Version du 21 novembre 2023

SAGE NESTE ET RIVIERES DE GASCOGNE

Etat des lieux

Partie 2

Tendances et Scenarios

Note thématique : Hydrologie du futur

SAGE NESTE & RIVIÈRES DE GASCOGNE

Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux

eaucea

72 rue Riquet
31000 TOULOUSE
Tel. 05 61 62 50 68
eaucea@eaucea.fr

Sommaire

Résumé de la note technique 5
Le territoire est complexe et se partage en une partie amont (Neste) et les coteaux de Gascogne, et différents modèles sont mobilisés 5
Hydrologie Future 6

Evolution de la ressource en eau 7
Un horizon hydrologique à partager 8
Les simulations à disposition du SAGE 10

Des tendances déjà engagées dans la période contemporaine 16
Température 16
Evapotranspiration potentielle 16
Précipitations 16
Manteau Neigeux 16

Prospectives 17
Projections climatiques 17
Projections hydrologiques sur la Neste 18
Projections hydrologiques sur les vallées de Gascogne 20

Conséquences pour la gestion 29
Selectionner des modèles 30
Enjeu pour la Gestion des cours d'eau réalimentés 35
L'équilibre bilan ressource global : Des jalons a identifier pour une trajectoire imposée à moyens termes 43

Bibliographie 46

Résumé de la note technique

LE TERRITOIRE EST COMPLEXE ET SE PARTAGE EN UNE PARTIE AMONT (NESTE) ET LES COTEAUX DE GASCOGNE, ET DIFFERENTS MODELES SONT MOBILISES

- Sur la Neste des travaux ont été effectués par des scientifiques de l'INRAE à partir d'une sélection de modèles **de climat global** (CMIP5) projetés sur le territoire et traduit en hydrologie à l'aide du modèle GR6J.
- Sur la partie rivières de Gascogne, des simulations plus récentes de climat régional peuvent être mobilisés : **Il s'agit des modèles DRIAS-2020 et du modèle hydrologique SIM2** (seul disponible en Août 2023)
- **Pour les modèles mobilisés** (DRIAS2020 et modèles globaux antérieurs), **le scénario d'émission de gaz à effet de serre** RCP8.5 est celui qui traduit le mieux le réchauffement déjà observé sur la France et les réchauffements futurs aux vues des engagement fermes des états et des travaux scientifiques les plus récents
- **Les médianes des projections hydro-climatiques sont présentés ici, mais les incertitudes sont importantes (cf. rapport détaillé)**

HYDROLOGIE FUTURE

Une hydrologie future impactée par les changements climatiques

- Les changements climatiques déjà observés (hausses des températures et des évapotranspirations, diminution de l'enneigement) vont continuer dans le futur et s'accompagneront d'une tendance à la baisse des précipitations notamment estivales
- Ces changements impactent l'hydrologie actuelle et future

Projections hydrologiques sur la Neste (étude INRAE)

- A horizon 2050, une ressource annuelle en baisse de -20% en haute montagne et -32% en moyenne montagne (Sarrancolin), avec une forte diminution des volumes entrant dans les retenues et des capacités de dérivation du canal de la Neste en été et automne.
- A la fin du siècle, une aggravation des baisses des débits, touchant y compris l'hiver et risquant de remettre en question le cycle de gestion hydroélectrique des ouvrages de montagne.

Projections hydrologiques sur les vallées de Gascogne

- Les modèles hydroclimatiques DRIAS-SIM2 prévoient des étiages futurs sévères et aggravés et des modules à la baisse
- D'après la médiane des modèles hydroclimatiques : -6% en module à horizon 2040-2069 (-17% en 2070-2099), -40 à -50% sur les VCN30 en 2040-2069 par rapport à 1981-2010
- Sur la période Juin à Septembre, -47 hm^3 écoulés sur la somme des rivières de Gascogne en 2040-2069 par rapport à 1981-2010 (-11 hm^3 à -123 hm^3 en fonction des modèles). Aux autres saisons, les variations pourraient être très fortes mais le signe même est incertain.

EVOLUTION DE LA RESSOURCE EN EAU

UN HORIZON HYDROLOGIQUE A PARTAGER

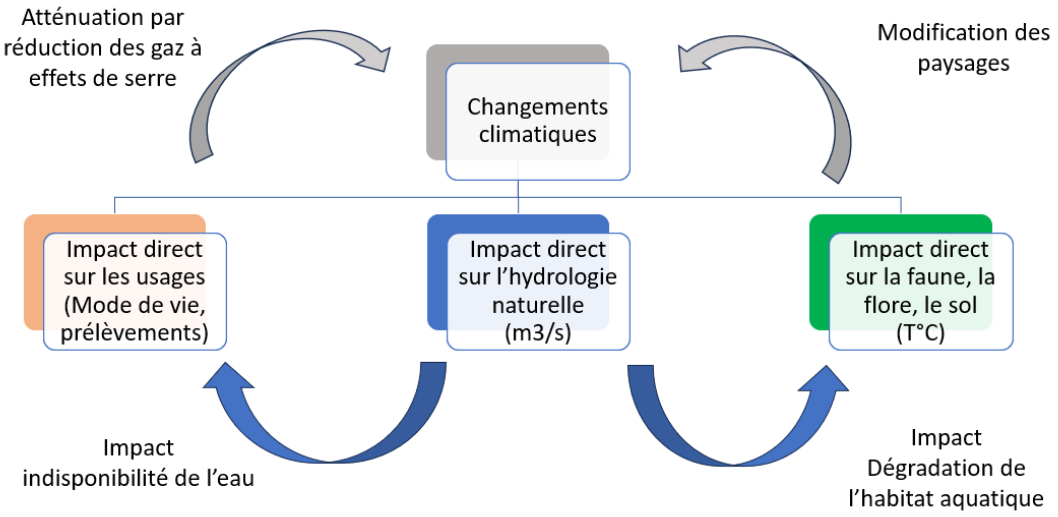
Pendant de nombreuses années, les analyses hydrologiques se sont fondées sur l'observation du passé pour décrire le champ des possibles qui devait être pris en compte pour la planification des ressources. Un grand nombre d'années d'observation permettait de poser avec précision les bornes statistiques du risque qu'il s'agisse d'étiage ou de crue. Les notions de fréquence quinquennale, décennale, centennale, d'espérances d'apport ou de défaillances, sont au cœur de décision telle que, le respect du DOE, les volumes prélevables, le niveau de protection contre les crues ou le pilotage des déstockages et des restrictions.

Ce cadre est aujourd'hui remis en cause par la dérive des paramètres climatiques et donc hydrologiques. Cette instabilité, nécessite une autre approche du risque. Elle s'organise en fonction d'échéances 2030, 2050, 2100 et s'alimente par un jeu de données issues de modélisations multiples. A la notion de fréquence du risque appuyée sur l'observation (et donc vérifiable), il faudra substituer une appréciation du déplacement des principaux indicateurs. Vont-ils en s'aggravant ? en s'atténuant ? et si oui à partir de quelle date ils remettront en cause le système actuel ?

Les exercices de prospective climatiques se multiplient mais nous manquons objectivement de recul pour les intégrer de façon mécanique dans nos politiques publiques. Le présent chapitre expose brièvement les outils existants et leurs résultats appliqués au périmètre du SAGE. Compte tenu des enjeux et de l'accélération manifeste du phénomène, les changements climatiques constituent non pas une hypothèse mais **un horizon à admettre collectivement et à partager malgré beaucoup d'incertitudes**. Il faut donc en comprendre les tenants et aboutissants pour le territoire. La ressource en eau, c'est-à-dire les débits des rivières sont le sujet central de ce consensus à construire.

Pour le SAGE, l'enjeu sera de définir une ou des trajectoires réalistes d'adaptation à des bouleversements profonds qui conditionneront la plupart des autres thématiques du SAGE.

Les changements climatiques: une cascade de conséquences pour le SAGE



Un jeu de modélisations pour projeter les dérèglements climatiques vers leurs impacts hydrologiques

Les travaux de recherche synthétisés dans les rapports successifs du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) ont mis en évidence que les dérèglements climatiques déjà observés ont pour cause les émissions humaines de gaz à effet de serre et vont continuer dans le futur, entrainant (entre autre) des hausses de températures et d'évapotranspiration à l'échelle planétaire (Masson-Delmotte et al., 2021). Des changements sont également attendus en termes de cumuls précipitations, avec des différences importantes d'une région à l'autre (Masson-Delmotte et al., 2021).

Comme indiqué dans l'état des lieux du SAGE, à l'échelle du territoire, toute chose égale par ailleurs, des hausses des températures et des évapotranspirations potentielles (ETP), la diminution de l'enneigement et la baisse des précipitations vont se produire et sont susceptibles d'entrainer des modifications des débits naturels des cours d'eau avec de lourdes conséquences pour le SAGE et donc des adaptations des usages. La situation se complexifie dans la mesure ou beaucoup d'usages de l'eau peuvent aussi évoluer (besoin des plantes, tourisme, usage de l'eau domestique, etc..).

Il est essentiel de garder à l'esprit que les changements futurs dépendront des émissions de gaz à effet de serre. Des réductions des émissions significatives à l'échelle mondiale pourraient atténuer les dérèglements climatiques et leurs conséquences hydrologiques et sur la biodiversité. C'est donc aussi un enjeu pour le SAGE que de contribuer à l'effort d'atténuation des bouleversements climatiques.

Encadrer le risque hydrologique sur la base d'hypothèses scientifiques

Pour évaluer l'ampleur des changements hydrologiques futurs causés par les dérèglements climatiques, il est nécessaire de disposer d'une part de projections climatiques pour les précipitations, températures et ETP futures et d'autre part de modèles hydrologiques pour les traduire en projections hydrologiques.

Les projections climatiques sont actuellement très nombreuses et peuvent produire des résultats hydrologiques tout aussi nombreux. Les modèles climatiques qui sont mobilisés permettent donc d'évaluer la fourchette des changements futurs auxquels s'attendre et donc les incertitudes associées. Les modélisations de débits futurs permettent d'évaluer le risque hydrologique conséquence de ces changements avec d'autres incertitudes liées au fonctionnement des modèles.

C'est pourquoi, dans un processus de projections hydroclimatiques appliquée à un SAGE le choix des hypothèses de base est important. Il est politique autant que scientifique car il conduit à un encadrement raisonné du risque qui s'avère nécessaire pour planifier les trajectoires auquel devront s'ajuster les politiques publiques.

Par ailleurs, il faut s'attendre à une évolution des projections hydroclimatiques qui tiendront compte des dernières avancées scientifiques. C'est pourquoi plus que des valeurs « certaines », l'étape tendance et scénario doit aider à dégager des stratégies « sans regrets » collectivement admises au travers du SAGE.

LES SIMULATIONS A DISPOSITION DU SAGE

Un processus commun qui s'appuie sur des travaux scientifiques complexes

De nombreux exercices de simulations sont aujourd'hui disponibles mais tous se caractérisent par une suite logique qui part du climat mondial, le projette à une maille territoriale plus fine (descente d'échelle) et enfin le valorise dans différents modèles hydrologiques climat débit. Ainsi, chaque modèle de climat DRIAS correspond à un couple de deux modèles, un modèle de climat global et un modèle de climat régional, auquel est ensuite appliqué une méthode de correction de biais et une descente d'échelle pour mettre les résultats sur une grille 8 km x 8km (Figure 1).

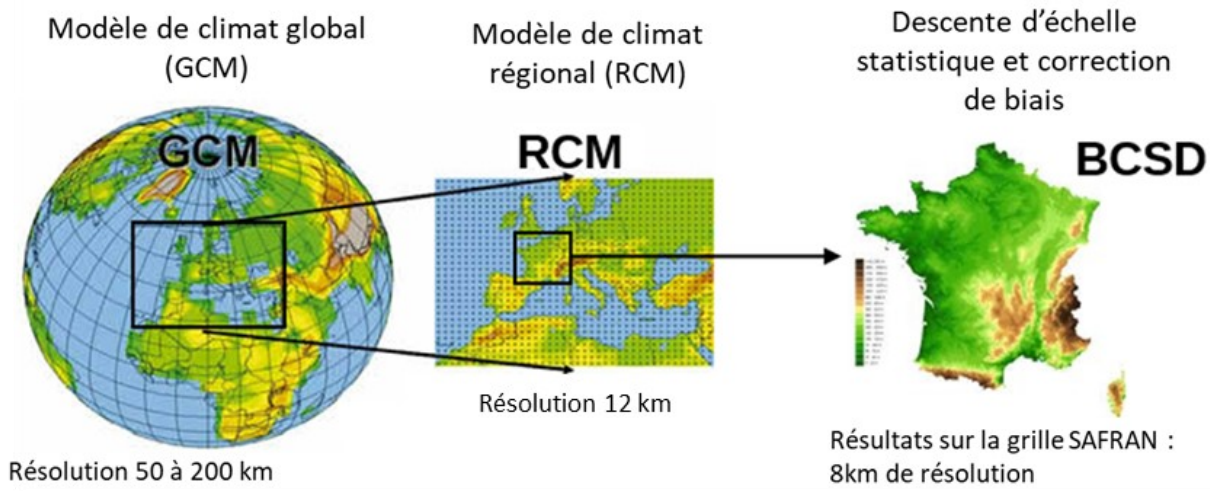


Figure 1 : Méthodologie de production des projections DRIAS (adaptée de ***Soubeyroux et al., 2020).***

Le développement, l'évaluation et l'amélioration de chaque modèle de climat (global et régional) est un travail de longue haleine, mobilisant des équipes de chercheurs et d'ingénieurs sur plusieurs décennies. Les modèles sont basés sur des équations physiques mais leurs résultats diffèrent car ils nécessitent également de faire des hypothèses scientifiques, des choix numériques, et des approximations (systématiquement justifiées, analysées, évaluées). Des exercices d'inter-comparaison de modèles sont régulièrement effectués aussi bien pour les modèles globaux que régionaux (Jacob et al., 2014; Taylor et al., 2012). En conclusion : chaque modèle est le fruit d'un travail scientifique important et aucun modèle ne peut a priori être considéré comme meilleurs qu'un autre ; de même aucun modèle ne peut être considéré comme étant plus adapté pour un territoire donné : les modèles DRIAS retenus ont été sélectionnés comme étant des modèles adaptés aux projections climatiques en France, et permettant une représentation adéquate des incertitudes (Soubeyroux et al., 2020). Les travaux de recherches ne se sont pas arrêtés depuis 2020 et les résultats des modèles DRIAS-2020 continuent à être utilisés et analysés par la communauté scientifique. Ces travaux scientifiques continus peuvent parfois mener à l'exclusion de certains modèles et/ou à l'ajout de d'autres.

Les modélisations hydrologiques peuvent être de natures différentes. Deux grandes familles de modèles sont valorisées pour le SAGE :

- Les modèles semi distribués dit à réservoirs (Figure 2), issu des travaux du Génie Rural (d'où leur

nom de GR) qui décrivent l'exutoire d'un bassin versant et sont calés sur des observations (cas du modèle utilisé par l'étude Sauquet et al., 2023).

- Le modèle SIM2 (Figure 3), Safran-Isba-Modcou, qui combine le système d'analyse de forçage atmosphérique SAFRAN (qui peut être remplacé par d'autres résultats de modèles, comme les simulations climatiques DRIAS) , un schéma de surface et un module hydrogéologique qui ont été déployé par MétéoFrance sur tout le territoire français et qui sont utilisé aujourd'hui pour produire par exemple des cartes d'humidités des sols ou des prévisions saisonnières de débits.

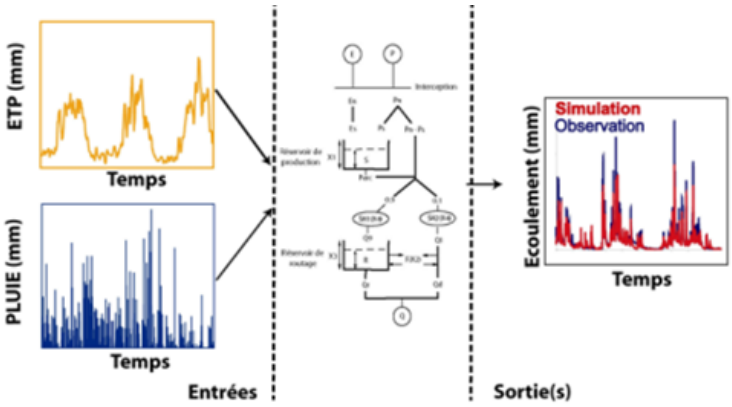


Figure 2 : Modèle de type GR **(Sauquet et al., 2023)**, figure issue de INRAE **(2023)**

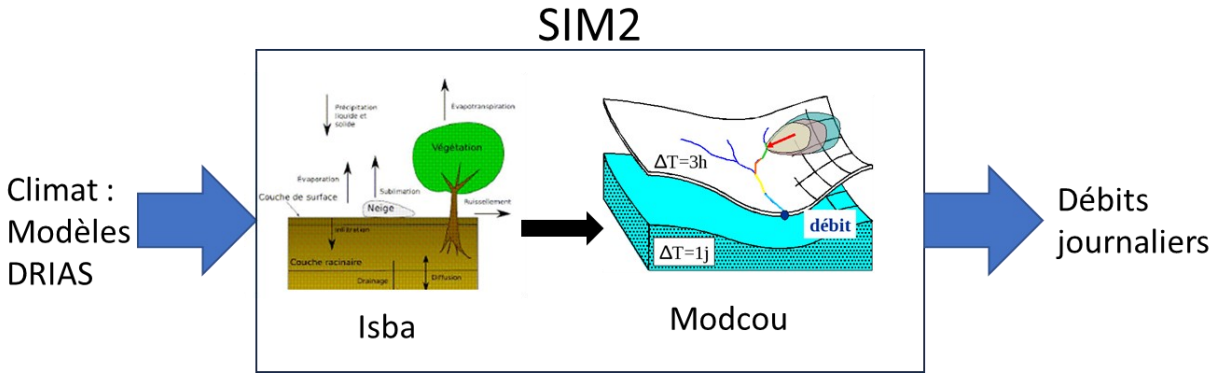


Figure 3 : Principe de fonctionnement du modèle SIM2 ***(Soubeyroux et al., 2008; Habets et al., 2008; Moigne et al., 2020)***

Des objectifs différents : une vision globale ou des résultats par sous-bassins

Sur le périmètre du SAGE une étude pilote sur les stratégie d'adaptations aux changement climatique sur le territoire **(Sauquet et al., 2023)** s'est intéressée au système intégrant la montagne avec la question du remplissage des barrages de la Neste et les Coteaux de Gascogne en élargissant la problématique aux enjeux d'usages notamment d'irrigation. Ce travail très abouti a cependant simplifié l'analyse territoriale en ne distinguant pas chacune des vallées constitutives du SAGE et en s'appuyant sur un seul modèle hydrologique et 6 modèles de climat global en entrée.

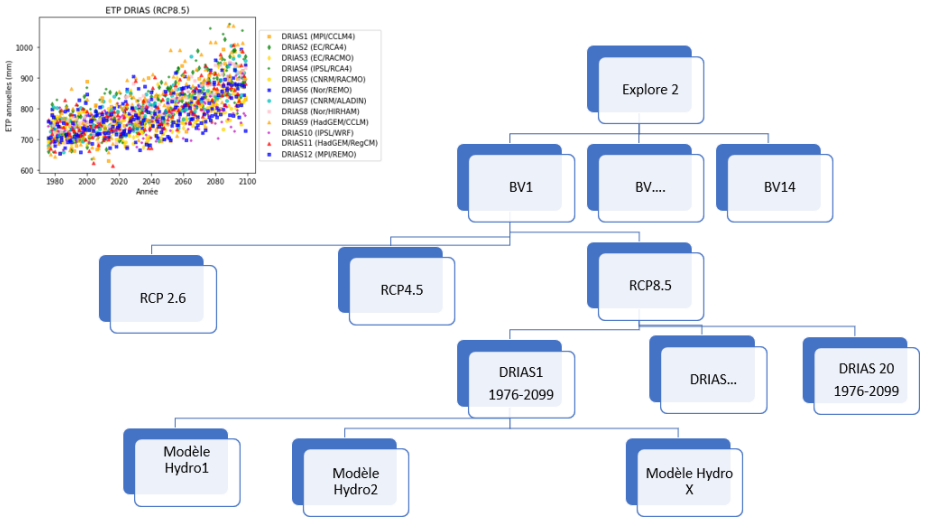
A partir d'hypothèses d'usages, l'étude de Sauquet et al. **(2023)** propose une analyse des évolutions de la demande en eau et prévoit une baisse de la demande hivernale en hydroélectricité, une hausse des besoins en irrigation ainsi qu'une hausse de la demande en eau potable.

L'étude conclue que « *les résultats des simulations de la gestion de l'eau montrent un système en tension avec une difficulté à garantir les usages sur l'ensemble du XXIe siècle, que ce soit avec les pratiques actuelles ou avec les options d'adaptation testées.* » **Ces conclusions couplant une prospective sur les usages avec la ressource sont au cœur des préoccupations du SAGE et aboutissent à un résultat préoccupant mais elles dépendent fortement des hypothèses de départ.**

Un deuxième jeu de simulations hydrologiques est en cours au niveau national dans le cadre du projet Explore2 **(Explore2, 2023; Sauquet, 2022)**. Sur le périmètre du SAGE ce sont au moins 30 points qui font l'objet de simulations hydrologiques (cf. Figure 4) avec une grande diversité de modèles climatiques et hydrologiques. Les données traitées dans la suite de cette note, sont celles disponibles en aout 2023 (1 modèle hydrologique et 12 modèles climatiques). Les autres modèles à venir produiront plus d'informations (environ 200 combinaisons de modèles !) et donc devraient élargir la fourchette des incertitudes (sauf si la majorité des modèles convergent). Contrairement à l'étude de Sauquet et al. **(2023)**, le jeu de simulation est limité aux débits naturels et n'inclue pas de scénario d'usages. Il est donc intéressant de le retenir pour le processus de concertation du SAGE sur le futur des usages de l'eau et il sera évalué dans ce cadre.

En conclusion, ce n'est pas tant la disponibilité des simulations qui posera problème mais plutôt notre capacité à nous saisir de cette multiplicité et complexité.

Simulation hydrologiques : gérer le foisonnement des résultats



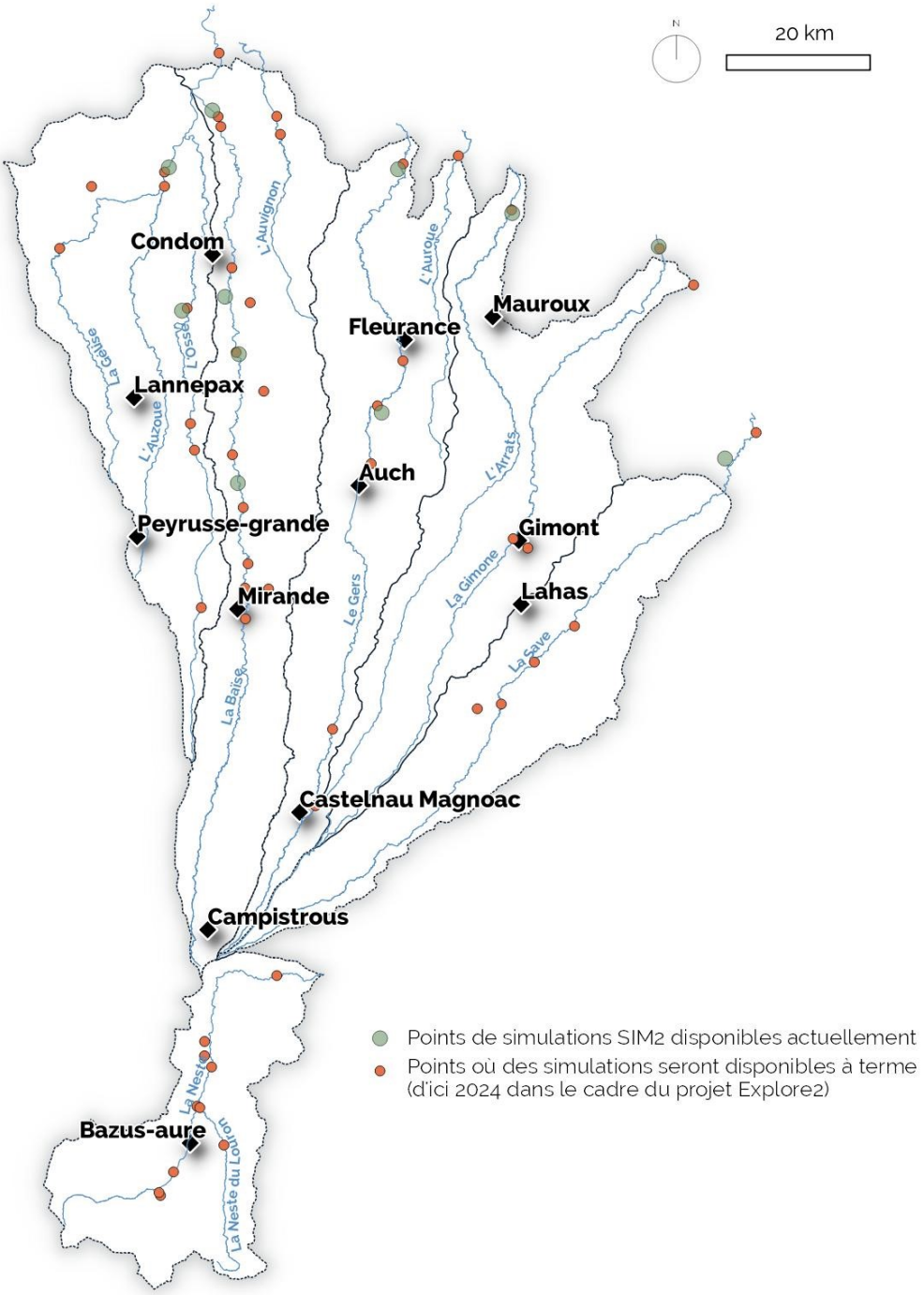
8

Pour l'évaluation tendancielles de l'hydrologie du SAGE NRG, nous recommandons une approche qui valorise :

- L'étude Sauquet et al. **(2023)** pour ce qui concerne la zone montagneuse et les projections sur l'évolution de la ressource naturelle en quantité et en régime. Elle traite en effet ce secteur de façon assez fine sur le plan de la maille spatiale et vise le réalisme pour les débits entrants dans les ouvrages de stockages (calage).
- Les projections Explore 2 **(Explore2, 2023)** pour les débits naturels des rivières de Gascogne, en raison de la plus grande diversité spatiale, qui permettra de mieux décrire les

nuances éventuelles à l'échelle des commissions géographiques. D'autre part ces simulations permettront de proposer une analyse du fonctionnement futur des cours d'eau non réalimentés.

Simulations des débits naturels futurs par les modèles SIM2 (actuellement disponibles) et par d'autres modèles hydrologiques (prochainement disponibles dans le cadre du projet Explore2)



Sources : BD Topage, Explore2, DRIAS-EAU

Figure 4 : Points de simulations des débits naturels à partir des modèles de climat DRIAS, avec le modèle hydrologique SIM2 (résultats actuellement disponibles) et d'autres modèles hydrologiques prochainement disponibles ***(DRIAS-EAU, 2023)****.*

Un scénario d'émission de Gaz à effet de serre de plus en plus probable : le RCP8.5

Les travaux de Météo-France montrent que le scénario d'émission de gaz à effet de serre RCP8.5 (émissions élevées et donc hausse de températures importantes) est le plus proche des observations sur la période depuis 2005 (Soubeyroux et al., 2020). Le réchauffement observé est également cohérent avec ce scénario (Figure 5 : les observations Safran 2006-2019 présentant une température médiane très légèrement supérieure aux projections RCP8.5 sur cette période). De plus, les engagement fermes des pays en termes d'émissions de gaz à effet de serre conduisent aussi au moins jusqu'à 2050 à des niveaux de réchauffements en France cohérent avec le scénario RCP8.5 (dans les modèles CMIP5 et DRIAS-2020). Par ailleurs, une étude scientifique récente (Escalón, 2022; Ribes et al., 2022) montre que les projections climatiques EURO-CORDEX (dont sont issues les projections DRIAS) tendent à sous-estimer le réchauffement climatique en France, fournissant un argument supplémentaire en faveur du scénario le plus réchauffant RCP8.5. Ce scénario, correspond peu ou prou à +4.5°C sur la France à la fin du siècle par rapport à 1850-1900.

Ce résultat incite donc à privilégier les scénarios et/ou modèles prévoyant les hausses de températures les plus importantes. Etant donné ces différents éléments, le scénario RCP8.5 est à privilégier[1] dans le cadre du SAGE.

Rappelons toujours que si les émissions mondiales de gaz à effet de serres diminuent et tendent rapidement vers la neutralité carbone, les effets du dérèglement climatique pourront être amoindris.

Remarque : dans le cadre du projet Life Eau et Climat (LIFE Eau&Climat, 2023), une note basée sur l'analyse des données DRIAS-2020 et Explore2 (SIM2) à l'échelle plus vaste de l'interSAGE (Vallée de la Garonne, Ariège, Neste et rivières de Gascogne) peut être obtenue auprès du SMEAG (CACG et SMEAG, 2023). Le jeu de modèles analysés est le même que dans ce document et les résultats sont bien entendu cohérents, mais sur un périmètre d'étude différent et donc avec des choix spécifiques.

[1] Notons de plus qu'au moins jusqu'à l'horizon 2040-2069 les différences entre modèles ont plus d'impact que le choix du scénario RCP4.5 ou RCP8.5.

Encart D

COMMENT SE COMPORTE LE JEU DRIAS-2020 SUR LA PÉRIODE 2006-2019 ?

Les projections climatiques utilisées dans le jeu DRIAS-2020 débutent en 2006 et il est important de vérifier leur comportement sur les 14 dernières années (jusqu'en 2019) pour évaluer leur performance.

La figure D1 compare la distribution de l'observation issue du jeu Safran avec celle calculée à partir des 3 ensembles RCP de notre jeu DRIAS-2020 pour la température moyenne annuelle de la période 2006-2019.

Les trois ensembles RCP s'avèrent proches de la distribution des observations de Safran. Le meilleur résultat est obtenu par l'ensemble RCP8.5, devant le RCP4.5 puis le RCP2.6. Ce bon comportement sur les 14 premières années de simulation est rassurant mais il n'est cependant pas une garantie de performance pour le climat futur.

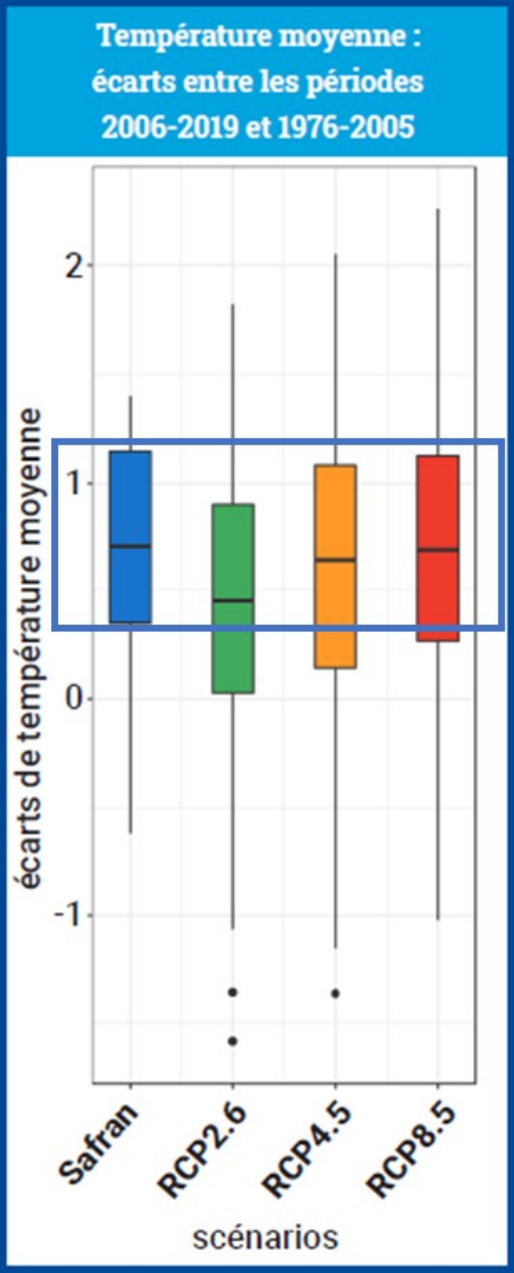


***Figure D1 :** Comparaison sur la période 2006-2019 de la distribution des observations Safran de température moyenne annuelle avec celles de nos trois ensembles RCP2.6, RCP4.5 et RCP8.5. Chaque boxplot représente la valeur minimale, les quantiles 25, 50 et 75 et la valeur maximale du jeu de données considéré.*

Figure 5 : Encart issu du rapport DRIAS2020 de Météo-France, page 18 (Soubeyroux et al., 2020)

Des tendances déjà engagées dans la période contemporaine

A retenir :

- Une hausse des températures depuis 1950 de 0.2 à 0.25°C par décennie (soit +1.2 à +1.6°C)
- L'évapotranspiration, fortement liée à la température, est également en hausse
- Les précipitations annuelles sont très variables et aucune tendance n'est observée
- Les glacier Pyrénéens ont significativement diminué en surface et en volume depuis 2002

L'évolution du climat est détaillée dans l'état des lieux, les principaux résultats sont repris ici :

TEMPERATURE

Les observations OPCC/Météo-France montrent une augmentation des températures statistiquement significative (test de Mann-Kendall à 95%) à Arreau et Lannemezan, avec respectivement **+0.19°C/ décennie et +0.25°C/décennie** en moyenne sur la période 1950-2015, soit environ +1.2 à +1.6°C en une soixantaine d'années.

Sur les rivières gasconnes, aucune longue série de données Météo-France n'est disponible cependant grâce aux graphiques réalisés sur Infoclimat, on observe que les températures moyennes annuelles tendent à augmenter, mais nous ne pouvons pas faire de test statistique à partir des seuls graphiques.

EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE

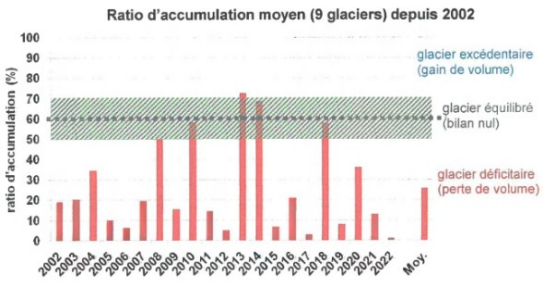
L'évapotranspiration potentielle (ETP) est fortement liée à la température : **hausse généralisée des ETP sur la période passée.**

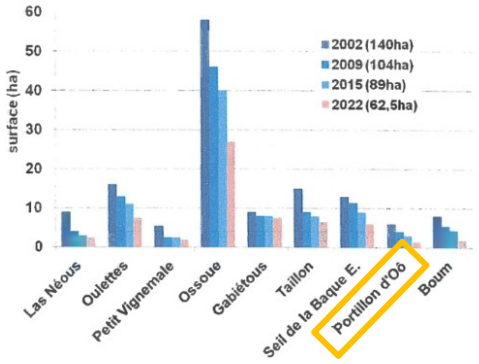
PRECIPITATIONS

D'après les observations OPCC/Météo-France, aucune tendance statistiquement significative ne se dégage pour les précipitations, qui présentent une variabilité interannuelle très importante.

MANTEAU NEIGEUX

Sur la période 2002-2021, il y a eu 16 années où les glaciers pyrénéens ont significativement diminué de volume et seulement 5 années où leur volume s'est maintenu. La surface totale des 9 glaciers est passée de 140 ha en 2002 à 62,5 ha en 2022 (Association Moraine, 2022).





Prospectives

PROJECTIONS CLIMATIQUES

Plusieurs modèles existent sur lesquels des scénarios sont appliqués pour projeter le climat de demain. Les modèles suivants sont utilisés avec le scnéario le plus proche de la trajectoire d'émissions de gaz à effet de serre actuelle, le scénario RCP8.5 :

- d'après les modèles ADAMONT2017, scénario RCP8.5 :

A la fin du siècle, en 2080-2099 le bassin en amont de **Sarrancolin** (par rapport à 1980-1999) :

Précipitation

Température

+ 4°C

(d'après la médiane des modèles ADAMONT2017, scénario RCP8.5)

Diminution de l'enneigement hivernal :

(d'après les modèles ADAMONT2017)

- d'après les 12 modèles DRIAS, scénario RCP8.5 :

Le climat sur l'ensemble du territoire selon le scénario sur lequel nous sommes engagés (RCP 8.5) :

	Précipitation	Température	L'évapotranspiration
Référence 1981-2010	820 mm/an	12,2°C	770 mm/an
2040-2069	- 22 mm/an	+ 2,1°C	+ 74 mm/an
2070-2099	- 80 mm/an	+ 3,9°C	+ 150 mm/an

(médiane des modèles DRIAS-2020 avec le scénario RCP8.5 ; variations *par rapport à 1981-2010)*

PROJECTIONS HYDROLOGIQUES SUR LA NESTE

A retenir :

A horizon 2050, une ressource annuelle en baisse de -20% en haute montagne et -32% en moyenne montagne (Sarrancolin), avec **une forte diminution des volumes entrant dans les retenues et des capacités de dérivation du canal de la Neste en été et automne.**

A la fin du siècle, une aggravation des baisses des débits, touchant y compris l'hiver et **risquant de remettre en question le cycle de gestion hydroélectrique des ouvrages de montagne**.

Les hypothèses de la modélisation hydroclimatique de l'étude pilote portée par l'INRAE (Sauquet et al., 2023)

L'étude se base sur 6 modèles globaux CMIP5 **(Taylor et al., 2012)** auxquels une descente d'échelle statistique (par analogie) a été appliquée selon une méthode différente de celle utilisée pour les simulation Explore 2 (cf. Figure 1 et Figure 3) aussi mobilisée dans la prospective climatique du SAGE.

Les projections hydrologiques sont effectuées à l'aide d'une modélisation GR6J-CemaNeige **(Riboust, 2018)**, dont les paramètres sont calés à l'aide de données hydrologiques (apports naturels journaliers aux lacs-réservoirs, données SHEM) de données satellite pour l'enneigement (données MODIS), ainsi que de données météorologique (données d'entrée des modèles, données SAFRAN-PIRAGUA à 2.5 x 2.5 km sur les Pyrénées de 1979 à 2014, et données SAFRAN à 8 km x 8 km ailleurs et depuis 1958). Les chroniques au pas journalier sont alors analysées pour chacun des éléments modélisés (références détaillées pour les modèles et données utilisées cf. Sauquet et al., 2023). Les résultats sont à prendre avec précaution de par les incertitudes associées aux modélisations climatiques et à la modélisation hydrologique GR6J.

Dans cette étude, les modélisations hydrologiques sont effectuées en considérant 5 éléments : les lacs réservoirs de l'Oule, de l'Orédon et de Pouchergues-Caillauas (les lacs de Pouchergues et de Caillauas étant considérés comme un seul réservoir, appelé « Lassoula » dans l'étude), les apports des bassins intermédiaires entre les exutoires de barrages et Sarrancolin (« Sarrancolin intermédiaire »), et les rivières de Gascogne (périmètre CACG). Nous retiendrons de cette étude, les deux premiers périmètres qui ensemble constituent la ressource dérivée par le canal, en partie régulée par les réservoirs SHEM et qui détermineront le fonctionnement de la Neste aval.

L'étude conclue que les hausses futures des températures et des ETP ainsi que la baisse des précipitations entraineront une **forte baisse des débits naturels simulés** sur tous les sous bassins versants considérés. **Les baisses entre les années 2000 et l'horizon 2050** seraient de l'ordre de **-18 à -20% sur les parties amont** en moyenne annuelle (Oule, Orédon et Pouchergues-Caillaouas).

Il y a cependant des contrastes saisonniers importants illustrés au travers des analyses statistiques présentés dans les « boîtes à moustache » (Figure 6). Chaque graphe traite une saison. Exemple DJF (Décembre Janvier Février) regroupe les données

d'écoulement de l'hiver. La comparaison que nous proposons de retenir s'effectue entre l'observation de la période contemporaine (2000) en gris avec le scénario d'émission de gaz à effet de serre RCP 8.5 en 2050 et en 2090.

- Des baisses significatives en été JJA (d'environ 400 mm écoulés autour de l'an 2000 à moins de 200 mm en 2050 sur le bassin de l'Oule) et en Automne SON (190 mm écoulés en moyenne autour de l'an 2000 à 120 mm à l'horizon 2050) ;
- Pas de changement significatif à l'horizon 2050 en hiver DJF ;
- Des incertitudes élevées au printemps MAM où aucun signal significatif ne se dégage à l'horizon 2050 mais c'est la période où les modèles sont les plus éloignés de l'observation sur la période historique ;

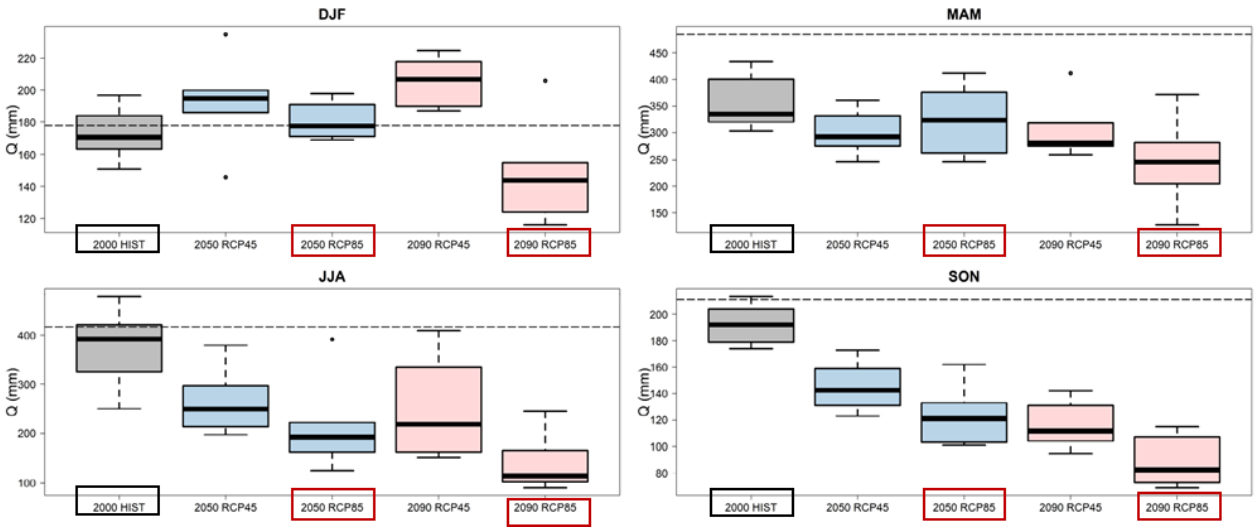


Figure 6 : Evolution des moyennes interannuelles des lames d'eau écoulées (naturelles) saisonnières sur le bassin de l'Oule à différents horizons et pour les deux RCPs 4.5 et 8.5 (les droites en pointillé indiquent les valeurs simulées par le modèle hydrologique avec les données météorologiques « observées » issues de la réanalyse SAFRAN-PIRAGUA) ; L'écart entre le pointillé et la boite grise expose la précision du modèle hydrologique. Figure issue du rapport Sauquet et al. (2023) (Figure 27 de leur rapport).. NB : seul le RCP8.5 (encadré en rouge) est utilisé.

Sur le bassin intermédiaire **entre les sorties des réservoirs et Sarrancolin la baisse annuelle attendue est de -32%** (-230 mm écoulés) **à l'horizon 2050.** Ces résultats correspondent à la médiane des 6 modélisations effectuées (une par modèle de climat) avec le scénario RCP8.5. Néanmoins les auteurs du rapport soulignent dans leurs conclusions que « Les projections climatiques utilisées sont biaisées en termes de précipitations, ceci conduit à une vision très pessimiste des débits en amont de Sarrancolin. »

Ainsi, en 2050 les volumes entrant dans les retenues et les capacités de dérivation du canal de la Neste ne vont pas changer significativement en hiver et au printemps, mais diminuer fortement en été et en automne c'est-à-dire en période d'usage lorsque les rivières de Gascogne sont en étiage. A la fin du siècle, la baisse des débits devrait s'aggraver en toutes saisons et aussi impacter l'hiver ce qui peut en plus des problématiques précédentes remettre en question le cycle de gestion hydroélectrique des ouvrages de montagne.

PROJECTIONS HYDROLOGIQUES SUR LES VALLEES DE GASCOGNE

A retenir :

Les modèles hydroclimatiques DRIAS-SIM2 présentent des incertitudes importantes notamment en hiver et au printemps. Ils prévoient **des étiages futurs sévères et aggravés et des modules à la baisse.**

Médiane des modèles hydroclimatiques : **-6% en module à horizon 2040-2069** (-17% en 2070-2099), **-40 à -50% sur les VCN30** en 2040-2069 par rapport à 1981-2010

Sur la période Juin à Septembre, -47 Mm³ écoulés sur la somme des rivières de Gascogne en 2040-2069 par rapport à 1981-2010 (-11 Mm³ à -123 Mm³ en fonction des modèles). Aux autres saisons, les variations pourraient être très fortes mais le signe même est incertain.

L'autre approche utilisée dans le cadre du projet Explore 2 **(Explore2, 2023; Robin et al., 2023)** consiste à utiliser les projections climatiques DRIAS-2020 pour la France **(Soubeyroux et al., 2020)**, qui ont également été mobilisées dans l'état des lieux du SAGE. Ces modèles de climat fournissent aussi les **chroniques journalières de précipitations et d'ETP nécessaire aux modèles hydrologiques** (mais simulent également les températures, le vent, etc.) et pourront aussi être exploités pour simuler des usages climato-dépendant (irrigation par exemple).

Etant donné le nombre important de projections climatiques DRIAS disponibles (12 projections pour le scénario RCP8.5) il est nécessaire de ***choisir*** **en plus du scénario d'émission de gaz à effet de serre RCP8.5, une sélection de modèles de climats à utiliser pour les modélisations hydrologiques**. Cependant, il reste prudent de prendre plusieurs modèles de climat afin d'appréhender les incertitudes sur les projections climatiques (c'est-à-dire la variété des climats futurs possibles).

Dans le cadre du projet Explore2, des projections hydrologiques des débits naturels sont mises à disposition sur le portail DRIAS-EAU **(DRIAS-EAU, 2023)**. A ce jour (Août 2023) les résultats se basent sur 12 couples de modèles de climat[2] DRIAS-2020 (mobilisés dans l'Etat des lieux du SAGE) qui sont ensuite utilisés par le modèle hydrologique SIM2 de Météo-France (Figure 3) pour effectuer des modélisations des débits naturels en différents points du territoire (Figure 4) pour la période de 1970 à 2099. 9 points de simulations sont d'ores et déjà disponibles (en Aout 2023) sur le périmètre du SAGE NRG au sens strict, auxquels s'ajoutent 2 points de simulation sur les parties aval de la Save et de la Gimone, soit un total de **11 points de simulation SIM2 sur les rivières de Gascogne** (et aucun sur la Neste.

Des modèles qui décrivent plutôt bien l'hydrologie naturelle reconstituée dans l'état des lieux

Afin d'évaluer les résultats des modèles DRIAS-SIM2 sur le territoire il est nécessaire de disposer de **chroniques de**

[2] Il est cependant préférable de ne pas utiliser les modèles CNRM/RACMO et IPSL/WRF car les climats futurs qu'ils prévoient en termes d'ETP et de précipitations semblent peu réalistes au vu des travaux de recherche les plus récents ; ces deux modèles sont apparus comme étant trop « optimistes » en termes de température, ETP et précipitations par rapport aux modèles globaux le plus récents CMIP6 (Jean-Michel Soubeyroux, Météo-France, communication personnelle 21/07/2023).

débits naturalisées. Dans l'idéal il faudrait disposer de telles chroniques sur une période de référence passée suffisamment longue (1976-2005 ou 1981-2010 par exemple). Cependant, la disponibilité des données d'usages et de gestion ne permet pas d'effectuer une reconstitution aussi longue : les débits n'ont à ce jour pu être naturalisés dans le cadre du SAGE que du 01/10/2012 au 31/12/2020.

Ainsi, la comparaison des modèles DRIAS avec les chroniques ne peut se faire que sur cette période. Quelques exemples de résultats sont présentés ci-après mais il est essentiel de souligner qu'une période de 8 ans est trop courte pour une évaluation complète des modèles DRIAS-SIM2 ; rappelons ici que les modèles de climat (contrairement aux modèles de prévision météorologiques à quelques jours) ne prévoient pas le temps qu'il fait une année donnée mais le climat (moyen) à un *horizon temporel* donné. **Les analyse ci-après doivent donc être prises avec précaution de par cette importante limitation méthodologique, une partie des différences entre débits modélisé et débits observés venant de l'utilisation d'une période de temps trop courte.**

Les modèles DRIAS-SIM2 représentent dans l'ensemble assez bien les débits naturalisés du Gers et de la Baïse sur la période 2013-2020 (cf. les 4 graphiques du haut, Figure 7) notamment étant donné les limitations méthodologiques précédemment mentionnées. Les résultats sur la Save et l'Arrats (Figure 7, cf. les 2 graphiques du bas) sont plus mitigés (sévérité des étiages sous-estimées).

Plus particulièrement :

- Sur la Baïse (Nérac et Biran), l'enveloppe des modèles DRIAS inclus les débits naturalisés mensuels moyens à toutes les saisons sauf en Février où les modèles sous-estiment les débits. En Septembre-Octobre ainsi qu'en Avril seul les modèles les plus secs représentent correctement les débits naturels.
- Sur le Gers (Leyrac et Montestruc), les résultats sont similaires à ceux obtenus sur la Baïse, avec de meilleures performances en Février, mais par contre une surestimation des débits en Octobre, quelque-soit le modèle DRIAS-SIM2 considéré. En Avril, seul le modèle prévoyant les débits les plus faibles est proche des débits naturalisés.
- Sur l'Est du territoire (l'Arrats à St-Antoine et la Save à Larra) les résultats des modèles DRIAS-SIM2 sont moins bons, avec une surestimation des débits d'Octobre à Décembre et également dans une moindre mesure en Juillet-Août et en Janvier. Sur la Save à Larra les débits en Mars-Avril sont également surestimés par l'ensemble des modèles DRIAS. NB : les résultats sur la Gimone à Garganvillar ne sont pas représentés ici afin de ne pas surcharger la figure ; les résultats sont très proches de ceux sur l'Arrats à St Antoine (les modèles DRIAS-SIM2 sous-estiment les débits d'Août à Janvier inclus).

Au vu de ces résultats :

- **Les projections DRIAS-SIM2 doivent être utilisées avec précautions, comme donnant une fourchette pour l'hydrologie future ;**
- **Il est préférable de se focaliser sur les variations prévues par les modèles par rapport à une période de référence** (1981-2010 ici) plutôt que d'utiliser les valeurs de débits qui peuvent être entachées de biais.

Rappel : Les projections hydro-climatiques DRIAS-SIM2 ne considèrent **aucun usage** (ni canal de la Neste ni prélèvements), il s'agit donc exclusivement de **débits « naturels ».**

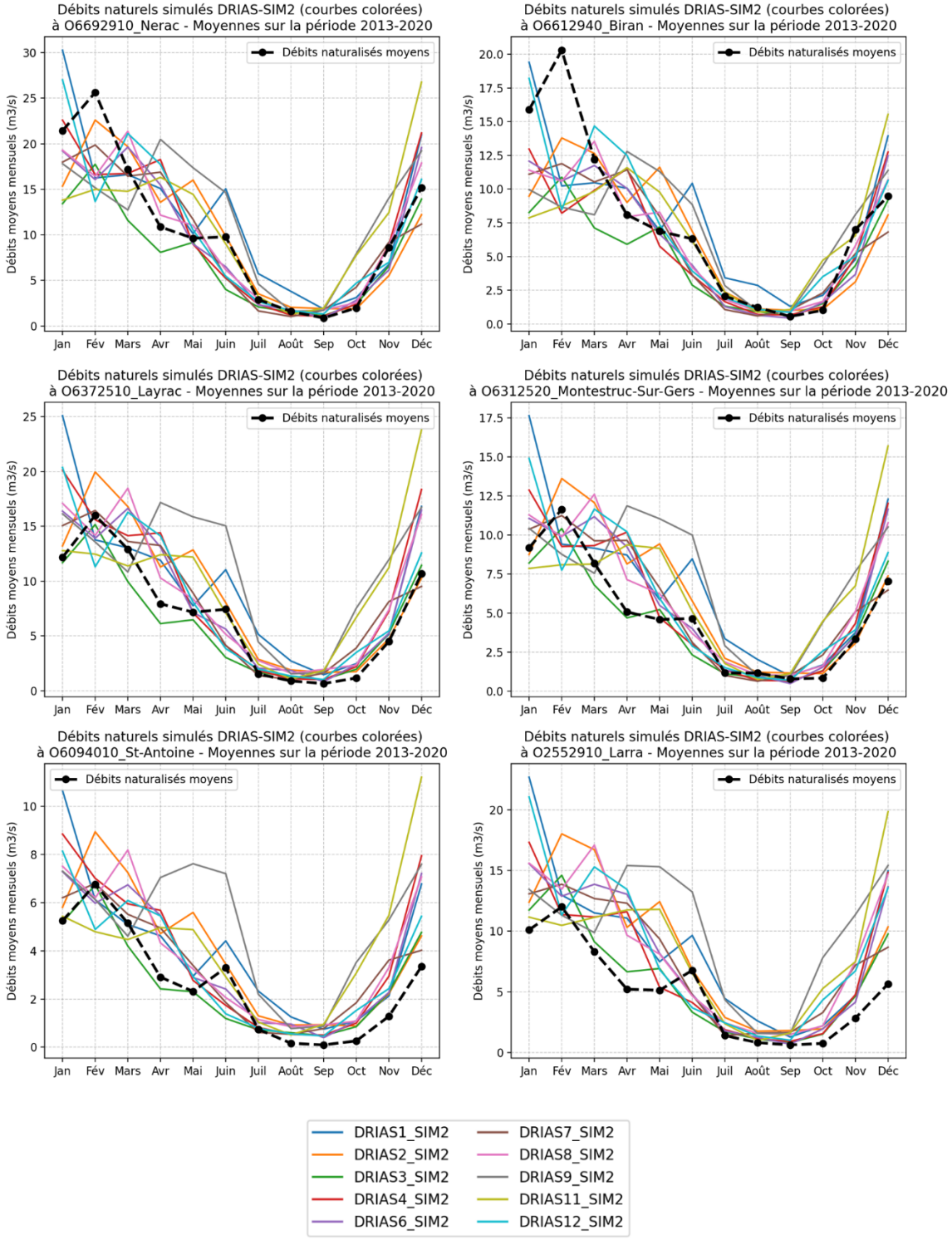


Figure 7 : Débits mensuels moyens sur la période 2013-2020 issus des modèles DRIAS-SIM2 (courbes en couleur) et des mesures naturalisées (pointillés noirs) sur 6 stations du territoire (d'en haut à gauche à en bas à droite : la Baïse à Nérac, la Baïse à Biran, le Gers à Layrac, le Gers à Montestruc, La Gimone à St Antoine et la Save à Larra.

Une moyenne annuelle en baisse modérée pour les débits naturels en 2050 (-6%), plus significative en 2080

Les modules mesurent l'abondance hydrologique ne moyenne annuelle. Ceux prévus par les modèles DRIAS-SIM2 considérés dans leur ensemble et représentés sous forme de boites à moustache (Figure 8) **présentent une tendance globale à la baisse aux horizons 2040-2069** (Figure 9 gauche et Figure 10) et plus encore à la fin du siècle, où tous des modèles prévoient une baisse des modules sur l'ensemble des stations (Figure 9 droite et Figure 10). De grandes disparités existent cependant entre les modèles DRIAS-SIM2 soulignant les incertitudes sur les prévisions hydro-climatiques. Si la plupart des modèles prévoient une baisse à l'horizon 2040-2069 pouvant aller jusqu'à environ -20%, certains modèles prévoient des hausses allant jusqu'à +10%, et même au-delà pour le modèle le plus humide (pour 5 stations sur 6, cf. Figure 9 gauche). Ces baisses sont moins importantes que celles prévues par l'étude de Sauquet et al. **(2023)** qui prévoit environ 40% de baisse des débits à l'horizon 2050 par rapport aux années 2000 sur le périmètre CACG complet (en se basant sur des modèles de climat différents des modèles DRIAS et sur le modèle hydrologique GR6J). Ces résultats doivent être gardés à l'esprit comme un avertissement : les baisses des débits pourraient être plus élevées que prévues par les modèles DRIAS-SIM2.

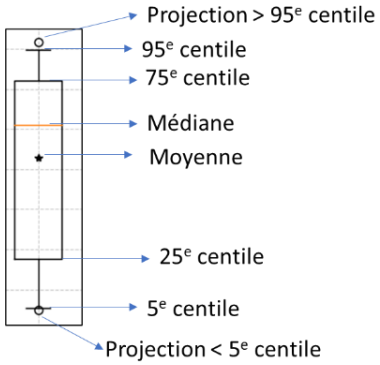


Figure 8. Principe des « boites à moustache ».

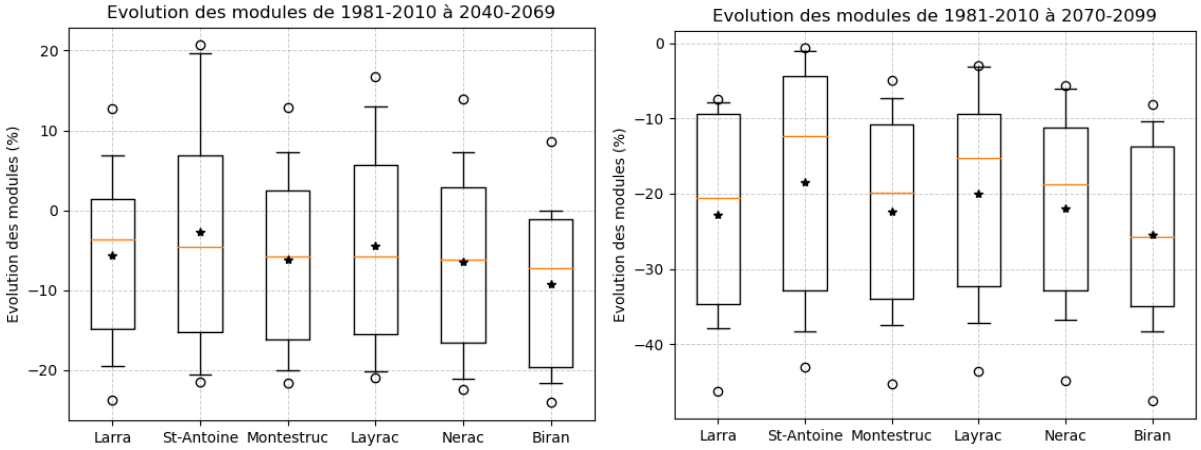


Figure 9 : Evolutions relatives des modules de 1981-2010 à 2040-2069 (gauche) et à 2070-2099 (droite), d'après les modèles DRIAS-SIM2. NB : les échelles des axes sont différentes.

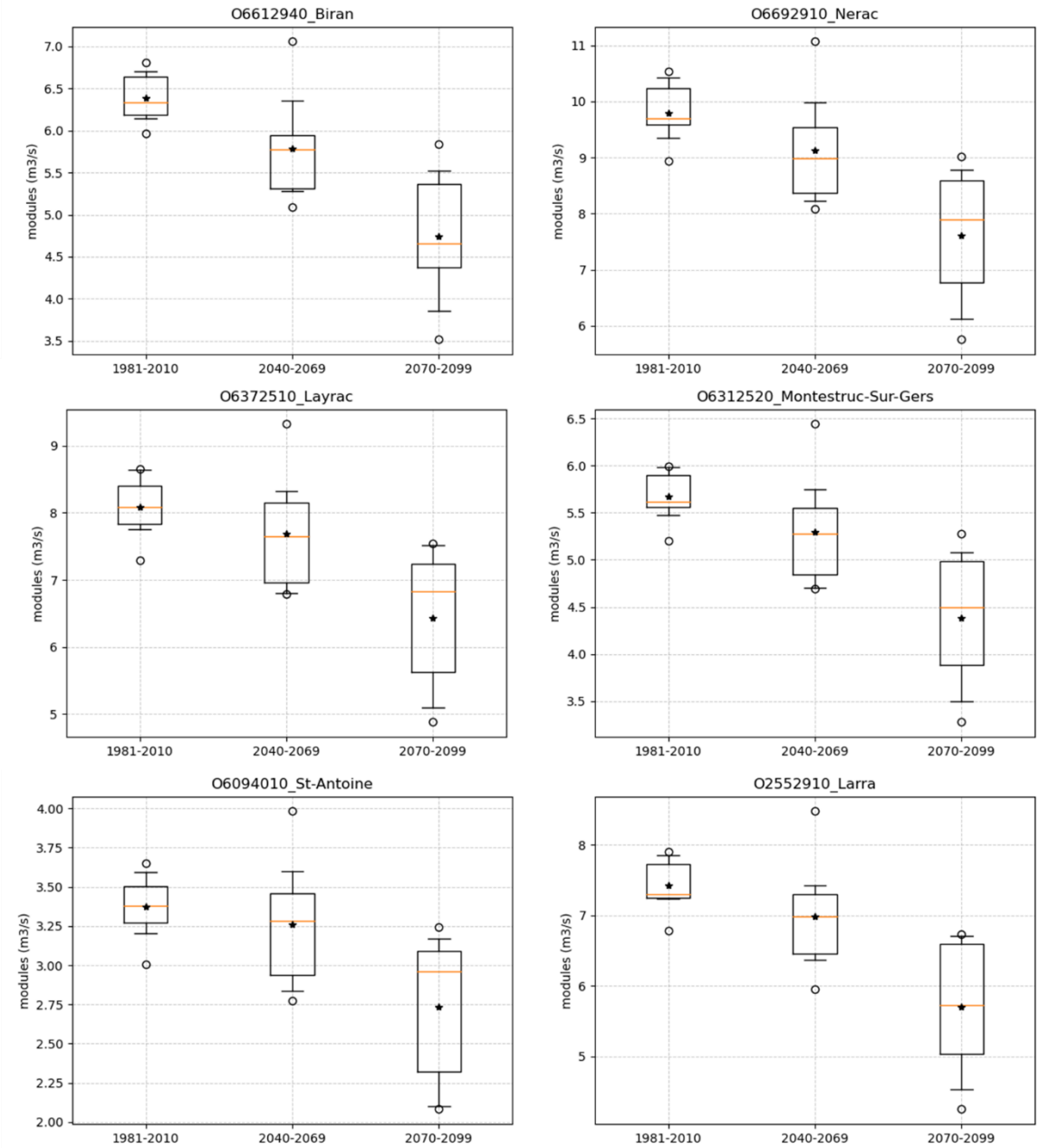


Figure 10 : Modules DRIAS SIM2 pour la période de référence 1981-2010 et aux échéances 2040-2069 et 2070-2099.

Des étiages déjà sévères et en baisse de -40% en 2050

L'indicateur retenu est le minimum du débit moyen sur 30 jours consécutifs (VCN30). L'évolution des VCN30 est plus marquée que celle des modules, mettant en évidence une augmentation de la sévérité des étiages à l'horizon 2040-2069 (Figure 11 et Figure 12), qui se prolongent vers la fin du siècle (Figure 12). Ainsi, la médiane des modèles donne une baisse relative des VCN30 naturels de -40% à -50% à l'horizon 2040-2069 par rapport à 1981-2010 (Figure 11).

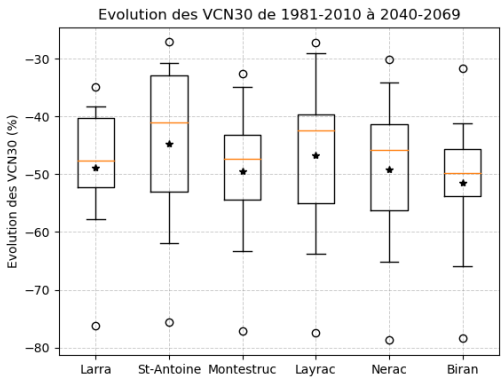


Figure 11 : Evolutions relatives (en %) des VCN30 de 1981-2010 à 2040-2069, d'après les modèles DRIAS-SIM2.

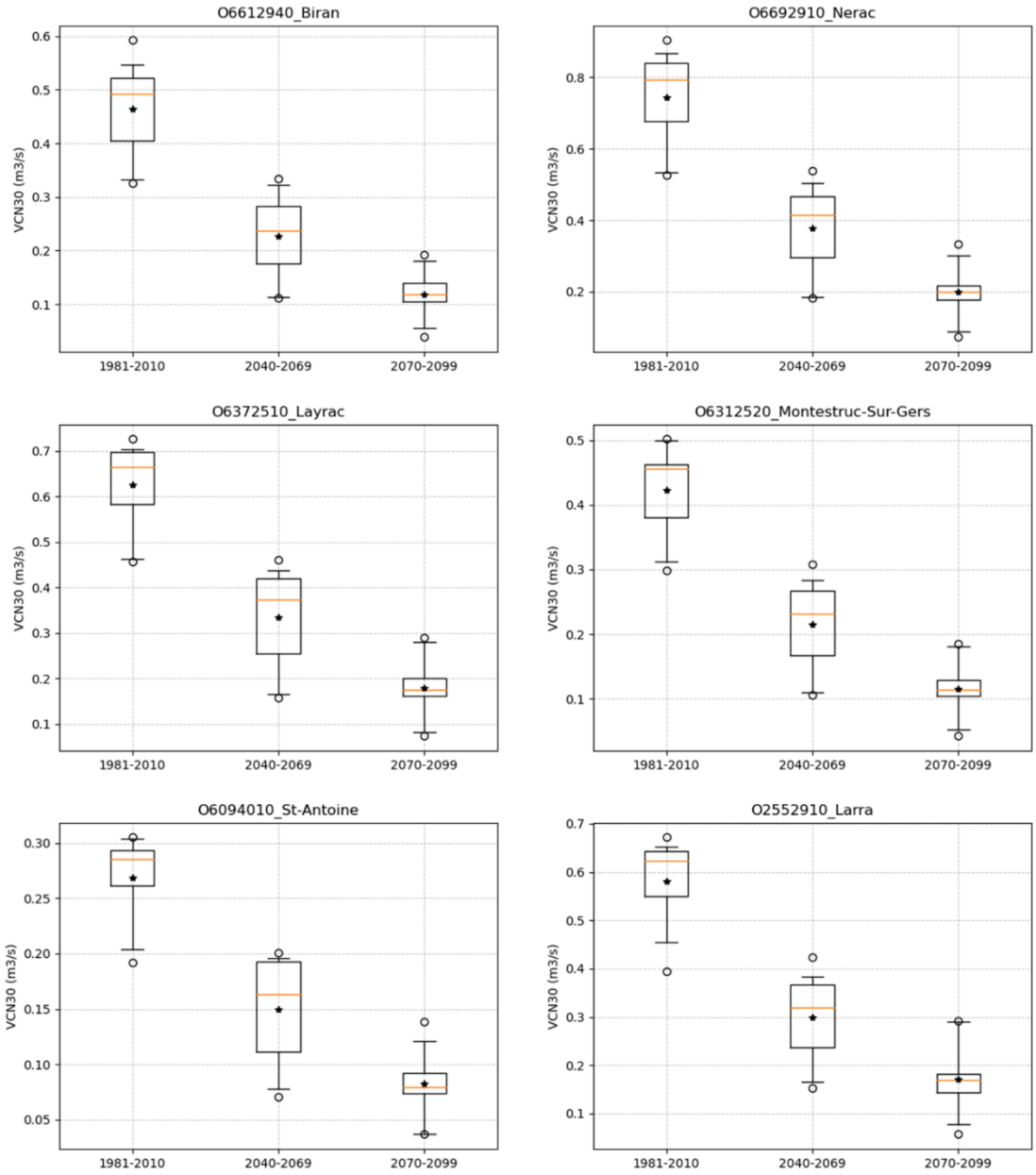


Figure 12 : VCN30 moyens sur les périodes 1981-2010, 2040-2069 et 2070-2099 prévus par les 10 modèles DRIAS-SIM2 considérés.

De fortes incertitudes sur les débits mensuels moyens futurs

Les variations futures de débits peuvent également être analysées de façon mensuelle, afin de ne pas démultiplier le nombre de graphiques : le tableau Figure 13 présente les variations de débits moyens mensuels en considérant non pas chaque station séparément, mais la somme des débits de la Gélise à Mézin, l'Osse à Mouchan, la Baïse à Nérac, du Gers à Layrac, de l'Arrats à St-Antoine, de la Gimone à Garganvillar et de la Save à Larra. Cet indicateur synthétique est bien représentatif des principales rivières de Gascogne (les autres rivières n'étant pas modélisées par SIM2 ne peuvent être prises en compte ici).

Somme des débits de la Baïse à Nerac, du Gers à Layrac, de l'Arrats à St-Antoine, de la Gimone à Garganvillar et de la Save à Larra				
	Variation de des débits 2040-2069 par rapport à 1981-2010 (m3/s) d'après le sprjojections DRIAS-SIM2 (RCP 8.5)			**Médianes des modèles** DRIAS-SIM2 1981-2010 (m3/s)
	Médiane	**Minimum**	**Maximum**	**Débits moyens (m3/s)**
Janvier	+7.4	-17.4	+15.4	48.1
Février	-6.7	-14.8	+31.3	54.3
Mars	+9.8	-7.3	+13.1	52.0
Avril	+2.8	-10.3	+18.4	38.8
Mai	-5.0	-10.1	-1.2	38.5
Juin	-6.4	-19.0	+2.5	29.1
Juillet	-4.1	-11.8	-1.7	9.1
Aout	-2.5	-4.5	-0.5	5.9
Septembre	-2.8	-6.2	-0.2	7.9
Octobre	-4.9	-8.0	+4.1	8.1
Novembre	-1.7	-16.9	+9.7	14.0
Décembre	-1.4	-36.9	+18.4	24.7

Figure 13 : Variations de débits moyens mensuels sur le territoire (somme de la Baïse, du Gers, de l'Arrats, de la Gimone et de la Save) entre 1981-2010 et 2040-2069 (colonnes de gauche) d'après les modèles DRIAS-SIM2 (médiane des projections, minimum et maximum). La colonne de droite (en vert) donne le débit mensuel moyen de la médiane des modèles DRIAS-SIM2 pour la période de référence 1981-2010.

Par rapport à 1981-2010, à l'horizon 2040-2069 **les débits devraient baisser en Mai, en Juillet en Août et en Septembre** (baisse prévue par les 10 modèles DRIAS-SIM2 sélectionnés). Seuls, trois modèles sur dix prévoient une hausse des débits en Juin (+1.2, +2 et et +2.4 m³/s) mais insuffisante pour compenser la baisse aux autres mois. **Sur la période de Juin à Septembre inclus**, les débits moyens vont baisser, avec une baisse comprise entre -1.2m³/s et -10.4m³/s, avec **une médiane de -4.4m³/s soit** au total **-47 millions de m³ sur la période de Juin à Septembre** (de -11 Mm³ à -125 Mm³ environ).

La médiane des modèles DRIAS-SIM2 donne également une tendance à la baisse des débits en Octobre, Novembre, Décembre et Février, mais avec des incertitudes importantes, certains modèles prévoyant au contraire des hausses de débits. **Sur la période Octobre à Décembre, les médianes des modèles prévoit -45 Mm³ (-270 Mm³ à + 110 Mm³ environ en fonction du modèle).**

Les mois de Janvier, Mars et Avril sont les seuls où la médiane des modèles DRIAS-SIM2 donne des débits à la hausse, mais ici encore avec de grandes incertitudes, plusieurs modèles prévoyant des baisses de débits sur cette période. **Ainsi, sur la période de Janvier à Avril, les variations futures de volume total écoulé sont très incertaines** : de -77 Mm³ à +210 Mm³ en 2040-2069 par rapport à 1981-2010, avec une **médiane des modèle prévoyant une hausse de 28 millions de m³.**

Pour conclure, en 2040-2069, par rapport à 1981-2010 :

- **Les débits vont baisser sur la période Juin-Septembre (-11 à -125 Mm³)**
- **Le reste de l'années les incertitudes rendent difficile de conclure sur le signe des variations** mais avec plutôt une hausse des débits moyens de Janvier à Avril (médiane des projections +28 Mm³) et plutôt une baisse d'Octobre à Décembre (médiane des projections -45 Mm³). Ces résultats diffèrent de ceux de Sauquet et al. (2023) qui prévoient des baisses de débits plus marquées à toutes les saisons sur les rivières de Gascogne, soulignant les incertitudes sur les projections hydrologiques futures.

Le trompe l'œil du régime gascon dans les modèles hydrologiques

En volume annuel, l'impact des changements climatiques apparaît comme sensible en montagne mais curieusement relativement modéré en moyenne annuelle dans les coteaux de Gascogne (d'après les modèles DRIAS-SIM2, Figure 14). Cela peut sembler paradoxal pour l'un des bassins du sud-ouest le plus exposé au risque de sécheresse hydrologique. En réalité, le niveau des écoulements naturels en étiage est déjà tellement faible que l'aggravation très probable de ces étiages en été et en automne, n'aurait qu'un impact volumétrique limité en regard des ruissellements hivernaux.

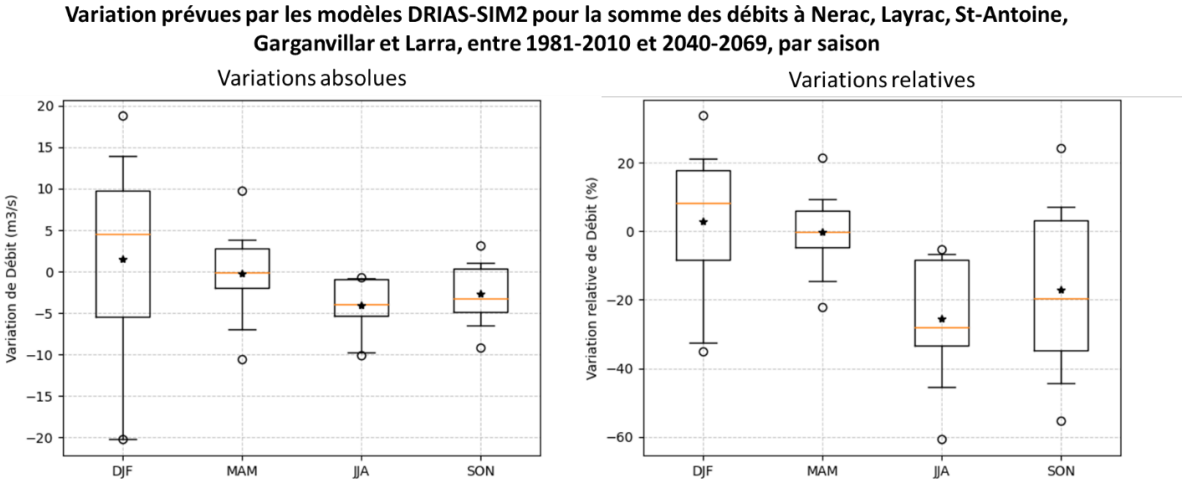


Figure 14 : Variations de débit saisonnier (droite : variations absolues ; gauche : variations relative) prévues par les dix modèles DRIAS-SIM2 retenus (avec le scénario RCP8.5) à l'horizon 2040-2069 par rapport à la période de référence 1981-2010. DJF = Décembre, janvier, Février (hiver) ; MAM = Mars, Avril, Mai (printemps) ; JJA = Juin, Juillet, Août (été) ; SON = Septembre, Octobre, Novembre (automne).

Les simulations des débits hivernaux et printaniers sont très disparates. En hiver 6 modèles sur 10 prévoient une hausse des débits (de +1.8 à +26 m3/s), mais les 4 autres modèles prévoient une baisse des débits (médiane à +2.6 m^3/s, mais avec des valeurs allant de -26 m^3/s à +24 m^3/s). Au printemps les résultats sont similaires à l'hiver avec des incertitudes moins importantes : médiane à +2.7 m3/s, mais des variations à la hausse ou la baisse ne peuvent pas être exclues (jusqu'à de -8 à +12 m^3/s soit des variations relatives pouvant atteindre environ -16% à +20%).

Ces résultats sont à mettre en regard avec ceux de Sauquet et al. (2023) sur la Neste : baisse des débits d'été de 50% en 2050 par rapport à 2000, et baisse d'environ 30% en Automne, très légère tendance à la hausse en hiver mais incertaine, et pas de tendance au printemps (Figure 6)

Ainsi, dans l'ensemble des baisses de débit naturels aussi bien sur la Neste que sur les rivières de Gascogne sont attendues en été et dans une moindre mesure en automne. En hiver et au Printemps, la médiane des modèles donne une légère tendance à la hausse mais les incertitudes sont très importantes et il est difficile de conclure.

Sur le plus long terme à l'horizon 2070-2099, toutes les saisons connaitront une baisse de leur débit et le volume annuel total pourrait diminuer de 17% (Figure 15) soit plus de 200 Mm^3 annuels en moins par rapport à 1981-2010.

Modélisations DRIAS SIM 2 des principales rivières de Gascogne m³/s	Médiane des débits saisonniers m³/s	Evolution des débits en % 2040-2069 / 1981_2010	Evolution des débits en % 2070-2099/ 1981_2010
DJF	76.7	3%	-6%
MAM	55.9	5%	-16%
JJA	16.4	-34%	-53%
SON	11.6	-30%	-52%
Année Complète	40.1	-6%	-17%

Figure 15 : Evolution des débits saisonniers et annuels en % par rapport à la période 1981_2010 d'après les modèles DRIAS-SIM2 (médiane des projections - somme de l'Osse, de la Gélise, de la Baïse, du Gers, de l'Arrats, de la Gimone et de la Save)

Remarque : sur le périmètre CACG, les modèles CMIP5-GR6J de Sauquet et al. (2023) prévoient des baisses de débits naturels sur les rivières de Gascogne plus importantes que celles prévues par DRIAS-SIM2, avec des baisses significatives à toutes les saisons printemps et hiver compris (pour le scénario RCP8.5, horizon 2050 par rapport à 2000).

CONSEQUENCES POUR LA GESTION

SELECTIONNER DES MODELES

A retenir :

Il est nécessaire de choisir plusieurs modèles de climat différents afin de décrire plusieurs futurs possibles. 4 modèles contrastés sont ici choisis en fonction des changements de températures et d'ETP qu'ils prévoient.

Le système Neste Rivière de Gascogne est étroitement dépendant de la gestion quantitative qui s'appuie sur une infrastructure existante (canaux et réservoirs) et sur des règles de partage de l'eau. Les scénarios hydro-climatiques montrent de nouvelles trajectoires probables pour la ressource en eau naturelle qui imposeront une révision des équilibres anciens. Les modélisations prospectives commencent à dessiner les contours de ces trajectoires mais elles révèlent aussi de fortes incertitudes, ou pour le dire autrement un champ des possibles assez ouvert.

Pour la planification cette situation implique d'explorer les scénarios possibles d'adaptation à ce changement de donne à différentes échéances temporelles, contemporaine (état des lieux), moyenne (2050) et lointaine (2100).

Nous proposons donc de retenir pour la construction des scénarios de gestion et d'aménagement :

- Des projections hydroclimatiques en nombre limité mais qui encadrent le niveau de risque, tel que l'on peut l'apprécier à ce jour ;
- Une analyse qualitative et si possible quantitative des vulnérabilités des usages et des écosystèmes à ces hypothèses ;
- Quelques scénarios décrivant des systèmes cohérents faisant varier conjointement les usages, les objectifs et les moyens dans ce nouvel environnement.

Ce choix ne doit pas cependant masquer les incertitudes sur la prévision climatique et il est indispensable de choisir des modèles les plus contrastés possibles afin de ne pas sous-estimer la fourchette des futurs agronomiques, écologiques et hydrologiques possibles.

Choix des modèles selon les variables climatiques

Dans l'état des lieux du SAGE deux modèles climatiques ont été présentés à l'échéance « fin du siècle » (2070-2099). Ici, dans une optique de projection pour la gestion, la sélection des modèles est effectuée en se basant sur un horizon plus proche 2040-2069, que l'on résume sous l'intitulé 2050. NB : comme mentionné précédemment (note 2 page 14), il est préférable de ne pas utiliser les modèles DRIAS5 (CNRM/RACMO) et DRIAS10 (IPSL/WRF) qui ne sont donc pas inclus dans la Figure 16.

Sur les bassins versants sélectionnés pour les simulations hydrologiques, à l'horizon 2040-2069, par rapport à la période de référence 1981-2010, les modèles prévoient environ +35 mm à +125 mm d'ETP annuelle et de -95mm à + 20 mm environ de précipitations annuelles (Figure 16). Ainsi, en moyenne annuelle, le modèle le plus sec et avec l'ETP qui augmente le plus est DRIAS9 (HadGEM/CCLM), tandis que le modèle le plus pluvieux et aux hausses d'ETP les plus modérées est le modèle DRIAS12.

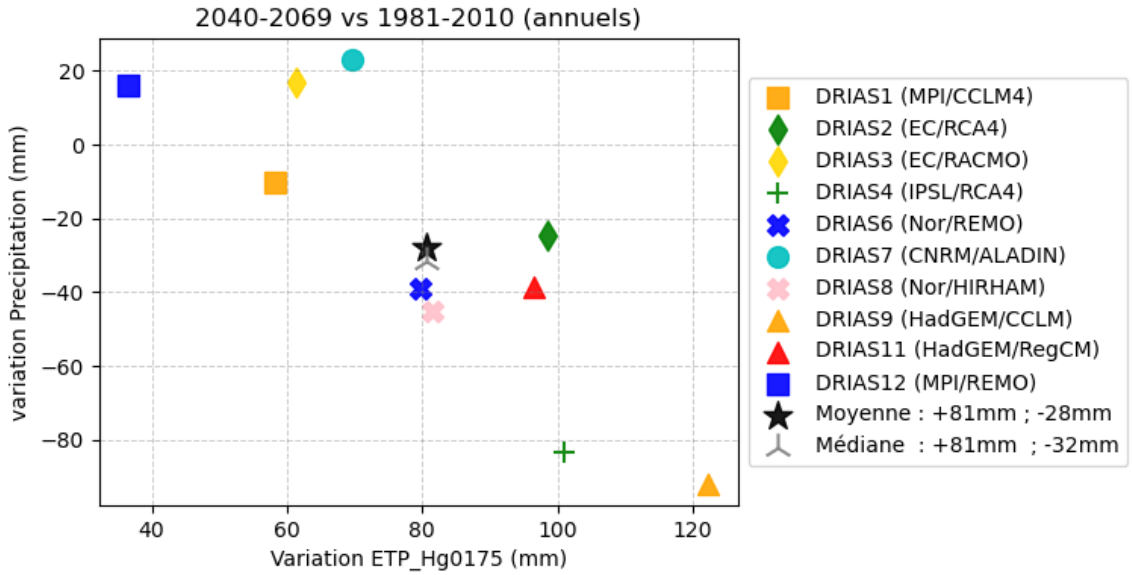


Figure 16 : Variation d'ETP et de Précipitations à l'horizon 2040-2069 par rapport à la période de référence 1981-2010, sur l'ensemble des bassins versants sélectionnées pour les modélisations hydrologiques GR4J. ETP_Hg0175 est l'ETP des modèles DRIAS. Les valeurs sont des cumuls annuels moyens pour chaque modèle (DRIAS1 à DRIAS12) ainsi que la moyenne et la médiane des modèles.

Cependant, les contrastes saisonniers sont importants et doivent être pris en compte dans la sélection des modèles (Figure 17). Afin de décrire des climats contrastés à chaque saison, 3 modèles peuvent être sélectionnés :

- **Le modèle DRIAS9 (HadGEM / CCLM), « chaud et sec »** avec une forte hausse d'ETP et diminution des précipitations en été et à l'automne (et sur l'années complète) ; en hiver une hausse des précipitation très faible et inférieure à la médiane des modèles (associée à une hausse des ETP plus marquée, mais les hausses d'ETP prévues sont très faible en hiver) ; Un printemps plutôt plus humide que la médiane des modèles (précipitations en légère hausse et hausse modérée de ETP) ;
- **Le modèle DRIAS 12 (MPI-ESM / REMO), le plus humide et avec une hausse d'ETP la plus faible sur l'année** ; faible baisse des précipitations en été et hausse modérée des ETP ; la plus forte augmentation des précipitations en hiver ; baisse des précipitations au printemps mais avec des ETP quasi-inchangées (très faible hausse, malgré la hausse des températures) ;
- **En plus de ces deux modèles plutôt « chaud et sec » et « frais et humide » le modèles DRIAS7 (CNRM/ALADIN)** de Météo-France est sélectionné afin d'avoir un modèle régional avec des aérosols évolutifs, dont la prise en compte impacte le rayonnement et donc la température et l'ETP **(Robin et al., 2023)**. Ce modèle donne la plus forte hausse de précipitation en Automne, et des résultats assez proches de la médiane es modèles aux autres saisons (plutôt plus optimiste que la médiane en été et au printemps).

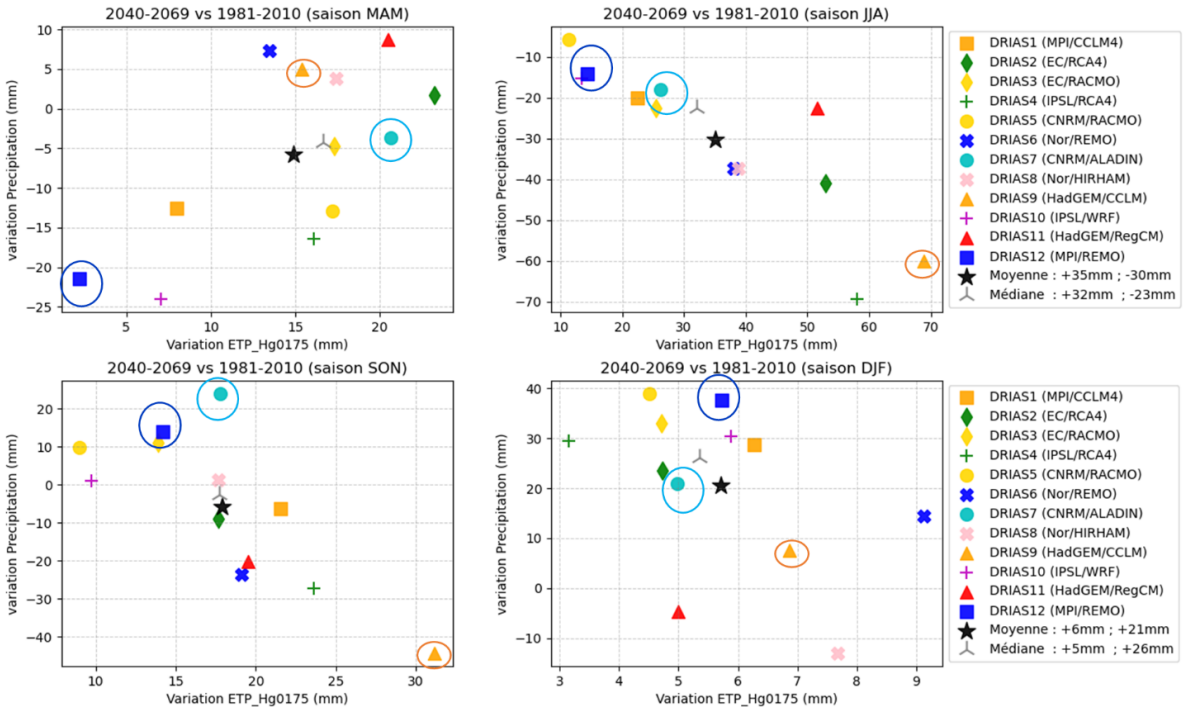


Figure 17 : Variations des cumuls de précipitations et d'ETP sur le territoire sélectionné pour les modélisations hydrologiques entre la période 1981-2010 (référence) et l'horizon proche 2040-2069 (« horizon 2055 »), pour les quatre saisons météorologiques (printemps MAM, été JJA, automne SON, hiver DJF). Les 3 modèles DRIAS sélectionnés sont entourés sur les graphiques.

Remarque : DRIAS-2020 RCP8.5 et TRACC à +4°C ?

A retenir :
La médiane des modèles DRIAS-2020 RCP8.5 mobilisés dans cette note est proche de la *trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au changement climatique* (TRACC) à +4°C proposée par le Ministère de la Transition écologique dans le cadre d'une consultation publique.

Une consultation publique vient de se terminer (septembre 2023) sur l'adoption par la France d'une trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au changement climatique (Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion de territoires, 2023). Une des questions posées est « Que pensez-vous d'une trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation de la France (TRACC) dont les niveaux de réchauffement de référence seraient : +2 °C en 2030, +2,7 °C en 2050 et +4 °C en 2100 (France métropolitaine) ? ». Les projections DRIAS-2020 avec le scénario RCP8.5 sont les plus proches de cette trajectoire à +4°C par rapport à l'ère préindustrielle. En effet, +4°C par rapport à l'ère préindustrielle correspond à +3.4°C par rapport à 1976-2005 (DRIAS-Climat, 2023) là où la médiane des projections DRIAS-2020 RCP8.5 donne +3.9°C (Soubeyroux et al., 2020, p. 16), *soit 0.5°C au-dessus de la TRACC* à la fin du siècle. Les projections DRIAS-2020 RCP4.5 sont plus éloignées de cette TRACC (à +2.1°C seulement soit *1.3°C en dessous de la TRACC* à la fin du siècle).

Choix des modèles selon les variables hydrologiques pour les rivières de Gascogne

En termes de **débits prévu par les modèles DRIAS-SIM2** (Figure 18) les trois modèles de climat DRIAS sélectionnés donnent également des variations contrastées : DRIAS9 – SIM2 est parmi les modèles prévoyant les baisses de débits moyens les plus importantes en été, en automne et en hiver ainsi que sur l'année complète ; il prévoit par contre une hausse des débits moyens printaniers. Le modèle DRIAS12-SIM2 est le seul modèle prévoyant une hausse des débits moyens sur l'année complète (dues essentiellement à une forte hausse des débits d'hiver et des variation faibles aux autres saisons). Le modèle DRIAS7-SIM2 prévoit des variations de débit moyen annuel proche de la médiane des modèles (avec des résultats également proches de la médiane des modèles en été et en hiver).

Par ailleurs ces trois modèles donnent des résultats contrastés non seulement en termes de variation du module moyen mais également pour ce qui est de l'évolution future des VCN30 moyens et des débits moyens de Juin-Juillet-Aout (Figure 19). En termes de VCN30 le modèle DRIAS4 donne cependant des baisses significativement plus marquées que DRIAS9, avec également des débits moyens printaniers plus faibles (Figure 18). Il est donc intéressant prendre en compte DRIAS4-SIM2 comme futur hydro-climatique possible, notamment en termes de sévérité des étiages.

Ces observations sur les débits confirment le choix des modèles de climat **DRIAS 9** (HagGEM/CCLM), **DRIAS 12** (MPI/REMO) et **DRIAS 7** (CNRM/ALADIN), et de SIM2 pour l'hydrologie (seul modèle Explore2 disponible en Août 2023), et suggèrent également d'utiliser en complément le modèle **DRIAS4** (IPSL/RCA4).

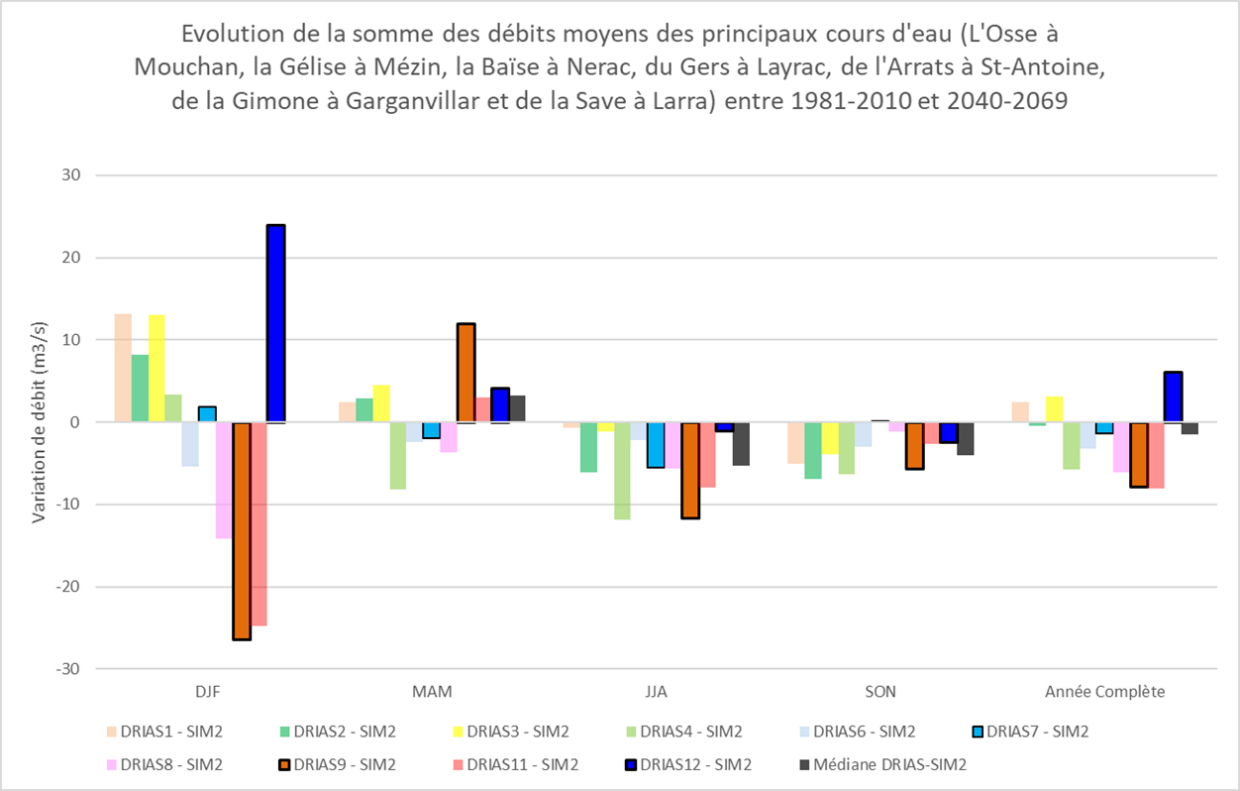


Figure 18 : Evolution des débits des rivières de Gascogne (m³/s) prévues par les modèles DRIAS-SIM2 aux différentes saisons et en moyenne annuelle, à l'horizon 2040-2069.

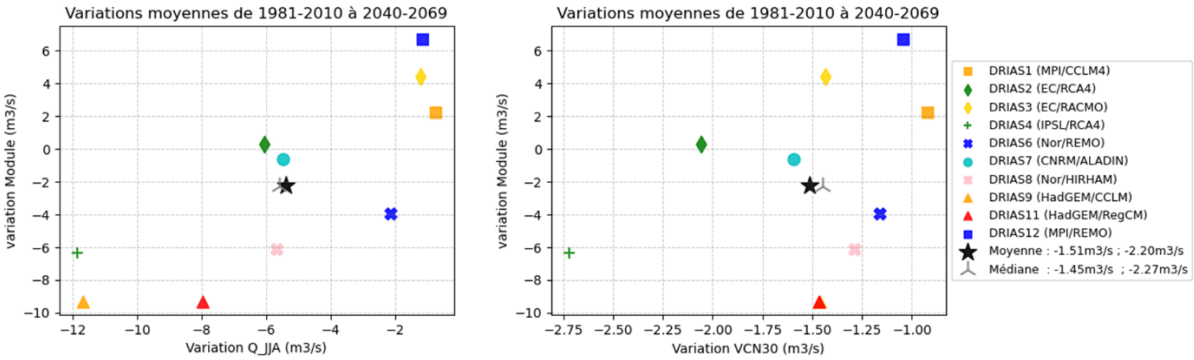


Figure 19 : projections DRIAS-SIM2 d'évolution des modules moyens et des débits moyens d'été (JJA = Juin Juillet Aout) (gauche) et des VCN30 moyens (droite) entre 1981-2010 et 2040-2069. NB : sur la figure de droite DRIAS9 et DRIAS11 sont confondus (triangle rouge).

ENJEU POUR LA GESTION DES COURS D'EAU REALIMENTES

Gestion de la Neste

A retenir :

Les volumes dérivables par le canal de la Neste à Sarrancolin se réduiront dans des proportions très significatives en raison de la baisse de l'hydrologie naturelle. De plus, le **remplissage des réservoirs** de montagne affecté au soutien des débits de la Neste sera lui aussi pénalisé par les changements climatiques (-35% à la fin du siècle).

Il en résultera plusieurs conséquences majeures :

- Les volumes dérivables dans l'année et en étiage seront **réduits de 35% environ** à la fin du siècle.

- Des **impacts sur la production énergétique** pure et donc sur l'équilibre économique émergeront.

Des scénarios d'adaptation des infrastructures et de leur gestion sont envisagés mais les conséquences induites sur le partage de la ressource soulèveront nécessairement des arbitrages de la CLE.

Le cycle de gestion de la ressource hydrologique s'appuie actuellement sur la possibilité de dériver des débits naturels depuis la Neste et de les renforcer en étiage par les déstockages des réservoirs de montagne. L'objectif de cette dérivation est le soutien des débits des têtes de bassin versant et l'aide au remplissage des réservoirs de coteaux. Ce fonctionnement est limité par trois composantes :

- Le débit naturel et soutenu disponible qui détermine la ressource théoriquement exploitable
- La capacité hydraulique du canal, qui détermine la ressource réellement exploitable ,
- Le débit à réserver à la basse Neste pour ses fonctions environementales, économiques et son rôle dans le bilan de la Garonne amont.

Cette dérivation qui représente aujourd'hui 190 Mm^3 par an sera impactée dans le futur par la modification du régime naturel des eaux, avec des années où très probablement le service rendu actuel ne sera plus garanti.

Ces trois composantes peuvent faire l'objet de scénarios :

<u>Hypothèses d'évolution de la ressource naturelle et soutenue de la Neste</u>

Le scénario à prendre en compte est celui piloté par les changements climatiques décrits par les modélisations de Sauquet et al. (2023). Nous en rappelons les conclusions.

En 2050 les volumes entrants dans les retenues et les capacités de dérivation du canal de la Neste ne devraient pas changer significativement en hiver et au printemps, mais diminuer fortement en été et en automne, c'est-à-dire en période d'usage maximal lorsque les rivières de Gascogne sont en étiage. A la fin du siècle, la baisse des débits devrait s'aggraver en toutes saisons.

<u>Le remplissage des réservoirs insécurisé par la baisse de l'hydrologie</u>

Les simulations disponibles dans l'étude Sauquet ne concerne que le bassin de l'Oule, mais nous avons estimé en première approche que l'on pouvait les étendre aux autres bassins alimentant les réservoirs de montagne.

.

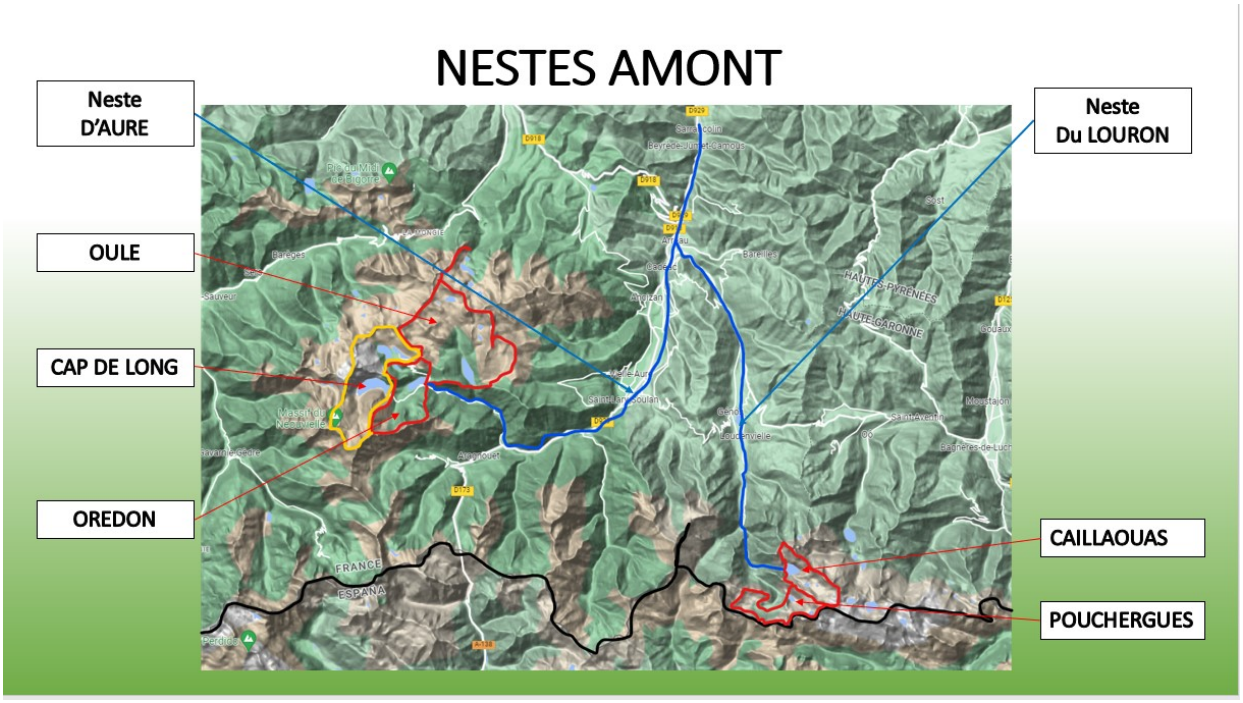


Figure 20 : Les bassins versants des réservoirs de hautes montagne (source SHEM) environ 78 km2 de bassin versant.

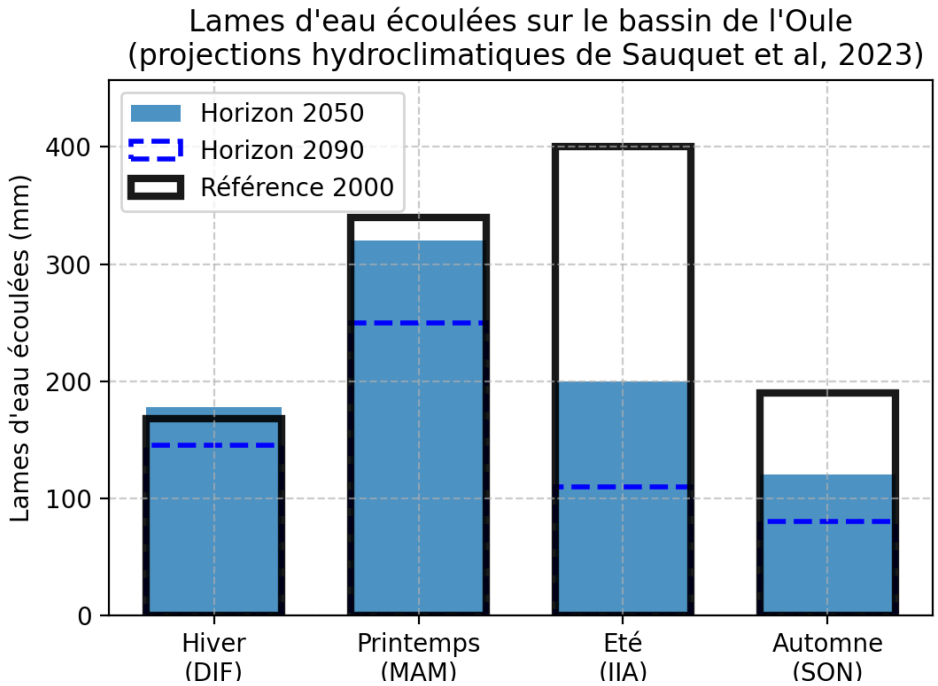


Figure 21 : Evolution saisonnière des lames d'eau écoulées sur le Bassin de l'Oule (Sauquet et al. 2023)

Ces réservoirs de montagne se remplissent aujourd'hui d'avril à juin. En 2050, l'abondance hydrologique printanière devrait rester à peu près constante mais il faut se préparer à décaler la période de remplissage plus précocement car les apports naturels en début d'été seront fortement réduits (50% des débits actuels en 2050).

En période de soutien des débits, les débits naturels entrants dans les réservoirs contribuent à ralentir la baisse des stocks voire à les reconstituer en partie. C'est grâce à cela que la garantie de 48 Mm^3 peut être apportée.

Sur le plan de la production d'énergie, la baisse de l'hydrologie se traduit dans les mêmes proportions en baisse de production (MWh). L'équilibre économique de ces concessions sera significativement impacté d'autant que les stratégies d'optimisation énergétique du placement de l'eau seront de plus en plus contraintes par la gestion hydraulique des stocks pour le soutien des débits. La gestion durable de ces réservoirs est donc en jeu.

Il y a donc un risque probable entre 2050 et 2090 que la garantie de disponibilité des 48 Mm^3 sur l'ensemble de la saison de soutien des débits ne soit plus acquise chaque année ou soit plus couteuse s'il fallait renforcer la part de recharge issue de pompage (exemple de Pouchergue et Caillaouas). D'autre part, la moindre valorisation énergétique se répercutera sur l'équilibre économique de ces concessions et donc sur la gestion durable des ouvrages.

Tableau 1. Volumes entrant cumulé sur les réservoirs SHEM : données SHEM pour la période historique et application des variations futures (en volumes écoulés) de la médiane des projections de Sauquet et al. (2023) pour le bassin de l'Oule (avec hypothèse que les variations soient similaires sur les autres bassins)

Volume entrant cumulé moyen sur l'ensemble des réservoirs SHEM (Mm^3)	Actuel (2000/2021)	2050	2090
DJF	7	7	5
MAM	28	28	23
JJA	31	20	16
SON	13	9	7
Année	78	64	51
	100%	82%	65%

Des débits en baisse en amont de la prise d'eau du canal de la Neste qui réinterrogent les équilibres actuels

Le cumul annuel des apports en amont du canal (en ne tenant pas compte de la dérivation de Cap de Long) est donc l'addition de deux systèmes (les lâchers des réservoirs SHEM + les apports au fil de l'eau du bassin intermédiaire).

La modification du régime des eaux sera aussi particulièrement forte sur la période estivale sur la moyenne montagne (Sarrancolin). L'étude Sauquet et al. (2023) présente les évolutions des lames d'eau écoulées actuelles (1985-2015) et futures (horizon 2050 et 2090) du bassin intermédiaire entre les réservoirs et Sarrancolin (528 km^2), en se basant sur des modélisations hydroclimatiques CMIP5-RCP8.5-GR6J.

Les simulations hydroclimatiques prévoient une baisse des lames d'eau écoulées dans le futur. Cependant les écoulements simulés pour la période historique seraient de 723 mm d'après la

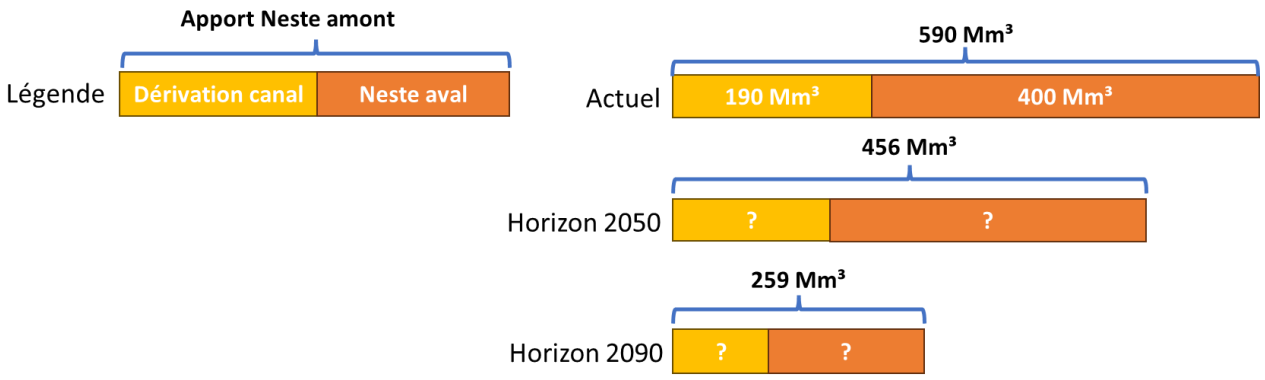
médiane des modèles hydroclimatiques. Cette simulation est éloignée des observations réalisées sur la même période : 925 mm écoulés soit 200 mm de plus qui correspondent à 100 Mm³ de différence ! Nous avons considéré que les variations prévues par les modèles doivent donc être appliquées à la situation actuelle réelle et nous décidons d'appliquer les variations de la médiane des modèles en valeur en *volume écoulé (en mm ou Mm³)* et non pas en pourcentage afin d'estimer les volumes écoulés futurs.

Par ailleurs, les incertitudes importantes sur les projections hydroclimatiques sur le bassin intermédiaire incitent à la prudence dans l'interprétation des résultats qui pourraient être assez éloignés de la médiane des simulations. En effet, sur les 6 simulations effectuées par Sauquet et al. (2023),pour évaluer les écoulements à l'horizon 2090 la plus pessimiste donnerait seulement 8 Mm³ et la plus optimiste 259 Mm³ pour une médiane des modèles à 77 Mm³.

	Ecoulement annuel cumulé	Actuel (1985-2015)	2050	2090
Cap de long (estimations, pour information)	*Mm3*	*25*	*20*	*16*
Barrages SHEM	Mm³	78	64	51
Bassin intermédiaire amont Sarrancolin (528 km²) Médiane des simulations (Sauquet et al, 2023, simulations CMIP5-GR6J)	*Lame d'eau en mm*	*723*	*494*	*146*
	Conversion en Mm³	382	261	77
Total amont Sarrancolin (Médiane simulations)	Mm³	460	325	128
Variations par rapport à 1985-2015 (Médiane simulations) = Pertes de volumes retenues.	Mm³	0	-135	-332
Total amont Sarrancolin (observé 2013-2020 et médiane des projections)	**Mm³**	**591 (100%)**	**456 (77%)**	**259 (44%)**

Le tableau ci-dessus regroupe les principaux ordres de grandeurs produits par la médiane des modèles Sauquet et al. A la moitié du siècle, la baisse annoncée des débits de la Neste à la prise d'eau du canal se traduirait par une ressource qui ne représenterait que 77% de la ressource actuelle. Des choix de gestion devront donc être opérés pour un nouveau partage de la ressource entre Neste aval et Gascogne.

Le graphique ci-dessous illustre les répercussions sur les choix de gestion qui correspondent à des scénarios très structurants de partage de la ressource:



A titre d'illustration et pour rendre tangible ces hypothèses, si le volume dérivé par le canal reste constant (hypothèse forte), l'évolution du volume et des débits en basse Neste serait les suivants :

	Ecoulement annuel cumulé	Actuel (1985-2015)	2050	2090
Total amont Sarrancolin (observé 2013-2020 et médiane des projections)	**Mm³**	591 (100%)	**456 (77%)**	**259 (44%)**
Résiduel Neste aval avec dérivation actuelle plafonnée (190 Mm³)	Mm³	401	266	69
Soit en débit moyen annuel Neste aval m3/s	m³/s	*12.72*	*8.43*	*2.18 Inférieur au débit objectif actuel de 4 m³/s*

Si le débit réservé de 4 m³/s est maintenu toute l'année, les volumes dérivables par le canal en moyenne annuelle seront significativement affectés dans la deuxième moitié du siècle avec deux commentaires :

1. Ce tableau ne présente que des moyennes interannuelles et donc certaines années seront plus sévères que la situation décrite.
2. La possibilité de dériver les eaux dépend aussi du régime des eaux. En particulier les volumes qui transitent en période de crue, continueront de déverser sur le seuil de Sarrancolin et ne constituent pas une ressource disponible pour la Gascogne.

	Ecoulement annuel cumulé	Actuel (1985-2015)	2050	2090
Total amont Sarrancolin (observé 2013-2020 et médiane des projections)	**Mm³**	591 (100%)	**456 (77%)**	**259 (44%)**
Disponible Gascogne max si respect du DR 4 m3/s (126 Mm³)	Mm³	190	190	133

Il existe bien sur plusieurs scénarios dont les 2 ci-dessus sont des exemples.

Les tendances climatiques sur la diminution drastique des ressources en eau de la Neste imposent donc un scénario d'adaptation qui doit être préparé le plus tôt possible.

Hypothèses de scénarios d'adaptation des infrastructures de la Neste et de leur gestion

Les analyses précédentes montrent que le taux de remplissage des ouvrages de montagne et les volumes dérivables par le canal se réduiront dans des proportions très significatives à la fin du siècle. Des scénarios peuvent être imaginés pour éviter ou atténuer de futures contraintes pour la Gascogne. Les hypothèses suivantes sont donc à ce stade purement théoriques et devront être analysées au premier chef par la CLE.

1. L'hypothèse d'une **réduction des volumes dérivés par le canal,** engage des conséquences très lourdes mais elle doit être examinée attentivement en regard des conséquences sur l'ensemble du territoire du SAGE NRG.
2. L'hypothèse d'une **augmentation de la capacité des ouvrages de montagne** peut se comprendre dans l'optique d'une gestion interannuelle des stocks afin de lisser les aléas futurs sur l'alimentation en eau. Cela n'augmente pas les marges de manœuvre volumétriques, mais sécurise une gestion qui devra de toute façon être plus parcimonieuse. Des options visant à augmenter le bassin versant collecté par pompage (STEP, cf. Rapport sur le potentiel hydroélectrique) peuvent concourir à cet objectif. Il n'est pas dit que cela soit techniquement et environnementalement possible.
3. L'hypothèse **d'un renforcement des apports d'eau issus du système EDF de Pragnères Cap de Long** : soit en restituant les volumes du bassin Neste actuellement dérivés vers le gave de Pau (environ 25 Mm^3 qui seront aussi en décroissance tendancielle), soit en exploitant en plus le potentiel de pompage depuis le Gave de Pau. Cette solution serait très couteuse financièrement et en énergie.
4. Des choix de gestion entre la Gascogne et la basse Neste devront être réalisés. Un des scénarios pourrait être **d'augmenter la capacité du canal de la Neste** pour mieux capter les volumes de hautes eaux de la Neste et les orienter vers la Gascogne. En effet, les volumes transitant en aval de la dérivation actuelle sont évalués sur la période historique (cf. état des lieux) à 404 Mm^3 soit 12,8 m^3/s. Actuellement, 280 Mm^3 sont des volumes excédant l'obligation réglementaire du débit réservé. Un scénario pourrait être de les valoriser en partie au profit de la Gascogne.

   Ils jouent cependant aujourd'hui un rôle important sur le fonctionnement morphologique et biologique de la Neste aval et de la Garonne amont. Toute chose égale par ailleurs, ce sont eux qui seront les premiers impactés par les changements à venir et donc en réduction tendancielle.

5. Un scénario de **réduction du débit réglementaire en aval de la Neste,** pourrait être envisagé à l'instar des autres points nodaux du SAGE et du SDAGE. Le débit actuellement fixé à 4 m^3/s (et ponctuellement à 3 m^3/s), ne s'observe aujourd'hui que 20% de l'année. L'augmentation en fréquence et en intensité de ces situations est très probable. Un scénario d'ajustement du débit minimum peut donc être analysé en regard de toutes les composantes du débit biologique (fréquence et intensité) de la Neste aval, de la Garonne amont et du bénéfice réellement apporté au cours d'eau gascons.

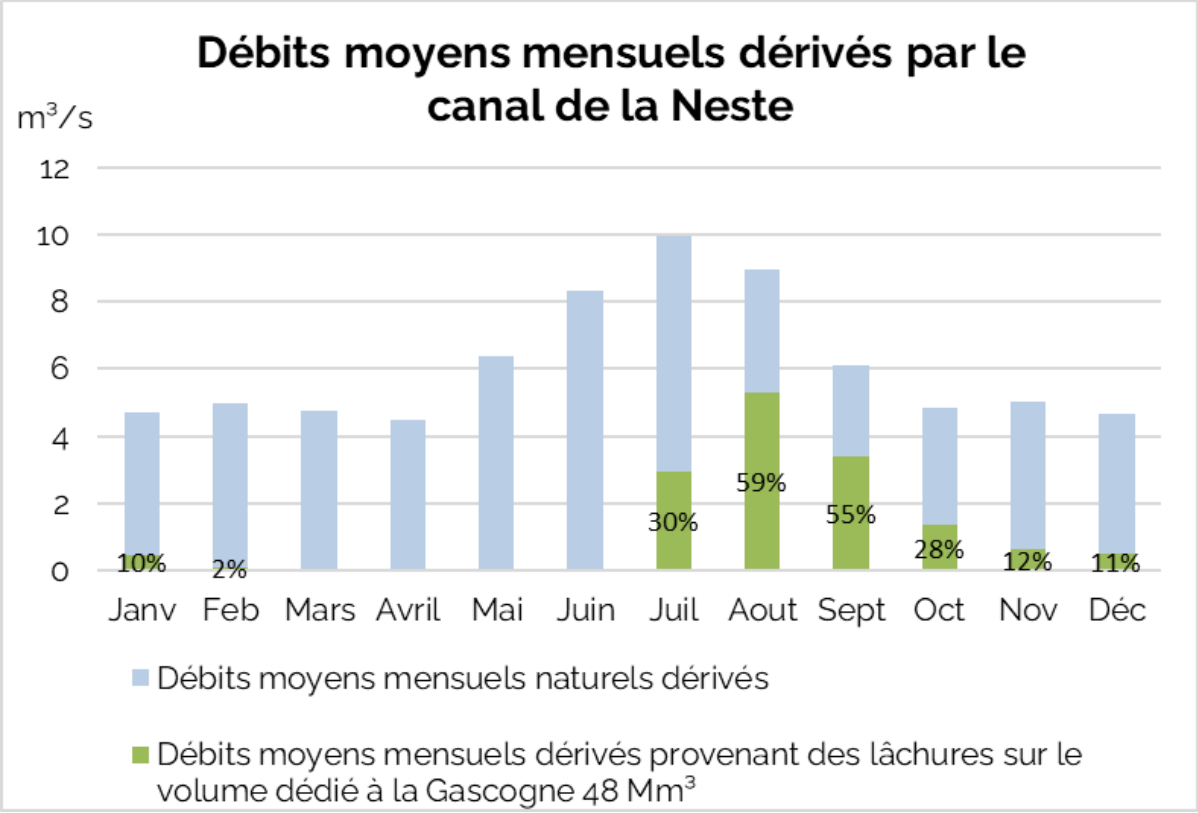


Figure 22 : Débits moyens mensuels moyens du canal de la Neste : un mode de fonctionnement remis en cause par les évolutions hydro climatiques

Le remplissage des ouvrages de coteaux dépendant des apports du canal

A retenir :

Le transfert depuis le canal permet :

De compléter le remplissage des ouvrages de coteaux sur la période hivernale qui dépend aussi des bassins versants des ouvrages

De respecter des objectifs de débit réservé qui sont aujourd'hui très élevés en regard de ces débits naturels amont

Avec le scénario d'une réduction des volumes dérivables depuis la Neste, le remplissage des barrages de coteaux pourrait entrer en compétition avec les autres fonctions du canal et principalement le soutien direct des débits des rivières.

Ces ouvrages se remplissent grâce au ruissellement de leur bassin versant, mais cette part peut être insuffisante en année sèche car ces ouvrages sont situés en tête de vallée et donc avec de faibles bassins versants. Ce volume n'est cependant pas acquis en année sèche. D'autre part, le respect des objectifs de débit réservé qui sont aujourd'hui très élevés en regard de ces débits naturels amont, absorbe une fraction importante de ces débits. Demain ce volume d'apport naturel, sera partiellement réduit avec une lame d'eau en diminution de 6% à l'horizon 2050 et de 16 % à la fin du siècle.

Le remplissage, dépend donc très largement des transferts depuis la Neste sur la période hivernale. Avec le scénario d'une réduction des volumes dérivables depuis la Neste, le remplissage des barrages de coteaux entrera en compétition avec les autres fonctions du canal et principalement le soutien direct des débits des rivières.

Deux scénarios sont envisageables :

- Revisiter les objectifs de débit du canal en tête de bassin versant. Ces débits sont fixés par un décret de 1909 qui apparaît inadapté à la nouvelle configuration hydrologique du XXIème siècle. En revanche, cet historique qui a façonné les rivières et la relation des hommes et des femmes avec ces rivières doit être pris en compte. Le chantier de ce scénario est donc celui d'une réévaluation des besoins en débits en tête de bassin versant aux différentes saisons du système.
- Gérer différemment les stocks accumulés dans les réservoirs en tenant compte du risque de non remplissage en hiver par le canal. Cela peut se traduire par une plus grande part allouée à la gestion interannuelle et donc une réduction de la part déstockée en moyenne. Cela pourrait se traduire par une révision des objectifs estivaux (usage et milieux) et des débits réservés des ouvrages.

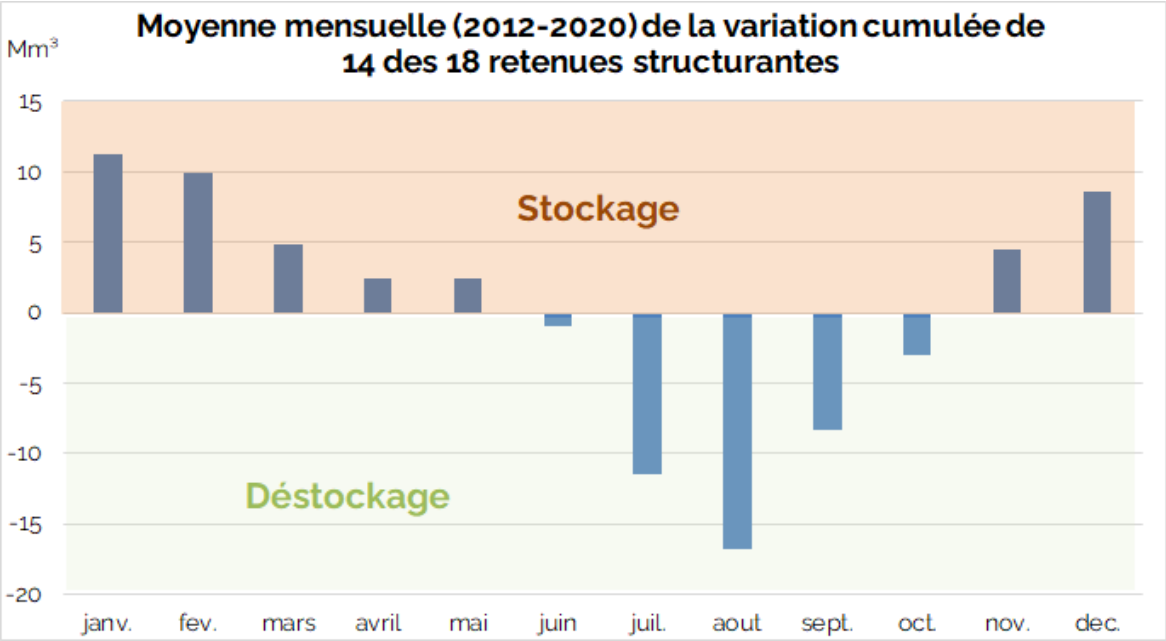


Figure 23 : Variations de volume moyenne mensuelle sur les principales retenues des coteaux de Gascogne

Le remplissage des retenues collinaires, sans doute moins menacés mais de nombreuses inconnues sur leur fonction à venir et à traiter au cas par cas

A retenir :
Le **remplissage hivernal** des retenues collinaires devrait être **moins impacté** que les grandes retenues.
L'augmentation tendancielle de l'évaporation jouera un rôle accru dans les bilans des ouvrages.

Le remplissage hivernal des retenues collinaires devrait être moins impacté que les grandes retenues dans la mesure où le bassin versant collecté est en général plus en proportion avec les volumes stockés. Ce constat ne vaut pas pour les ouvrages remplis par pompage depuis les axes réalimentés ainsi que les ouvrages trop nombreux sur un même bassin versant. Ceux-là seront plus vulnérables.

L'augmentation tendancielle de l'évaporation jouera un rôle accru dans les bilans des ouvrages.

Un scénario de mobilisation renforcée des stocks collinaires (86 Mm³) est envisageable sous réserve d'améliorer significativement la connaissance de ce patrimoine majoritairement privé. Une part de ces stocks présente sans doute une bonne résilience au changement hydroclimatique et peut s'inscrire dans une politique multiusage.

Les caractéristiques techniques devront être renseignées afin de proposer des stratégies d'optimisation collective et de hiérarchisation entre ouvrages. Les objectifs globaux seront sans doute multiusages mais ils peuvent se répartir entre ouvrages pour une meilleure intégration dans la régulation hydrologique, un rôle positif vis-à-vis des espèces aquatiques ou liés à l'eau, un confortement de pratiques agricoles compatibles avec la ressource, un rôle touristique ou social, etc...

Les critères principaux sont : propriété, statut administratif, volume utile, état de l'infrastructure, modalité de remplissage, concurrence de remplissage inter collinaires, enjeux écologiques locaux, usage de l'eau, milieu récepteur, qualité des eaux.

L'EQUILIBRE BILAN RESSOURCE GLOBAL : DES JALONS A IDENTIFIER POUR UNE TRAJECTOIRE IMPOSEE A MOYENS TERMES

A retenir :

Plusieurs pistes d'actions peuvent être envisagées pour maintenir l'équilibre quantitatif actuel. Cependant leur mise en œuvre et leurs conséquences sont complexes à définir.

L'affaiblissement de l'hydrologie aura des répercussions importantes sur la capacité à respecter l'équilibre quantitatif actuel.

Les leviers d'actions possibles sont assez faciles à énoncer, leur faisabilité et les conséquences induites le sont beaucoup moins. Les éléments suivants constituent une introduction aux débats à venir.

Renforcer la résistance naturelle des sols, des milieux aquatiques et humides

L'essentiel du linéaire de cours d'eau du SAGE est constitué de tous petits cours d'eau, plus ou moins pérennes et non réalimentés par des ouvrages dédiés. Leur fonctionnement hydrologique sera largement impacté par les changements à venir et la dégradation du bilan hydrique.

La seule réponse possible est d'agir au plus près de chaque cours d'eau ce qui passe par un ralentissement du cycle de l'eau dans les sols et les zones humides.

Le recensement des zones potentielles d'accumulation montre qu'elles sont très largement réparties sur le territoire, y compris dans la zone des coteaux. Elles offrent donc un atout opérationnel à valoriser.

Sur l'ensemble du territoire du SAGE Neste et Rivières de Gascogne, la superficie des probabilités « Forte » et « Très forte » de présence d'une zone d'accumulation représente 1 071 km² soit 14 % du territoire (*Source : Prélocalisation des zones humides potentielles à l'échelle du SAGE Neste & Rivières de Gascogne. Méthodologie*). Sans nécessairement envisager un renforcement du volume d'eau libre stocké dans ces zones d'accumulation, on peut s'interroger sur les mécanismes favorisant une restitution lente de ces volumes, ce qui viendra réduire l'intensité des étiages ou la durée

des assecs et peut-être atténuer certaines crues. La confirmation de ces recensements et la quantification de ces bénéfices hydrologiques reste à réaliser.

Réduire la dépendance des usages à la ressource en eau

Tous les usages sont concernés et aucun ne peut se prévaloir d'une totale indépendance à la ressource en eau. Les leviers communs entre usages sont la sobriété (réduction de l'usage à la source) voire la disparition de l'activité, la réduction des gaspillages, et enfin l'adaptation des procédés technologiques (production, traitement des eaux usées, etc..). Soulignons que les usages devront en parallèle progresser aussi vers la décarbonation partielle ou totale (politique d'atténuation des changements climatiques).

Ces choix emportent des coûts d'investissement et de fonctionnement (exemple de la réduction des fuites, de l'optimisation des process industriels), nécessite de l'animation (conseil pour les économies d'eau), engage des réorientations fortes pour l'agriculture et les filières qui en dépendent. Rappelons que les changements climatiques devraient augmenter la demande en eau « vertes » des cultures pluviales ou irriguées ainsi que des forêts. Le renforcement de la capacité de stockage de l'eau de pluie des sols intéresse toutes les couvertures végétales et peut aussi converger vers plus de stockage du carbone dans le sol. Pour l'irrigation, premier usage préleveur de l'eau bleue toutes l'année et en étiage, les moyens d'actions sont la technicité de l'irrigant et le matériel (meilleur placement de l'eau), le changement de cultures en faisant appel aux cultures plus sobres en besoin d'irrigation, la réduction de la sole irriguée et donc une réorientation de ces surfaces vers une agriculture pluviale.

Réutiliser les eaux usées traitées (Réut)

La réutilisation des eaux usées traitées ne crée pas d'eau nouvelle mais favorise une réduction des prélèvements pour un même service rendu. Cela peut être essentiel sur des ressources limitées en débit (exemple de sources captées en limite de débit disponible). En revanche, elle conduit à une réduction des rejets souvent restitués au cours d'eau et qui apportent aussi un service en aval. Ces eaux rejetées peuvent ainsi être pompées par un préleveur en aval, ce qui constitue une forme de réutilisation. Des bénéfices sont aussi possibles pour la qualité des milieux récepteurs.

La Réut est génératrice de coûts d'investissement (stockage de l'eau notamment) et de fonctionnement (traitement et transport). Le potentiel peut s'expertiser en s'appuyant déjà sur le recensement des stations d'épurations existantes, l'identification des usages possibles de l'eau traitée et une hiérarchisation des sites d'intérêt.

Ajuster les objectifs de débits dans les rivières

(cf Enjeux biologiques)

Compte tenu de la part très importante des objectifs environnementaux dans la gestion des ressources stockées ou dérivée, la question des objectifs de débit et des moyens volumétriques à leur accorder est centrale. Dans cette première esquisse, les objectifs de débit regroupent : DOE, débit seuil de gestion, débit de réalimentation depuis le canal de la Neste, débit réservé.

Parmi les leviers envisageables, nous pouvons citer :

- L'ajustement des valeurs de débit au plus près des besoins (environnementaux et des usages) ;

- Une révision des périodes et des objectifs saisonniers puisque le système actuel est l'un des rares en France à couvrir tout le cycle annuel ;
- Une évaluation des enjeux liés à la démultiplication des points cibles de gestion au sein d'une même vallée puisque chaque nouvel objectif est porteur d'une demande en eau complémentaire.

Renforcer le stockage artificiel de l'eau

(cf Enjeux pour la gestion des cours d'eau réalimentés)

Sur le territoire du SAGE, le niveau de stockage de l'eau dans des réservoirs est déjà très conséquent. Les évaluations hydrologiques montrent que la question majeure est celle du remplissage d'une part et par conséquent du risque de basculer vers une gestion interannuelle. Ce principe de gestion très connu des pays méditerranéens consiste à partager sur un, deux ou trois ans la gestion des stocks dont la reconstitution devient de plus en plus épisodique.

Il est donc probable que cette contrainte réduira le potentiel de nouveaux stocks.

Sécuriser et mieux valoriser les stocks existants

La gestion actuelle des réservoirs de montagne et de coteaux est déjà largement optimisée au travers d'outil d'optimisation du placement de l'eau. L'évolution probable des règles de partage conduira à l'adaptation de la gestion et à une nouvelle optimisation sous réserve de conserver une vision globale du territoire. Le principal frein sera sans doute celui de l'équilibre économique des concessions hydroélectriques et la gestion durable des retenues (coût d'entretien des infrastructures).

Une marge de progrès reste à expertiser dans la gestion des petites retenues collinaires, qui peuvent apporter des réponses à certaines problématiques notamment agricoles.

Exploiter de nouvelles ressources souterraines

La géologie du territoire est globalement peu favorable à cette option.

Les nappes alluviales doivent être considérées comme indissociables des cours d'eau mais les expérimentations en cours sur la Garonne pourraient susciter des développements sous réserve de secteurs favorables. Cette expertise n'a pas été réalisée.

Dans le domaine pyrénéen, le projet POTAPYR du BRGM considère le bassin de la Neste comme peu favorable. (Cf état des lieux).

Bibliographie

Association Moraine, 2022. Résumé du rapport d'étude 2022 - Les glaciers des Pyrénées : un patrimoine naturel menacé, des indicateurs environnementaux précieux. MORAINE - Association Pyrénéenne de Glaciologie (http://asso.moraine.free.fr), Luchon.

CACG, SMEAG, 2023. Vulnérabilité du bassin de la Garonne face au changement climatique : climat et ressource en eau - analyse des données de changement climatique DRIAS2020 sur le territoire du SAGE Garonne.

DRIAS-Climat, 2023. La Trajectoire de Réchauffement de Référence pour l'Adaptation au Changement Climatique (TRACC) [WWW Document]. URL http://www.drias-climat.fr/accompagnement/sections/405 (accessed 10.11.23).

DRIAS-EAU, 2023. Portail DRIAS-EAU [WWW Document]. URL https://www.drias-eau.fr/

Escalón, S., 2022. Le réchauffement climatique en France s'annonce pire que prévu [WWW Document]. CNRS J. URL https://lejournal.cnrs.fr/articles/le-rechauffement-climatique-en-france-sannonce-pire-que-prevu

Explore2, 2023. Explore2 - les futurs de l'eau [WWW Document]. Portail Tech. OFB. URL https://professionnels.ofb.fr/fr/node/1244

Habets, F., Boone, A., Champeaux, J.-L., Etchevers, P., Franchisteguy, L., Leblois, E., Ledoux, E., Le Moigne, P., Martin, E., Morel, S., Noilhan, J., Quintana Seguí, P., Rousset, F., Viennot, P., 2008. The SAFRAN-ISBA-MODCOU hydrometeorological model applied over France. J. Geophys. Res. 113. https://doi.org/10.1029/2007JD008548

INRAE, 2023. Quels sont les modèles que nous développons ? [WWW Document]. URL https://webgr.inrae.fr/modeles/

Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O.B., Bouwer, L.M., Braun, A., Colette, A., Déqué, M., Georgievski, G., Georgopoulou, E., Gobiet, A., Menut, L., Nikulin, G., Haensler, A., Hempelmann, N., Jones, C., Keuler, K., Kovats, S., Kröner, N., Kotlarski, S., Kriegsmann, A., Martin, E., van Meijgaard, E., Moseley, C., Pfeifer, S., Preuschmann, S., Radermacher, C., Radtke, K., Rechid, D., Rounsevell, M., Samuelsson, P., Somot, S., Soussana, J.-F., Teichmann, C., Valentini, R., Vautard, R., Weber, B., Yiou, P., 2014. EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. Reg. Environ. Change 14, 563–578. https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2

LIFE Eau&Climat, 2023. LIFE Eau&Climat - Supporting long-term local decision-making for climate-adapted Water Management (LIFE19 GIC/FR/001259) [WWW Document]. Gesteau. URL https://www.gesteau.fr/life-eau-climat

Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S.L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M.I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J.B.R., Maycock, T.K., Waterfield, T., Yelekçi, Ö., Yu, R., Zhou, B. (Eds.), 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. https://doi.org/10.1017/9781009157896

Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion de territoires, 2023. Trajectoire de réchauffement de référence [WWW Document]. URL https://www.ecologie.gouv.fr/trajectoire-rechauffement-reference-ouverture-consultation-publique (accessed 10.11.23).

Moigne, P.L., Besson, F., Martin, É., Boe, J., Boone, A., Decharme, B., Etchevers, P., Faroux, S., Habets, F., Lafaysse, M., Leroux, D., Rousset-Regimbeau, F., 2020. The latest improvements with SURFEX v8.0 of the Safran–Isba–Modcou hydrometeorological model for France. Geosci. Model Dev. Discuss. 13, 3925. https://doi.org/10.5194/gmd-13-3925-2020

Ribes, A., Boé, J., Qasmi, S., Dubuisson, B., Douville, H., Terray, L., 2022. An updated assessment of past and future warming over France based on a regional observational constraint. Earth Syst. Dyn. 13, 1397–1415. https://doi.org/10.5194/esd-13-1397-2022

Riboust, P., 2018. De la neige au débit : de l'intérêt d'une meilleure contrainte et représentation de la neige dans les modèles (These de doctorat). Sorbonne université.
Robin, Y., Corre, L., Marson, P., Bernus, S., Vrac, M., Thao, S., 2023. Rapport Explore2 Climat - Projections Climatiques Régionalisées : correction de biais et changements futurs. https://doi.org/10.57745/99X4CD
Sauquet, E., 2022. Explore2. https://doi.org/10.57745/OMWYR0
Sauquet, E., Coent, P.L., Catalogne, C., Huang, P., Vidal, J.-P., 2023. Formulation de stratégies d'adaptation au changement climatique sur les territoires connectés au système Neste - Une étude pilote croisant trajectoires dynamiques d'adaptation et vulnérabilités (report). Inrae ; Brgm ; icare2.
Soubeyroux, J.-M., Bernus, S., Corre, L., Drouin, A., Dubuisson, B., Etchevers, P., Gouget, V., Josse, P., Kerdoncuff, M., Samacoits, R., Tocquer, F., 2020. Les nouvelles projections climatiques de référence DRIAS 2020 pour la métropole. Météo-France.
Soubeyroux, J.-M., Martin, E., Franchisteguy, L., Habets, F., Noilhan, J., BAILLON, M., Rousset, F., Vidal, J.-P., LEMOIGNE, P., Morel, S., 2008. Safran-Isba-Modcou (SIM) : Un outil pour le suivi hydrométéorologique opérationnel et les études. La Météorologie 40–45. https://doi.org/10.4267/2042/21890
Taylor, K.E., Stouffer, R.J., Meehl, G.A., 2012. An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. Bull. Am. Meteorol. Soc. 93, 485–498. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1
Verfaillie, D., Déqué, M., Morin, S., Lafaysse, M., 2017. The method ADAMONT v1.0 for statistical adjustment of climate projections applicable to energy balance land surface models. Geosci. Model Dev. 10, 4257–4283. https://doi.org/10.5194/gmd-10-4257-2017