

**PROJET DE TERRITOIRE POUR LA GESTION DES  
RESSOURCES EN EAU**  
**BASSIN VERSANT L'HUVEAUNE, DE SES  
AFFLUENTS & AQUIFERES LIES**



**NOTE TECHNIQUE**  
**CHANGEMENT CLIMATIQUE**

Validée par la Commission Ressource du 06 fev.-25

**Comité de suivi de l'étude :** Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, Département des Bouches du Rhône, DDTM13, DREAL PACA, Région SUD Provence Alpes Côte d'Azur, Métropole Aix Marseille Provence, Agglomération de Provence Verte, ARS PACA, Chambre d'Agriculture des Bouches du Rhône et du Var, Parc Naturel Régional de la Ste Baume, FPPMA13, FDSH13.

**Mission suivie par :** **Eric Brenner**

**Pilotage :** **Roxane Roy**

**Financée par :**



**Rapport rédigé par :**



# SOMMAIRE

<b>I.</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>5</b>
<b>II.</b>	<b>CHOIX DU SCENARIO DE GAZ A EFFET DE SERRE RCP DANS EXPLORE2/DRIAS .....</b>	<b>6</b>
<b>II.1.</b>	<b>REMARQUES.....</b>	<b>6</b>
<b>III.</b>	<b>CHOIX DES MODELES DE CLIMAT .....</b>	<b>8</b>
<b>III.1.</b>	<b>CRITERES DE CHOIX DES MODELES DE CLIMAT .....</b>	<b>8</b>
<b>III.2.</b>	<b>RESULTATS DES MODELES DE CLIMAT SUR LE TERRITOIRE.....</b>	<b>9</b>
<b>III.3.</b>	<b>UNE SELECTION POUR REPRESENTER LA FOURCHETTE DES POSSIBLES .....</b>	<b>10</b>
<b>IV.</b>	<b>HYDROLOGIE « NATURELLE » FUTURE.....</b>	<b>13</b>
<b>V.</b>	<b>REFERENCES .....</b>	<b>16</b>
<b>I.</b>	<b>ANNEXES.....</b>	<b>18</b>
<b>V.1.</b>	<b>LA TRACC .....</b>	<b>18</b>
<b>V.2.</b>	<b>TENDANCES ET VARIABILITE CLIMATIQUE.....</b>	<b>20</b>

## FIGURES

Figure 1. Chaîne de modélisation Explore2 : du climat aux débits « naturels » futurs.....	5
Figure 2 : Encart issu du rapport DRIAS2020 de Météo-France, page 18 (Soubeyroux et al. 2020) .....	7
Figure 3. Variation moyenne des cumuls annuels de précipitation et d'ETP en 2040-2069 par rapport à 1981-2010 pour chacun des 17 modèles de climat DRIAS/Explore2 (symboles colorés) ainsi que pour la médiane et la moyenne des modèles (en gris et noir respectivement). .....	9
Figure 4. Débit mensuel moyen de l'Huveaune à Roquevaire .....	10
Figure 5. Idem que Figure 3 mais pour deux saisons Juin à Octobre inclus (haut) et Novembre à Avril inclus (bas). Les flèches indiquent les modèles sélectionnés (flèches bleues = « extrêmes », flèches rouges = modèle proche de la médiane en moyenne annuelle, utilisé dans CLIMA-XXI).....	12
Figure 6. Idem que Figure 5 mais pour les 4 saisons météorologiques standards (hiver : décembre à janvier, printemps mars à mai, été : juin à août, automne : septembre à Novembre). .....	13
Figure 7. Anomalies de débits mensuels en m <sup>3</sup> /s sur la période 2036-2065 par rapport à la référence 1980-2009. Figure issue de Sauquet et al. (2015). .....	14
Figure 8. Anomalies de débits mensuels 2040-2069 par rapport à 1981-2010, issues des modèles hydrologiques GRSD et SMASH, avec les projections climatiques Explore2/DRIAS. ....	15
Figure 9. Evolution relative des modules et des QMNA moyens d'après les projections de débits Explore2 pour 2040-2069 par rapport à 1981-2010. ....	16
Figure 10. Températures moyennes annuelles (haut) et cumuls annuels d'évapotranspiration potentielle (ETP) et de précipitations sur le bassin versant de l'Huveaune, calculées à partir des données Explore2-Climat (RCP8.5).....	20
Figure 11 : Idem que la Figure 10 mais en effectuant des moyennes sur 30 années (centrées).....	21

## I. INTRODUCTION

Les modèles de climat, fruits de décennies de travaux de recherches au sein d'universités, de centres de recherche et de services météorologiques, permettent d'effectuer des projections climatiques à partir d'hypothèse sur les concentrations futures de gaz à effet de serre dans l'atmosphère terrestre. Les modèles se basent sur des équations physiques décrivant les phénomènes qui se produisent dans l'atmosphère, mais également dans l'océan et à la surface terrestre. Il existe différents modèles car des choix de modélisations différents peuvent être fait sur par exemple les méthodes de résolution numériques des équations, la façon de découper l'atmosphère (résolution verticale et horizontales, type de grille, ...) mais aussi sur un certain nombre d'hypothèses et d'approximations effectuées dans les modèles afin de pouvoir réaliser des projections climatiques en un temps raisonnable avec les puissances de calcul disponibles. Les modèles sont ensuite comparés entre eux et évalués dans le cadre d'exercices de comparaison internationaux (type CMIP) dont les résultats sont utilisés dans les rapports du GIEC.

Ces résultats de modèles globaux ont été régionalisés à l'échelle de la France, fournissant des projections climatiques régionalisées (DRIAS/Explore2-Climat). Ces projections climatiques sont utilisées en entrée de modèles hydrologiques afin d'obtenir des projections en termes de débits (Figure 1). Ces travaux ont été effectués dans le cadre des projets DRIAS (Soubeyroux et al. 2020) et Explore2 (Explore2 2023). Les modélisations hydrologiques n'incluent pas explicitement les usages anthropiques, il s'agit a priori de débits « naturels ». Le passage des projections climatiques aux projections en termes de débits peut se faire à l'aide des modèles Explore2 ou bien de modèles hydrologiques développés spécifiquement et calés avec les données sur le territoire.

Cette note se focalise uniquement sur **les projections climatiques sur le bassin de l'Huveaune**, et ne donne qu'un **aperçu des résultats hydrologiques Explore2 sur le territoire de l'Huveaune mais aussi en dehors**. Les travaux plus spécifiques sur l'hydrologie de l'Huveaune notamment à l'aide de modélisation spécifique GR4J, sont volontairement laissée de côté ici et feront l'objet d'un développement spécifique dans une 2<sup>nd</sup>e note.

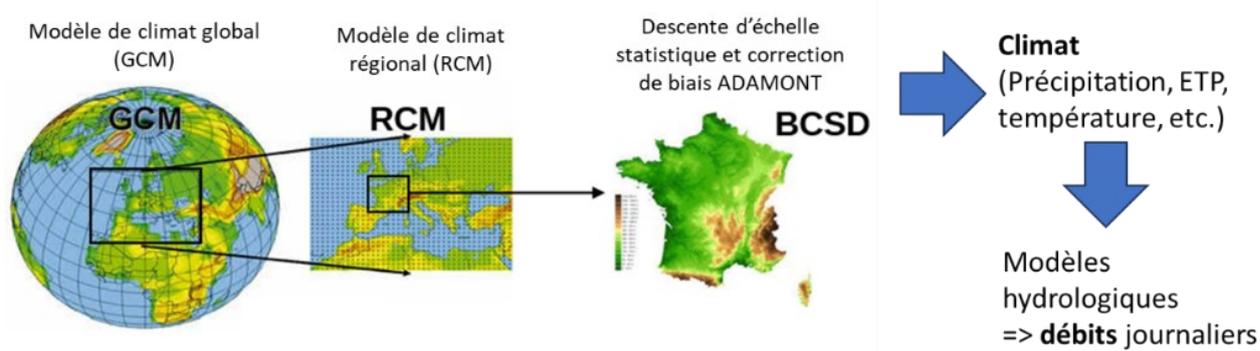


Figure 1. Chaîne de modélisation Explore2 : du climat aux débits « naturels » futurs.

## II. CHOIX DU SCENARIO DE GAZ A EFFET DE SERRE RCP DANS EXPLORE2/DRIAS

Au sein du jeu de modèle DRIAS-2020, les travaux de Météo-France (Soubeyroux et al. 2020) montrent que le scénario d'émission de gaz à effet de serre **RCP8.5** (émissions élevées et donc hausse de températures importantes) **donne les résultats les plus proches des observations** sur la période depuis 2005 en termes de température (Figure 2 : les observations Safran présentant même une température médiane très légèrement supérieure aux projections RCP8.5). Les émissions de Gaz à effet de serre jusqu'en 2020 sont également proches de la trajectoire RCP8.5.

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 et Explore2-climat) tendent à sous-estimer le réchauffement climatique en France. Ce résultat incite donc à privilégier les scénarios et/ou modèles prévoyant les hausses de températures les plus importantes.

**Enfin, les engagement fermes actuels des Etats conduisent à des niveaux de réchauffement à la fin du siècle de l'ordre de +4°C en France par rapport à 1900-1930 ou encore +3.4°C par rapport à 1976-2005<sup>1</sup> (DRIAS-Climat 2023b). Les modèles DRIAS/Explore2 avec le scénario RCP8.5 sont les plus proches de ce niveau de réchauffement.** En effet, à l'horizon 2071-2100, les modèles DRIAS-2020 conduisent plutôt à environ +3.9°C par rapport à 1976-2005 (médiane des modèles) mais avec des modèles en dessous et d'autre au-dessus de cette valeur. Les modèles avec le RCP4.5 donnent par contre des valeurs très inférieures, avec une médiane autour de +2.1C (soit une sous-estimation du réchauffement de 1.3°C).

### II.1. Remarques

- Différence entre RCP8.5 et RCP4.5 : Jusqu'à l'horizon 2041-2070 les différences entre modèles en termes de température, d'ETP et plus encore de précipitations sont au moins aussi importantes que celles entre scénarios RCP4.5 et RCP8.5 (Soubeyroux et al. 2020, 16 Figure 5).
- **Période de référence** : les modèles de climat DRIAS/Explore2 ont une période « historique » qui se termine en 2005, la période de référence standard est donc **1976-2005** mais il est également possible de choisir la période plus récente **1981-2010** (c'est-à-dire incluant 5 années de projections climatiques avec RCP8.5 : 2006 – 2010), avec l'avantage qu'il s'agit également d'une période de référence utilisées pour les normales climatiques. **C'est le choix proposé ici.**
- **DRIAS2020 / Explore2-climat** : Une petite subtilité vient de la différence entre le jeu DRIAS-2020 et les 17 modèles DRIAS/Explore2-climat. Cependant, la médiane des projections varie peu entre les deux jeux de modèles : 10 modèles sont communs aux deux jeux. Le jeu plus récent DRIAS/Explore2 contient 7 modèles en plus (et 2 modèles en moins) par rapport à la version 2020.

<sup>1</sup> Plus précisément, cette valeur de +3.4°C est à mi-chemin entre les politiques déjà engagées (en 2020) par les Etats et les engagements fermes des Etats en termes d'atténuation.

- **Lien avec la TRACC2 à +4°C** (cf. aussi Annexe p18) : Seul le scénario RCP8.5 permet d'avoir des modèles atteignant +4°C. Cette valeur de réchauffement est atteinte en fonction des modèles, à des horizons allant de 2049-2069 pour le modèle réchauffant le plus à l'échelle de la France, à l'horizon fin du siècle, 2081-2100 pour les modèles plus optimistes (DRIAS-Climat 2023).
- **Atténuation** : Bien entendu, des efforts d'atténuation importants réduiront l'impact du réchauffement, et il est possible que le dérèglement climatique et ses impacts soient amoindris, notamment à l'horizon fin du siècle.

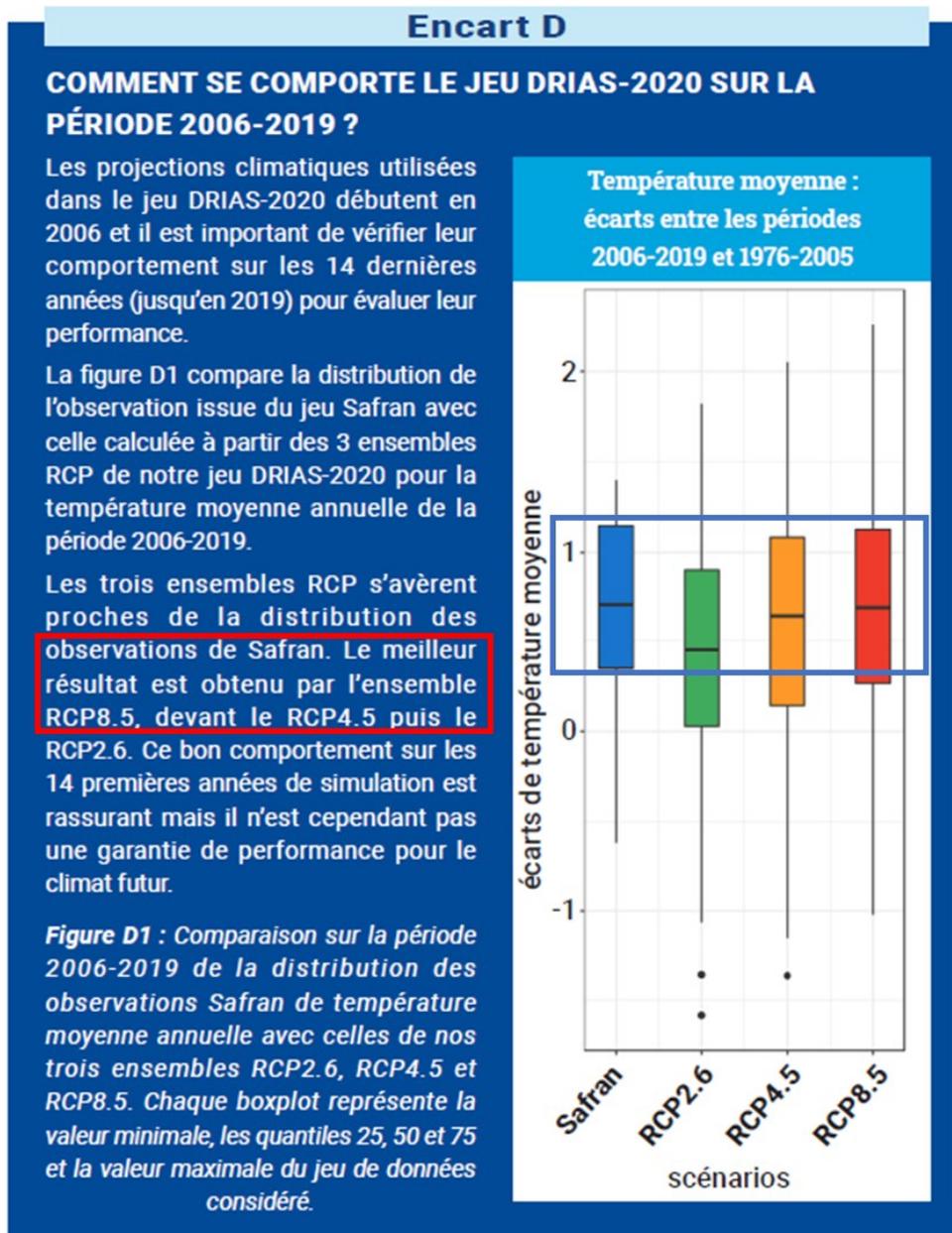


Figure 2 : Encart issu du rapport DRIAS2020 de Météo-France, page 18 (Soubeyroux et al. 2020)

<sup>2</sup> Trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au changement climatique

### III. CHOIX DES MODELES DE CLIMAT

Le nombre important de modèles climatiques (17 couples de modèles) et hydrologiques (6 sur Adour-Garonne) disponibles dans le cadre du projet Explore2 incite à choisir un nombre plus restreint de modèles afin de répondre aux objectifs de l'étude. Rappelons ici **qu'il ne s'agit en rien d'être exhaustif et de balayer en détail tous les futurs climatiques et hydrologiques possibles** (en l'état actuel des connaissances) mais de **sélectionner un jeu contrasté de modèles, adaptés aux enjeux du territoire** et permettant d'alimenter les scénarios à venir du PTGE en matière de projections climatiques. **Les modèles hydrologique Explore2 sont par ailleurs très limités sur le territoire de l'Huveaune car ils ne tiennent pas compte de la complexité de l'hydrogéologie locale.**

#### III.1. Critères de choix des modèles de climat

Au niveau national 4 modèles ont été sélectionnés sur la base des changements moyens annuels et saisonniers de températures et de précipitations à l'horizon « fin du siècle » 2071-2100 (Marson et al. 2024). Le choix des narratifs est discuté dans le rapport de Marson et al. (2024). Ce choix se base sur des moyennes sur l'ensemble du territoire métropolitain, alors que des contrastes régionaux très importants existent. **Le focus ici porte sur le territoire du bassin de l'Huveaune, et l'horizon temporel proposé est 2040-2069.** Cette différence d'horizon temporel et de focus sur un territoire et non sur la France entière explique que les choix de modèles puissent potentiellement être différents de ceux effectués au niveau national.

De plus, dans le choix des modèles une attention particulière pourra être donnée aux variations futures d'évapotranspiration potentielle<sup>3</sup> (ETP), non prise en compte dans les choix des narratifs nationaux, mais qui joue un rôle majeur.

Enfin, le choix d'un jeu de modèles contrasté pourra se faire en se focalisant sur certaines saisons ou certains mois particuliers, en fonction des enjeux. Ce critère saisonnier est à discuter.

Enfin, les conséquences hydrologiques de ces choix déterminant pour l'objet de l'étude, seront explorées ici, ce qui n'a pas été fait pour les narratifs nationaux.

**Pour résumer les critères de choix sont :**

**Pour les narratifs nationaux : variation annuelle et par saison météorologique des températures et précipitations en 2071-2100, en moyenne sur la France entière.**

**Pour cette étude : moyennes sur le territoire de l'étude (bassin versant de l'Huveaune), variations à l'horizon 2040-2069 par rapport à 1981-2010, critère de variation futures de précipitations et d'ETP en moyenne annuelle, mais aussi en séparant la période d'étiage et le reste de l'année.**

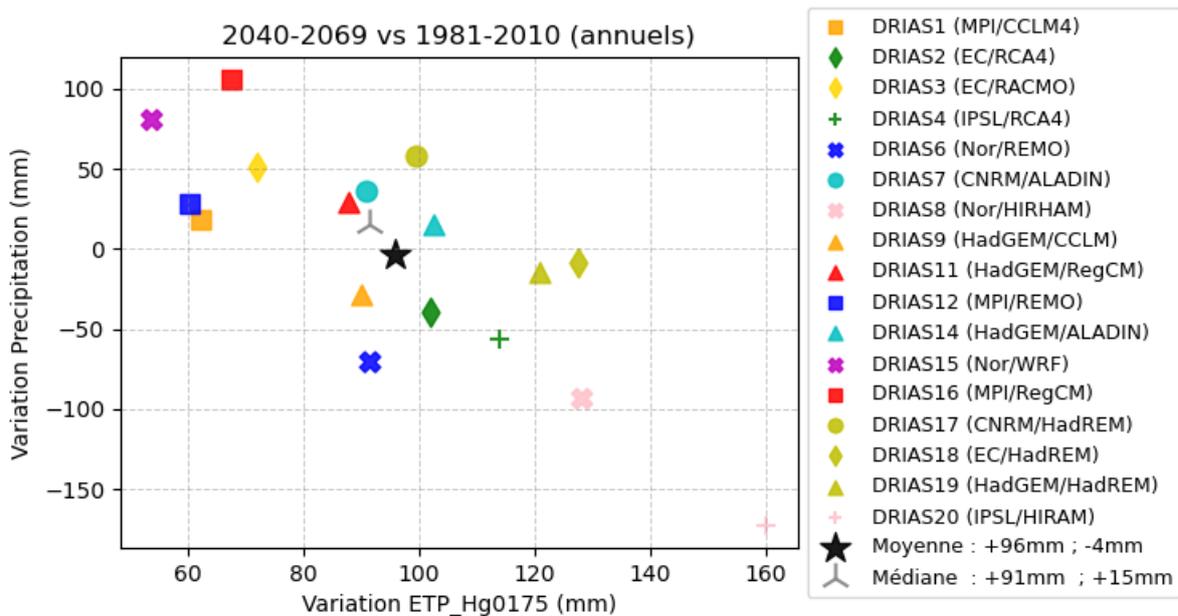
<sup>3</sup> Importante notamment pour les besoins en eau des plantes, l'ETP dépend fortement de la température mais pas uniquement.

### III.2. Résultats des modèles de climat sur le territoire

La Figure 3 montre les différences entre modèles en termes de variations de températures et de précipitation à l'horizon 2040-2069 par rapport à 1981-2010. Ainsi par exemple le modèle DRIAS16 (carré rouge dans la figure) prévoit des hausses de précipitations annuelles moyenne de +100mm et une hausse des ETP annuelles de +65 mm environ, tandis qu'à l'autre extrême le modèle DRIAS20 (croix rose) prévoit -160mm de précipitations annuelles et une hausse d'ETP de +170 mm en cumul annuels moyen. Ainsi tous les modèles prévoient des hausses notables d'ETP (sous l'effet notamment de la hausse des températures) mais ils ne s'accordent pas sur le signe des variations annuelles de précipitations.

Par ailleurs, des contrastes saisonniers existent et diffèrent d'un modèle à l'autre, et peuvent alimenter le choix d'un jeu de modèles contrastés pour l'étude des impacts sur le territoire.

Notons ici que le modèle DRIAS15 (Nor-ESM/WRF) ne doit pas être sélectionné<sup>4</sup> car, bien que conservé parmi les modèle Explore2, il présente des résultats sur la France qui sont légèrement en dehors des bornes définies par les travaux de modélisation les plus récents à l'échelle globale (Marson et al. 2024)<sup>5</sup>.



**Figure 3. Variation moyenne des cumuls annuels de précipitation et d'ETP en 2040-2069 par rapport à 1981-2010 pour chacun des 17 modèles de climat DRIAS/Explore2 (symboles colorés) ainsi que pour la médiane et la moyenne des modèles (en gris et noir respectivement).**

<sup>4</sup> En plus de la référence Marson et al. (2024) cette information est confirmée directement par Jean-Michel Soubeyroux de Météo-France (communication personnelle, juillet 2023)

<sup>5</sup> Notons cependant que les résultats en moyenne sur la France sont très différents de ceux sur l'Huveaune, ainsi par exemple les projections DRIAS20 (IPSL/HIRAM) ne sont pas particulièrement sèches sur la France entière : ce sont même les plus humides en hiver (Marson et al. 2024) alors qu'au contraire sur l'Huveaune ce modèle est le plus sec des modèles DRIAS-Explore2.

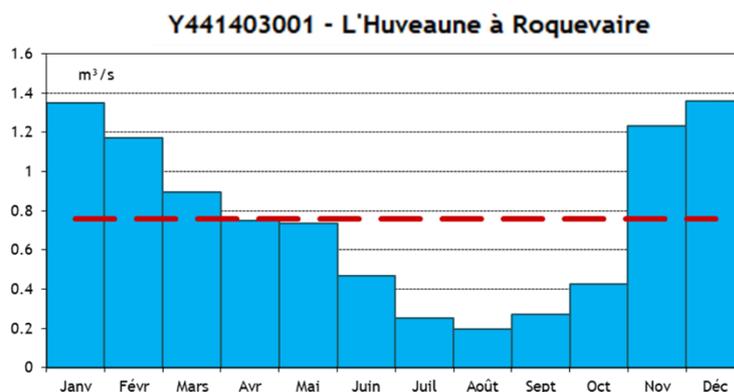
### III.3. Une sélection pour représenter la fourchette des possibles

Des échanges ont eu lieu avec la **Chambre d'Agriculture** au sujet de l'outil « CLIMA-XXI » ainsi qu'avec le **GREC-SUD** au sujet du choix des modèles. Ces échanges ont permis de **souligner l'accord avec notre analyse pour le choix du scénario RCP8.5** au moins jusqu'à 2040-2069.

Le modèle mobilisé dans CLIMA-XXI est le modèle CNRM/ALADIN (« DRIAS 7 ») uniquement. Ce modèle, proche de la médiane Explore2-Climat en moyenne annuelle à horizon 2050, sera donc sélectionné comme scénario médian et pour permettre des échanges avec CLIMA-XXI.

Les échanges avec le GREC-SUD ont permis de confirmer notre approche : choix d'une sélection de modèles afin de représenter la fourchette des futurs possibles sur le territoire. Choisir c'est renoncer et tout choix est forcément imparfait, mais sélectionner deux modèles extrêmes et un modèle proche de la médiane fournit une estimation de la fourchette des futurs climatiques. Sur le territoire, l'étiage s'étend approximativement de Juin à Octobre, la sélection des modèles sera donc effectuée à partir des projections moyennes sur les saisons de Juin à Octobre et de Novembre à Juillet, ainsi qu'en moyenne annuelle.

**Remarque sur les ETP** : l'ETP calculée par l'ensemble des modèles de climat est une ETP basée sur la formule de Penman-Monteith mais différente de l'ETP FAO et de l'ETP Météo-France standard, car elle utilise la formule de Hargreaves pour le rayonnement. Cette ETP est bien également celle utilisée dans CLIMA-XXI. Son utilisation est nécessaire dès lors qu'une variété de projection Explore2 est mobilisée (DRIAS-Climat 2023a), et cela bien qu'elle ne soit pas la meilleure d'un point de vue agronomique.



**Figure 4. Débit mensuel moyen de l'Huveaune à Roquevaire**

Les résultats aux deux saisons sélectionnées incitent à choisir 2 modèles fortement contrastés en plus du modèle DRIAS7 (CNRM/ALADIN), il s'agit du modèle DRIAS20 (IPSL/HIRAM) qui prévoit des fortes baisses de précipitations aux deux saisons et des fortes hausses des ETP, donc une pression très marquée sur la ressource en eau, ainsi que du modèle DRIAS16 (MPI-ESM/RegCM) qui est le plus humide en étiage avec la hausse la plus modérée des ETP, et qui présente également une hausse parmi les plus marquées des précipitations de Novembre à Avril) sec avec forte hausse des ETP ainsi que du modèle moins chaud et surtout plus humide. Les trois modèles

sélectionnés couvrent également bien la fourchette des projections à horizon 2040-2069 en moyenne annuelle (Figure 3).

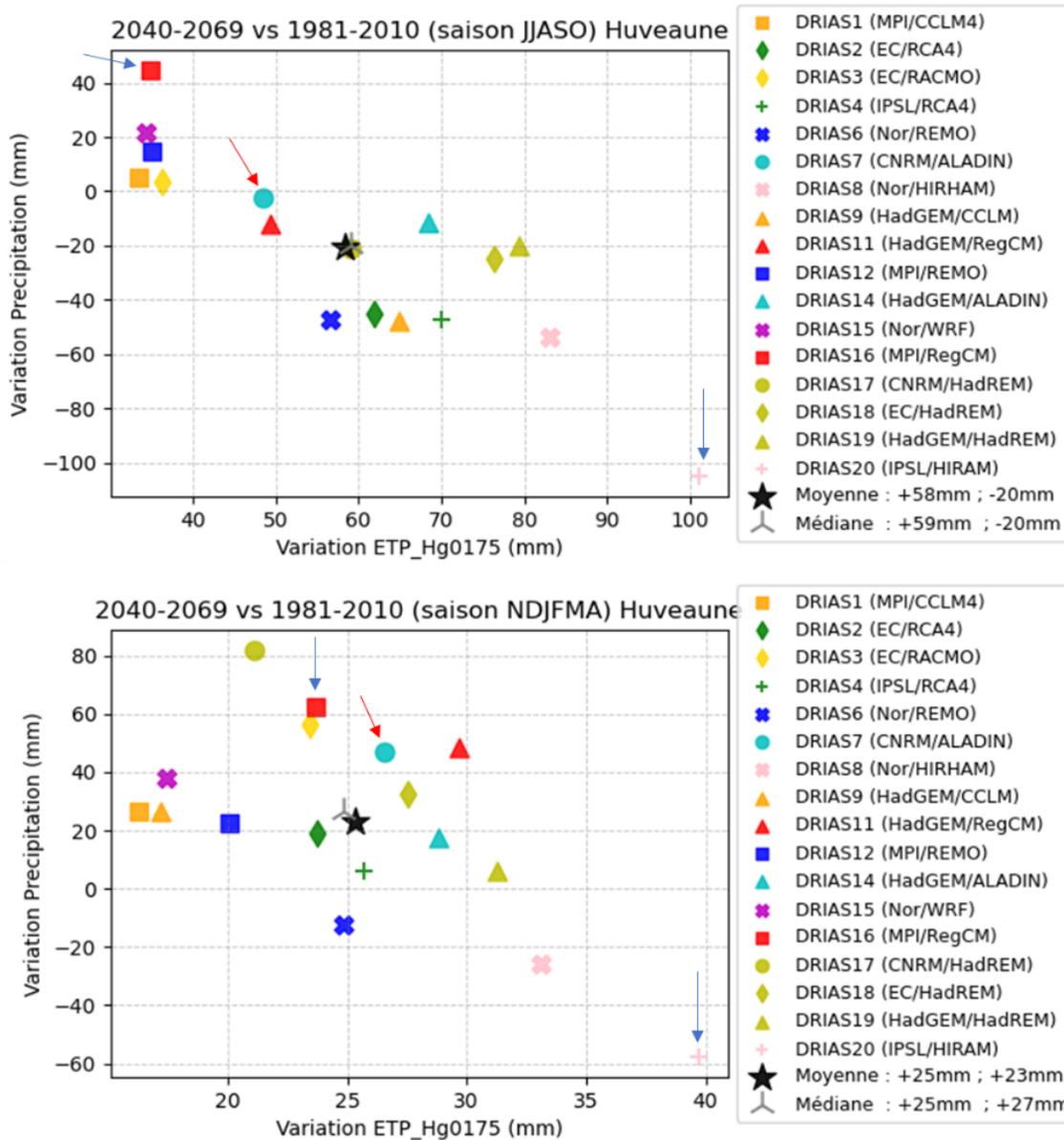
Dans le détail des saisons météorologique (Figure 6), les résultats sont très contrastés et par exemple le modèle DRIAS7 qui est proche de la médiane sur l'année est un des plus humide en hiver et plutôt sec au printemps. Au contraire, le modèle DRIAS20 qui semblait « sortir du lot » en moyenne sur l'année ou sur seulement 2 saisons, est moins éloigné des autres modèles sur des saisons de 3 mois, mais il est systématiquement le plus sec ou l'un des plus sec (à chaque saison). Globalement, sur chacune des saisons, les modèles donnent une fourchette satisfaisante des futurs possible. **Bien entendu, choisir c'est renoncer et le choix est forcément réducteur, mais la sélection effectuée ici permet une représentation satisfaisante de la fourchette des futurs possibles**, sinon dans ces détails, au moins dans ces grandes lignes.

**Les modèles retenus sont donc :**

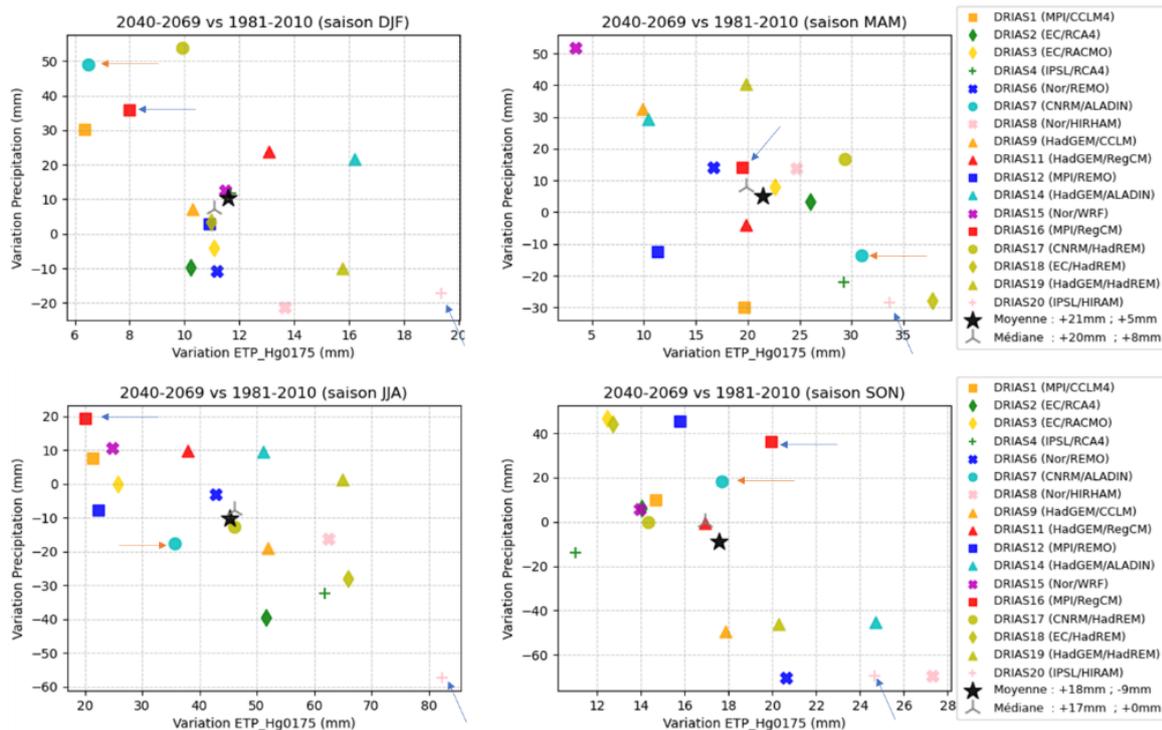
- **CNRM/ALADIN (DRIAS 7)** : proche de la médiane en moyenne annuelle et en étiage en termes de variations d'ETP et de précipitations à horizon 2040-2069, avec contraste importants entre printemps et hiver, utilisé dans CLIMA-XXI
- **MPI-ESM/RegCM (DRIAS16)** : hausses modérées des ETP et hausse des précipitations
- **IPSL-CM5A/HIRAM (DRIAS20)** : fortes hausses des ETP et baisse des précipitations

Notons que ces modèles diffèrent y compris sur la période passée. Ainsi, par exemple, les données SAFRAN sur le territoire donnent un cumul moyen de Précipitations 1981-2010 de 690 mm, et les modèles DRIAS donnent 700 mm pour DRIAS7, 681 mm pour DRIAS16 mais 730 mm pour DRIAS20. Ainsi, ce scénario qui présente une très forte baisse des précipitations à horizon 2040-2069 est trop humide sur la période de référence 1981-2010.

L'évaluation fine des modèles sur un territoire petit comme celui de l'Huveaune est complexe et nécessiterais un travail poussé de recherche et d'évaluation de modèle. Ces travaux ont été effectués par la communauté dans le cadre des projets EURO-CORDEX (Jacob et al. 2014) et de travaux plus récents dans le cadre d'Explore2 (Marson et al. 2024). La recherche scientifique avance chaque jour et il est possible que dans le futur de nouvelles études et des améliorations des modèles conduisent à des modifications des résultats. L'étude se base sur l'existant, avec les limites et incertitudes qui lui sont propres, une partie des incertitudes est représentée par la dispersion des modèles qui donne une fourchette, mais une partie seulement (une autre partie est inhérente aux modèles ; en d'autres termes des amélioration futures des modèles pourraient modifier la fourchette des futurs possible).



**Figure 5. Idem que Figure 3 mais pour deux saisons Juin à Octobre inclus (haut) et Novembre à Avril inclus (bas). Les flèches indiquent les modèles sélectionnés (flèches bleues = « extrêmes », flèches rouges = modèle proche de la médiane en moyenne annuelle, utilisé dans CLIMA-XXI)**



**Figure 6.** Idem que Figure 5 mais pour les 4 saisons météorologiques standards (hiver : décembre à janvier, printemps mars à mai, été : juin à août, automne : septembre à Novembre).

## IV. HYDROLOGIE « NATURELLE » FUTURE

L'hydrologie future impactant les réserves de Serre-Ponçon et de Sainte-Croix pourras avoir un impact sur l'alimentation en eau du territoire par le canal de Marseille et le canal de Provence. L'étude R2D2 (Sauquet 2015; Sauquet et al. 2015) fournit une analyse des futurs de la Durance et du Verdon avec plusieurs scénarios de territoire et en se basant sur les projections Explore2070. Les résultats reproduit Figure 7 peuvent être comparés avec les résultats plus récents issus d'Explore2 (Figure 8). Les stations où sont effectuées les simulations ne sont pas exactement les même que celle de R2D2 mais donne une bonne estimation des variations attendue sur les bassins versant alimentant les lacs-réservoirs.

Les simulations GRSD et SMASH prévoient sur la Durance à Sisteron (amont Buëch) :

- Une tendance à la baisse des débits mensuels de juin à septembre confirmée par Explore2, mais avec des incertitudes toujours importantes ;
- Une tendance à la hausse des débits de janvier à mars ainsi qu'en octobre (et dans une moindre mesure en décembre) qui n'était pas prévu par Explore 2070 / R2D2.

Sur le Verdon à Aiguines (donc légèrement en amont de Sainte-Croix), les résultats sont assez similaires :

- Une tendance à la baisse des débits mensuels de mai à septembre et en novembre-décembre confirmée par Explore2, mais avec des incertitudes toujours importantes ;
- Une tendance à la hausse des débits de janvier à mars ainsi qu'en octobre (dans une moindre mesure), ce qui n'était pas prévu par R2D2.

Ainsi, les projections Explore2, malgré des incertitudes toujours importantes, sont plus « optimiste » pour les capacités de remplissage des retenues que ne l'étaient R2D2. Les résultats sur la période d'étiage sont similaires.

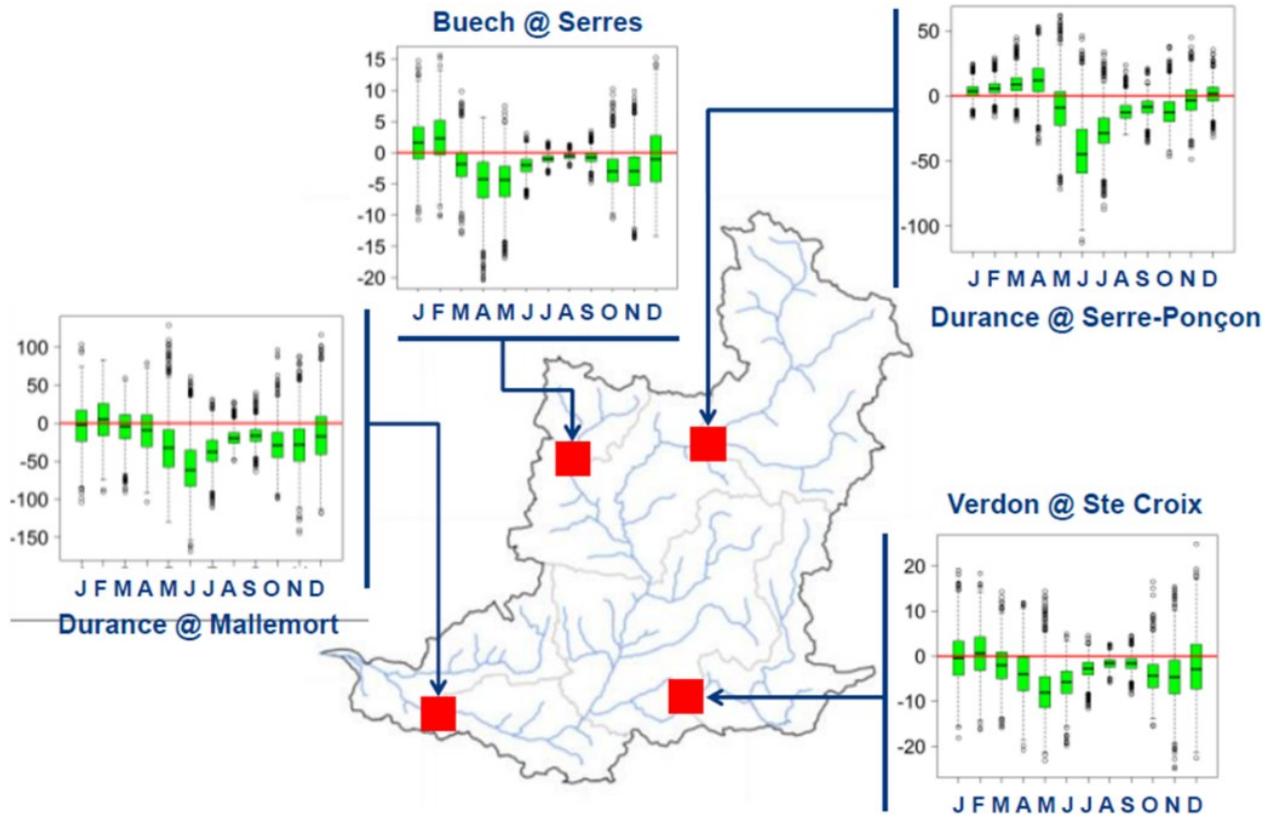
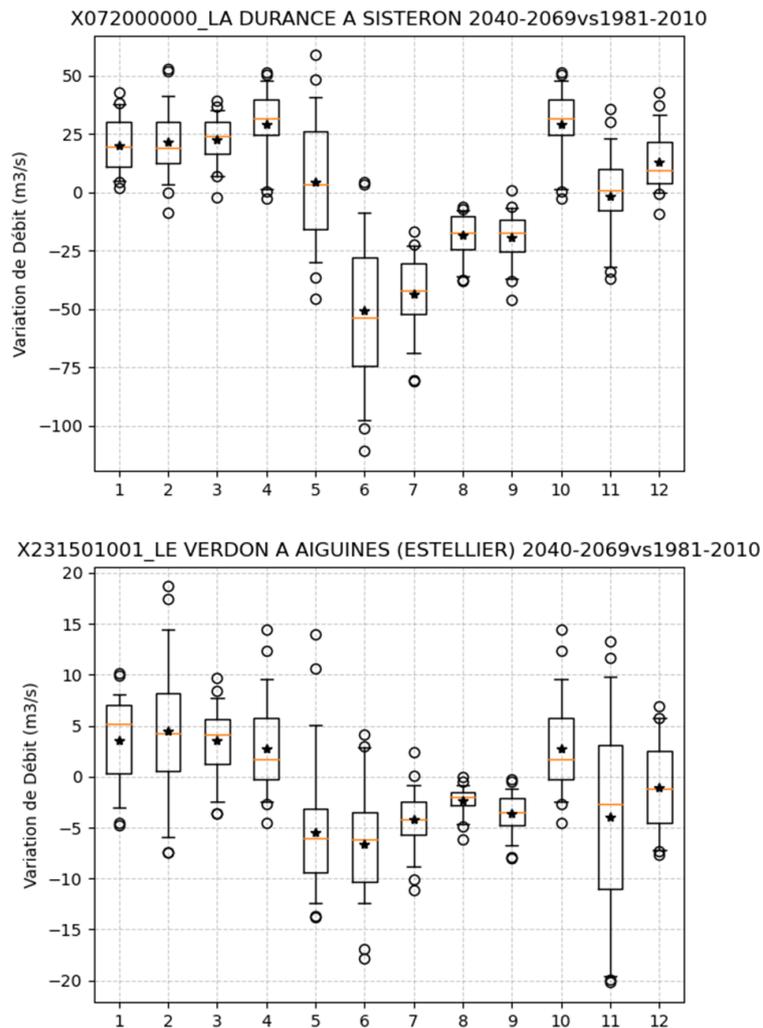


Figure 7. Anomalies de débits mensuels en m<sup>3</sup>/s sur la période 2036-2065 par rapport à la référence 1980-2009. Figure issue de Sauquet et al. (2015).



**Figure 8. Anomalies de débits mensuels 2040-2069 par rapport à 1981-2010, issues des modèles hydrologiques GRSD et SMASH, avec les projections climatiques Explore2/DRIAS.**

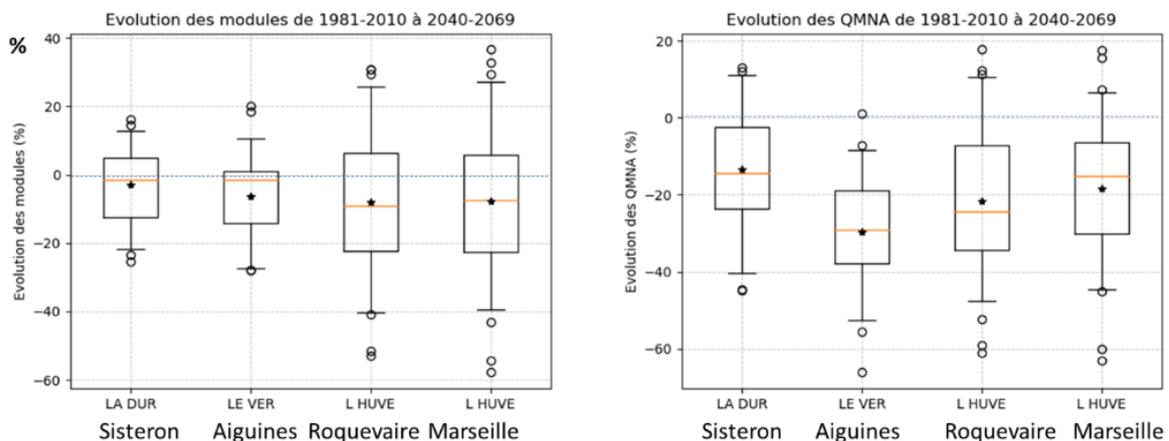
Une des conclusions de l'étude R2D est (Sauquet 2015) : « La sollicitation de la réserve de Serre-Ponçon devrait augmenter du fait de la baisse de la ressource locale. La tranche d'eau réservée [i.e. aux usages préleveurs] serait plus fréquemment insuffisante.

La vision sur le système Verdon est différente : A usage maintenu au niveau 2010, les sollicitations aval des ouvrages sont légèrement sensibles au climat affichant une faible augmentation. Seuls trois scénarios [sur 6] du territoire (spécialisation, investissement, tendanciel) conduisent à une augmentation de la sollicitation des réservoirs du Verdon pouvant dépasser la tranche de Sainte-Croix mais sans jamais épuiser l'ensemble des réserves allouées. »

Ces conclusions ne sont pas remises en cause par Explore2 a priori (baisse des débits Juin-Septembre sur la Durance) mais confirme un risque de compétition territoriale sur la tranche de Serre-Ponçon réservée aux usages (dont l'Huveaune). Sur Sainte-Croix, le risque de compétition territoriale est moins marqué sur la tranche réservée aux usages (et tourisme du Verdon) et donc pour l'Huveaune.

Les conclusions sur les ressources issues de R2D2 sont *a priori* non remises en cause par Explore2, mais **le scénario extrême « chaud et sec » en termes de climat futur sur l'Huveaune entraînerait sans doute des compétitions d'usage particulièrement fortes qui pourrait entraîner des tensions sur les apports des canaux**. Leur quantification est bien entendu particulièrement délicate, et pourrait-être en partie alimenté par les résultats de l'étude C3PO en cours (qui prend la suite de R2D2).

Notons ici que les modèles Explore2, avec toutes leurs limites notamment sur un territoire aussi complexe que l'Huveaune, prévoient également des baisses des débits naturels (hors usages) de l'Huveaune à Roquevaire et à Marseille de mai à septembre et en décembre. Les incertitudes sont très importantes et aucun signal clair ne se dégage les autres mois. Les QMNA devraient baisser, et la plupart des modèles prévoient aussi une baisse des modules, mais certains modèles prévoient une hausse. La Figure 9 résume les résultats moyens des différents modèles Explore2 en termes d'évolution relative des modules et des QMNA sur la Durance, le Verdon et l'Huveaune.



**Figure 9. Evolution relative des modules et des QMNA moyens d'après les projections de débits Explore2 pour 2040-2069 par rapport à 1981-2010.**

## V. REFERENCES

DRIAS-Climat. 2023a. « DRIAS, Les futurs du climat - ETP ». 2023. <https://www.drias-climat.fr/accompagnement/sections/310>.

2023b. « La Trajectoire de Réchauffement de Référence pour l'Adaptation au Changement Climatique (TRACC) ». 2023. <http://www.drias-climat.fr/accompagnement/sections/405>.

Escalón, Sebastián. 2022. « Le réchauffement climatique en France s'annonce pire que prévu ». CNRS Le journal. 2022. <https://lejournel.cnrs.fr/articles/le-rechauffement-climatique-en-france-sannonce-pire-que-prevu>.

Explore2. 2023. « Explore2 - les futurs de l'eau ». Le portail technique de l'OFB. 2023. <https://professionnels.ofb.fr/fr/node/1244>.

Jacob, Daniela, Juliane Petersen, Bastian Eggert, Antoinette Alias, Ole Bøssing Christensen, Laurens M. Bouwer, Alain Braun, et al. 2014. « EURO-CORDEX: New High-Resolution Climate Change Projections for European Impact Research ». *Regional Environmental Change* 14 (2): 563-78. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>.

Marson, Paola, Lola Corre, Jean-Michel Soubeyroux, et Éric Sauquet. 2024. « Rapport de synthèse sur les projections climatiques régionalisées ». Météo-France, INRAE, Institut Pierre-Simon Laplace. hal-04443633. <https://hal.inrae.fr/hal-04443633>.

Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion de territoires. 2024. « Trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au changement climatique (TRACC) ». Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires. janvier 2024. <https://www.ecologie.gouv.fr/trajectoire-rechauffement-reference-ladaptation-au-changement-climatique-tracc-0>.

Ribes, Aurélien, Julien Boé, Saïd Qasmi, Brigitte Dubuisson, Hervé Douville, et Laurent Terray. 2022. « An Updated Assessment of Past and Future Warming over France Based on a Regional Observational Constraint ». *Earth System Dynamics* 13 (4): 1397-1415. <https://doi.org/10.5194/esd-13-1397-2022>.

Sauquet, Eric. 2015. « R2D2 2050 Risque, ressource en eau et gestion durable de la Durance en 2050 ». <https://hal.science/hal-01254297>.

Sauquet, Eric, Y Arama, E Blanc Coutagne, Hélène Bouscasse, F Branger, Isabelle Braud, J F Brun, et al. 2015. « Projet R2D2 2050: Risque, ressource en eau et gestion durable de la Durance en 2050 ». irstea. hal-02601503.

Soubeyroux, Jean-Michel, Sébastien Bernus, Lola Corre, Agathe Drouin, Brigitte Dubuisson, Pierre Etchevers, Viviane Gouget, et al. 2020. « Les nouvelles projections climatiques de référence DRIAS 2020 pour la métropole ». Météo-France. <http://www.drias-climat.fr/document/rapport-DRIAS-2020-red3-2.pdf>.

## I. ANNEXES

### V.1. La TRACC

La Trajectoire de Réchauffement de Référence pour l'Adaptation au Changement Climatique (TRACC) est une approche différente de celle qui a été proposée ici. Elle consiste à se placer à des « niveaux de réchauffements » plutôt qu'à des « horizon temporels » définis (DRIAS-Climat 2023b; Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion de territoires 2024). La TRACC retient un réchauffement moyen sur la France de +4°C à l'horizon « fin du siècle » (2070-2100) par rapport à 1900-1930 (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Les données des modèles Explore 2 ont été lissées avec une méthode de type « spline » afin de ne conserver que les grandes tendances afin de sélectionner pour chaque modèle l'année à laquelle le seuil est atteint. Les résultats obtenus sont disponibles sur le portail DRIAS-Climat (DRIAS-Climat 2023b), et un exemple pour 3 modèles est présenté ici (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Se positionner dans le cadre de la TRACC correspondrait alors pour chacun des modèles à retenir des périodes de temps de 20 ans centrées sur une année différente, plutôt qu'une période de temps fixe 2040-2069 pour tous les modèles sélectionnés (sur les 3 modèles en exemple il s'agirait de 2066, 2062, et 2075). Notons que la TRACC étant basée sur des moyennes nationales les niveaux de réchauffements obtenus sur l'Huveaune seront différents des niveaux de réchauffements nationaux. Les 3 modèle pris en exemple, pour les périodes de temps correspondant à la TRACC +4°C sur la France, auront un réchauffement différent de +4°C sur l'Huveaune et de plus présenterons chacun un réchauffement différent (contrairement à ce qui est obtenu en moyenne nationale).

#### Pour conclure sur la TRACC :

La TRACC est un référentiel défini au niveau national qui n'es pas forcément adapté à des études sur le territoire. Il masque en partie au moins les incertitudes sur les hausses de températures moyennes et retire la notion d'horizon temporel explicite.

Les modèles choisis pour le PTGE seront cependant « cohérents avec la TRACC » comme indiqué dans la partie principale de cette note (p6), et donc si nécessaire les résultats pourront être placé dans ce contexte.

Monde <i>ref 1850-1900</i>	1.5°C	2°C	3°C
Fr-Met. <i>ref 1900-1930</i>	2°C	2.7°C	4°C
Fr-Met <i>ref 1976-2005</i>	1.4°C	2.1°C	3.4°C

**Tableau 1 : niveaux de réchauffement planétaire par rapport à la période pré-industrielle 1850-1900. Lignes 2 et 3 : niveaux de réchauffement correspondants sur la France métropolitaine par rapport à la période pré-industrielle 1900-1930 et par rapport à 1976-200**

RCP8.5			Variation de température moyenne en France par rapport à 1900-1930		
			GCM	RCM	+2°C
<i>DRIAS 14</i>	HadGEM2-ES	ALADIN63	2024 [ 2014 - 2033 ]	<b>2041</b> [ 2031 - 2050 ]	<b>2066</b> [ 2056 - 2075 ]
<i>DRIAS 9</i>	HadGEM2-ES	CCLM4-8-17	2023 [ 2013 - 2032 ]	<b>2037</b> [ 2027 - 2046 ]	<b>2062</b> [ 2052 - 2071 ]
<i>DRIAS 8</i>	NorESM1-M	HIRHAM	2033 [ 2023 - 2042 ]	<b>2049</b> [ 2039 - 2058 ]	<b>2075</b> [ 2065 - 2084 ]

**Tableau 2 : Année à laquelle les niveaux de réchauffement 1.4°C, 2.1°C et 3.4°C sont atteints en France métropolitaine pour 3 modèles présentés ici à titre d'exemple [Période de 20 ans sur laquelle sont calculés les indicateurs sur le portail DRIAS].**

## V.2. Tendances et variabilité climatique

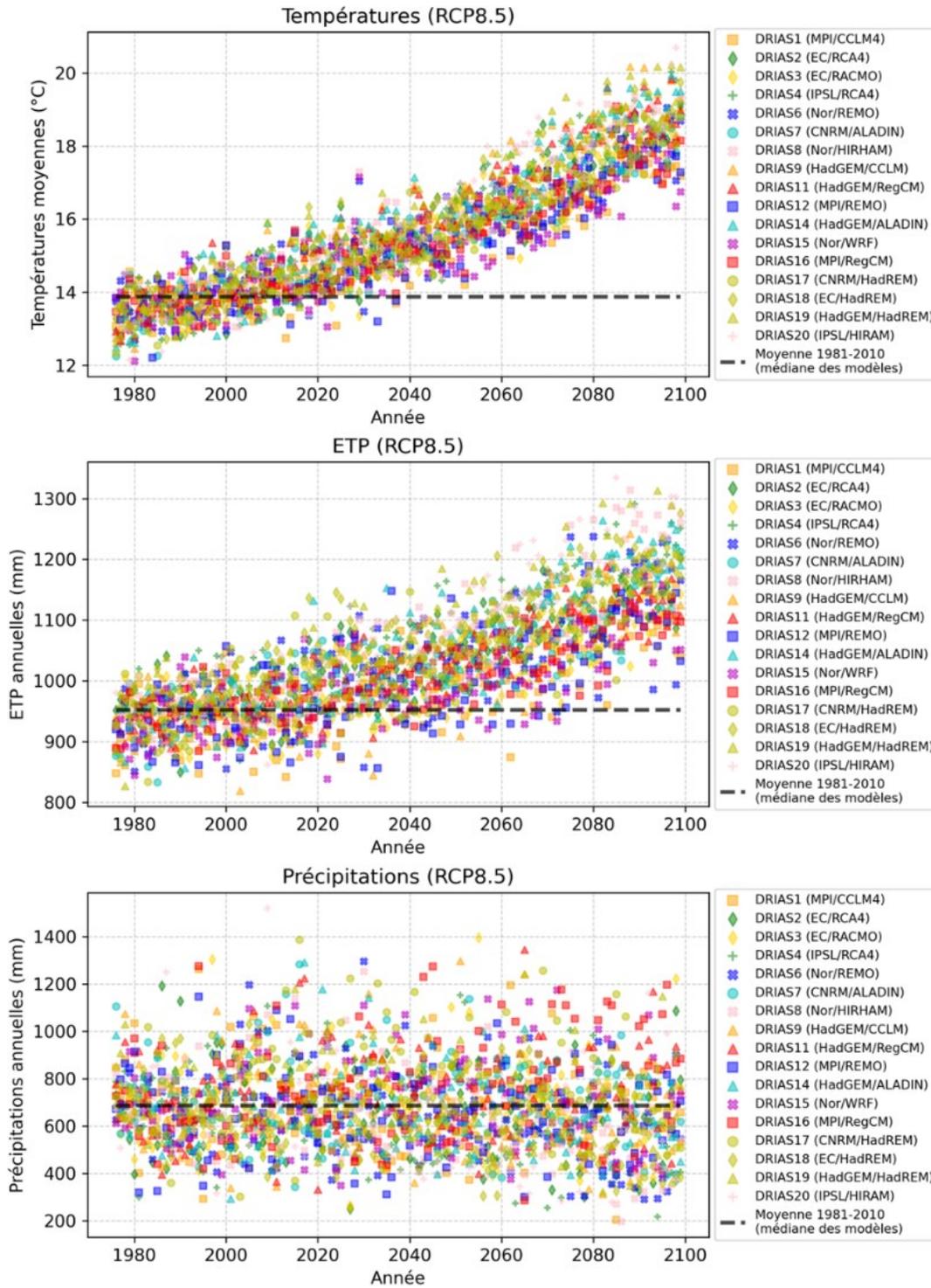


Figure 10. Températures moyennes annuelles (haut) et cumuls annuels d'évapotranspiration potentielle (ETP) et de précipitations sur le bassin versant de l'Huveaune, calculées à partir des données Explore2-Climat (RCP8.5).

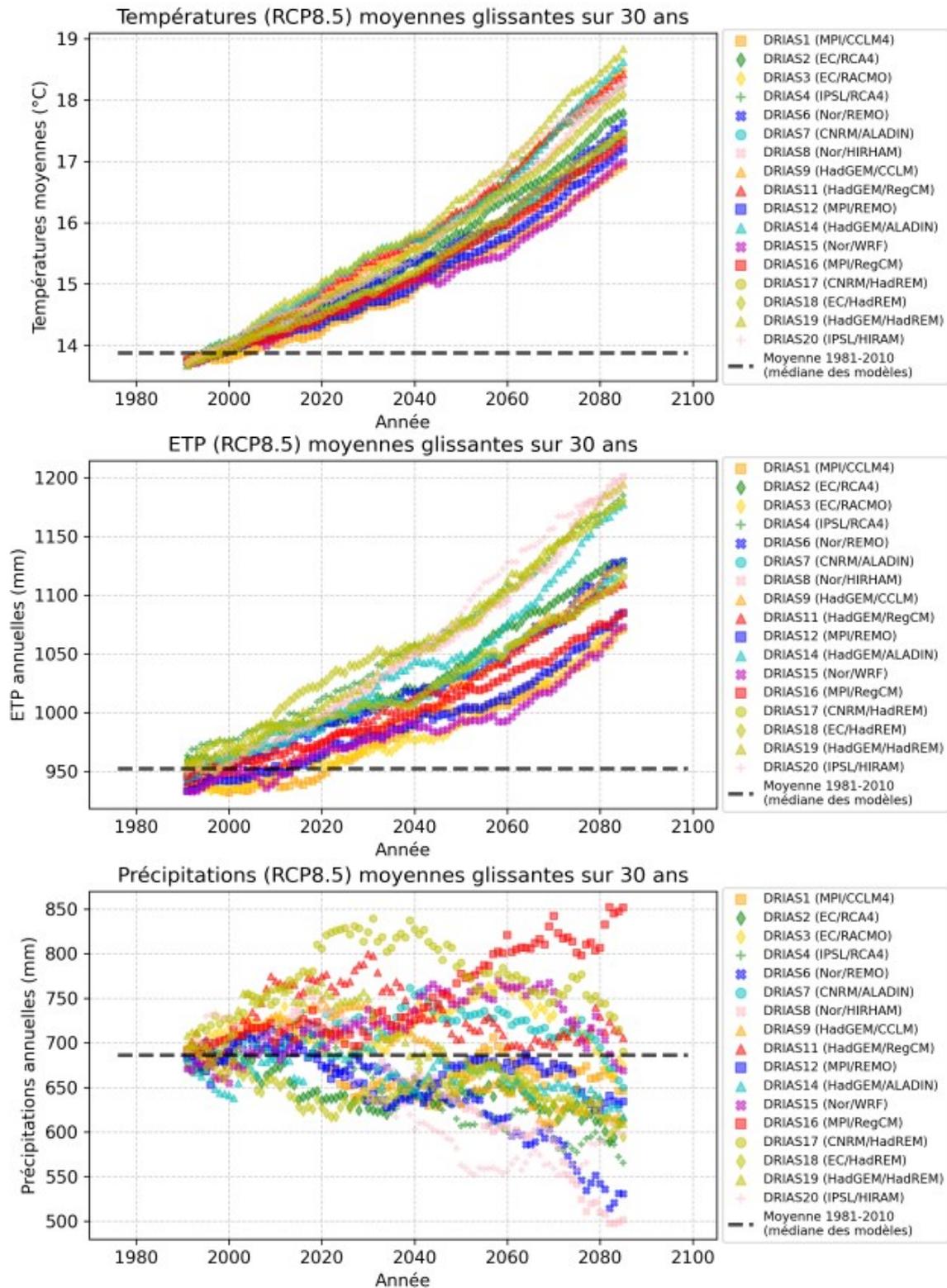


Figure 11 : Idem que la Figure 10 mais en effectuant des moyennes sur 30 années (centrées).



**Préserver ensemble  
nos nappes et nos rivières :  
une responsabilité partagée !**



<https://www.epagehuca.fr/le-bassin-versant-de-lhuveaune/milieux-aquatiques/le-ptge-projet-de-territoire-pour-la->

