours d'eau n'est assuré que par la vidange progressive des différents réservoirs, en fonction de leur taux de remplissage. Les débits qui résultent de ces écoulements sont appelés débits de base, autrement appelé débit biologique (Garcia, 2017). L'importance des interactions aquifères/eau de surface est mise en valeur par Pushpalatha et Al., 2011 : « One of the major problems with low-flow simulation is to account for surface water–groundwater interactions. Therefore, groundwater significantly influences low flows »¹.

Les étiages sont ainsi définis comme étant un phénomène saisonnier naturel, généralement dû à un déficit pluviométrique plus ou moins prolongé, plus ou moins intense, variable dans le temps et dans l'espace, entraînant une diminution du débit dans le chenal (Garcia, 2017). Partant de cette interprétation, nous constatons que le premier facteur de réduction du débit pendant la saison d'étiage est le manque de temps de recharge, et donc le manque de précipitations (le stress hydrique²). Le débit ne provient que de la vidange progressive et du niveau des réserves présentes dans le bassin versant (Catalogne, 2017). Cependant, au niveau de la recharge, c'est assez technique d'après Claire Lang Delus (2011) :

¹ L'un des problèmes majeurs de la simulation des étiages est de prendre en compte les interactions entre les eaux de surface et les eaux souterraines. Ainsi, les eaux souterraines influencent considérablement les étiages

² La ressource en eau disponible est inférieure à la demande en eau. Peut-être extrême.

« Il est difficile d'établir une relation directe entre les précipitations enregistrées durant le mois de l'étiage et la sévérité de ce dernier dans la mesure où il s'agit d'un phénomène lent et dépendant de conditions antérieures. Il convient donc de prendre en compte les précipitations précédant l'étiage et enregistrées durant la période de recharge des nappes afin d'établir une relation entre ces deux variables. »

Cette citation permet de comprendre qu'il s'agit d'un processus non instantané qui est le résultat d'un nombre significatif d'interactions.

Cette logique de réservoirs interconnectés exprimée par Smakhtin (2001) est développée dans le tableau suivant :

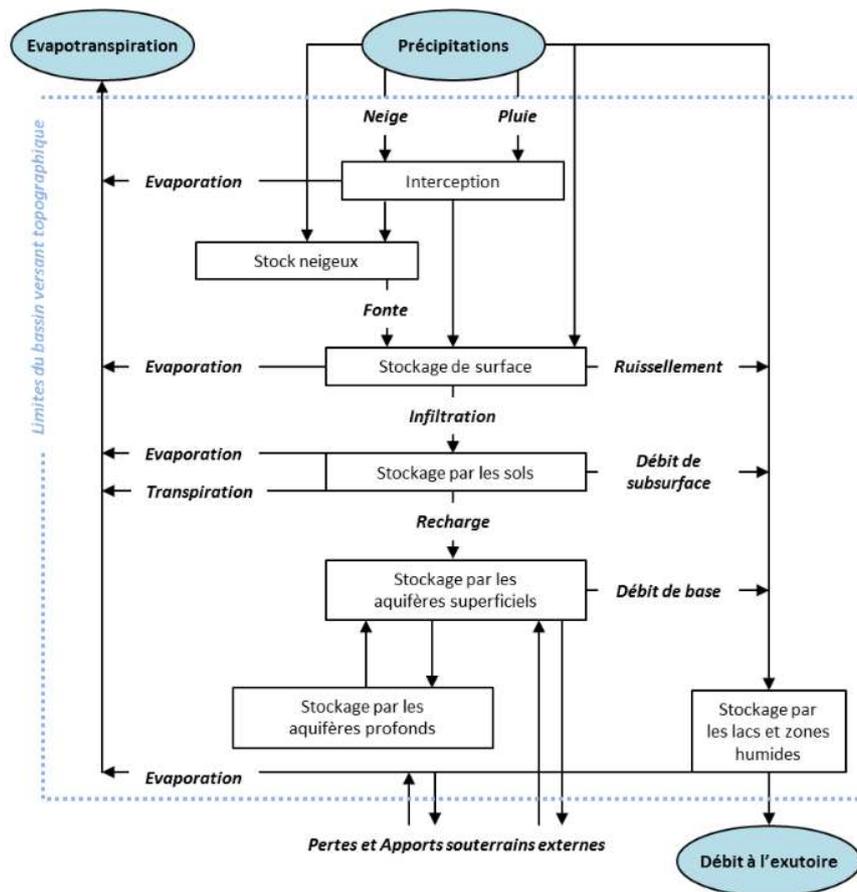


Figure 9 : Schéma des différents processus hydrologiques et de stockages sur un bassin versant (WMO, 2008)

« Nous comprenons alors que les processus liés à l'étiage se divisent en deux grandes composantes : une composante liée aux

précipitations et plus généralement au climat et une seconde
composante liée aux sols et aux aquifères » (Garcia, 2017)

Il faut considérer les paramètres naturels et anthropiques séparément. Les différents paramètres sont listés ci-dessous (Smakhtin 2001 ; Garcia 2017 ; Lang Delus 2011), en commençant par les éléments naturels :

- Caractéristiques des sols et infiltration avec le karst notamment (Felton & Currens, 1994)
- Caractéristiques de l'aquifère
- Les taux et fréquences de recharge
- L'évapotranspiration sur le bassin
- Le type de végétation
- La topographie
- Le climat

Et pour ce qui est des impacts anthropiques :

- Captage des eaux souterraines
- Drainage artificiel / canaux (agriculture, constructions, industries)
- Changement de végétation (impact sur l'évapotranspiration)
- Afforestation importante (augmentation de la biomasse, feuilles à nourrir, sol qui se transforme)
- La déforestation a un impact également : dégradation des sols qui ajoute de la perte
- Urbanisation, avec modification des sols

Et enfin, on a aussi des impacts directs de l'être humain qui va augmenter les débits :

- Retour après irrigation agricole
- Schéma interbassin, peut apporter l'eau des autres bassins versants
- Barrages : impact très important, peut compenser l'étiage à lui tout seul. Ils posent cependant d'autres problèmes d'obstacle à la continuité écologique en rivière (sédimentaire et piscicole)

A l'aide de cette réflexion, on conclut que c'est une combinaison de paramètres naturels et anthropiques qui sont à l'origine des modifications du débit, et chaque vallée a ses singularités.

2.2. Le climat spécifique méditerranéen de montagne

Le climat méditerranéen possède ses spécificités : c'est un climat tempéré, avec une saisonnalité bien marquée (Géoconfluence, 2022). L'été est chaud et sec, l'hiver est marqué mais doux, le printemps et l'automne sont très pluvieux (surtout l'automne, au printemps forte fonte des neiges principalement). En tant que tel, le climat méditerranéen a la particularité de coïncider avec des minima de précipitations annuelles et des maxima thermiques, ce qui se reflète clairement dans les diagrammes ombrothermiques. En d'autres termes, c'est le seul climat où la saison la plus chaude est associée à de moindres précipitations (Ernoul et Al, 2020). Enfin, il convient de noter que la variabilité interannuelle du climat n'est pas sans conséquence sur la gestion des ressources en eau et des risques. Ce climat se distingue aussi par ses durées d'ensoleillement importantes. De plus, le paysage est composé essentiellement de forêts.

Il est aussi important de prendre en compte la topographie, qui possède une influence très importante sur les températures via la complexité du relief, sa fragmentation, l'exposition des versants ou encore les vents (notamment la tramontane provenant du continent vers le golfe du Lion, très impactant dans les Pyrénées Orientales).

« Il reste que chaque zone climatique continue d'imposer des conditions de circulation atmosphérique auxquelles les montagnes n'échappent pas. Dans ce sens, on ne peut donc pas vraiment parler d'un climat azonal montagnard type, mais plutôt de faciès intrazonaux » (Godard et Tabeaud, 1998)

On a ici la fraîcheur de la montagne (avec un gradient altimétrique de 0,6°C chaque 100m de manière générale), mais avec un ensoleillement très fort où persiste le rythme saisonnier méditerranéen de la plaine du Roussillon à l'aval. La classification

climatique de Köppen-Geiger range les communes à l'amont de notre bassin versant en Cfb : climat tempéré chaud, sans saison sèche et à été tempéré. Cela se rapproche plus du climat océanique. Les spécificités de notre territoire impliquent des orages réguliers et forts (Tassin, 2012), notamment arrivé en août/septembre. Il y a « une insolation qui favorise les ascendances thermiques et les orages consécutifs » (Viers, 1990). La pluviométrie, de manière générale, redevient donc significative sur la fin de l'été.

Dans cet environnement, la biodiversité aquatique est sous tension (Marmonier et Al., 2019). On retrouve ce phénomène sur la majorité des rivières méditerranéennes, avec des températures saisonnières extrêmes et un ensoleillement fort, tout en ayant une grande variabilité des débits entre crues et étiages (T. Datry et al., 2014). Les changements climatiques accélèrent cette variabilité, avec des variations sur la fréquence et l'intensité des épisodes (N.W. Arnell, 1999). Grace, notamment, à l'altitude importante de notre zone d'étude (2000 mètres en haut), il n'y a pas d'à sec naturellement : l'aspect montagnard a un impact primordial. Cependant, on a toujours le climat méditerranéen qui influe sur ces températures. La nuit, on a un rafraichissement en dessous des 20°C, qui permet de soulager des tensions sur les milieux.

2.3. Les recherches sur le bassin versant du Caillan

la réserve naturelle de Nohèdes a initié un suivi hydrologique de tout le bassin versant Nohèdes-Conat depuis 2009 jusqu'en 2019. Leurs relevés sont précieux pour notre travail car ils compilent des années de chroniques de données. Il y a des enjeux importants, que ce soit au niveau des acteurs locaux, des habitants mais aussi de la biodiversité (Cuxac, 2019). Il est bon de rappeler que ces études ne concernent pas forcément la même période que la nôtre : elles se tiennent sur des saisons diverses (toute l'année), pas spécialement en été et encore moins dans notre contexte de sécheresse historique.

- Pour commencer, l'étude réalisée en 2009 était concentrée sur les infiltrations issues du karst et comment elles sont restituées à la rivière

principale. Celle-ci a démontré que cet apport était « quantitativement faible mais physico-chimiquement important (apport de minéraux) » (Ducroix, 2009).

- Dans un second temps, un protocole a été mis en place avec l'installation de cinq sondes enregistreuses à partir d'août 2011. Le but étant d'avoir un suivi hydrologique continu (Serviere, 2010). Ces stations sont toujours en place aujourd'hui, mais pas forcément entretenues ou suivies.
- Ensuite, il y a eu l'établissement d'une évaluation des volumes d'eau évapotranspirés, et des mesures sur le fonctionnement du stockage de l'eau par la neige et les zones humides. Des moyennes d'ETP, d'ETR, de la pluie brutes et des courbes isohyètes ont été faites (Le Guenanff, 2013).
- Il y a eu une évaluation/estimation des volumes d'eau absorbés par le Karst. On apprend que si cette ressource était captée, un bassin de population de 100 000 habitants pourrait être alimenté (Chaubet, 2014). On parle ici de toute la somme perméable géologique, dont nous parlerons dans la partie 4.2.2.
- La contribution du Caillan à la zone perméable du mont Coronat a été mesurée. Environ 6 300 000 m³ s'infiltré chaque années, et cette ressource est vulnérable (Rio, 2015).
- Une seconde perte est mise en évidence entre Betllans et Conat via l'analyse périodiques des hydrogrammes des stations (Ball, 2016).
- Un suivi des températures au niveau des sondes a été mis en place, et mesure des températures sur différents points d'altitude sur le BV (Rocheteau, 2017)
- Des précisions sur le bilan hydrologique du bassin versant, avec l'amélioration des courbes de tarage et l'établissement de bilans hydriques. Des questions sur les changements climatiques ont aussi été soulevées, notamment sur l'évolution de l'évapotranspiration et des débits en fonction des hausses de températures (GIEC) et les changements de précipitations (Cuxac, 2019).

D'autres études existent sur cette zone mais plutôt ciblées sur la biodiversité (suivi de populations des Desman des Pyrénées, Euprocte, chat forestier,...), C'est un territoire bien suivi, bien aidé par la présence des deux réserves naturelles de Conat et de Nohèdes qui permettent d'apporter du savoir.

3. Méthodologie

3.1. Les mesures de débits

Il existe plusieurs méthodes pour mesurer les débits d'un cours d'eau. Nous allons ici utiliser la méthode du champ d'exploration des vitesses, à l'aide d'un courantomètre électromagnétique. Avec ce type de capteur, la vitesse de l'eau peut être déduite de la tension mesurée lors du passage de l'écoulement dans le champ magnétique produit par la bobine de l'appareil. C'est la même méthode que le moulinet point par point, mais sans ses faiblesses comme les zones pleines d'algues ou la multiplicité de moulinets. Le calibrage des appareils a été vérifié en début de saison, lors de journées d'inter comparaison avec différents organismes.

La démarche consiste à faire une section perpendiculaire à l'écoulement du cours d'eau et mesurer la vitesse de l'eau en plusieurs points. Pour ce faire, on place une mire ou un décamètre (ou plus grand si besoin) sur cette section afin d'avoir une graduation. La vitesse n'est pas la même de partout, en fonction de sa position horizontale ou de sa profondeur.

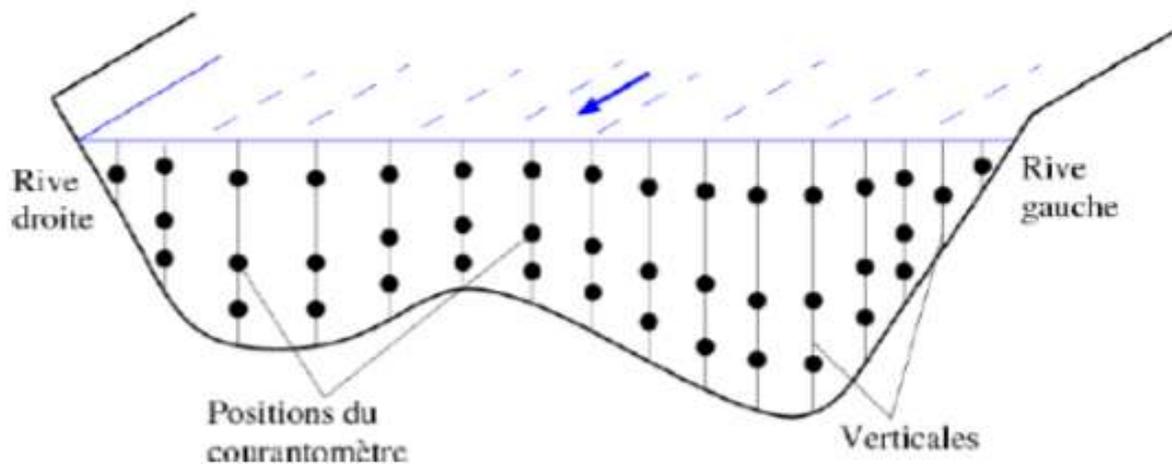


Figure 10 : Schéma montrant la méthode du champ des vitesses, source inconnue

On appelle chaque colonne des verticales. Elles sont choisies en fonction de la topographie du fond, des écoulements que l'on voit et à des intervalles réguliers. Pour chaque verticale on applique la méthode du « 20-40-80 », c'est-à-dire que l'on effectue trois mesures à 20%, 40% et 80% de la hauteur de la verticale (voir annexe 1 : tableau valeurs de mesures). De 10 à 14 cm inclus, on mesure seulement les valeurs à 20% et 80%, et en dessous seulement la valeur à 40%. Le courantmètre peut aller au minimum à 2 cm de hauteur. Nous parlons de hauteur car nous considérons que le fond du cours d'eau correspond à une valeur 0, et non pas le niveau d'eau qui impliquerait des valeurs négatives. Lors d'une campagne de jaugeage, nous intervenons toujours à deux : une personne manipule le courantmètre alors que l'autre note les valeurs. Ceci répond également à des questions de sécurité. L'opérateur se situera toujours en aval du courantmètre pour ne pas perturber le courant.

A la suite de ce travail, toutes les valeurs sont enregistrées dans le logiciel BAREME, conçu par la DREAL Auvergne-Rhône-Alpes qui fournit ce logiciel au SMTBV. Les vitesses sont exprimées en m/s multipliées à des surfaces en m² : le débit est ainsi obtenu en m³ par seconde. Pour valider notre campagne de jaugeage, on mesure à un point précis la hauteur d'eau matin et soir. Si la variation ne dépasse pas 2 à 3 centimètres (sur des valeurs de hauteur d'environ 20 cm en général), les mesures sont considérées comme valables (environ 10% d'incertitude). Dans le calcul des débits, il faut prendre en compte le coefficient de rive, autrement dit le coefficient de rugosité, qui varie en fonction du lit de l'écoulement. Si nous sommes

dans le lit naturel nous utilisons un coefficient de 0,62, tandis que dans un canal le coefficient est de 0,9.

3.2. Le choix des points de mesure

Nous avons ensuite choisi une sélection de points de mesure le long de la rivière. Pour donner suite à la campagne de 2020, nous avons pris les mêmes points de mesures car cela permet la comparaison. Ils répondent à plusieurs critères essentiels :

- Leur accessibilité par les opérateurs : nous avons vu auparavant que la vallée est très escarpée, et tous les endroits ne sont pas facilement accessibles.
- L'écoulement doit être rectiligne, on évite donc les virages. L'écoulement doit également être homogène avec le moins possible de cailloux, même s'ils sont difficilement évitables dans les rivières de montagne/torrentielles.
- Les points doivent être répartis en des endroits présentant des enjeux, comme à l'amont/aval d'un village, entre des lieux espacés, à l'amont de canaux, à l'exutoire, à la source ...
- Tout cela doit être faisable en une journée de travail.

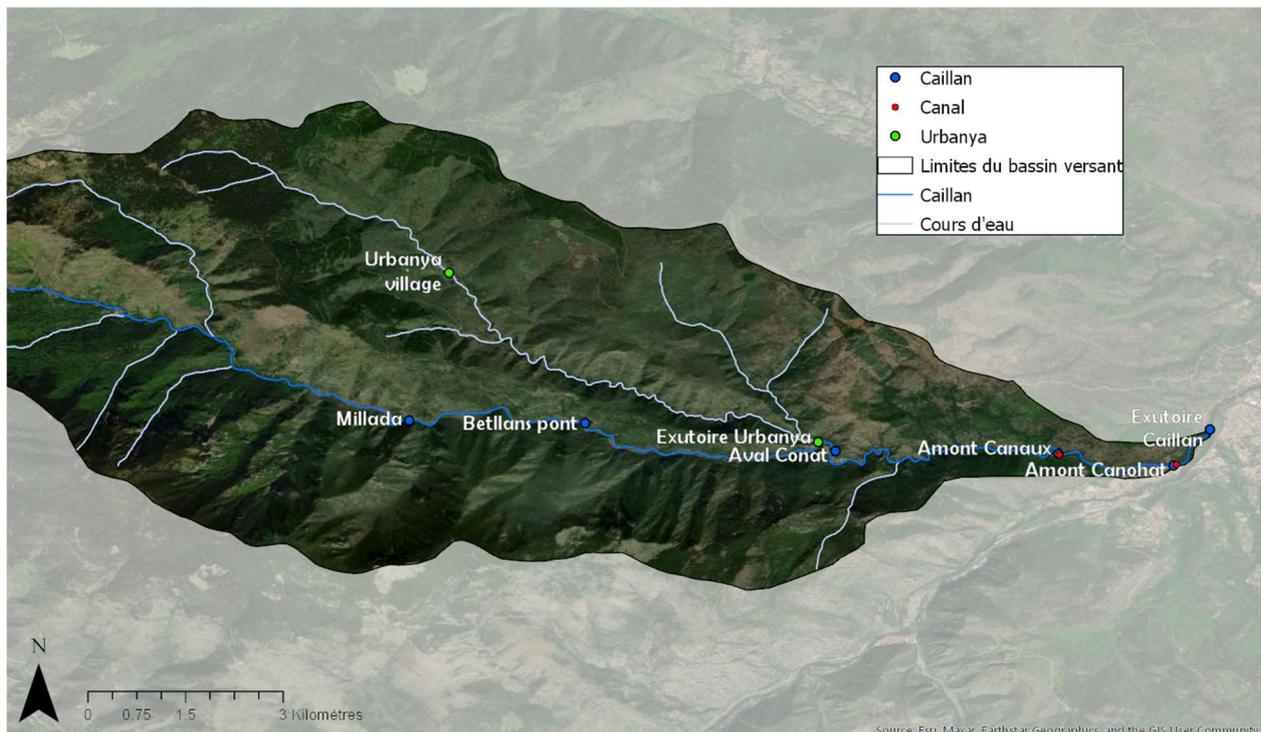


Figure 11 : Carte des points de mesure, BONETZKY, 2022

Selon ces contraintes, notre itinéraire pour les campagnes de mesures est ainsi composé : Urbanya village (une semaine sur deux), Millada, pont de Betllans, exutoire Urbanya, aval de Conat, amont des canaux, amont canal de Canoha et exutoire du Caillan. D'autres mesures sont opérées dans les canaux de la fin, notamment au Rec Comou et canal de Canoha. Ces mesures sont réalisées à un rythme hebdomadaire dans des conditions météo stables.

3.3. Le réseau de station de la réserve naturelle de Nohèdes

La RN de Nohèdes a installé une station de réseau hydrométrique depuis fin 2011. Ces stations sont constituées d'une échelle limnimétrique, une sonde mesurant la hauteur d'eau ainsi que la température. A l'aide des courbes de tarage, le débit du cours d'eau peut être déduit de la hauteur d'eau et permet un suivi automatique du débit et à un pas de temps de 5 minutes . Ces stations doivent être étalonnées régulièrement et les courbes de tarages actualisées, selon les changements possibles du cours d'eau suites aux modification de la morphologie de la rivière (crues, mêmes petites).

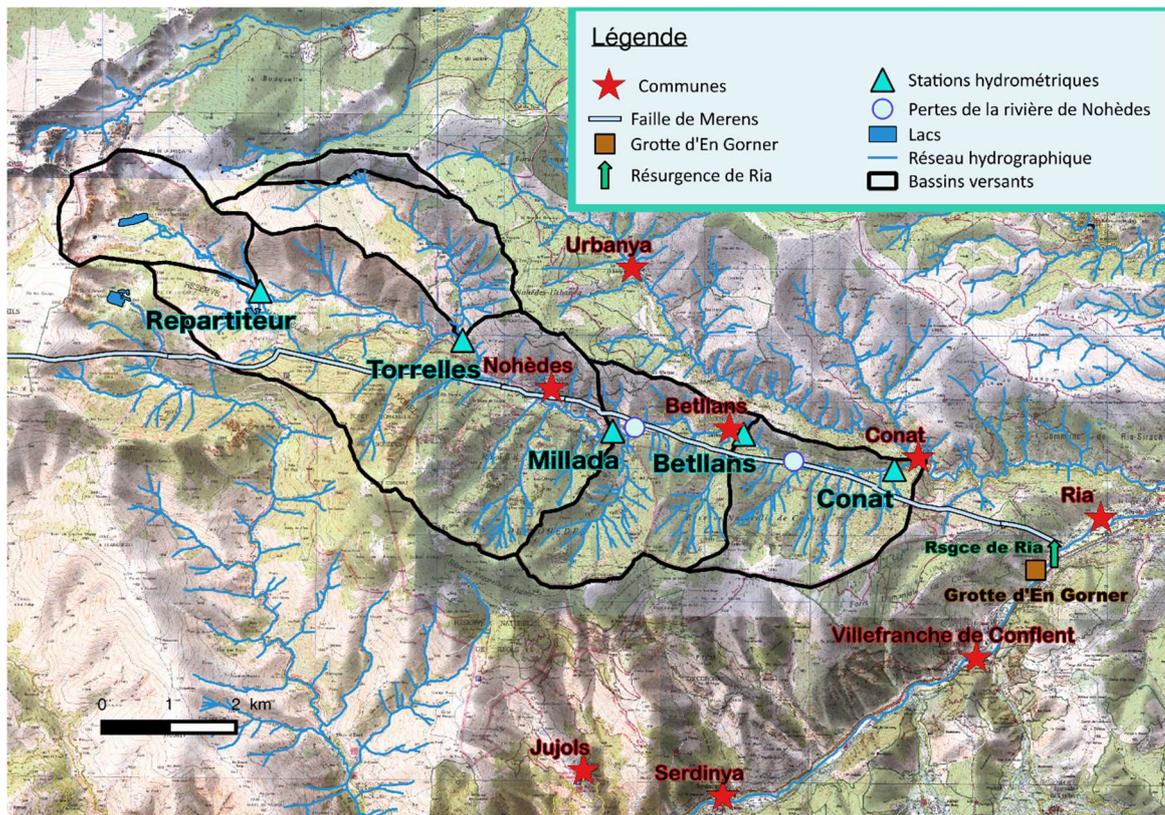


Figure 12 : Carte du réseau de stations de la RN Nohèdes, De Bentzmann, 2020

Dans notre cas, les stations n'ont pas été revues et actualisées depuis la tempête Gloria il y a 2 ans et nous n'avons pas de données en continue disponibles. Cependant, la RN de Nohèdes a effectué des mesures de débit en haut du bassin versant au niveau du répartiteur et du Rec de Toreilles, une fois en juillet et une fois en août. Cela nous permet d'avoir des données proche de la source de la rivière, qui est inaccessible pour nous étant donné le temps de trajet. Le répartiteur (figure 13) est situé avant les premiers usages, et sépare la rivière entre l'écoulement naturel et la déviation vers l'étang du Clot puis la microcentrale électrique.



Figure 13 : Photo du répartiteur, BONETZKY, 2022

3.4. Le traitement des données

Tous les débits sont enregistrés sur tableur, et pour les représenter nous allons utiliser une courbe des débits. Cette courbe aura comme abscisse les kilomètres de distance par rapport à la source, et en ordonnée la valeur du débit en litre par seconde. Cela va permettre de représenter l'évolution des débits le long des stations, remarquer les pertes/hausses, et voir comment le cours d'eau est influé le long de notre parcours. Il faut rappeler que nous parlons de données lors de la période d'étiage, prises entre début juillet et fin août 2022 (le suivi continue en septembre dans le cadre de mon stage).

Les hauteurs d'eau sont aussi relevées quand il y a une échelle disponible (notamment dans les canaux, pour éviter des mesures et vérifier ou reconstruire des courbes de tarage idéalement). Lors de notre premier passage de repérage, le 6 juillet, nous avons laissé des marques de hauteur d'eau avec de la peinture afin de rendre observable la baisse au fil de l'été. Ce sont des marqueurs visibles de la baisse, pédagogiques

pour les réunions de concertation avec les acteurs notamment.

3.5. Les acteurs locaux, la concertation

Pour transmettre et obtenir des informations, nous avons organisé une réunion de concertation avec des acteurs de la vallée afin de les faire dialoguer sur le sujet de l'eau et nos résultats de suivis et connaissances du territoire. Une nouvelle réunion sera organisée en septembre.

Les réunions sont composées de : mairies, réserves naturelles, agriculteurs, gestionnaires de canaux, fédération de pêche et de nombreux usagers particuliers de l'eau. Nous avons aussi eu un entretien téléphonique avec un spéléologue qui connaît les environs afin d'avoir de plus amples informations dans notre étude du terrain. Nous avons communiqué tout le long de la campagne, avec notamment des bulletins hydrologiques chaque mois (annexe 2).

Le but est de mettre en place des actions concrètes pour à la fois satisfaire les besoins des usagers et préserver le milieu naturel.

4. Résultats

4.1. La courbe des débits : modèle hydrographique du Caillan

Comme énoncé auparavant, les courbes que nous allons observer montre l'évolution du débit du Caillan en fonction de sa longueur sur son parcours de Nohèdes à Ria. Les campagnes s'étendent du 12 juillet au 30 septembre 2022.

4.1.1. Les débits moyens mensuels

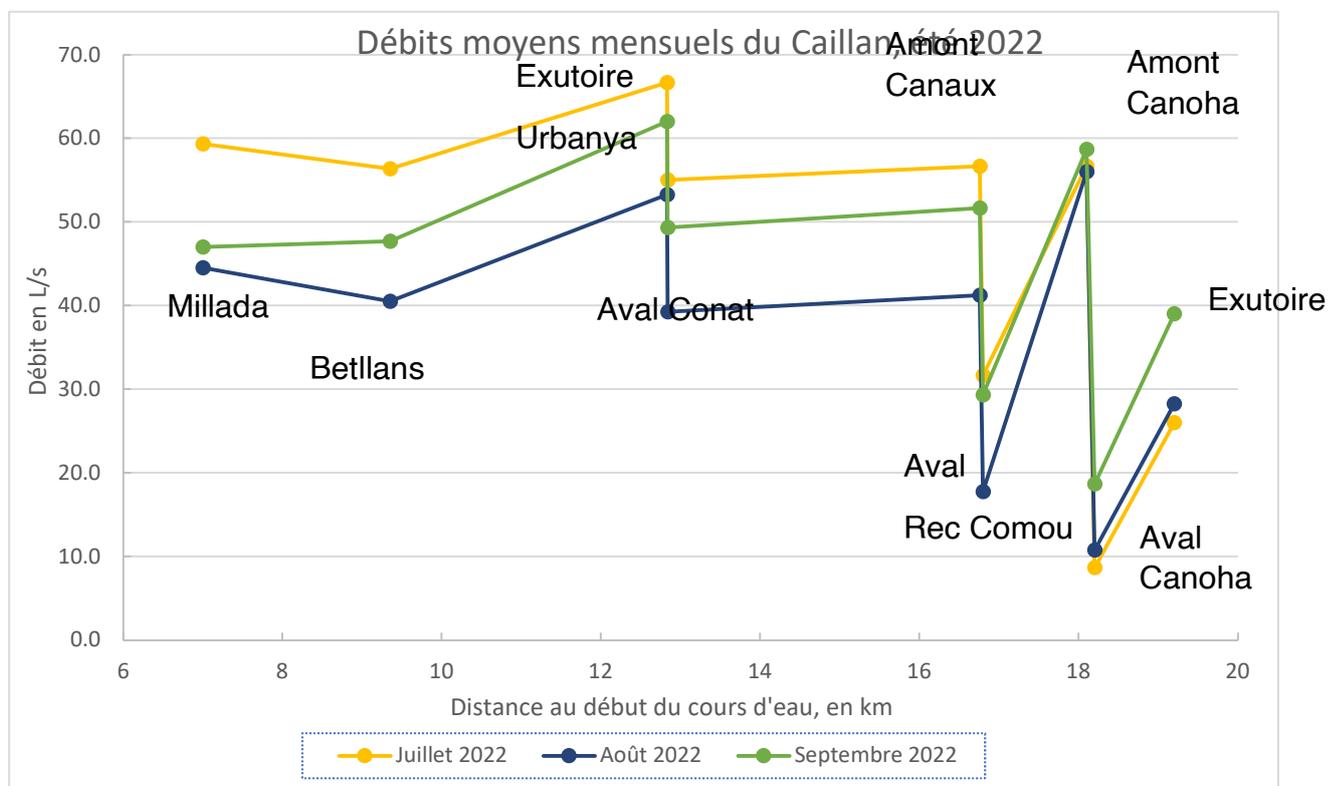


Figure 14 : Courbe des débits moyens mensuels du Caillan, été 2022, BONETZKY, 2022

Dans le graphique en figure 14, nous pouvons relever différents éléments :

Tout d'abord, on observe que le cours d'eau subit une baisse généralisée du débit, notamment sur la partie amont où il y a peu d'intervention humaine. C'est une baisse d'environ 25% du débit entre les deux mois (soit 15 litres par secondes de moins), ce qui suit la logique de l'étiage après tout un été de stress hydrique intense et la recharge inexistante des réserves par les pluies. Nous rappelons que le débit minimum biologique estimé par l'EVP de 2012 pour la rivière du Caillan est de 95 L/s à l'exutoire. Le débit d'objectif d'étiage en fermeture de bassin n'est pas atteint pour les 3 mois d'étiage, le plus haut étant lors de la première campagne de repérages (6 juillet) où nous avons mesuré 64 L/s. La montée entre Betllans et Conat est due à l'apport d'Urbanya, mais cela gagnerait à être plus précis avec un autre point de mesure situé à l'amont du village (mais difficilement atteignable pour nous). En septembre on a néanmoins une remontée.

Le second élément que l'on observe est l'influence anthropique sur le bas de la vallée avec les troiscanaux d'irrigation. A partir du Rec Comou (et du Rec Balajat qui le suit) entre 16 et 17 kilomètres, le cours d'eau est complètement influencé. Nous avons parfois observé de très grandes variations entre deux semaines consécutives au niveau des canaux, notamment lors de la campagne du 9 août où le canal Rec Comou a prélevé seulement 5 L/s, laissant une quantité importante à la rivière (78L/s en rivière à l'amont de la prise d'eau du canal de Canoha, ce qui correspond au pic sur le graphique).

Les diminutions que l'on trouve le long du parcours sont dues à des prélèvements. Individuellement ils ne prennent pas énormément mais tous ensemble ils possèdent une influence sur le débit. La forte baisse que l'on calcule entre l'exutoire d'Urbanya et l'aval de la commune de Conat s'explique par les nombreux prélèvements du village. Cf la figure 15 suivante :

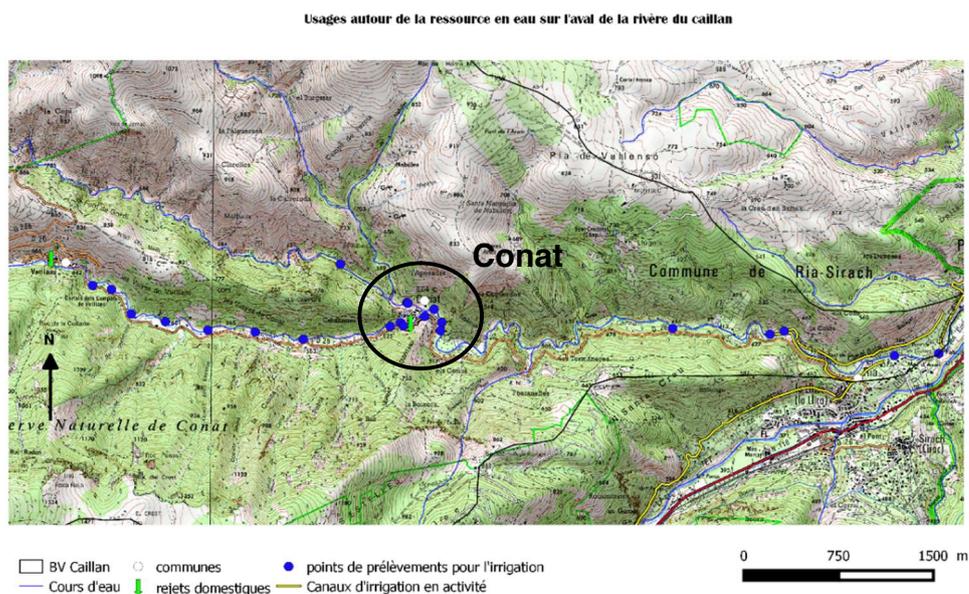


Figure 15 : Cartes des usages autour de la ressource en eau sur l'aval de la rivière du Caillan, De Bentzmann, 2022

Il faut aussi noter un apport important entre le Rec Comou et Canoha, où le débit remonte : c'est le retour du canal d'En Caça venant de la rive gauche de la Têt, plus haut. Il finit son parcours dans le Caillan et apporte environ 20 L/s de manière constante durant tout l'été.

4.1.2. Courbe des débits en juillet

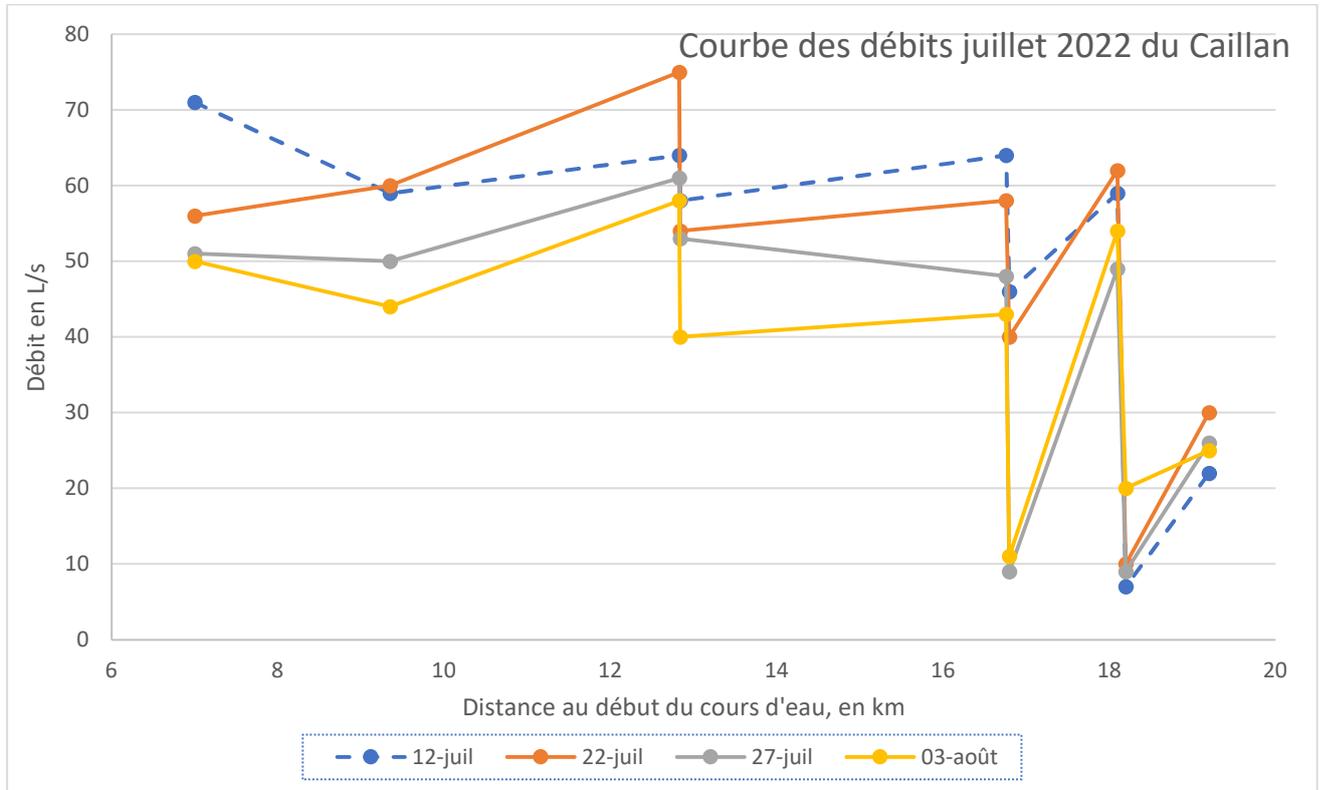


Figure 16 : Courbe des débits juillet 2022 du Caillan, BONETZKY, 2022

La campagne du 12 juillet est en pointillés car nous avons eu des incertitudes d'ordre technique, et donc certaines mesures remises en cause (l'exutoire et la confluence avec Urbanya vers le kilomètre 12). Durant ce mois de juillet, les débits baissent au fur et à mesure, ce qui suit un mois avec un stress hydrique de l'ordre de 100% (Météo France, 2022). Il y a eu 13 jours très chauds dépassant les 30°C et une pluviométrie quasi-inexistante, avec 8,3 mm. L'évapotranspiration était donc particulièrement forte. D'après Cuxac en 2019, l'évapotranspiration représente environ 30% des pertes d'eau dans ce bassin versant. C'est encore plus intense cette année 2022 qui est une décennale sèche. En 2020, année particulièrement humide, la moyenne des débits du mois de juillet était de 147 L/s. Cette année, les valeurs sont plus de deux fois inférieures, ce qui témoigne du contexte particulier des deux années.

Via la réserve naturelle de Nohèdes nous avons des données fin juillet à l'amont du cours d'eau au répartiteur et au rec de Toreilles (figure 12). Au répartiteur nous sommes à 31 L/s, et 43 L/s au rec de Toreilles. Nous sommes à 50 L/s à

Millada vers cette date, le début de notre courbe. Le gain est rendu possible par les différents affluents que nous avons observés, bien que très léger (moins de 10 L/s en tout).

4.1.3. Courbe des débits en août

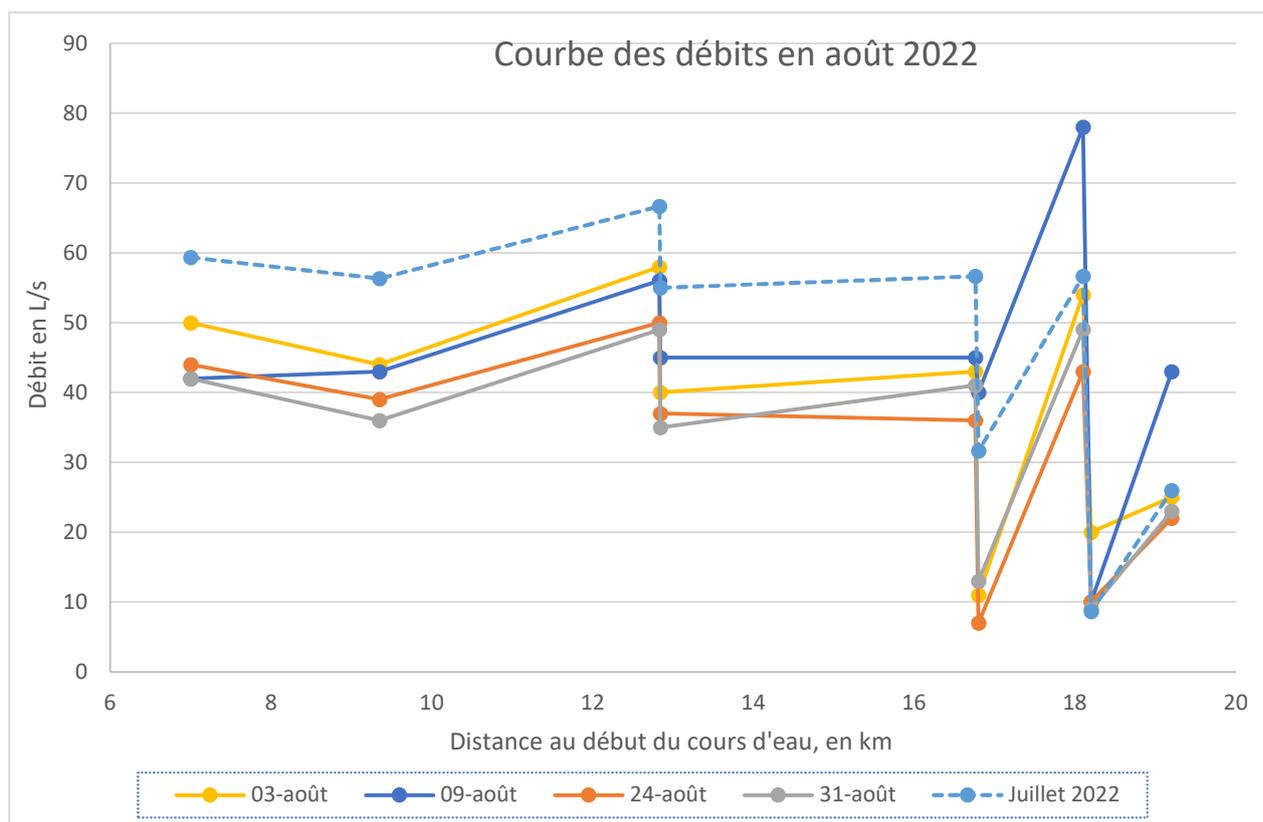


Figure 17 : Courbe des débits du Caillan en août 2022, BONETZKY, 2022

Pour le mois d'août, on observe toujours une baisse continue des débits entre les campagnes de mesure. La baisse est cependant moins importante qu'en juillet, août ayant été moins caniculaire et en suivant la logique de décharge des réserves (Smakhtin, 2001). Il y a aussi eu une pluviométrie sur l'ensemble du mois de 27,2mm (au niveau de Conat), ce qui n'a pas influé directement sur les débits mais qui a « un peu soulagé les réserves de l'amont » (RN Nohèdes). Il y a un fort gradient pluviométrique en fonction de l'altitude dans cette vallée (Le Guenanff, 2013), donc la quantité précipitée est plus grande en altitude.

Sur cette courbe, nous pouvons voir le niveau de débit moyen en juillet (courbe en pointillées, figure 16). On voit que nous sommes en dessous, ce qui

correspond à notre étiage tout le long de l'été. Nous avons aussi la pointe évoquée auparavant à 78 L/s, où la gestion du Rec Comou en amont a décidé de passer à 5 L/s sur cette semaine (au lieu de 20-30 L/s d'habitude). Nous avons essayé de les contacter mais il n'a pas été possible d'avoir des explications sur ces choix.

En haut de la vallée, au répartiteur, nous avons eu une mesure du 1^{er} septembre indiquant 31 L/s, comme fin juillet. Les précipitations en altitude de la deuxième moitié d'août ont bien été confirmés par la RN de Nohèdes, elles ont dû aider les lacs. La chute se constate quand même plus bas dans la vallée.

4.1.4. Courbe des débits en septembre

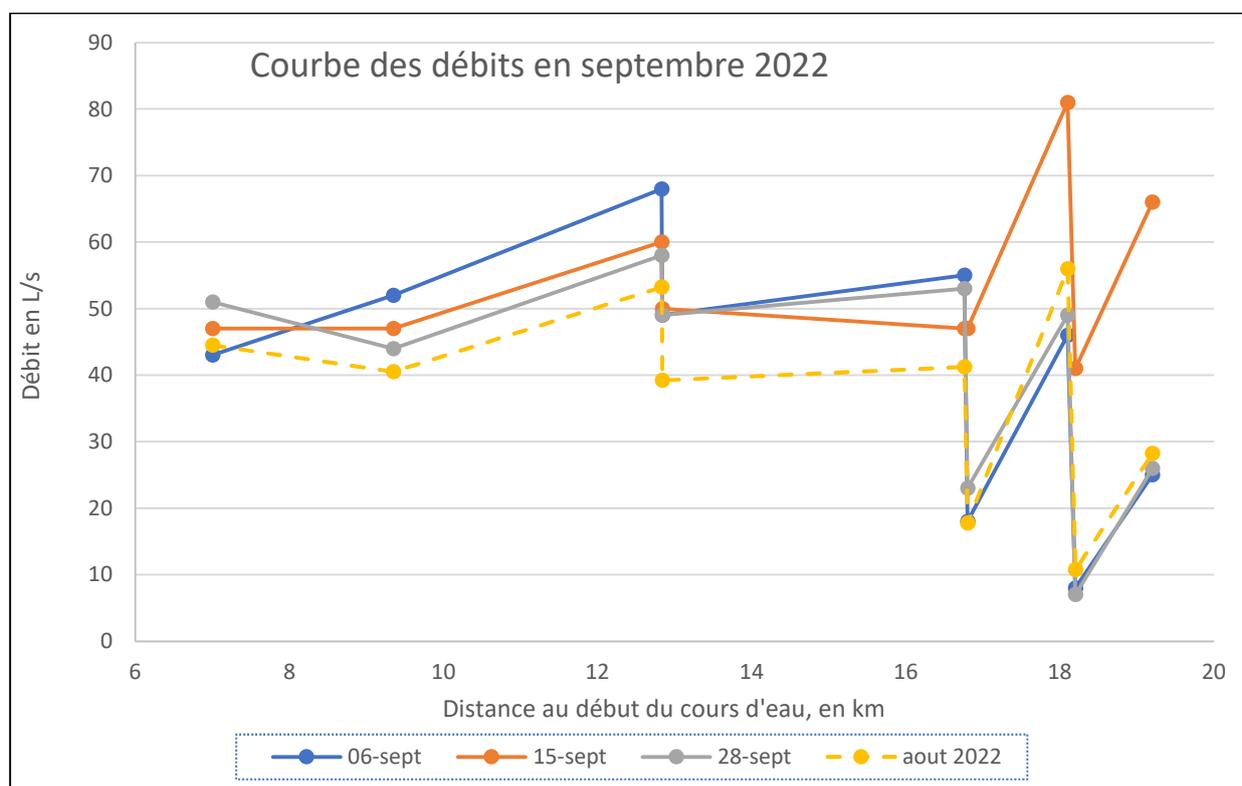


Figure 18 : Courbe des débits du Caillan en septembre 2022, BONETZKY, 2022

Durant le mois de septembre, on observe une remontée légère des débits par rapport au mois d'août (courbe jaune en pointillée, figure 18). On peut observer lors des mesures du 15 septembre une particularité : 0 L/s entrant dans le canal Rec Comou (16-17 km) ce qui laisse un exutoire qui dénote complètement du reste de nos campagnes. On ne peut cependant pas assurer une tendance à la hausse

continue sur tout le mois : en effet, et malgré les pluies, notre dernier jaugeage du 28 septembre passe en dessous des autres et s'apparente au début du mois (6 septembre). Globalement nous avons regagné en eau, comme on le voit figure 14, mais nous sommes encore dans une période de basse-eaux importante.

4.1.5. Le cours d'eau Urbanya :

Pour le cours d'eau d'Urbanya, nous avons choisi de produire des données car il n'en existait pas ou très peu, notamment au niveau du village. Pour des raisons pratiques, nous avons décidé de nous y rendre une semaine sur deux (rajoutant environ 50 minutes de trajet avec l'aller-retour). Nous avons obtenu ce tableau de données (les débits sont en L/s) :

Tableau 1 : Débits de l'Urbanya au fil du temps, BONETZKY, 2022

Station	Distance (km)	06-juil	12-juil	22-juil	27-juil	03-août	09-août	24-août	31-août
Urbanya Village	0		9		8		8	9	
Urbanya Exutoire	4.9	18		15	11	14	13	11	13

La case non remplie le 12 juillet à l'exutoire est due à un problème de matériel. Il faut noter que ce cours d'eau est maintenu grâce à un canal ancien venant du Rec de Toreilles. Il soustrait donc du débit à la rivière de Nohèdes (le Caillan amont), mais le retrouve en partie plus tard à l'exutoire au niveau de Conat. Les débits de l'Urbanya baissent tout au long de l'été, plus particulièrement à l'exutoire, et plus fortement en juillet. A partir du mois d'août le débit reste plutôt stable et ne subit pas la baisse générale. Sans le canal qui le soutient, il serait à sec d'après le maire du village Jean Servat.

4.1.6. Analyse et conclusion courbe des débits

Ce que nous comprenons à travers les éléments précédents se décline en deux grandes conclusions.

Tout d'abord une baisse continue durant tout l'été, notamment en juillet où le niveau descendait rapidement, perdant 25% du débit dans le mois environ. Il y a une étape critique entre notre premier passage d'observation le 6 juillet et notre second passage le 12, où le débit s'est divisé par 2 voire 3 sur la rivière et notamment à l'exutoire (peut-être qu'avant le 6 juillet les canaux fonctionnaient différemment mais nous n'étions pas en contact avec eux). Cela se retrouve au niveau de la hauteur d'eau comme on le voit figure 18 ci-dessous, qui montre la hauteur que nous avons tracée lors de notre premier passage par rapport à maintenant.



Figure 19 : Comparaison des hauteurs d'eau entre le 6 juillet, le 12 juillet puis le 31 août, BONETZKY, 2022

On peut voir sur ces photographies la présence d'une trace d'eau au-dessus de notre niveau actuel, qui représente l'eau durant la nuit. La température descend sous les 20°C et permet de soulager la faune et la flore. C'est important car l'hydrologie du cours d'eau influe étroitement le fonctionnement de la biodiversité, et nous sommes ici dans un écosystème spécifique avec des réserves naturelles au sein d'un Parc Naturel Régional (donc lieu sensible de préservation de l'environnement).

Deuxièmement, cette rivière est complètement influencée par l'être humain et ce notamment à l'aval. On trouve quelques canaux à l'amont à Nohèdes mais les impacts sont négligeables à l'échelle du bassin versant. Ce que nous observons principalement c'est l'impact des canaux aval qui mettent l'exutoire sous tension. En effet, les trois canaux de Ria-Sirach dans les derniers kilomètres présentent les plus grosses variations de débit. Malgré les retours dans la rivière, une partie de l'eau se

soustrait. On parle notamment des canaux rives gauches qui forment un réseau, où le canal de Balajat prend environ 12 L/s et se jette dans le canal de Canoha à la fin, qui lui après avoir pris une grande partie du débit de la rivière va ensuite se jeter directement dans la Têt et non dans le Caillan. Nous en parlerons plus en détail en partie 4.3.3. Le déficit quantitatif est en effet confirmé à travers ces mesures, et il grandit le long de l'été. Sans les usages des canaux aval, on se rapprochait du débit minimum biologique de 95 L/s, mais toujours sans l'atteindre. Le débit naturel ne suffit pas (dans le cas de cet été 2022 d'ailleurs).

Nous avons donc une rivière soumise à un étiage fort, tel les bassins versants méditerranéens, ainsi qu'un exutoire sous pression avec une diversité de besoins influençant très fortement le cours d'eau.

4.2. Les facteurs naturels

Nous allons maintenant expliquer et lister les raisons influençant l'état de la rivière durant la période d'étiage, en commençant par les facteurs naturels.

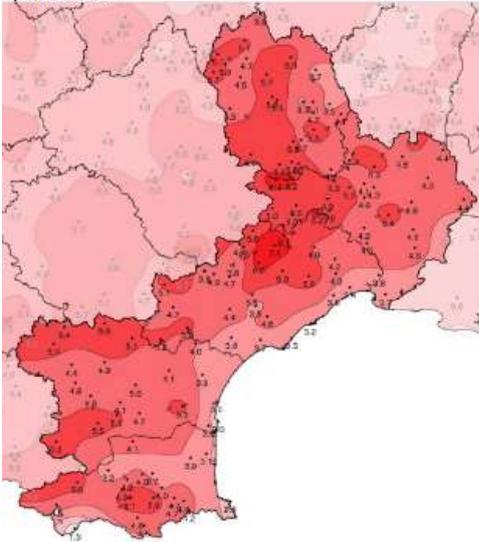
4.2.1. Le climat : températures et précipitations

météo France a comparé les températures obtenues par rapport aux températures normales. Ces dernières sont les moyennes des températures de chaque jour sur les 30 dernières années.

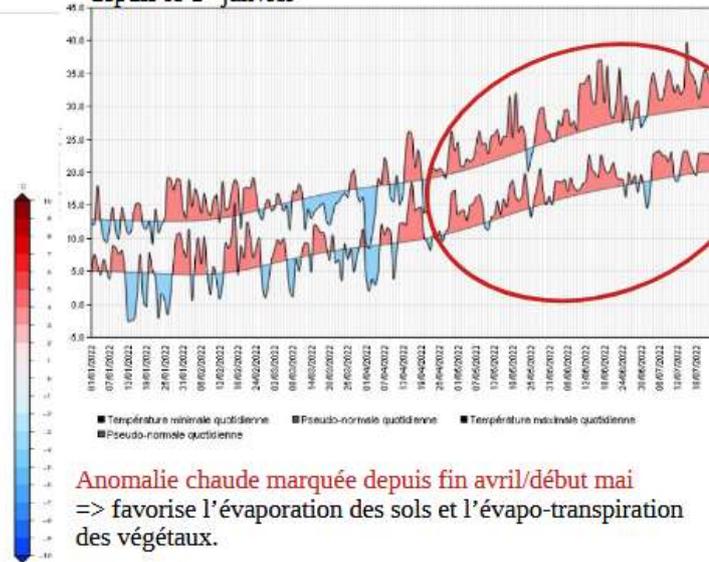
Anomalie de température maximale mensuelle : juillet

Anomalie partielle => normales 1991-2020

Anomalie de Température maximale mensuelle partielle :



Températures minimales et maximales Perpignan depuis le 1^{er} janvier



Anomalie chaude marquée depuis fin avril/début mai
=> favorise l'évaporation des sols et l'évapo-transpiration des végétaux.

Figure 20 : Mesure des anomalies de températures juillet 2022, Météo France 2022

Via les données de Météo France, on observe en juillet une anomalie positive de +4,1°C. Cette anomalie est marquée depuis fin avril/début mai, ce qui correspond à un processus sur plusieurs mois influant sur l'intensité de l'étiage. Les réserves sont mises à l'épreuve depuis déjà plusieurs mois. En août, l'anomalie positive est entre +3 et +4°C, ce qui reste très éprouvant pour l'écosystème. Comme indiqué c'est le premier rang depuis 1947.

Au niveau du stress hydrique et du cumul des précipitations, la situation est exceptionnelle aussi (figure 20 ci-dessous).

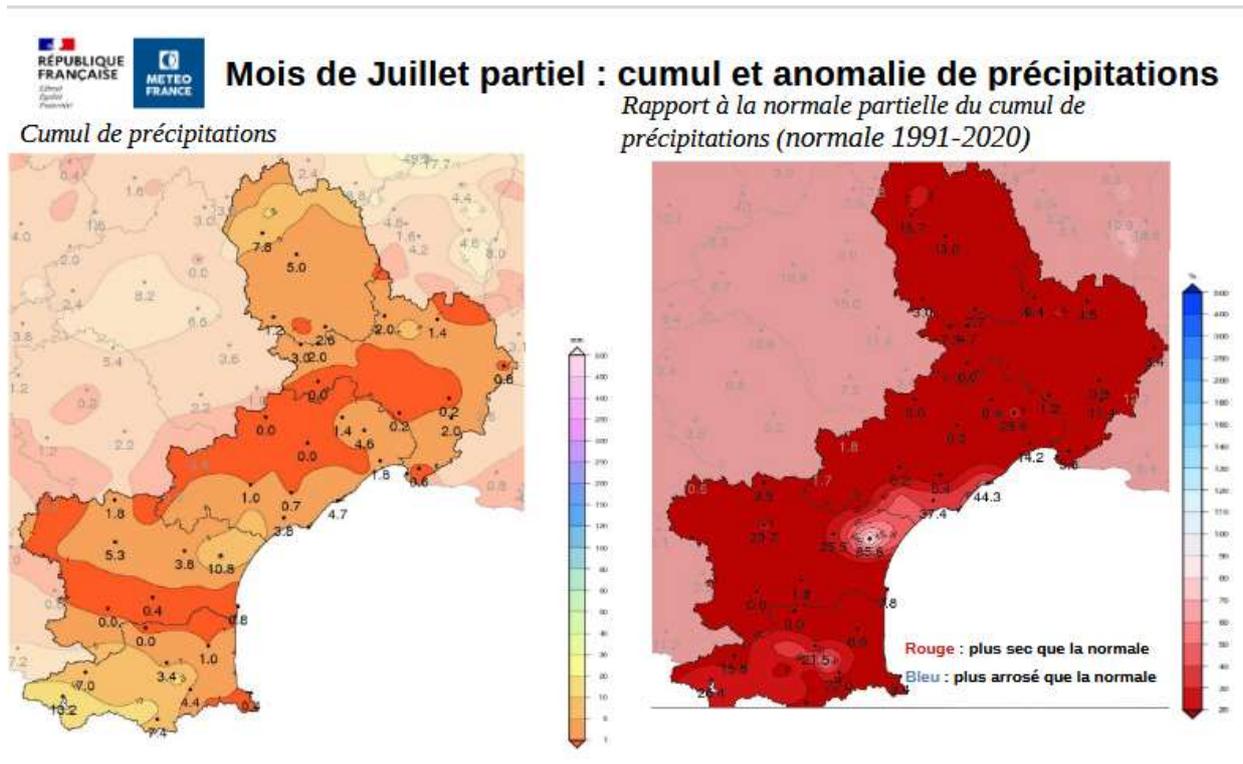


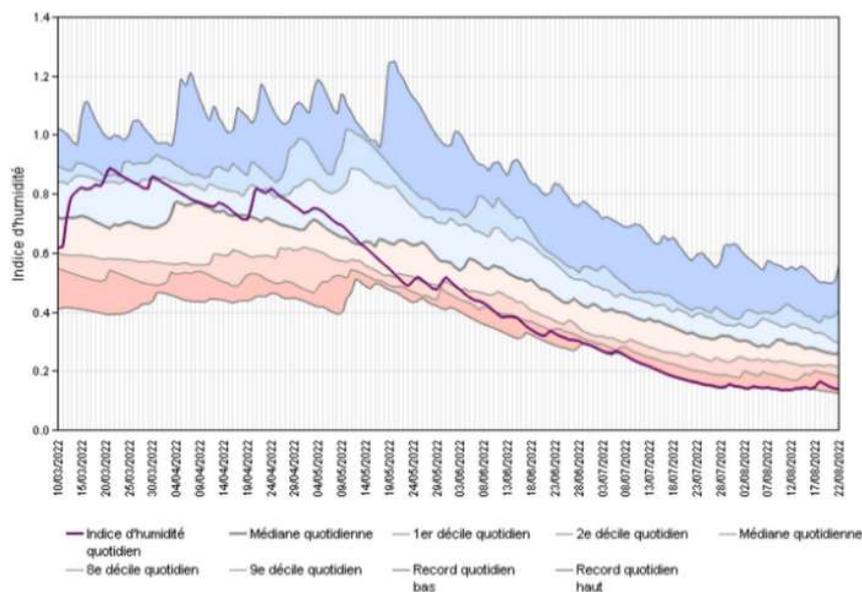
Figure 21 : Cumul et anomalie de précipitations pour juillet 2022, Météo France, 2022

Notre bassin versant se trouve dans une zone bien plus sèche que la normale. Comme nous l'avons dit auparavant il n'y a eu aucune pluie influente ce mois-ci, ne dépassant pas les 10 mm au total. D'après ce document, le stress hydrique est entre 95 et 100% sur notre vallée. En août on a eu plus de pluies, mais nous sommes toujours en situation de stress hydrique, et en déficit d'environ 27% par rapport aux précipitations normales.

Pour mieux se rendre compte à une plus grande échelle, cet été 2022 est une année record et ce notamment à Perpignan (51 km à l'Est de Conat) : le plus chaud et le plus sec depuis le début des mesures de 1925. Un total de 67 jours de fortes chaleurs est à compter (+ de 30°C). Pour comparaison, on en compte 62 en 2003.

Une des conséquences est le taux d'humidité des sols, qui résume cette combinaison d'éléments (figure 21) :

Suivi temporel de l'indice d'humidité des sols 1^{er} janvier au 23 août 2022 – Département PO



=> redescente rapide depuis fin avril. Mi juin l'indice se situe en dessous du 1^{er} décile (valeur atteinte 1 fois tous les 10 ans), il atteint le record bas début juillet.

=> **L'indice continue sa descente et se maintient au niveau record bas encore au 17 août avec 0,14 malgré les dernières pluies. Il remonte le 18 août à 0,16. Il est à 0,14 le 22 août, tangentant le record bas.**

Figure 22 : Suivi de l'indice d'humidité des sols été 2022 en PO, Météo France, 2022

Là aussi, nous sommes sur un record, qui est une conséquence directe du climat de cet été 2022.

4.2.2. Géomorphologie

Nous allons maintenant aborder la géomorphologie. Cette question s'est grandement posée car dès le départ via les recherches précédentes nous avons compris que le mont Coronat sur le versant Sud est en fait une zone perméable karstique, avec la faille de Mérens qui longe notre rivière (cf figure 22 & 23).

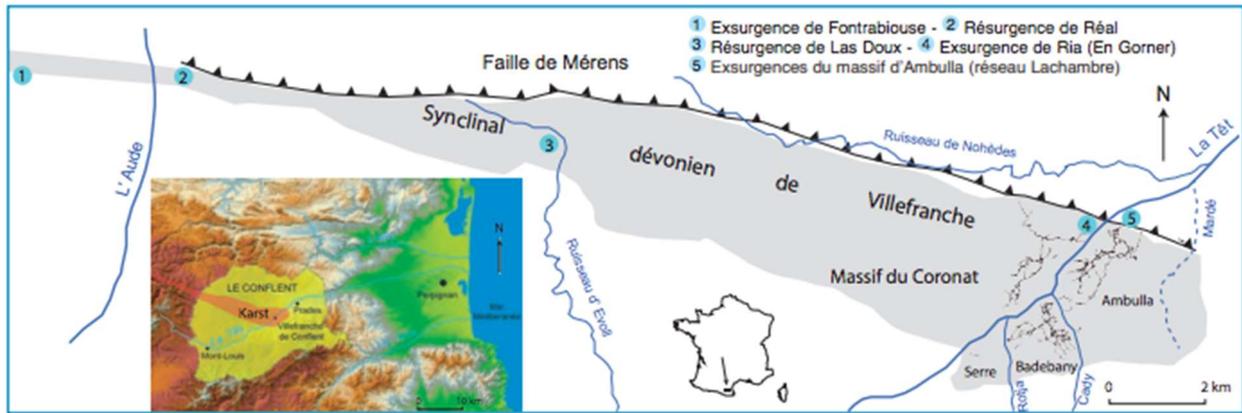


Figure 23 : Carte de la faille de Mérens par rapport au Caillan, Hez, 2015

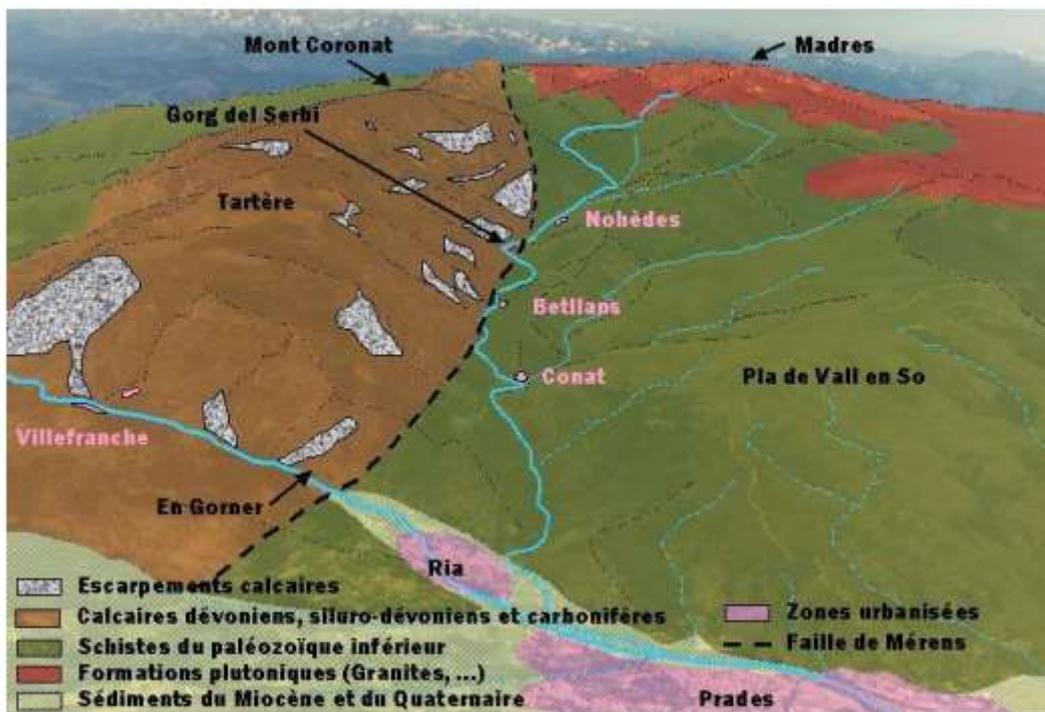


Figure 24 : Carte géologique simplifiée du bassin versant de Nohèdes-Conat, Ducroix, 2009

La réserve naturelle de Nohèdes a mis en place différentes études pour comprendre les interactions avec le Karst. D'après ces rapports, des pertes auraient été mises en évidence aux points de croisement avec la faille : entre Millada et Betllans puis entre Betllans et Conat. Cette perte aurait même été quantifiée à une valeur nominale de 20 L/s entre Millada et Betllans (Ducroix, 2009). Le fait est que nous voyons parfois une baisse, mais qui est non constante et beaucoup moins importante. Nous avons plusieurs hypothèses pour expliquer ceci :

- à d'importantes parcelles d'agriculture sur le trajet entre les deux stations, mais difficilement mesurable.
- On pourrait aussi compter sur le fait qu'au niveau de basses eaux, une rivière interagit moins avec le sol (Ducroix, 2009).
- On peut aussi penser à la tempête Gloria de 2020 qui a provoqué des éboulements et donc un peu redessiné le lit de la rivière.

Cependant, après avoir contacté un spéléologue connaissant parfaitement l'endroit, il nous affirme que c'est un « mythe » et qu'il n'y a aucune interaction entre le cours d'eau et la zone karstique perméable. Ceci va totalement à l'encontre des études de la RN Nohèdes, mais correspond à ce que nous pouvons observer. Nous n'avons pas la capacité de mener une étude plus approfondie sur ce sujet. Il faudra mobiliser des compétences en hydromorphologie/hydrogéologie dans une prochaine étape pour répondre à ces questions. D'après le spéléologue, la zone karstique se trouverait plus bas sous terre et non pas au contact de la rivière.

En revanche, l'eau précipitée et écoulee sur le mont Coronat (Sud, rive droite) s'infiltrerait majoritairement dans le karst (Chaubet, 2014). Cette quantité infiltrée a été estimée en faisant la différence entre la pluie brute calculée et l'évapotranspiration réelle (ETR Thornthwaite). Il n'y a pas d'écoulement de surface jusqu'à la rivière sur ce versant, sauf en cas d'importantes précipitations ce qui n'est pas le cas ici. Le karst est beaucoup plus important sur la Têt à travers un réseau de rivières souterraines, notamment la rivière d'En Gornier. De nombreuses études ont été menées, notamment par le BRGM, et de nouvelles études vont être faites par le SMTBV notamment, en lien avec les RN et la fédération des canaux du confluent.

4.2.3. L'occupation naturelle du sol

Nous avons vu auparavant que durant l'étiage, la typologie de végétation influe sur les débits. Dans l'article de Smakhtin (2001), on apprend que l'afforestation peut être une des causes de baisse du débit, avec des besoins augmentant.

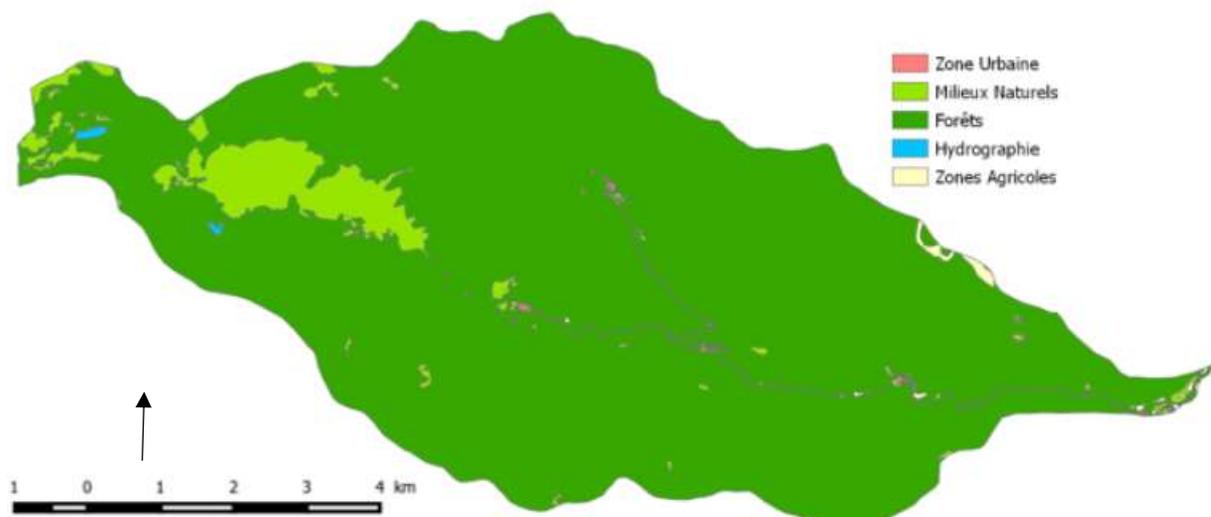


Figure 25 : Carte de l'occupation du sol du bassin versant du Caillan, BONETZKY, 2022

Dans la figure 24, nous observons une majorité de zone naturelle, la vallée étant très escarpée et peu accessible. Il y a 90% de forêt au sol et donc forcément des besoins. Cette majorité de forêt est naturelle et ne vient pas d'une afforestation déséquilibrant la vallée et ses besoins. Dans le futur, un déséquilibre pourra apparaître, confirmé par plusieurs études de la RN Nohèdes, notamment celle de 2019 (Cuxac) sur les changements climatiques en fonction des scénarios du GIEC. Les forêts ont visuellement l'air en bonne santé et non pas asséchées. Elles constituent la majorité du paysage (figure 25). La strate herbacée a beaucoup plus souffert.



Figure 26 : Vues depuis Nohèdes (Gauche) et Conat (droite), BONETZKY, 2022

Quand on se rapproche de l'exutoire, à Ria-Sirach, la végétation est déjà beaucoup plus sèche. C'est la conséquence du gradient thermique adiabatique mais aussi du gradient pluviométrique dû à la topographie de la vallée. Elle semble séparée en deux lorsqu'on arrive à Ria : on passe d'un paysage de verdure à un paysage tr

4.3. Les facteurs anthropiques

Dans cette partie, nous allons étudier les facteurs humains influençant le cours d'eau, entre actions concrètes et les politiques de gestion.

4.3.1. La microcentrale électrique de Nohèdes

Une usine hydroélectrique datant de 1975 est installée dans la réserve de Nohèdes. Une déviation de la rivière est effectuée en hauteur : l'eau est jusqu'alors stockée dans l'Estany del Clot puis envoyée jusqu'à la microcentrale.

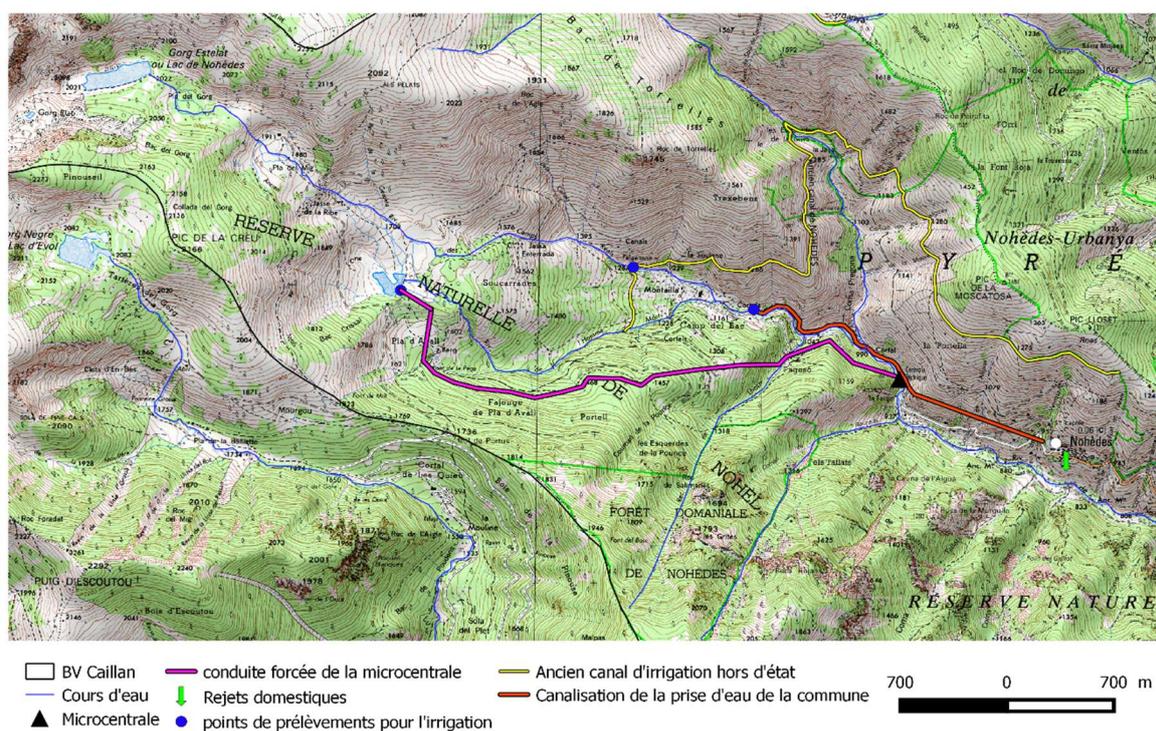


Figure 27 : Conduite forcée de la microcentrale, De Bentzmann, 2020

Celle-ci n'a pas le droit de turbiner entre le 15 juillet et le 15 septembre, devant laisser un droit d'eau à la rivière de 50 L/s. Il est particulièrement rare d'atteindre cette valeur, si ce n'est impossible, en période d'étiage. Actuellement il y a un contentieux qui l'oppose à l'Etat autour du droit d'eau. Durant notre étude aucune eau n'a été turbinée, mais de l'eau a quand même été envoyée à l'étang du Clot via le répartiteur laissant moins d'eau directement dans la rivière. Cet étang est également un enjeu touristique mais aussi un lieu apprécié par les pêcheurs, qui parfois modifient la configuration du répartiteur pour envoyer plus d'eau à la retenue et aider au maintien des poissons (truites).

4.3.2. Des canaux mettant l'exutoire sous pression

Nous avons évoqué auparavant l'existence des trois grands canaux à Ria-Sirach. De l'amont à l'aval il y a le Rec Comou, le canal de Balajat et le Canal de Canoha. Ils sont tous les trois gérés par des entités différentes, dans l'ordre : la mairie de Ria-Sirach, l'ASA Balajat et l'ASA Prades Branche Ancienne. C'est une des

raisons qui nous pousse à créer une concertation entre les acteurs. Tous ces canaux ont leur prise d'eau directement sur le Caillan, avec des seuils et vannes pour gérer l'entrée. Des vannes de décharges sont présentes le long de ces canaux pour la gestion.

Tableau 2 : Tableau des débits du Rec Comou en L/s durant l'été 2022, BONETZKY, 2022

	12-juil	22-juil	27-juil	03-août	09-août	24-août	31-août
Canal Rec Comou	18	18	39	32	5	29	28
%age du cours d'eau	28.1	31.0	81.3	74.4	11.1	80.6	68.3

On observe que le canal a beaucoup varié durant l'été pour répondre aux besoins. Dès ce premier canal la quantité d'eau de la rivière est fortement réduite avec une moyenne à 60,1% qui part au canal Le canal Balajat qui le suit de peu est resté majoritairement à 12 L/s durant l'été, laissant la rivière avec un débit très bas. Ces deux canaux finissent hors du Caillan et donc soustraient ces quantités au cours d'eau de manière définitive.



Figure 28 : prise d'eau du canal Rec Comou (gauche) et du Balajat (droite), BONETZKY, 2022

Comme décrit sur la courbe, on a l'apport au canal En Çaça venant de la Têt qui se trouve à l'aval de ces canaux et permet un gain d'environ 20 L/s de manière constante. Sans cet apport la rivière pourrait se retrouver à sec ? . .

On arrive ensuite sur le canal de Canoha, 1 km avant l'exutoire, qui est le plus important prélèvement (voir courbe figure 14).

Tableau 3 : Tableau des débits de Canoha en L/s durant l'été 2022, BONETZKY, 2022

	12-juil	22-juil	27-juil	03-août	09-août	24-août	31-août
Canal Canoha	38	52	40	34	68	33	40
%age du cours d'eau	64.4	83.9	81.6	63.0	87.2	76.7	81.6

Le canal laisse peu au cours d'eau naturel. On a en moyenne 76,9% du cours d'eau qui part dans le canal. Etant donné que ce canal finit dans la Têt, c'est une soustraction pour le débit à l'exutoire du Caillan. Cependant, on retrouve un nombre significatif de retour à la rivière tout le long (figure 28).

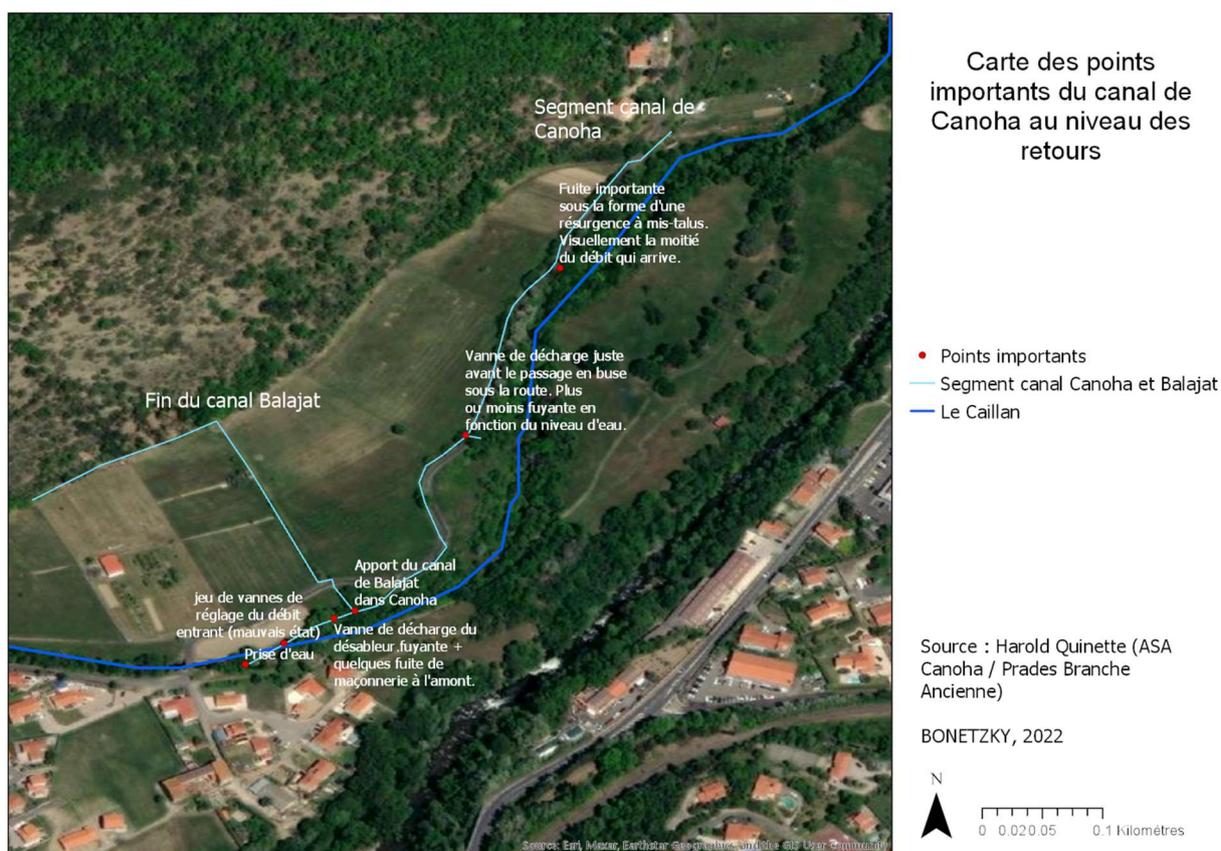


Figure 29 : Carte des points importants du canal de Canoha, BONETZKY, 2022

Nos mesures de débit dans le canal se positionnent juste derrière le jeu de vannes, second point en partant de la gauche, au niveau de l'échelle limnimétrique.

A l'aide de ces données on se rend compte de la tension planant sur la fin de ce cours d'eau, qui a pour débit minimum biologique 95 L/s mais qui n'y parvient jamais durant l'été.

4.3.3. La politique des canaux

Au début de l'été 2022, la fédération des canaux du Conflent a été créée afin de rassembler les différents gestionnaires de canaux de la région du Conflent. Les gestionnaires des canaux concernant le Caillan en font partis. Cette fédération permet de mettre en commun la gestion des canaux et d'être force de proposition dans les instances de gestion de l'eau (comité sécheresse, barrage, PGRE). Ce type de rassemblement est une opportunité pour répondre aux besoins de concertations et de dialogue entre les acteurs.

Cet été a par ailleurs été marqué par un arrêté préfectoral à propos de la sécheresse, obligeant les canaux d'irrigation à baisser leurs prélèvements de 25%, ou à la mise en place de tours d'eau pour diviser l'eau entre eux. C'est la première fois que l'état d'alerte est décrété sur le bassin versant de la Têt, pourtant soutenu par deux barrages. Les affluents eux ont beaucoup souffert et c'est aussi pourquoi cet arrêté a été mis en place. Cette sécheresse, décennale aujourd'hui, risque d'arriver plus souvent dans le futur avec les changements environnementaux. Les acteurs l'ont compris et s'organisent pour anticiper la suite à travers une stratégie de gestion de la ressource concertée et optimisée.

4.4. Les tensions, conséquences de l'étiage

4.4.1. Le partage de la ressource en eau pour les usagers

Etant dans une année particulièrement compliquée où des arrêtés préfectoraux sont mis en place, nous pouvons voir les conséquences des limitations. Il est important de jouer sur la solidarité des acteurs locaux car la ressource se raréfie, et surtout autour de cet exutoire. Il requiert une communication entre les canaux pour le futur.

La question de la pêche et de la santé des poissons (truites) est aussi un enjeu, plus particulièrement à l'étang du Clot en haut. Avant il était possible d'en

pêcher plus bas mais c'est de moins en moins possible aujourd'hui avec les hauteurs d'eau.

4.4.2. La question de la biodiversité

La biodiversité est évidemment touchée par la baisse du débit, que ce soit la faune ou la flore. Toutes les infrastructures (ici la microcentrale électrique) de la région sont soumises à des débits réservés, obligatoirement respectés et pour répondre aux enjeux de conservation des écosystèmes. L'état de la ripisylve est un indicateur intéressant pour essayer de mesurer l'impact de l'étiage. Celle-ci est importante car joue un rôle écologique important : elle constitue des habitats naturels pour toute une faune, mais aussi des corridors écologiques améliorant la connectivité des paysages (Gregory S & Al., 1991). Il faut y faire attention et l'entretenir pour avoir un bon état. Dans le cas de notre vallée, elle a souffert et ce notamment à l'aval. Certaines plantes sont mortes et quelques plantes fines sont apparues, indicateurs d'un été compliqué.

4.5. Les changements climatiques futurs

De grandes réflexions se mettent en places autour de ces questions. Cette étude est née d'un besoin d'anticipation et d'adaptation à ces changements, avec un manque d'eau déjà présent et quantifiable. A une échelle globale c'est évidemment une problématique très contemporaine, avec les rapports du GIEC qui mènent la danse et des pays qui essaient – ou pas – de s'adapter. A l'échelle même du bassin versant de la Têt, le SMTBV est dans la conception d'un grand projet se nommant « Eaurizon 2070 », qui a pour but l'anticipation des 50 prochaines années. Les bassins versants méditerranéens étant particulièrement menacés.

Le rapport de la RN Nohèdes par Cuxac (2019) possède une partie portant sur la modélisation des écoulements futurs. Après avoir effectué le bilan hydrique de l'année, le principe est de modifier les paramètres de calculs avec les augmentations

de températures des scénarios du GIEC (RCP 4.5 / 6.0 / 8.5). Les calculs sont aussi liés aux prévisions de modifications des précipitations en utilisant 3 configurations : +10%, -10% et pas de changements.

Tableau 4: Scénario futurs potentiels à propos la quantité d'eau dans le Caillan, Cuxac, 2019

		Précipitations +10 %	0	-10%
		+1,5°C	+3°C	+5°C
Eau écoulée	Clot	+10%	-6% à -10%	-24 à -31%
	Torrelles	+10%	-13% à -19%	-36 à -47%
	Millada	+10% à +11%	-12% à -17%	-35 à -45%
	Betllans	+11% à +13%	-13% à -22%	-39 à -57%
	Conat	+11% à +13%	-14% à -21%	-40 à -55%

Ces calculs ne descendent pas jusqu'à l'aval où il fait encore plus chaud la pluviométrie est moindre où les résultats pourraient être pire. On voit que la majorité des résultats sont négatifs voire très négatifs, ce qui oblige à une réflexion quant au futur de ces vallées.

Il faut aussi prendre en compte la question du stockage de neige, qui commence à environ 2000m d'altitude. Connaissant le gradient adiabatique thermique des 0,6°C par 100m, et avec l'augmentation de la température générale, il y a un scénario où la neige ne pourrait même plus exister sur le bassin versant. Le sommet du massif de Madres, source de nombreux cours d'eau, culmine à 2469m. Sans la neige, il n'y aura pas les crues de printemps liées à la fonte et cela engendrera des difficultés pour ce bassin versant mais aussi pour la Têt, fleuve qui a besoin de remplir ses barrages mais aussi de répondre aux besoins écosystémiques.

5. Conclusion

Nous avons vu à travers cette étude les différents éléments influant sur le niveau du cours d'eau afin de mieux comprendre son fonctionnement. C'est une étape dans le processus vers une gestion de la ressource en eau plus optimisée dans une vallée en tension à ce sujet. C'est un cas assez généralisée à l'échelle du bassin versant sur les affluents, bien qu'avec des intensités différentes. *El Callau*

n'est pas la plus aisée à étudier de par son contexte topographique et ses spécificités géologiques, néanmoins c'est un bon exemple de vallée méditerranéenne de montagne. Les deux réserves naturelles présentes sur le bassin permettent une compréhension plus poussée de ce qu'il s'y passe. Visuellement c'est un paysage très beau qu'il faut conserver.

5.1. Les limites

Cette étude possède plusieurs limites et axes d'amélioration :

- Tout d'abord, le haut de la vallée à partir de Nohèdes gagnerait à avoir plus de données, mais t difficilement accessible tant bien que pour l'accès au cours d'eau que pour nous opérateurs qui faisons des déplacements longs.
- De plus, la question de la qualité de l'eau n'est pas abordée. Avec la chaleur et les bas débits des algues apparaissent et se propagent, pouvant présenter des risques. L'assainissement aussi où les eaux usées finissent dans la rivière. A ce sujet des centrales d'épurations après chaque villages de la vallée sont prévues.
- La géologie et ses interactions avec le cours d'eau est une question primordiale. Il y a des voix qui se contredisent sur le secteur comme on l'a vu, et il faudrait en avoir le cœur net. important sur le Caillan comme sur le fleuve de la Têt, où des pertes sont mesurées. Des études ont déjà été faites mais il reste des flous, que nous n'avons pas pu résoudre dans celle-ci.

5.2. L'objectif final

Notre objectif final et la suite de mon travail consiste à créer un plan de gestion de la ressource en eau à la suite de cette étude. Le but était de comprendre les enjeux entourant cette vallée et d'en créer une liste la plus exhaustive possible. C'est une étape dans la compréhension de la vallée, qui complète un travail de 2020

possédant des valeurs extrêmes hautes, tandis qu'ici nous avons des valeurs extrêmes basses. Les données générées servent et sont transmises via des bulletins hydro (annexe 2) publiées chaque mois durant tout l'été.

Ce plan de gestion de la ressource en eau est divisé en quatre parties différentes :

- A) améliorer et valoriser les connaissances sur les ressources et les usages
- B) mettre en place une gestion économe de la ressource en eau superficielle
- C) organiser la gestion concertée et le partage de la ressource en eau
- D) prévoir et anticiper pour assurer une préservation durable de la ressource pour satisfaire les usages.

Toutes les fiches-actions par axe se trouvent dans le document « fiche actions Caillan ». Ci-dessous, un tableau avec une première action à réaliser par axe :

AXE :	Action	Pourquoi
A	Implantation d'une nouvelle station de mesure	Besoin d'avoir des données en continue à l'aval du cours d'eau, pour une meilleur gestion et notamment au milieux des canaux aval.
B	Réparer les fuites des canaux	Besoin d'efficiance pour les canaux, histoire d'en laisser plus à la rivière de base.
C	Organiser des tours d'eau	Afin de ne pas être pris de court, il faut anticiper le partage de l'eau en temps de crise dans le cadre de futures mesures restrictives.
D	Compléter les études d'impact des futurs changements climatiques	Toute la gestion d'étiage pour le futur doit se baser la dessus. Avoir des idées concrètes de la quantité d'eau dans le futur permettrait une meilleure anticipation.

Bibliographie

ARNELL N.W. (1999) - Climate change and global water resources. *Global Environmental Changes*, vol. 9, supplément 1, p. 531-549. DOI : [10.1016/S0959-3780\(99\)00017-5](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(99)00017-5)

Ball, C. 2016. Contribution à l'établissement du bilan hydrique du bassin versant de la vallée de Nohèdes. Rapport final École Polytechnique Universitaire de Montpellier, 29p.

Chaubet, A. 2014. Contribution à l'établissement du bilan hydrique du bassin versant de la vallée de Conat et de Nohèdes. Rapport final École Polytechnique Universitaire de Montpellier, 63p.

Clausen, B., Pearson, C.P., 1995. Regional frequency analysis of annual maximum streamflow drought. *J. Hydrol.* 173, 111–130.

Clotaire Catalogne. Amélioration des méthodes de prédétermination des débits de référence d'étiage en sites peu ou pas jaugés. Hydrologie. Université de Grenoble, 2012. Français. ffNNT : 2012GRENU030ff. fftel-01547922f

Cuxac, Nicolas, 2019. Contributions à l'établissement du bilan hydrologique du bassin versant de Nohèdes. Rapport final École Polytechnique Universitaire de Montpellier, 45 p.

Dacharry, M., 1996. Dictionnaire français d'hydrologie.

DATRY T., LARNED S.T. et TOCKNER K. (2014) - Intermittent rivers: a challenge for freshwater ecology. *BioScience*, vol. 64, n° 3, p. 229-235. DOI : 10.1093/biosci/bit027

De Bentzmann, Grégoire. « Rapport Caillan 2020 ».

Ducroix, P. 2009. Caractérisation des échanges hydriques entre le karst du mont Coronat et la rivière de Nohèdes. Rapport final École Polytechnique Universitaire de Montpellier, 40 p.

Lisa Ernoul, Camille Roumieux et Alain Sandoz, « [Perception et adaptation au changement climatique dans les deltas méditerranéens](#) », *Géoconfluences*, janvier 2020

G. K. Felton & J. C. Currens , Peak flow rate and recession-curve characteristics of a karst spring in the Inner Bluegrass, central Kentucky:, *Journal of Hydrology*, 162(1–2), 1994, pp 99–118

Garcia Florine. Amélioration d'une modélisation hydrologique régionalisée pour estimer les statistiques d'étiage. Hydrologie. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 2016. Français. ffNNT : 2016PA066653ff. fftel-01624530f

Alain Godard & Martine Tabeaud, 1998, Les Climats - Mécanismes Et Répartition, Collection: Cursus. Géographie, <https://books.openedition.org/irdeditions/9798?lang=fr>

Gregory, S. V., F. J. Swanson, W. A. McKee, and K. W. Cummins (1991) An ecosystem perspective of riparian zones. *BioScience* 41:540–551.

Christine Grillot. Fonctionnement hydrologique et dynamique des nutriments d'une rivière intermittente méditerranéenne en étiage et en crues. Analyse spatiale et temporelle. Hydrologie. Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc, 2006. Français. tel-00142396

Lang Delus Claire, « Sévérité des étiages et indigence des précipitations : une relation évidente mais rarement simple - Exemple en régime pluvial océanique », *Revue Géographique de l'Est* [En ligne], vol. 51 / 3-4 | 2011, mis en ligne le 28 août 2012 URL : <http://journals.openedition.org/rge/3455>

Le Guenanff, M. 2013. Contribution à l'établissement du bilan hydrique du bassin versant de Nohèdes. Rapport final École Polytechnique Universitaire de Montpellier, 52 p.

Pierre Marmonier, Marie-José Dole-Olivier, Michel Creuzé des Châtelliers, Hervé Chapuis, Jordan Re-Bahuaud, Anne Johannet et Laurent Cadilhac, « Contribution des zones d'échanges entre eau de surface et eau souterraine à la biodiversité des hydrosystèmes : exemple d'une rivière méditerranéenne, la Cèze », *Physio-Géo* [En ligne], Volume 13 | 2019, mis en ligne le 15 juin 2019, consulté le 23 août 2022. URL : <http://journals.openedition.org/physio-geo/7718> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/physio-geo.7718>

J. Mouy, LES METHODES D'ANALYSE ET DE PREVISION DES BAS DEBITS ASPECTS ECONOMIQUES ET TECHNIQUES

Milano, Marianne, 2009. Les Changements Climatiques en Méditerranée et les Impacts prévisibles sur les Ressources en Eau.

Serviere, M. 2010. Fonctionnement du réseau hydrique de Nohèdes : élaboration d'un protocole de suivi hydrologique de la rivière de Nohèdes. Rapport final École Polytechnique Universitaire de Montpellier, 88 p

Raji Pushpalatha, Charles Perrin, Nicolas Le Moine, Thibault Mathevet, Vazken Andréassian, A downward structural sensitivity analysis of hydrological models to improve low-flow simulation, *Journal of Hydrology*, Volume 411, Issues 1–2, 2011, Pages 66-76, ISSN 0022-1694, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.09.034>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169411006846>)

Rio, M. 2015. Contribution à l'établissement du bilan hydrique du bassin versant de la vallée de Conat et de Nohèdes. Rapport final École Polytechnique Universitaire de Montpellier, 50p.

Roche, M., 1986. Dictionnaire français d'hydrologie de surface avec équivalents en anglais, espagnol, allemand.

Rocheteau, D. 2017. *Contribution à l'établissement du bilan hydrique du bassin versant de la vallée de Nohèdes et de Conat. Rapport final École Polytechnique Universitaire de Montpellier*, 42p.

Smakhtin V.U (2001), Low flow hydrology: a review, *Journal of Hydrology*, Volume 240, Issues 3–4, , Pages 147-186, ISSN 0022-1694, [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00340-1](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00340-1)

TASSIN, Claude. *Chapitre 7. Les caractères originaux des climats montagnards* In : *Paysages végétaux du domaine méditerranéen : Bassin méditerranéen, Californie, Chili central, Afrique du Sud, Australie méridionale* [en ligne]. Marseille : IRD Éditions, 2012 (généré le 23 août 2022). Disponible sur Internet : <<http://books.openedition.org/irdeditions/9798>>. ISBN : 9782709922890. DOI : <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.9798>.

Vieillard-Coffre, S. (2001). Gestion de l'eau et bassin versant: De l'évidente simplicité d'un découpage naturel à sa complexe mise en pratique. *Hérodote*, 102, 139-156. <https://doi.org/10.3917/her.102.0139>

Viers Georges, 1990, *Éléments de climatologie*, Paris : Nathan, Collection Fac. Géographie

Geoconfluence : Article sur le climat méditerranéen <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/climat-mediterraneen>

Statistique Canada, « Anomalie de température » Gouvernement du Canada. https://www23.statcan.gc.ca/imdb/p3Var_f.pl?Function=DEC&Id=251032

ANNEXE

Annexe 1 : tableau des valeurs de hauteur courantomètres

Jaugeage 20% - 40% - 80%					5	6	7	8	9
					2	2	3	3	4
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
2	2	2	3	3	3	3	3	4	4
					6	6	7	7	8
8	9	10	10	11	12	13	14	14	15
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
4	4	4	5	5	5	6	6	6	6
8	8	9	9	10	10	10	11	11	12
16	17	18	18	19	20	21	22	22	23
30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
6	6	6	7	7	7	7	7	8	8
12	12	13	13	14	14	14	15	15	16
24	25	26	26	27	28	29	30	30	31
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
8	8	8	9	9	9	9	9	10	10
16	16	17	17	18	18	18	19	19	20
32	33	34	34	35	36	37	38	38	39
50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
10	10	10	11	11	11	11	11	12	12
20	20	21	21	22	22	22	23	23	24
40	41	42	42	43	44	45	46	46	47
60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
12	12	12	13	13	13	13	13	14	14
24	24	25	25	26	26	26	27	27	28
48	49	50	50	51	52	53	54	54	55
70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
14	14	14	15	15	15	15	15	16	16
28	28	29	29	30	30	30	31	31	32
56	57	58	58	59	60	61	62	62	63
80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
16	16	16	17	17	17	17	17	18	18
32	32	33	33	34	34	34	35	35	36
64	65	66	66	67	68	69	70	70	71
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
18	18	18	19	19	19	19	19	20	20
36	36	37	37	38	38	38	39	39	40
72	73	74	74	75	76	77	78	78	79

Annexe 2 : Bulletin hydro juillet 2022 Caillan



Le Syndicat de la Têt effectue cet été un suivi du cours d'eau du Caillan, sur l'ensemble de son bassin versant. Plusieurs points de mesure ont été situés le long du cours d'eau pour suivre son déroulement. L'Urbanya, affluent principal, reçoit aussi des mesures.

Point météo sur le mois de juillet : (au 28/07)

(valeur à Mosset, contexte similaire et seules données disponibles, via meteociel)



⇒ Ce qu'il y a à retenir :

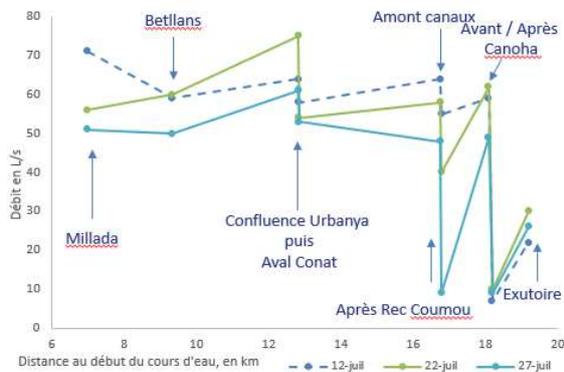
- Un maximum atteint le **vendredi 15**, avec **34,8 °C**
- **13 jours de fortes chaleurs** (Tmax > 30 °C)
- **Moyenne des max du mois à 29,2 °C** : mois très chaud, évaporation forte
- En moyenne **+5 °C d'écart avec les températures normales max** (moyenne des températures sur les 30 dernières années)

Pour les précipitations :

- **8 mm sur tout le mois** : cours d'eau non influencé, aucune recharge
⇒ **Situation de stress hydrique fort**
- En 2020 : 68 mm sur le mois, en 2021 : 17 mm
⇒ **Pluviométrie extrêmement basse cette année**

Les campagnes de jaugeage :

- **10 points de mesures** :
 - 2 sur l'Urbanya
 - 2 en canal (Rec Coumou & Canoha)
 - 6 Sur le Caillan
- Pas de mesures manuelles à l'amont (raisons pratiques), en attente de mesures par le réseau de stations de la réserve naturelle de Nohèdes, si disponible
- Pas de mesure sur le canal Balajat car l'eau n'y coule pas



Graphique montrant l'évolution du débit le long du Caillan, à partir de Millada

La campagne du 12 juillet (en pointillé) possède des mesures remises en cause, notamment à l'exutoire de l'Urbanya et à l'exutoire du Caillan où les valeurs sont faussées.

On constate que au fil du temps le cours d'eau suit une tendance à la baisse. La variation moyenne entre le 22 et le 27 juillet est de **-13% de débit**. Nous avons aussi une mesure unique lors d'un jaugeage le 6 juillet, où l'exutoire est à 64 L/s. A la fin du mois on le trouve à 26 L/s.

⇒ Il y a une baisse au fil du mois, notamment marqué par une canicule longue et aucune pluviométrie. Les niveaux sont en avance d'1 mois par rapport aux niveaux dit « normaux ». C'est le même cas de figure sur l'ensemble du département.

Stations	06-juil	12-juil	22-juil	27-juil
Urbanya Village		9		8
Urbanya Exutoire	18	5	15	11

Tableau montrant les mesures sur l'Urbanya
La donnée exutoire du 12 juillet en italique est fausse.

On constate que l'Urbanya suit une chute similaire, avec un débit en baisse. Il y a donc une influence sur le Caillan, où ils se croisent au niveau de Conat.

Repères photographiques

Nous avons mis des repères visibles à nos points de mesures pour voir l'évolution du niveau d'eau : ci-dessous la plus lisible (station aval de Conat).



On voit une baisse importante du niveau d'eau, qui correspond à la baisse des débits. On a -16 cm le 12 juillet, puis encore -5 cm le 27. On a une baisse ressemblante sur l'Urbanya, à une échelle plus petite.

Utilisation d'un courantomètre électromagnétique OTT et de la méthode validée par les services de la DREAL SPC

Syndicat mixte de la Têt bassin versant
3 rue Edmond Bartissol
66000 PERRIGNAN
T. 04 68 35 05 06
www.bassintet.fr