



## NOTE

---

**Hydrologie et changements climatiques : quelles tendances observées et à venir sur le bassin Adour-Garonne ?**

NOTE

## Hydrologie et changements climatiques : quelles tendances observées et à venir sur le bassin Adour-Garonne ?

---

### Editorial

Le Plan d'Adaptation au Changement Climatique (PACC) du bassin Adour-Garonne adopté en 2018 prévoit que le déséquilibre hydrologique entre besoins et ressources en eau pourrait atteindre, par le seul effet du changement climatique, en moyenne 1 à 1,2 milliards de m<sup>3</sup> en 2050, dans un scénario avec maintien des conditions actuelles (DOE et usages).

La sécheresse survenue en 2022 nous a déjà donné une idée concrète des conséquences des changements à l'œuvre: 1/3 des cours d'eau suivis par l'observatoire national des étiages (ONDE) ont été observés en assec au mois d'août 2022, environ 60 000 habitants ont été sujets à une coupure d'eau potable et le niveau maximum de restriction des usages de l'eau a été déployé sur l'ensemble du bassin avec des conséquences financières importantes pour certains usages économiques.

Cette situation exceptionnelle que nous venons de vivre pourrait devenir courante notamment sur certains territoires déjà sujets depuis plusieurs décennies à des baisses conséquentes de l'hydrologie. C'est pourquoi le Conseil Scientifique du Comité de bassin Adour-Garonne a porté, avec l'agence de l'eau et les services de l'Etat, l'étude ci-jointe qui a évalué les tendances de l'hydrologie observée au cours des cinquante dernières années en tête de nombreux bassins versants d'Adour-Garonne. **Il en résulte des tendances fortement orientées à la baisse des débits d'étiages comme des débits annuels.**

Les projections hydrologiques actuellement disponibles vont dans le sens *a minima* d'une poursuite des tendances à la baisse déjà constatées d'un territoire à l'autre, d'autant plus que **le 6<sup>ème</sup> rapport du GIEC annonce des baisses probables des cumuls de précipitation** dans les régions occidentales et méditerranéennes de l'Europe. Il nous faut maintenant attendre les résultats actualisés de la prospective nationale *Explore2* en cours pour savoir si le scénario tendanciel qui se profile d'ici la fin du siècle pourrait les

aggraver encore, et ainsi mieux visualiser les efforts d'adaptation qui nous attendent. *Explore2* fournira également des projections hydrologiques et climatiques plus territorialisées, ce qui devrait faciliter leur intégration dans les décisions et les subventions à l'échelle des territoires en vue de stratégies d'adaptation locales.

**Il faut également s'interroger sur l'évolution de la qualité des eaux sous l'effet du changement climatique,** notamment les eaux superficielles, sujet en effet nettement moins étudié que la disponibilité des eaux douces. Le conseil scientifique, également conscient de cette problématique, a récemment préconisé de mener un suivi spécifique sur les stations du réseau de référence pérenne (RRP) avec l'aide de la Mission Surveillance Réseau de l'Agence, suivi dont les données seront analysées à terme en regard des évolutions du climat et de l'hydrologie.

**Pr Bernard Legube**

*Président du Conseil Scientifique du  
Comité de bassin Adour-Garonne*

## Sommaire

1. Quelle est la nature des modifications déjà observées de l'hydrologie du bassin Adour-Garonne ? .....	4
1.1 Première analyse AEAG/DBAG (2019-2020).....	4
1.2 Etude INRAE Lyon (2021-2022) .....	5
1.3 Proposition d'un indicateur pour le tableau de bord du SDAGE .....	7
2. A quelles modifications hydrologiques s'attendre entre aujourd'hui et 2050 ? .....	8
2.1 Explore 2070 (2010-2012) et Explore 2 (2021-).....	8
2.2 Le projet PIRAGUA : projections 2050 et 2090 pour le système Neste.....	10
Conclusion .....	10

Le **Plan d'Adaptation au Changement Climatique (PACC)** du Comité de bassin Adour-Garonne, adopté en 2018, a rappelé les principales modifications hydrologiques à venir sur le bassin Adour-Garonne à partir des résultats des études alors disponibles (Explore2070, Garonne2050) :

- « Une baisse moyenne annuelle des débits naturels des cours d'eau comprise entre -20% et -40% et de l'ordre de -50% en périodes d'étiage qui seront plus précoces, plus sévères et plus longues » ;
- Une vulnérabilité forte de certains territoires à la disponibilité en eau superficielle : « Les bassins Tarn-Aveyron et Charente, la Garonne, l'Adour, et l'Isle et la Dronne sont à cet égard particulièrement vulnérables [...] ».

Le PACC a donné une nouvelle dynamique pour la connaissance des impacts des changements climatiques sur l'hydrologie et la disponibilité des ressources en eau du bassin. Ainsi, d'autres études ou projets de recherche ont depuis été menées, ou sont en cours de réalisation.

Cette note, validée par le Conseil Scientifique du Comité de bassin suite à la séance du 18 octobre 2022, revient sur les résultats clefs des dernières études en date pour donner des éléments de réponse aux questions suivantes :

- **(1.) Quelle est la nature des modifications déjà observées de l'hydrologie du bassin Adour-Garonne ?** Cette question a notamment été abordée lors du conseil scientifique du Comité de bassin du 15 mars 2022 qui a abouti à la proposition d'un indicateur pour le tableau de bord du SDAGE (indicateur présenté dans cette note) ;

- **(2.) A quelles modifications hydrologiques s'attendre entre aujourd'hui et 2050 ?**

En conclusion, la note revient sur les éléments communiqués dans le PACC et sur leur cohérence avec les dernières études.

## 1. Quelle est la nature des modifications déjà observées de l'hydrologie du bassin Adour-Garonne ?

L'analyse de l'hydrologie passée du bassin a d'abord été menée à travers une première analyse AEAG/DBAG (2019-2020) qui a ensuite été consolidée par une étude commandée à l'INRAE Lyon (2021-2022).

### 1.1 Première analyse AEAG/DBAG (2019-2020)

Ce travail a permis une première analyse de l'hydrologie **mesurée sur 45 ans au niveau de 56 stations hydrométriques du bassin Adour-Garonne** (voir **Annexe A**).

Sur cette période, les résultats ont montré **une baisse des débits annuels** pour 80 % des stations analysées, ainsi **qu'une baisse des débits d'étiage QMNA<sup>1</sup> et VCN10<sup>2</sup>** pour 40 à 50 % des stations.

1 QMNA : minimum annuel de la moyenne mensuelle du débit journalier, indicateur classique de l'étiage

2 VCN10 : minimum annuel de la moyenne sur 10 jours du débit journalier, indicateur d'un étiage « marqué »

Les indicateurs d'occurrence des étiages (date de début, de fin et de durée de l'étiage) ont **été considérés comme non représentatifs** car leur tendance est significative sur trop peu de stations.

Il est ressorti de ce premier travail le besoin de :

- Consolider **la robustesse** de ces résultats par des **tests statistiques** qui permettent de **quantifier ces tendances à la baisse** observées sur la période d'étude ;
- Donner des éléments de réponse **sur les indicateurs de périodicité des étiages** sur lesquels ce premier travail n'a pu conclure ;
- Mener une **réflexion sur le choix des indicateurs et des supports** pouvant **rendre compte** au mieux de ces résultats notamment vis-à-vis d'un public moins expert en faisant apparaître d'éventuelles **différences géographiques** qui sont très marquées.

C'est l'objectif de la poursuite du travail engagé par l'agence et la DREAL de bassin en 2021 avec l'INRAE Lyon, et aussi **avec l'aide du conseil scientifique du comité de bassin.**

## 1.2 Etude INRAE Lyon (2021-2022)

En 2021-2022, les travaux se sont donc poursuivis avec une étude commandée à l'INRAE Lyon (unité RiverLy) avec le même jeu de données et dont la méthodologie est détaillée en **Annexe B.**

**Les résultats clefs (Tableau 1) sont les suivants :**

- L'analyse des tendances hydrologiques aux stations de mesure étudiées sur la période 1968-2020 montre **une baisse moyenne des débits d'étiage QMNA** du bassin Adour-Garonne de -0.98% par an soit **-10% par décennie** ;
- **Sa variabilité géographique est assez forte** au sein du bassin : **entre -3.5 à -23 % par décennie** selon les stations. Les tendances à la baisse les plus marquées des débits d'étiage QMNA s'observent sur le **Tarn-Aveyron**, la **Dordogne** et le **Lot** ;
- L'analyse des écarts relatifs entre les périodes 1968-1988 et 2000-2020 montre, en moyenne, **une chute de -26% des débits d'étiage QMNA** aux stations étudiées, avec une **variabilité géographique très forte (-6 à -73%** selon les stations). Les écarts les plus marqués sont également observés sur le **Tarn-Aveyron (-35%)**, la **Dordogne (-27%)** et le **Lot (-27%)** ;
- En moyenne, entre 1968-1988 et 2000-2020, **la date de début d'étiage aux stations étudiées s'est avancée de 17 jours** (de **-12 à -50 jours** selon les stations). Cette évolution est peu observée dans les Pyrénées (2 stations sur 13). La date de milieu d'étiage n'a pas évolué significativement.

Cette étude, dont le rapport est disponible [ici](#), va donc plus loin en termes de méthodologie et de résultats. Une plus-value importante réside **dans les différents supports de présentation des résultats** qui ont été produits : cartes des tendances moyennes annuelles (en % par an) sur la période 1968-2020, fiches

détaillant les évolutions sur chaque station hydrométrique étudiée, et tableau comparatif de l'ensemble des évolutions.

**Les points de vigilance** à garder en tête sont :

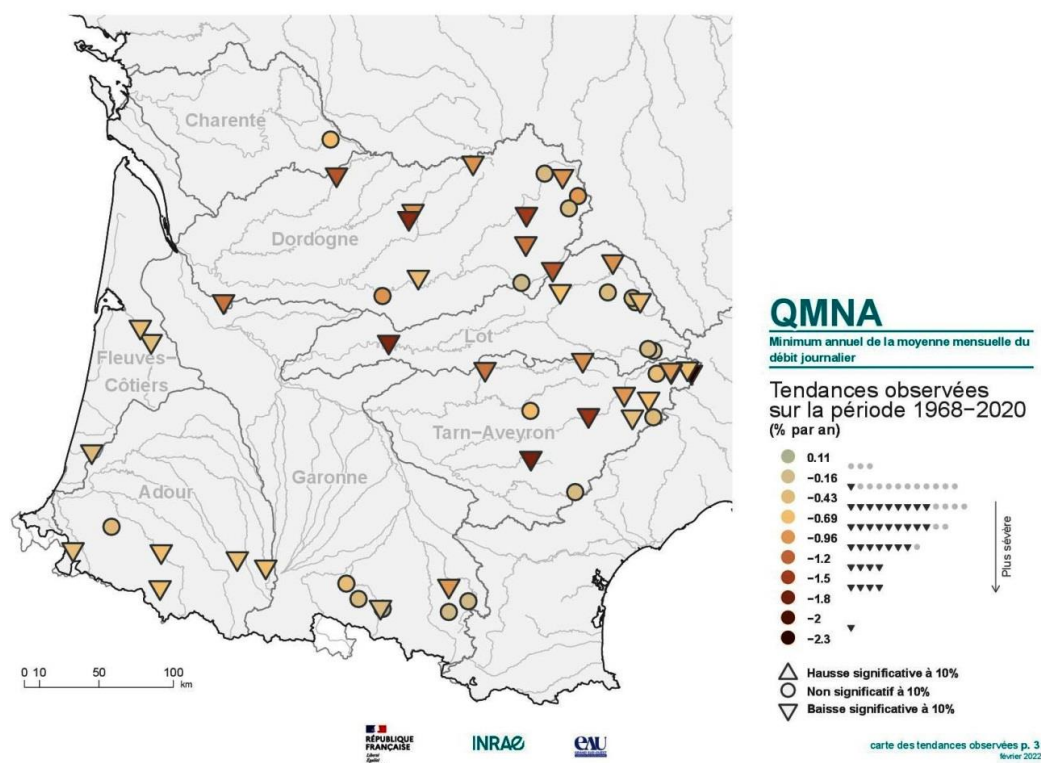
- Les stations analysées ne drainent que **10% de la surface du bassin** ;
- Il s'agit de tendances plutôt représentatives de l'hydrologie **peu influencée « en tête de bassin »** qui ne renseignent pas complètement sur l'hydrologie en aval ;
- La part attribuable aux changements climatiques des modifications hydrologiques observées nécessiterait, selon l'INRAE, d'être confirmée par des études d'attribution climatique. Un examen des variables climatiques issues des réanalyses SAFRAN<sup>3</sup> montre cependant une **bonne cohérence** entre, d'une part, la diminution des débits annuels et, d'autre part, la hausse significative de l'évapotranspiration de référence ;
- Cette étude **n'analyse pas les tendances d'indicateurs sur les eaux souterraines** : des données de débits aux sources pourraient être analysées.

**Tableau 1:** Synthèse des résultats de l'étude INRAE Lyon (2021-2022). Le débit d'étiage correspond au *QMNA* (défini en section 1.1). La date de début d'étiage correspond dans cette étude au jour de la première moyenne sur dix jours sous le maximum des *VCN10* (défini en section 1.1).

Bassin	Stations de mesure analysées (Nb)	Tendance moyenne sur 52 ans (1968-2020)		Ecart moyen des tendances sur deux périodes de 20 ans (1968-1988 et 2000-2020)		
		Débit annuel (%.an)	Débit d'étiage* (%.an)	Débit annuel (%)	Débit d'étiage* (%)	Date de début d'étiage** (Nb de jours)
Adour	6	-0.63 <sup>(67%)<sup>4</sup></sup>	-0.65 <sup>(83%)</sup>	-17	-21	-17
Charente	1	-0.37 <sup>(0%)</sup>	-0.78 <sup>(0%)</sup>	-14	-12	-8
Dordogne	15	-0.75 <sup>(53%)</sup>	-1.14 <sup>(67%)</sup>	-21	-27	-17
Fleuves côtiers	3	-0.60 <sup>(100%)</sup>	-0.50 <sup>(100%)</sup>	-16	-15	-33
Garonne	7	-0.64 <sup>(71%)</sup>	-0.64 <sup>(29%)</sup>	-14	-12	-11
Lot	9	-0.80 <sup>(67%)</sup>	-1.01 <sup>(44%)</sup>	-24	-27	-11
Tarn-Aveyron	15	-0.80 <sup>(60%)</sup>	-1.18 <sup>(73%)</sup>	-25	-35	-20
<b>Adour-Garonne</b>	<b>56</b>	<b>-0.72 <sup>(58%)</sup></b>	<b>-0.98 <sup>(56%)</sup></b>	<b>-21</b>	<b>-26</b>	<b>-17</b>
Valeur min		-1.20	-2.30	-35	-73	-50
Valeur max		-0.37	-0.35	-3	-6	-12

3 Pour plus d'informations : <http://www.drias-climat.fr/accompagnement/sections/137>

4 Le % indiqué entre parenthèse indique le % de stations avec une tendance significative à 10% selon le test de Mann-Kendall sur la période d'étude.



**Figure 1** : Carte des tendances observées (en % annuel) des débits d'étiage *QMNA* sur la période 1968-2020 (source : étude INRAE Lyon, 2021-2022).

### 1.3 Proposition d'un indicateur pour le tableau de bord du SDAGE

Lors du conseil scientifique du comité de bassin du 15 mars 2022, les résultats présentés ci-dessus ont été discutés pour identifier, parmi l'ensemble des indicateurs et des supports produits par l'étude, ceux les plus à même à rendre compte des évolutions des débits observés à l'étiage dans le tableau de bord du SDAGE.

#### Il a été proposé :

- **INDICATEUR** : la carte de la **Figure 1** représentant les tendances observées en % annuel des débits d'étiage *QMNA* sur la période 1968-2020.
- **TITRE** : Evolution passée des débits naturels, observés à l'étiage.

L'indicateur *QMNA* est en effet le plus classiquement utilisé par les hydrologues et les gestionnaires pour décrire les débits d'étiage. Le choix d'une carte permet de visualiser la localisation des stations hydrométriques étudiées et les variations géographiques des tendances d'une station à l'autre.

L'indicateur est fixé pour la durée du SDAGE et pourra être mis à jour à chaque nouveau SDAGE à l'aide de scripts (logiciel R) fournis par INRAE pour intégrer les années les plus récentes (la période d'analyse pourra être étendue à 2025).

Cet indicateur a reçu un **vote favorable** lors de la commission planification du 16 juin 2022.



## 2. A quelles modifications hydrologiques s'attendre entre aujourd'hui et 2050 ?

Parmi les études prospectives couvrant l'ensemble du bassin Adour-Garonne on note : Imagine2030<sup>5</sup> (2009 ; bassin de la Garonne), CLIMSEC<sup>6</sup> (2008-2011 ; France entière), Explore2070<sup>7</sup> (2010-2012 ; France entière), le rapport interne AEAG « Eaux souterraines et changement climatique » (2011 ; bassin Adour-Garonne), Garonne2050<sup>8</sup> (2014), Explore2<sup>9</sup> (en cours, démarré en 2021 ; France entière). D'autres initiatives plus régionales existent (ACCLIMATERA<sup>10</sup> sur la Région Nouvelle-Aquitaine, Adour2050<sup>11</sup>, Charente2050<sup>12</sup>, PIRAGUA<sup>13</sup> sur les Pyrénées, Life Eau et Climat<sup>14</sup> sur la Charente).

Explore2070 constitue encore à ce jour la référence tant que les résultats du programme Explore2 n'ont pas été rendus. Les hypothèses de travail de la prospective Garonne 2050 sont d'ailleurs basées sur les résultats d'Explore2070.

Après avoir rappelé ces résultats, nous décrivons ci-dessous les résultats plus récents du projet PIRAGUA (2018-2022) qui a proposé des projections 2050 et 2090 pour le système Neste.

### 2.1 Explore 2070 (2010-2012) et Explore 2 (2021-)

La prospective Explore 2070, portée par la Direction de l'eau et de la biodiversité du ministère en charge de l'écologie entre 2010 et 2012 avait pour objectif d'évaluer les impacts des changements climatiques sur les milieux aquatiques et la ressource en eau. Ce travail constitue encore la référence pour le bassin Adour-Garonne.

L'impact du changement climatique sur l'hydrologie a été quantifié par comparaison des débits simulés sur deux périodes à partir de données climatiques datant de 2006 : une période « de référence » (**1961-1990** : couramment utilisée en climatologie, choix qui a tendance à amplifier les deltas simulés par rapport à une période de référence plus récente) et un horizon futur (**2046-2065** : choisi pour des raisons de faisabilité des simulations climatiques). Sur le bassin Adour-Garonne, l'analyse se basait sur 121 points de calcul pour lesquels 14 projections climatiques étaient disponibles.

**Les résultats clés pour le bassin Adour-Garonne** sont les suivants :

#### • L'hydrologie de surface :

5 Voir <http://temis.documentation.developpement-durable.gouv.fr/document.html?id=Temis-0080936&requestId=0&number=5>

6 Voir <https://www.umr-cnrm.fr/spip.php?article605>

7 Voir <https://professionnels.ofb.fr/fr/node/44>

8 Voir <https://www.institution-adour.fr/observatoire-de-l-eau/adourthek/details/adourthek-2936.html>

9 Voir <https://professionnels.ofb.fr/fr/node/1244>

10 Voir <https://www.acclimaterra.fr/>

11 Voir <https://www.institution-adour.fr/adour-2050.html>

12 Voir <https://www.fleuve-charente.net/domaines/charente-2050>

13 Voir <https://www.opcc-ctp.org/fr/piraqua>

14 Projet européen en cours réalisé sur la période 2020-2024 et cofinancé par la Commission européenne, les agences de l'eau et l'ADEME, qui prévoit de réaliser des projections hydro-climatiques à l'échelle de 21 SAGE dont 4 situés sur le bassin Adour-Garonne (Célé, Charente, Etangs littoraux Born et Buch, Vallée de la Garonne)

Les écarts simulés entre les deux périodes considérées vont de -10 à -60% pour les débits moyens annuels, selon les points de calculs et les projections utilisées.

**Pour les débits d'étiage QMNA5, les écarts iraient de 0 à -65%** selon les points et les projections. Les baisses des débits d'étiages les plus marquées sont la **Garonne « moyenne »** (pour laquelle les 14 projections convergent fortement) ainsi que la **Dordogne** et le **Lot**.

- **L'hydrologie souterraine :**

L'impact sur la piézométrie et la recharge des nappes fait apparaître une baisse quasi générale de la piézométrie et une diminution de la recharge comprise entre 10 et 25%, avec des **baisses significatives de 30 à 50%** dans le Sud-Ouest de la France.

La méthodologie et les résultats complets sont disponibles [ici](#).

L'objectif du nouveau programme **Explore2** co-piloté par l'INRAE et l'OiEau (cofinancement MTES/OFB) est d'actualiser les résultats d'Explore 2070 en utilisant les données plus récentes (CMIP 5<sup>15</sup>). Ses résultats permettront de **décrire le climat** à une résolution de 8 x 8 km<sup>2</sup>, **d'évaluer l'évolution de la disponibilité en eaux** superficielles et souterraines et de **caractériser les extrêmes** sur l'ensemble du XXI<sup>e</sup> siècle pour différents scénarios d'émission de gaz à effet de serre (RCP2.6<sup>16</sup>, RCP4.5<sup>17</sup> et RCP8.5<sup>18</sup>), dans un contexte de changement climatique.

Explore2 propose également de **multiplier les points de calcul des débits futurs** (limités à 1522 dans Explore2070) le long du réseau hydrographique et de fournir ainsi des résultats sur des petits bassins versants non jaugés en mobilisant des modélisations hydrologiques à résolution plus fine. Ces données (séries temporelles et indicateurs hydrologiques) seront donc produites sur la base de scénarios contrastés d'émissions de gaz à effet de serre et d'un ensemble de modèles climatiques et de modèles hydrologiques qui permettront d'estimer les incertitudes, en s'appuyant sur une méthodologie commune sur l'ensemble du territoire.

**Le second volet** du projet Explore2, coordonné par l'OiEau, ambitionne aussi de **renforcer la concertation avec les utilisateurs des résultats** (comités de bassin, agences de l'eau, collectivités, bureaux d'étude) afin d'en faciliter l'appropriation des résultats et leur utilisation dans les études locales.

**Les projections d'Explore 2070** vont dans le même sens que ceux d'Imagine2030, avec une diminution marquée du débit moyen et des débits d'étiage. Ils sont aussi cohérents avec ceux de Tisseuil et al. (2010)<sup>19</sup> qui avaient analysé les évolutions de débit sur 51 bassins d'Adour-Garonne, montrant une baisse généralisée et significative des débits estivaux. Ces tendances sont par contre nettement plus marquées que celles proposées

15 Voir <https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip/wgcm-cmip5>

16 Correspond à une concentration (ppm) d'environ 490 eq-CO2 et à un forçage radiatif d'environ 3W.m-2

17 Correspond à une concentration (ppm) d'environ 660 eq-CO2 et à un forçage radiatif d'environ 4,5W.m-2

18 Correspond à une concentration (ppm) d'environ 1370 eq-CO2 et à un forçage radiatif d'environ 8,5W.m-2

19 Tisseuil, C., Vrac, M., Lek, S. & Wade, A.J. (2010). Statistical downscaling of river flows. Journal of Hydrology, 385: 1-4, 279-291.

par Caballero et al. (2007)<sup>20</sup> au même horizon 2050 sur le district Adour-Garonne, qui étaient de l'ordre de -10% à l'étiage. Cette étude avait été réalisée avec le modèle hydrologique Isba-Modcou, mais avec des projections plus anciennes et un scénario de gaz à effet de serre moins impactant en termes de hausses de températures.

**Les nouvelles projections hydrologiques d'Explore2** seront disponibles au premier trimestre 2023. Elles seront très utiles pour la révision des SDAGE qui débutera en 2025 et pour l'élaboration d'ici 2027 des démarches concertées de gestion de l'eau avec un volet de gestion quantitative. Les projections climatiques (température, pluie, évapotranspiration) sont déjà disponibles sur le portail DRIAS<sup>21</sup> climat.

## 2.2 Le projet PIRAGUA : projections 2050 et 2090 pour le système Neste

Le projet Interreg PIRAGUA, récemment achevé, a eu pour objectif principal de caractériser le cycle de l'eau dans les Pyrénées afin d'améliorer la capacité d'adaptation des territoires aux changements climatiques et de soutenir les investissements pour l'adaptation de la gestion des ressources en eau.

Dans ce cadre, les vallées des Nestes d'Aure et du Louron dont les ouvrages alimentent le système Neste ont été étudiées à travers la thèse<sup>22</sup> de P. Huang pour simuler les devenir possibles à horizon 2050 et à la fin du siècle (2090), et identifier des trajectoires d'adaptation possibles.

**Entre 2000 et 2050, pour le périmètre géré par la CACG (cours d'eau réalimentés par le système Neste), les résultats montrent une baisse des ressources en eau à venir de 30% pour le scénario climatique RCP4.5 et de 40% pour le scénario RCP8.5.**

## Conclusion

**Concernant la nature des modifications hydrologiques déjà observées** sur le bassin Adour-Garonne, l'étude récente réalisée par INRAE Lyon sur les 50 dernières années (1968-2020) conclut à une tendance moyenne des **débits d'étiage de -10% par décennie**, avec cependant de fortes disparités géographiques selon les bassins (-3.5 à -23% par décennie). Pour les débits annuels la tendance est d'environ -7% par décennie (-4 à -12% par décennie selon les bassins).

Par une autre méthode, l'étude quantifie un écart de -26% à l'étiage entre les périodes 1968-1988 (médiane 1978) et 2000-2020 (médiane 2010). Les médianes étant espacées de 32 ans, l'évolution moyenne est de **-8% par décennie**, avec également de fortes disparités géographiques selon les bassins (-2 à -23% par décennie).

Pour les **débits annuels**, l'évolution moyenne est de **-6.5% par décennie** (-1 à -11% par décennie selon les bassins).

20 Caballero, Y., Voirin-Morel, S., Habets, F., Noilhan, J., Le Moigne, P., Lehenaff, A. & Boone, A. (2007). Hydrological sensitivity of the Adour-Garonne river basin to climate change. *Water Resour. Res.* 43, W07448, 19 doi:10.1029/2005WR004192.

21 <http://www.drias-climat.fr/>, avec une extension eau à venir.

22 Rapport de l'étude complète : Sauquet, E. (INRAE), Le Coënt, P. (BRGM), CATALOGNE, C. (ICARE<sup>2</sup>), Huang, P. (INRAE), VIDAL, J-P. (INRAE), 2022. Formulation de stratégies d'adaptation au changement climatique sur les territoires connectés au système Neste.

**Sur les 50 dernières années**, la baisse moyenne des **débits d'étiages** est d'environ **-40 à -50%** selon que l'on retienne -8 ou -10% par décennie. Selon les bassins, la baisse observée varie **d'environ -10 % à -115%** au cours des 50 dernières années.

Pour les **débits annuels**, la baisse moyenne sur les 50 dernières années est d'environ -35% avec de variations allant de **-5 à -60%** selon les bassins.

**Concernant les modifications hydrologiques à venir**, la baisse de -50% des débits d'étiage du bassin Adour-Garonne mentionnée dans le PACC se base sur les hypothèses de Garonne 2050 qui s'est appuyée sur les projections d'Explore2070 pour les débits. En effet, le rapport final<sup>23</sup> de Garonne2050 explique (p. 12) que pour le bassin Adour-Garonne « *sept séries hydrologiques représentatives du climat à l'horizon 2050 (séries d'Août 2046 à Juillet 2065)* » sont utilisées. L'horizon hydro-climatique des deux études Garonne2050 et Explore2070 est en fait identique (même si nommé différemment). Cette baisse à venir de -50% des débits d'étiage annoncée dans le PACC aurait gagnée, pour plus de clarté, à mentionner le scénario ou l'ensemble de scénarios climatiques à partir duquel elle est fondée.

Entre la situation initiale considérée dans Garonne2050 (l'année 2012) et l'horizon 2046-2065 (médiane 2056), la période est d'environ 45 ans. La baisse moyenne de -50% des débits d'étiage sur la période de 45 ans correspond à **-11% par décennie future**. Cet ordre de grandeur est légèrement supérieur à celui observé par l'étude INRAE (entre -8 et -10) sur les 50 dernières années, ce qui semble cohérent avec une poursuite de la tendance à la baisse dans les années à venir.

Sur cette même période de 45 ans, la baisse de -20 à -40% des débits annuels évoquée dans le PACC et dans l'Etat des lieux 2019 du SDAGE correspond à -4.5 % à -9% par décennie. Ces chiffres sont cohérents avec la moyenne de -6.5% par décennie observée au cours des 50 dernières années, mais la fourchette de baisse observée est plus large (-1 à -11% par décennie.)

**Entre aujourd'hui et 2050** (soit dans environ 30 ans), sur la base des projections actuellement disponibles (-11% par décennie future en l'attente de celles d'Explore2), on peut donc encore s'attendre à une baisse moyenne **des débits d'étiages** d'un peu plus de **-30%**.

Pour les **débits annuels**, la baisse de -20% à -40% à venir d'ici 2050 va dans le même sens que la tendance moyenne des 50 dernières années qui conduirait à une borne basse autour de **-20% si elle devait se poursuivre au même rythme**. En effet, les tendances passées ne peuvent être extrapolées pour estimer les débits du futur : seule une modélisation explicite du climat et de l'hydrologie n'a de sens (ex : Explore2).

**Dans tous les cas, les moyennes des indicateurs des débits observés ou simulés masquent de fortes variations géographiques d'un bassin à l'autre, notamment à l'étiage, et rendent nécessaire une analyse territorialisée.**

Lorsque c'est possible, communiquer sur l'évolution de l'hydrologie **en pourcentage par décennie ou par an** pourrait permettre d'éviter de préciser la période associée à l'évolution, qui n'est pas toujours évidente du fait que les horizons de simulation s'étalent sur plusieurs années. Une tendance future issue d'une modélisation prospective est en générale associée à un scénario ou un ensemble de scénarios climatiques à préciser.

23 Le rapport est disponible ici : [https://aquassay.com/web/wp-content/uploads/2017/09/Rapport\\_final\\_Garonne\\_2050-sept2014-ilovepdf-compressed.pdf](https://aquassay.com/web/wp-content/uploads/2017/09/Rapport_final_Garonne_2050-sept2014-ilovepdf-compressed.pdf)

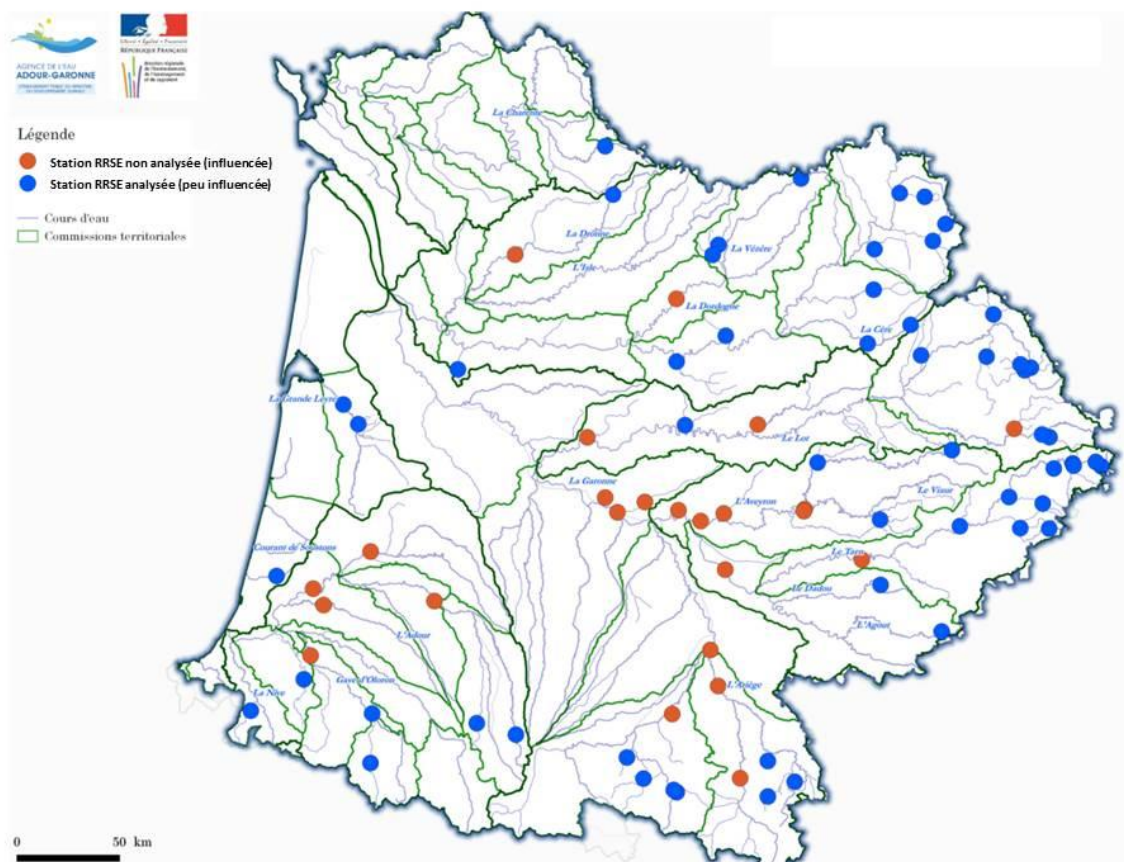
Au vu des éléments précédents, **la moyenne de -10% par décennie semble raisonnable** pour le bassin Adour-Garonne en attendant les nouvelles projections hydrologiques d'Explore2 qui seront livrées au **premier trimestre 2023** et qui seront peut-être plus sévères mais qui restent difficiles à anticiper dès à présent.

**Géographiquement**, les territoires dont les tendances sont les plus marquées à l'étiage à la fois dans l'étude de l'hydrologie passée et dans les projections sont le **Tarn-Aveyron**, la **Dordogne** et le **Lot**. Pour la Charente, on manque d'observations. Pour la Garonne, l'incertitude est plus forte : les tendances passées observées à l'étiage sont significativement à la baisse mais ne sont pas les plus marquées, alors que les projections sont plus sévères.

## Annexe A : Stations hydrométriques retenues pour l'analyse AEAG/DREAL de (2019-2020).

Les stations analysées ont été sélectionnées parmi les stations référencées sur *hydroportail*<sup>24</sup> (anciennement *Banque Hydro*) sur le bassin et qui sont membres du *Réseau de Référence pour le Suivi des Etiages*<sup>25</sup> (RRSE) (**Figure 1**). Ce réseau garantit une bonne fiabilité des capteurs de débits à l'étiage. Les stations retenues sont celles à la fois dites « peu influencées » par les usages anthropiques situés en amont (décrites ainsi dans la *Banque Hydro*) et ayant des données disponibles sur la période d'étude (1972-2017).

De fait, les stations hydrométriques correspondant aux points nodaux situés sur les grands axes réalimentés (soit 24 points nodaux des 65 du bassin) ne sont pas intégrées à l'analyse car ne répondent pas aux critères ci-dessus nécessaires à l'étude.



**Figure 1** : Localisation des 56 stations du Réseau de Référence de Suivi des Etiages (RRSE) dites « peu influencées » par les usages anthropiques sélectionnées pour l'étude (points bleus), et des 24 stations dites « influencées » non retenues (points oranges)

24 <https://hydro.eaufrance.fr/>

25 <https://geo.data.gouv.fr/fr/datasets/29819c27c73f29ee1a962450da7c2d49f6e11c15>

## Annexe B : Méthodologie de l'étude INRAE 2021-2022.

La méthodologie de cette seconde étude est basée sur les données, indicateurs et hypothèses suivantes :

- **Données utilisées :**

Les débits mesurés aux 56 stations hydrométriques sélectionnées lors de la première analyse AEAG/DBAG ;

- **Indicateurs considérés :**

Débits annuels (*QA*), d'étiage (*QMNA* et *VCN10*) ainsi que les dates de début<sup>26</sup>/milieu<sup>27</sup> d'étiage.

Les débits annuels *QA* caractérisent la ressource y compris en période de hautes eaux tandis que les débits *QMNA* et *VCN10* permettent de décrire la dynamique des basses eaux et la capacité du bassin versant à soutenir naturellement les étiages.

Notons que INRAE a choisi de privilégier la date de début de l'étiage au détriment de la fin de l'étiage (justifier pour son lien avec le début des périodes de restriction) ;

- **Méthodologie appliquée :**

Dans un premier temps, des tests statistiques sont appliquées sur chaque station sur la chronique entière de données mesurées, qui est commune à l'ensemble des stations.

Afin de détecter l'existence ou non d'une tendance systématique sur l'intensité des changements, le test de Mann-Kendall<sup>28</sup> est d'abord appliqué avec un risque d'erreur à 10% à la chronique de données mesurées de chaque station hydrométrique sur la période 1968-2020 (commune à l'ensemble des stations). On obtient donc d'abord la significativité (à 10%) de la tendance à partir du test de Mann-Kendall. Comme ce premier test ne permet pas de quantifier l'intensité de la tendance, sa valeur est ensuite estimée en % par an (ou ramenée par décennie) par un autre estimateur statistique (la pente de Sen).

Dans un second temps, ce n'est plus la tendance sur la période d'étude globale qui est évaluée mais le changement relatif (en %) entre deux sous-périodes caractéristiques : une période représentative<sup>29</sup> de l'hydrologie récente (2000-2020) et une autre plus ancienne considérée comme peu marquée par l'impact du changement climatique<sup>30</sup> (1968-1988). Les moyennes des tendances de chaque sous-période sont ensuite comparées pour quantifier l'écart relatif entre les deux sous-périodes.

26 La date de début d'étiage correspond dans cette étude au jour de la saison de la première moyenne sur dix jours (*VC10*) sous le maximum des *VCN10*.

27 La date de milieu d'étiage est associée dans cette étude au jour de l'année du *VCN10*, c'est-à-dire le jour où le débit moyen sur dix jours est minimal.

28 Il s'agit d'une version modifiée pour la prise en compte de l'autocorrélation. L'usage de cette variante se justifie d'un point de vue hydrologique : les caractéristiques de l'étiage d'une année sont en effet partiellement dépendantes du climat et de l'hydrologie de l'année précédente du fait de l'inertie des nappes qui contribuent aux débits estivaux. Seule l'autocorrélation d'ordre 1 a été considérée.

29 Plus la sous-période est longue, plus l'analyse statistique est robuste. Ici chaque sous-période a une durée de 20 ans, ce qui est un minimum en statistiques hydrologiques.

30 Sur Adour-Garonne, l'application du test de Pettitt suggère en effet une majorité de ruptures dans les séries de température de l'air vers la fin des années 80 pour les débits *QA*, *QMNA* et *VCN10*, suggérant l'année 1988 pour la fin de la période de référence.