



**PROSPECTIV'EAU BEARN –
ÉTUDE PROSPECTIVE
SUR LA SECURISATION DE LA RESSOURCE
EN EAU POTABLE DU BEARN**

Rapport de Phase 1

Note spécifique sur l'étude rétrospective climatique et hydrologique

Version C – Janvier 2025

 	<p>BRL Ingénierie</p> <p>1105 Av Pierre Mendès-France BP 94001 30001 NIMES CEDEX 5</p>
	<p>HYDRAULIQUE ENVIRONNEMENT AQUITAINE Ingénieurs Conseils</p> <p>27 Avenue Marguerite de Navarre 64230 LESCAR</p>
	<p>CETRA Etudes et Maîtrise d'Œuvre</p> <p>12 rue de l'Artisanat 64 110 LAROIN</p>

Date du document	Janvier 2025
Contact	Raphaëlle PECCOUX

Titre du document	PROSPECTIV'EAU BEARN - Etude prospective sur la sécurisation de la ressource en eau potable du Béarn Rapport de Phase 1 - Note spécifique sur l'étude rétrospective climatique et hydrologique
Référence du document :	A01377_Bearn_Climat-Hydro_retrosp_C
Indice :	C

Date émission	Indice	Observation	Dressé par	Vérifié et validé par
22/10/2024	A	Première émission	CJO / MGI / RGU	RPE/LGI
05/12/2024	B	Corrections mineures	RPE	RPE/LGI
10/01/2024	C	Corrections mineures	RPE	RPE/LGI

PROSPECTIV'EAU BEARN - ÉTUDE PROSPECTIVE SUR LA SECURISATION DE LA RESSOURCE EN EAU POTABLE DU BEARN

*Rapport de Phase 1 - Note spécifique sur l'étude rétrospective climatique
et hydrologique*

1	ÉVOLUTION DU CLIMAT PASSÉ DU BÉARN.....	1
1.1	Le modèle d'analyse SAFRAN	1
1.2	Des températures à la hausse de manière généralisée à l'ensemble du territoire et des saisons	2
1.2.1	... pour les températures moyennes.....	2
1.2.2	...comme pour les températures extrêmes.....	5
1.3	Évolution de l'évapotranspiration potentielle (ETP).....	8
1.3.1	Modélisation de l'ETP de montagne sur le Béarn.....	8
1.3.2	Une tendance à l'augmentation du besoin d'évaporation et de transpiration sur l'ensemble du territoire.....	11
1.4	Evolutions des précipitations	14
1.4.1	Des précipitations qui ne dégagent pas de tendances significatives entre 1960 et aujourd'hui.....	14
1.4.2	Un enneigement de plus en plus rare en station	16
1.5	Un déficit hydrique qui augmente et des sols de plus en plus secs.....	18
1.6	Synthèse des évolutions climatiques sur le Béarn	20
2	ÉVOLUTION RÉTROSPECTIVE DES RESSOURCES EN EAU.....	21
2.1	Choix des données hydrométriques retenues pour l'analyse	21
2.2	Contrôle de la qualité des données hydrométriques	24
2.3	Caractéristiques des régimes hydrologiques	31
2.4	Évolution passée d'indicateurs de débits et de régime hydrologique	33
2.5	Évolution des assecs depuis la mise en place du réseau ONDE	40

TABLE DES ILLUSTRATIONS

◆ Liste des figures

Figure 1 : Température moyenne mensuelle sur la période 1960-2023 pour les deux zones climatiques du Béarn	3
Figure 2 : Tendances annuelles des températures moyennes en zone de plaine du Béarn	3
Figure 3 : Tendances annuelles des températures moyennes en zone de montagne du Béarn	4
Figure 4 : Evolutions des températures saisonnières dans les plaines du Béarn.....	4
Figure 5 : Evolutions des températures saisonnières dans les montagnes du Béarn	5
Figure 6 : Jours estivaux en zone de plaine et de montagne du Béarn	6
Figure 7 : Nombre de jours de forte chaleur en plaine dans le Béarn	6
Figure 8 : Nombre de jour de gel en plaine et en montagne dans le Béarn	7
Figure 9 : Cartes des postes pluviométriques disposant de données d'ETP sur la zone	8
Figure 10 : Relations linéaires entre les différentes stations chaque mois	9
Figure 11 : ETP moyenne mensuelle sur la période 1960-2023 pour les deux zones climatiques du Béarn	10
Figure 12 : Comparaison de l'ETP modélisée sur la zone de plaine du Béarn et la station 64549001	11
Figure 13 : Evolution de l'anomalie d'ETP annuelle dans le Béarn	12
Figure 14 : Evolution de l'anomalie d'ETP saisonnière dans le Béarn	12
Figure 15 : Evolution de l'ETP par décennie en zone de plaine et de montagne dans le Béarn	13
Figure 16 : Précipitations interannuelles en plaine et montagne dans le Béarn	14
Figure 17 : Evolutions des précipitations totales en plaine	15
Figure 18 : Anomalies de précipitations annuelles en Plaine et en Montagne	16
Figure 19 : Enneigement mensuel moyen interannuel 1991-2016 à la station de Laruns-Artouste	16
Figure 20 : Anomalie de neige annuelle et saisonnière à la station de Laruns-Artouste	17
Figure 21 : Illustration de la notion de bilan hydrique climatique	18
Figure 22 : Répartition interannuelle du déficit hydrique entre 1960 et 2023	18
Figure 23 : Evolution du déficit hydrique annuel entre 1960 et 2023 en zone plaine du Béarn	19
Figure 24 : Evolution du déficit hydrique annuel entre 1960 et 2023 en zone montagne du Béarn	19
Figure 25. Carte de localisation des stations hydrométriques sur la zone d'étude	22
Figure 26 : Chronogrammes des stations hydrométriques retenues dans le cadre de cette analyse hydrologique.....	23
Figure 27 : Représentation graphique du test de double-cumul des stations Oloron@Escos et Oloron@Oloron	24
Figure 28 : Hydrogrammes des débits moyens journaliers sur la période 1960 – 2023 pour les stations Oloron@Escos et Oloron@Oloron.....	25
Figure 29 : Hydrogramme de la station Azun@Arras	26
Figure 30 : Hydrogramme de la station Aspe@Escot	27
Figure 31. Représentation graphique du test de double-cumul des stations Oloron@Escos et Azun@Arras	27
Figure 32 : Hydrogramme de la station de Mauléon-Licharre sur le Saison.....	28
Figure 33 : Graphique Débit-Débit entre le Saison@Mauleon et le gave d'Oloron@Escos	28
Figure 34 : Représentation du test de double-cumul entre le Saison@Mauleon et le gave d'Oloron@Escos.....	29
Figure 35 : Hydrogrammes des débits moyens journaliers sur la période 1960 – 2016 pour les stations Pau@Artiquelouve et Pau@Berenx.....	29

Figure 36 : Hydrogrammes des débits moyens journaliers sur la période 2010-2012 pour les stations Oloron@Escos et Oloron@Oloron	30
Figure 37 : Relation linéaire entre les débits à Artiguelouve et ceux à Berenx (sur le Gave de Pau).	30
Figure 38 : Principales caractéristiques hydrologiques des six stations hydrométriques analysées dans le cadre de cette étude	32
Figure 39 : Évolution de quatre indicateurs hydrologiques entre une période historique et une période récente à la station Oloron sur le Gave d'Oloron.	34
Figure 40 : Régimes hydrologiques du gave d'Oloron à Oloron pour deux périodes (1961-1991 et 1992-2023)	35
Figure 41 : Évolution de quatre indicateurs hydrologiques entre une période historique et une période récente à la station Escos sur le gave d'Oloron.	35
Figure 42 : Régimes hydrologiques du Gave d'Oloron à Escos pour deux périodes (1961-1991 et 1992-2023)	36
Figure 43 : Évolution de quatre indicateurs hydrologiques entre une période historique et une période récente à la station Berenx sur le Gave de Pau.	37
Figure 44 : Régimes hydrologiques du gave de Pau à Berenx pour deux périodes (1961-1991 et 1992-2023)	37
Figure 45 : Évolution de quatre indicateurs hydrologiques entre une période historique et une période récente à la station Mauléon-Licharre sur le Saison.	38
Figure 46 : Régimes hydrologiques du Saison à Mauléon-Licharre pour deux périodes (1967-1989 et 1990-2011)	38
Figure 47 : Présentation de la situation hydrologique la plus défavorable archivée par le réseau ONDE pour les stations du Béarn, pour les années 2022 et 2024.	40
Figure 48 : Proportion par année des codes ONDE les plus défavorables sur le territoire du Pays du Béarn	41

◆ Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques des stations hydrométriques intégrées à l'analyse	23
Tableau 2 : Résumé des évolutions de quatre indicateurs hydrologiques sur la période historique (en rouge les évolutions statistiquement significatives)	39

1 Evolution du climat passé du Béarn

Les analyses climatiques nous ont permis de caractériser de manière précise les changements climatiques déjà observés sur le territoire et d'identifier les secteurs les plus impactés. Nous analyserons au long de ce chapitre les évolutions constatées au cours des dernières décennies sur la température, l'évapotranspiration potentielle et les précipitations (liquides, solides et totales).

1.1 Le modèle d'analyse SAFRAN

La description et l'identification de tendances d'évolution du climat dans le Béarn au cours des dernières décennies s'appuient sur l'analyse des données climatiques SAFRAN, produites par Météo France. Les données SAFRAN recouvrent la période allant du 01/08/1958 (date du début de disponibilité de ces données) au 24/01/2024. Celles-ci présentent une résolution temporelle journalière et une résolution spatiale de 8 km par 8 km.

D'après le Centre National de Recherches Météorologiques, le produit SAFRAN est un module d'analyse météorologique basé sur un modèle météorologique et climatique croisé avec de nombreuses sources d'observation (stations météorologiques, radars) qui sont interpolées. Le modèle SAFRAN dispose également d'un système de zonage, où chaque zone présente une certaine homogénéité spatiale des quantités analysées. Ce zonage permet un traitement différencié de la dimension verticale (profil atmosphérique) du modèle météorologique pour chaque zone et conditionne l'interpolation des données nivo-météorologiques. Des ajustements sont aussi réalisés en fonction de l'altitude.

Figure 1 : Données SAFRAN de température moyenne annuelle (période 1960-2023)

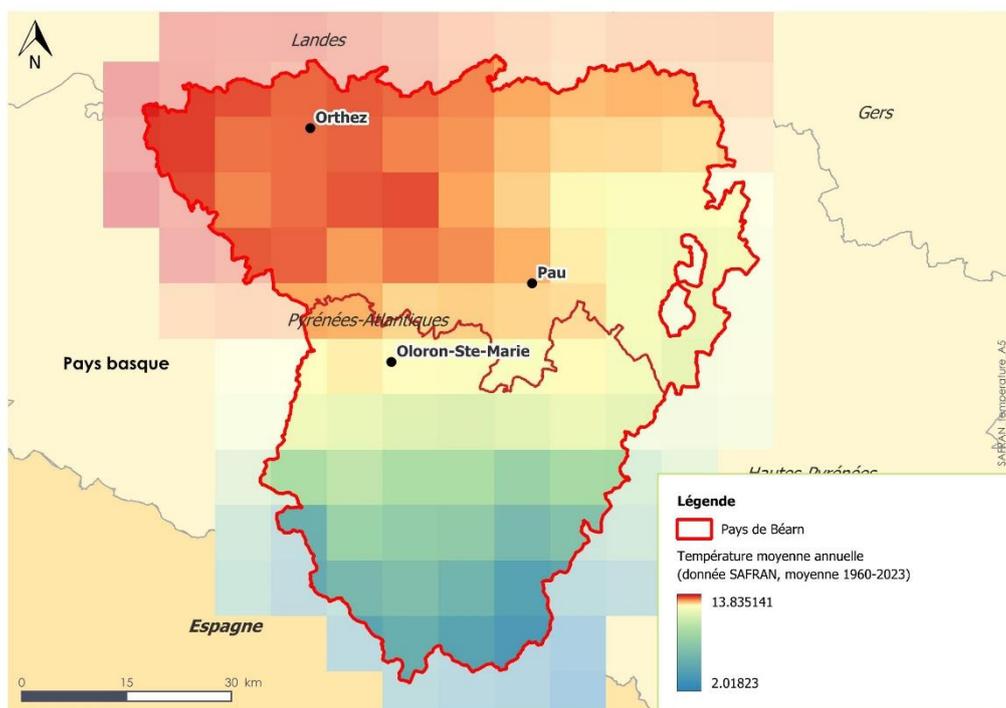
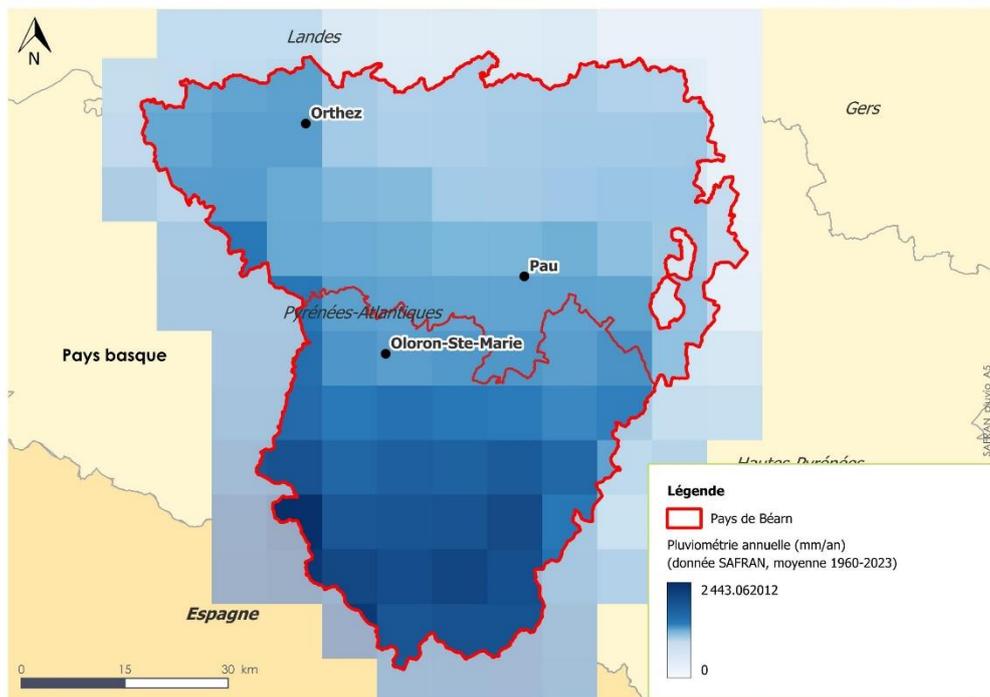


Figure 2 : Données SAFRAN de pluviométrie annuelle (période 1960-2023)



1.2 Des températures à la hausse de manière généralisée à l'ensemble du territoire et des saisons

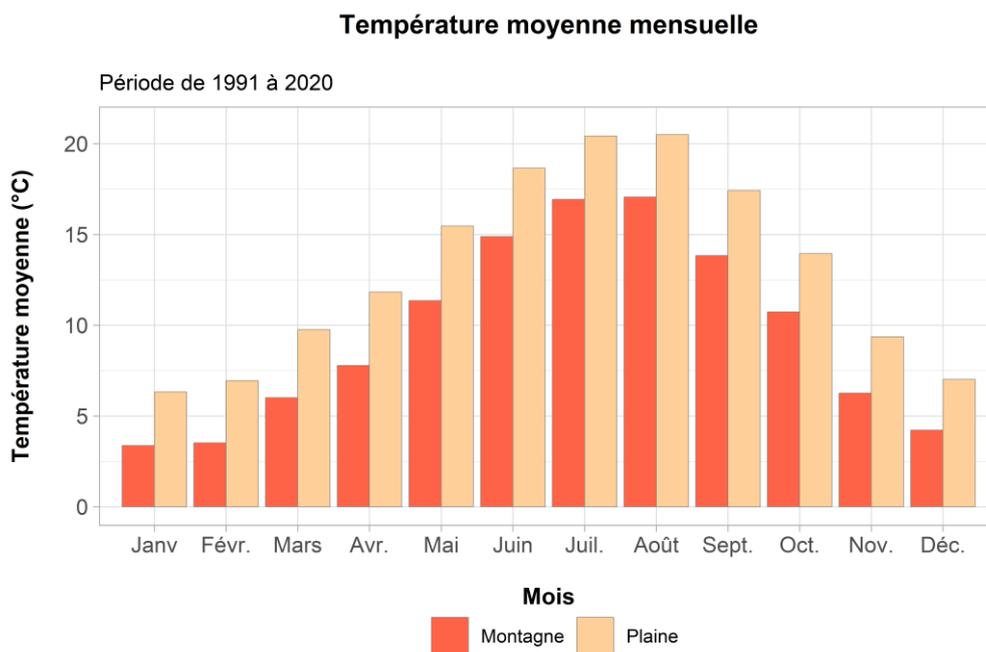
2

1.2.1 ... pour les températures moyennes...

Le territoire d'étude présente des températures contrastées de par les variations d'altitude approchant les 2500 mètres en le point le plus élevé et le point le plus bas. L'influence de l'Océan Atlantique confère à la zone un climat océanique marqué par de faibles écarts de températures et une douceur en plaine. Les températures dans la plaine sont rarement inférieures à -10°C et rarement supérieures à 30°C .

C'est bien l'influence des Pyrénées qui conditionne fortement les variations de températures entre les principales zones climatiques du Béarn. En moyenne sur la période 1960-2020, les températures sont, pour chaque mois, plus fraîches de 5 à 7°C en montagne par rapport à la plaine.

Figure 3 : Température moyenne mensuelle sur la période 1960-2023 pour les deux zones climatiques du Béarn

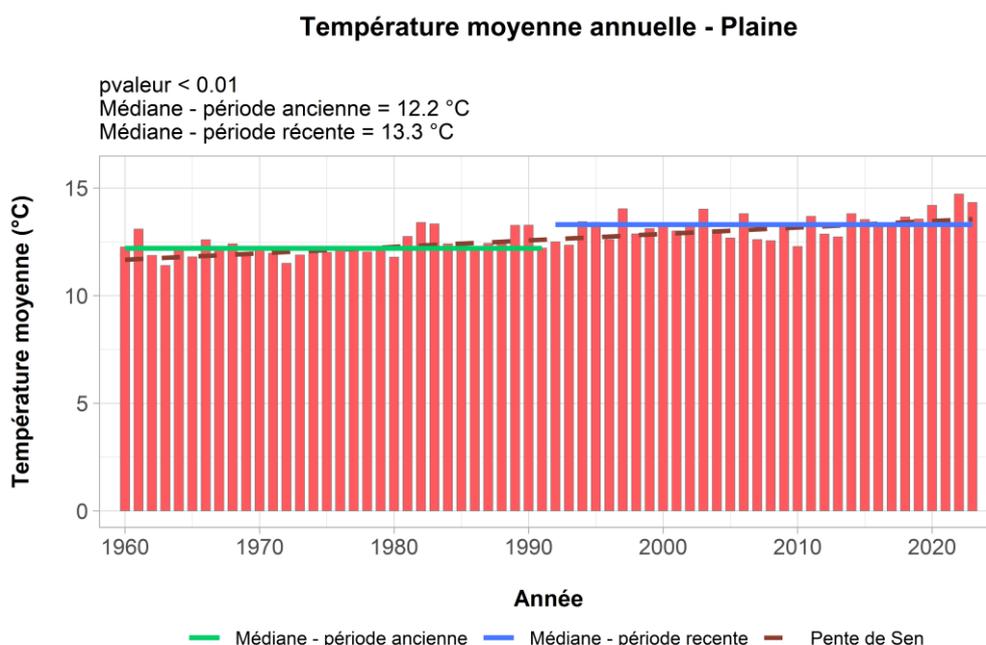


Source : BRLi (Données : SAFRAN)

◆ Évolutions annuelles

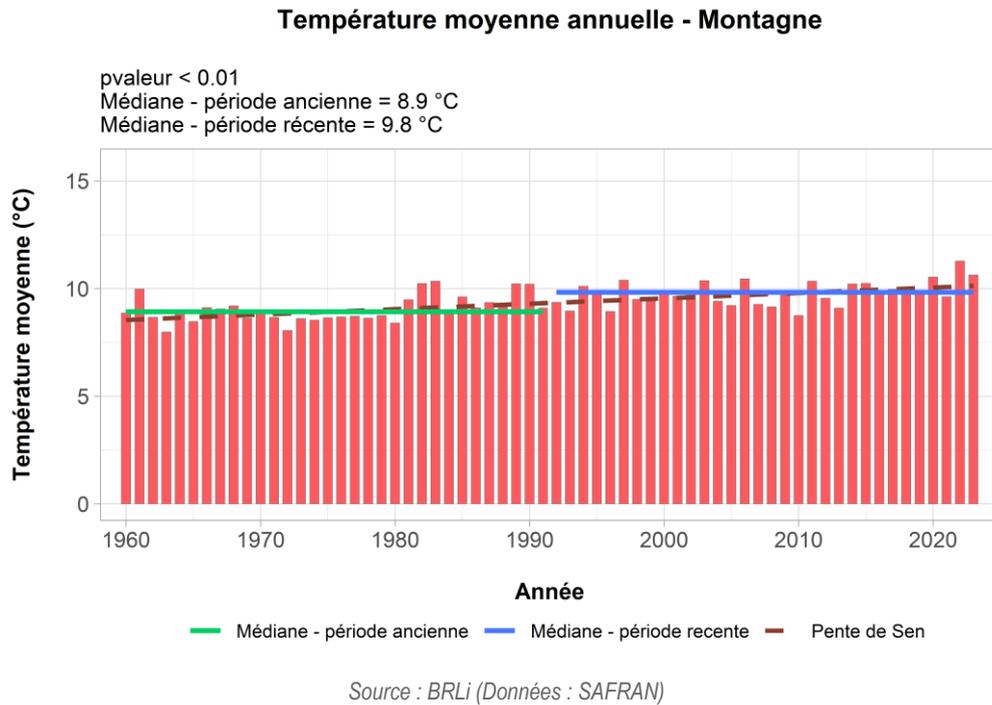
En zone de plaine comme en zone de montagne, les tendances annuelles sont significativement à la hausse d'environ 0,03°C par an. Une analyse plus fine permet de dire que cette augmentation est très légèrement plus importante pour la zone de plaine (+0,029°C/an) qu'en zone de montagne (+0,025°C/an). Entre la période ancienne 1960-1991 et la période récente 1992-2023, on constate un passage de 12,2°C à 13,3°C en zone de plaine (+1,1°C) et un passage 8,9°C à 9,8°C en zone de montagne (+0,9°C). Ce qui confirme les tendances observées sur le territoire.

Figure 4 : Tendances annuelles des températures moyennes en zone de plaine du Béarn



Source : BRLi (Données : SAFRAN)

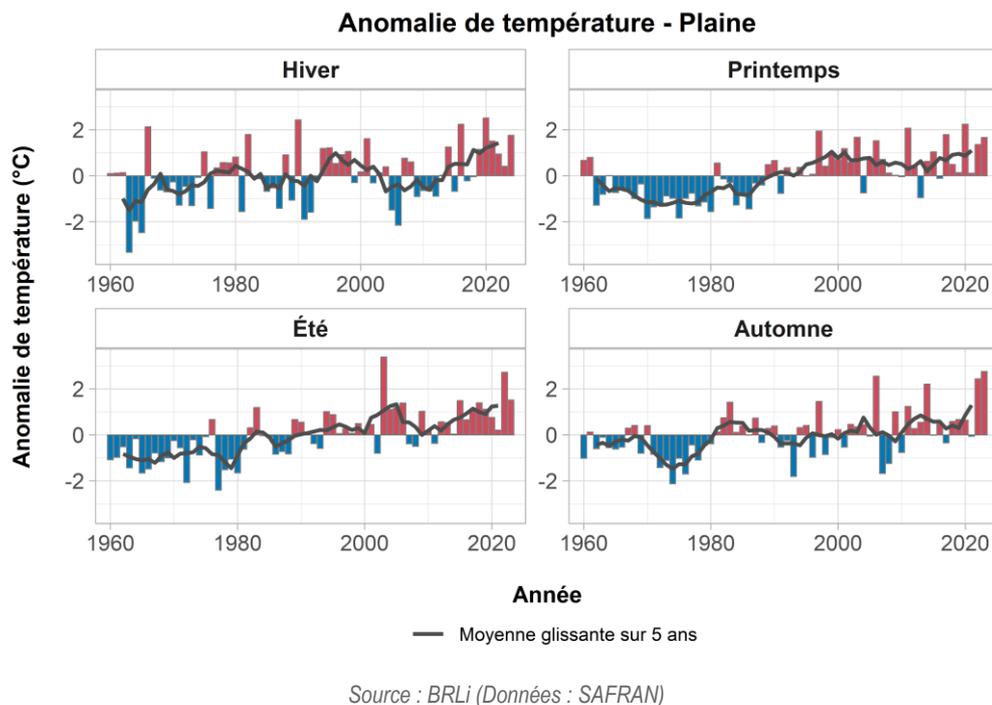
Figure 5 : Tendances annuelles des températures moyennes en zone de montagne du Béarn



◆ Évolution des températures saisonnières

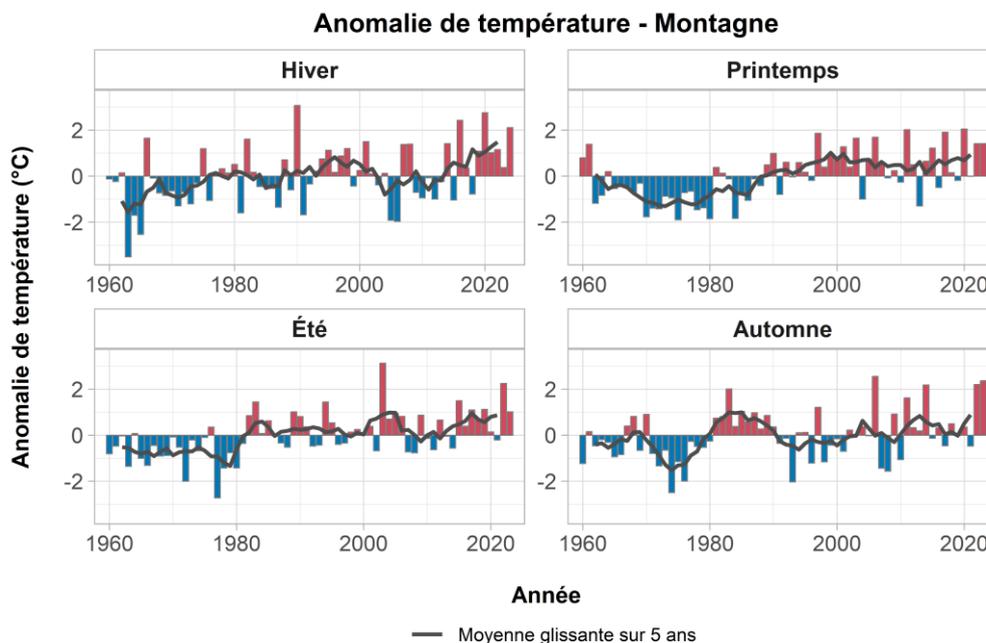
En zone de plaine béarnaise, toutes les saisons sont marquées par une augmentation significative des températures. Les augmentations sont près d'une fois et demie plus importantes au printemps (+0,035°C/an) et en été (+0,038°C/an) par rapport à l'automne et l'hiver. Ces dernières saisons partageant des augmentations similaires (+0,022°C/an).

Figure 6 : Evolutions des températures saisonnières dans les plaines du Béarn



En zone de montagne, la hausse des températures est également significative pour l'ensemble des saisons. C'est le printemps qui enregistre la plus forte hausse des température (+0,032°C/an) devant l'été (+0,025°C/an), l'hiver (0,024°C) et l'automne (+0,016°C/an).

Figure 7 : Evolutions des températures saisonnières dans les montagnes du Béarn



Source : BRLi (Données : SAFRAN)

1.2.2 ...comme pour les températures extrêmes

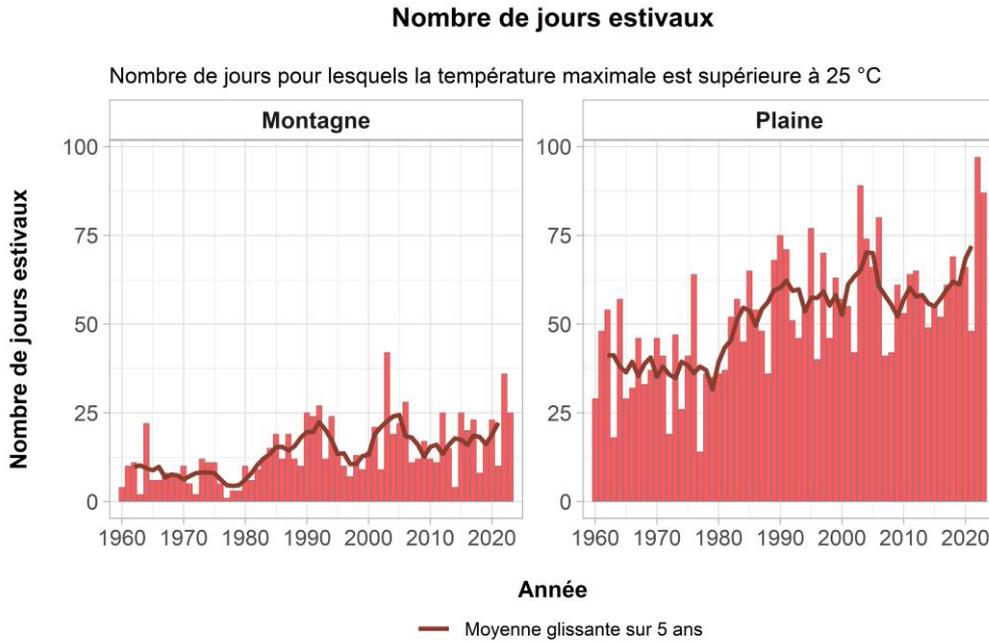
Le climat du territoire du Béarn est très doux et présente peu de valeurs extrêmes de températures à cause de l'influence océanique proche. Les évolutions de ces indicateurs de températures extrêmes sont particulièrement révélatrices des changements climatiques en cours.

◆ Températures élevées

Concernant le nombre de jours estivaux en zone de plaine, il faut noter un « effet palier » dont la zone de transition se trouve aux alentours des années 1980. Avant cette période, le nombre de jours dont la température est considérée comme estivale ($T_{max} > 25^{\circ}\text{C}$) est situé aux alentours de 37 jours et bascule à partir de la fin des années 1990 à une durée moyenne de 60 jours.

En montagne, il est intéressant de noter que l'altitude semble atténuer cet « effet palier », le rendant moins visible sur le graphique. Si la valeur des 12 jours n'est pas dépassée avant les années 1980, ce n'est plus le cas à partir des années 2000 avec une durée moyenne de 18 jours et des pics pour les années de canicule allant jusqu'à 25 jours.

Figure 8 : Jours estivaux en zone de plaine et de montagne du Béarn



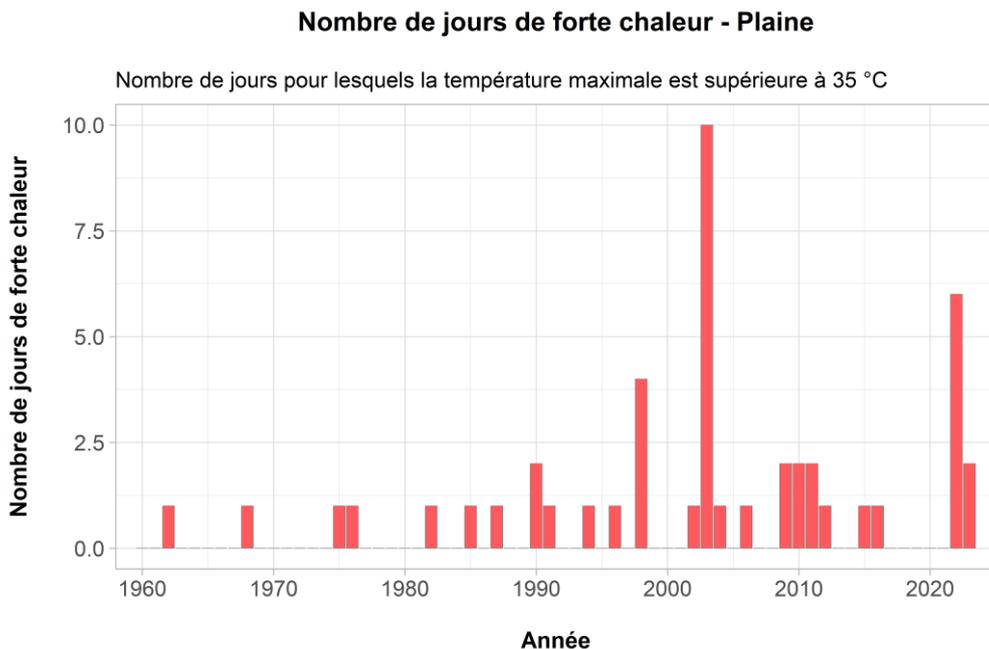
Source : BRLi (Données : SAFRAN)

De la même manière, les jours de forte chaleur ($T_{max} > 35^{\circ}\text{C}$) sont très rares sur la plaine du Béarn avec quelques exceptions notables comme l'année 1997, 2003 (record avec 10 jours de très forte chaleur) et 2022.

Ces jours de très fortes chaleurs n'existent pas encore en zone de montagne, mais il est à noter une tendance de fond à l'augmentation progressive de la durée et de la fréquence d'apparition des très hautes températures.

6

Figure 9 : Nombre de jours de forte chaleur en plaine dans le Béarn



Source : BRLi (Données : SAFRAN)

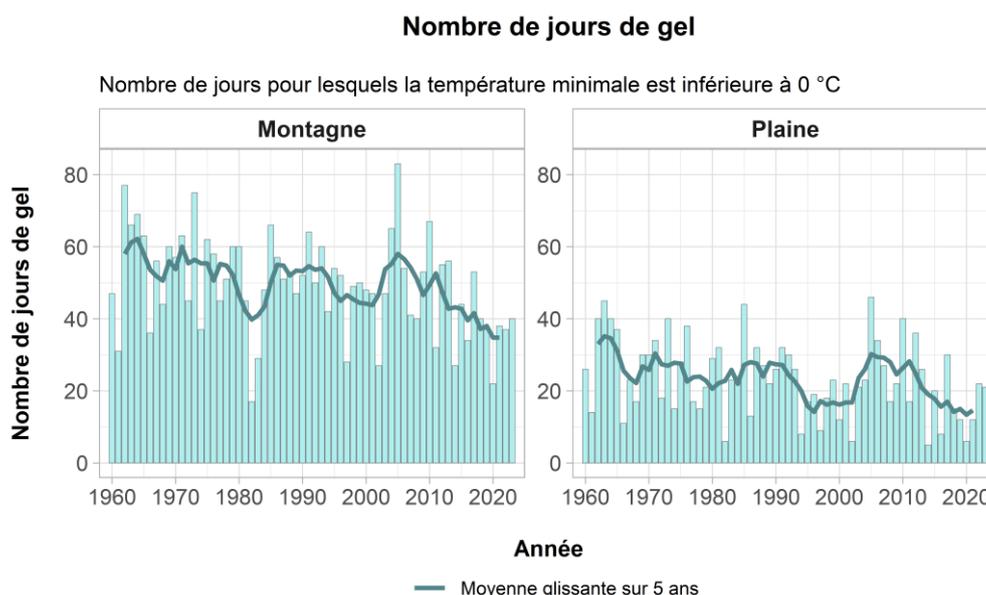
◆ Températures basses

En montagne, on passe de 60 jours de gel ($T_{min} < 0^{\circ}C$) dans les années 1960 à un peu moins de 40 jours en moyenne entre 2019 et 2023. En plaine, sur les mêmes périodes, on passe d'environ 35 jours de gel à 15 jours de gel.

Ces réductions drastiques dénotent un adoucissement des hivers en montagne comme en plaine : une menace bien connue pour les activités touristiques d'hiver en station (sports de neige).

La diminution du nombre de jours de gel a pour conséquence de diminuer les possibilités de constituer un stock neigeux durable. Ce stock neigeux a comme rôle essentiel de consolider les glaciers et alimenter les cours d'eau de plaine en saison estivale (voir plus loin pour l'évolution des précipitations solides).

Figure 10 : Nombre de jour de gel en plaine et en montagne dans le Béarn



Source : BRLi (Données : SAFRAN)

1.3 Évolution de l'évapotranspiration potentielle (ETP)

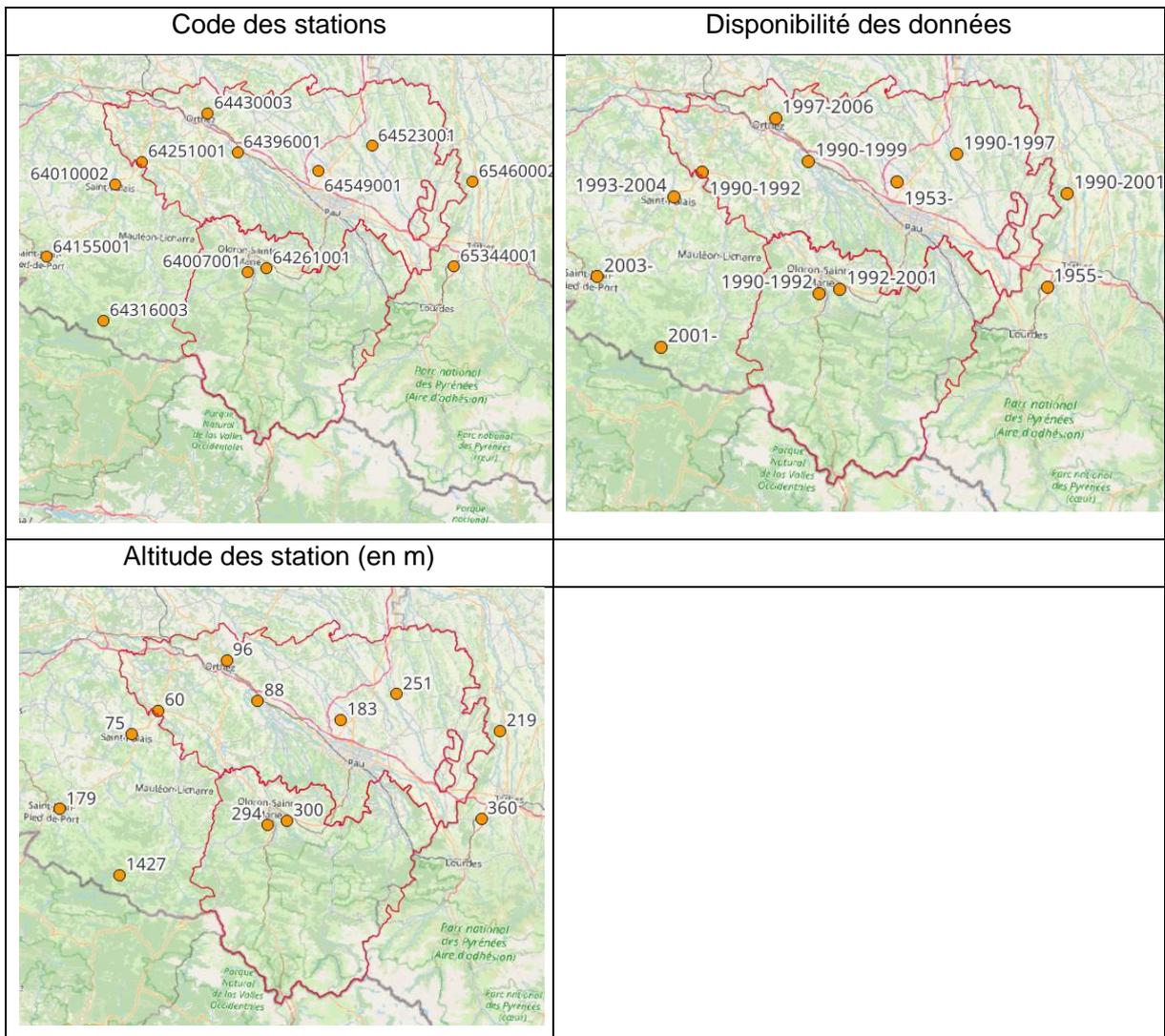
1.3.1 Modélisation de l'ETP de montagne sur le Béarn

N'ayant pas obtenus de résultats satisfaisants avec le modèle SAFRAN sur la zone montagneuse du Béarn, nous nous sommes tournés vers les données observées par les postes au sol Météo France au sein et autour de la zone d'étude.

◆ Méthodologie

La zone possède, en son sein et dans sa périphérie, une douzaine de stations ayant des données d'ETP sur des durées variables. Les codes des stations Météo-France utilisées, la disponibilité des données et les altitudes à laquelle se situent les différentes stations sont visibles sur les cartes de la figure ci-dessous.

Figure 11 : Cartes des postes pluviométriques disposant de données d'ETP sur la zone



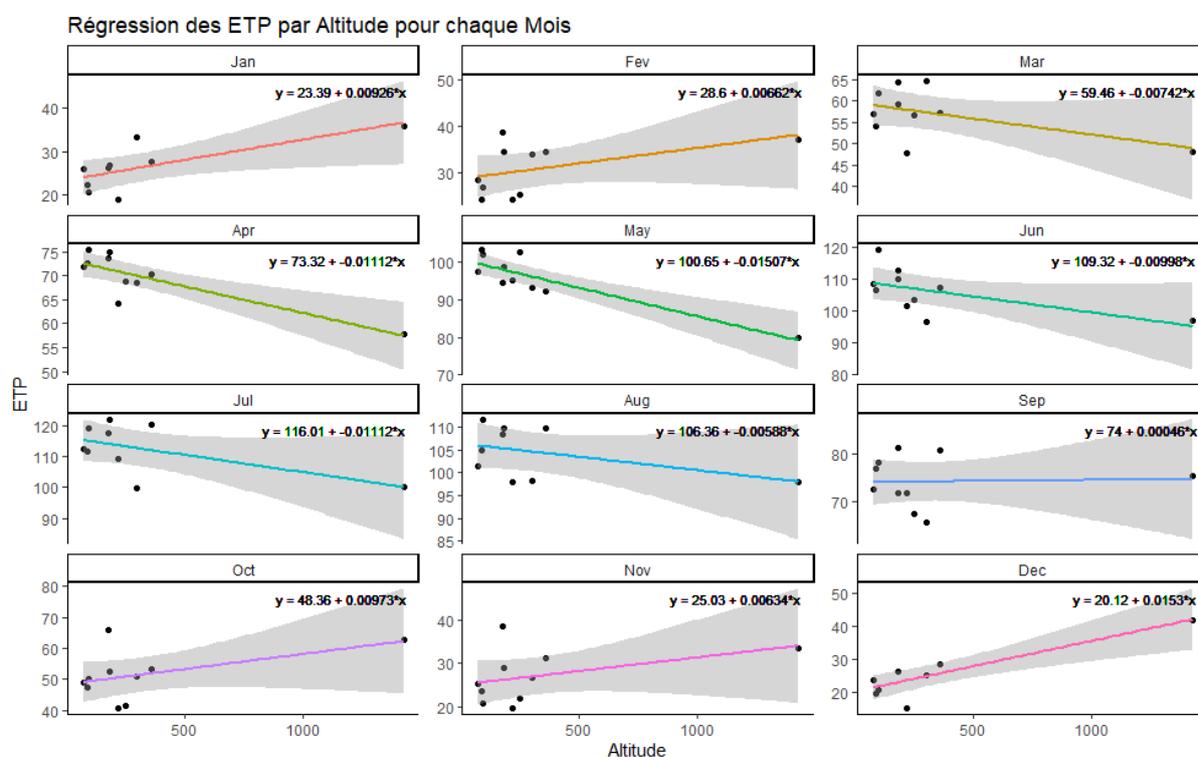
Source BRLi

Les stations disposent de données quotidiennes lacunaires et des étendues temporelles limitées. Nous avons réalisé une série d'hypothèses de calcul pour édifier notre modèle et traiter les données en conséquence :

- L'altitude est le principal facteur de différence d'ETP entre la zone de plaine et de montagne.
- Pour la transformation des données quotidiennes en données mensuelles, nous avons sommé les valeurs du mois uniquement si ce mois compte 24 jours inclus de données valides (20% de lacunes acceptées).
- Lorsque nous avons réalisé une moyenne mensuelle interannuelle, nous ne la considérons valide que si elle intègre au minimum 5 mois issus d'années différentes (par exemple, cinq mois de janvier pour constituer une moyenne interannuelle de janvier acceptable de station).

En tenant compte de ces hypothèses, l'analyse des relations linéaires chaque mois entre les différentes moyennes mensuelles interannuelles d'ETP nous a permis de produire la figure ci-dessous.

Figure 12 : Relations linéaires entre les différentes stations chaque mois



Source : BRLi

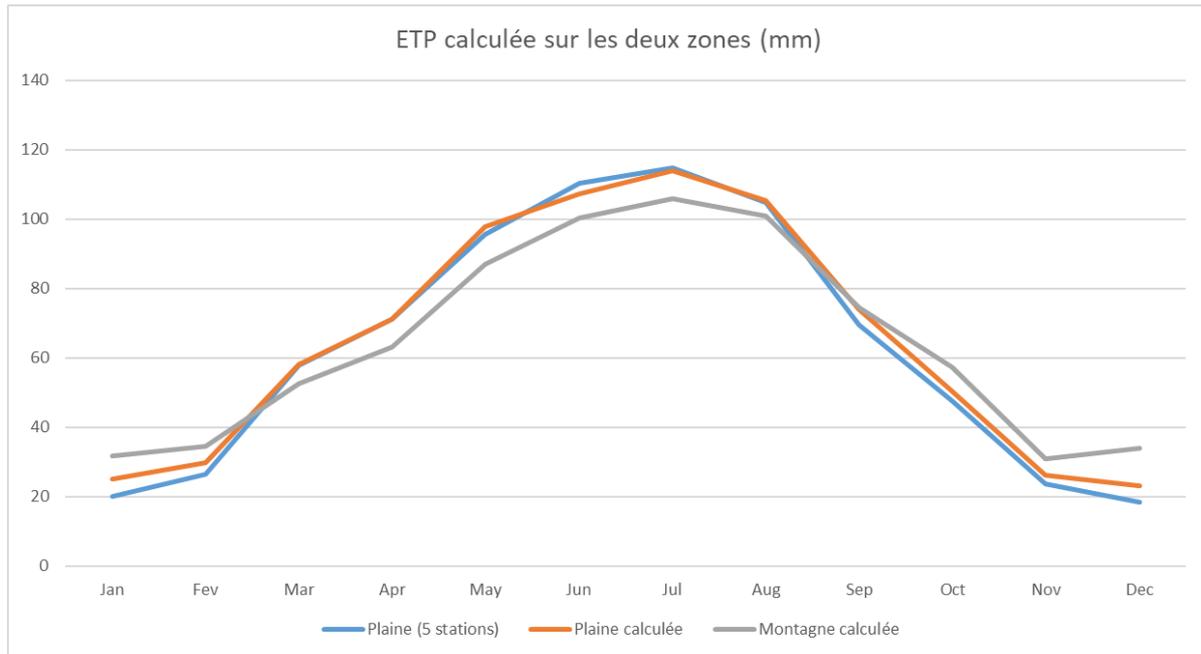
Ce modèle est empreint d'incertitude du fait de la mauvaise répartition des points en altitude. Le mois de novembre est un exemple où la tendance est positive mais influencée par le point le plus éloigné. Il n'y a en réalité probablement pas de tendance significative ce mois-ci. Il s'agit néanmoins du modèle le plus robuste que nous pouvons fournir en l'état, tenant compte de la disponibilité des données et de leur répartition temporelle et spatiale.

◆ Résultat

L'ETP mesuré par les stations est calculé avec la formule de Penman-Monteith. Cette formule intègre de nombreux paramètres tel que la radiation solaire, la température moyenne, la vitesse du vent, l'humidité relative de l'air ou encore l'altitude. L'ETP en zone de plaine et en montagne apparaît comme relativement similaire.

On peut remarquer que l'ETP est plus élevé d'une dizaine de millimètres en zone montagneuse qu'en plaine. A l'inverse, la saison printanière et estivale est quant à elle plus impactante pour les cultures en plaine qu'en montagne où elles évapotranspirent 20 mm de plus environ.

Figure 13 : ETP moyenne mensuelle sur la période 1960-2023 pour les deux zones climatiques du Béarn



Source : BRLi (Données : SAFRAN)

La courbe bleue reprend la moyenne des ETP interannuelles des stations localisées dans la zone de plaine du Béarn. Elles ont une altitude moyenne de 135,6 m au-dessus du niveau de la mer. La courbe orange représente quant à elle la courbe issue des modélisations en prenant compte d'une altitude moyenne de la « zone plaine » de 194 m (minimum à -66 m, une carrière à la pointe Ouest de la zone, et maximum à 482 m au Sud-Est). Cette rapide comparaison permet de valider le modèle puisque les courbes se superposent quasiment.

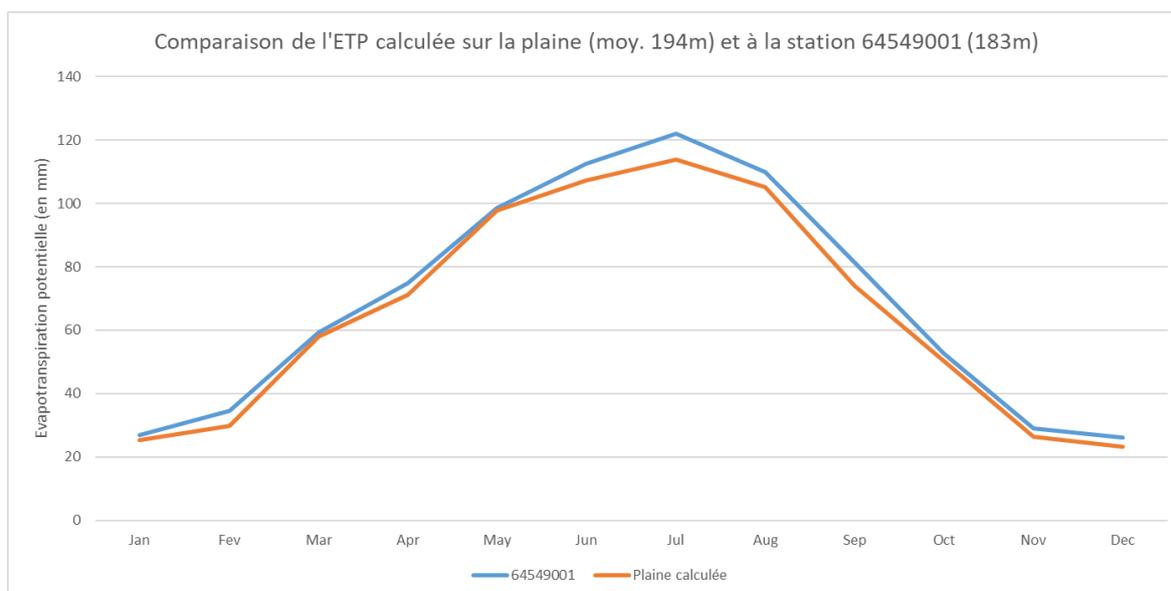
La courbe grise quant à elle modélise ce que serait l'ETP pour la « zone montagne » ayant une altitude moyenne de 909 m (minimum au Nord-Ouest de la zone à 135 m et maximum au pic de Palas culminant à 2974 m).

1.3.2 Une tendance à l'augmentation du besoin d'évaporation et de transpiration sur l'ensemble du territoire

◆ Méthodologie

Pour la période entre 1960 et 2023, nous allons nous baser sur la station 64549001 dont les données sont disponibles depuis 1953. Ces données sont validées par des climatologues jusqu'en mai 2004 et sont considérées comme assez fiables jusqu'à la fin de l'année 2023. De plus, la station est idéalement située dans la zone plaine du Béarn à une altitude de 183 m. Elle présente un comportement similaire avec les résultats de notre modèle (voir Figure ci-dessous).

Figure 14 : Comparaison de l'ETP modélisée sur la zone de plaine du Béarn et la station 64549001



Source BRLi (Données : Météo France)

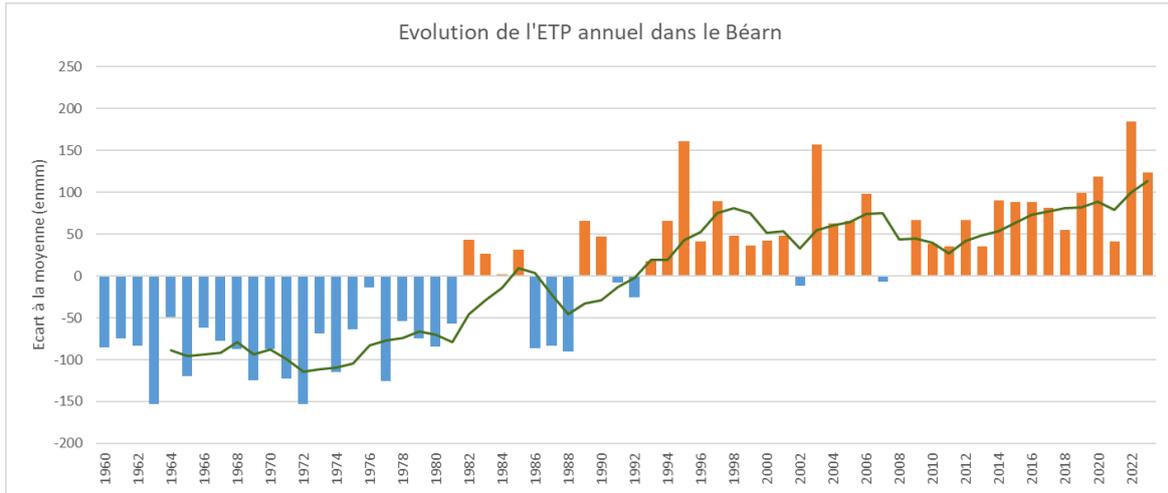
L'ETP de la zone montagne sera interpolée avec la même méthode qu'utilisée précédemment.

◆ Résultat

Par construction, les chroniques de montagne et de plaine partagent les mêmes évolutions relatives, seules les valeurs absolues changent. On présentera les évolutions relatives de manière globale sur l'ensemble de la zone d'étude.

L'ETP annuel dans le Béarn est en augmentation quasi-constante entre 1960 et le milieu des années 1990 avant d'atteindre une phase de plateau jusqu'à la fin des années 2010. A partir de là, on remarque une nouvelle tendance à la hausse de l'ETP moins appuyée que celle des années 1980-1990. Le graphique laisse apparaître des années de forte évapotranspiration comme l'année 1995, 2003 et 2022.

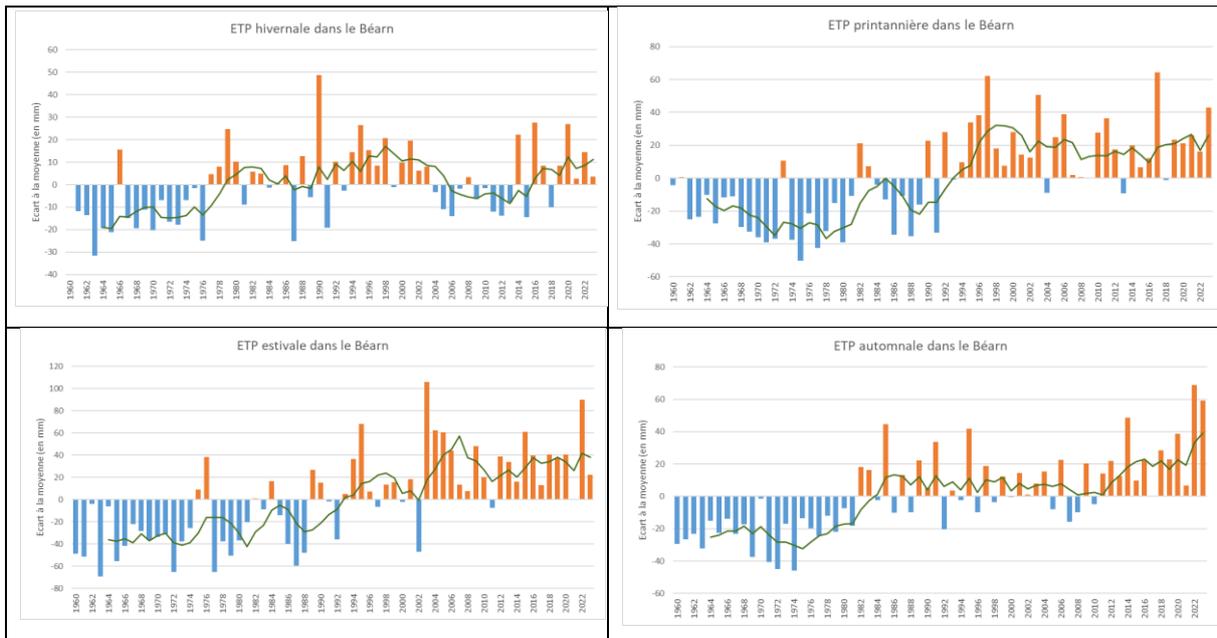
Figure 15 : Evolution de l'anomalie d'ETP annuelle dans le Béarn



Source : BRLi (Données : Météo France)

Ces évolutions annuelles sont à éclairer au regard des évolutions saisonnières de l'ETP.

Figure 16 : Evolution de l'anomalie d'ETP saisonnière dans le Béarn



Source : BRLi (Données : Météo France)

L'hiver ne présente pas d'évolution constante dans le temps, il est marqué par une succession de phases froides (1960-1976, 2004-2013), chaudes (1977-2003, 2014-2023) qui correspondent aux oscillations Nord-Atlantique qui influencent le climat (température et précipitations) tout autour du bassin atlantique.

1. EVOLUTION DU CLIMAT PASSE DU BEARN

En revanche, les autres saisons présentent des évolutions plus claires qui expliquent en grande partie les évolutions annuelles d'ETP. L'ETP automnale et estivale sont les premières à augmenter relativement à la moyenne sur la période 1960-2020. Tandis que l'augmentation de l'ETP automnale est relativement constante à partir du milieu des années 1970 jusqu'au milieu des années 1980, l'ETP estivale varie plus fortement autour de sa tendance à l'augmentation. Il est intéressant de constater que si c'est bien l'ETP estivale qui dirige la tendance de fond de l'ETP annuelle sur l'ensemble de la période (1960-2020), ce sont les ETP printanières et encore plus particulièrement automnales qui expliquent la deuxième phase d'augmentation visible à l'échelle annuelle à partir des années 2010.

En d'autres termes, en plus d'augmenter en été marquant une tendance de fond sur toute la période 1960-2020, les valeurs d'ETP augmentent progressivement depuis les années 1990 sur les saisons printanières et particulièrement depuis les années 2010 sur les saisons automnales.

Il est possible de retrouver cette évolution par décennie, sous forme de graphiques disponibles ci-dessous. Le graphique ci-dessous présente les évolutions d'ETP annuelle par décennie, où là encore nous pouvons voir s'afficher des tendances claires en plaine comme en montagne.

Figure 17 : Evolution de l'ETP par décennie en zone de plaine et de montagne dans le Béarn



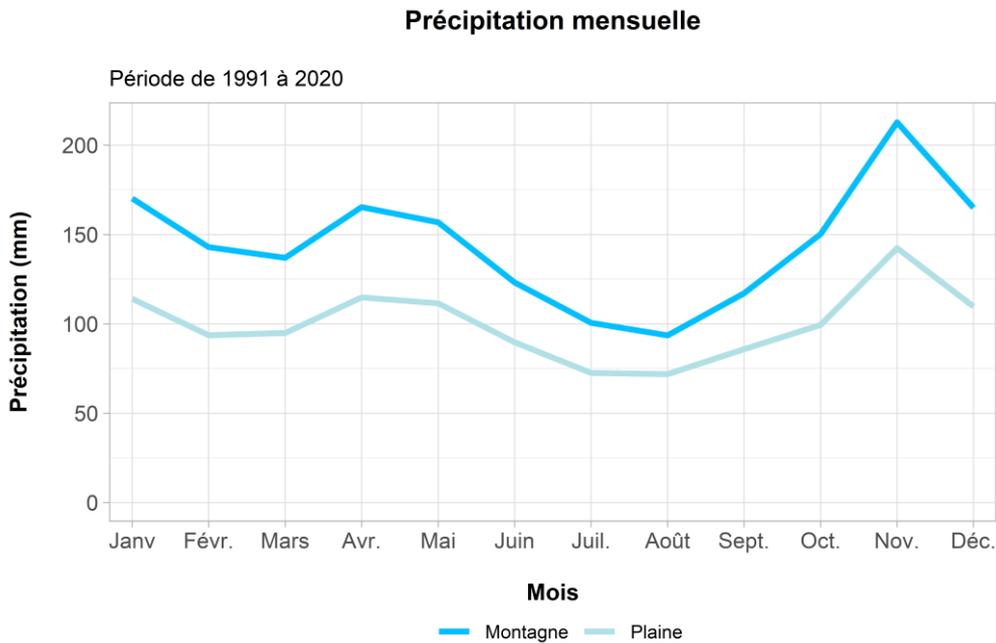
Source : BRLi (Données : Météo France)

1.4 Evolutions des précipitations

1.4.1 Des précipitations qui ne dégagent pas de tendances significatives entre 1960 et aujourd'hui

Les précipitations (pluies et neiges) sont marquées par la même saisonnalité en plaine et en montagne dans le Béarn. Les précipitations sont réparties de manière assez homogène au cours de l'année avec un pic modéré au printemps lors des mois d'avril-mai et un autre pic plus important entre novembre et janvier. Les montagnes ont l'avantage de concentrer davantage les précipitations à la faveur du phénomène de pluie orographique.

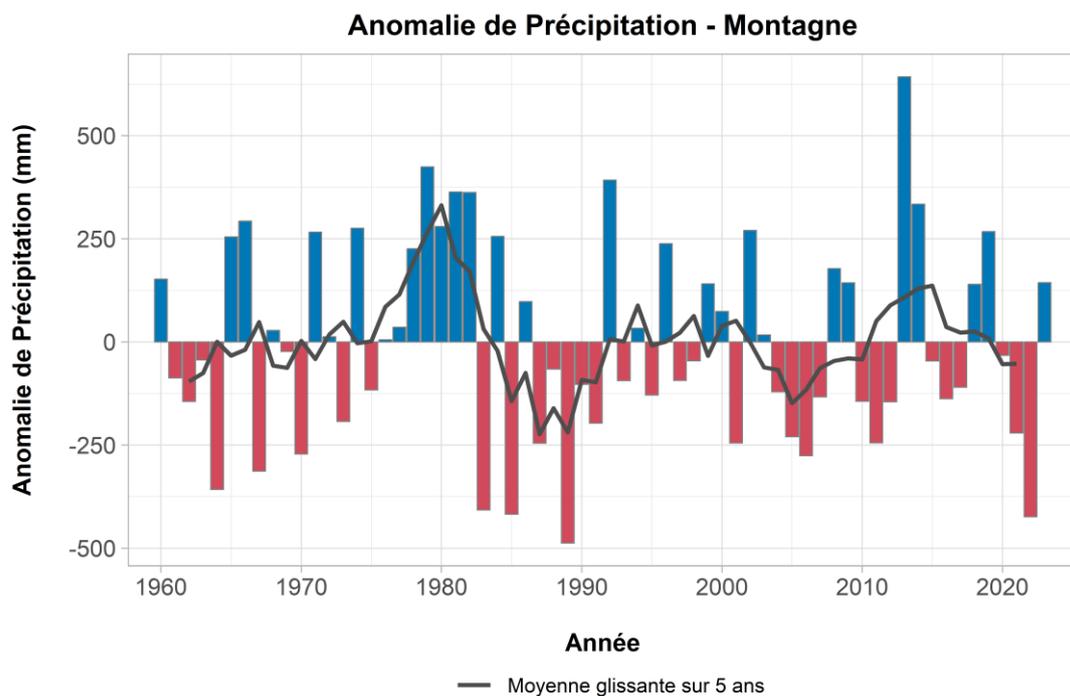
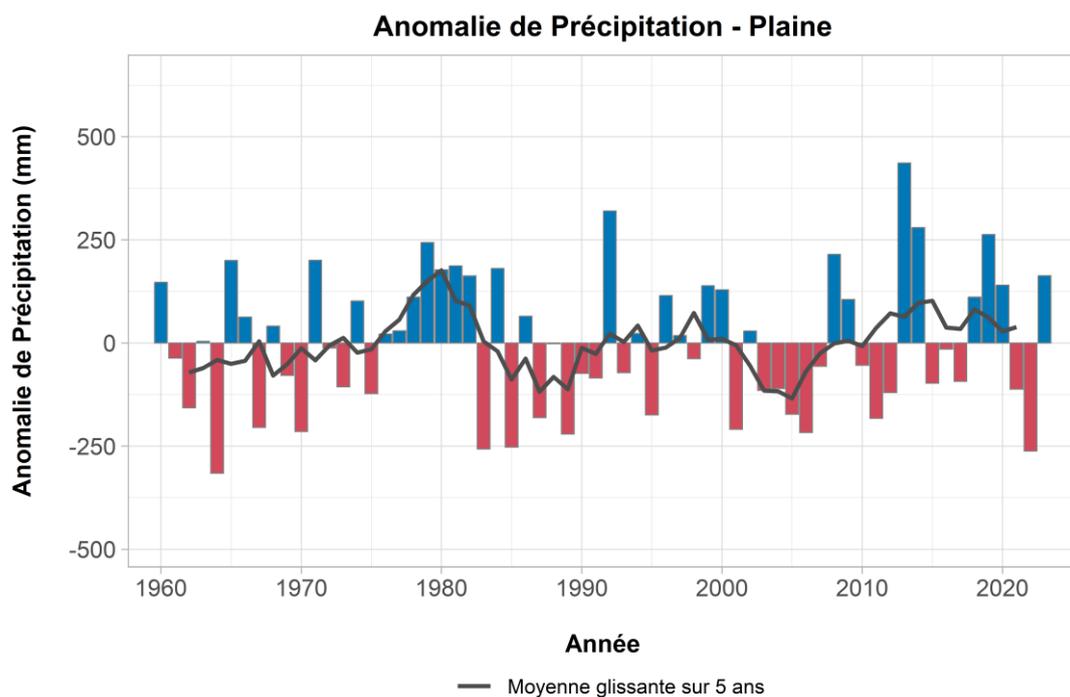
Figure 18 : Précipitations interannuelles en plaine et montagne dans le Béarn



Source : BRLi (Données : SAFRAN)

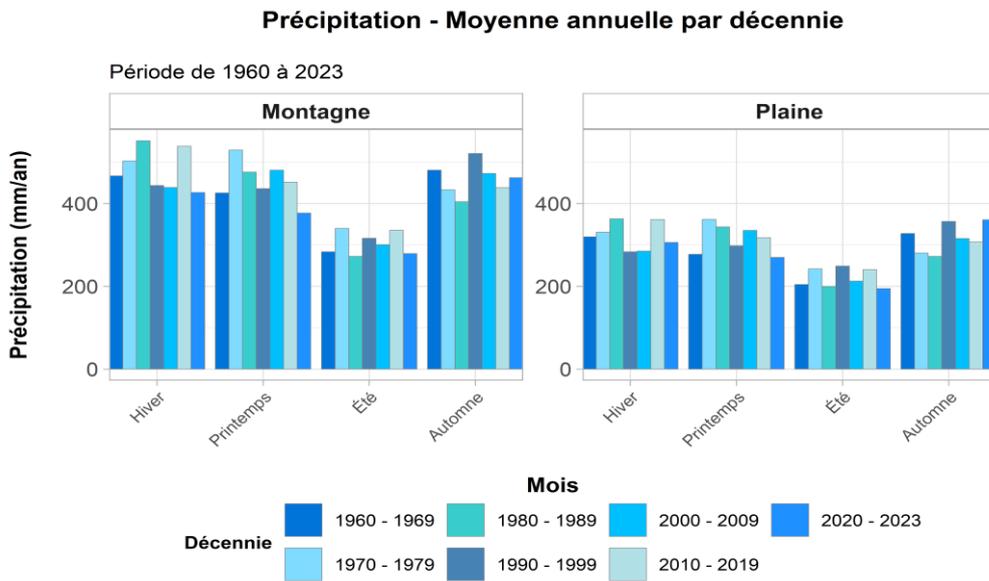
En plaine comme en montagne, les précipitations totales ne présentent pas de tendance à l'échelle annuelle ou saisonnières entre 1960 et 2020.

Figure 19 : Evolutions des précipitations totales en plaine



Source : BRLi

Figure 20 : Anomalies de précipitations annuelles en Plaine et en Montagne



Source : BRLi (Données SAFRAN)

1.4.2 Un enneigement de plus en plus rare en station

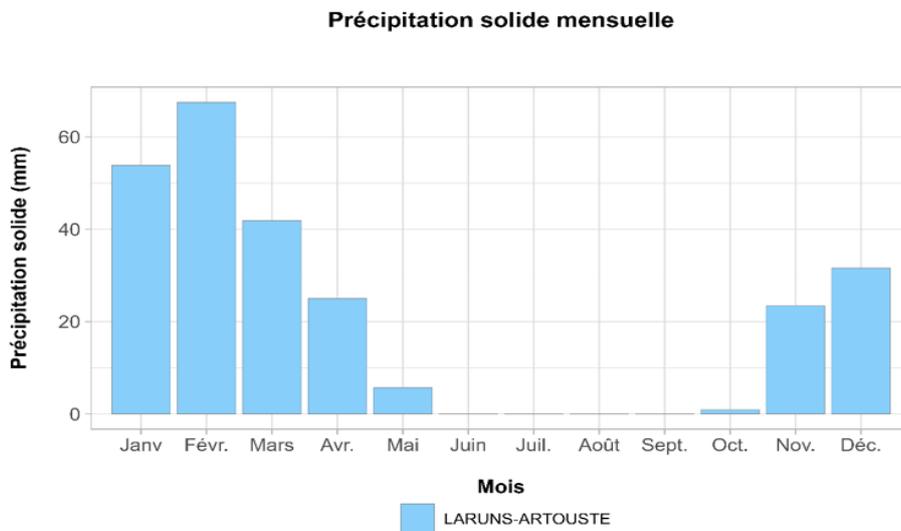
◆ Méthodologie

La station Météo-France de Laruns-Artouste (64320001) positionnée au niveau de la station de ski éponyme perchée à 1142 m d'altitude dispose de données entre 1960 et 2023. Nous avons choisi cette station en raison de sa localisation et du nombre d'années disponibles de données d'enneigement (1958-2016).

◆ Résultat

La station a, en moyenne entre 1991 et 2016, un enneigement de novembre à mai avec un pic en janvier et février.

Figure 21 : Enneigement mensuel moyen interannuel 1991-2016 à la station de Laruns-Artouste

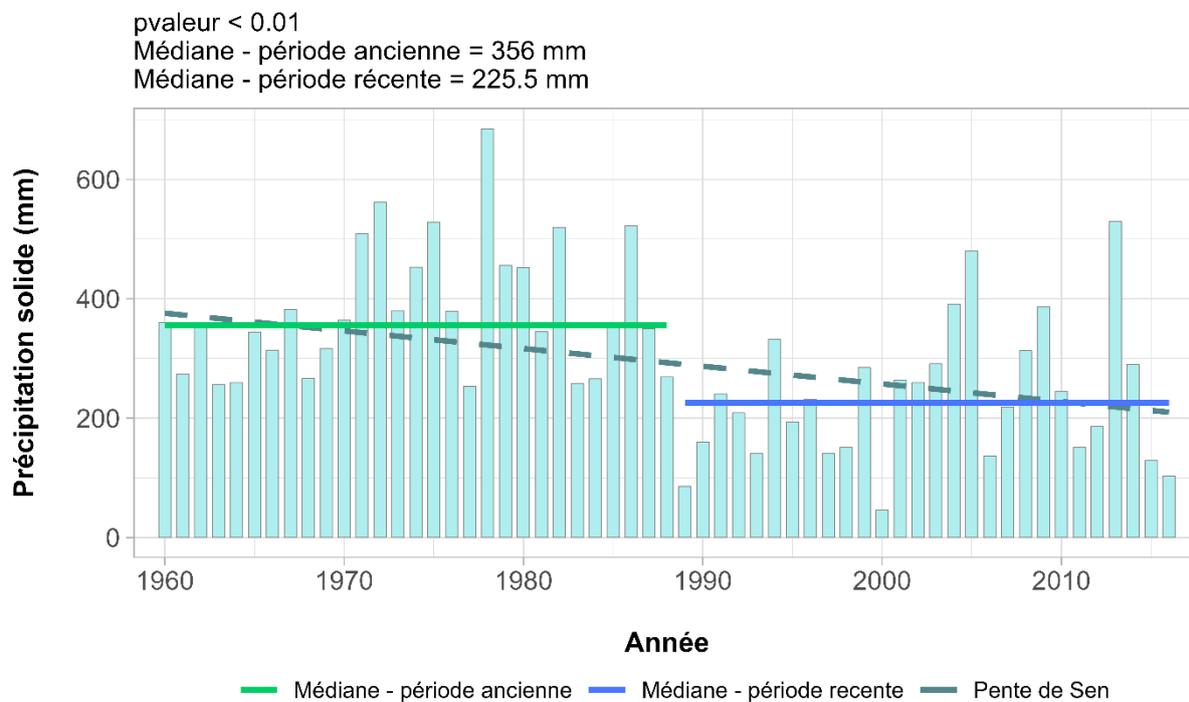


Source : BRLi (Données : Météo France)

Les précipitations solides présentent une tendance à la baisse à l'échelle annuelle entre 1960 et 2016. Les neiges perdent environ 125 mm entre la période 1960-1988 et 1989-2016.

Figure 22 : Anomalie de neige annuelle et saisonnière à la station de Laruns-Artouste

Précipitation solide moyenne annuelle - LARUNS-ARTOUSTE

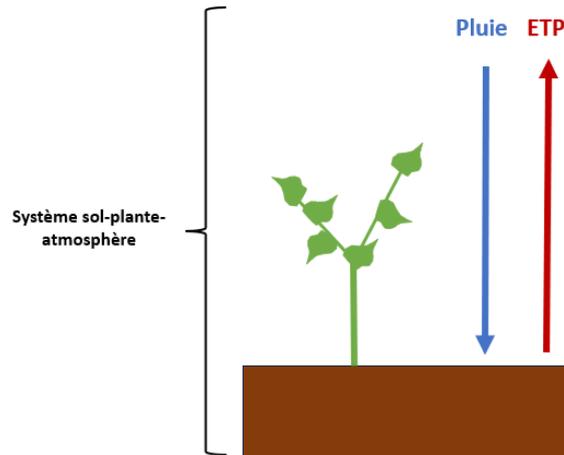


Source : BRLi (Données : Météo France)

1.5 Un déficit hydrique qui augmente et des sols de plus en plus secs

Le **bilan hydrique climatique** exprime la différence entre l'évapotranspiration potentielle et les précipitations pendant une période donnée (cf. illustration ci-dessous). Cela correspond à la quantité de pluie disponible par les plantes lorsque les besoins en évaporation et en transpiration sont satisfaits. On parle de **déficit hydrique** lorsque **P-ETP est inférieur à zéro**.

Figure 23 : Illustration de la notion de bilan hydrique climatique



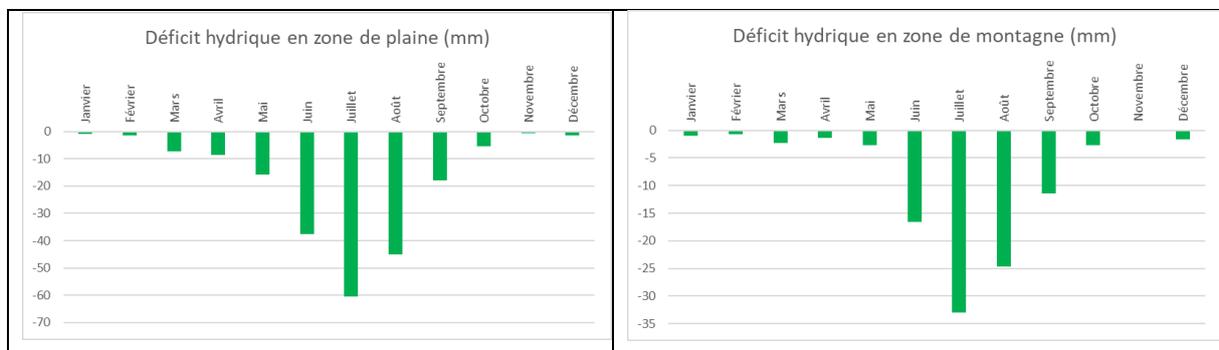
Source : BRLi

18

Le déficit hydrique atmosphérique tel que présenté dans cette partie représente le besoin en irrigation exprimé en millimètre (ou l/m²) qu'il faudrait apporter à un gazon (l'ETP modélise les besoins du gazon) pour qu'il bénéficie d'un développement optimal.

La répartition mensuelle de ce déficit indique que celui-ci a lieu sur les mois de la saison estivale. Il semblerait que le déficit printanier soit plus courant en plaine qu'en montagne dû au déficit de précipitation lors de cette période et que le déficit automnal soit équivalent dans les deux zones. Au total, le déficit hydrique est deux fois moins important en montagne qu'en plaine.

Figure 24 : Répartition interannuelle du déficit hydrique entre 1960 et 2023

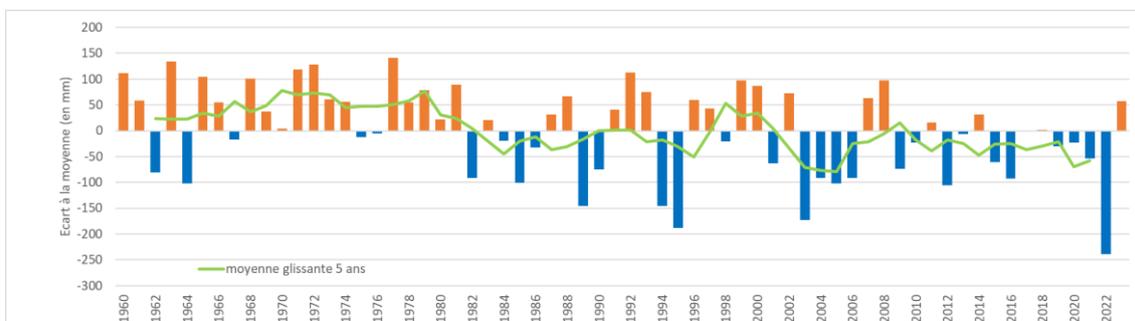


Source : BRLi (Données SAFRAN, Météo-France)

1. EVOLUTION DU CLIMAT PASSE DU BEARN

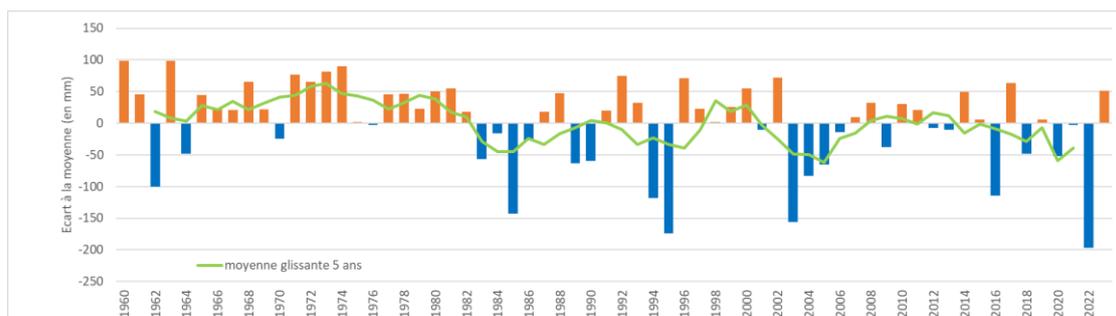
Nous avons montré que l'ETP annuel était en constante augmentation entre 1960 et 2022. Les précipitations totales ne montrent pas quant à elles de tendances annuelles bien claires en plaine ou en zone de montagne. En conséquence, on remarque que le déficit hydrique a tendance à s'aggraver au cours du temps, atteignant un record en 2022 de près de 200 millimètres de moins que la moyenne de déficit hydrique située à -202 mm en zone de plaine et à -99 mm en zone de montagne.

Figure 25 : Evolution du déficit hydrique annuel entre 1960 et 2023 en zone plaine du Béarn



Source : BRLi (Données : SAFRAN, Météo-France)

Figure 26 : Evolution du déficit hydrique annuel entre 1960 et 2023 en zone montagne du Béarn



Source : BRLi (Données : SAFRAN, Météo-France)

1.6 Synthèse des évolutions climatiques sur le Béarn

Pour le territoire du Béarn, la description et l'identification de tendances d'évolution du climat au cours des dernières décennies s'appuient sur l'analyse réalisée dans le cadre de la présente étude, des données climatiques SAFRAN produites par Météo France et par des données d'observations directes de postes au sol Météo-France. Nous pouvons retenir les grands points suivants :

- Entre les années 1960 et 2023, la **hausse des températures moyennes** annuelles à l'échelle du territoire du Béarn a été comprise entre +0,9°C en montagne et +1,1°C en plaine avec des tendances globales annuelles similaires sur l'ensemble du territoire. Le réchauffement est le plus fort sur les mois de printemps (montagne et plaine) et d'été (en plaine), atteignant jusqu'à +0,038°C/an en plaine en été.
- Ces hausses de températures moyennes s'accompagnent d'une **augmentation significative du nombre de jours estivaux** en montagne comme en plaine (+50%) avec l'apparition de plus en plus fréquente et intense de jours de très forte chaleur en plaine. On constate à l'inverse une **diminution significative du nombre de jours de gel** sur l'ensemble du territoire du Béarn (-20%).
- Une conséquence directe à la hausse des températures : **l'augmentation de l'évapotranspiration potentielle (ETP)** moyenne annuelle. Entre 1960 et 2023, l'ETP a augmenté d'environ 200 mm.
- Il n'est pas possible de conclure sur une évolution significative des quantités de précipitations tombées chaque année, car les variabilité et incertitude sont trop grandes, **sur les tendances annuelles comme saisonnières**.
- Le déficit hydrique exprime le cumul d'un bilan hydrique climatique négatif ($P-ETP < 0$) pendant une période donnée. Le déficit hydrique annuel est de l'ordre de -244 mm en moyenne sur la décennie 2014-2023, alors qu'il s'élevait -177 mm en moyenne sur la période 1961-1990, soit une hausse de plus de 37 %. Le phénomène observé est une **aridification progressive du climat du territoire du Béarn**. Une conséquence identifiée par Météo France à l'augmentation de ce déficit hydrique a été **l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des épisodes de sécheresse des sols**.

2 Évolution rétrospective des ressources en eau

Ce chapitre détaille les évolutions associées aux indicateurs hydrologiques de surface sur le territoire du Béarn. Il intègre également une analyse des caractéristiques des régimes hydrologiques de plusieurs stations de référence ainsi qu'une analyse des données du réseau de surveillance des étiages (ONDE) de la zone d'étude.

2.1 Choix des données hydrométriques retenues pour l'analyse

Dans cette section, nous présentons les caractéristiques des stations hydrométriques disponibles pour l'analyse hydrologique

◆ Présentation générale du fonctionnement hydrologique du territoire

Le réseau hydrographique du Béarn est dominé par les bassins versants des Gaves de Pau et d'Oloron, dont les superficies sont de l'ordre de 2 500 km² sur le Béarn. Ces deux cours d'eau confluent en aval des limites du Béarn avant de se jeter dans l'Adour. Le régime de ces cours d'eau et de plusieurs de leurs affluents pyrénéens est partiellement nival, avec des débits maximums mensuels au mois de mai du fait de la fonte nivale. Les mois de plus faible hydraulité sont les mois d'août et septembre. Les précipitations importantes sur les sommets pyrénéens font des gaves de Pau et d'Oloron des rivières abondantes, avec des lames d'eau écoulées de l'ordre de 1 000 mm/an. Les précipitations pouvant être majeures sur les reliefs, le phénomène de fonte nivale et les pentes importantes des cours d'eau soumettent la région à de fortes crues aux conséquences matérielles et humaines potentiellement majeures.

◆ Choix des stations hydrométriques

Une première analyse des stations hydrométriques disponibles sur Hydro Portail a permis de retenir un premier panier de stations en fonction de leur localisation, des chroniques disponibles et des éventuelles influences anthropiques sur les débits. Lors de cette analyse, on privilégie des stations hydrométriques faiblement influencées par des usages amont mais aussi des chroniques disponibles sur plus de quarante ans. Il a été retenu six stations hydrométriques qui présentent des emplacements et des longueurs de chroniques intéressantes pour caractériser l'hydrologie de la zone d'étude. Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques des stations retenues. Deux stations sont situées en dehors des limites géographiques du Béarn (la station du Saison à Mauléon-Licharre et la station située sur le Gave d'Auzun à Arras-en-lavedan) mais sont potentiellement intéressantes puisqu'elles drainent des bassins versants qui traversent le Béarn. Les stations du Gave de Pau à Artiguelouve et à Nay n'ont par exemple pas été retenues puisqu'elles possèdent des chroniques trop courtes.

Figure 27. Carte de localisation des stations hydrométriques sur la zone d'étude

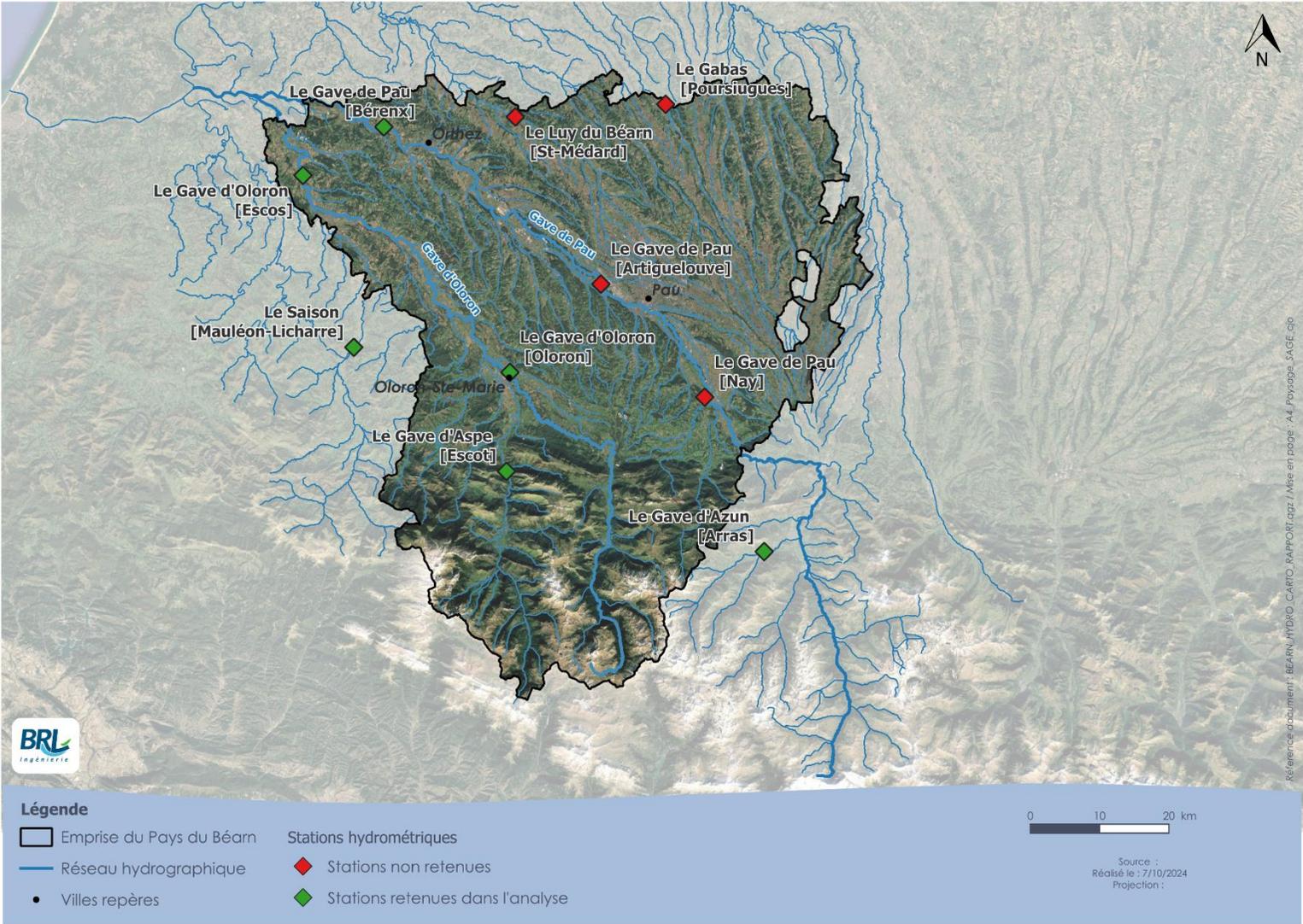


Tableau 1 : Caractéristiques des stations hydrométriques intégrées à l'analyse

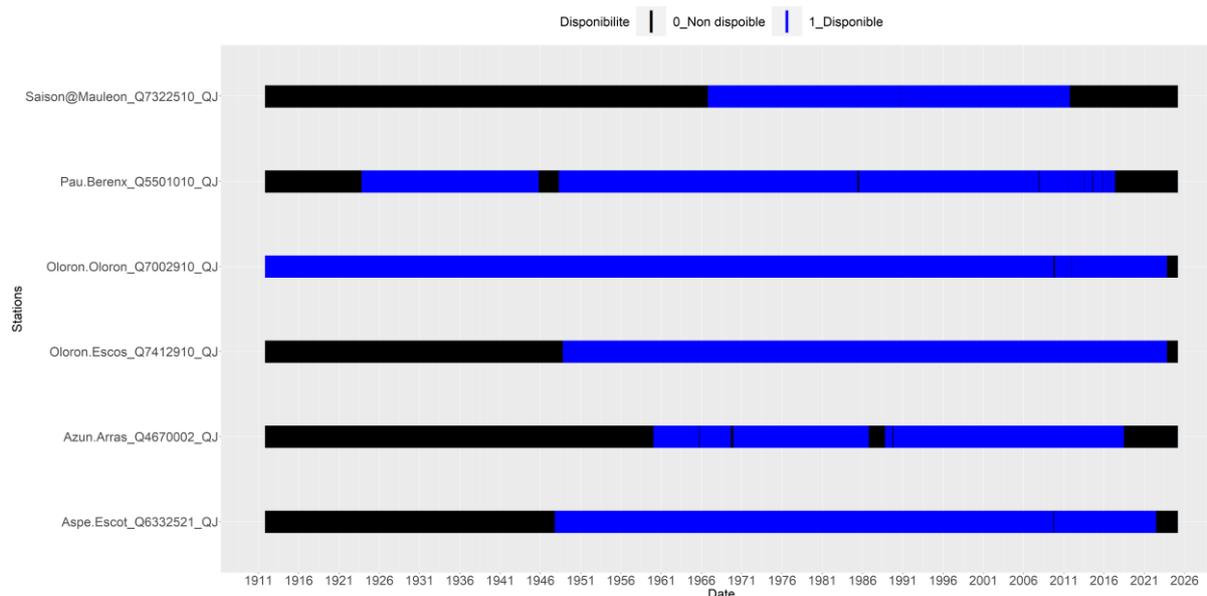
Rivière	Station	Code station	Superficie (km ²)	Date-Début	Date-Fin	Influences *
Gave de Pau	Berenx	Q5501010	2 575	1924	2017-	Influence nulle ou faible
Gave d'Aspe	Escot	Q6332521	425	1948	2023-	Débits influencés par les variations de la réserve d'Estaens
Gave d'Oloron	Oloron	Y2010020	1 100	1912	2023-	Influence nulle ou faible
Gave d'Oloron	Escos	Q7412910	2 456	1949	2023-	Influence nulle ou faible
Azun	Arras	Q4670002	191	1960	2018-	Forte en toute saison
Saison	Mauleon	Q7322510	480	1967	2011-	Influence en étiage seulement

* La notion d'influences sur les débits des cours d'eau correspond aux perturbations humaines qui influencent/modifient les débits naturels des cours d'eau (prélèvements, rejets, ouvrages de gestion des débits...).

On priorisera l'analyse des évolutions de débits sur les stations du Gave d'Oloron à Oloron et Escos (où l'influence est qualifiée de nulle ou faible) ainsi que du Gave de Pau à Bérenx. Les autres stations présentent des influences trop importantes pour qu'une analyse d'évolution sur des indicateurs (particulièrement d'étiage) soit menée rigoureusement. Ces stations seront tout de même exploitées pour définir l'hydrologie de la zone d'étude

La figure ci-dessous présente les chronogrammes des stations hydrométriques retenues dans le cadre de cette analyse hydrologique.

Figure 28 : Chronogrammes des stations hydrométriques retenues dans le cadre de cette analyse hydrologique



2.2 Contrôle de la qualité des données hydrométriques

Dans cette section, une analyse critique de la qualité et de la cohérence des chroniques associées aux différentes stations hydrométriques sera menée et permettra d'établir un choix de stations retenues pour la suite de l'analyse.

◆ Analyse critique des données hydrométriques disponibles

La qualité des chroniques hydrologiques des sept stations hydrométriques retenues précédemment est analysée plus finement à l'aide du logiciel Krithydro. Ce logiciel développé par BRLi permet une analyse comparative entre les différentes stations afin de soulever de potentielles incohérences pouvant être dues à des problèmes de mesures sur une ou plusieurs stations de l'échantillon. Ce logiciel permet également de calculer les principaux indicateurs du régime hydrologique (débits moyens mensuels, saisonniers, débits d'étiage) et de comparer à l'échelle régionale ces grandeurs afin de confirmer la cohérence générale de ces stations.

Cette analyse consiste en différentes étapes, pouvant varier d'une station à l'autre :

- Analyse de cohérence des débits amont/aval entre les stations
- Corrélation et double-cumul de stations (amont/aval ou stations géographiquement proches)
- lame d'eau écoulée, lame d'eau précipitée et coefficient d'écoulement (cohérence régionale)
- Calcul des principaux indicateurs hydrologiques (débits moyens mensuels, QMNA, VCN3, etc.)

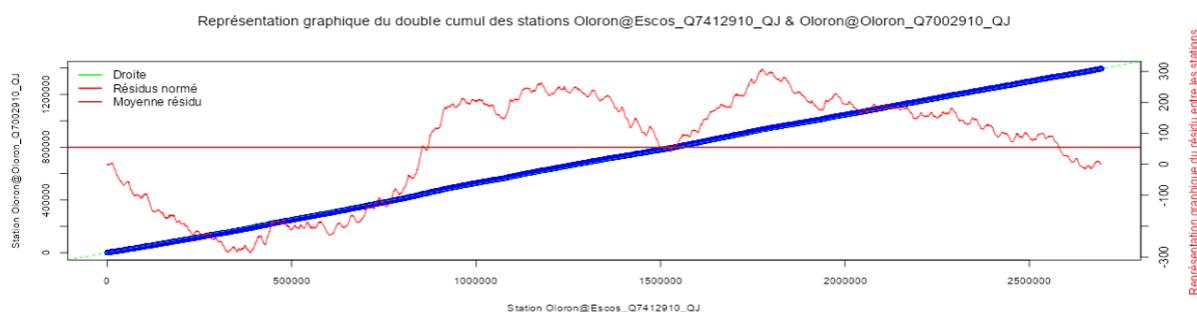
Les stations du Gave d'Oloron – Escos [Q7412910] et Oloron-Saint-Marie [Q7002910]

La station d'Escos draine une superficie de 2 456 km², elle est indiquée dans la plateforme Hydro Portail comme présentant un débit « pas ou faiblement influencé » par des usages amont. Il s'agit d'une station qui a été retenue parmi les stations de référence dans le projet Explore2 (utilisée pour la calibration de modèle hydrologique) et donc considérée comme suffisamment peu influencée pour considérer un comportement hydrologiquement pratiquement « naturel ».

La station d'Oloron draine une superficie de 1 100 km², les données de débits sont classées comme « bonnes » en basses, moyennes et hautes eaux. L'influence est considérée comme « nulle ou faible ». Elle présente l'avantage de disposer de données depuis plus de 100 ans, ce qui permet d'évaluer de façon robuste des statistiques hydrologiques mais également de mettre en avant d'éventuelles tendances des indicateurs hydrologiques.

La figure ci-dessous présente l'analyse de double-cumul sur ces deux stations (pour la période commune). Le résultats (courbe en bleu) est très proche d'une droite, il n'y a donc pas d'indice permettant de mettre en avant des incohérences entre ces deux stations (rupture de pente qui pourrait indiquer une anomalie dans les enregistrements d'une des deux stations).

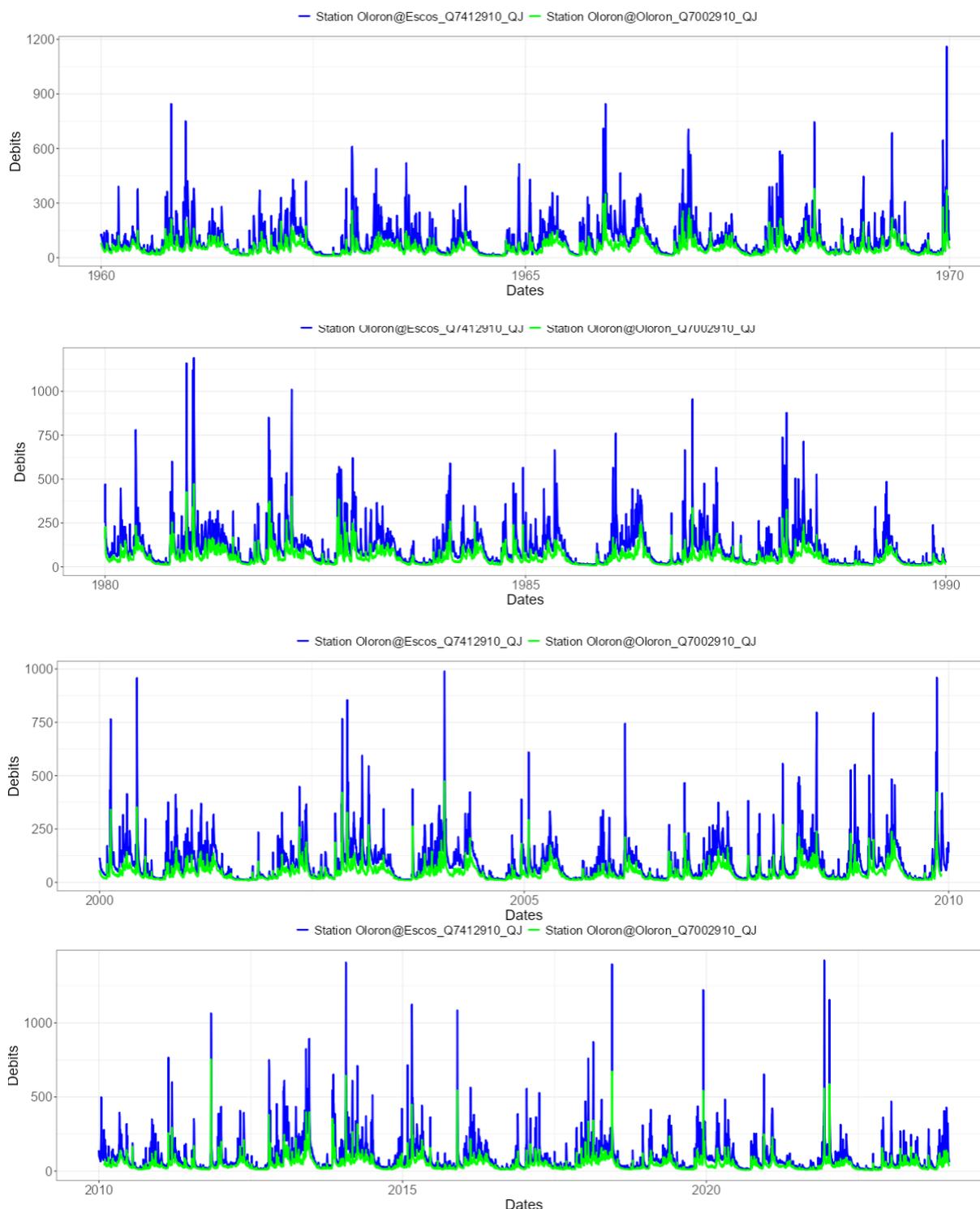
Figure 29 : Représentation graphique du test de double-cumul des stations Oloron@Escos et Oloron@Oloron



2. ÉVOLUTION RETROSPECTIVE DES RESSOURCES EN EAU

La figure ci-dessous présente une comparaison des débits sur les périodes 1960 – 1970, 1980 - 1990, 2000 - 2010 et 2010 – 2023. Aucune incohérence majeure n'a été détectée sur la période commune de débit.

Figure 30 : Hydrogrammes des débits moyens journaliers sur la période 1960 – 2023 pour les stations Oloron@Escos et Oloron@Oloron



Ces deux stations semblent être des stations pertinentes pour l'analyse hydrologique, des éléments comparatifs concernant les statistiques hydrologiques seront fournis dans la suite de l'étude.

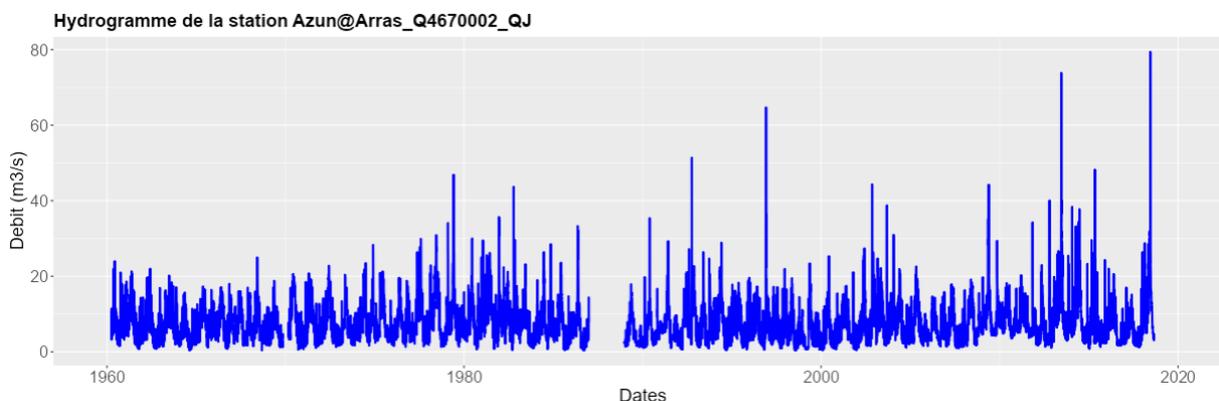
Station du Gave d'Azun à Arras-en-Lavedan

Cette station hydrométrique est située à l'aval de la centrale hydro-électrique d'Arras-Nouaux, les débits à cette station sont donc influencés par la gestion hydro-électrique, cette station n'est donc pas pertinente à retenir pour mettre en avant des évolutions d'origine climatique. En revanche elle pourra être utile pour définir les caractéristiques des régimes à ce point hydrologique.

La figure ci-dessous présente les débits moyens journaliers sur la période complète de données disponibles. On observe plusieurs éléments généraux sur cette chronique :

- Une période de données manquantes pour les années 1987 et 1988 (années complètement lacunaires)
- Des débits de base qui paraissent forts comparativement au reste de la chronique sur 2008 – 2015.
- Des débits de crue qui augmentent avec le temps (peu de données supérieures à 30 m³/s avec 1980, 3 événements supérieures à 60 m³/s après 1990)

Figure 31 : Hydrogramme de la station Azun@Arras

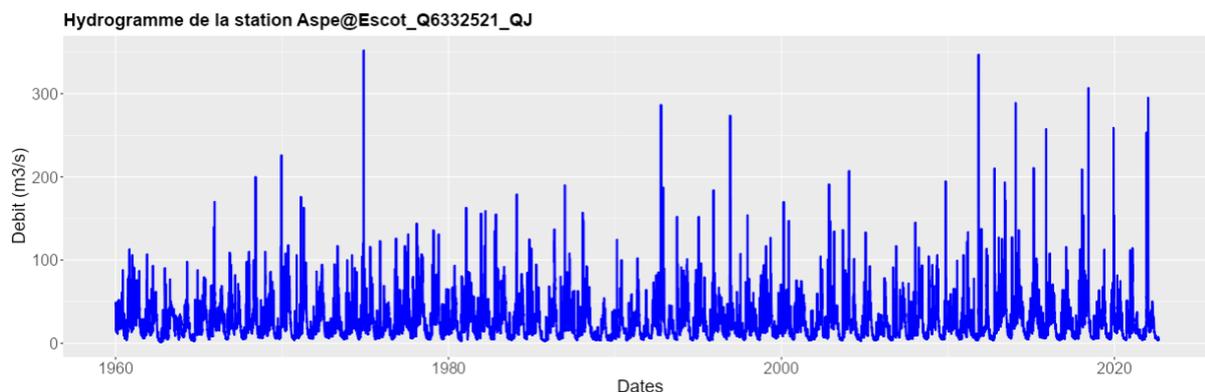


Station du Gave d'Aspé à Escot

Cette station draine un bassin versant de 425 km², correspondant à une tête de bassin montagneux, à l'image du bassin du Gave d'Azun à Arras (191 km²). La réserve d'Estaens située en amont influencerait de manière significative les débits à la station Escot, il s'agit donc d'une station qui n'est pas pertinente à intégrer dans les analyses d'évolution des débits d'origine climatique mais qui pourra être utile définir les caractéristiques des régimes à ce point hydrologique.

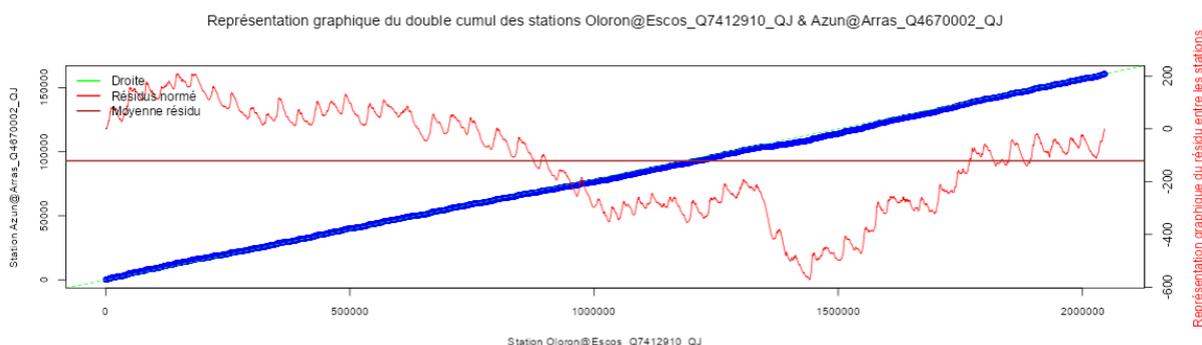
La visualisation de la chronique complète permet de mettre également en avant des forts débits plus importants dans la seconde partie de la chronique que dans la première partie, confirmant ainsi les observations réalisées sur le Gave d'Azun. Cependant, les débits de base plus élevés observés sur le Gave d'Azun ne sont pas observés sur le Gave d'Escot.

Figure 32 : Hydrogramme de la station Aspe@Escot



Les deux bassins ont la même orientation et sont relativement proches géographiquement, on décide donc de mener une analyse de double cumul qui permettrait de pointer des incohérences entre ces chroniques. Le résultat (courbe en bleu) est très proche d'une droite, il n'y a donc pas d'indice permettant de mettre en avant des incohérences entre ces deux stations (ex : rupture de pente qui pourrait indiquer une anomalie dans les enregistrements d'une des deux stations).

Figure 33. Représentation graphique du test de double-cumul des stations Oloron@Escos et Azun@Arras

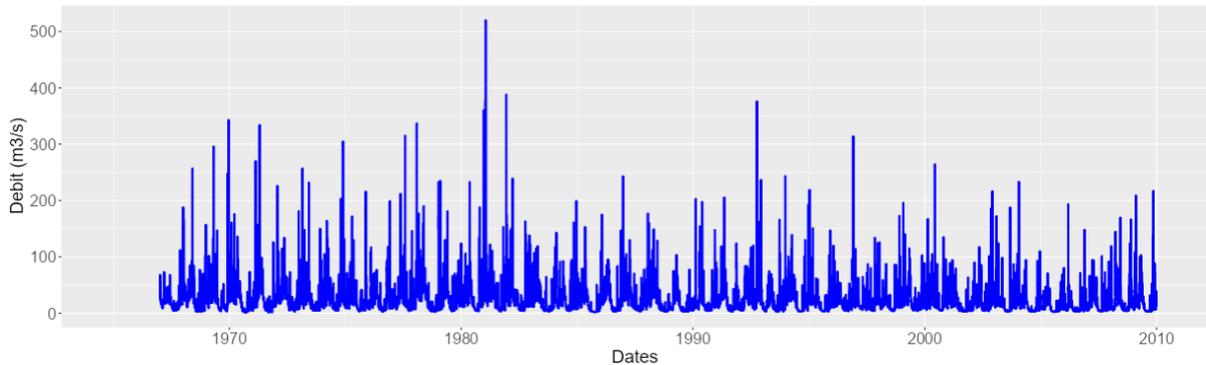


On choisit de retenir les stations du Gave d'Azun (Arras) et du Gave d'Aspe (Escot) pour définir les régimes hydrologiques de ces deux points hydrologiques. En revanche, les influences anthropiques sont trop importantes pour pouvoir considérer les débits comme naturels et analyser l'évolution des débits en cherchant à mettre en avant des évolutions associées aux changements climatiques.

Le Saison à Mauléon-Licharre [Q7322520]

Une visualisation générale de la chronique ne met pas en avant d'incohérences manifestes dans les données de débits. On note (contrairement à d'autres stations de la zone), une diminution des débits de crues au cours du temps (débits régulièrement supérieurs à 300 m³/s avant 1985 contre seulement deux événements supérieurs à 300 m³/s depuis 1985).

Figure 34 : Hydrogramme de la station de Mauléon-Licharre sur le Saison



Le Saison est un affluent du Gave d'Oloron, nous utilisons donc la chronique du Gave d'Oloron à Escos pour évaluer la cohérence amont-aval au cours du temps. Le coefficient de détermination est de 85% et confirme une bonne cohérence des débits à ces deux stations. Concernant l'analyse du double-cumul, le résultats (courbe en bleu) est très proche d'une droite, il n'y a donc pas d'indice permettant de mettre en avant des incohérences entre ces deux stations.

Figure 35 : Graphique Débit-Débit entre le Saison@Mauleon et le gave d'Oloron@Escos

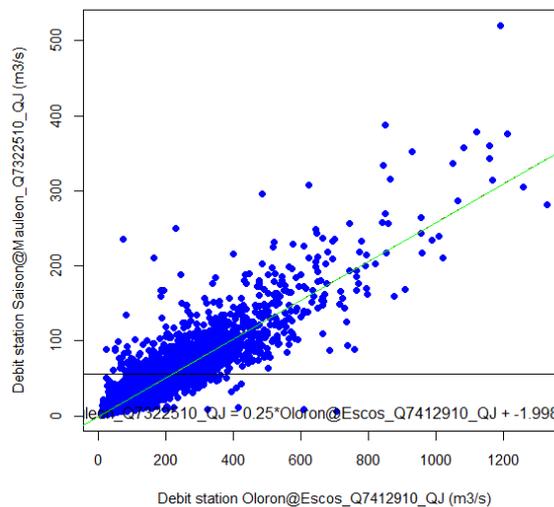
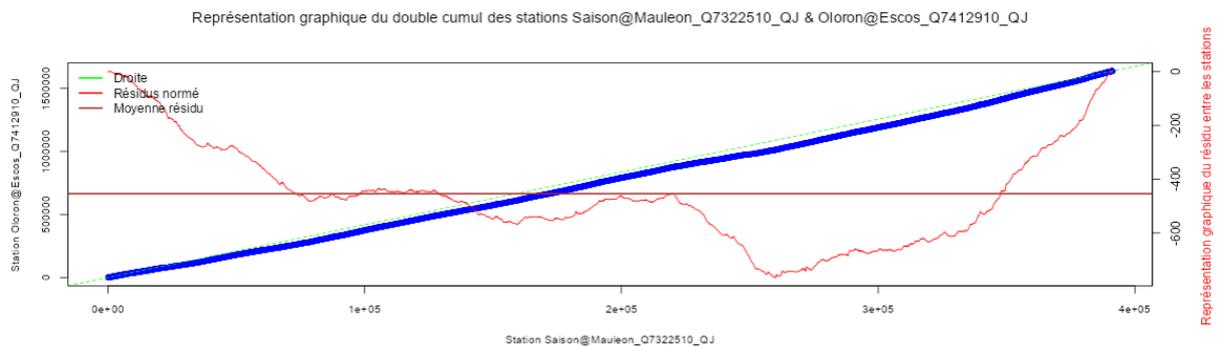


Figure 36 : Représentation du test de double-cumul entre le Saison@Mauleon et le gave d'Oloron@Escos



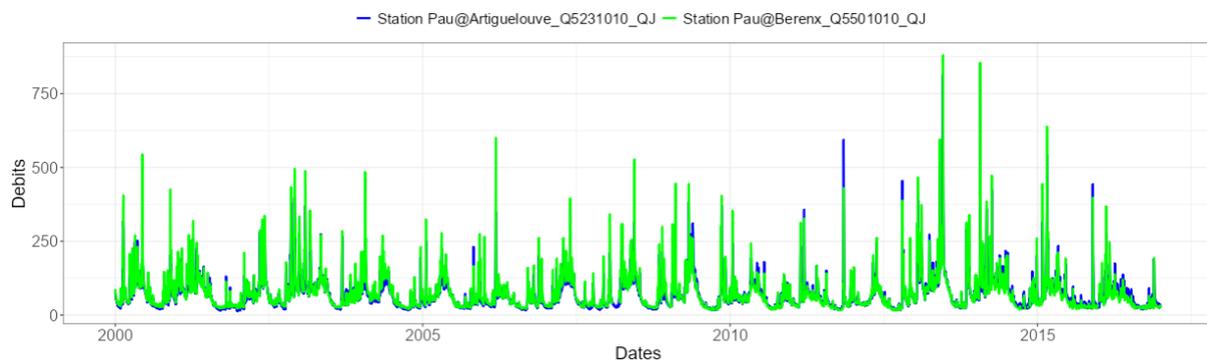
On décide de conserver la chronique totale du Saison à Mauléon-Licharre pour la suite de l'analyse hydrologique.

Le Gave de Pau à Berenx

La station de Berenx draine une superficie de 2 575 km², elle est indiquée dans la plateforme Hydro Portail comme présentant un débit « pas ou faiblement influencé » par des usages amont. Il s'agit d'une station qui a été retenue parmi les stations de référence dans le projet Explore2 (utilisée pour la calibration de modèle hydrologique) et donc considérée comme suffisamment peu influencée pour considérer un comportement hydrologiquement pratiquement « naturel ». Elle présente l'avantage de disposer de données sur 1925 – 2017 soit une période de pratiquement 100 ans. Les débits à cette station seront confrontés au débit de la station Artiguelouve sur le Gave de Pau (1 897 km²) qui présente 17 années en commun avec la station Berenx.

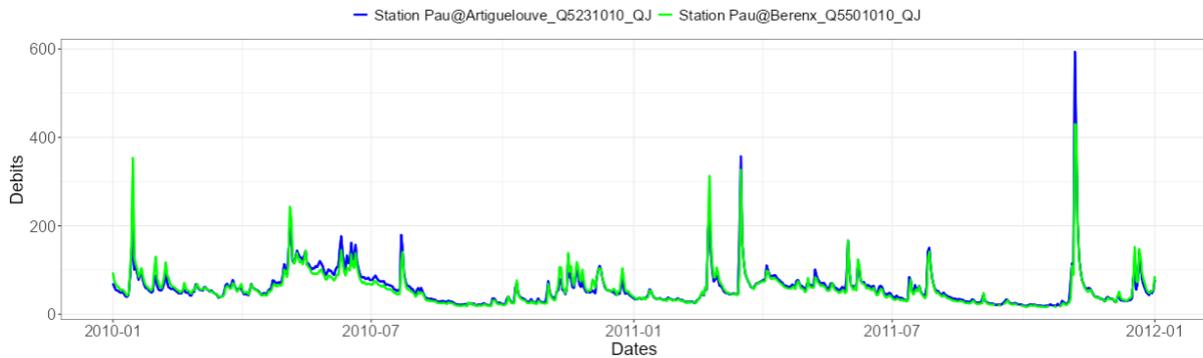
La figure ci-dessous présentant les débits pour ces deux stations sur la période commune (2000 – 2017) montre que les débits pour ces deux points sont très proches et que les chroniques sont cohérentes entre elles. On note pour quelques événements des débits plus forts en amont qu'en aval.

Figure 37 : Hydrogrammes des débits moyens journaliers sur la période 1960 – 2016 pour les stations Pau@Artiguelouve et Pau@Berenx



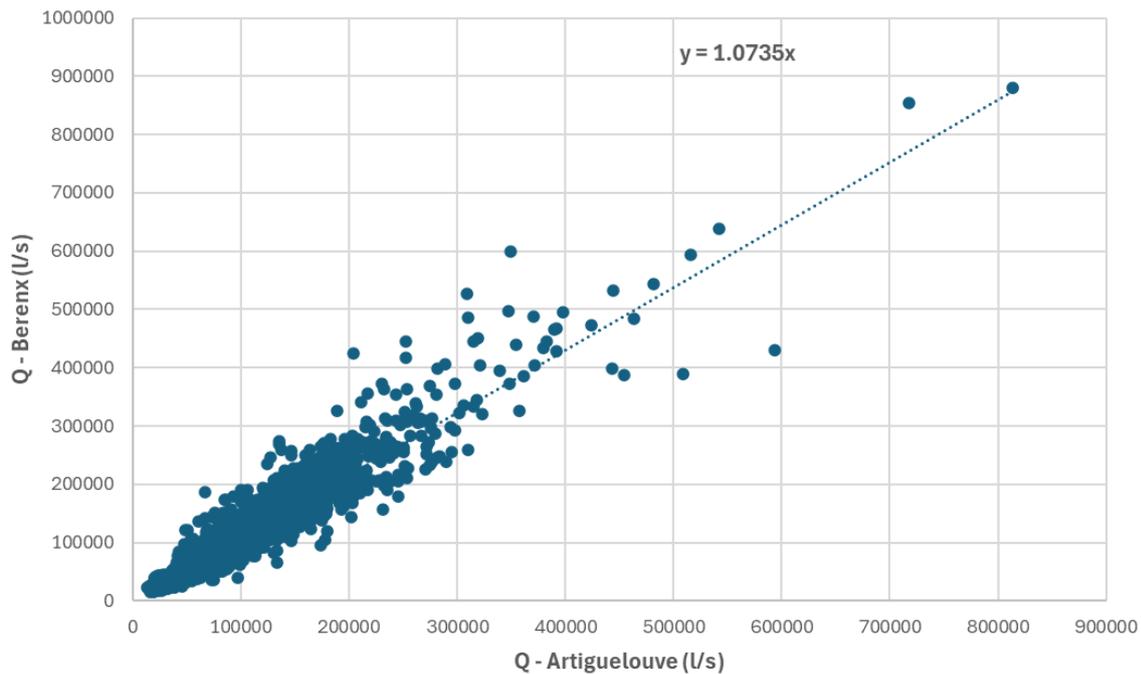
La figure ci-dessous concentre l'analyse comparative sur les années 2010 et 2011. On observe que les débits sont presque identiques et qu'il serait possible de compléter la chronique à la station Berenx entre 2017 et 2023 à partir des données de la station Artiguelouve.

Figure 38 :Hydrogrammes des débits moyens journaliers sur la période 2010-2012 pour les stations Oloron@Escos et Oloron@Oloron



Pour compléter la chronique à la station Berenx par la station Artiguelouve, on appliquera la relation linéaire présentée dans la figure ci-dessous.

Figure 39 : Relation linéaire entre les débits à Artiguelouve et ceux à Berenx (sur le Gave de Pau).



2.3 Caractéristiques des régimes hydrologiques

Nous présenterons dans cette section les principales caractéristiques hydrologiques (régime, indicateurs d'étiage) des stations retenues dans la section précédente.

◆ Calcul des indicateurs hydrologiques de référence

À partir des chroniques journalières sur la période 1994 – 2023, soit 30 années, les débits caractéristiques mensuels ont été calculés sur les six stations présentées préalablement. Les figures ci-dessous illustrent les valeurs de ces débits caractéristiques (débits moyens, débits quinquennaux secs et humides, QMNA, modules).

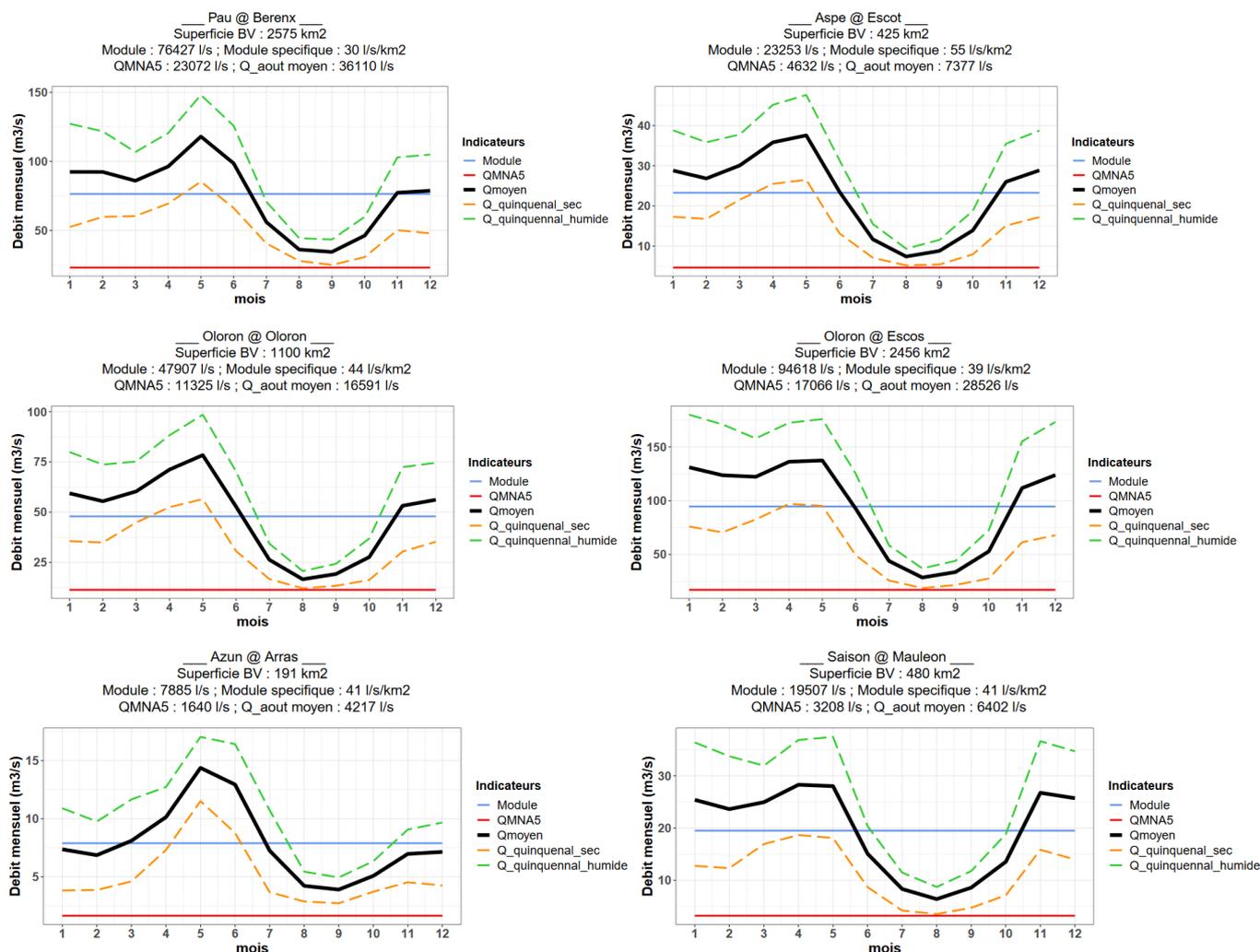
Le **débit moyen** d'un cours d'eau correspond à la moyenne des débits mesurés sur une période donnée, généralement une année ou une série d'années. Il est souvent représenté par le terme module, qui est la valeur de référence pour caractériser le débit moyen interannuel d'un cours d'eau.

Le **débit quinquennal sec** (Q5 sec) représente le débit minimal observé ou estimé statistiquement sur une période de retour de 5 ans ; il est utilisé pour évaluer les situations de sécheresse exceptionnelles. Il a une probabilité ayant une probabilité de 4/5 d'être dépassé chaque année. À l'inverse, le **débit quinquennal humide** (Q5 humide) désigne le débit maximal susceptible d'être atteint ou dépassé tous les 5 ans en moyenne, utile pour estimer les crues fréquentes. Il a une probabilité de 1/5 d'être dépassé chaque année.

Enfin, le **QMNA (débit (Q) mensuel (M) minimal (N) de chaque année civile (A))**, souvent exprimé comme QMNA 5, correspond au débit minimal moyen d'un cours d'eau sur une durée continue de 1, 3 ou 10 jours, avec une période de retour de 5 ans.

Lorsque les données sur l'ensemble de la période 1994 – 2023 ne sont pas disponibles, seules les données disponibles entre 1994 et 2023 sont utilisées pour calculer ces indicateurs.

Figure 40 : Principales caractéristiques hydrologiques des six stations hydrométriques analysées dans le cadre de cette étude



La station de **Pau à Berenx**, associé au plus grand bassin versant (2575 km²), présente le deuxième plus fort module parmi les stations analysées (76 m³/s) après la station d'Oloron à Escos (94 m³/s). La variabilité saisonnière y est marquée, avec des crues importantes au printemps, en lien avec la fonte des neiges, et un étiage prononcé en été. En année quinquennale humide, les débits du mois de mai dépassent 150 m³/s, tandis qu'en année quinquennale sèche, ils chutent pour atteindre autour de 20 m³/s au mois de septembre. À l'opposé, la station de **Aspe à Escot** est associée à un plus petit bassin versant (425 km²). Cette station montre une dynamique semblable mais avec des valeurs bien moindres (module de 23 m³/s). Elle présente cependant la plus forte valeur de débit moyen par unité de surface (55 l/s/km²) alors que la station de Pau à Berenx présente la valeur la plus faible (30 l/s/km²).

Les deux stations situées sur le bassin de l'Oloron montrent des différences liées à la taille du bassin versant. **Oloron à Oloron**, sur un bassin de 1100 km², affiche un module moyen de 48 m³/s et une variabilité saisonnière modérée, avec des étiages marqués (<25 m³/s). En aval, à **Oloron à Escos** (bassin de 2456 km²), les débits augmentent fortement, atteignant un module de 94 m³/s. Cette station illustre bien l'effet d'accumulation des débits dans les bassins plus larges, avec des crues en période humide (200 m³/s) et une certaine résilience durant la période d'étiage (>25 m³/s). En conclusion, les dynamiques hydrologiques de ces deux stations sont relativement proches.

Enfin, les stations des bassins plus petits, Azun à Arras et Saison à Mauleon, présentent une variabilité interannuelle qui semble plus importante. L'Azun, avec un bassin de seulement 191 km², montre des débits restreint (module de 7.9 m³/s) et la plus forte variabilité intra-annuelle des stations étudiées (faible hydraulité en hiver, débits printaniers importants et étiages estivaux marqués). Le Saison, associé à un bassin intermédiaire de 480 km², présente un module de 20 m³/s. La différence entre les saisons d'hiver et de printemps est bien moindre que pour les autres stations (débits peu variables de novembre à mai) mais l'étiage estival reste très marqué avec des valeurs de QMNA5 de l'ordre de 3 m³/s.

Malgré les différences de superficies, toutes ces stations présentent des régimes hydrologiques proches caractérisés par des débits maximums au printemps (lors de la fonte) et une période d'étiage l'été (baisse des précipitations et augmentation des pertes par évaporation). Les valeurs de débits quinquennaux secs et humides permettent de quantifier la variabilité interannuelle des écoulements pour ces stations.

Les grands bassins, comme ceux de Pau ou d'Oloron, présentent des débits plus importants et sont donc moins sensibles aux périodes d'étiage (en valeurs absolues), grâce à une accumulation des flux. En revanche, les petits bassins, comme Azun et Aspe, montrent une sensibilité accrue aux périodes sèches, où les débits chutent considérablement. Les indicateurs tels que le QMN5 et les débits quinquennaux permettent de caractériser des événements « rares » secs ou humides et d'évaluer la vulnérabilité de chaque bassin aux variations climatiques.

2.4 Évolution passée d'indicateurs de débits et de régime hydrologique

Dans ce paragraphe, nous étudierons les évolutions sur la période historique de certains indicateurs hydrologiques (débit moyen annuel, QMNA, VCN10, débit moyen du mois d'étiage principal). Cette analyse rétrospective hydrologique sera complétée en phase 2 d'une analyse prospective hydrologique à partir de l'exploitation des résultats du projet EXPLORE2 sur la zone d'étude.

Afin d'évaluer les évolutions passées de l'hydrologie de la zone d'étude, les chroniques de débits moyens journaliers pour les stations suivantes ont été retenues :

- Le Gave d'Oloron à Escos
- Le Gave d'Oloron à Oloron
- Le Gave de Pau à Berenx (chronique complétée après 2017 à partir de la relation avec la station Artiguelouve)
- Le Saison à Mauleon-Licharre.

Ces stations ont l'intérêt de présenter un historique important (plus de quarante années de disponibles), avec peu de lacunes et des influences anthropiques limitées, ainsi qu'une qualité d'estimation satisfaisante quelles que soient les conditions de débits.

Pour chacune de ces quatre stations, on calcule sur deux périodes de minimum 20 années, une période historique et une période récente, différents indicateurs de débits : le QMNA, le débit moyen estival (juin à août), le débit mensuel d'étiage (août ou septembre) et le débit moyen annuel. On évalue les écarts (en %) entre ces deux périodes pour ces indicateurs. Des analyses de tendances (application du test de Mann-Kendall) permettent également de mettre en avant la significativité ou non des évolutions de ces indicateurs sur la période complète d'analyse (avec un seuil de significativité retenu de 5%¹).

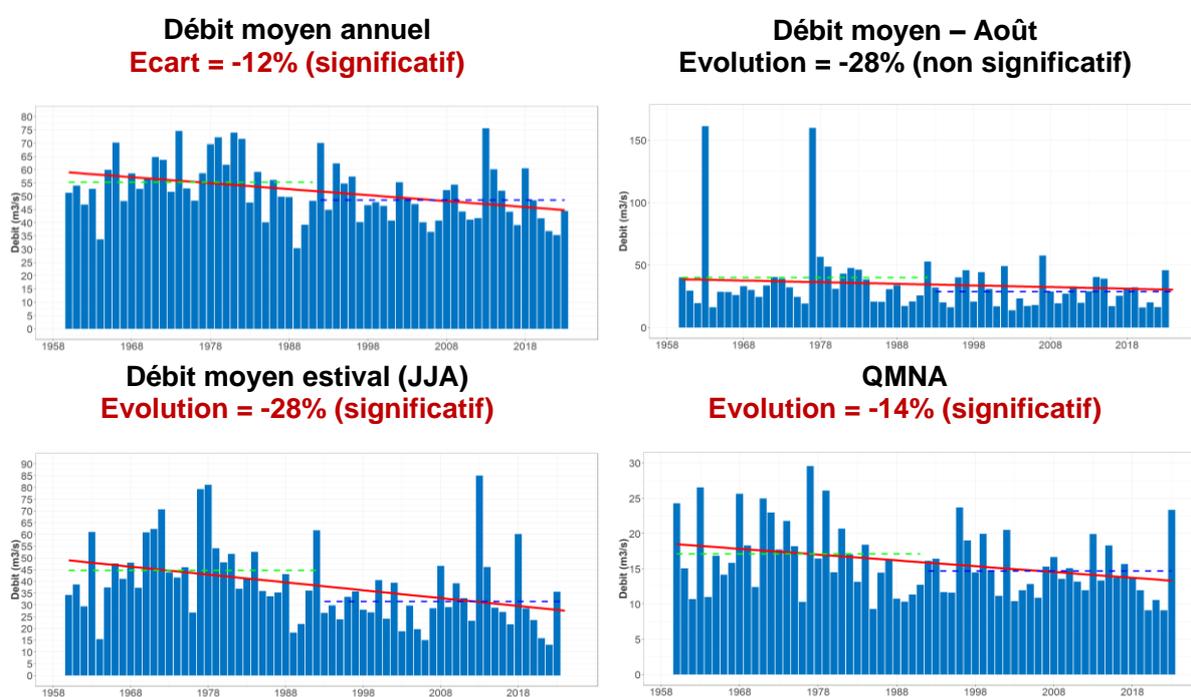
¹ Il s'agit du seuil de risque de se tromper dans le rejet ou non de l'hypothèse nulle. La p-valeur est comparée à ce seuil de significativité. Prendre un seuil de significativité de 5% impose un risque de se tromper de 5% dans les conclusions du test de tendance.

Pour chacune des quatre stations, on représente également le régime hydrologique (à partir des débits moyens journaliers interannuels, glissés sur 10 jours). Cette analyse est complémentaire de l'analyse de tendances sur les indicateurs de débits et permet de visualiser l'éventuel glissement d'une typologie de régime vers une autre (ex : d'un régime pluvio-nival à un régime pluvial).

Le Gave d'Oloron à Oloron

Les figures ci-dessous présentent les analyses des chroniques des quatre indicateurs de débits retenus pour le Gave d'Oloron à Oloron. On note que pour trois des quatre indicateurs, l'évolution est significative (p-valeurs² inférieures à 5%), avec des écarts entre les deux périodes de -12 % pour le débit moyen annuel à -28% pour le débit moyen estival (juin, juillet et août). Une tendance à la baisse de ces indicateurs de débits (et notamment des débits d'étiage) est donc très probable à cette station.

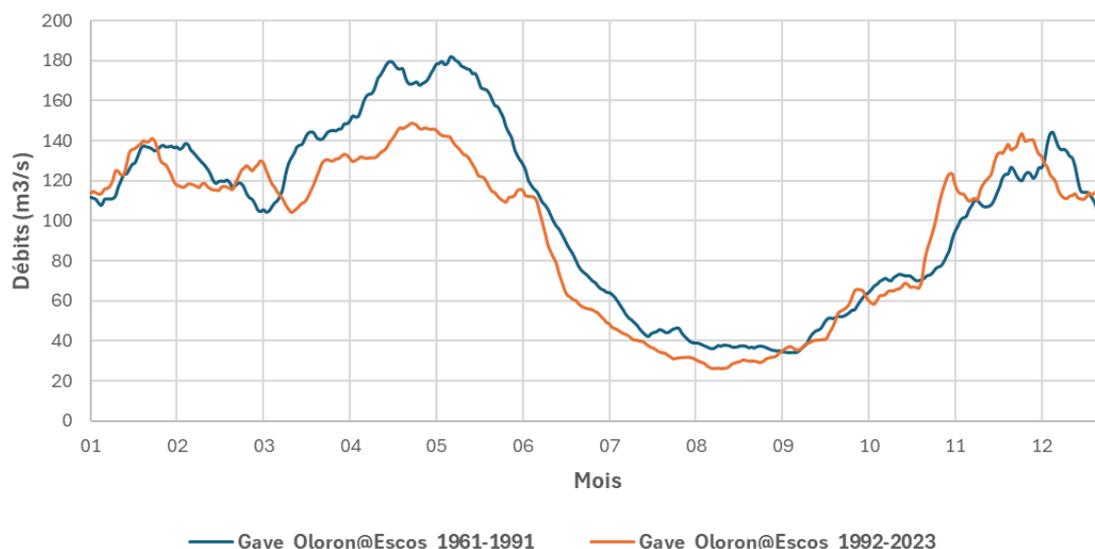
Figure 41 : Évolution de quatre indicateurs hydrologiques entre une période historique et une période récente à la station Oloron sur le Gave d'Oloron.



La figure ci-dessous présente le régime hydrologique (débit moyen journalier) pour les deux périodes étudiées sur le gave d'Oloron à Oloron. On observe un débit systématiquement réduit sur la période récente par rapport à la période historique entre mars et août. Les écarts sont notamment très importants en avril, mai et juin, correspondant aux mois associés à la fonte nivale. La diminution des précipitations sous forme solide sur les reliefs des Pyrénées (voir Section 1.4.2) est une des raisons principales de cette diminution observée des écoulements au printemps (diminution du stock de neige disponible pendant la fonte). On observe également que le débit minimal annuel est atteint plus tard dans l'année sur la période récente (première quinzaine d'août contre fin août/début septembre pour la période historique). L'augmentation de l'évapotranspiration potentielle (du fait de l'augmentation des températures, voir Section 1.3) pourrait également jouer un rôle important dans cette diminution observée des débits estivaux. Ces analyses sur l'évolution du régime hydrologique du Gave d'Oloron à Oloron confirment et complètent les analyses de tendances sur les indicateurs de débits présentés précédemment.

² La p-valeur est la probabilité d'obtenir une donnée aussi extrême sous l'hypothèse nulle (absence de tendance). Elle est comparée au seuil de significativité (alpha = 5%) afin de rejeter ou non l'hypothèse nulle. Lorsque l'hypothèse nulle est rejetée (p-valeur < à 5%), on considère la tendance comme significative.

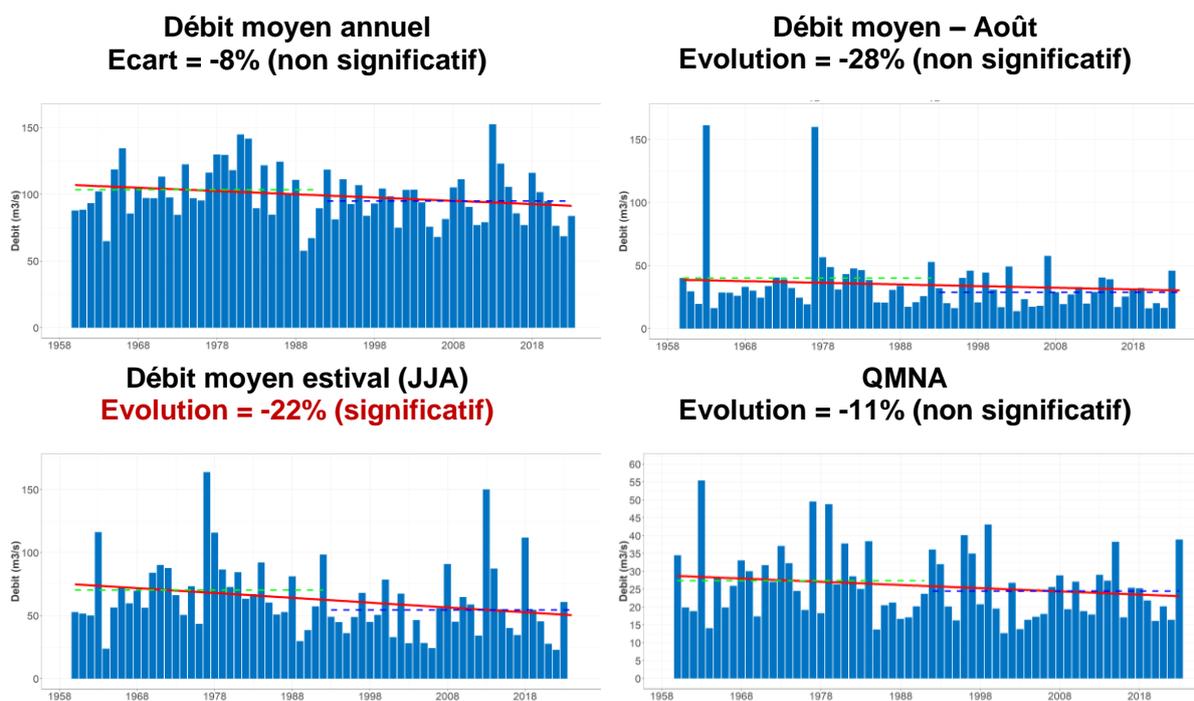
Figure 42 : Régimes hydrologiques du gave d'Oloron à Oloron pour deux périodes (1961-1991 et 1992-2023)



Le Gave d'Oloron à Escos

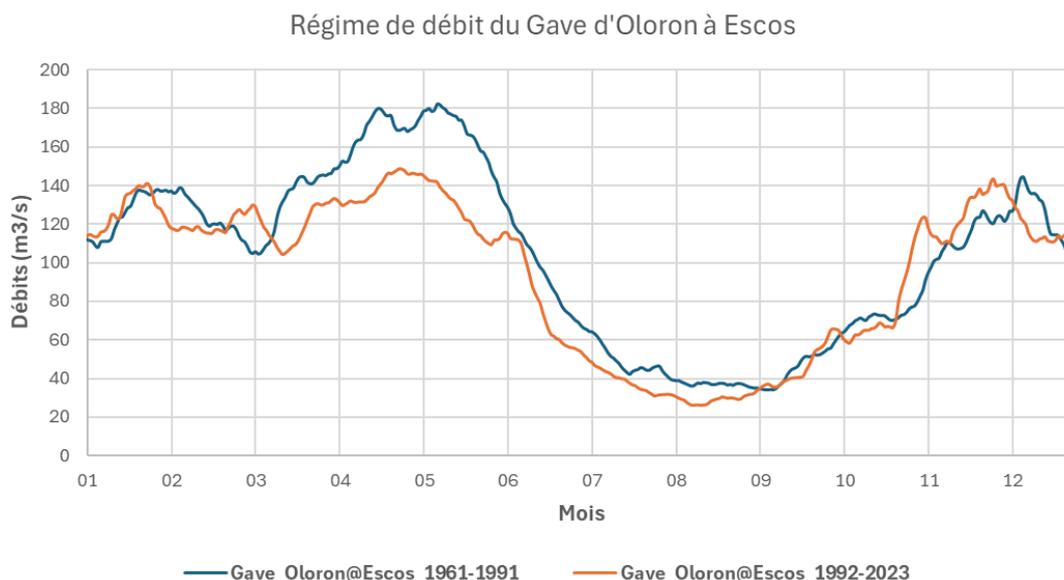
Les figures ci-dessous présentent les analyses des chroniques des quatre indicateurs de débits retenus pour le gave d'Oloron à Escos. Comme pour la station à Oloron, les valeurs de débit des indicateurs de la seconde période sont systématiquement inférieures à la première période (-8% à -28% en fonction des indicateurs). Cependant, seule l'évolution du débit moyen estival est statistiquement significative (seuil de significativité à 5%). Cette analyse confirme tout de même une tendance générale à la baisse des débits d'étiage sur le Gave d'Oloron, déjà mise en avant à la station Oloron.

Figure 43 : Évolution de quatre indicateurs hydrologiques entre une période historique et une période récente à la station Escos sur le gave d'Oloron.



La figure ci-dessous présente le régime hydrologique (débit moyen journalier) pour les deux périodes étudiées sur le Gave d'Oloron à Escos. On observe à la station Escos sur le Gave d'Oloron que les débits printaniers sont beaucoup plus faibles sur la période récente (1992-2023) que sur la période historique (1961-1991). C'est également le cas pour les débits estivaux (dans une moindre mesure en valeurs absolues). Ces évolutions sont certainement les conséquences de la diminution des précipitations neigeuses dans le massif Pyrénéen. On remarque que le débit minimal annuel est atteint plus tôt dans l'année pour la période récente (première quinzaine d'août) par rapport à la période historique (première quinzaine de septembre). Cette analyse confirme et complète les analyses de tendances réalisées dans la section précédente.

Figure 44 : Régimes hydrologiques du Gave d'Oloron à Escos pour deux périodes (1961-1991 et 1992-2023)

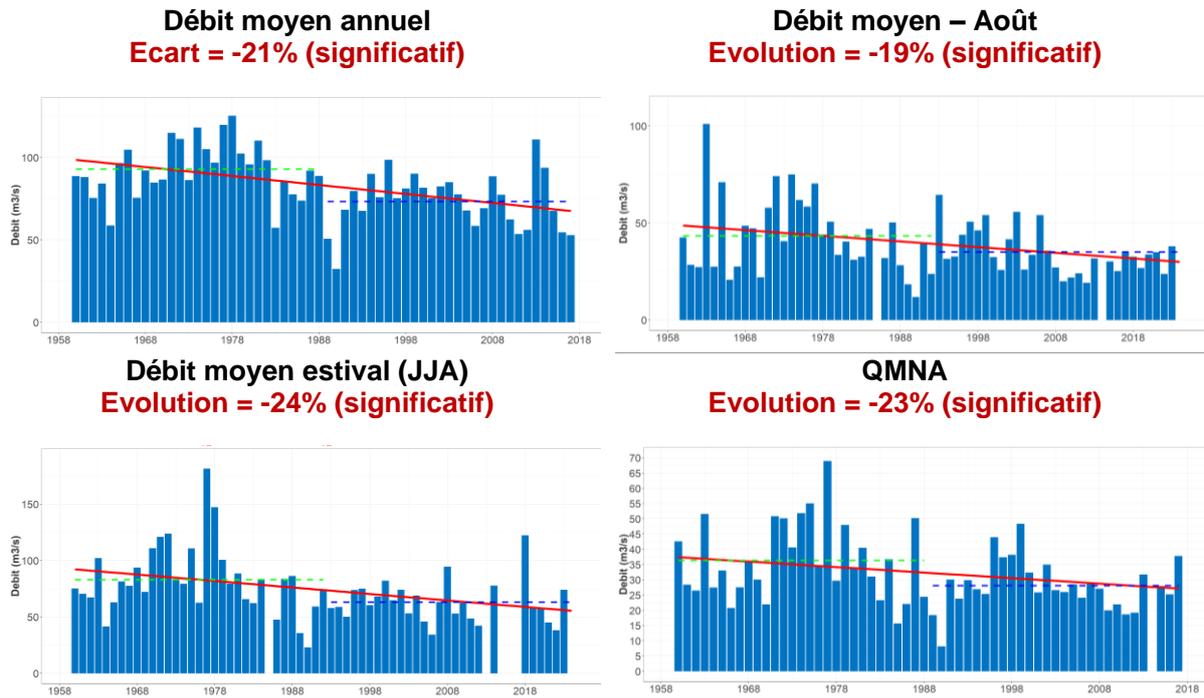


Le Gave de Pau à Berenx

Les figures ci-dessous présentent les analyses des chroniques des quatre indicateurs de débits retenus pour le Gave de Pau à Berenx. Pour cette station, les données après la fermeture de la station (juillet 2017) ont été estimées à partir d'une régression linéaire avec la station Artiguelouve, située en amont. Comme pour le Gave d'Oloron, les analyses sur le Gave de Pau à Berenx mettent en avant des valeurs d'indicateurs de débits plus faibles sur la seconde période par rapport à la première période. **Ces écarts sont de l'ordre de -19 % à -24 %, et sont tous associés à une diminution statistiquement significative** (seuil de significativité à 5%). Il semble donc clair que le Gave de Pau connaît une diminution de ces indicateurs de débits, et notamment des indicateurs d'étiage, sur la période 1960 – 2024.

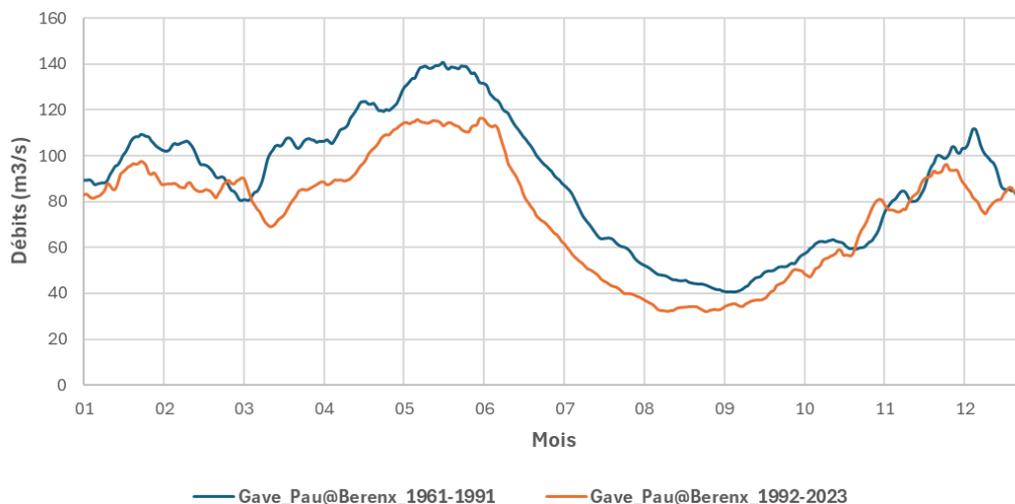
2. ÉVOLUTION RETROSPECTIVE DES RESSOURCES EN EAU

Figure 45 : Évolution de quatre indicateurs hydrologiques entre une période historique et une période récente à la station Berenx sur le Gave de Pau.



La figure ci-dessous présente le régime hydrologique (débit moyen journalier) pour les deux périodes étudiées sur le Gave de Pau à Berenx. On observe pour cette station un écart presque systématique (de l'ordre de -10 à -20 m³/s) de mars à août entre les débits des deux périodes analysées. Comme pour le Gave d'Oloron, ces écarts sont certainement les conséquences de la diminution du manteau neigeux pyrénéen. L'augmentation des températures, et donc de l'évapotranspiration potentielle, pourrait également jouer un rôle dans la diminution des débits, notamment estivaux. La date associée à la valeur minimale du débit est plus précoce pour la période récente (première quinzaine d'août contre première quinzaine de septembre pour la période historique). Cette analyse confirme et complète les analyses de tendances réalisées dans la section précédente.

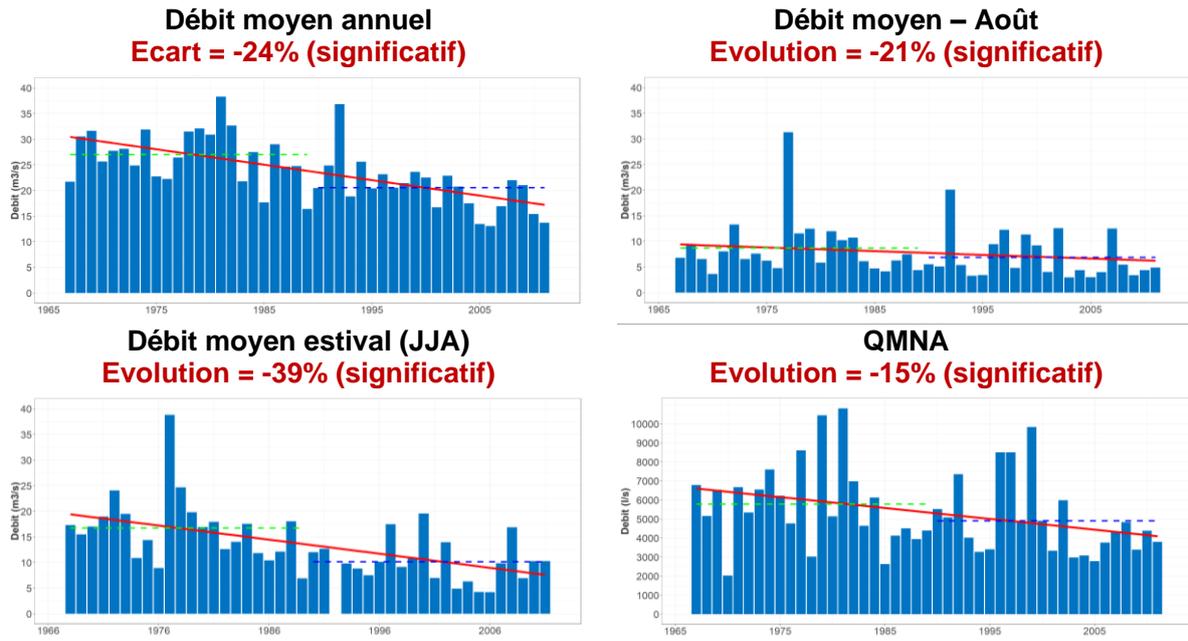
Figure 46 : Régimes hydrologiques du gave de Pau à Berenx pour deux périodes (1961-1991 et 1992-2023)



Le Saison à Mauléon-Licharre

Les figures ci-dessous présentent les analyses des chroniques des quatre indicateurs de débits retenus pour le Saison à Mauléon-Licharre. Pour cette station, la chronique est moins fournie que pour les autres, les analyses s'effectuent sur la période 1967 – 2011. Comme pour les autres stations précédemment analysées, la station Mauléon-Licharre sur le Saison est caractérisée par des indicateurs de débits sur la période récente significativement plus faible que pour la période la plus ancienne. Les écarts varient entre -15% et -39%, le débit moyen de la période estivale étant l'indicateur associé à la plus forte diminution.

Figure 47 : Évolution de quatre indicateurs hydrologiques entre une période historique et une période récente à la station Mauléon-Licharre sur le Saison.



38

La figure ci-dessous présente le régime hydrologique (débit moyen journalier) pour les deux périodes étudiées sur le Saison à Mauléon-Licharre. On observe pour cette station des écarts très importants au printemps mais également l'hiver, avec des débits plus forts sur la période historique que sur la période récente. Pour la période estivale (juin à août), les débits sont également plus forts pour la période historique mais dans une moindre mesure comparativement au printemps. Les explications des écarts observés au printemps et en été ont déjà été évoquées pour les stations précédentes (diminution du manteau neigeux et augmentation de l'ETP). Les différences observées dans les débits hivernaux sont quant à eux difficiles à expliquer.

Figure 48 : Régimes hydrologiques du Saison à Mauléon-Licharre pour deux périodes (1967-1989 et 1990-2011)



Synthèse des évolutions hydrologiques

Le tableau ci-dessous résume les écarts des indicateurs hydrologiques étudiés entre les deux périodes analysées et informe sur la significativité (seuil de significativité à 5%) ou non des évolutions pour chacune des stations. **Les écarts sont systématiquement négatifs (pour toutes les stations et tous les indicateurs) et près de 80% des valeurs sont significatives. Parmi les indicateurs analysés, c'est pour la période estivale (juin, juillet et août) que les évolutions sont les plus marquées avec des écarts situés entre -24% et -39% en fonction des stations.** L'écart le plus important concerne le Saison, situé en tête de bassin et dont la surface est très inférieure aux autres stations analysées. Les évolutions de QMNA sont très proches d'une station à l'autre (-11% à -16%), alors que les disparités sont plus importantes concernant les évolutions de débits moyens annuels (-8% à -24%).

Les analyses sur les régimes mettent en avant des différences majeures d'écoulement au printemps (forte baisse des écoulements sur la période la plus récente), ce qui est en cohérence avec la baisse significative des précipitations solides mise en avant en Section 1.4.2. Avec l'augmentation des températures, la quantité d'eau stockée sous forme de neige est plus réduite, ce qui entraîne une diminution des écoulements printaniers et estivaux. L'analyse met également en avant que la date du débit minimal journalier tend à être plus précoce (avancée d'environ 1 mois entre les deux périodes d'analyse) avec un étiage plus sévère. L'augmentation de l'ETP (voir Section 1.3) est également un élément expliquant la diminution des débits estivaux.

Il n'est pas exclu que le fonctionnement d'ouvrages hydro-électriques présents sur la zone d'étude ainsi que d'autres usages expliquent en partie ces évolutions même s'ils ne peuvent expliquer la totalité des signaux mis en avant.

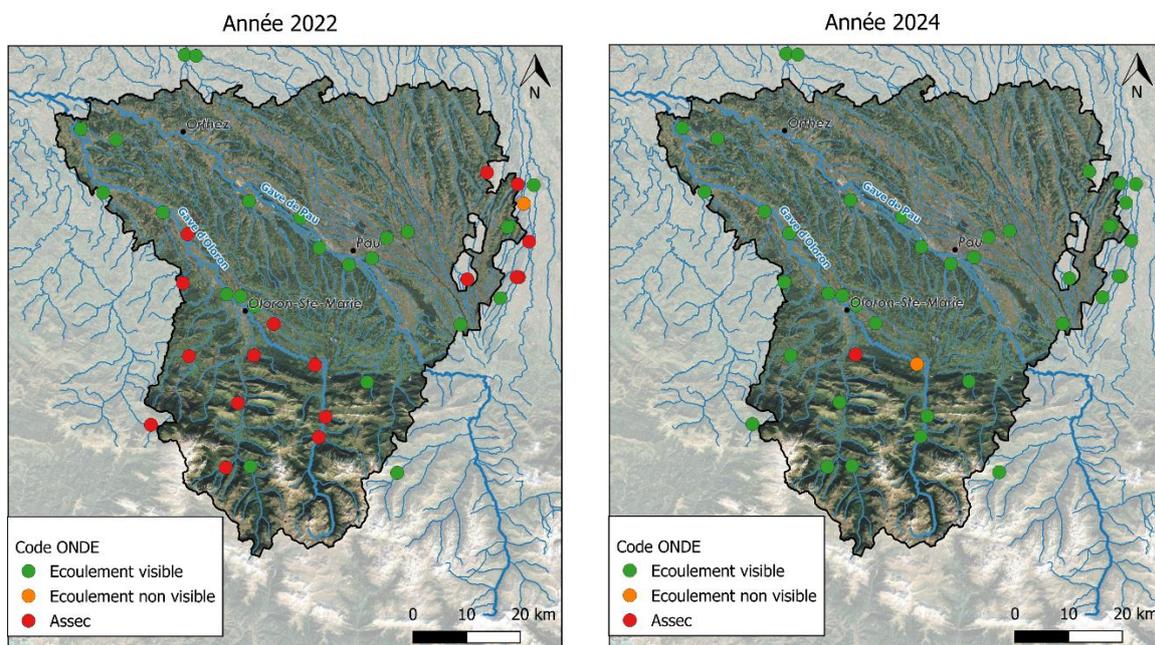
Tableau 2 : Résumé des évolutions de quatre indicateurs hydrologiques sur la période historique (en rouge les évolutions statistiquement significatives).

Rivière	Station	Période n°1	Période n°2	Q _{Annuel}	Q _{Mois_Étiage}	Q _{Été}	QMNA
Gave d'Oloron	Escos	1961 - 1991	1992 - 2023	-8%	-28%	-28%	-11%
Gave d'Oloron	Oloron	1961 - 1991	1992 - 2023	-12%	-29%	-29%	-14%
Gave de Pau	Berenx	1960 - 1991	1992 - 2023	-16%	-19%	-24%	-16%
Saison	Mauléon-Licharre	1967 - 1989	1990 - 2011	-24%	-21%	-39%	-15%

2.5 Évolution des assecs depuis la mise en place du réseau ONDE

Le réseau national ONDE (Observatoire National Des étiages), piloté par l'OFB, suit depuis 2012 une quarantaine de points du réseau hydrographique dans le Pays du Béarn. Chaque année, entre mai et septembre, l'ensemble des stations est visité (autour du 25^{ème} jour du mois) afin de caractériser l'écoulement au droit des sites de suivi (écoulement visible, écoulement non visible ou assec). Nous exploitons l'ensemble des données ONDE sur le territoire du Béarn afin de définir pour chaque année la situation la plus défavorable atteinte pour chacun des points de suivi sur la période 2012 à 2024³. La figure ci-dessous présente pour deux années contrastées (2022 : année « sèche » ; 2024 : année « humide »), la situation hydrologique la plus défavorable associée aux différentes stations.

Figure 49 : Présentation de la situation hydrologique la plus défavorable archivée par le réseau ONDE pour les stations du Béarn, pour les années 2022 et 2024.

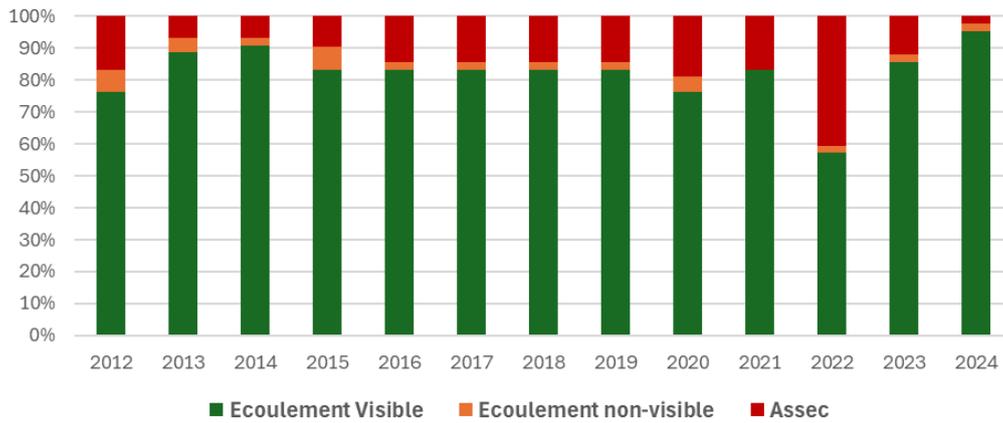


La figure ci-dessous représente les proportions des points de suivi du Pays du Béarn associées à chacun des trois codes ONDE (situation la plus défavorable de l'année) sur la période 2012 – 2024. Cette figure permet de visualiser clairement l'année particulièrement sèche de 2022 pour laquelle 40% des points suivis étaient en situation d'assec. En moyenne sur la période 2012 – 2024, ce sont environ 15% des points de suivis qui se retrouvent en situation d'assec au cours de l'année. La chronique est trop courte pour mettre en avant des tendances de fond sur la pérennité des écoulements mais l'outil ONDE reste néanmoins intéressant pour suivre spatialement les situations hydrologiques du territoire des points non suivis par des stations hydrométriques conventionnelles.

³ La situation la plus défavorable pour chacun des points pris individuellement, et non la situation la plus défavorable à l'échelle du territoire. Les dates des situations les plus défavorables peuvent donc être différentes d'un point de suivi à l'autre.

2. ÉVOLUTION RETROSPECTIVE DES RESSOURCES EN EAU

Figure 50 : Proportion par année des codes ONDE les plus défavorables sur le territoire du Pays du Béarn





BRL Ingénierie
1105, av. Pierre Mendès-France
BP 94001 | 30001 Nîmes Cedex 5

Tél : +33(0)4.66.87.81.11
Email : brli@brl.fr
www.brli.brl.fr

