



**NOTICE DE LECTURE  
DES FICHES DE RESULTATS  
DES MODELES HYDROLOGIQUES  
DE SURFACE**

**Louis HERAUT, INRAE  
Jean-Philippe VIDAL, INRAE  
Guillaume EVIN, INRAE  
Éric SAUQUET, INRAE**

**31/03/2025**

Avec le soutien financier de :



Le projet Explore2, porté par INRAE et l'Office International de l'eau (OiEau), s'inscrit dans la suite de l'étude Explore 2070 (2010-2012) grâce à laquelle les acteurs de la recherche, autour du Ministère de l'écologie, avaient établi des premiers scénarios prospectifs de disponibilités des ressources en eau à l'échelle de la France à horizon 2070. Officiellement lancé en juillet 2021, co-financé par les partenaires du projet, le Ministère de la transition écologique (MTE) et l'Office français de la biodiversité (OFB), le projet Explore2 a pour objectif, d'ici 2024, d'actualiser les connaissances sur l'impact du changement climatique sur l'hydrologie à partir des publications du GIEC (CMIP5), mais aussi d'accompagner les acteurs des territoires dans la compréhension et l'utilisation de ces résultats pour adapter leurs stratégies de gestion de la ressource en eau.

Nom du projet	Explore2 : Anticiper les évolutions climatiques et hydrologiques en France
Nom du rapport	Notice de lecture des fiches de résultats des modèles hydrologiques de surface
Auteur(s)	Louis HERAUT, INRAE Jean-Philippe VIDAL, INRAE Guillaume EVIN, INRAE Éric SAUQUET, INRAE
Numéro de version	3
Date contractuelle de remise du livrable	01/07/2024
Date effective de remise du livrable	31/03/2025
Statut du document	<del>version provisoire</del> /version finale
Accès en ligne	libre/ <del>restreint</del> / <del>confidentiel</del>
Mots-clés (5 maximum)	débit, changement climatique, anomalie, régime hydrologique

## Table des matières

1	Introduction .....	8
2	Description des fiches de synthèse .....	13
2.1	Fiche de synthèse – recto .....	15
2.2	Fiche de synthèse – verso .....	17
2.3	Exemple de fiche commentée .....	18
3	Recommandations et avertissements .....	24
4	Références .....	25

## Liste des figures

Figure 1 : Points de simulation disposant de fiche de synthèse (c'est-à-dire de plus de quatre modèles hydrologiques différents après filtrage des projections jugées aberrantes).....	9
Figure 2 : Exemple de fiche de synthèse (recto).....	13
Figure 3 : Exemple de fiche de synthèse (verso). ....	14

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Variables hydrologiques considérées pour décrire les hautes eaux. ....	10
Tableau 2 : Variables hydrologiques considérées pour décrire les moyennes eaux. ....	11
Tableau 3 : Variables hydrologiques considérées pour décrire les basses eaux. ....	12

## Résumé

Le projet **Explore2** a produit une quantité inédite de données hydrologiques. Ainsi, des ensembles de projections hydrologiques ont été élaborés sur près de 4000 points de simulation répartis en France hexagonale. Dans un esprit de faciliter la diffusion des résultats et suite à des recommandations faites post-Explore2070 (Sauquet *et al.*, 2019), des fiches de synthèse viennent décrire les évolutions de statistiques de débit (descripteurs du régime hydrologique). Ces fiches sont toutes construites sur un schéma identique et privilégient des représentations graphiques. Elles se focalisent sur les résultats concernant les débits obtenus avec le scénario d'émission le plus émetteur (RCP8.5) et aux points disposant de projections issues d'au moins quatre modèles hydrologiques de surface. L'objectif visé des fiches est de montrer l'évolution de quelques variables clefs descriptives du régime hydrologique. Les valeurs numériques ne doivent pas être lues sur ces fiches, mais dans les fichiers de données brutes ou d'indicateurs pré-calculés mis à disposition, comme les fiches de synthèse, sur le portail « DRIAS les futurs de l'eau » (<https://www.drias-eau.fr>). Ce document a pour objectif d'explicitier le contenu de ces fiches de synthèse des résultats.

# 1 Introduction

Le projet **Explore2** a produit une quantité inédite de données hydrologiques. Ainsi, des ensembles de projections hydrologiques ont été élaborés sur près de 4000 points de simulation répartis en France hexagonale. Dans un esprit de faciliter la diffusion des résultats et suite à des recommandations faites post-Explore2070 (Sauquet *et al.*, 2019), des fiches de synthèse ont été élaborées.

**L'objectif visé des fiches est de présenter l'évolution de variables clefs descriptives du régime hydrologique au travers de représentations graphiques.**

Des choix scientifiques ont primé dans l'élaboration de ces fiches. Ainsi, nous avons privilégié :

- Les horizons « milieu de siècle » H2 (2041-2070) et « fin de siècle » H3 (2070-2099) pour décrire de manière préférentielle les tendances de long terme au détriment de l'horizon proche,
- Le scénario d'émissions fortes RCP8.5 pour illustrer les résultats du scénario d'émission le plus pessimiste,
- Les points de simulation traités par au moins quatre modèles hydrologiques pour mieux décrire les incertitudes,
- Une trame de présentation unique pour faciliter la production en masse des fiches,
- Les résultats issus des quatre narratifs (Marson *et al.*, 2024) pour illustrer la diversité des futurs,
- Une synthèse uniquement graphique (donc des fiches sans tableau de données) mais riche en indicateurs hydrologiques.

Notons que la production des fiches a été l'opportunité d'expurger le jeu de données de projections hydrologiques jugées numériquement aberrantes. Une procédure automatique a été mise en œuvre sur les chroniques de débits annuels et les moyennes sur les différentes périodes de référence pour les points disposant d'au moins quatre modèles hydrologiques. L'aspect atypique est mesuré sur les modules  $QA$  (moyenne des débits annuels) relativement à des médianes et un écart-type calculés sur l'ensemble des projections disponibles au point de simulation considéré ; en effet, nous ne disposons pas de données de référence en chaque point de simulation et nous supposons qu'en l'absence d'observations, la meilleure estimation est celle donnée par une estimation de type multi-modèles (toutes projections confondues). Une projection  $p$  parmi les  $N$  disponibles au point considéré est exclue si :

1. [ordre de grandeur] le module  $QA[p]$  calculé sur la projection  $p$  s'écarte fortement de la médiane multi-modèles des modules  $QA[i]$ ,  $i=1,...,N$  sur la période de référence, c'est-à-dire si :  $QA[p]$  est en dehors de l'intervalle  $[1/k \text{ médiane}(QA[i], i=1,...,N) ; k \text{ médiane}(QA[i], i=1,...,N)]$  avec  $k= 2$ ,
2. [sensibilité à l'évolution du climat en fin de siècle] l'anomalie relative  $\Delta QA[p]$  comparativement à la période de référence en fin de siècle se situe bien en dehors de la dispersion constatée sur l'ensemble des projections hydrologiques, c'est-à-dire si :  $\Delta QA[p]$  est en dehors de l'intervalle  $[médiane(\Delta QA[i], i=1,...,N) - k' \text{ écart-type}(\Delta QA[i], i=1,...,N) ; médiane(\Delta QA[i], i=1,...,N) + k' \text{ écart-type}(\Delta QA[i], i=1,...,N)]$  avec  $k'= 3$ .

Si finalement, au point considéré, 50 % des projections hydrologiques d'un modèle sont identifiées comme aberrantes, l'ensemble des projections hydrologiques de ce modèle en ce point est supprimé des fiches. Nous supposons que le caractère atypique est lié à la représentation des processus, d'estimation de la surface drainée... au point de simulation et les indicateurs hydrologiques ne seront pas disponibles au téléchargement dans le portail « DRIAS les futurs de l'eau ». La liste des projections jugées problématiques est fournie pour information sur le portail.

Des tests de sensibilité ont été engagés pour fixer  $k$  et  $k'$ . Les choix  $k= 2$  et  $k'= 3$  se sont opérés sur la base d'un examen graphique des hydrogrammes.



La contrainte 1 pointe 1.7 % des projections, soit un total d'environ 15 000 projections hydrologiques. Un ensemble d'environ 6 500 projections est exclu selon la contrainte 2. Nous avons identifié 600 projections qui ne respectent ni la contrainte 1 ni la contrainte 2. La première contrainte s'avère la plus sévère.

Ce sont des projections obtenues majoritairement par CTRIP, SMASH, J2000, ORCHIDEE qui ont été exclues. Finalement, 288 ensembles de projections issues d'un modèle (majoritairement CTRIP, SMASH et ORCHIDEE) ont été exclus en 275 points de simulation, ce qui représente la suppression de 22 885 projections (équivalent de 2 %) du jeu de données initial et 32 points de simulation ne respectant plus la contrainte d'au moins quatre modèles hydrologiques.

Les fiches téléchargeables sur le portail « DRIAS les futurs de l'eau » décrivent pour un ensemble de 2368 points répartis uniformément en France (les points en vert de la Figure 1) le régime hydrologique en milieu et fin de siècle et les changements relativement à la période de référence 1976-2005 pour 29 variables ou indicateurs hydrologiques du Tableau 1 pour les descripteurs de hautes eaux, du Tableau 2 pour les descripteurs des moyennes eaux et du Tableau 3 pour les descripteurs des basses eaux. Il est entendu que les valeurs numériques ne doivent pas être lues sur les graphiques des fiches, mais dans les fichiers de données brutes ou d'indicateurs pré-calculés mis à disposition sur le portail « DRIAS les futurs de l'eau » (<https://www.drias-eau.fr/commande>).

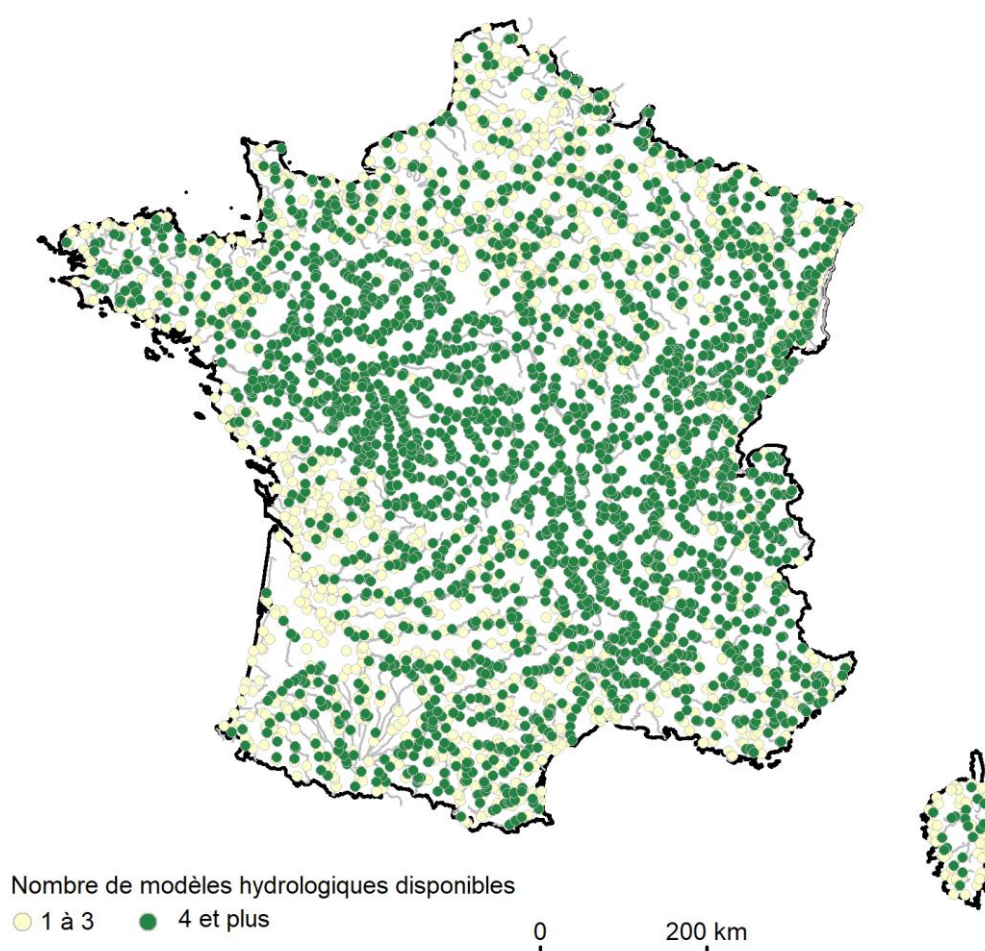


Figure 1 : Points de simulation disposant de fiche de synthèse (c'est-à-dire de plus de quatre modèles hydrologiques différents après filtrage des projections jugées aberrantes)

Nom	Définition	Echantillonnage
dtCru	Durée caractéristique de crue. La série exploitée est la différence entre le débit brut et le débit de base, assimilée au ruissellement $Q_r$ . Les crues sont identifiées par échantillonnage maximum annuel dans la série des $Q_r$ et pour chaque crue, la durée est définie comme le nombre de jours où $Q_r$ est supérieur au maximum annuel divisé par 2	Année hydrologique adaptée aux crues (débutant le mois du minimum des débits mensuels moyens interannuels)
Q05	Moyenne des débits dépassés 5 % du temps sur chaque année	Année civile
Q10	Moyenne des débits dépassés 10 % du temps sur chaque année	Année civile
QJXA	Débits journaliers maximaux annuels (page 1) ou moyenne des débits journaliers maximaux annuels (page 2)	Année hydrologique adaptée aux crues (débutant le mois du minimum des débits mensuels moyens interannuels)
QJXA-10	Débit journalier maximal annuel de période de retour 10 ans (ajustement de Gumbel)	Année hydrologique adaptée aux crues (débutant le mois du minimum des débits mensuels moyens interannuels)
tQJXA	Moyenne des dates d'occurrence du débit journalier maximal annuel	Année hydrologique adaptée aux crues (débutant le mois du minimum des débits mensuels moyens interannuels)
tVCX3	Moyenne des dates d'occurrence du maximum annuel de la moyenne sur 3 jours des débits journaliers	Année hydrologique adaptée aux crues (débutant le mois du minimum des débits mensuels moyens interannuels)
tVCX10	Moyenne des dates d'occurrence du maximum annuel de la moyenne sur 10 jours des débits journaliers	Année hydrologique adaptée aux crues (débutant le mois du minimum des débits mensuels moyens interannuels)
VCX3	Moyenne des maxima annuels de du débit moyen sur 3 jours	Année hydrologique adaptée aux crues (débutant le mois du minimum des débits mensuels moyens interannuels)
VCX10	Moyenne des maxima annuels de du débit moyen sur 10 jours	Année hydrologique adaptée aux crues (débutant le mois du minimum des débits mensuels moyens interannuels)

Tableau 1 : Variables hydrologiques considérées pour décrire les hautes eaux.

Nom	Définition	Echantillonnage
Q50	Moyenne des débits dépassés 50 % du temps sur chaque année	Année civile
QA	Débit annuel (page 1) ou moyenne interannuelle des débits annuels (page 2)	01/09 au 31/08
QM <sub>janv</sub>	Moyenne interannuelle des débits moyens de janvier	01/01 au 31/01
QM <sub>août</sub>	Moyenne interannuelle des débits moyens d'août moyen interannuel	01/08 au 31/08
QM <sub>sept</sub>	Moyenne interannuelle des débits moyens de septembre	01/09 au 30/09
QS <sub>DJF</sub>	Moyenne interannuelle des débits moyens d'hiver	01/12 au 29/02 de l'année suivante
QS <sub>JJA</sub>	Moyenne interannuelle des débits moyens d'été	01/06 au 31/08
QS <sub>MAM</sub>	Moyenne interannuelle des débits moyens de printemps	01/03 au 31/05
QS <sub>SON</sub>	Moyenne interannuelle des débits moyens d'automne	01/09 au 30/11

Tableau 2 : Variables hydrologiques considérées pour décrire les moyennes eaux.

Nom	Définition	Echantillonnage
Q90	Moyenne des débits dépassés 90 % du temps sur chaque année	Année civile
Q95	Moyenne des débits dépassés 95 % du temps sur chaque année	Année civile
QMNA	Moyenne des débits mensuels minimaux annuels	Année hydrologique adaptée aux étiages (débutant le mois du maximum des débits mensuels moyens interannuels)
VCN3 <sup>été</sup>	Moyenne des minima estivaux des débits moyens sur 3 jours	01/05 au 30/11
VCN10 <sup>été</sup>	Minima estivaux des débits moyens sur 10 jours (page 1) ou moyenne des minima estivaux des débits moyens sur 10 jours (page 2)	01/05 au 30/11
VCN10-5	Minimum annuel de la moyenne sur 10 jours du débit journalier de période de retour 5 ans (ajustement log-normal)	Année hydrologique adaptée aux étiages (débutant le mois du maximum des débits mensuels moyens interannuels)
VCN30 <sup>été</sup>	Moyenne des minima estivaux des débits moyens sur 30 jours	01/05 au 30/11
débutBE <sup>été</sup>	Moyenne des dates de début d'étiage d'été définies annuellement comme la première valeur de débits moyens sur 10 jours sous le seuil fixé*. Le seuil est le maximum des VCN10 <sup>été</sup> sur l'entièreté de la chronique (1976-2100). L'analyse des franchissements du seuil concerne l'été, entre le 01/05 et le 30/11.	01/05 au 30/11
centreBE <sup>été</sup>	Moyenne des dates du centre d'étiage d'été, définies annuellement comme la date des VCN10 <sup>été</sup>	01/05 au 30/11
dtBE <sup>été</sup>	Moyenne des dates de fin d'étiage d'été, définies annuellement comme la date de la dernière valeur de débits moyens sur 10 jours sous le seuil fixé*. Le seuil est le maximum des VCN10 <sup>été</sup> sur l'entièreté de la chronique (1976-2100). L'analyse des franchissements du seuil concerne l'été, entre le 01/05 et le 30/11	01/05 au 30/11

Tableau 3 : Variables hydrologiques considérées pour décrire les basses eaux.

\* : La définition du seuil permet ainsi d'extraire au moins un épisode d'étiage par an et tous les épisodes présenteront une durée supérieure à 1 jour.

## 2 Description des fiches de synthèse

Un exemple de fiche est présenté ici :

### O200001001 - La Garonne à Portet-Sur-Garonne

Région hydrographique : Garonne

Superficie : 9980 km<sup>2</sup>

X = 571848 m (Lambert93)

Y = 6270958 m (Lambert93)

Nombre de projections sous RCP 8.5 : 119

Nombre de modèles hydrologiques : 5

Narratifs

— Réchauffement marqué et augmentation des précipitations

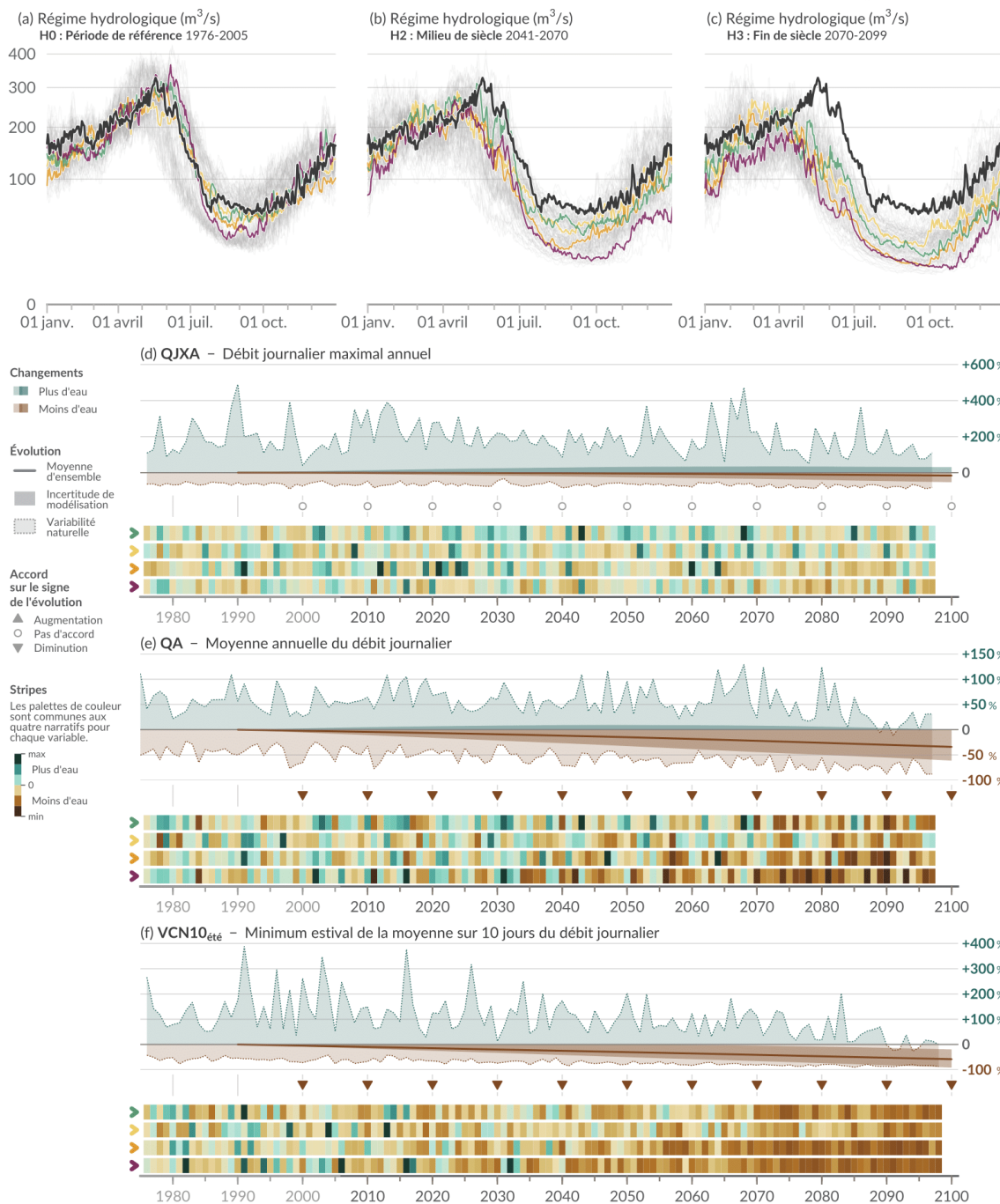
— Changements futurs relativement peu marqués

— Fort réchauffement et fort assèchement en été (et en annuel)

— Fort réchauffement et forts contrastes saisonniers en précipitations

SAFRAN

Ensemble des projections



Avertissement : Ces résultats comportent des incertitudes. Ils sont donnés à titre indicatif. Il ne s'agit pas de prévisions mais d'indications d'évolutions possibles. Ces fiches sont volontairement synthétiques et une notice d'accompagnement fournit des informations pour la lecture et l'interprétation des graphiques de cette fiche.



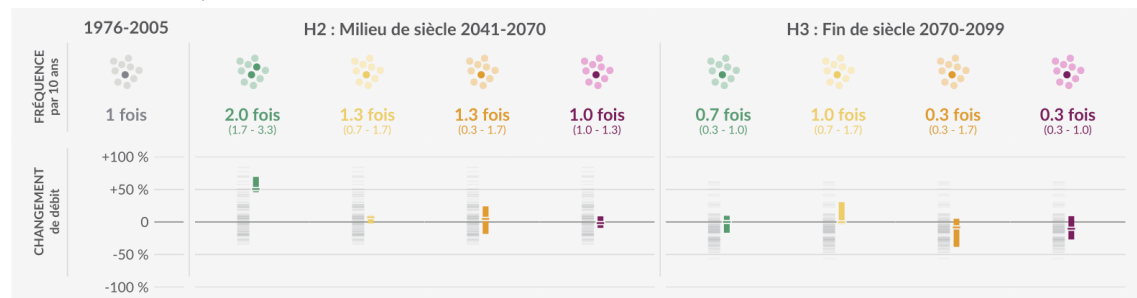
Synthèse des projections sous RCP 8.5  
juillet 2024 p.1

Figure 2 : Exemple de fiche de synthèse (recto).

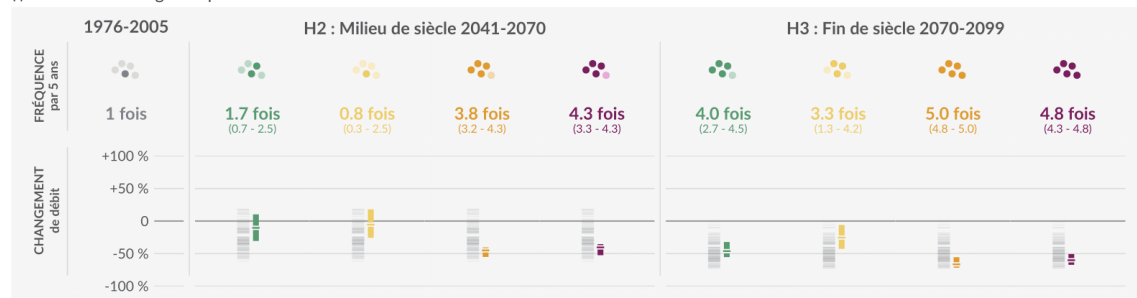
(g) Changements en milieu de siècle 2041-2070 (H2) et en fin de siècle 2070-2099 (H3) par rapport à la période de référence 1976-2005



(h) QJXA-10 – Crues de période de retour 10 ans



(i) VCN10-5 – Étiages de période de retour 5 ans



Avertissement : Ces résultats comportent des incertitudes. Ils sont donnés à titre indicatif. Il ne s'agit pas de prévisions mais d'indications d'évolutions possibles. Ces fiches sont volontairement synthétiques et une notice d'accompagnement fournit des informations pour la lecture et l'interprétation des graphiques de cette fiche.



Synthèse des projections sous RCP 8.5  
juillet 2024 p.2

Figure 3 : Exemple de fiche de synthèse (verso).



## 2.1 Fiche de synthèse – recto

### • En-tête :

Code hydrographique associé au point de simulation à dix caractères, nom (rivière et lieu) et région hydrographique définie par le Système d'Information sur l'Eau du Sandre à laquelle le point appartient

Localisation du point de simulation et contour de son bassin versant

### **O200001001 - La Garonne à Portet-Sur-Garonne**

Région hydrographique : Garonne

Superficie : 9980 km<sup>2</sup>

X = 571848 m (Lambert93)

Y = 6270958 m (Lambert93)

Nombre de projections sous RCP 8.5 : 119

Nombre de modèles hydrologiques : 5

#### Narratifs

- Réchauffement marqué et augmentation des précipitations
- Changements futurs relativement peu marqués
- Fort réchauffement et fort assèchement en été (et en annuel)
- Fort réchauffement et forts contrastes saisonniers en précipitations

SAFRAN —

Ensemble des projections —

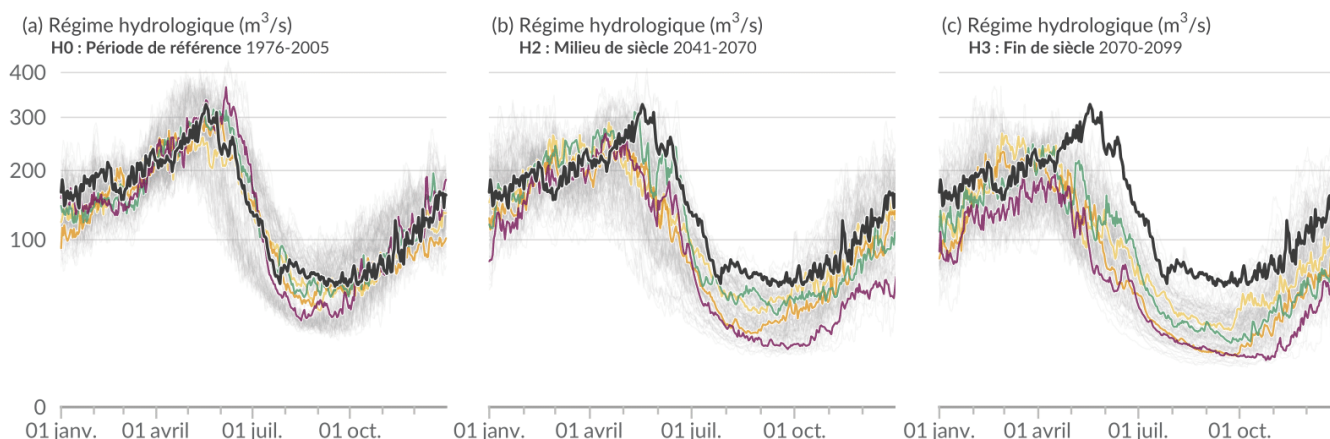


Métadonnées du point de simulation (surface et coordonnées) et disponibilité des projections hydrologiques

Légende des couleurs des courbes (rappel des caractéristiques des narratifs)

### • Hydrogrammes sur la période de référence 1976-2005, en milieu de siècle 2041-2070 (H2) et en fin de siècle 2070-2099 (H3) (a, b, c) :

La courbe en noir, représentée à l'identique en *a*, *b* et *c*, est la médiane des débits journaliers de référence simulés avec la réanalyse SAFRAN, calculée sur l'ensemble des modèles hydrologiques. Chaque courbe en couleur représente la médiane de l'ensemble des modèles hydrologiques pour un narratif climatique associée aux périodes H0, H2 et H3. Les courbes en gris sont des projections individuelles tracées avec un niveau de transparence ; les zones en gris prononcé indiquent des zones de convergence des modélisations. Notons que les quatre narratifs ne sont pas les plus contrastés en milieu de siècle ; leur caractère contrasté n'est confirmé qu'en fin de siècle.



### • Changements relatifs moyens (en %) et les incertitudes associées pour trois indicateurs hydrologiques (d, e, f) :

- QJXA : Débit journalier maximal annuel,
- QA : Débit journalier moyen annuel,
- VCN10<sub>été</sub> : Minimum estival de la moyenne sur 10 jours du débit journalier.

La légende sur la partie gauche se rapporte aux trois blocs de trois représentations graphiques. Les deux premiers graphiques de chaque bloc sont également présents dans la fiche « incertitudes » (Evin, 2024). Les éléments techniques pour la caractérisation des incertitudes sont développés par Evin *et al.* (2024).

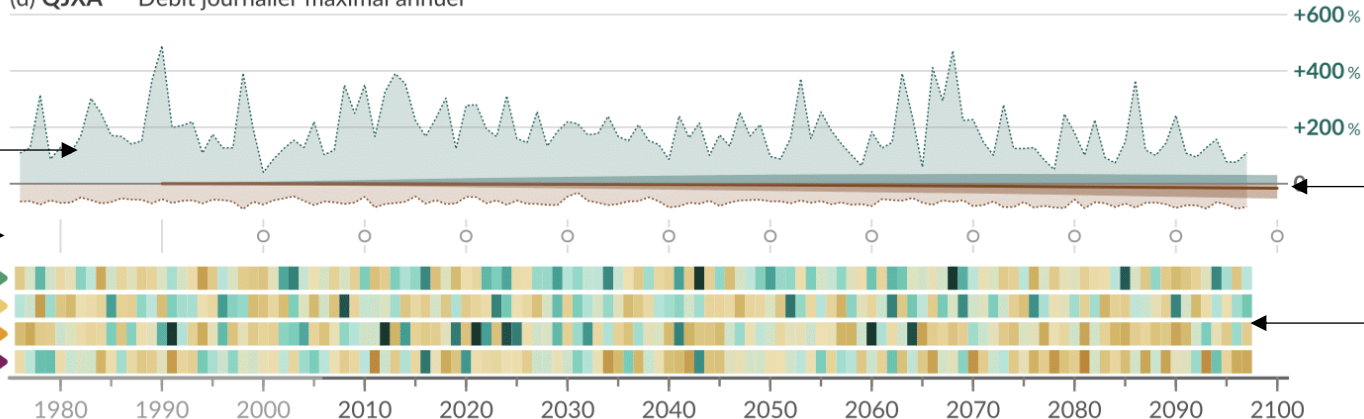
L'axe temporel (celui des abscisses) qui se situe sous le troisième graphique du bloc est commun à tous les graphiques. Les années de la période de référence 1976-2005 sont identifiées en gris clair et celles de la période 2006-2100 en gris prononcé.

La légende placée sur la gauche des blocs est commune aux graphiques d, e et f. Notons que les nuances de marron sont interprétables en « moins d'eau » et en vert en « plus d'eau ».

Courbe enveloppe des projections brutes, illustrant les variations interannuelles possibles de la variable considérée dues à la *variabilité interne*<sup>1</sup> du climat

Courbe et bande représentant respectivement la *réponse climatique*<sup>2</sup> moyenne toutes projections confondues et la dispersion entre les *réponses climatiques* des différentes chaînes de modélisation de l'ensemble. La couleur de la courbe indique le signe de la tendance de la *réponse climatique moyenne*

(d) QJXA – Débit journalier maximal annuel



Accord sur le signe de changement à l'année considérée indiqué sous forme chronologique (une valeur par décennie). Un triangle orienté vers le haut (resp. vers le bas) indique que 80 % des modèles sont en accord sur un changement à la hausse (resp. à la baisse). Un cercle indique les autres cas (absence d'accord de signe). Cet accord de signe est mesuré sur les réponses climatiques des modèles hydrologiques

Représentation par bande de couleur (stripes). Chaque bande horizontale est associée à un des quatre narratifs identifiable par la couleur des flèches à gauche. Les écarts relatifs des variables de chaque modèle hydrologique à la période de référence sont calculés dans un premier temps. On en fait ensuite la médiane pour chaque année sur l'ensemble des modèles. L'échelle de couleurs est commune aux quatre narratifs pour chaque variable. Cette échelle est symétrique, centrée sur zéro, avec pour intensité maximale et minimale le centile de l'écart relatif médian le plus extrême en valeur absolue

<sup>1</sup> Variabilité (fluctuation) de la variable ou de l'indicateur considéré autour de la réponse climatique ; l'importance de la variabilité interne dépend de la variable considérée. La variabilité interne d'un débit annuel comprend la variabilité interannuelle à décennale. La variabilité interne d'un débit interannuel moyen (moyenne sur 30 ans) comprend seulement la variabilité décennale. (extrait du glossaire de Evin *et al.*, 2024)

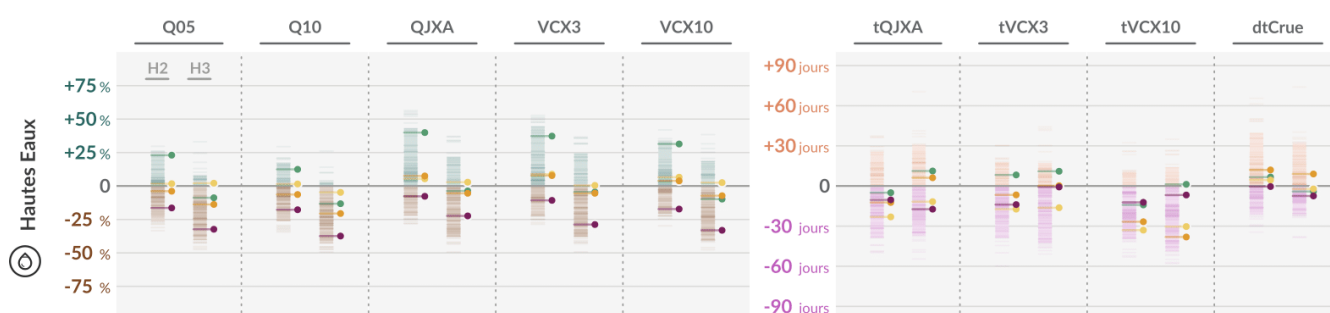
<sup>2</sup> Évolution long terme et progressive d'une variable ou d'un indicateur en réponse aux changements projetés du climat. Dans QUALYPSO, elle est estimée à partir de l'ajustement d'un modèle de tendance, en l'occurrence une fonction de lissage forte (type spline) qui supprime les variations interannuelles à décennales de la variable ou de l'indicateur considéré (qui supprime la variabilité interne) (extrait du glossaire de Evin *et al.*, 2024)



## 2.2 Fiche de synthèse – verso

- **Changement en milieu de siècle 2041-2070 (H2) et en fin de siècle 2070-2099 (H3) par rapport à la période de référence 1976-2005 (g) :**

Trois blocs ont été constitués pour distinguer les descripteurs des hautes eaux, des moyennes eaux et des basses eaux. Les descripteurs associés à des débits ou volumes d'eau occupent la partie gauche des blocs hautes et moyennes eaux et ceux associés à la dynamique la partie droite. Le code couleur pour les débits (vert/marron) renvoie à l'interprétation des blocs précédents (*d*, *e* et *f*) (respectivement plus/moins d'eau). Pour les variables descriptives de la dynamique, la couleur rose est interprétable en phénomène plus précoce ou d'une plus longue durée et la couleur orange en phénomène plus tardif ou d'une durée plus courte. Les couleurs des narratifs sont celles du contenu recto de la fiche.



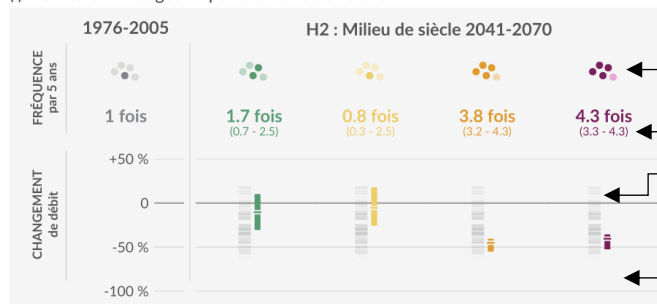
Les graphiques des blocs sont organisés par colonne : les résultats de chaque variable dont le nom est précisé en en-tête sont déclinés en deux colonnes (celle de gauche relative au milieu de siècle (H2) et celle de droite relative à la fin de siècle (H3)). Chaque segment horizontal correspond au résultat d'une projection hydrologique. Il est tracé avec un niveau de transparence et met en avant les valeurs situées entre le quantile 5 % et le quantile 95 % de l'ensemble des écarts ; ainsi, comme pour les figures a, b et c, les zones aux couleurs plus marquées correspondent à des zones de convergence des modèles.

Les segments en trait plus épais et colorés en jaune, orange, vert et violet indiquent les médianes obtenues par les modèles hydrologiques alimentés par les quatre narratifs.

- **Evolution des aléas crue (*h*) et sécheresse hydrologique (*i*) :**

Deux blocs ont été constitués, le premier relatif à l'évolution du risque de crue (*h*) et le second à l'évolution du risque de sécheresse hydrologique (*i*), en milieu et fin de siècle. Le premier ensemble permet de quantifier la fréquence d'un événement de crue aujourd'hui décennal (QJXA10, *h*) et aujourd'hui quinquennal (VCN10-5, *i*) dans les réponses hydrologiques aux quatre narratifs (à gauche pour le milieu de siècle et à droite pour la fin de siècle). Cette fréquence (médiane) est assortie d'un intervalle illustrant la dispersion (minimum et maximum précisés sous la médiane) matérialisée par les points colorés. S'ajoutent les changements relatifs de QJXA10 et VCN10-5 entre la période de référence et l'horizon considéré.

(i) VCN10-5 – Étiages de période de retour 5 ans



Fréquence médiane (nombre de points colorés rapporté au nombre total de points ; chiffre)

Intervalle de fréquence (minimum – maximum)

Écarts associés à chaque projection, l'ensemble forme la distribution des changements tous modèles hydrologiques et projections climatiques confondus (à l'identique 4 fois)

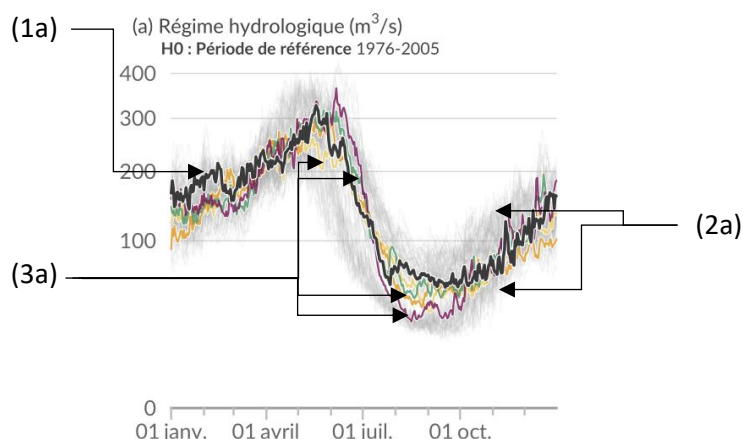
Écarts associés à un des quatre narratifs, l'ensemble forme la réponse hydrologique (tous modèles hydrologiques confondus) au narratif

## 2.3 Exemple de fiche commentée

A titre d'illustration, nous allons commenter la fiche présentée ici, celle de la Garonne à Portet-Sur-Garonne.

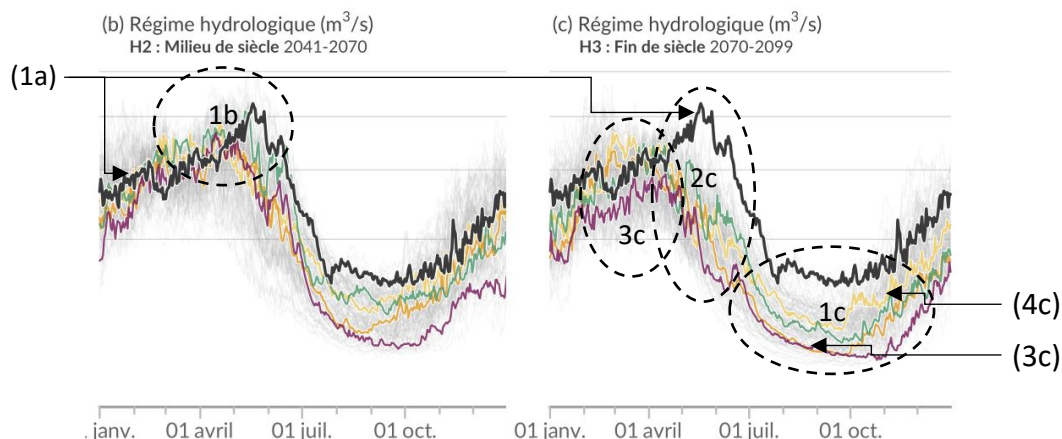
### • Page 1 :

Le graphique a décrit les débits obtenus sur la période de référence 1976-2005. Il fait apparaître les contrastes saisonniers. **Pour ce point de simulation**, les courbes noire (1a) et grises (2a) présentent des allures similaires : quelle que soit la simulation, les hautes eaux se concentrent en fin de printemps et début d'été, et les basses eaux en été et en automne, signe d'une forte cohérence entre simulations. On peut cependant percevoir une dispersion : les courbes grises (2a) issues des runs historiques peuvent s'écarter de la courbe noire (médiane des modèles hydrologiques forcés par la réanalyse SAFRAN) qui est la référence en temps présent. Les résultats graphiques sont en cohérence avec le régime hydrologique attendu sur ce bassin versant, i.e. un régime nival de transition.



Les graphiques b et c illustrent les résultats aux deux horizons. La courbe noire obtenue avec la réanalyse SAFRAN (1a) est présente sur les deux graphiques : il s'agit d'un repère visuel pour apprécier les modifications du régime hydrologique décrites par les courbes en gris. **Pour ce point de simulation**,

- en milieu de siècle, la dynamique saisonnière est modérément modifiée : les hautes eaux demeurent en printemps (1b) mais sont plus précoces, et les basses eaux chutent en été (2b),
- en fin de siècle, la dynamique est plus profondément modifiée avec des étiages estivaux (1c) plus précoces, plus longs et plus sévères. Les débits en milieu de printemps et début d'été chutent (2c), signe d'une fonte nivale contribuant aux écoulements fortement réduite. Les hautes eaux apparaissent désormais en hiver (3c).



Pour plus de détail, les ordres de grandeur des changements des débits saisonniers  $Q_{SDJF}$ ,  $Q_{SMAM}$ ,  $Q_{SJJJA}$  et  $Q_{SSON}$  sont présentés en page 2 dans les graphiques g de la seconde ligne.

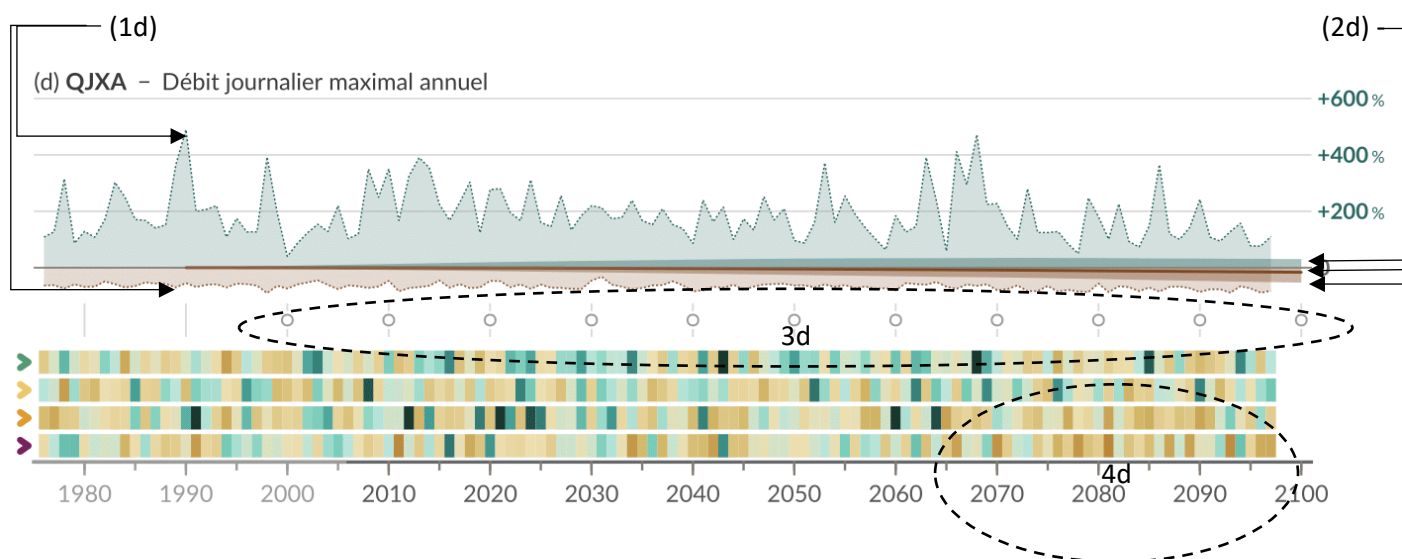
Les courbes en couleur montrent la médiane de l'ensemble des modèles hydrologiques pour un narratif climatique donné. Sur le graphique *a*, à l'image de l'ensemble des simulations, ces courbes (3a) sont proches de la courbe noire associée aux simulations avec la réanalyse SAFRAN (1a). Sur les graphiques *b* et *c*, les courbes en couleur montrent les évolutions de l'hydrologie conditionnées par les quatre narratifs. C'est à l'horizon fin de siècle et donc sur le graphique *c* que s'expriment les caractéristiques pour lesquelles les narratifs ont été choisis. Rien ne garantit que les contrastes identifiés en fin de siècle soient présents en milieu de siècle. **Pour ce point de simulation**, en fin de siècle,

- les narratifs violet et orange (3c) conduisent aux débits estivaux les plus faibles : les courbes associées se situent sous les courbes des deux autres narratifs vert et jaune,
- à l'inverse, la courbe du narratif jaune (4c) - plus modéré en termes de changement du climat – se situe au-dessus des trois autres courbes,
- les quatre courbes en couleur présentent des allures assez similaires mais l'intensité des changements est bien différente. Cette hiérarchie entre narratifs n'est certainement pas la même d'un point de simulation à un autre, car les narratifs ont été identifiés à partir des moyennes spatiales France hexagonale qui masquent des disparités géographiques.

Les graphiques *d*, *e* et *f* présentent l'évolution de trois variables, exprimée en changement relatif. Les zones colorées illustrent les variations interannuelles possibles de la variable considérée dues à la variabilité interne du climat. Ces variations sont bornées sur la partie basse (par -100 %) mais pas sur la partie haute ; ce qui peut induire une asymétrie autour de l'axe des abscisses. La courbe en trait continu épais et le « cône » qui l'entoure décrivent la réponse climatique et l'incertitude associée. Le consensus sur le signe du changement aux années considérées est identifié par un triangle plein orienté vers le haut (consensus sur l'augmentation) ou vers le bas (consensus sur la baisse) ; l'absence de consensus est signalée par « o ». La représentation des résultats (identifiés sur la gauche) par bande de couleur (« stripe ») permet de visualiser de manière qualitative l'évolution de la variable selon les narratifs. Une bande en vert indique une anomalie positive (plus d'eau que la moyenne) et une bande en marron une anomalie négative (moins d'eau que la moyenne). L'intensité de la couleur est corrélée positivement à l'intensité de l'anomalie.

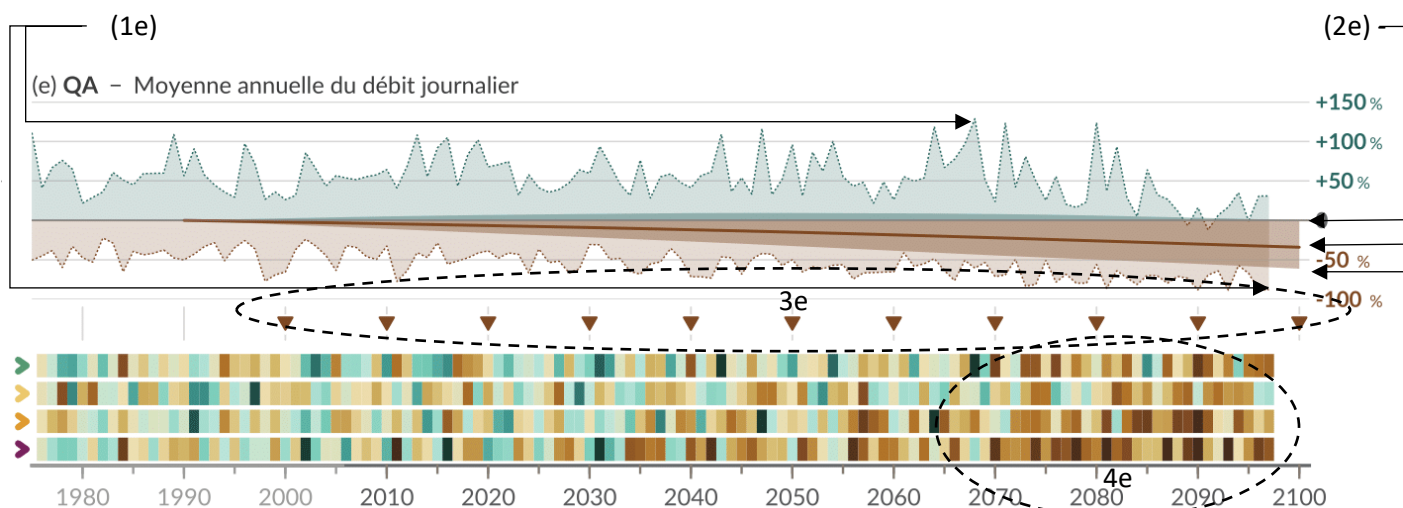
Le graphique *d* présente l'évolution du débit journalier maximal annuel QJXA, représentatif de l'évolution des crues. **Pour ce point de simulation**,

- les variations interannuelles sont fortes sur cette variable (jusqu'à +500 %, 1d),
- le cône associé à la réponse climatique contient l'axe des abscisses et la courbe (2d) s'écartent peu de cet axe, la partie inférieure du bloc ne fait apparaître que de « o » : il n'y a pas consensus sur le signe du changement (3d),
- les bandes de couleur montrent une alternance de bandes vertes et marron au fil des années ; il n'apparaît pas de tendance forte ; même si sur les narratifs orange et violet, les nuances de marron sont davantage présentes en fin de siècle (4d),
- les différentes représentations s'accordent sur une évolution incertaine du QJXA.



Le graphique e présente l'évolution du débit moyen annuel QA, exprimé en changement relatif, représentatif des moyennes eaux. **Pour ce point de simulation,**

- les variations interannuelles oscillent entre -100 % et +130 % (1e),
- l'ensemble courbe et cône, descriptif de la réponse climatique, se positionne sous l'axe des abscisses (2e) : une tendance à la baisse s'affirme et est même confirmée par la présence de triangles pointant vers le bas positionnés dans la partie inférieure du bloc (consensus sur le signe du changement à partir de l'année 2000, 3e),
- les bandes de couleur montrent une alternance de bandes vertes et marron en début de siècle mais les nuances de marron prennent le dessus en fin de siècle sur trois des quatre narratifs (le narratif jaune fait exception, 4e), : les anomalies négatives se concentrent en fin de siècle,
- les différentes représentations s'accordent sur une évolution à la baisse du QA.

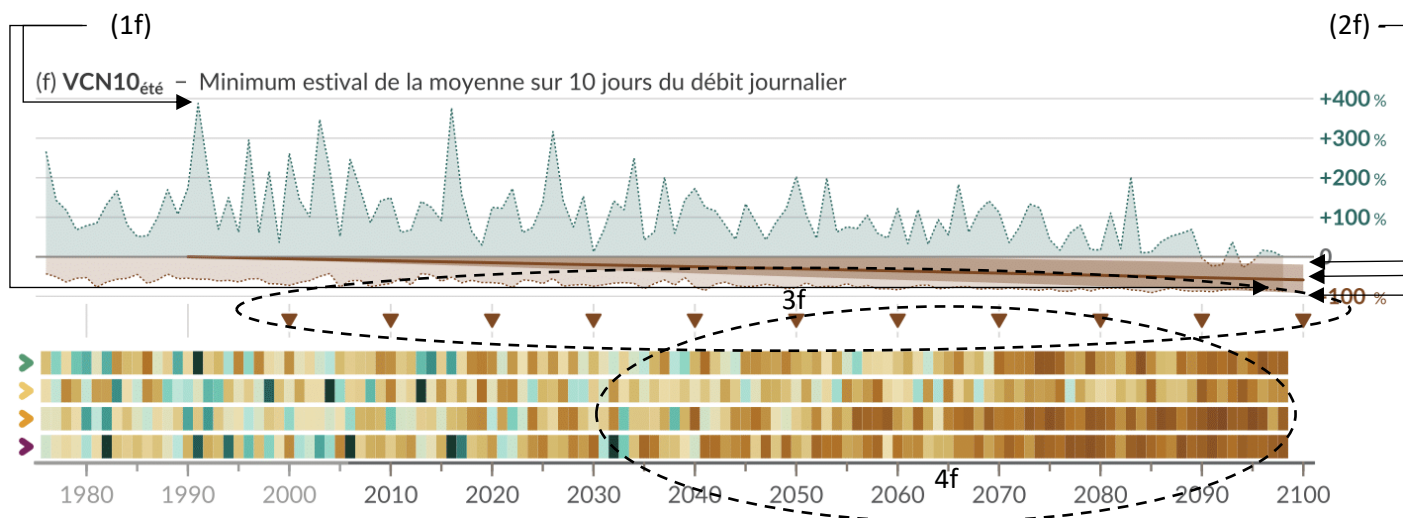


**Pour plus de détail, les ordres de grandeur des changements du débit annuel QA sont présentés en page 2 dans les graphiques g de la seconde ligne.**

Le graphique f présente l'évolution du minimum annuel de la moyenne sur 10 jours du débit journalier VCN10<sub>été</sub>, exprimé en changement relatif, représentatif des basses eaux. **Pour ce point de simulation,**

- les variations interannuelles oscillent entre -100 % et +400 % (1f),

- l'ensemble courbe et cône, descriptif de la réponse climatique, se positionne sous l'axe des abscisses (2f) : une tendance à la baisse s'affirme et est même confirmée par la présence de triangles pointant vers le bas positionnés dans la partie inférieure du bloc (consensus sur le signe du changement à partir de l'année 2000, 3f),
- les bandes de couleur montrent une alternance de bandes vertes et marron en début de siècle mais les nuances de marron prennent le dessus dès le milieu de siècle sur les quatre narratifs (4f),
- les différentes représentations s'accordent sur une évolution à la baisse du VCN10<sub>été</sub>.



Pour plus de détail, les ordres de grandeur des changements du débit annuel QA sont présentés en page 2 dans les graphiques *g* de la troisième ligne.

• Page 2 :

Les graphiques *g* décrivent les distributions des changements relatifs pour 27 variables hydrologiques réparties en trois catégories (hautes, moyennes et basses eaux). Le code couleur pour les débits (vert/marron) s'interprète à l'identique de la première page (respectivement plus/moins d'eau). Pour les variables descriptives de la dynamique, la couleur rose est interprétable en phénomène plus précoce ou d'une plus longue durée et la couleur orange en phénomène plus tardif ou d'une durée plus courte. Les couleurs des narratifs sont celles du contenu recto de la fiche.

Pour ce point de simulation,

- pour les variables de hautes eaux (1<sup>ère</sup> ligne), des anomalies positives et négatives, sans qu'une catégorie domine largement, sont identifiables sur les graphiques associés aux variables les plus extrêmes, i.e. les maxima annuels QJXA, VCX3 et VCX10. En revanche pour les variables extraites des courbes de débits classés Q05 et Q10 (respectivement valeur dépassée 5 % du temps, soit environ 18 jours, et valeur dépassée 10 % du temps, soit environ 36 jours) moins extrêmes, une grande majorité de projections hydrologiques suggère une diminution en fin de siècle,
- pour les variables de moyennes eaux (2<sup>nde</sup> ligne), des anomalies positives et négatives, sans qu'une catégorie domine largement, sont identifiables sur les graphiques associés aux variables descriptives de l'hiver (QM<sub>janv</sub> et QS<sub>DJF</sub>) aux deux horizons. Les autres débits caractéristiques sont projetés à la baisse en fin de siècle. Pour certains de ces débits des débits (annuels, de printemps et d'automne), des projections hydrologiques suggère un maintien à leur niveau actuel en milieu de siècle,
- pour les variables de basses eaux (3<sup>ème</sup> ligne), aux deux horizons, les projections s'accordent sur une baisse de l'ensemble des débits d'étiage estivaux et un allongement de la durée des étiages estivaux (une majorité de changements de dtBE<sub>été</sub> positifs) et plus précoces (une majorité de changements de débutBE<sub>été</sub> négatifs).



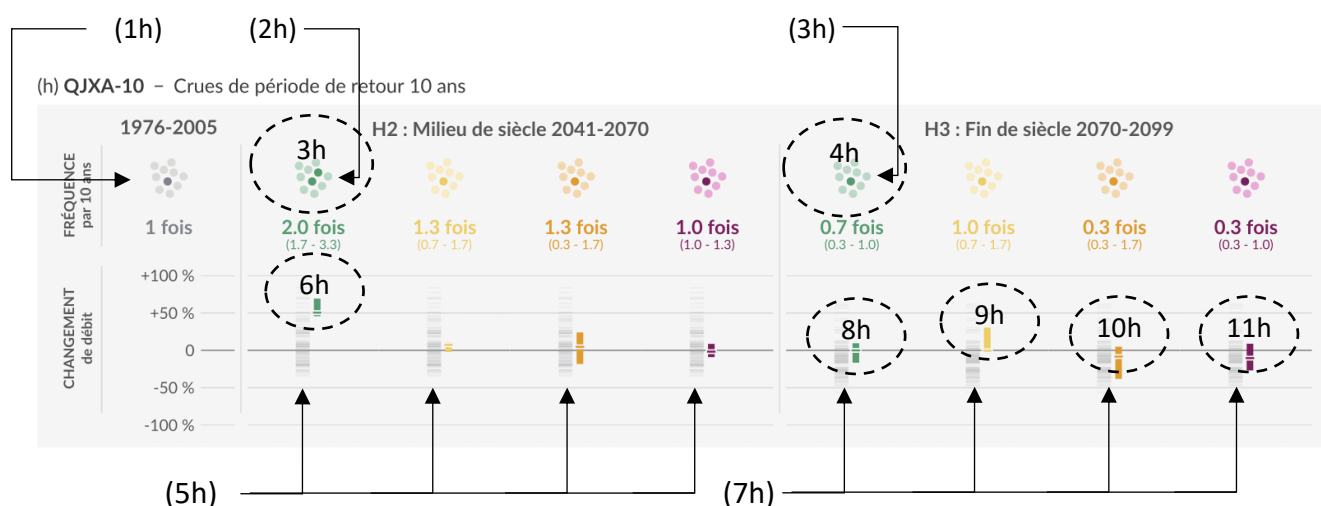
Les segments en trait plus épais et colorés en jaune, orange, vert et violet associés aux narratifs permettent de mesurer la sensibilité hydrologique à quatre trajectoires climatiques contrastées en fin de siècle. On peut constater sur cet exemple que les narratifs violet et orange sont les extrêmes bas avec des changements notables sur quasiment toutes les variables d'étiage et dans une moindre mesure sur les variables de moyennes eaux : ils sont des bons candidats pour examiner des adaptations à des contextes extrêmes. Le narratif jaune est quant à lui optimiste avec des réductions plus modérées des variables d'étiages, sans être le plus optimiste. Il ne faut pas attendre un classement spécifique sur les variables de hautes eaux car les narratifs n'ont pas été choisis sur la base des extrêmes de précipitations, ni sur la base de l'humidité des sols.

Les graphiques *h* et *i* décrivent l'évolution du risque de crue caractérisé par le débit journalier maximal annuel de période de retour 10 ans QJXA10 (*h*) et l'évolution du risque de sécheresse hydrologique caractérisé par le débit moyen sur 10 jours minimal annuel de période de retour 5 ans VCN10-5 (*i*) selon les quatre narratifs, en milieu et fin de siècle en termes de fréquence et d'intensité.

Le premier ensemble *h* permet de quantifier la fréquence d'un événement de crue qualifié aujourd'hui de décennal et le changement relatif du QJXA10 dans les réponses hydrologiques aux quatre narratifs (à gauche pour le milieu de siècle et à droite pour la fin de siècle).

#### Pour ce point de simulation,

- la valeur de référence pour apprécier la dérive ou non en fréquence du QJXA10 est calculée sur la période 1976-2005 (QJXA10<sub>1976-2005</sub>). Elle apparaît, par définition, 1 fois tous les dix ans (un point est coloré en gris prononcé sur les dix présents dans le graphique de gauche, 1h). Pour le narratif vert, cette valeur de QJXA10<sub>1976-2005</sub> est autour de deux fois plus fréquente en milieu de siècle, d'où deux points colorés en vert prononcé sur les dix (2h). Cette fréquence varie entre 1.7 et 3.3 selon les modèles hydrologiques (3h). En fin de siècle pour ce même narratif, cette valeur de QJXA10<sub>1976-2005</sub> est moins fréquente, d'où un point coloré en vert prononcé sur les 10 (à minima un point est coloré car la fréquence même diminuée n'est pas nulle, 3h). Cette fréquence varie entre 0.3 et 1.0 selon les modèles hydrologiques (4h),
- la distribution des changements relatifs tous modèles hydrologiques et toutes projections climatiques confondus pour chaque horizon représentée en gris et répétée à l'identique quatre fois permet de mettre en perspective les distributions des changements pour les quatre narratifs (5h pour le milieu de siècle). Le narratif vert conduit à des augmentations du QJXA10 quel que soit le modèle hydrologique (autour de +50 %, 6h) et semble un des plus extrêmes en milieu de siècle. D'autres projections suggèrent une baisse pour cet horizon. La distribution des changements tous modèles et toutes projections climatiques confondus (qui contient la valeur nulle, 7h) en fin de siècle suggère une incertitude sur le signe du changement du QJXA10 et les narratifs se distinguent peu sur le changement relatif de la valeur du QJXA10.



Le second ensemble *i* permet de quantifier la fréquence d'un étiage qualifié aujourd'hui de quinquennal et le changement relatif du VCN10-5 dans les réponses hydrologiques aux quatre narratifs (à gauche pour le milieu de siècle et à droite pour la fin de siècle).

**Pour ce point de simulation,**

- la valeur de référence pour apprécier la dérive ou non en fréquence du VCN10-5 est calculée sur la période 1976-2005 ( $VCN10-5_{1976-2005}$ ). Elle apparaît, par définition, 1 fois tous les cinq ans (un point est coloré en gris prononcé sur les cinq présents sur le graphique de gauche). Pour le narratif vert, cette valeur de  $VCN10-5_{1976-2005}$  est autour de 1.7 fois plus fréquente en milieu de siècle, d'où deux points colorés en vert prononcé sur les cinq. Cette fréquence varie entre 0.7 et 2.5 selon les modèles hydrologiques. En fin de siècle pour ce même narratif, cette valeur de  $QJXA10_{1976-2005}$  est quatre fois plus fréquente, d'où quatre points colorés en vert prononcé sur les 5. Cette fréquence varie entre 2.7 et 4.5 selon les modèles hydrologiques,
- la distribution des changements relatifs tous modèles hydrologiques et toutes projections climatiques confondus pour chaque horizon représentée en gris et répétée à l'identique quatre fois permet de mettre en perspective les distributions des changements pour les quatre narratifs. Le narratif vert conduit à des augmentations mais également à des baisses du VCN10-5 (la distribution contient la valeur nulle) en milieu de siècle. La distribution des changements tous modèles et toutes projections climatiques confondus (qui contient la valeur nulle) suggère une baisse du VCN10-5. C'est le cas pour les projections hydrologiques exploitant les narratifs. Pour cette variable, les intensités des changements diffèrent selon le narratif (le jaune étant le moins pessimiste). Ce résultat est conforme aux illustrations de la 3<sup>ème</sup> ligne de l'ensemble des graphiques *g*.

### 3 Recommandations et avertissements

Comme rappelé dans l'avertissement en bas des deux pages, ces résultats comportent des incertitudes. Ils sont donnés à titre indicatif. Il ne s'agit pas de prévisions mais d'indications d'évolutions possibles. Ces fiches sont volontairement synthétiques. Elles sont disponibles :

- sur le dataverse d'Explore2 et téléchargeables par grand bassin versant : [https://entrepot.recherche.data.gouv.fr/dataverse/explore2?q=&fq2=kindOfDataOther ss%3A%22 Fiche+r%C3%A9sultat%22&fq0=subtreePaths%3A%22%2F123960%2F202158%22&fq1=dvObjectTy pe%3A%28dataverses+OR+datasets%29&types=dataverses%3Adatasets&sort=dateSort&order](https://entrepot.recherche.data.gouv.fr/dataverse/explore2?q=&fq2=kindOfDataOther%3A%22Fiche+r%C3%A9sultat%22&fq0=subtreePaths%3A%22%2F123960%2F202158%22&fq1=dvObjectType%3A%28dataverses+OR+datasets%29&types=dataverses%3Adatasets&sort=dateSort&order)
- sur le portail « DRIAS les futurs de l'eau » et téléchargeables point de simulation par point de simulation : [drias-eau.fr/accompagnement/carteFicheResultatsExplore2/](https://drias-eau.fr/accompagnement/carteFicheResultatsExplore2/).

Les données qui ont conduit à l'élaboration des fiches sont disponibles dans l'espace « Données et produits » du portail « DRIAS les futurs de l'eau » (<https://www.drias-eau.fr/commande>).

**Ces fiches ne se substituent pas au calcul des indicateurs à partir des projections brutes pour les besoins d'une étude sur un territoire. Ainsi, il ne faut pas tenter d'extraire les valeurs numériques de ces fiches.**



## 4 Références

- EVIN, G. (2024). Accompagnement de lecture des fiches incertitudes pour Explore2. Rapp. tech. INRAE, p. 8. [\(hal-04614773\)](#)
- EVIN, G. *et al.* (2024). Ensemble de projections Explore2 : Changements moyens et incertitudes associées. Rapp. tech. INRAE, CNRS, IGE, p. 89. [\(hal-04609542v1\)](#)
- MARSON, P. *et al.* (2024). Rapport de synthèse sur les projections climatiques régionalisées. Rapp. tech. Météo-France, INRAE, IPSL, p. 134. [\(hal-04443633\)](#)
- SAUQUET, E., CHATEL, T., MARTIN, E. (2019). Vers l'élaboration de nouvelles projections hydro-climatiques pour les stratégies d'adaptation au niveau des bassins versants français. Rapp. tech. Irstea, p. 63. [\(hal-02930768\)](#)

