

Confrontation entre la ressource en eau et la demande à l'horizon 2050

Hélène Arambourou, Simon Ferrière et Arthur Gaillot



**HAUT-COMMISSARIAT
À LA STRATÉGIE
ET AU PLAN**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Les documents de travail du Haut-commissariat à la Stratégie et au Plan présentent les travaux de recherche réalisés par ses experts, seuls ou en collaboration avec des experts extérieurs. L'objet de leur diffusion est de susciter le débat et d'appeler commentaires et critiques. Les documents de cette série sont publiés sous la responsabilité éditoriale du Haut-commissaire à la Stratégie et au Plan. Les opinions et recommandations qui y figurent engagent leurs auteurs et n'ont pas vocation à refléter la position du Gouvernement.



HAUT-COMMISSARIAT À LA STRATÉGIE ET AU PLAN

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Table des matières

Résumé	3
Introduction	4
1. Méthode	5
1.1. Échelles spatiales et temporelles.....	5
1.2. Projections climatiques.....	6
1.3. Effet du changement climatique sur la satisfaction des besoins environnementaux.....	9
1.4. Évaluation des tensions liées aux prélèvements et aux consommations humaines.....	11
1.5. Synthèse de la démarche adoptée.....	14
1.6. Choix des modèles hydrologiques.....	15
1.7. Estimation des volumes mensuels potentiellement disponibles dans les eaux de surface sans intervention humaine.....	16
1.8. Reconstruction de l'anthropisation des débits pour déterminer les volumes mensuels potentiellement disponibles dans les eaux de surface.....	18
1.9. Évaluation de la demande à l'horizon 2050.....	20
2. Résultats	21
2.1. À l'horizon 2050, les besoins environnementaux seront difficilement satisfaits du fait du changement climatique.....	21
2.2. Indice de tension hydrique sur les prélèvements.....	26
2.3. Indice de tension hydrique sur les consommations.....	30
2.4. Indice croisant l'évolution des prélèvements et de la ressource.....	32
2.5. Indice croisant l'évolution des consommations et de la ressource.....	34
Conclusion	37

ANNEXES

Annexe 1 – Part des prélèvements en eaux de surface et en eaux souterraines	39
Annexe 2 – Régimes hydrologiques	41
Annexe 3 – Ouvrages de transfert et de régulation	45
Annexe 4 – Synthèse bibliographique sur les indices de tension hydrique	49
Annexe 5 – Cartes des arrêtés sécheresse en 2020 et des zones en déficit.....	51
Annexe 6 – Bassins versants amont	53
Annexe 7 – Description des scénarios d'usage	55
Annexe 8 – Besoins environnementaux : résultats de la projection « jaune »	57
Annexe 9 – Indice de tension sur les prélèvements : résultats de la projection « jaune »	61
Annexe 10 – Indice de tension sur les prélèvements : modèle hydrologique SMASH, projection « violet »	65
Annexe 11 – Gravité des tensions par mois et par bassin versant pour les scénarios tendanciel et de rupture : résultats de la projection « violet »	67
Annexe 12 – Indice de tension sur les consommations : résultats de la projection « jaune »	71
Annexe 13 – Indice d'évolution croisée ressource-demande : résultats de la projection « jaune »	73
Bibliographie	77

Résumé

Comme l'a montré une précédente analyse¹, les prélèvements, et plus encore les consommations (c'est-à-dire la part évapotranspirée du prélèvement), devraient fortement croître entre 2020 et 2050, sauf transformation radicale des usages. L'augmentation des consommations est essentiellement expliquée par une croissance importante de la demande théorique en eau d'irrigation ; elle devrait donc se concentrer en période printanière et estivale.

Le présent travail confronte, à l'horizon 2050, la demande théorique aux ressources projetées. Il a pour objectif d'identifier, à l'échelle de la France découpée en quarante bassins versants, les périodes de l'année au cours desquelles des tensions sur la ressource en eau de surface pourraient apparaître, c'est-à-dire lorsque les besoins environnementaux ou la demande humaine en eau ne seraient pas satisfaits.

Concernant les besoins environnementaux, du fait du changement climatique, les écosystèmes pourraient subir à l'horizon 2050 des situations de stress chronique plusieurs années consécutives dans tout le territoire hexagonal et plus particulièrement dans le sud-ouest et le sud-est de la France. Les prélèvements anthropiques accroîtront cette pression sur les milieux ; un effort de sobriété s'impose.

Évaluer les tensions auxquelles seront confrontés les usages humains nécessite d'examiner des indicateurs liés aux prélèvements comme aux consommations.

Sans inflexion des tendances actuelles, 88 % du territoire hexagonal pourraient être en situation de tension modérée ou sévère en été en matière de prélèvements. Ceci pourrait se traduire par des restrictions d'usage de l'eau pour les activités agricoles, industrielles ou encore pour les particuliers, couvrant la quasi-totalité du territoire, à l'instar de la situation que nous avons connue en 2022. La tension relative aux consommations pourrait être particulièrement importante dans le sud-ouest et le sud-est de la France, en raison de la part importante de l'eau consommée, du fait notamment de l'irrigation des cultures.

Finalement, la situation hydrique devrait être amenée à se dégrader entre les horizons 2020 et 2050, non seulement en été, mais également en hiver, dans la très grande majorité de la France hexagonale. Cette dégradation est le résultat de l'effet combiné d'une diminution de la ressource en eau et d'une augmentation de la demande en prélèvements et surtout en consommations.

Ces constats appellent à planifier dès aujourd'hui les transformations des usages qui permettront de limiter les pressions sur les écosystèmes et les conflits entre les différents usages de l'eau.

¹ Arambourou H. et Ferrière H. (2025), *La demande en eau. Prospective territorialisée à l'horizon 2050*, France Stratégie, rapport, janvier.

Confrontation entre la ressource en eau et la demande à l'horizon 2050

Hélène Arambourou, Simon Ferrière et Arthur Gaillot²

Introduction

Les conflits d'usage autour de l'eau sont nombreux, comme en témoignent les mobilisations contre les retenues de substitution agricoles, le projet d'extension d'une usine de microprocesseurs dans la banlieue de Grenoble ou bien encore les prélèvements en nappe pour produire de l'eau en bouteille dans les Vosges.

Après un premier volet portant sur les enjeux et usages de l'eau en 2020³, un deuxième volet prospectif sur la demande théorique liée aux activités humaines a permis de mettre en évidence une croissance potentiellement importante des prélèvements et surtout des consommations (c'est-à-dire de la part des prélèvements non directement restituée au milieu) entre 2020 et 2050, dans la majorité des bassins versants. Ceci est notamment lié à la croissance de la demande en eau d'irrigation⁴. Compte tenu des caractéristiques de l'irrigation agricole, l'augmentation des consommations se concentre en période estivale.

La seule connaissance de la demande en eau et de ses potentielles évolutions ne suffit pas pour identifier les territoires où des tensions pourraient s'intensifier ou apparaître. Il se révèle alors indispensable de confronter cette demande théorique à la ressource qui pourrait être disponible dans le futur. Ceci est notamment rendu possible grâce aux résultats de l'étude Explore2 de l'Inrae et de l'Office international de l'eau (OiEau)⁵.

² Haut-commissariat à la Stratégie et au Plan.

³ Arambourou H., Ferrière S. et Oliu-Barton M. (2024), « [Prélèvements et consommations en eau : quels enjeux et usages ?](#) », France Stratégie, *La Note d'analyse*, n° 136, avril.

⁴ Arambourou H. et Ferrière S. (2025), [La demande en eau. Prospective territorialisée à l'horizon 2050](#), France Stratégie, rapport, janvier.

⁵ Sauquet É., Strohmenger L., Thirel G. et Le Lay M. (2025), [Quelles évolutions des régimes hydrologiques en France hexagonale ?](#), rapport technique Explore2, janvier.

Dans ce troisième volet⁶, l'objectif est de fournir des éléments, à l'échelle de la France hexagonale (et de la Corse) découpée en quarante bassins versants, sur les périodes de l'année où des tensions sur la ressource en eau de surface pourraient apparaître, c'est-à-dire lorsque les besoins environnementaux ou bien la demande anthropique en eau ne sont pas satisfaits. Cette évaluation a été réalisée pour deux années contrastées (simulées dans le projet Explore2), sélectionnées à l'horizon 2050 : une année marquée par un printemps-été sec et une autre marquée par un printemps-été humide. Les tensions sur la ressource en eau souterraine n'ont pas été considérées en raison de l'insuffisance de connaissances relatives aux dynamiques de cette ressource. Ce travail constitue une prospective qui donne à voir ce que pourraient être des futurs possibles, en croisant une demande humaine associée à des choix structurants de société, avec des années météorologiques singulières qui pourraient advenir en 2050.

Ce travail n'entend pas se substituer aux études détaillées conduites à l'échelle des schémas d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE), des projets de territoire pour la gestion de l'eau (PTGE) et des études d'évaluation des volumes prélevables. En effet, afin de couvrir l'intégralité du territoire hexagonal, notre échelle de travail est volontairement large ; les bassins versants mesurent en moyenne 13 600 km², contre 1 963 km² en moyenne pour un SAGE. De plus, notre analyse porte uniquement sur le cours d'eau principal de chaque bassin versant. Aussi, notre approche ne saurait permettre d'identifier des tensions qui peuvent survenir en tête de bassin ou bien encore sur les affluents.

1. Méthode

L'objectif de la présente étude est de croiser une demande future théorique⁷ avec la ressource potentiellement disponible à l'horizon 2050. Seules les eaux de surface ont été considérées. À l'échelle nationale, en 2020, les prélèvements dans les eaux de surface représentent 81 % des prélèvements totaux. Toutefois, dans certains bassins versants, ces prélèvements peuvent être inférieurs à 50 % (voir [Annexe 1](#)).

1.1. Échelles spatiales et temporelles

La confrontation de la demande théorique en eau à la ressource a été réalisée aux mêmes échelles spatiales et temporelles que la projection de la demande⁸, c'est-à-dire à l'échelle de la France hexagonale (et Corse) découpée en quarante bassins versants et à l'échelle mensuelle⁹. Si cette échelle de temps est pertinente pour identifier des situations globales de

⁶ Voir également Arambourou H., Ferrière S. et Gaillot A. (2025), « [L'eau en 2050 : graves tensions sur les écosystèmes et les usages](#) », Haut-commissariat à la Stratégie et au Plan, *La Note d'analyse*, n° 156, juin.

⁷ Nous avons évalué une demande théorique, c'est-à-dire ne prenant ni en compte les limites physiques (eau disponible) ni les contraintes réglementaires (arrêtés sécheresse, autorisations de prélèvement).

⁸ Arambourou H. et Ferrière S. (2025), [La demande en eau. Prospective territorialisée à l'horizon 2050](#), *op. cit.*

⁹ Les données des départements et régions d'outre-mer (DROM) étant lacunaires et les dynamiques à l'œuvre étant différentes de celles observées en France hexagonale et Corse, les DROM n'ont pas été traités dans ce travail.

tension hydrique¹⁰, elle ne permet pas en revanche de détecter des situations de tension survenant pendant quelques jours¹¹. L'horizon temporel retenu est 2050.

1.2. Projections climatiques

Dans ce travail, nous donnons à voir ce que pourrait être la situation hydrique à l'horizon 2050 à travers l'étude de deux années singulières caractérisées par des conditions météorologiques sèches ou humides au printemps-été. Nous n'avons pas étudié les effets d'une succession d'années sèches, qui pourrait être particulièrement délétère, tant pour le fonctionnement des écosystèmes que pour les activités humaines.

Afin d'identifier les situations *a priori* les plus défavorables, nous avons considéré le scénario d'émissions de gaz à effet de serre du Giec RCP 8.5¹², qui prévoit un réchauffement moyen global en France hexagonale de + 4 °C (de + 3,1 °C à + 5,2 °C) en fin de siècle par rapport à la période de référence 1976-2005. Sous ce scénario d'émissions, deux projections climatiques contrastées décrites dans le rapport climat du projet Explore2¹³ ont été étudiées :

- la projection nommée « jaune », caractérisée par des changements futurs relativement peu marqués à l'horizon 2100 (+ 3,7 °C en moyenne en fin de siècle par rapport à la période 1976-2005) ;
- la projection nommée « violet », caractérisée en fin de siècle par un fort réchauffement (+ 5 °C en moyenne en fin de siècle par rapport à la période 1976-2005) et de forts contrastes saisonniers et interannuels en précipitations.

Il est à noter que la projection « orange » identifiée dans le projet Explore2 est encore plus défavorable que la projection « violet » puisqu'elle simule non seulement des étés secs mais également des hivers secs.

Pour chacune de ces projections, pour l'horizon 2050, vingt années autour de l'année cible (2041-2060) ont été extraites sur la plateforme DRIAS Climat¹⁴ sur l'intégralité de la France hexagonale à la maille SAFRAN¹⁵ (8 km sur 8 km). Puis nous avons sélectionné une année marquée par un printemps-été sec sur l'intégralité du territoire national et une année marquée par un printemps-été humide. Pour ce faire, nous avons évalué pour les vingt

¹⁰ Brauman K. A., Richter B. D., Postel S. *et al.* (2016), « [Water depletion: An improved metric for incorporating seasonal and dry-year water scarcity into water risk assessments](#) », *Elementa: Science of the Anthropocene*, vol. 4, janvier.

¹¹ Messenger M. L., Dickens C. W. S. *et al.* (2024), « [Limited comparability of global and local estimates of environmental flow requirements to sustain river ecosystems](#) », *Environmental Research Letters*, vol. 19(2).

¹² Les scénarios RCP sont quatre scénarios de forçage radiatif établis par le Giec dans le cadre de son cinquième rapport d'évaluation. Ils sont nommés d'après le forçage radiatif obtenu en 2100. Ainsi, le scénario RCP 8.5 correspond à un forçage de +8,5 W/m², le forçage (et donc le réchauffement) le plus élevé des quatre scénarios (trajectoire croissante tendancielle des émissions des gaz à effet de serre). Voir Giec (2014), [Climate Change 2014. Synthesis Report](#), novembre.

¹³ Marson P., Corre L., Soubeyroux J.-M. *et al.* (2024), [Explore2 – Rapport de synthèse sur les projections climatiques régionalisées](#), Météo France, Inrae, Institut Pierre-Simon Laplace.

¹⁴ Voir DRIAS [Les futurs du climat](#).

¹⁵ https://drias-prod.meteo.fr/okapi/_composantsHTML/simulations/refGeoSimulations/aide_safran.html

années extraites l'écart par rapport à la pluviométrie médiane entre les mois de mai et de septembre (période qui correspond à la période d'irrigation), et ce sur les six grands bassins hydrographiques. Nous avons sélectionné une unique année soit marquée par un printemps-été sec, soit marquée par un printemps-été humide, c'est-à-dire avec un déficit ou un excès de précipitations par rapport à l'année médiane sur les six bassins hydrographiques (Tableau 1). Ces années ne correspondent pas à la situation la plus défavorable observée sur vingt ans sur chaque bassin hydrographique, mais à une année défavorable sur l'ensemble du territoire hexagonal. Ces années sont appelées « printemps-été sec » ou « printemps-été humide » dans la suite du document.

Pour l'année marquée par un printemps-été sec avec la projection « violet », le déficit en précipitations est particulièrement important dans le territoire Rhin-Meuse (-86 % par rapport à la médiane) ; il est plus faible dans le territoire Loire-Bretagne (-58 %). Avec la projection « jaune » les déficits sont plus faibles ; ils ne dépassent ainsi jamais 36 % pour une année marquée par un printemps-été sec.

Tableau 1 – Écart de précipitations (en %) entre l'année médiane de la période 2041-2060 et les années avec un printemps-été sec ou humide sélectionnées sur les six bassins hydrographiques, entre mai et septembre

Projection	Printemps-été	Artois-Picardie	Rhin-Meuse	Seine-Normandie	Loire-Bretagne	Rhône-Méditerranée-Corse	Adour-Garonne
Jaune 2050	sec	-20 %	-24 %	-31 %	-36 %	-22 %	-32 %
Jaune 2050	humide	8 %	55 %	41 %	48 %	49 %	39 %
Violet 2050	sec	-67 %	-86 %	-70 %	-58 %	-78 %	-62 %
Violet 2050	humide	97 %	78 %	79 %	44 %	21 %	24 %

Source : calculs HCSP, d'après les données *DRIAS Climat*

Comme l'objectif est d'anticiper les effets observés pour des situations particulièrement défavorables, seuls les résultats obtenus avec la projection climatique « violet » sont présentés dans le corps du présent document. Ceux obtenus avec la projection « jaune » sont disponibles dans les Annexes 8, 9, 12 et 13. Les caractéristiques des années finalement sélectionnées sont données en Tableau 2.

Tableau 2 — Caractéristiques des années sélectionnées et comparaison avec deux années sèches au printemps-été (2020 et 2022)

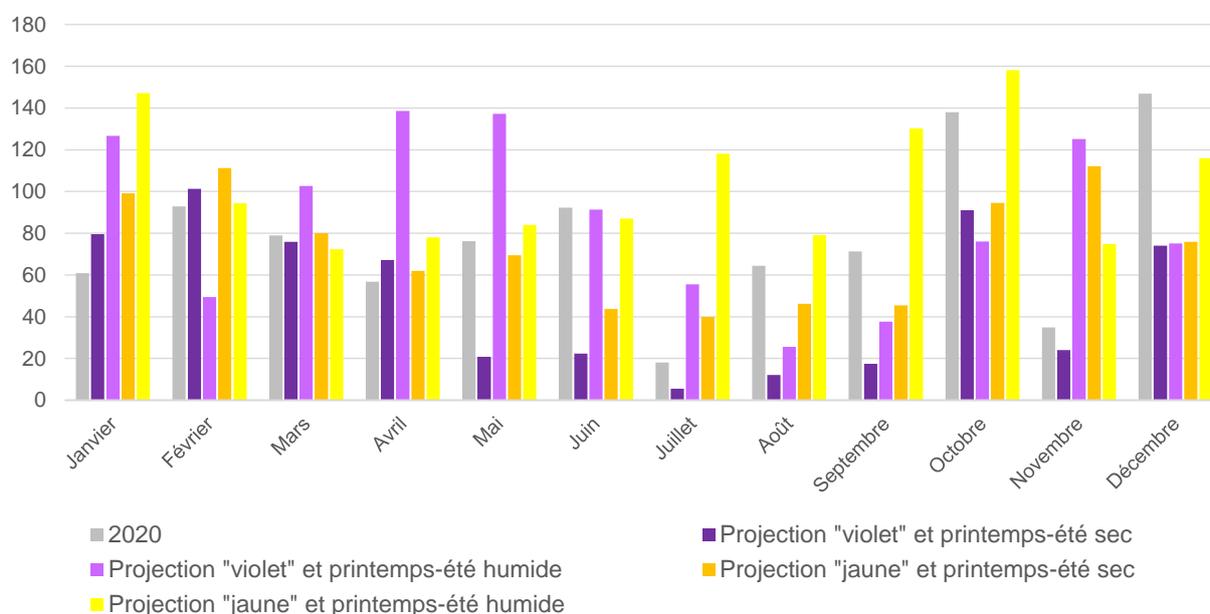
Année ou projection	Printemps-été	Température annuelle (en °C) médiane et [min ; max]	Cumul annuel des précipitations (en mm)
2020		11,6 [0,9 ; 25,9]	932
2022		12,2 [-2,3 ; 26,9]	742
Jaune 2050	sec	13,6 [0,7 ; 29,3]	880
Jaune 2050	humide	11,8 [-1,7 ; 23,1]	1 239
Violet 2050	sec	13,5 [0,1 ; 31,0]	591
Violet 2050	humide	12,0 [-0,4 ; 27,8]	1 100

Note : dans DRIAS Climat, les moyennes journalières sont fournies sur l'ensemble des 8 600 points de la grille SAFRAN de France métropolitaine. Nous avons calculé la moyenne journalière à l'échelle de la France métropolitaine, puis nous avons extrait sur l'année les valeurs minimales, maximales et médianes.

Source : calculs HCSP, d'après les données *DRIAS Climat*

Avec la projection « violet » et pour l'année marquée par un printemps-été sec, nous observons de très faibles précipitations non seulement en été mais également au mois de novembre (Graphique 1). Pour l'année marquée par un printemps-été humide, on observe de très fortes précipitations entre les mois de mars et de juin.

Graphique 1 — Précipitations mensuelles (en mm) des années sélectionnées à l'horizon 2050 et comparaison avec les précipitations de l'année 2020



Lecture : au mois d'août, les précipitations obtenues à l'horizon 2050 pour un printemps-été sec (projection climatique « violet ») s'élèvent en France hexagonale à 12 mm.

Source : calculs HCSP, d'après les données *DRIAS Climat*

1.3. Effet du changement climatique sur la satisfaction des besoins environnementaux

Pour estimer les besoins environnementaux (Encadré 1), nous avons utilisé la méthode des débits mensuels variables développée pour améliorer la protection des écosystèmes en période de basses eaux¹⁶.

Encadré 1 – Qu'est-ce que des besoins environnementaux ?

Les besoins environnementaux sont définis dans la Déclaration de Brisbane 2017 comme « la quantité et la périodicité des débits et des niveaux d'eau douce nécessaires pour préserver les écosystèmes aquatiques qui, à leur tour, soutiennent les cultures humaines, les économies, les moyens de subsistance durables et le bien-être ». Il se révèle essentiel de protéger et restaurer les débits environnementaux et les écosystèmes aquatiques associés en raison de leur richesse biologique, de leur valeur intrinsèque et des services écosystémiques qu'ils rendent¹⁷.

Il existe plusieurs méthodes pour estimer les besoins environnementaux. En France, une méthode combinant approche hydrologique (quantification des altérations du régime hydrologique), approche hydraulique (traduction des modifications hydrologiques en modifications d'habitats des organismes aquatiques) et expertise locale a été proposée¹⁸. Cette méthode nécessite une analyse fine du contexte biologique et environnementale des cours d'eau considérés. Elle n'a donc pas pu être appliquée dans le présent travail.

Les besoins environnementaux sont parfois approchés par les débits d'objectif d'étiage calculés mensuellement¹⁹. Les débits d'objectif d'étiage sont les débits pour lesquels sont simultanément satisfaits le fonctionnement des milieux aquatiques et, en moyenne huit années sur dix, l'ensemble des usages humains. Ces débits ne constituent pas nécessairement des débits garantissant la préservation des écosystèmes. En effet, comme ces débits sont mensuels, même lorsqu'ils sont respectés, les écosystèmes peuvent être affectés par des variations de débit infra-mensuelles, par exemple, lors d'un assec de la rivière de quelques jours. Dans la présente étude, nous n'avons pas pu utiliser les débits d'objectif d'étiage car ces derniers ne sont déterminés en France que sur un nombre limité de bassins versants. De plus,

¹⁶ Pastor A. V., Ludwig F., Biemans H. *et al.* (2014), « [Accounting for environmental flow requirements in global water assessments](#) », *Hydrology and Earth System Science*, vol. 18(12), p. 5041-5059.

¹⁷ Arthington A. H., Bhaduri A., Bunn S. E. *et al.* (2018), « [The Brisbane Declaration and Global Action Agenda on Environmental Flows](#) », *Frontiers in Environmental Science*, vol. 6, juillet.

¹⁸ Lamouroux N., Augéard B., Baran P. *et al.* (2018), « [Débits écologiques : la place des modèles d'habitat hydraulique dans une démarche intégrée](#) », *Hydroécologie appliquée*, vol. 20, mai, p. 1-27.

¹⁹ Certains gestionnaires définissent également des débits minimums biologiques, qui garantissent le bon fonctionnement des écosystèmes. Il n'y a pas de définition réglementaire de ces débits.

leur construction résulte davantage de négociations territoriales que d'un processus normé²⁰. Par conséquent, leur comparaison se révèle ardue.

La méthode des débits mensuels variables retenue dans ce travail présente l'intérêt d'être simple à mettre en œuvre²¹. Avec cette méthode, les besoins environnementaux correspondent à un pourcentage du débit moyen mensuel naturalisé²² sur vingt ans. Ces pourcentages s'élèvent à²³ :

- 60 % pour les mois de bas débit ;
- 45 % pour les mois de débit intermédiaire ;
- 30 % pour les mois de haut débit.

Les mois de haut, intermédiaire et bas débits sont déterminés comme suit ([Annexe 2](#)) :

- lorsque le débit moyen mensuel est de 40 % inférieur ou égal au débit moyen annuel, il s'agit d'un mois de bas débit ;
- lorsque le débit est strictement supérieur à 40 % est inférieur ou égal à 80 % du débit moyen annuel, il s'agit d'un mois de débit intermédiaire ;
- lorsque le débit est strictement supérieur à 80 % du débit moyen annuel, il s'agit d'un mois de haut débit.

Cette méthode d'estimation globale des débits environnementaux permet d'obtenir un ordre de grandeur à l'échelle de bassins versants relativement vastes mais elle ne saurait se substituer à une détermination locale des débits environnementaux, reposant sur une expertise et une description fine du milieu et du contexte biologique. En ce sens, une étude a mis en évidence le fait que ce type de méthode ne permettait pas de déterminer de façon fiable des débits protecteurs pour les écosystèmes à l'échelle du site²⁴.

Afin d'évaluer l'effet du changement climatique sur les écosystèmes, indépendamment des prélèvements anthropiques, nous avons comparé les besoins environnementaux mensuels calculés sur notre période de référence, c'est-à-dire autour de 2020 (période 2011-2030) avec les volumes mensuels potentiellement disponibles en 2050, pour une année type sèche ou humide au cours du printemps-été. Il faut noter toutefois que les débits actuels, à partir desquels sont estimés ici les « besoins environnementaux », sont déjà affectés par le changement climatique. Un autre choix aurait pu être d'estimer les besoins environnementaux

²⁰ Fernandez S. et Debril T. (2016), « [Qualifier le manque d'eau et gouverner les conflits d'usage : le cas des débits d'objectif d'étiage \(DOE\) en Adour-Garonne](#) », *Développement durable et territoires*, vol. 7(3), décembre.

²¹ SDES (2023), [La France face aux neuf limites planétaires](#), coll. « Théma Analyse – Environnement », octobre.

²² Le débit naturalisé correspond au débit d'un cours d'eau non perturbé par les interventions humaines, c'est-à-dire sans la présence d'ouvrages tels que les barrages et sans les prélèvements associés aux activités humaines.

²³ Ces pourcentages sont définis dans Pastor A. V., Ludwig F., Biemans H. *et al.* (2014), « [Accounting for environmental flow requirements in global water assessments](#) », *op. cit.*

²⁴ Messenger M. L., Dickens C. W. S. *et al.* (2024), « [Limited comparability of global and local estimates of environmental flow requirements to sustain river ecosystems](#) », *op. cit.*

à partir de la période de référence 1976-2005 utilisée dans le cadre du projet Explore2 : il aurait donc conduit à faire apparaître une situation encore plus dégradée²⁵.

Afin d'évaluer les situations de stress sur les écosystèmes, le ratio suivant a été calculé pour les quarante bassins versants :

$$\frac{\text{Besoins environnementaux}_{2020}}{\text{Volumes potentiellement disponibles}_{\text{année type 2050}}}$$

Faute de données provenant de mesures directes à l'horizon 2020, les calculs des besoins environnementaux ont été réalisés à partir des débits simulés sur une période de vingt ans autour de 2020 (2011-2030) avec les modèles hydrologiques ORCHIDEE et SMASH et les projections climatiques « violet » et « jaune »²⁶ (pour plus de détails sur ces modèles, voir la section 1.6 *infra*). Les débits journaliers ont été convertis en volumes mensuels. Pour les volumes potentiellement disponibles pour une année type en 2050, nous avons également eu recours aux débits simulés du projet Explore2, mais nous avons ajouté les ouvrages de transfert et de régulation (voir section 1.8)²⁷, permettant notamment d'assurer un soutien d'étiage et de réduire les tensions en période estivale.

En revanche, notre objectif étant ici d'identifier l'effet du changement climatique sur les écosystèmes aquatiques, les prélèvements et les consommations pour satisfaire les différentes activités humaines (agriculture, industrie, résidentiel, production énergétique, etc.) n'ont pas été considérés. Les intégrer conduirait de fait à des volumes potentiellement disponibles moindres.

1.4. Évaluation des tensions liées aux prélèvements et aux consommations humaines

Dans la littérature, trois grandes familles d'indices d'estimation des tensions sur la ressource en eau ont été proposées (pour une synthèse de la littérature scientifique à ce sujet, voir [Annexe 4](#)).

La première consiste à calculer le ratio des volumes prélevés ou bien consommés²⁸ sur les volumes renouvelables auxquels l'on soustrait les besoins environnementaux (Tableau 3). Compte tenu du fait que pour une année à l'horizon 2050 caractérisée par un printemps-été sec, les besoins environnementaux sont systématiquement supérieurs aux volumes renouvelables²⁹, nous n'avons pas retenu ce type d'indices. La deuxième famille s'obtient en

²⁵ À titre d'exemple, dans le projet Explore2, avec la projection « violet », les bas débits (dixième centile du débit quotidien) diminuent dans 84 % des stations de mesure entre la période 1976-2005 et l'horizon 2021-2050. De plus, cette diminution est supérieure à 20 % dans 70 % des stations. Calculs Haut-commissariat à la Stratégie et au Plan, d'après DRIAS eau : <https://www.drias-eau.fr/>

²⁶ Portail DRIAS eau : <https://www.drias-eau.fr/>

²⁷ Nous avons considéré que les ouvrages de transfert et de régulation en 2050 étaient identiques à ceux en place en 2020. Leur gestion est toutefois différente pour s'adapter aux effets du changement climatique, notamment aux variations des régimes hydrologiques (voir [Annexe 3](#) à ce sujet).

²⁸ Le volume prélevé représente la quantité d'eau abstraite du milieu, tandis que le volume consommé représente la part du prélèvement évapotranspirée, c'est-à-dire non directement restituée au milieu.

²⁹ C'est-à-dire qui se renouvellent à travers le cycle de l'eau.

réalisant le rapport entre les volumes prélevés ou consommés et les volumes renouvelables. Dans la littérature, pour le calcul de ce ratio, les volumes prélevés sont davantage utilisés que les volumes consommés³⁰. Or, ces deux types de variables fournissent une information complémentaire : les prélèvements auront des effets sur la qualité de l'eau et sa disponibilité spatiotemporelle, tandis que les consommations constitueront une ressource en moins non seulement pour les écosystèmes, mais également pour les activités situées en aval. Enfin la troisième famille d'indices permet de comparer l'évolution de la ressource à celle de la demande (hors besoins environnementaux) et ainsi d'identifier les territoires où les tensions pourraient s'accroître.

Tableau 3 – Famille d'indices de tensions sur la ressource en eau identifiés dans la littérature scientifique

Famille d'indices de tensions sur la ressource en eau	Caractéristiques
Volumes prélevés ou consommés / (volumes renouvelables – besoins environnementaux)	Intègre les besoins environnementaux
Volumes prélevés ou consommés / volumes renouvelables	Des seuils de tension faible, modéré, sévère sont définis
(1 + évolution ressource) / (1 + évolution des prélèvements ou des consommations)	Permet de croiser l'évolution de la demande avec l'évolution des volumes potentiellement disponibles dans le milieu

Source : HCSP

Dans la présente étude, afin d'avoir une représentation la plus complète possible, nous avons retenu quatre indices mensuels de tensions sur la ressource en eau ainsi que les seuils associés suivants :

- $\frac{\text{Volumes prélevés 2050}}{\text{Volumes potentiellement disponibles 2050}}$, avec les seuils suivants³¹ :
 - inférieur ou égal à 20 % : pas de tensions,
 - entre 20 % et 40 % : tensions modérées,
 - supérieur à 40 % : tensions sévères,
- $\frac{\text{Volumes consommés 2050}}{\text{Volumes potentiellement disponibles 2050}}$, avec les seuils suivants³² :
 - Inférieur ou égal à 10 % : pas de tensions,

³⁰ Liu J., Yang H., Gosling S. N. *et al.* (2017), « [Water scarcity assessments in the past, present, and future](#) », *Earth's Future*, vol. 5, mars, p. 545-559.

³¹ Cet indice est notamment décrit dans Wada Y., van Beek L. P. H., Viviroli D. *et al.* (2011), « [Global monthly water stress: Water demand and severity of water stress](#) », *Water Resources Research*, vol. 47(7), juillet.

³² Cet indice est notamment décrit dans Hoekstra A. Y., Mekonnen M. M., Chapagain A. K. *et al.* (2012), « [Global monthly water scarcity: Blue water footprints versus blue water availability](#) », *PLoS ONE*, vol. 7(2), février.

- entre 10 % et 20 % : tensions modérées,
- supérieur à 20 % : tensions sévères.

Dans la littérature, peu de travaux ont porté sur le ratio calculé à partir des volumes consommés, aussi les seuils utilisés sont-ils généralement directement repris des travaux traitant des volumes prélevés. Comme les consommations sont inférieures aux prélèvements, ces seuils ont tendance à sous-estimer la sévérité des tensions³³. Dans le présent travail, pour l'indice de consommation nous proposons d'utiliser des seuils inférieurs, divisés par deux par rapport à l'indice de prélèvements.

- $$\frac{1 + \% \text{ évolution de la ressource entre 2020 et 2050}}{1 + \% \text{ évolution des prélèvements entre 2020 et 2050}}$$

Cet indice permet de croiser l'évolution de la demande en prélèvements avec l'évolution des volumes potentiellement disponibles dans le milieu³⁴. Une valeur inférieure à 1 indique que la ressource diminue relativement plus (ou augmente relativement moins) que les prélèvements ou bien encore qu'elle diminue quand les prélèvements augmentent. C'est toujours le signal d'une dégradation de la situation hydrique entre 2020 et 2050.

- $$\frac{1 + \% \text{ évolution de la ressource entre 2020 et 2050}}{1 + \% \text{ évolution des consommations entre 2020 et 2050}}$$

Cet indice permet de croiser l'évolution de la demande en consommations avec l'évolution des volumes potentiellement disponibles dans le milieu.

Pour la période de référence (2020), les débits mesurés disponibles sur la plateforme Hubeau³⁵ sont très lacunaires. À titre d'exemple, pour l'année 2020, nous ne pouvons reconstituer les volumes mensuels disponibles que sur neuf des quarante bassins versants étudiés.

Sur ces neuf bassins versants, pour l'année 2020 nous avons comparé les résultats obtenus via notre indice de tension hydrique sur les prélèvements avec les arrêtés sécheresse effectivement mis en œuvre au cours de cette année. Pour ce faire, sur les neuf bassins versants, nous avons procédé aux calculs suivants :

- calcul selon la méthode décrite précédemment du maximum observé sur l'année du ratio mensuel volumes prélevés / volumes disponibles. Les volumes disponibles ont été calculés à partir des données mesurées ;

³³ Liu J., Yang H., Gosling S. N. *et al.* (2017), « [Water scarcity assessments...](#) », *op. cit.*

³⁴ Zamani Sabzi H., Moreno H. A., Fovarguea R. *et al.* (2019), « [Comparison of projected water availability and demand reveals future hotspots of water stress in the Red River basin, USA](#) », *Journal of Hydrology: Regional Studies*, vol. 26, décembre.

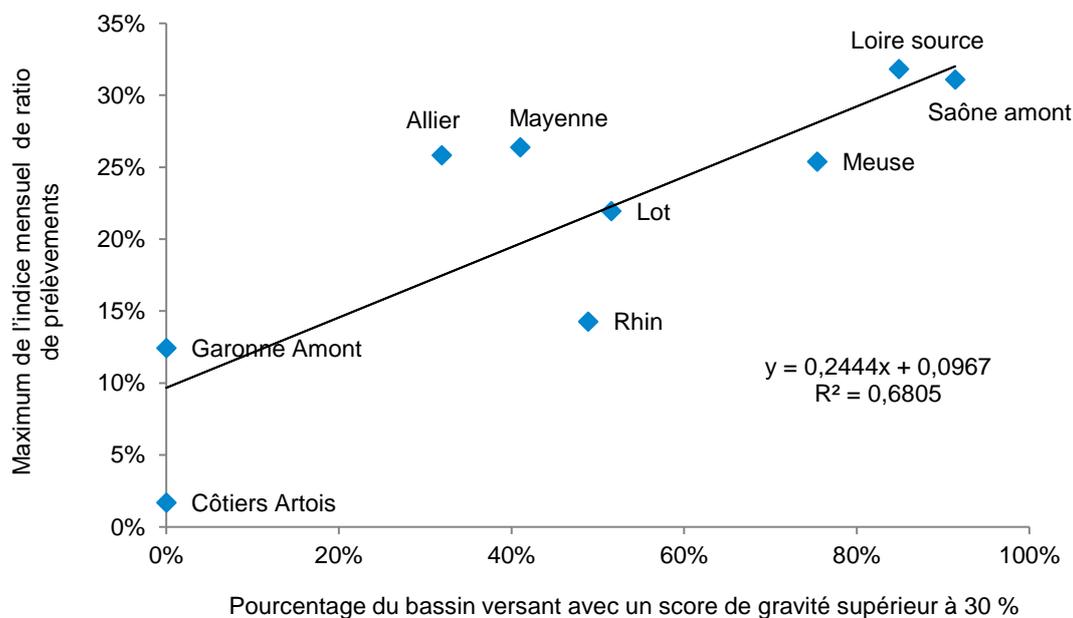
³⁵ <https://hubeau.eaufrance.fr/>

- calcul du pourcentage maximal de la surface du bassin versant affecté par un indice de gravité sécheresse supérieur à 30 %. L'indice de gravité sécheresse croise le niveau de gravité des arrêtés sécheresse et leur durée sur un territoire donné³⁶ (voir [Annexe 5](#)) ;
- analyse de corrélation entre ces deux métriques.

Le ratio volumes prélevés / volumes disponibles et l'indice de gravité sécheresse observé en 2020 apparaissent significativement corrélés³⁷ (Graphique 2).

En revanche, nous ne détectons pas de corrélation statistiquement significative entre le ratio calculé sur les consommations et l'indice de gravité sécheresse. Cela peut s'expliquer par le fait que les arrêtés sécheresse sont pris en fonction de l'observation des débits dans le milieu et sont donc plus directement liés aux prélèvements qu'aux consommations.

Graphique 2 – Relation entre le ratio de tension hydrique calculé via les prélèvements et l'indice de gravité sécheresse observé en 2020



Lecture : au cours de l'année 2020, dans le bassin versant de la Meuse, l'indice maximal en prélèvements a atteint 25 % et la surface maximale affectée par un indice de gravité sécheresse a atteint 75 %.

Source : calculs HCSP, d'après les données VigiEau

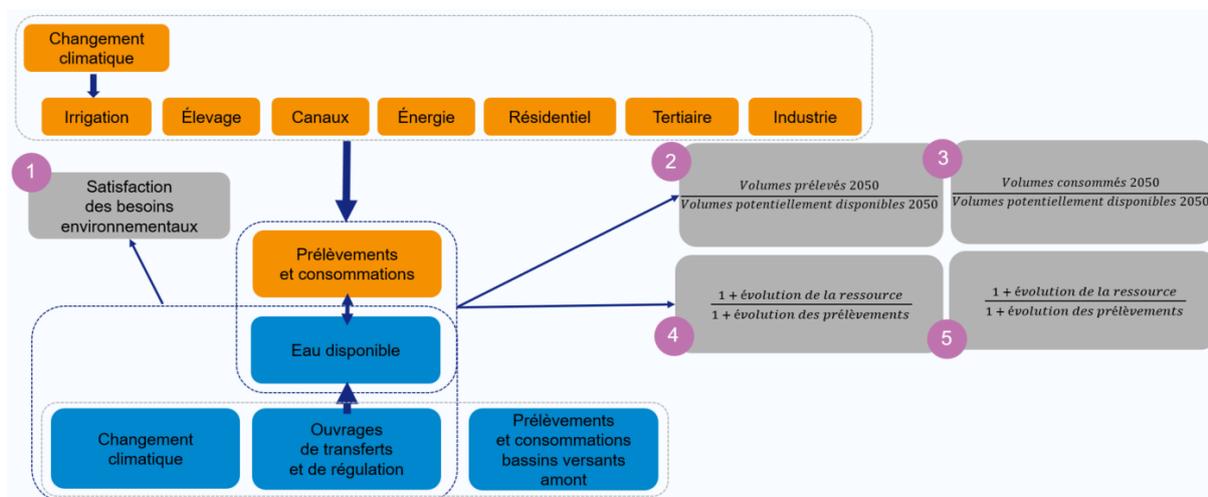
1.5. Synthèse de la démarche adoptée

Finalement, en considérant l'indice relatif aux besoins environnementaux, cinq indices ont été estimés afin d'identifier les territoires potentiellement en tension dans le futur. Ils sont résumés sur la Figure 1.

³⁶ Voir <https://vigieau.gouv.fr/donnees/> pour une description de cet indicateur. Les données de gravité sécheresse sont données par territoire concerné par l'alerte.

³⁷ Test de corrélation de Pearson, T = 3,43, p < 0,05.

Figure 1 – Cadrage de l'étude



Lecture : en orange, les prélèvements et les consommations ainsi que les facteurs associés, en bleu, l'eau disponible ainsi que les facteurs associés, en gris, les indicateurs utilisés dans la présente étude.

Source : HCSP

1.6. Choix des modèles hydrologiques

Les résultats présentés par la suite dans ce travail ont été obtenus à partir de deux modèles hydrologiques utilisés dans le cadre de l'étude Explore2, à savoir SMASH et ORCHIDEE³⁸. En effet, sur les neuf étudiés, ces deux modèles présentent le plus grand nombre de points de simulation. Leurs performances sont bonnes à très bonnes^{39,40} sur les bassins versants de plus de 6 000 km², ce qui est le cas de tous nos bassins versants excepté ceux de la Sambre et des côtiers Artois.

Toutefois, ces modèles ont chacun leurs limites :

- le modèle SMASH présente « de moindres performances dans l'ouest du bassin hydrographique Seine-Normandie »⁴¹. De plus, il semble légèrement surestimer les débits de hautes eaux et les débits d'étiage dans le Massif central, et les sous-estimer en dehors de cette région ;
- le modèle ORCHIDEE est plus humide que les autres modèles. Il présente de moindres performances dans les bassins versants montagneux, en particulier dans les Alpes, en raison de la topographie compliquée et de la présence de neige. Ce modèle a également des difficultés à simuler les débits des cours d'eau à régime pluvial faiblement contrasté,

³⁸ Pour une description des modèles, se reporter à Sauquet É., Strohmenger L., Thirel G. et Le Lay M. (2025), *Quelles évolutions des régimes hydrologiques en France hexagonale ?*, op. cit.

³⁹ Huang P., Ducharme A., Rinchioso L. et al. (2024), « Multi-objective calibration and evaluation of the ORCHIDEE land surface model over France at high resolution », *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 28(19), p. 4455-4476.

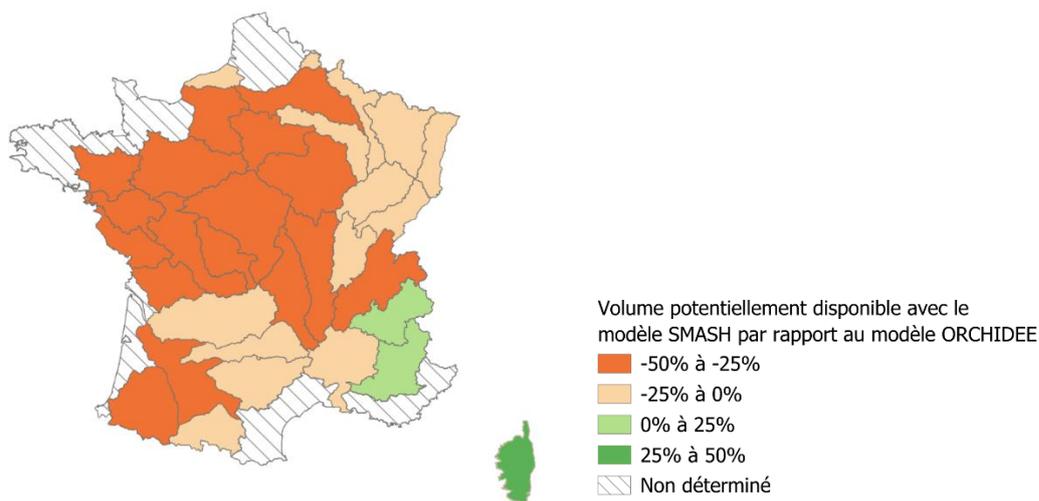
⁴⁰ Sauquet É., Héraut L., Bonneau J. et al. (2023), *Diagnostic des modèles hydrologiques. Des données aux résultats*, rapport technique Explore2, novembre.

⁴¹ *Ibid.*

notamment dans les bassins versants de la Seine et des Hauts-de-France, où les nappes jouent un rôle non négligeable sur la dynamique des débits. Ainsi, sur les secteurs au nord de la France, « les débits de hautes eaux semblent surestimés tandis que les débits de basses eaux semblent sous-estimés hors Massif central, Jura et Bretagne, régions qui affichent une surestimation des débits de basses eaux »⁴².

Par conséquent, selon le modèle hydrologique utilisé, le volume potentiellement disponible estimé dans chaque bassin versant peut différer. Dans la très grande majorité des bassins versants, les volumes estimés avec le modèle hydrologique SMASH sont inférieurs à ceux estimés avec modèle hydrologique ORCHIDEE (Carte 1). Compte tenu de ces différences, les résultats obtenus avec le modèle SMASH sont généralement plus pessimistes.

Carte 1 – Comparaison des volumes annuels potentiellement disponibles (en %) à l'horizon 2050 entre les modèles hydrologiques SMASH et ORCHIDEE (projection climatique « violet » et année marquée par un printemps-été sec)



Lecture : dans le bassin versant de l'Adour, le volume annuel potentiellement disponible estimé avec le modèle SMASH est inférieur de 25 % à 50 % à ce même volume estimé avec le modèle ORCHIDEE.

Source : HCSP

1.7. Estimation des volumes mensuels potentiellement disponibles dans les eaux de surface sans intervention humaine

Le volume simulé de chaque bassin versant a été calculé à l'échelle mensuelle à partir des débits projetés obtenus dans le cadre du projet Explore2⁴³ sur l'ensemble des stations hydrométriques situées le plus à l'aval des bassins versants.

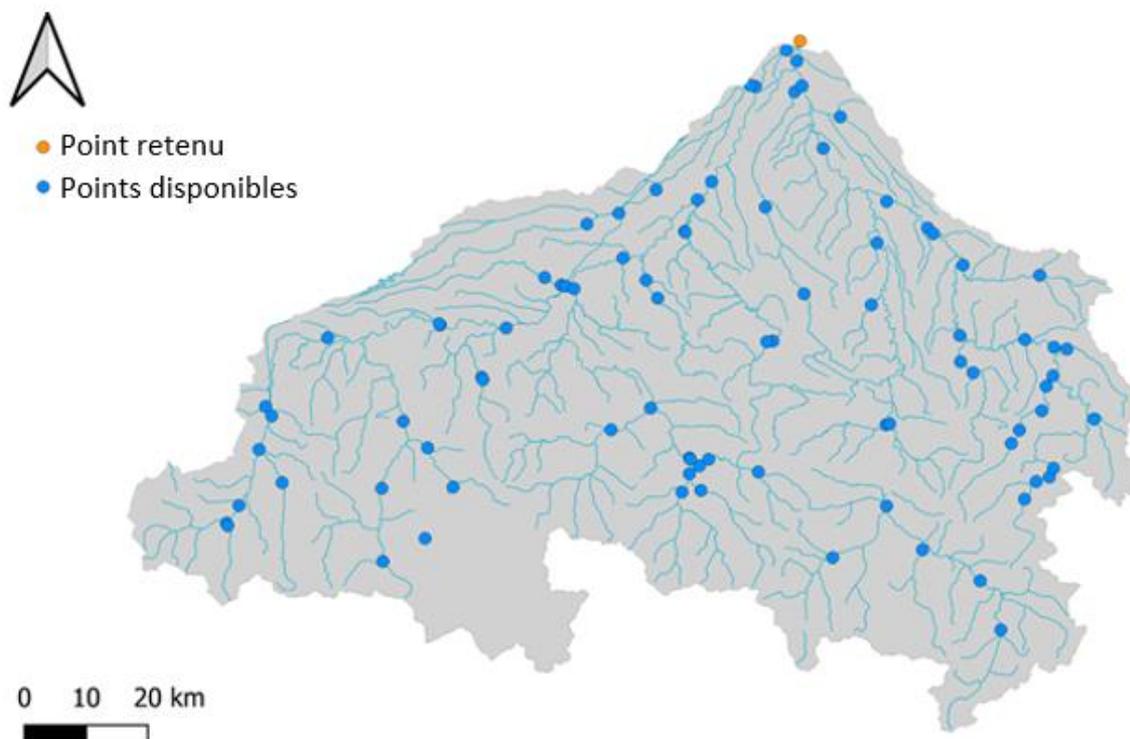
Dans le cas le plus simple, le volume simulé correspond au volume s'écoulant pendant un mois à l'exutoire du bassin versant, par exemple dans le bassin versant de la Garonne amont (Carte 2). Lorsque les stations hydrométriques ne se situent pas exactement au

⁴² *Ibid.*

⁴³ Les données proviennent du portail DRIAS eau : <https://www.drias-eau.fr/>.

niveau de l'exutoire de notre découpage, nous avons soit additionné les volumes de différents cours d'eau situés en amont de l'exutoire, soit utilisé un point de simulation plus en aval de l'exutoire⁴⁴.

Carte 2 – Sélection d'une station hydrométrique pour le calcul du volume du bassin versant Garonne amont



Lecture : les points bleus et le point orange correspondent à l'ensemble des stations hydrométriques disponibles. Le point orange est la station hydrométrique retenue pour le calcul du volume et correspond à l'exutoire du bassin versant.

Source : HCSP, d'après les données DRIAS eau

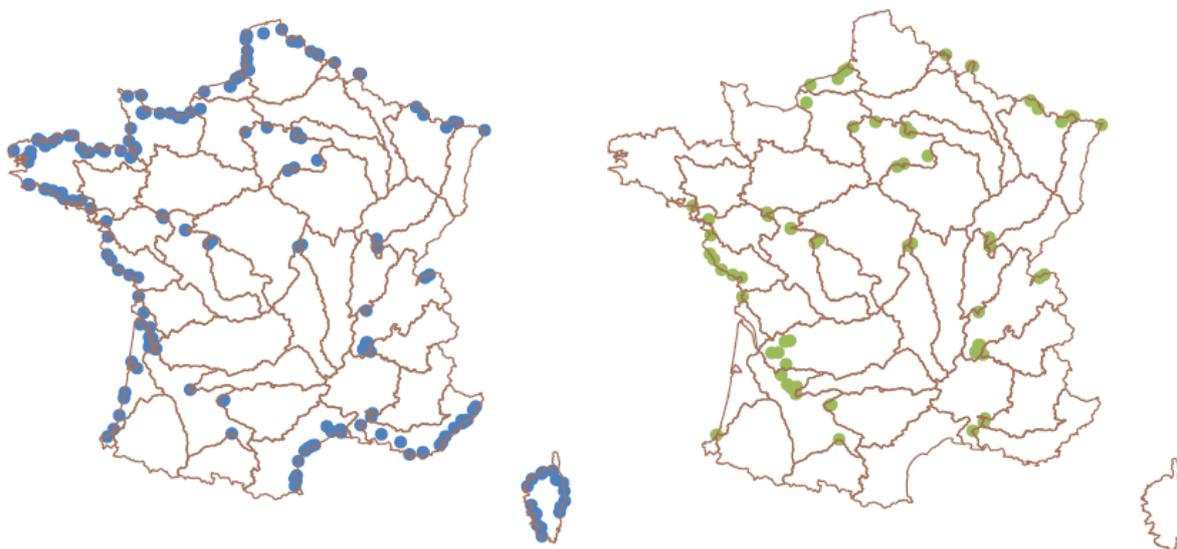
Dans le cas des bassins versants de fleuves côtiers, qui présentent plusieurs exutoires, le volume simulé correspond à la somme des volumes s'écoulant au niveau des stations hydrométriques de l'ensemble des fleuves côtiers disposant d'un point de simulation. Comme certains petits fleuves côtiers ne disposent pas de points de simulation, les volumes disponibles dans ces bassins versants ont parfois pu être sous-estimés.

Pour les bassins versants côtiers, seuls les résultats obtenus avec le modèle ORCHIDEE sont présentés, le modèle SMASH n'ayant pas suffisamment de points de simulation pour réaliser une estimation des volumes disponibles.

Finalement, pour le modèle ORCHIDEE, au total 180 stations hydrométriques ont été retenues, contre 69 pour le modèle SMASH (Carte 3).

⁴⁴ Pour le Rhin, fleuve à cheval sur plusieurs pays, nous avons rapporté le débit simulé au point le plus en aval du bassin versant français à la proportion du bassin hydrographique du fleuve contenu en France (environ 4 %).

Carte 3 – Stations hydrométriques des modèles ORCHIDEE (à gauche) et SMASH (à droite), utilisées pour l'estimation des volumes



Lecture : les points correspondent aux stations hydrométriques retenues permettant de calculer les débits sortants des quarante bassins versants étudiés.

Source : HCSP, d'après les données DRIAS eau

1.8. Reconstruction de l'anthropisation des débits pour déterminer les volumes mensuellement potentiellement disponibles dans les eaux de surface

Notre objectif est de comparer des volumes de prélèvements et de consommations aux débits naturels anthropisés. Dans le projet Explore2, les débits simulés sont des débits naturels, sans intervention humaine. Nous avons reconstruit des débits anthropisés en prenant en compte i) les ouvrages de transfert d'un bassin versant vers un autre, ii) les ouvrages de régulation (c'est-à-dire les barrages) en place (voir [Annexe 3](#)), ainsi que iii) l'influence des prélèvements et des consommations des bassins versants amont (voir [Annexe 6](#)).

Premièrement, les transferts d'eau d'un bassin versant vers un autre (ou vers la mer pour alimenter une usine hydroélectrique) non associés à l'un de nos sept usages⁴⁵ (irrigation, élevage, canaux de navigation, énergie, tertiaire, industrie ou résidentiel) ont été intégrés. Ainsi, a été intégré le transfert du bassin versant de la Loire vers le bassin versant du Rhône via l'ouvrage de Montpezat. Ce transfert contribue à la production d'hydroélectricité et participe au soutien d'étiage. A été également intégré le transfert du bassin versant de la Durance vers l'usine hydroélectrique de l'étang de Berre (usine de Saint-Chamas). Nous avons considéré que les volumes de transfert à l'horizon 2050 étaient identiques aux volumes moyens de la période 2020. En revanche, les dynamiques ont été ajustées de façon

⁴⁵ Les transferts associés à un usage sont déjà intégrés dans le volet demande. Seuls les transferts non intégrés dans le volet demande ont été pris en compte dans le volet ressource afin de ne pas faire de double comptage.

à prendre en compte les changements de régimes hydrologiques liés au changement climatique (périodes d'étiage plus longues notamment).

Deuxièmement, ont été ajoutés (déstockage) ou soustraits (stockage) mensuellement les volumes liés aux ouvrages de régulation⁴⁶. Pour ce faire, nous avons eu recours aux données mensuelles des principaux stockages provenant de l'inventaire national des plans d'eau (INPE)⁴⁷. Cet inventaire permet d'obtenir une estimation des volumes stockés et déstockés des principaux plans d'eau grâce à un suivi satellitaire (voir [Annexe 3](#)). Seuls les ouvrages non considérés dans le volet relatif à la demande⁴⁸, car non associés directement à l'un des usages étudiés, ont été intégrés. Les retenues de substitution agricoles sont, quant à elles, prises en compte dans la demande en eau d'irrigation.

Nous faisons l'hypothèse qu'à l'horizon 2050, les dynamiques de gestion des ouvrages sont adaptées pour suivre les changements tant de période que de durée d'étiage. Les volumes stockés et déstockés sont identiques aux volumes moyens calculés sur la période 2017-2022, excepté pour les bassins hydrographiques Adour-Garonne et Loire-Bretagne. En effet, dans ces deux bassins, nous avons considéré des volumes additionnels (320 millions⁴⁹ et 30 millions de mètres cubes⁵⁰, respectivement) en lien avec une mobilisation accrue de la ressource.

Troisièmement, pour les bassins versants situés en aval d'un ou plusieurs bassins versants, ont été :

- ajoutés les volumes prélevés dans les eaux souterraines pour satisfaire des activités humaines dans les bassins versants amont⁵¹, puis rejetés dans les eaux de surface (il s'agit de la part non consommée du prélèvement qui est alors disponible pour les bassins versants situés en aval),
- soustraits les volumes consommés dans les eaux de surface dans les bassins versants amont.

Les bassins versants aval, c'est-à-dire qui possèdent un ou plusieurs bassins versants amont, sont identifiés en rose sur la Carte 4.

⁴⁶ Lorsque les volumes nécessaires pour alimenter les ouvrages de régulation sont supérieurs aux volumes simulés, nous avons considéré que le bassin versant est en situation de tension.

⁴⁷ Kosuth P. et Menager T. (2024), *Inventaire national des plans d'eau*, IGEDD, août.

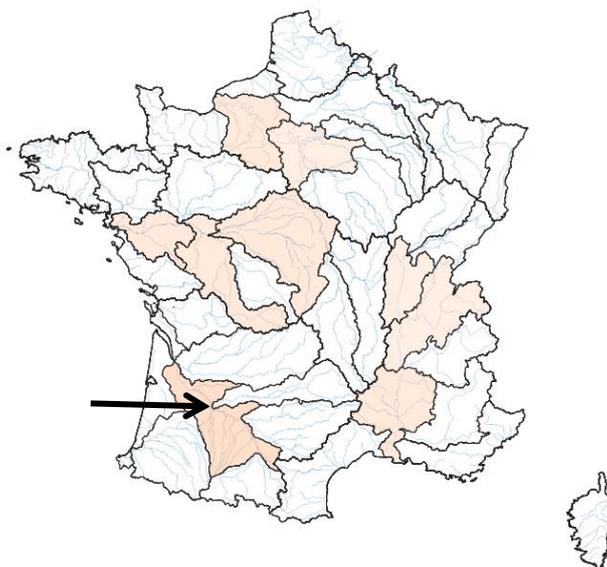
⁴⁸ Arambourou H. et Ferrière S. (2025), *La demande en eau. Prospective territorialisée à l'horizon 2050*, *op. cit.*

⁴⁹ Auverlot D., Follenfant P., Joly A. et Le Coz C. (2021), *Conditions de mobilisation des retenues hydroélectriques pour le soutien d'étiage dans le bassin Adour-Garonne*, rapport CGEDD n° 013099-01 et CGAAER n° 19109, juin.

⁵⁰ Auverlot D., Bernhard C. et Neveu A. (2022), *Les conditions de mobilisation des retenues hydroélectriques pour le soutien d'étiage sur le bassin de Loire-Bretagne*, rapport IGEDD n° 014269-01 et CGAAER n° 22017, novembre.

⁵¹ Pour ce faire, nous avons eu recours aux données de la BNPE (Banque nationale des prélèvements quantitatifs en eau) qui précise le type de ressource utilisée (souterraine ou de surface). Nous avons considéré que tous les volumes prélevés dans les eaux souterraines étaient ensuite rejetés dans les eaux de surface, excepté ceux liés à l'activité agricole d'irrigation.

Carte 4 – Bassins versants présentant des bassins versants amont



Lecture : le bassin versant Garonne aval, indiqué par une flèche, possède des bassins versants amont, en l'occurrence : Garonne amont, Tarn et Lot.

Source : HCSP

1.9. Évaluation de la demande à l'horizon 2050

La demande théorique en eau à l'horizon 2050 a été évaluée pour trois scénarios d'usage (voir [Annexe 7](#) pour une description de ces scénarios). Le premier scénario, nommé « tendanciel », prolonge les tendances passées. Le deuxième, appelé « politiques publiques », simule la mise en place des politiques publiques récemment annoncées, qu'elles aient un lien direct ou non avec l'eau. Le troisième, dit « de rupture », est inspiré du scénario « coopérations territoriales » issu du travail prospectif *Transition(s) 2050* de l'Ademe et se caractérise par un usage sobre de l'eau. La description de ces scénarios ainsi que de la méthode utilisée pour évaluer les demandes en eau futures théoriques est décrite dans Arambourou et Ferrière (2025)⁵². La demande des sept secteurs suivants a été estimée : l'irrigation, l'élevage, les canaux de navigation, l'énergie, le résidentiel (usage domestique), le tertiaire et l'industrie.

Dans la présente étude, seuls les prélèvements en eau de surface dans chaque bassin versant ont été considérés. Pour l'alimentation des canaux⁵³ et le secteur énergétique, nous avons considéré que l'intégralité des prélèvements s'effectuait dans les eaux de surface. Pour les prélèvements destinés à l'eau d'abreuvement, nous avons considéré que 98 % sont réalisés en eau de surface et 2 % en eau souterraine à partir de la base de données IREP⁵⁴.

⁵² Arambourou H. et Ferrière S. (2025), *La demande en eau. Prospective territorialisée à l'horizon 2050*, op. cit.

⁵³ Les canaux de navigation sont considérés comme des prélèvements (alimentation à partir des eaux de surface) et non comme un transfert de la ressource. La saisonnalité des prélèvements a été prise en compte, notamment la réduction des prélèvements pendant la période estivale.

⁵⁴ <https://www.georisques.gouv.fr/donnees/bases-de-donnees/installations-industrielles-rejetant-des-polluants>

Pour les prélèvements destinés à l'irrigation, l'industrie, le tertiaire et le résidentiel, nous avons eu recours à une analyse de la Banque nationale des prélèvements quantitatifs en eau (BNPE) pour l'année 2020⁵⁵. Dans cette base de données, la répartition des prélèvements entre eaux de surface et eaux souterraines est fournie pour chaque prélèvement. À l'échelle de la France, les prélèvements dans les eaux de surface représentent 52 % des prélèvements totaux pour l'irrigation, 60 % pour l'industrie, 44 % pour le tertiaire et 29 % pour le résidentiel. Nous avons considéré que la répartition des prélèvements entre eaux de surface et eaux souterraines dans chaque bassin versant était la même en 2020 et en 2050 (voir [Annexe 1](#)).

Le fait de ne pas considérer les prélèvements en eaux souterraines constitue une limite de ce travail importante dans les bassins versants où l'on prélève majoritairement en eaux souterraines, et plus encore dans ceux où les interactions entre les nappes et les rivières sont fortes, comme dans les bassins de la Seine⁵⁶, de la Loire, de l'Escaut et de la Meuse. En effet, les prélèvements dans l'un des compartiments (eaux souterraines ou eaux de surface) affectent directement l'autre compartiment. Par conséquent, les résultats obtenus dans ces bassins versants sont à interpréter avec précaution.

2. Résultats

2.1. À l'horizon 2050, les besoins environnementaux seront difficilement satisfaits du fait du changement climatique

Nous avons comparé mensuellement les besoins environnementaux déterminés sur la période de référence 2020 avec les volumes potentiellement disponibles à l'horizon 2050 pour une année marquée par un printemps-été sec et pour une autre marquée par un printemps-été humide. Dans cette section, seuls les résultats pour la projection climatique « violet » sont présentés ; les résultats pour la projection « jaune » sont en [Annexe 3](#).

Les calculs des besoins environnementaux et des volumes potentiellement disponibles ont été effectués à partir des résultats des deux modèles hydrologiques ORCHIDEE et SMASH. Nous avons considéré pour chacun des modèles que les besoins environnementaux ne sont pas satisfaits quand ces derniers sont supérieurs aux volumes potentiellement disponibles (calculés avec chacun des modèles). Nous n'avons pas intégré les prélèvements destinés aux activités humaines ; les volumes potentiellement disponibles prennent ainsi uniquement en compte les effets du changement climatique.

Pour une année marquée par un printemps-été sec à l'horizon 2050, les besoins environnementaux ne sont pas satisfaits au moins un mois de l'année dans l'ensemble des bassins versants, que ce soit avec le modèle hydrologique ORCHIDEE ou SMASH (Carte 5). En fonction de l'écosystème en place et des habitats, ces périodes de sécheresse, même courtes, pourraient être délétères. Les résultats obtenus avec le modèle SMASH

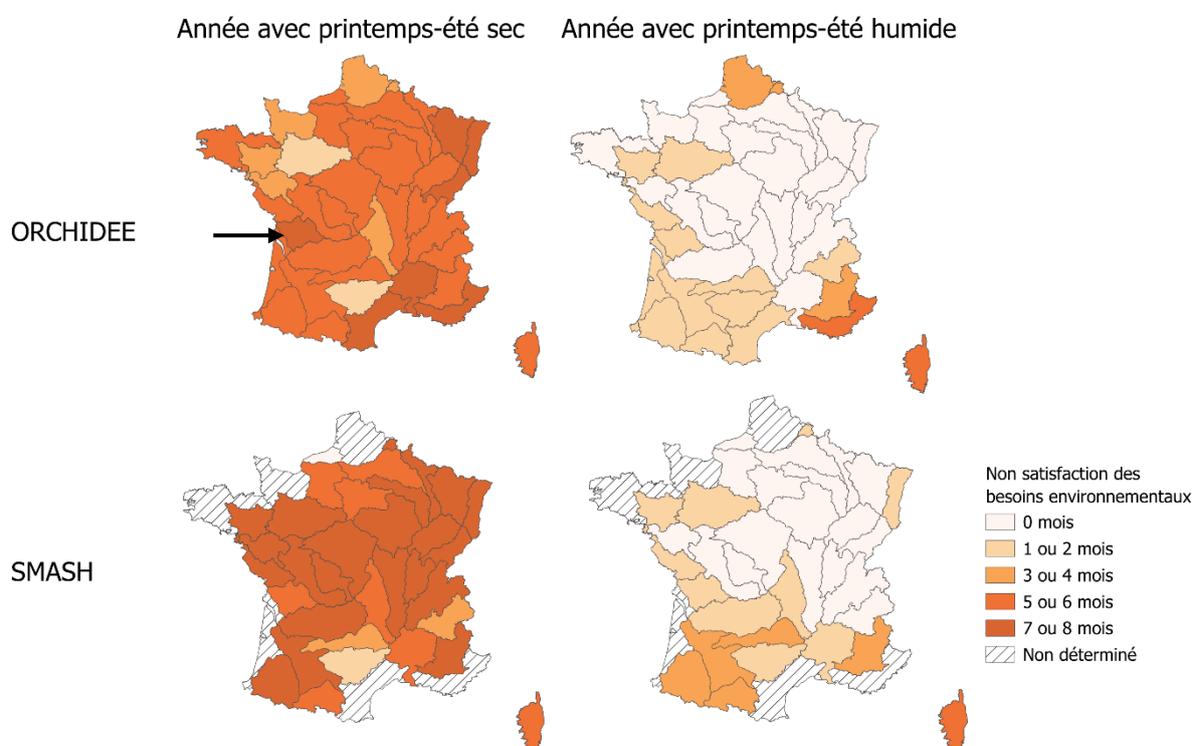
⁵⁵ <https://bnpe.eaufrance.fr/>

⁵⁶ Sur le sujet de la contribution des eaux souterraines aux débits des eaux de surface, voir Piren-Seine (2018), « [Hydrologie du bassin de la Seine en quelques chiffres clefs](#) », fiche info.

apparaissent plus défavorables que ceux obtenus avec le modèle ORCHIDEE. Ainsi, les durées de stress sont généralement plus longues avec le modèle SMASH.

De manière plus surprenante, pour un printemps-été humide, dans près de la moitié des bassins versants, les besoins environnementaux ne sont pas satisfaits au moins un mois de l'année. Ces bassins versants se situent majoritairement dans le sud-ouest et le sud-est de la France (Carte 5). Ainsi, dans ces territoires, les écosystèmes pourraient être en situation de stress chronique, chaque année, à l'horizon 2050, ce qui pourrait durablement obérer leur fonctionnement. Les résultats obtenus avec les deux modèles hydrologiques sont relativement proches.

Carte 5 – Nombre de mois de non-satisfaction des besoins environnementaux à l'horizon 2050, selon les conditions météorologiques de l'année et le modèle hydrologique (ORCHIDEE ou SMASH)



Note : pour le modèle SMASH, tous les bassins versants n'ont pas pu être analysés (en hachuré) faute de points de simulation en nombre suffisant dans ces territoires.

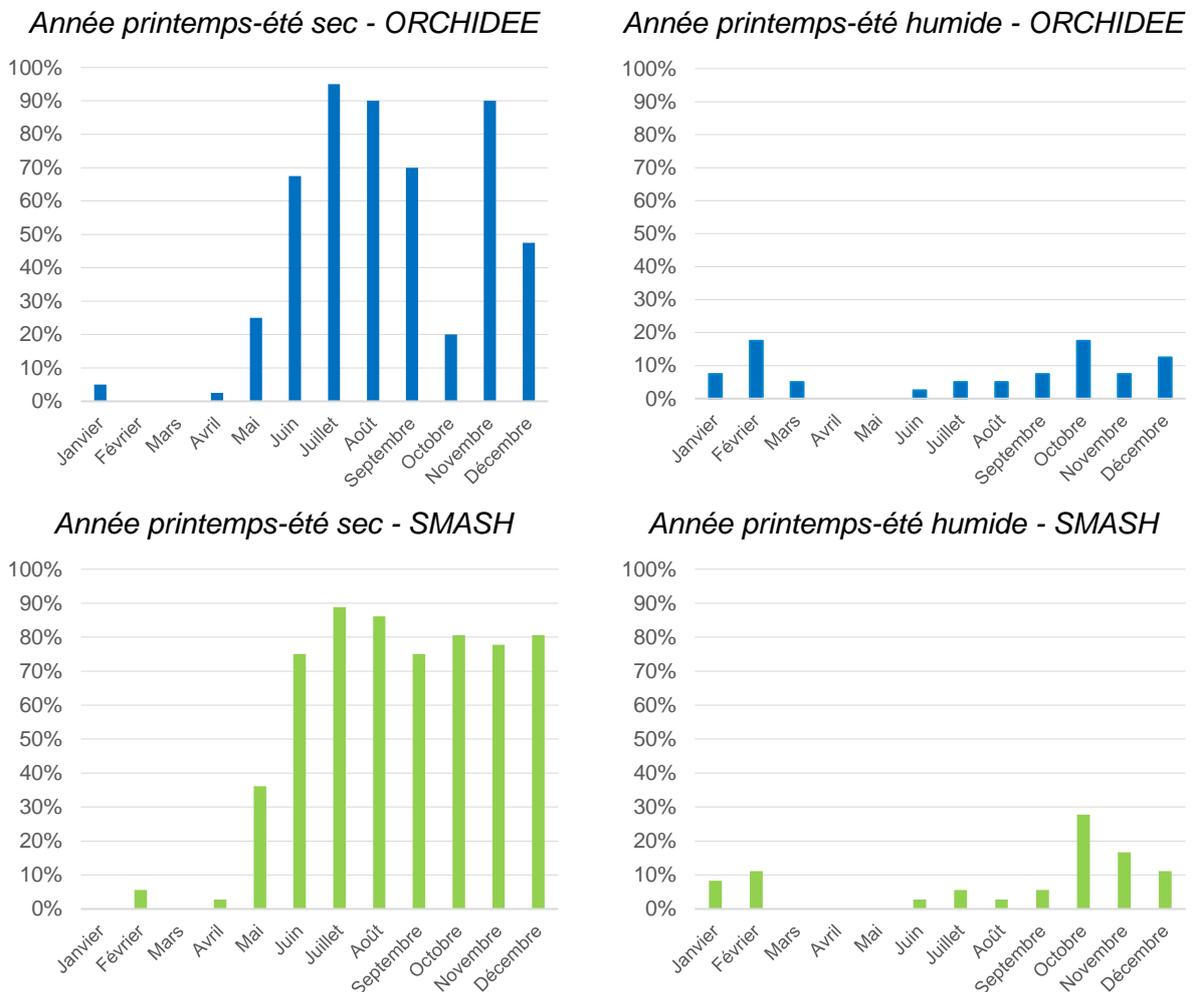
Lecture : à l'horizon 2050 pour une année marquée par un printemps-été sec et pour le modèle hydrologique ORCHIDEE, les besoins environnementaux ne sont pas satisfaits entre sept et huit mois dans le bassin versant de la Charente (indiqué par une flèche).

Source : HCSP, selon la méthode décrite précédemment

Pour une année marquée par un printemps-été sec, la part de bassins versants où les besoins environnementaux ne sont pas satisfaits est non seulement élevée en été (supérieure à 80 %), mais également en novembre (Graphique 3). Ceci est lié au fait que ce

mois présente un déficit de précipitations de plus de 75 %⁵⁷. On constate une différence entre les deux modèles hydrologiques pour les mois d'octobre et de décembre. En effet, le modèle SMASH conduit à identifier pour ces deux mois davantage de bassins versants dans lesquels les besoins environnementaux ne sont pas satisfaits. Avec le modèle SMASH, dans la majorité des bassins versants, la période d'étiage se situe entre les mois d'août et d'octobre, tandis qu'elle est plus courte avec le modèle ORCHIDEE (elle se concentre aux mois d'août et de septembre). Comme les besoins environnementaux sont supérieurs en période d'étiage, le nombre de bassins versants identifiés en stress est alors supérieur en octobre avec le modèle SMASH.

Graphique 3 – Proportion de bassins versants (en %) où les besoins environnementaux ne sont pas satisfaits mensuellement à l'horizon 2050 selon le modèle hydrologique (ORCHIDEE ou SMASH) et les conditions météorologiques de l'année



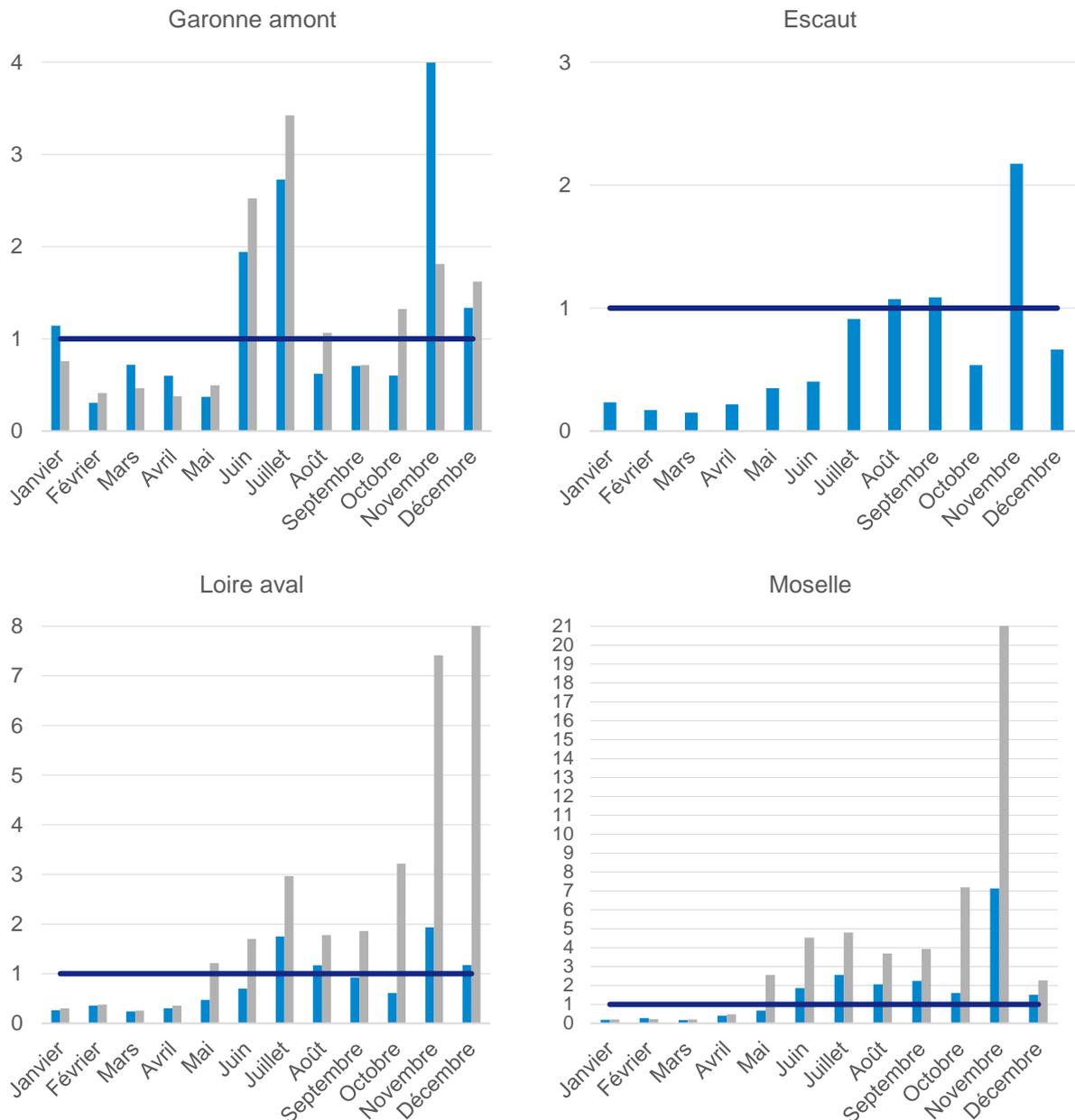
Lecture : à l'horizon 2050, pour une année marquée par un printemps-été sec et pour le modèle hydrologique ORCHIDEE, les besoins environnementaux ne sont pas satisfaits dans 88 % des bassins versants au mois de novembre.

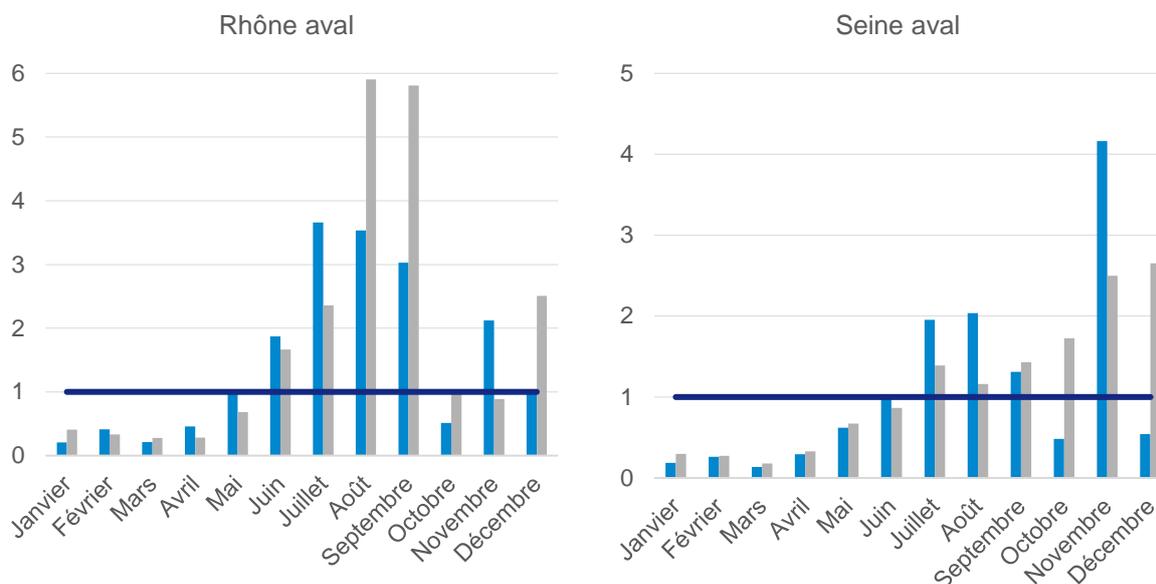
Source : HCSP, selon la méthode décrite précédemment

⁵⁷ Déficit par rapport à la médiane sur la période 2041-2060.

Nous avons calculé le ratio entre les besoins environnementaux et les volumes potentiellement disponibles à l'horizon 2050 pour une année marquée par un printemps-été sec, afin de quantifier plus précisément l'ampleur des déficits observés. Les résultats sont présentés pour six bassins versants répartis sur tout le territoire (Graphique 4).

Graphique 4 – Rapport mensuel entre les besoins environnementaux et les volumes disponibles dans six bassins versants pour une année marquée par un printemps-été sec en 2050 (modèle hydrologique ORCHIDEE en bleu et SMASH en gris)





Note : la ligne horizontale indique le seuil de dépassement des besoins environnementaux, sans même considérer la satisfaction de la demande en prélèvements pour les activités humaines. Pour le bassin versant de l'Escaut, les points de simulation disponibles ne permettent pas de calculer le ratio pour le modèle SMASH.

Lecture : à l'horizon 2050, pour une année marquée par un printemps-été sec et pour le modèle hydrologique ORCHIDEE, les besoins environnementaux seraient près de quatre fois supérieurs aux volumes potentiellement disponibles en novembre dans le bassin versant Garonne amont.

Source : HCSP, selon la méthode décrite précédemment

Le déficit en matière de besoins environnementaux est très élevé en novembre, mois particulièrement sec sur l'ensemble du territoire, avec par exemple, pour le modèle ORCHIDEE, des besoins environnementaux plus de quatre fois supérieurs aux volumes simulés dans les bassins versants de la Moselle et de la Seine aval. Au cours de la période estivale, les déficits sont particulièrement élevés dans les bassins versants du sud de la France. Ainsi, en juillet avec le modèle ORCHIDEE, les besoins environnementaux sont près de trois fois supérieurs aux volumes disponibles dans le bassin versant de la Garonne amont et près de quatre fois supérieurs dans le bassin du Rhône aval. Dans les bassins versants de la Loire aval et de la Moselle, les déficits obtenus avec le modèle SMASH sont bien plus élevés que ceux obtenus avec le modèle ORCHIDEE. Ceci pourrait être lié au fait que le modèle ORCHIDEE a des difficultés à simuler les débits dans des territoires où il y a de fortes interactions entre les nappes et les rivières.

Ces résultats suggèrent qu'indépendamment des prélèvements anthropiques, du fait du changement climatique, les écosystèmes pourraient subir des situations de stress non seulement dans le cas d'une année marquée par un printemps-été sec, mais même dans le cas d'une année caractérisée par un printemps-été humide, notamment dans le sud-ouest et le sud-est de la France. Face à ces diminutions de débits, la résilience des écosystèmes, c'est-à-dire leur capacité à maintenir leurs fonctions, sera d'autant plus importante que les

écosystèmes seront riches en diversité⁵⁸. Aussi, préserver et restaurer les milieux, notamment par une diversification des habitats (reméandrage, restauration de la ripisylve, etc.), doit être une priorité.

À l'aune de ces résultats, il apparaît indispensable de diriger les efforts pour contenir l'augmentation des prélèvements et des consommations humaines qui accroîtront encore davantage la pression sur les milieux aquatiques.

2.2. Indice de tension hydrique sur les prélèvements

Dans cette partie, l'objectif étant d'anticiper les potentielles tensions futures, hors besoins environnementaux, nous nous plaçons dans le cas le plus défavorable étudié, c'est-à-dire celui d'une année marquée par un printemps-été sec à l'horizon 2050⁵⁹.

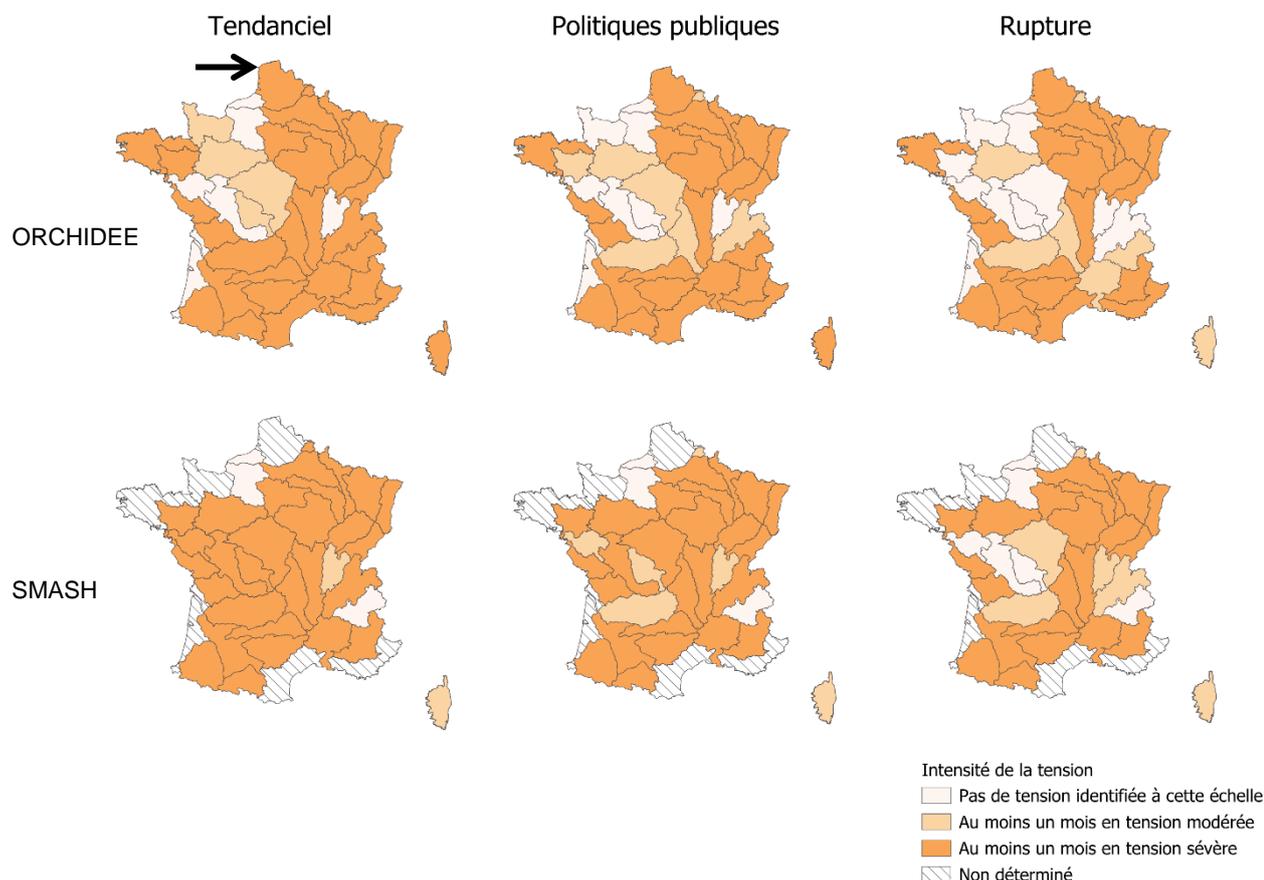
Nous avons calculé le ratio entre les prélèvements et les volumes potentiellement disponibles. Nous considérons que la tension est modérée lorsque ce ratio est compris entre 20 % et 40 % et sévère lorsqu'il est supérieur à 40 %. Lorsque le ratio est inférieur à 20 %, cela signifie que nous n'identifions pas de tension à notre échelle de travail, c'est-à-dire à l'échelle de nos quarante bassins versants et à l'échelle mensuelle. Cependant, cela n'implique pas l'absence de tensions plus locales ou plus temporaires. Ainsi, notre estimation est une estimation basse des tensions.

Le nombre de bassins en tension (modérée ou sévère) en 2050 varie en fonction du scénario d'usage. Ainsi, avec le modèle ORCHIDEE pour une année marquée par un printemps-été sec, 34 bassins versants sont identifiés comme en tension dans le scénario tendanciel, 32 dans le scénario politiques publiques et 29 dans le scénario de rupture (Carte 6). Les tensions sont particulièrement importantes dans la moitié sud et dans l'est de la France. Les résultats obtenus avec les modèles hydrologiques ORCHIDEE et SMASH sont relativement proches.

⁵⁸ Oliver T. H., Heard M. S., Isaac N. J. B. *et al.* (2015), « Biodiversity and resilience of ecosystem functions », *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 30(11), novembre, p. 673-684.

⁵⁹ Seuls les résultats relatifs à la projection « violet » sont présentés. Les résultats obtenus avec la projection « jaune » sont fournis en [Annexe 9](#).

Carte 6 – Nombre de mois en tension sévère ou modérée en prélèvements pour une année marquée par un printemps-été sec en 2050 (modèles hydrologiques ORCHIDEE et SMASH) pour les trois scénarios d'usage



Note : pour le modèle SMASH, tous les bassins versants n'ont pas pu être analysés (en hachuré) faute de points de simulation en nombre suffisant dans ces territoires.

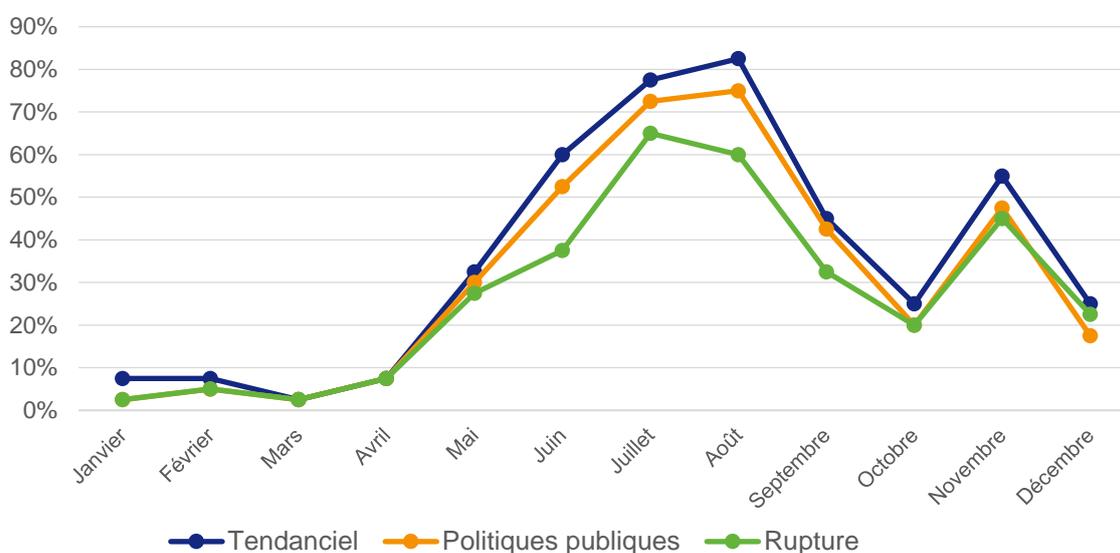
Lecture : à l'horizon 2050, dans le scénario tendanciel et avec le modèle hydrologique ORCHIDEE, le bassin versant de l'Escaut (indiqué par une flèche) est en tension sévère au moins un mois de l'année.

Source : HCSP, selon la méthode décrite précédemment

À l'horizon 2050, dans le cas d'une année marquée par un printemps-été sec, dans tous les scénarios d'usage, plus de la moitié des bassins versants connaissent des tensions sévères pendant plusieurs mois consécutifs. Toutefois, les tensions observées sont moins fortes dans le scénario de rupture. Ainsi, avec le modèle hydrologique ORCHIDEE, dans le scénario tendanciel 83 % des bassins versants (représentant 88 % du territoire) sont en tension (modérée ou sévère) au mois d'août. Ce sont même 53 % des bassins versants (représentant 57 % du territoire) qui sont en situation de tension sévère. Pour ce même mois, dans le scénario politiques publiques, 75 % des bassins versants (représentant 79 % du territoire) sont en tension (modérée ou sévère) et, dans le scénario de rupture, cette part atteint 60 % – représentant 64 % du territoire (Graphique 5).

À titre de comparaison, en 2022, année particulièrement sèche, les mesures de restriction des usages de l'eau mises en œuvre début septembre via des arrêtés sécheresse s'appliquaient à 86 % du territoire hexagonal (Annexe 5), avec pour 50 % des mesures de crise, pour 23 % des mesures d'alerte renforcée et pour 13 % des mesures d'alerte⁶⁰. Or l'indice de gravité des arrêtés sécheresse est significativement corrélé à l'indice de tensions hydriques sur les prélèvements que nous avons calculé. Ainsi, de fortes restrictions d'usage seraient à prévoir à l'horizon 2050 en cas d'une année marquée par un printemps-été sec.

Graphique 5 – Proportion mensuelle de bassins versants en tension (modérée ou sévère, en %) pour une année marquée par un printemps-été sec en 2050 (modèle hydrologique ORCHIDEE) et pour les trois scénarios d'usage



Lecture : à l'horizon 2050 dans le scénario tendanciel, pour une année marquée par un printemps-été sec et avec le modèle hydrologique ORCHIDEE, 83 % des bassins versants sont en tension (modérée ou sévère) au mois d'août. Les résultats obtenus avec le modèle SMASH sont présentés en Annexe 10.

Source : HCSP

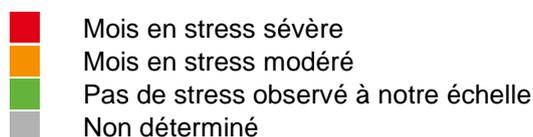
L'année sélectionnée étant non seulement sèche au printemps-été mais également en novembre, les situations de tension (sévère ou modérée) sont concentrées entre les mois de juin et de septembre ainsi qu'au mois de novembre (Tableau 4).

Les situations de tension peuvent être particulièrement longues. Par exemple, pour le scénario politiques publiques, en 2050 pour une année marquée par un printemps-été sec (modèle ORCHIDEE), on observe une tension hydrique dans le bassin versant de la Marne d'avril à décembre, avec des situations de tension sévère de mai à novembre (Tableau 4). Avec le modèle hydrologique SMASH, on observe davantage de mois en tension ainsi que des tensions plus sévères dans la majorité des bassins versants. Par exemple, au cours de l'année, le bassin versant de la Loire source est en tension sévère pendant un mois avec le modèle hydrologique ORCHIDEE, contre six mois avec le modèle SMASH. Les résultats obtenus pour les autres scénarios d'usage sont présentés en Annexe 11.

⁶⁰ Voir <https://vigieau.gouv.fr/donnees/>.

Tableau 4 – Gravité des tensions en prélèvements en 2050 par mois et pour chaque bassin versant, pour une année marquée par un printemps-été sec (modèles hydrologiques ORCHIDEE et SMASH) pour le scénario politiques publiques

	ORCHIDEE												SMASH											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Adour																								
Allier																								
Côtiers normands																								
Charente																								
Corse																								
Côt. aquitains et charentais																								
Côtiers artois																								
Côtiers bretons																								
Côtiers Côte d'Azur																								
Côtiers du Languedoc																								
Côtiers sud Loire																								
Creuse																								
Dordogne																								
Doubs																								
Durance																								
Escaut																								
Garonne amont																								
Garonne aval																								
Isère et Drôme																								
Loire aval																								
Loire moyenne																								
Loire source																								
Lot																								
Marne																								
Mayenne																								
Meuse																								
Moselle																								
Oise																								
Rhin																								
Rhône amont																								
Rhône aval																								
Rivière Île-de-France																								
Sambre																								
Saône amont																								
Saône aval																								
Seine amont																								
Seine aval																								
Tarn																								
Vienne																								
Vilaine																								



Lecture : à l'horizon 2050, pour une année marquée par un printemps-été sec et pour le modèle hydrologique ORCHIDEE, une tension sévère est observée dans le bassin versant de l'Adour au cours des mois de juillet, août et septembre.

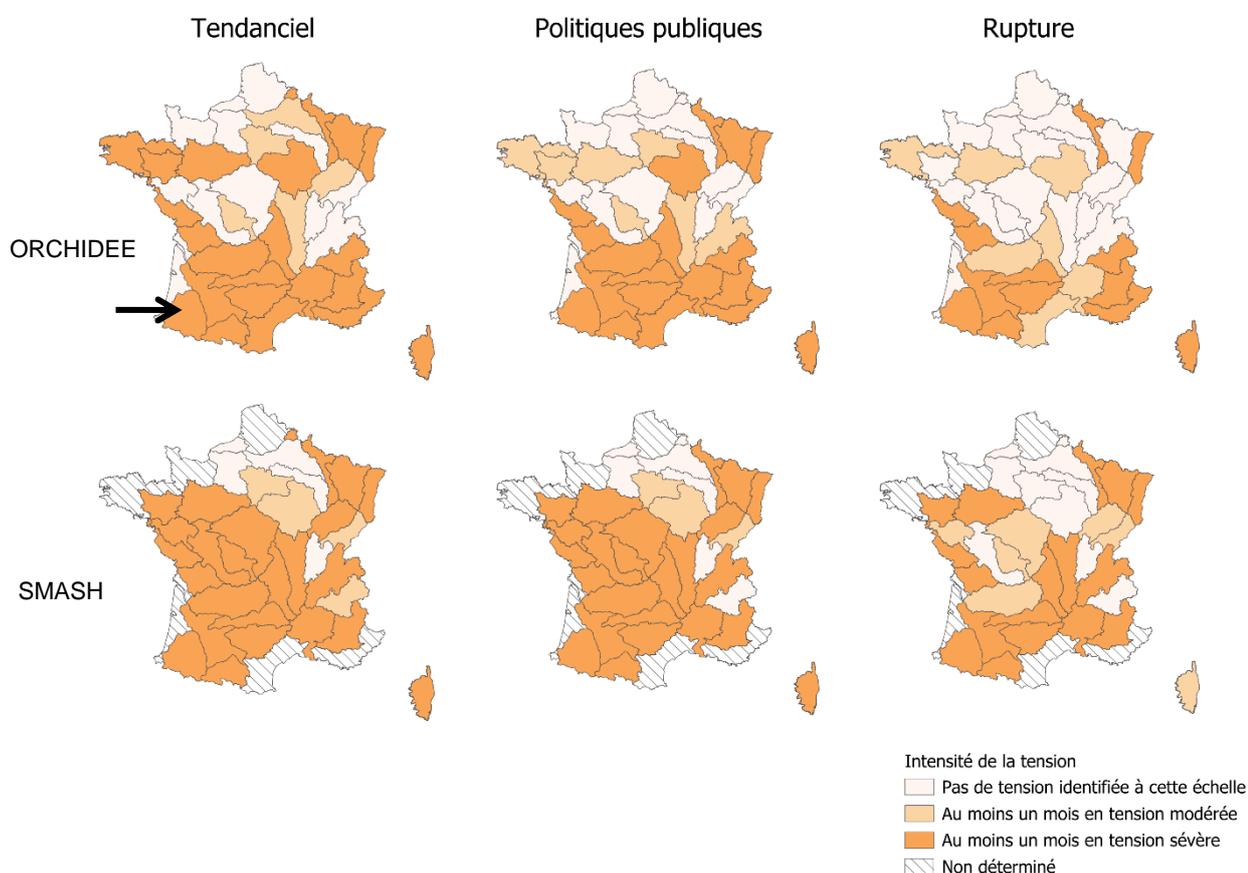
Source : HCSP

Dans les bassins versants où l'on a à la fois des prélèvements élevés en nappe et une réactivité importante des nappes du fait d'une connectivité étroite avec les rivières, ne considérer que les prélèvements en eau de surface pourrait conduire à sous-estimer les tensions.

2.3. Indice de tension hydrique sur les consommations

Dans cette partie, nous avons calculé le ratio entre les consommations et les volumes potentiellement disponibles, hors besoins environnementaux, pour une année marquée par un printemps-été sec en 2050. Nous considérons que la tension est modérée lorsque ce ratio est compris entre 10 % et 20 %, et sévère lorsqu'il est supérieur à 20 % (voir section 1.4). Lorsque le ratio est inférieur à 10 %, cela signifie que nous n'identifions pas de tension à notre échelle de travail, c'est-à-dire à l'échelle de nos quarante bassins versants et à l'échelle mensuelle. Cependant, plus localement et au cours de certains jours, des tensions peuvent exister⁶¹.

Carte 7 – Nombre de mois en tension sévère ou modérée en consommations pour une année marquée par un printemps-été sec en 2050 (modèles hydrologiques ORCHIDEE et SMASH) pour les trois scénarios d'usage



Note : pour le modèle SMASH, tous les bassins versants n'ont pas pu être analysés (en hachuré) faute de points de simulation en nombre suffisant dans ces territoires.

Lecture : à l'horizon 2050 dans le scénario tendanciel, le bassin versant de l'Adour (indiqué par une flèche) est en tension sévère au moins un mois de l'année.

Source : HCSP, selon la méthode décrite précédemment

⁶¹ Seuls les résultats relatifs à la projection « violet » sont présentés. Les résultats obtenus avec la projection « jaune » sont fournis en [Annexe 12](#).

Les tensions estimées via les consommations sont particulièrement visibles dans la moitié sud de la France avec le modèle hydrologique ORCHIDEE, ainsi que dans le bassin versants de la Loire avec le modèle hydrologique SMASH. Le scénario tendanciel présente la situation la plus défavorable avec 70 % des bassins versants en tension au moins un mois de l'année, contre 65 % des bassins versants dans le scénario politiques publiques et 50 % des bassins versants dans le scénario de rupture (avec le modèle hydrologique ORCHIDEE). La période de tension se concentre entre les mois de juin et d'août.

La zone sud-ouest est particulièrement concernée par des tensions sur l'indice estimé via les consommations, en raison de l'importance de l'irrigation agricole qui consomme 90 % environ de l'eau prélevée. Ainsi, dans le scénario tendanciel, pour une année marquée par un printemps-été sec, au mois de juillet plus de 85 % du bassin versant de l'Adour-Garonne pourrait être en situation de tension sévère sur les consommations. Ceci met en exergue le fait que la demande théorique calculée sur les consommations ne pourra pas être satisfaite.

Certains bassins versants, notamment dans le sud de la France, cumulent à la fois des tensions en prélèvements (ratio des volumes prélevés sur les volumes disponibles) et des tensions en consommations (ratio des volumes consommés sur les volumes disponibles). Par conséquent, ces territoires pourraient être particulièrement vulnérables dans le futur et une attention particulière devra être portée pour y contenir non seulement l'augmentation des prélèvements mais également celle des consommations.

Les relations entre les bassins versants amont et aval sont centrales, car les consommations de l'amont peuvent représenter un volume substantiel qui n'est alors plus disponible pour les bassins versants situés en aval (Tableau 5). À titre d'exemple, en 2050 dans le scénario tendanciel, pour le mois de juillet, dans le bassin versant Loire aval, les consommations des six bassins versants situés en amont représentent 138 millions de m³, à mettre en regard des consommations de 45 millions de m³ du bassin versant Loire aval. De même, dans le bassin versant du Rhône aval, les volumes consommés dans les six bassins versants amont s'élèvent à 136 millions de m³, à mettre en regard des 123 millions de m³ consommés dans le bassin du Rhône aval. Ces observations mettent en exergue la nécessité d'un dialogue et d'une solidarité entre les territoires amont et les territoires aval.

Tableau 5 – Volumes consommés en 2050 en aval et en amont des quatre principaux fleuves français dans le scénario tendanciel (modèle ORCHIDEE)

Bassin versant considéré	Volumes annuels consommés dans le bassin considéré (en millions de m ³)	Nombre de bassins versants amont	Volumes annuels consommés par les bassins versants amont (en millions de m ³)
Loire aval	164	6	643
Garonne aval	732	3	440
Rhône aval	516	6	492
Seine aval	27	4	289

Lecture : à l'horizon 2050, dans le scénario tendanciel, les consommations du bassin versant de la Loire aval s'élèveraient à 164 millions de m³ et les consommations totales des six bassins versants situés en amont à 643 millions de m³.

Source : HCSP, selon la méthode décrite précédemment

2.4. Indice croisant l'évolution des prélèvements et de la ressource

Nous avons calculé le ratio suivant pour comparer l'évolution des volumes mensuels potentiellement disponibles et l'évolution des prélèvements mensuels entre 2020 et 2050⁶².

$$\frac{1 + \% \text{ évolution de la ressource}}{1 + \% \text{ évolution des prélèvements}}$$

Ce ratio est inférieur à 1 lorsque la situation s'aggrave par rapport à la situation de référence (2020), c'est-à-dire dans l'un des trois cas suivants :

- lorsque la ressource diminue et la demande en prélèvements augmente. Cette situation représente la majorité des situations observées. Par exemple, dans le scénario tendanciel au cours du mois d'août, 60 % des bassins versants sont dans cette situation ;
- lorsque la ressource augmente, et la demande en prélèvements augmente plus fortement. Dans le scénario tendanciel au cours du mois d'août, 18 % des bassins versants sont dans cette situation ;
- lorsque la demande en prélèvements diminue, mais moins fortement que la ressource. Cette situation est très minoritaire. Par exemple, dans le scénario tendanciel au cours du mois d'août, 3 % des bassins versants sont dans cette situation.

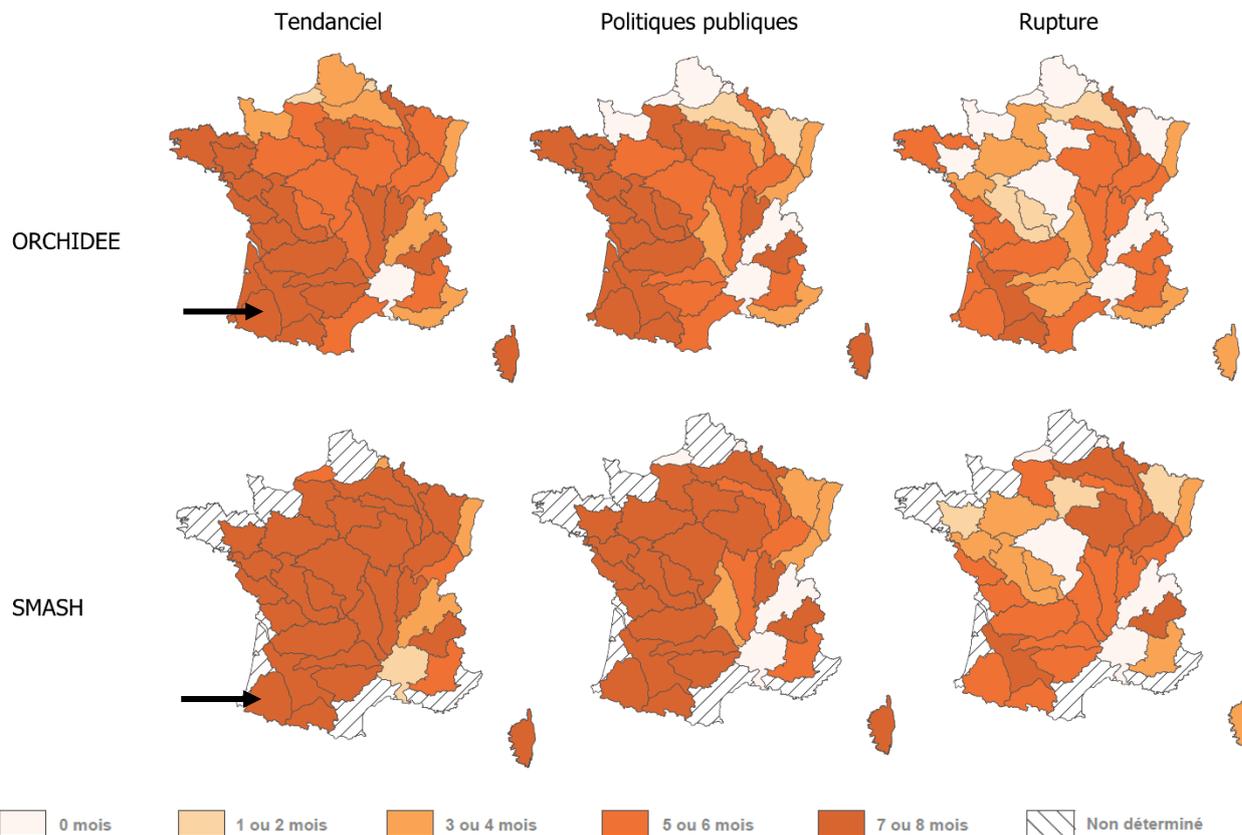
Il existe des bassins versants où la situation peut s'améliorer certains mois. Par exemple, dans le scénario tendanciel au cours du mois d'août, la situation s'améliore dans 19 % des bassins versants.

Cet indice croisé d'évolution de la demande en prélèvements et de la ressource met en évidence une amélioration de la situation dans la vallée du Rhône, notamment pour les scénarios d'usage politiques publiques et de rupture. Ceci est lié à une baisse importante des prélèvements pour le refroidissement des centrales nucléaires (du fait de la fermeture des centrales arrivant en fin de vie et de la modernisation des circuits de refroidissement), supérieure à la diminution des débits entre 2020 et 2050.

Le scénario de rupture permettrait de limiter l'aggravation de la situation hydrique. Ainsi, en août, avec le modèle ORCHIDEE, la situation s'aggrave dans 80 % des bassins versants (représentant 83 % du territoire) dans le scénario tendanciel, 73 % (représentant 74 % du territoire) dans le scénario politiques publiques et 53 % (représentant 53 % du territoire) dans le scénario de rupture (Carte 8).

⁶² Seuls les résultats relatifs à la projection « violet » sont présentés. Les résultats obtenus avec la projection « jaune » sont fournis en [Annexe 13](#).

Carte 8 – Nombre de mois où la situation hydrique calculée via les prélèvements s'aggrave entre 2020 et 2050, selon le modèle hydrologique (ORCHIDEE ou SMASH) et pour les trois scénarios d'usage



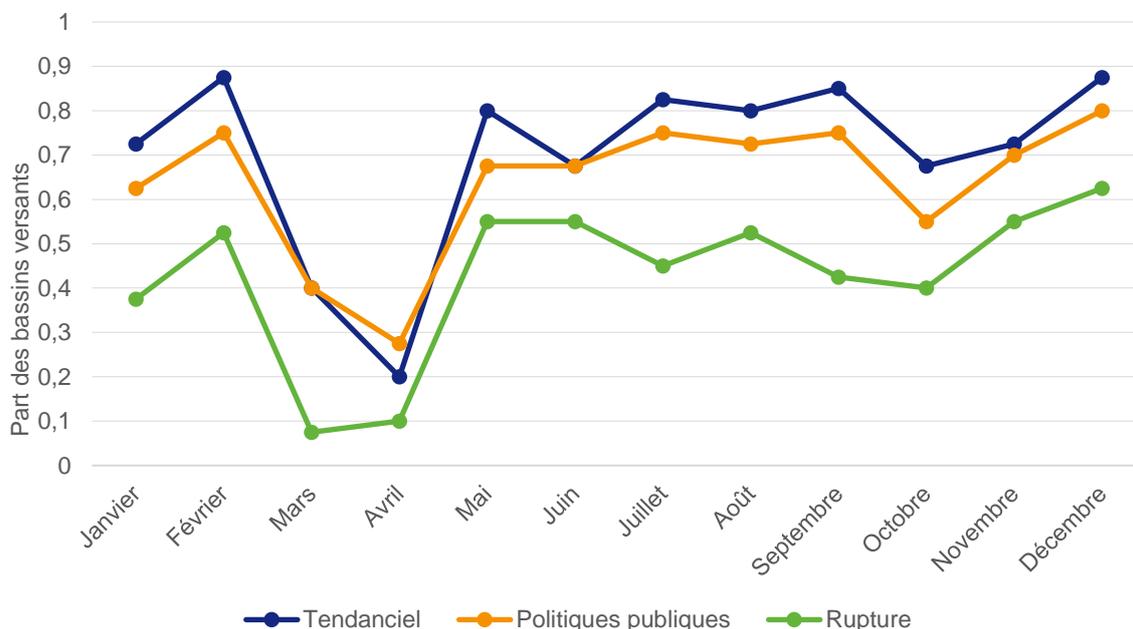
Note : pour le modèle SMASH, tous les bassins versants n'ont pas pu être analysés (en hachuré) faute de points de simulation en nombre suffisant dans ces territoires.

Lecture : à l'horizon 2050, dans le scénario tendanciel quel que soit le modèle hydrologique utilisé, la pression hydrique calculée via les prélèvements s'aggrave pendant plus de dix mois dans le bassin versant de l'Adour (indiqué par une flèche).

Source : HCSP, selon la méthode décrite précédemment

La dégradation de la situation s'observe tout au long de l'année, que ce soit en période estivale ou hivernale. En effet, nous constatons une aggravation de la situation hydrique dans plus de la moitié des bassins versants non seulement entre les mois de mai et septembre, mais également entre les mois d'octobre et de février (Graphique 6).

Graphique 6 – Proportion mensuelle de bassins versants (en %) où la situation hydrique calculée via les prélèvements se dégrade entre 2020 et 2050 (modèle ORCHIDEE) pour les trois scénarios d'usage



Lecture : à l'horizon 2050, dans le scénario tendanciel, la situation hydrique calculée via les prélèvements pourrait s'aggraver dans 83 % des bassins versants de France hexagonale et de Corse, en juillet.

Source : HCSP, selon la méthode décrite précédemment

Ces résultats soulignent le fait que la situation hydrique devrait probablement se dégrader entre les horizons temporels 2020 et 2050 sur la grande majorité du territoire de France hexagonale et de Corse, sous l'effet combiné d'une diminution de la ressource en eau et d'une augmentation de la demande en prélèvements. Seul le scénario de rupture permet de limiter cette aggravation, avec des périodes de tension moins longues et plus de 25 % du territoire où la situation s'améliore.

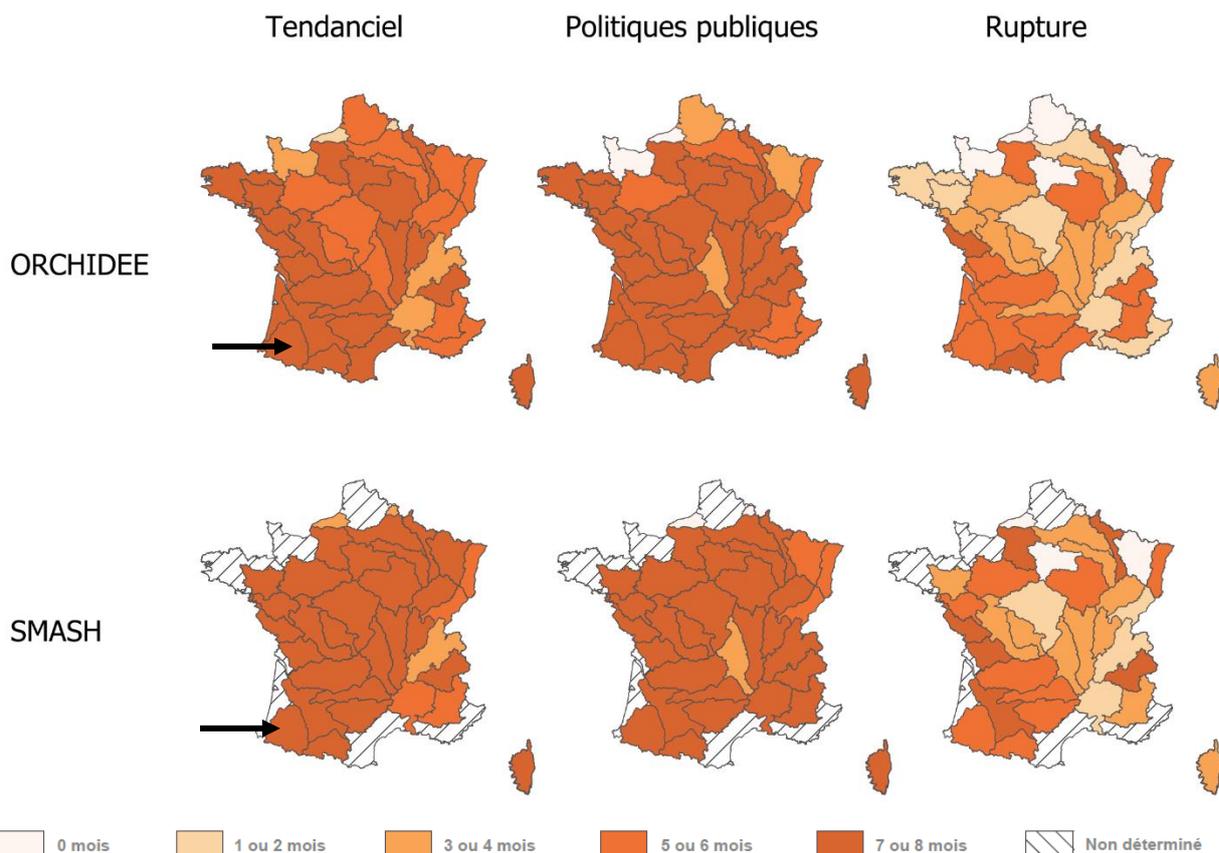
2.5. Indice croisant l'évolution des consommations et de la ressource

Pour compléter notre évaluation de la pression hydrique, nous avons également calculé le ratio entre l'évolution des volumes mensuels potentiellement disponibles et l'évolution des consommations mensuelles entre 2020 et 2050. Ce ratio est inférieur à 1 lorsque la situation s'aggrave par rapport à la situation de référence.

À la différence de l'indice croisé calculé sur les prélèvements, on constate que la situation se dégrade en matière de consommations pendant plus de dix mois de l'année entre 2020 et 2050 dans la vallée du Rhône, notamment dans le scénario politiques publiques (Carte 9). Ceci est lié au fait que l'implantation d'une paire de réacteurs nucléaires sur le site du Bugey et la modernisation des circuits de refroidissement des centrales nucléaires les plus anciennes situées dans la vallée du Rhône s'accompagnent d'une augmentation des consommations (mais pas des prélèvements). Plus généralement, l'indice croisé calculé sur

les consommations est plus défavorable que l'indice croisé sur les prélèvements. Ce résultat met en évidence que le seul indice croisé en prélèvements ne suffit pas pour identifier les tensions futures.

Carte 9 – Nombre de mois où la situation hydrique calculée via les consommations s'aggrave entre 2020 et 2050, selon le modèle hydrologique (ORCHIDEE ou SMASH) et pour les trois scénarios d'usage



Note : pour le modèle SMASH, tous les bassins versants n'ont pas pu être analysés (en hachuré) faute de points de simulation en nombre suffisant dans ces territoires.

Lecture : à l'horizon 2050, dans le scénario tendanciel quel que soit le modèle hydrologique utilisé, la pression hydrique calculée via les consommations s'aggrave pendant plus de dix mois dans le bassin versant de l'Adour (indiqué par une flèche).

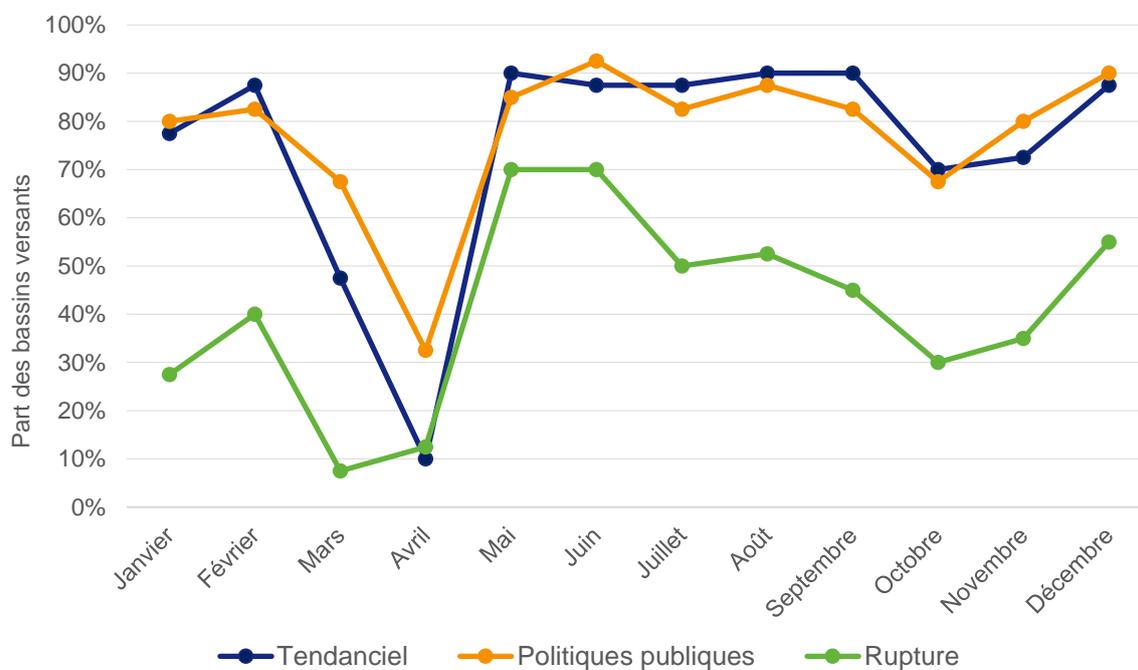
Source : HCSP, selon la méthode décrite précédemment

Seul le scénario de rupture permet de contenir l'aggravation de la situation hydrique en consommations à des durées inférieures à six mois dans la majorité des bassins versants (Carte 9). La dégradation de la situation hydrique calculée via les consommations est

particulièrement élevée en été, en raison de la consommation élevée d'eau pour l'irrigation agricole⁶³ (Graphique 7).

En août, cette dégradation touche 90 % des bassins versants (représentant 95 % du territoire) dans le scénario tendanciel, 88 % des bassins versants (représentant 93 % du territoire) dans le scénario politiques publiques et 53 % (représentant 54 % du territoire) dans le scénario de rupture. La croissance de la consommation pour l'irrigation est plus contenue dans le scénario de rupture (+42 % entre 2020 et 2050, contre +161 % dans le scénario tendanciel) sous l'effet combiné d'une régulation du développement de l'irrigation et de la croissance des surfaces en agroécologie qui permet de mieux stocker l'eau dans le sol et ainsi de réduire la demande en eau d'irrigation.

Graphique 7 – Proportion mensuelle (en %) de bassins versants où la situation hydrique calculée via les consommations se dégrade entre 2020 et 2050 (modèle ORCHIDEE) pour les trois scénarios d'usage



Lecture : à l'horizon 2050, dans le scénario tendanciel, la situation hydrique calculée via les consommations s'aggraverait dans 88 % des bassins versants de France hexagonale et de Corse, en juillet.

Source : HCSP, selon la méthode décrite précédemment

⁶³ L'eau prélevée pour l'irrigation est majoritairement consommée, car évapotranspirée, et n'est donc pas directement restituée au milieu après usage.

Conclusion

Les différents indices mobilisés dans ce travail ont permis de mettre en évidence plusieurs éléments.

Premièrement, du fait du changement climatique, les écosystèmes pourraient subir à l'horizon 2050 des situations de stress chronique plusieurs années consécutives sur tout le territoire hexagonal et plus particulièrement dans le sud-ouest et le sud-est de la France. Comme la capacité des écosystèmes à faire face à un stress dépend étroitement de leur diversité et de leur richesse, il s'avère essentiel de conduire dès à présent des actions de protection et de restauration ambitieuses. En outre, les prélèvements humains accroîtront cette pression sur les milieux : un effort de sobriété s'impose.

Deuxièmement, à l'horizon 2050 pour une année marquée par un printemps-été sec (et avec la projection climatique la plus défavorable étudiée), sans inflexion des tendances actuelles (scénario tendanciel), selon l'indice de tension hydrique en prélèvements, 88 % du territoire hexagonal seraient en situation de tension modérée ou sévère, en été. Dans le scénario de rupture, qui se caractérise par une société sobre en matière d'eau dans tous les secteurs d'activité, 64 % du territoire hexagonal seraient en situation de tension hydrique. À titre de comparaison, en 2022, année particulièrement sèche, les mesures de restriction effectivement mise en œuvre des usages de l'eau via des arrêtés sécheresse s'appliquaient début septembre à 86 % du territoire hexagonal, avec pour 50 % du territoire des mesures de crise, pour 23 % des mesures d'alerte renforcée et pour 13 % des mesures d'alerte.

Troisièmement, la tension hydrique en consommations pourrait être particulièrement importante dans le sud-ouest et le sud-est de la France, en raison de la part importante de l'eau consommée, c'est-à-dire de l'eau évapotranspirée, du fait notamment de l'irrigation des cultures. Ainsi, dans le scénario tendanciel, pour une année marquée par un printemps-été sec, au mois de juillet plus de 85 % du bassin hydrographique de l'Adour-Garonne pourrait être en situation de tension sévère sur les consommations. Le territoire de l'Adour-Garonne apparaît particulièrement vulnérable car il cumule des situations de tensions hydriques non seulement en prélèvements mais également en consommations.

Quatrièmement, la situation hydrique calculée via les prélèvements devrait probablement se dégrader en été et en hiver, entre les horizons temporels 2020 et 2050 dans la grande majorité du territoire de France hexagonale et de Corse, et ce pendant plus de six mois dans l'année, sous l'effet combiné d'une diminution de la ressource en eau et d'une augmentation de la demande en prélèvements. Seul le scénario de rupture permet de limiter cette aggravation, avec des périodes de tension moins longues et plus de 25 % du territoire où la situation s'améliore.

Cinquièmement, la situation hydrique calculée via les consommations permet d'identifier des situations de dégradation non mises en évidence si l'on ne considère que les prélèvements. Ainsi, une aggravation de la situation hydrique en matière de consommations, notamment pour la production d'énergie (implantation de nouveaux réacteurs nucléaires et modernisation des circuits de refroidissement simulées dans le scénario politiques publiques), peut être observée. La dégradation de la situation hydrique est particulièrement

élevée en été sur tout le territoire, notamment du fait de la croissance de la demande en eau d'irrigation. Seul le scénario de rupture, caractérisé par une croissance des surfaces équipées en irrigation contenue et par le développement soutenu de l'agroécologie, permet de limiter l'aggravation de la situation avec, en été, la moitié du territoire en situation dégradée – contre la quasi-totalité dans le scénario tendanciel.

Ces constats appellent à la planification dès aujourd'hui d'une transformation radicale des usages afin de limiter les pressions sur les écosystèmes et les conflits qui pourraient s'intensifier entre les différents usagers de l'eau. Afin de réduire les tensions, tous les leviers, du réglementaire aux dispositifs d'accompagnement en passant par les incitations, doivent être étudiés. Ces tensions pourraient de surcroît être aggravées par la dégradation de la qualité de l'eau⁶⁴, qui de fait réduirait la quantité d'eau disponible pour les différents usages humains.

Des études locales doivent être conduites afin d'identifier plus finement non seulement les volumes potentiellement disponibles, en intégrant les nappes (qui n'ont pas été considérées dans ce travail), mais également les différentes demandes. Cette connaissance est aujourd'hui indispensable si l'on souhaite organiser un partage de l'eau le plus juste possible, associant étroitement toutes les parties prenantes. C'est bien l'objectif des schémas d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE) et des projets de territoire pour la gestion de l'eau (PTGE).

⁶⁴ Par exemple, une diminution des débits en période d'étiage s'accompagnerait, toutes choses égales par ailleurs, d'un effet de dilution moindre et donc d'une augmentation des concentrations en micropolluants.

Annexe 1

Part des prélèvements en eaux de surface et en eaux souterraines

Pour chaque bassin versant, nous avons utilisé la même répartition des prélèvements entre eaux de surface et eaux souterraines (Tableau A1).

Tableau A1 – Répartition des prélèvements entre eaux de surface et eaux souterraines pour chaque bassin versant, pour 2020 et 2050

	Eaux de surface	Eaux souterraines
Adour	50 %	50 %
Allier	68 %	32 %
Côtiers normands	46 %	54 %
Charente	42 %	58 %
Corse	60 %	40 %
Côtiers aquitains et charentais	14 %	86 %
Côtiers artois	17 %	83 %
Côtiers bretons	75 %	25 %
Côtiers Côte d'Azur	75 %	25 %
Côtiers du Languedoc	67 %	33 %
Côtiers sud Loire	56 %	44 %
Creuse	60 %	40 %
Dordogne	57 %	43 %
Doubs	79 %	21 %
Durance	77 %	23 %
Escaut	55 %	45 %
Garonne amont	77 %	23 %
Garonne aval	67 %	33 %
Isère et Drôme	48 %	52 %
Loire aval	60 %	40 %
Loire moyenne	48 %	52 %
Loire source	80 %	20 %
Lot	76 %	24 %
Marne	84 %	16 %
Mayenne	33 %	67 %
Meuse	88 %	12 %

	Eaux de surface	Eaux souterraines
Moselle	87 %	13 %
Oise	73 %	27 %
Rhin	84 %	16 %
Rhône amont	92 %	8 %
Rhône aval	97 %	3 %
Rivière Île-de-France	75 %	25 %
Sambre	87 %	13 %
Saône amont	78 %	22 %
Saône aval	43 %	57 %
Seine amont	74 %	26 %
Seine aval	72 %	28 %
Tarn	81 %	19 %
Vienne	52 %	48 %
Vilaine	71 %	29 %

Source : calculs HCSP, d'après les données de la [BNPE](#)

Annexe 2

Régimes hydrologiques

Tout d'abord, les régimes hydrologiques de chaque bassin versant autour de 2020 (période 2011-2030) ont été déterminés en comparant le débit mensuel moyen sur vingt ans au débit moyen annuel sur vingt ans, avec le modèle hydrologique ORCHIDEE et avec le modèle SMASH. Les mois de bas débit, de haut débit et de débit intermédiaire sont déterminés comme suit :

- les mois de bas débit sont les mois dont le débit simulé est inférieur ou égal à 40 % du débit moyen annuel ;
- les mois de haut débit sont les mois dont le débit simulé est strictement supérieur à 80 % du débit moyen annuel ;
- les autres mois sont considérés comme des mois de débit intermédiaire⁶⁵.

Ensuite les besoins environnementaux sont estimés comme une proportion du débit en fonction du régime hydrologique mensuel. Ils sont de : 30 % pour les mois de haut débit ; 45 % pour les mois de débit intermédiaire ; 60 % pour les mois de bas débit.

Les résultats obtenus avec le modèle ORCHIDEE et avec le modèle SMASH sont présentés dans le Tableau A2.

Tableau A2 – Proportion (en %) des volumes mensuels pour les besoins environnementaux par bassin versant autour de 2020 pour la projection « violet »

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Selon le modèle ORCHIDEE												
Adour	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	60 %	45 %	30 %	30 %
Allier	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	45 %	45 %	45 %	30 %
Côtiers normands	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	60 %	60 %	45 %	45 %	30 %
Charente	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	60 %	45 %	30 %	30 %
Corse	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	60 %	60 %	45 %	30 %	30 %
Côtiers aquitains	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	60 %	60 %	30 %	30 %
Côtiers Artois	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	45 %	60 %	60 %	60 %	45 %	30 %
Côtiers bretons	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	60 %	60 %	60 %	30 %	30 %
Côtiers côte d'Azur	30 %	45 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	60 %	60 %	30 %	30 %	30 %
Côtiers Languedoc	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	60 %	45 %	30 %	30 %	30 %
Côtiers Loire	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	60 %	60 %	45 %	30 %	30 %

⁶⁵ Pastor A. V., Ludwig F., Biemans H. et al. (2014), « [Accounting for environmental flow requirements in global water assessments](#) », *Hydrology and Earth System Science*, vol. 18(12), p. 5041-5059.

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Creuse	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	60 %	60 %	45 %	30 %
Dordogne	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	60 %	45 %	30 %	30 %
Doubs	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	30 %	45 %	60 %	60 %	45 %	30 %	30 %
Durance	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	60 %	60 %	45 %	30 %	30 %	30 %
Escaut	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	45 %	60 %	60 %	45 %	45 %	30 %
Garonne amont	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	60 %	30 %	45 %	30 %
Garonne aval	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	60 %	45 %	30 %	30 %
Isère	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	60 %	45 %	30 %	30 %
Loire aval	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	45 %	60 %	45 %	45 %	30 %
Loire moyenne	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	45 %	45 %	30 %
Loire source	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	60 %	60 %	45 %	45 %	30 %
Lot	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	60 %	45 %	30 %	30 %
Marne	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	45 %	60 %	60 %	45 %	30 %	30 %
Mayenne	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	60 %	45 %	45 %	30 %
Meuse	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	45 %	60 %	60 %	60 %	30 %	30 %
Moselle	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	45 %	60 %	60 %	60 %	30 %	30 %
Oise	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	45 %	60 %	60 %	60 %	45 %	30 %
Rhin	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	45 %	60 %	45 %	45 %	30 %
Rhône amont	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	60 %	60 %	45 %	30 %	30 %
Rhône aval	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	60 %	45 %	30 %	30 %
Rivières Île-de-France	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	45 %	60 %	60 %	45 %	30 %	30 %
Sambre	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	45 %	60 %	60 %	60 %	45 %	30 %
Saône amont	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	45 %	60 %	60 %	45 %	30 %	30 %
Saône aval	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	45 %	60 %	60 %	45 %	30 %	30 %
Seine amont	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	45 %	60 %	60 %	45 %	30 %	30 %
Seine aval	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	45 %	60 %	60 %	45 %	45 %	30 %
Tarn	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	60 %	45 %	30 %	30 %
Vienne	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	45 %	45 %	30 %
Vilaine	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	60 %	60 %	45 %	45 %	30 %

Selon le modèle SMASH

Adour	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	60 %	45 %	30 %	30 %
Allier	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	60 %	45 %	30 %	30 %
Côtiers normands	NA											
Charente	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	60 %	60 %	60 %	30 %
Corse	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	60 %	60 %	30 %	30 %	30 %
Côtiers aquitains	NA											
Côtiers Artois	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	45 %	45 %	45 %	30 %

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Côtiers bretons	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Côtiers côte d'Azur	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Côtiers Languedoc	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Côtiers Loire	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	60 %	60 %	60 %	30 %	30 %
Creuse	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	60 %	60 %	30 %	30 %
Dordogne	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	60 %	60 %	30 %	30 %
Doubs	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	45 %	60 %	60 %	45 %	30 %	30 %
Durance	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	60 %	45 %	30 %	30 %
Escaut	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Garonne amont	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	60 %	45 %	30 %	30 %
Garonne aval	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	60 %	45 %	30 %	30 %
Isère	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	45 %	45 %	45 %	30 %
Loire aval	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	60 %	60 %	45 %	30 %
Loire moyenne	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	60 %	60 %	45 %	30 %
Loire source	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	60 %	45 %	30 %	30 %
Lot	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	60 %	60 %	30 %	30 %
Marne	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	45 %	60 %	60 %	60 %	45 %	30 %
Mayenne	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	60 %	60 %	30 %	30 %
Meuse	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	45 %	60 %	60 %	60 %	45 %	30 %
Moselle	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	45 %	60 %	60 %	60 %	30 %	30 %
Oise	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	45 %	60 %	60 %	45 %	30 %
Rhin	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	45 %	30 %
Rhône amont	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	60 %	60 %	45 %	30 %	30 %
Rhône aval	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	60 %	30 %	30 %
Rivières Île-de-France	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	45 %	60 %	60 %	45 %	30 %
Sambre	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	45 %	60 %	60 %	60 %	45 %	30 %
Saône amont	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	45 %	60 %	60 %	60 %	30 %	30 %
Saône aval	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	45 %	60 %	60 %	60 %	30 %	30 %
Seine amont	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	60 %	60 %	45 %	30 %
Seine aval	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	45 %	60 %	60 %	45 %	30 %
Tarn	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	60 %	60 %	30 %	30 %
Vienne	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	60 %	60 %	45 %	30 %
Vilaine	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	45 %	60 %	60 %	60 %	60 %	45 %	30 %

NA = non déterminé, car les points de simulation ne le permettent pas.

Source : calculs HCSP, d'après les données DRIAS eau

Les besoins environnementaux annuels estimés via les deux modèles sont relativement proche (différence inférieure à 20 %), excepté dans quelques bassins versants (Tableau A3) : Corse, Charente, Côtiers Artois, Loire moyenne, Mayenne, Rhône amont et Vienne.

Tableau A3 – Besoins environnementaux en volume annuel (en millions de m³) estimés avec les modèles ORCHIDEE et SMASH

	ORCHIDEE	SMASH
Adour	3 769	3 184
Allier	1 916	1 650
Côtiers normands	1 369	NA
Charente	1 076	631
Corse	923	1 208
Côtiers aquitains et charentais	1 218	NA
Côtiers artois	195	147
Côtiers bretons	1 981	NA
Côtiers de Côte d'Azur	1 321	NA
Côtiers du Languedoc	1 914	NA
Côtiers sud Loire	802	704
Creuse	1 302	1 045
Dordogne	4 211	3 695
Doubs	2 008	1 888
Durance	1 737	1 753
Escaut	1 410	NA
Garonne amont	1 694	1 712
Garonne aval	6 933	5 679
Isère et Drôme	3 309	3 493
Loire aval	13 000	10 710
Loire moyenne	7 170	5 345
Loire source	2 705	2 224
Lot	1 732	1 680
Marne	1 282	1 115
Mayenne	1 756	1 182
Meuse	1 650	1 675
Moselle	2 430	2 087
Oise	1 558	1 301
Rhin	11 134	10 598
Rhône amont	13 307	7 750
Rhône aval	21 395	20 655
Rivières d'Île-de-France	6 215	5 221
Sambre	127	136
Saône amont	2 171	1 828
Saône aval	5 678	5 022
Seine amont	2 417	1 946
Seine aval	7 275	5 998
Tarn	1 901	1 750
Vienne	10 227	8 098
Vilaine	995	826

Source : calculs HCSP, d'après les données DRIAS eau

Annexe 3

Ouvrages de transfert et de régulation

Les ouvrages de régulation permettent de stocker la ressource à un instant donné afin de la rendre disponible plus tard. Lorsque le volume est stocké dans l'ouvrage, cela diminue le débit en aval, et inversement lorsque le volume est déstocké, le débit en aval augmente.

Dans le cadre de cette étude, nous avons intégré les principaux ouvrages de régulation existants. Pour ce faire, nous avons eu recours aux données provenant de l'inventaire national des plans d'eau⁶⁶ (INPE). Nous avons récupéré les données mensuelles de stockage des 369 plans d'eau artificiels les plus importants – ils représentent plus d'un quart de la capacité de stockage en France. Sur ces 369 ouvrages, 309 disposent d'un jeu de données complet.

Pour chaque mois de l'année et pour les 309 ouvrages disposant d'un jeu de données complet, nous avons calculé un volume moyen de stockage sur la période 2017-2022. Cela permet d'obtenir une capacité moyenne de stockage et déstockage pour chaque ouvrage.

Les ouvrages dont le volume de stockage ou déstockage mensuel est inférieur à 1 % du volume potentiellement disponible dans le bassin versant n'ont pas été considérés, compte tenu de leur poids marginal. Finalement, les ouvrages de régulation ont été intégrés dans 24 bassins versants (Tableau A4).

Pour chacun de ces bassins versants, la dynamique de stockage ou déstockage mensuel des différents ouvrages suit la dynamique hydrologique estimée à l'horizon 2050 avec la projection climatique « violet » (les régimes hydrologiques sont décrits dans l'Annexe 2). Ainsi, pour chaque bassin versant :

- lors d'un mois de haut débit, les ouvrages sont en situation de stockage de la ressource en eau. Le volume de stockage du mois considéré est calculé comme le volume total de stockage sur l'année divisé par le nombre de mois de haut débit que présente le bassin versant ;
- lors d'un mois de bas débit, les ouvrages sont en situation de déstockage de la ressource, ceci notamment de façon à assurer un soutien d'étiage. Le volume de déstockage du mois considéré est calculé comme le volume total de déstockage sur l'année divisé par le nombre de mois de bas débit que présente le bassin versant ;
- lors d'un mois de débit intermédiaire, aucun volume n'est stocké ou déstocké.

Ces volumes restent théoriques puisqu'ils considèrent que l'ouvrage est nécessairement rempli pendant la période hivernale (selon le remplissage moyen calculé sur la période 2017-2022) et ils ne tiennent pas compte des tensions hydriques des années précédentes, qui peuvent conduire à un taux de remplissage très bas. Ainsi, ces volumes pourraient être surestimés.

⁶⁶ Kosuth P. et Ménager T. (2024), *Inventaire national des plans d'eau*, IGEDD. Les auteurs remercient également Gaël Nicolas (CS-Group) pour l'accès aux données.

Par ailleurs, les données de stockage et déstockage incluent les projets futurs identifiés dans les bassins hydrographiques Adour-Garonne⁶⁷ (+320 millions de mètres cubes) et Loire-Bretagne⁶⁸ (+ 30 millions de mètres cubes). Pour le bassin Adour-Garonne, les volumes ont été répartis au prorata des volumes actuels de stockage de chacun des bassins versants. Pour le bassin Loire-Bretagne, les volumes ont été répartis équitablement entre les bassins versants de Loire source et de l'Allier⁶⁹.

Pour chaque bassin versant, la variation du volume stocké mensuel dans l'ensemble des ouvrages est ajoutée ou retirée de la ressource en eau de surface disponible dans le bassin versant.

Tableau A4 – Volumes mensuels stockés et déstockés en millions de mètres cubes

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
<i>Pour le modèle ORCHIDEE</i>												
Adour	-11	-11	-11	-11	-11	-11	0	25	25	25	0	-11
Allier	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	0	90	0	0	0
Charente	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	4	4	0	-1	-1
Creuse	-2	-2	-2	-2	-2	-2	0	6	6	0	0	-2
Dordogne	-11	-11	-11	-11	-11	-11	0	26	26	26	0	-11
Garonne amont	-27	-27	-27	-27	-27	-27	0	55	55	55	0	0
Garonne aval	-39	-39	-39	-39	-39	-39	0	106	106	27	0	-4
Isère	-20	-20	-20	-20	-20	-20	0	80	80	0	-20	-20
Loire aval	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-9	59	125	0	-7	-17
Loire moyenne	-6	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-9	29	90	0	-7
Loire source	-7	-7	-7	-7	-7	-7	0	28	28	0	-7	-7
Lot	-8	-8	-8	-8	-8	-8	0	27	27	0	0	-8
Moselle	-2	-2	-2	-2	-2	-2	0	5	5	5	-2	-2
Sambre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tarn	-30	-30	-30	-30	-30	-30	0	90	90	0	0	0
Vienne	-6	-6	-6	-6	-6	-6	0	20	20	0	0	-6
Vilaine	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	3	3	0	0	-1
Côtiers aquitains	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Côtiers bretons	-2	-2	-2	-2	-2	0	2	2	2	2	0	-2
Côtiers Côte d'Azur	-3	-3	-3	-3	-3	-3	0	10	10	-3	-3	0
Côtiers Languedoc	-7	-7	-7	-7	-7	-7	21	21	21	-7	-7	-7
Côtiers normands	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Côtiers sud Loire	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	5	5	0	-1	-1

⁶⁷ Auverlot D., Follenfant P., Joly A. et Le Coz C. (2021), *Conditions de mobilisation des retenues hydroélectriques pour le soutien d'étiage dans le bassin Adour-Garonne*, rapport CGEDD n° 013099-01 et CGAAER n° 19109, juin.

⁶⁸ Auverlot D., Bernhard C. et Neveü A. (2022), *Les conditions de mobilisation des retenues hydroélectriques pour le soutien d'étiage sur le bassin de Loire-Bretagne*, rapport IGEDD n° 014269-01 et CGAAER n° 22017, novembre.

⁶⁹ *Ibid.*

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Pour le modèle SMASH												
Adour	-11	-11	-11	-11	-11	-11	0	25	25	25	0	-11
Allier	-11	-11	-11	-11	-11	-11	0	30	30	30	-11	-11
Charente	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	2	2	2	2	0
Creuse	-2	-2	-2	-2	-2	-2	0	4	4	4	0	-2
Dordogne	-11	-11	-11	-11	-11	-11	0	26	26	26	0	-11
Garonne amont	-27	-27	-27	-27	-27	-27	0	55	55	55	0	0
Garonne aval	-36	-36	-36	-36	-36	-36	0	80	80	80	0	-23
Isère	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Loire aval	-24	-24	-24	-24	-24	-24	15	57	57	57	-15	-24
Loire moyenne	-7	-15	-15	-15	-15	-15	-15	15	35	35	35	-15
Loire source	-7	-7	-7	-7	-7	-7	14	14	14	14	-7	-7
Lot	-8	-8	-8	-8	-8	-8	0	18	18	18	0	-8
Moselle	-2	-2	-2	-2	-2	0	3	3	3	3	-2	-2
Sambre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tarn	-26	-26	-26	-26	-26	-26	0	60	60	60	0	-26
Vienne	-6	-6	-6	-6	-6	-6	0	14	14	14	0	-6
Vilaine	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	0	-1
Côtiers sud Loire	-2	-2	-2	-2	-2	0	3	3	3	3	-2	-2

Source : calculs HCSP, d'après les données INPE

Nous avons également intégré les transferts qui n'étaient pas directement reliés à un usage (tels que la production hydroélectrique et le soutien d'étiage) et que nous n'avions donc pas pris en compte dans le volet usages. Ces volumes ont été soustraits dans les bassins versants de départ et ajoutés dans les bassins versants d'arrivée (Tableau A5).

Tableau A5 – Volumes mensuels transférés entre bassins versants à l'horizon 2050, en millions de mètres cubes

Ouvrage	Bassin versant départ	Bassin versant arrivée	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Pour le modèle ORCHIDEE														
Barrage de Montpezat	Loire source	Rhône aval	-29	-29	-29	-29	-26	0	0	0	0	0	-29	-29
Canal EDF	Durance	la mer	-176	-167	-102	-56	-46	-28	-19	-19	-19	-93	-93	-111
Pour le modèle SMASH														
Barrage de Montpezat	Loire source	Rhône aval	-29	-29	-29	-29	-26	0	0	0	0	0	-29	-29
Canal EDF	Durance	la mer	-176	-167	-102	-56	-46	-28	-19	-19	-19	-56	-93	-148

Source : calculs HCSP, d'après les données de GIPREB et de l'ERN

Annexe 4

Synthèse bibliographique sur les indices de tension hydrique

Publication	Indice de ratio entre demande en eau et eau disponible	Territoire	Besoins environnementaux
Casadei S., Peppoloni F. et Pierleoni A. (2020), « A new approach to calculate the Water Exploitation Index (WEI+) », <i>Water</i> , vol. 12(11), novembre.	(volumes prélevés – restitutions) / (volumes renouvelables – besoins environnementaux) Pas de temps : mensuel > 40 % : stress sévère	Trois bassins versants d'environ 100 km ² (Italie)	Méthode FDC (<i>flow duration curve</i>)
Liu J., Liu Q. et Yang H. (2016), « Assessing water scarcity by simultaneously considering environmental flow requirements, water quantity, and water quality », <i>Ecological Indicators</i> , vol. 60, p. 434-441.	(Volumes prélevés * facteur consommation) / (Volumes eau bleue totale – besoins environnementaux) Pas de temps : mensuel Stress si > 1	Un bassin versant en Chine	Méthode de Tennant
Nogueira-Sondemann M. et Proença de Oliveira R. (2022), « Using the WEI+ index to evaluate water scarcity at highly regulated river basins with conjunctive uses of surface and groundwater resources », <i>Science of the Total Environment</i> , vol. 836, août.	(volumes prélevés – restitutions) / (volumes renouvelables – besoins environnementaux) Pas de temps : mensuel < 20 % : stress faible Entre 20 % et 40 % : stress modéré > 40 % : stress sévère	Seize bassins versants en Espagne et au Portugal	10 % du débit mensuel naturalisé long terme sur la période 1960/1961-2015/2016
Vanham D., Alfieri L., Flörke M. <i>et al.</i> (2021), « The number of people exposed to water stress in relation to how much water is reserved for the environment: A global modelling study », <i>The Lancet – Planet Health</i> , vol. 5(11), novembre, p. 766-774.	Volumes prélevés / (volumes renouvelables – besoins environnementaux) Pas de temps : mensuel Stress si > 1	Monde	Trois méthodes différentes testées
Zhang W., Zhao X., Gao X. <i>et al.</i> (2025), « Spatially explicit assessment of water stress and potential mitigating solutions in a large water-limited basin: The Yellow River basin in China », <i>Hydrology and Earth System Sciences</i> , vol. 29(2), p. 507-524.	Volumes prélevés / (volumes renouvelables – besoins environnementaux) Pas de temps : mensuel Les consommations amont sont soustraites des volumes renouvelables aval. Calcul du nombre de mois avec un ratio > 1	Un bassin versant en Chine de 795 000 km ² , divisé en 425 sous-bassins	Méthode de Pastor
Alcamo J. et Henrichs T. (2002), « Critical regions: A model-based estimation of world water resources sensitive to global changes », <i>Aquatic Sciences</i> , vol. 64, décembre, p. 352-362.	Volumes prélevés / volumes renouvelables Pas de temps : annuel < 20 % : stress faible Entre 20 % et 40 % : stress modéré > 40 % : stress sévère	Monde	Non déterminés
Alvarez-Garreton C., Boisier J.-P., Billi M. <i>et al.</i> (2023), « Protecting environmental flows to achieve long-term water security », <i>Journal of Environmental Management</i> , vol. 328, février.	Volumes prélevés / volumes disponibles Pas de temps : mensuel <40 % : stress faible Entre 40 % et 70 % : stress modéré >70 % : stress sévère	277 bassins versants au Chili	Méthode de Tennant et méthode FDC

Publication	Indice de ratio entre demande en eau et eau disponible	Territoire	Besoins environnementaux
Brauman K. A., Richter B. D., Postel S. <i>et al.</i> (2016), « Water depletion: An improved metric for incorporating seasonal and dry-year water scarcity into water risk assessments », <i>Elementa: Science of the Anthropocene</i> , vol. 4, janvier.	Volumes prélevés / volumes renouvelables (en intégrant les ouvrages de régulation) Pas de temps : mensuel et annuel Un déficit saisonnier est considéré quand au moins un mois présente un ratio > 75 %	Monde	Non déterminés
Hanasaki N., Kanae S., Oki T. <i>et al.</i> (2008), « An integrated model for the assessment of global water resources – Part 1: Model description and input meteorological forcing », <i>Hydrology and Earth System Sciences</i> , vol. 12(4), p. 1007-1025.	Volumes prélevés / volumes renouvelables Pas de temps : annuel	32 bassins versants	Méthode de Tennant
Henrichs T., Lehner B. et Alcamo J. (2002), « An integrated analysis of changes in water stress in Europe », <i>Integrated Assessment</i> , vol. 3(1), p. 15-29.	Volumes prélevés / volumes disponibles Pas de temps : annuel < 20 % : stress faible Entre 20 % et 40 % : stress modéré > 40 % : stress sévère	Toute l'Union européenne	Non déterminés
Hoekstra A. Y., Mekonnen M. M., Chapagain A. K. <i>et al.</i> (2012), « Global monthly water scarcity: Blue water footprints versus blue water availability », <i>PLoS ONE</i> , vol. 7(2), février.	Volumes consommés (eau surface et eau souterraine) / volumes renouvelables Pas de temps : mensuel < 20 % : stress faible Entre 20 % et 30 % : stress modéré Entre 30 % et 40 % : stress significatif > 40 % : stress sévère	Monde (405 bassins versants)	Non déterminés. Il est considéré qu'au minimum 80 % des débits doivent être laissés dans les milieux pour le fonctionnement des écosystèmes
Steffen W., Richardson K., Rockström J. <i>et al.</i> (2015), « Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet », <i>Science</i> , vol. 347(6223), janvier.	Volumes prélevés / volumes renouvelables Les seuils de stress sont déterminés en fonction des besoins environnementaux : • 25 % en période de basses eaux • 40 % en période d'eaux intermédiaires • 55 % en période de hautes eaux	Monde	Intégrés dans les seuils définis en s'inspirant de la méthode de Pastor
Zamani Sabzi H., Moreno H. A., Fovarguea R. <i>et al.</i> (2019), « Comparison of projected water availability and demand reveals future hotspots of water stress in the Red River basin, USA », <i>Journal of Hydrology: Regional Studies</i> , vol. 26, déc.	(1 + évolution eau renouvelable) / (1+ évolution prélèvements) Pas de temps : annuel	Un bassin versant de 233 000 km ²	Non déterminés
Wada Y., van Beek L. P. H., Viviroli D. <i>et al.</i> (2011), « Global monthly water stress: Water demand and severity of water stress », <i>Water Resources Research</i> , vol. 47(7), juillet.	Volumes prélevés / volumes renouvelables disponibles (en intégrant les ouvrages de régulation et les consommations amont) Pas de temps : mensuel < 20 % : stress faible Entre 20 % et 40 % : stress modéré > 40 % : stress sévère	Monde	Non déterminés

Source : auteurs

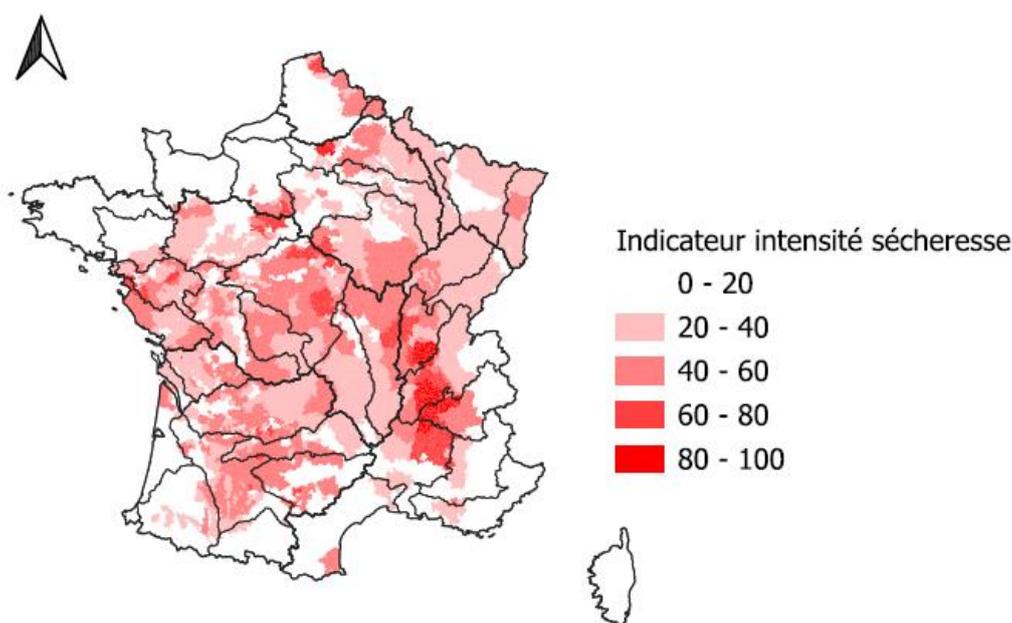
Annexe 5

Cartes des arrêtés sécheresse en 2020 et des zones en déficit

Afin de pouvoir comparer les résultats obtenus à l'horizon 2050 avec les zones de tension identifiées actuellement, nous présentons la carte du score de gravité sécheresse (année 2020) ainsi que la carte des zones de répartition des eaux.

Le score de gravité sécheresse est calculé par le ministère de la Transition écologique, toutes ressources confondues (de surface et souterraine). Il croise le niveau de gravité des arrêtés sécheresse pris au cours de l'année et leur durée⁷⁰. Les arrêtés sécheresse sont pris par les préfets sur le fondement d'observations (débits, relevés piézométriques, assecs...). En 2020, les niveaux de gravité sont particulièrement élevés dans la vallée du Rhône (Carte A1).

Carte A1 – Indicateur d'intensité de la sécheresse pour l'année 2020

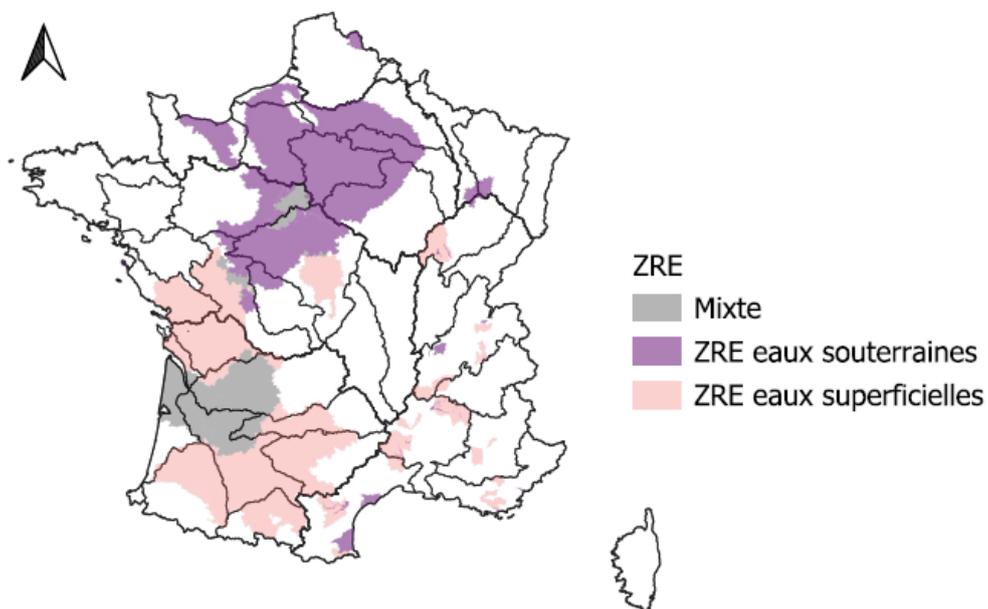


Source : HCSP, d'après les données « [Intensité des sécheresses passées](https://vigieau.gouv.fr/donnees/) » de [VigiEau.gouv.fr](https://vigieau.gouv.fr)

Les zones de répartition des eaux (ZRE) sont définies comme des zones dans lesquelles des déficits quantitatifs chroniques de la ressource en eau sont observés. Sur les nappes, les ZRE se situent dans le bassin parisien, tandis que les ZRE eaux de surface sont situées essentiellement dans le bassin hydrographique Adour-Garonne et dans une moindre mesure dans les bassins hydrographiques Loire-Bretagne et Rhône-Méditerranée.

⁷⁰ Voir <https://vigieau.gouv.fr/donnees/> pour une description de cet indicateur.

Carte A2 – Localisation des zones de répartition des eaux



Source : HCSP, d'après les données « [Zones de répartition des eaux \(ZRE\) - France entière](#) » de [Data.gouv.fr](#)

Annexe 6

Bassins versants amont

Nous avons considéré les effets des prélèvements et des consommations des bassins versants amont sur les bassins versants situés en aval (Tableau A6).

Tableau A6 – Bassins versants amont considérés ainsi que les bassins versants en aval associés

Bassins versants aval	Bassins versants amont
Garonne aval	Lot, Tarn, Garonne amont
Loire aval	Vienne, Mayenne, Creuse, Loire moyenne, Allier, Loire source
Loire moyenne	Allier, Loire source
Rhône amont	Saône aval, Doubs, Saône amont
Rhône aval	Durance, Isère, Rhône amont, Saône aval, Doubs, Saône amont
Rivières Île-de-France	Oise, Marne, Seine amont
Saône aval	Doubs, Saône amont
Seine aval	Rivières Île-de-France, Oise, Marne, Seine amont
Vienne	Creuse, Loire moyenne, Allier, Loire source

Source : HCSP

Pour les prélèvements en eaux souterraines, excepté pour l'irrigation, nous émettons l'hypothèse que l'intégralité des rejets (c'est-à-dire la part non consommée) se fait dans les eaux de surface. Pour l'irrigation, nous considérons que la moitié du rejet se fait dans les eaux de surface (le reste s'infiltrant dans les sols et rejoignant les eaux souterraines). Le volume de rejet en eau de surface que nous calculons est ensuite ajouté à la ressource en eaux de surface disponible dans les bassins versants situés en aval.

Annexe 7

Description des scénarios d'usage

Trois scénarios d'usages ont été élaborés pour déterminer la demande en eau anthropique :

- **Scénario tendanciel** : ce scénario prolonge les tendances passées. L'agriculture est tournée vers la productivité et l'export. L'équipement des surfaces agricoles en matériel d'irrigation se poursuit. Les pratiques agroécologiques ne se développent pas. Le mix énergétique reste dominé par le nucléaire et les énergies fossiles, avec une montée timide des renouvelables. La baisse de l'activité industrielle se poursuit. L'industrie poursuit ses efforts en matière d'efficacité d'usage de l'eau, tandis que les usages résidentiels restent stables.
- **Scénario « politiques publiques »** : ce scénario simule les politiques publiques récemment annoncées, comme celles relatives à la SNBC. Les régimes alimentaires se végétalisent, les surfaces de fourrages et de maïs diminuent quand celles de soja et légumes augmentent. Les pratiques agroécologiques se développent sur la moitié des surfaces agricoles. L'équipement des surfaces agricoles en matériel d'irrigation se poursuit. De nombreuses retenues agricoles de substitution sont construites. Le système énergétique est profondément transformé, pour répondre notamment à une électrification des usages, avec la construction de nouveaux réacteurs nucléaires, l'arrêt des centrales fossiles et le déploiement massif des énergies renouvelables. La politique publique volontariste de réindustrialisation se traduit par une croissance de l'industrie manufacturière.
- **Scénario de rupture** : ce scénario se caractérise par un changement sociétal marqué qui repose sur la sobriété. Les régimes alimentaires sont profondément modifiés avec une réduction de la consommation de viande de 50 % par rapport à la consommation actuelle. Cela se traduit par une diminution substantielle entre 2020 et 2050 des surfaces dédiées à l'alimentation animale et une augmentation des surfaces dédiées aux protéines végétales. La production de fruits et de légumes est relocalisée en France. Les pratiques agroécologiques se développent sur la totalité des surfaces agricoles. Le développement des surfaces équipées en irrigation est contenu. La production industrielle diminue. Les usages résidentiels connaissent une forte diminution.

Pour résumer, les hypothèses d'évolutions suivantes ont été considérées (Tableau A7).

Tableau A7 – Hypothèses d'évolution de différentes pratiques et activités dans les trois scénarios d'usage étudiés

	Tendanciel	Politiques publiques	De rupture
Élevage	Cheptels bovins, ovins et porcs – Cheptel de volailles +	Cheptels bovins, ovins et porcs – – Cheptel de volailles =	Tous les cheptels – – –
Cultures (surfaces)	Maïs – Soja ++ Fourrages + Pomme de terre et betterave + Légumes et fruits + Vigne –	Maïs – Soja +++ Fourrages – Pomme de terre et betterave – Légumes et fruits ++ Vigne – –	Maïs – – Soja + Fourrages – – Pomme de terre et betterave – – Légumes et fruits +++ Vigne – – –
Cultures (autres)	Équipement en irrigation ++ Efficience du matériel d'irrigation + Outils d'aide au pilotage = Fuites des réseaux collectifs = Retenues de substitution = Agroécologie = Réutilisation eaux usées =	Équipement en irrigation ++ Efficience du matériel d'irrigation + Outils d'aide au pilotage + Fuites des réseaux collectifs – Retenues de substitution + Agroécologie + Réutilisation eaux usées +	Équipement en irrigation + Efficience du matériel d'irrigation + Outils d'aide au pilotage = Fuites des réseaux collectifs = Retenues de substitution = Agroécologie ++ Réutilisation eaux usées =
Énergie	Production nucléaire – Circuits de refroidissement ouverts =	Production nucléaire = Circuits de refroidissement ouverts – –	Production nucléaire – – Circuits de refroidissement ouverts – –
Industrie	Activité globale – Efficacité eau des process + Décarbonation =	Activité globale + Efficacité eau des process ++ Décarbonation ++	Activité globale – – Efficacité eau des process + Décarbonation +
Tertiaire	Activité globale + Sobriété = Réutilisation eaux usées =	Activité globale ++ Sobriété = Réutilisation eaux usées +	Activité globale +++ Sobriété + Réutilisation eaux usées =
Résidentiel	Population – Fuites des réseaux – Efficacité/sobriété = Forages +	Population + Fuites des réseaux – – Efficacité/sobriété + Forages +	Population – Fuites des réseaux – – Efficacité/sobriété ++ Forages =
Canaux	Linéaire du réseau + Fuites =	Linéaire du réseau + Fuites –	Linéaire du réseau + Fuites =

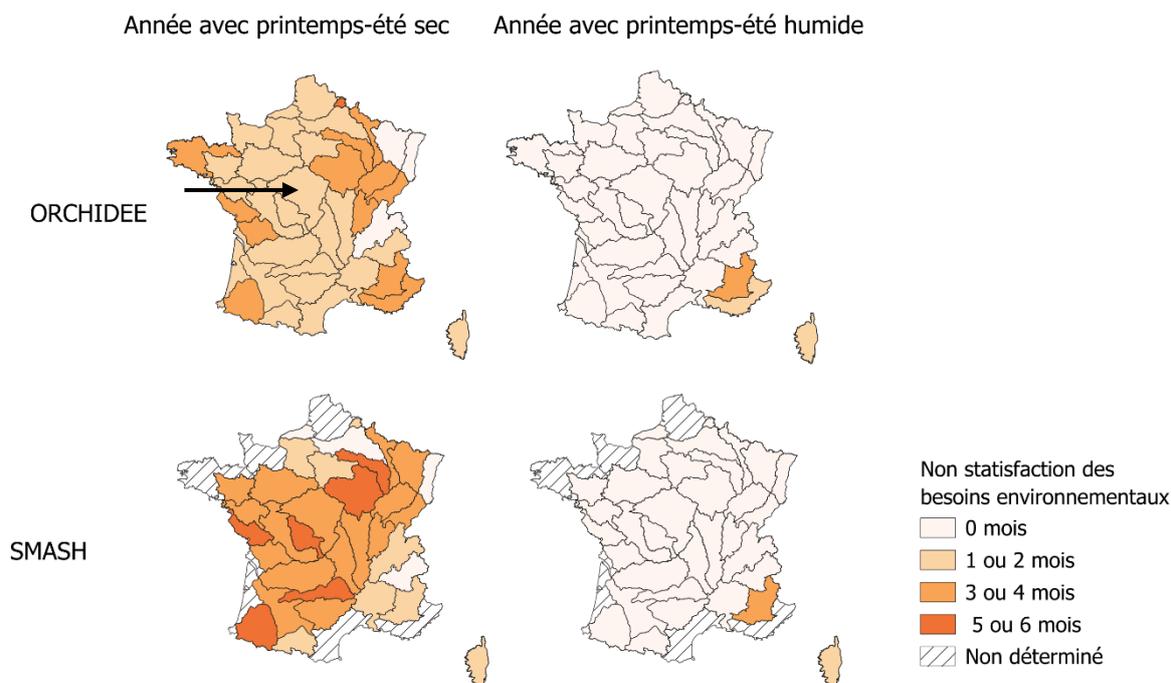
Source : HCSP

Annexe 8

Besoins environnementaux – Résultats de la projection « jaune »

Les résultats obtenus avec la projection climatique « jaune » sont plus optimistes que ceux obtenus avec la projection « violet ». Ainsi, le nombre de bassins dans lesquels les besoins environnementaux ne sont pas satisfaits est inférieur et la durée de non-satisfaction des besoins également (Carte A3). Pour une année marquée par un printemps-été humide à l'horizon 2050, les besoins environnementaux sont couverts dans la quasi-totalité des bassins versants.

Carte A3 – Nombre de mois de non-satisfaction des besoins environnementaux à l'horizon 2050, selon les conditions météorologiques de l'année et le modèle hydrologique (ORCHIDEE ou SMASH)



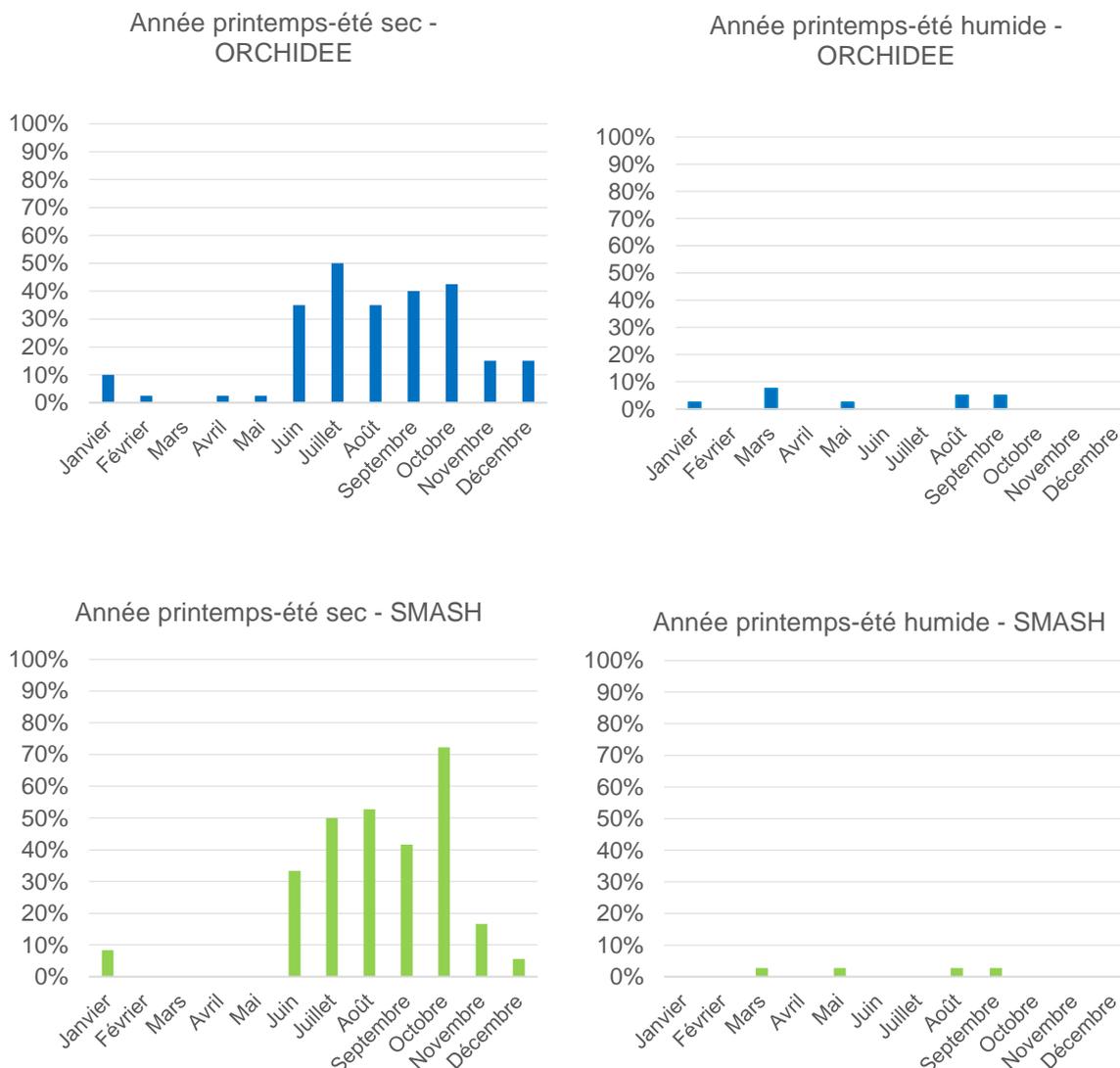
Note : pour le modèle SMASH, tous les bassins versants n'ont pas pu être analysés (en hachuré) faute de points de simulation en nombre suffisant dans ces territoires.

Lecture : à l'horizon 2050, pour une année marquée par un printemps-été sec et pour le modèle hydrologique ORCHIDEE, les besoins environnementaux ne sont pas satisfaits entre un et deux mois dans le bassin versant de la Loire-Moyenne (indiqué par une flèche).

Source : HCSP, selon la méthode décrite précédemment

Les résultats obtenus avec le modèle SMASH et ceux obtenus avec le modèle ORCHIDEE sont très proches. Pour une année marquée par un printemps-été sec, la période au cours de laquelle les besoins environnementaux ne sont pas couverts s'étend essentiellement de juin à octobre (Graphique A1).

Graphique A1 – Part mensuelle des bassins versants (%) où les besoins environnementaux ne sont pas satisfaits en 2050 selon le modèle hydrologique (ORCHIDEE ou SMASH) et les conditions météorologiques de l'année

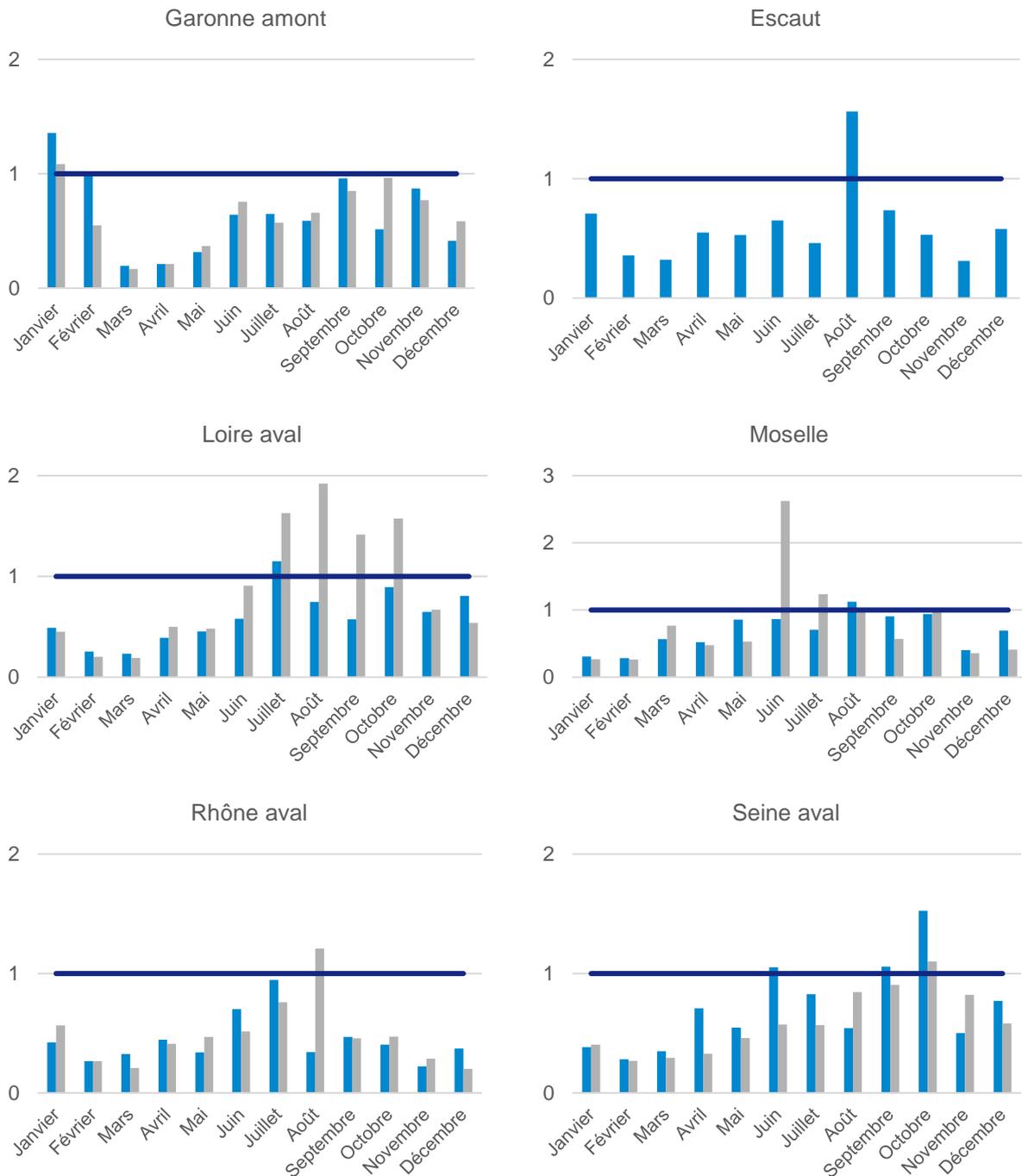


Lecture : à l'horizon 2050, pour une année marquée par un printemps-été sec et pour le modèle hydrologique ORCHIDEE, les besoins environnementaux ne sont pas satisfaits dans 40 % des bassins versants au mois de septembre.

Source : HCSP, selon la méthode décrite précédemment

De même, si l'on réalise un zoom sur six bassins versants répartis sur tout le territoire, on constate des résultats relativement proches entre les deux modèles hydrologiques (Graphique A2).

Graphique A2 – Rapport mensuel entre les besoins environnementaux et les volumes disponibles dans six bassins versants pour une année marquée par un printemps-été sec en 2050 (modèle ORCHIDEE en bleu et SMASH en gris)



Note : la ligne horizontale indique le seuil de dépassement des besoins environnementaux. Pour le bassin versant de l'Escaut, les points de simulation disponibles ne permettent pas de calculer le ratio pour le modèle SMASH.

Lecture : à l'horizon 2050, pour une année marquée par un printemps-été sec et pour le modèle hydrologique ORCHIDEE, les besoins environnementaux seraient supérieurs aux volumes potentiellement disponibles en août dans le bassin versant de l'Escaut.

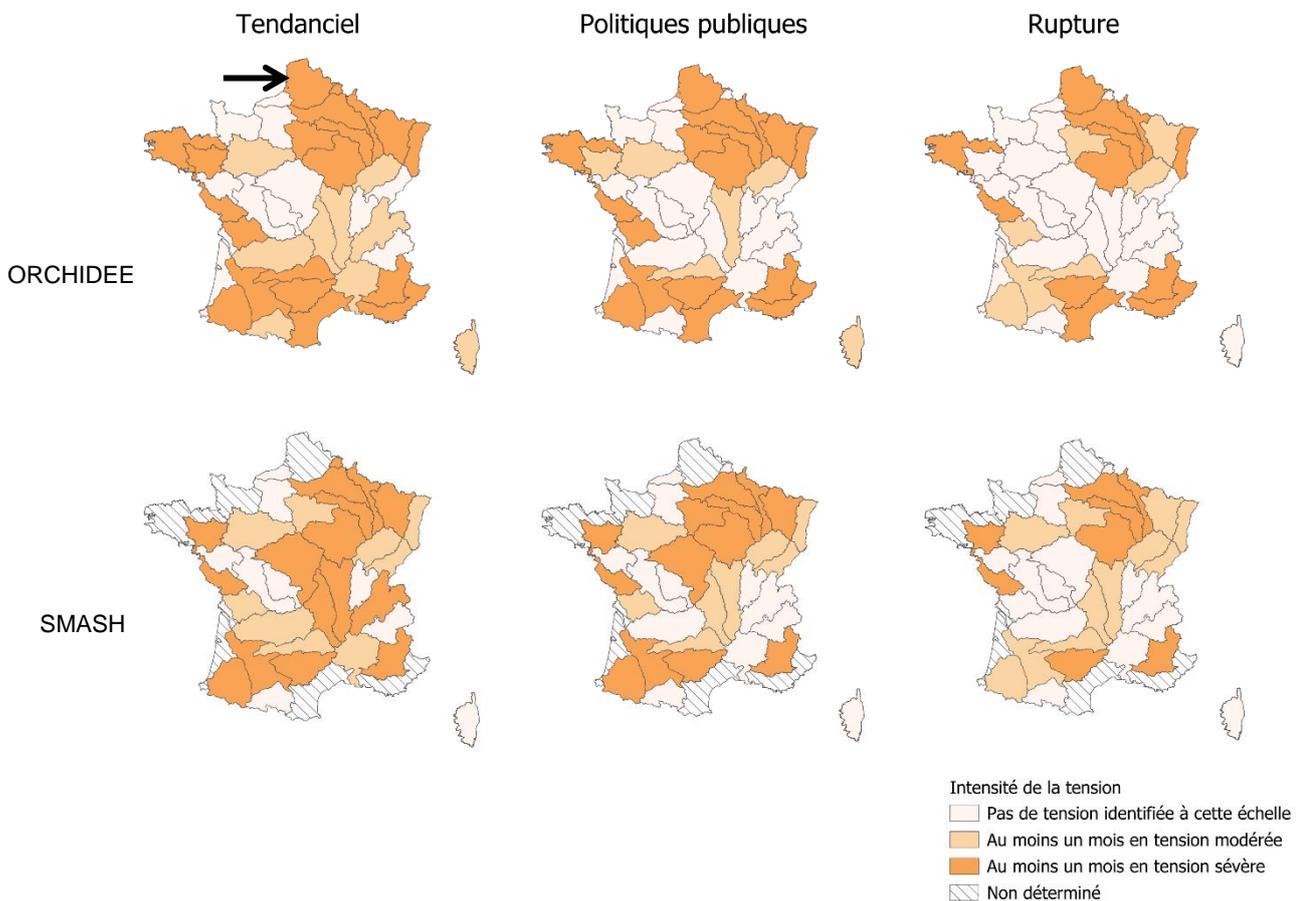
Source : HCSP, selon la méthode décrite précédemment

Annexe 9

Indice de tension sur les prélèvements – Résultats de la projection « jaune »

Les résultats obtenus avec la projection climatique « jaune » sont plus optimistes que ceux obtenus avec la projection « violet ». On observe néanmoins des situations de tension dans la majorité des bassins versants, que ce soit avec le modèle ORCHIDEE ou avec le modèle SMASH.

Carte A4 – Intensité des tensions en prélèvements en 2050 pour une année marquée par un printemps-été sec (modèle ORCHIDEE puis SMASH) pour les trois scénarios d'usage (projection « jaune »)



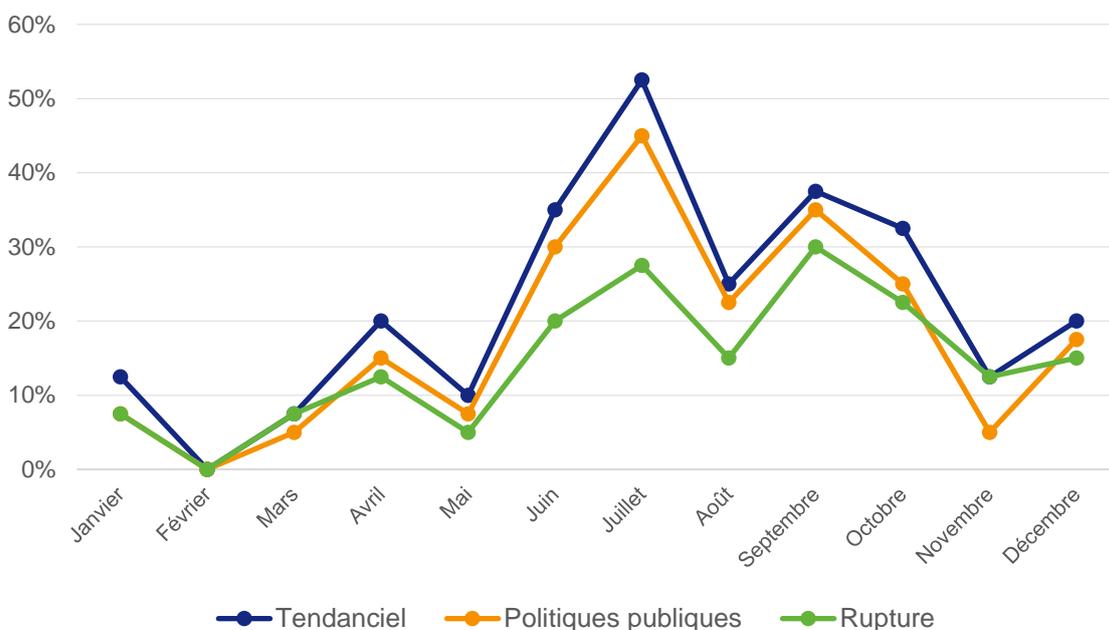
Note : pour le modèle SMASH, tous les bassins versants n'ont pas pu être analysés (en hachuré) faute de points de simulation en nombre suffisant dans ces territoires.

Lecture : à l'horizon 2050, dans le scénario tendanciel et le modèle hydrologique ORCHIDEE, le bassin versant de l'Escaut (indiqué par une flèche) est en stress sévère au moins un mois de l'année.

Source : HCSP, selon la méthode décrite précédemment

Pour le mois le plus défavorable de l'année (juillet), 53 % des bassins versants sont en tension modérée ou sévère dans le scénario tendanciel, contre 83 % avec la projection climatique « violet ». Le scénario de rupture permet de limiter la part des bassins versants en tension à moins de 30 % avec la projection « jaune » (Graphique A3).

Graphique A3 – Proportion mensuelle (en %) de bassins versants en tension modérée ou sévère à l'horizon 2050, pour une année marquée par un printemps-été sec (modèle ORCHIDEE) et pour les trois scénarios d'usage (projection « jaune »)



Lecture : à l'horizon 2050, dans le scénario tendanciel et pour une année marquée par un printemps-été sec, 50 % des bassins versants seront en stress (modéré ou sévère) au mois de juillet.

Source : HCSP

De plus, les périodes de tensions sont observées sur des périodes plus courtes. En moyenne, pour le scénario politiques publiques, les bassins versants sont en tension deux mois dans l'année pour la projection climatique « jaune », contre quatre pour la projection climatique « violet ».

Tableau A8 – Gravité des tensions en prélèvements en 2050 par mois et pour chaque bassin versant, pour une année marquée par un printemps-été sec (modèle ORCHIDEE) pour le scénario politiques publiques (projection « jaune »)

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Adour												
Allier												
Côtiers normands												
Charente												
Corse												
Côt. aquitains et charentais												
Côtiers artois												
Côtiers bretons												
Côtiers Côte d'Azur												
Côtiers du Languedoc												
Côtiers sud Loire												
Creuse												
Dordogne												
Doubs												
Durance												
Escaut												
Garonne amont												
Garonne aval												
Isère et Drôme												
Loire aval												
Loire moyenne												
Loire source												
Lot												
Marne												
Mayenne												
Meuse												
Moselle												
Oise												
Rhin												
Rhône amont												
Rhône aval												
Rivière Île-de-France												
Sambre												
Saône amont												
Saône aval												
Seine amont												
Seine aval												
Tarn												
Vienne												
Vilaine												

■ Mois en stress sévère
■ Mois en stress modéré
■ Pas de stress observé à notre échelle

Lecture : à l'horizon 2050, pour une année marquée par un printemps-été sec et pour le modèle hydrologique ORCHIDEE, une tension sévère sera observée dans l'Adour au mois de juillet. Pour ce bassin versant, il y a un mois en tension sévère.

Source : HCSP

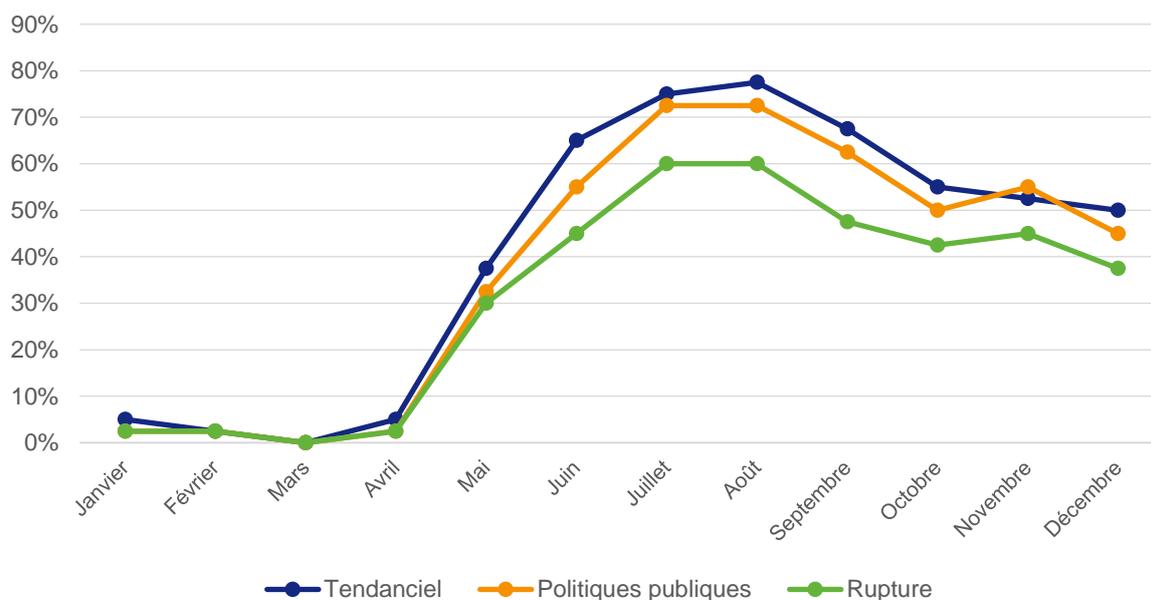
Annexe 10

Indice de tension sur les prélèvements Modèle hydrologique SMASH, projection « violet »

Les résultats obtenus avec le modèle hydrologique SMASH sont proches de ceux obtenus avec le modèle ORCHIDEE pendant la période estivale. La différence entre les deux modèles est surtout visible en période automnale, avec des résultats plus pessimistes pour le modèle SMASH.

Avec le modèle SMASH, dans le scénario tendanciel, 78 % des bassins versants sont en situation de tension modérée ou sévère en août. Le scénario de rupture permet de limiter la part des bassins versants en tension à moins de 60 %.

Graphique A4 – Proportion mensuelle (en %) de bassins versants en tension modérée ou sévère à l'horizon 2050, pour une année marquée par un printemps-été sec (modèle SMASH) et pour les trois scénarios d'usage



Lecture : à l'horizon 2050, dans le scénario tendanciel et pour une année marquée par un printemps-été sec, 78 % des bassins versants seront en tension (modérée ou sévère) au mois d'août.

Source : HCSP

Annexe 11

Gravité des tensions par mois et par bassin versant pour les scénarios tendanciel et de rupture Résultats de la projection « violet »

Les deux tableaux pages suivantes présentent la gravité des tensions par mois et par bassin versant pour les scénarios tendanciel et de rupture (projection climatique « violet » et modèle ORCHIDEE), afin de compléter le Tableau 4 présenté à la section 2.2 qui ne concerne que le scénario « politiques publiques ».

Par rapport au scénario politiques publiques, la situation est plus dégradée dans le scénario tendanciel, tandis qu'elle est moins dégradée dans le scénario de rupture.

Tableau A9 – Gravité des tensions en prélèvements en 2050 par mois et pour chaque bassin versant, pour une année marquée par un printemps-été sec (modèle ORCHIDEE) pour le scénario d'usage tendanciel

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Adour												
Allier												
Côtiers normands												
Charente												
Corse												
Côt. aquitains et charentais												
Côtiers artois												
Côtiers bretons												
Côtiers Côte d'Azur												
Côtiers du Languedoc												
Côtiers sud Loire												
Creuse												
Dordogne												
Doubs												
Durance												
Escaut												
Garonne amont												
Garonne aval												
Isère et Drôme												
Loire aval												
Loire moyenne												
Loire source												
Lot												
Marne												
Mayenne												
Meuse												
Moselle												
Oise												
Rhin												
Rhône amont												
Rhône aval												
Rivière Île-de-France												
Sambre												
Saône amont												
Saône aval												
Seine amont												
Seine aval												
Tarn												
Vienne												
Vilaine												

■ Mois en stress sévère
■ Mois en stress modéré
■ Pas de stress observé à notre échelle

Lecture : à l'horizon 2050, pour une année marquée par un printemps-été sec et pour le modèle hydrologique ORCHIDEE, une tension sévère sera observée dans l'Adour au mois de juillet. Pour ce bassin versant, il y a quatre mois en stress sévère.

Source : HCSP

Tableau A10 – Gravité des tensions en prélèvements en 2050 par mois et pour chaque bassin versant, pour une année marquée par un printemps-été sec (modèle ORCHIDEE) pour le scénario d'usage de rupture

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Adour												
Allier												
Côtiers normands												
Charente												
Corse												
Côt. aquitains et charentais												
Côtiers artois												
Côtiers bretons												
Côtiers Côte d'Azur												
Côtiers du Languedoc												
Côtiers sud Loire												
Creuse												
Dordogne												
Doubs												
Durance												
Escaut												
Garonne amont												
Garonne aval												
Isère et Drôme												
Loire aval												
Loire moyenne												
Loire source												
Lot												
Marne												
Mayenne												
Meuse												
Moselle												
Oise												
Rhin												
Rhône amont												
Rhône aval												
Rivière Île-de-France												
Sambre												
Saône amont												
Saône aval												
Seine amont												
Seine aval												
Tarn												
Vienne												
Vilaine												

■ Mois en stress sévère
■ Mois en stress modéré
■ Pas de stress observé à notre échelle

Lecture : à l'horizon 2050, pour une année marquée par un printemps-été sec et pour le modèle hydrologique ORCHIDEE, une tension sévère sera observée dans l'Adour au mois de juillet. Pour ce bassin versant, il y a trois mois en stress sévère.

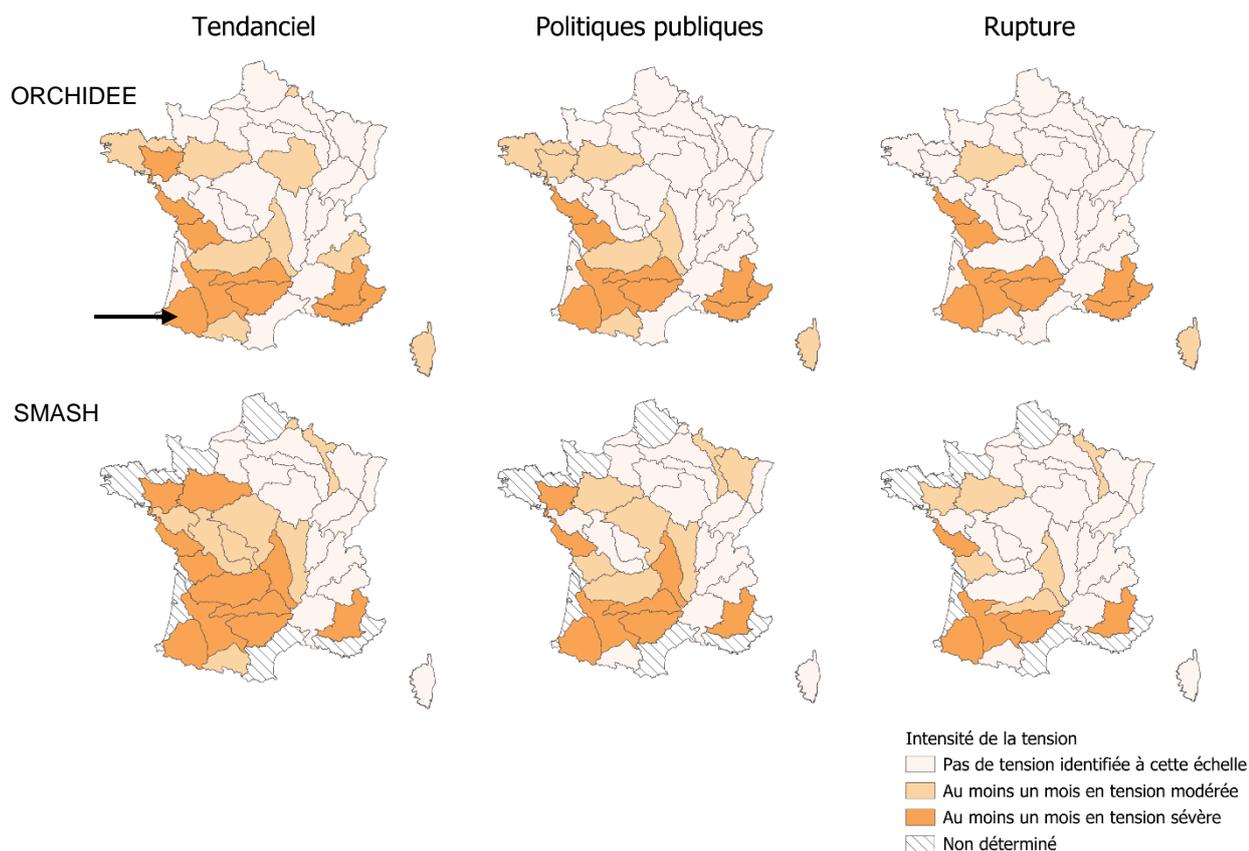
Source : HCSP

Annexe 12

Indice de tension sur les consommations Résultats de la projection « jaune »

Les résultats obtenus avec la projection climatique « jaune » sont également plus favorables pour cet indice que ceux obtenus avec la projection climatique « violet ». On constate néanmoins des périodes de tension dans les bassins versants situés dans le sud-ouest de la France, que ce soit avec le modèle ORCHIDEE ou avec le modèle SMASH. De plus, on observe de nombreux bassins versants en tension dans le bassin hydrographique de la Loire avec le modèle SMASH (Carte A5). On constate que les bassins versants de l'Adour, de la Garonne aval, du Tarn, du Lot, de la Durance et des fleuves côtiers du sud Loire sont en tension sévère quels que soient la projection climatique étudiée, le modèle hydrologique utilisé ou le scénario d'usage considéré.

Carte A5 – Intensité des tensions en consommations en 2050 pour un printemps-été sec, selon le modèle (ORCHIDEE ou SMASH) et le scénario d'usage (projection « jaune »)



Note : pour le modèle SMASH, tous les bassins versants n'ont pas pu être analysés (en hachuré) faute de points de simulation en nombre suffisant dans ces territoires.

Lecture : à l'horizon 2050, dans le scénario tendanciel, le bassin versant de l'Adour (indiqué par une flèche) est en tension sévère au moins un mois de l'année pour le modèle hydrologique ORCHIDEE.

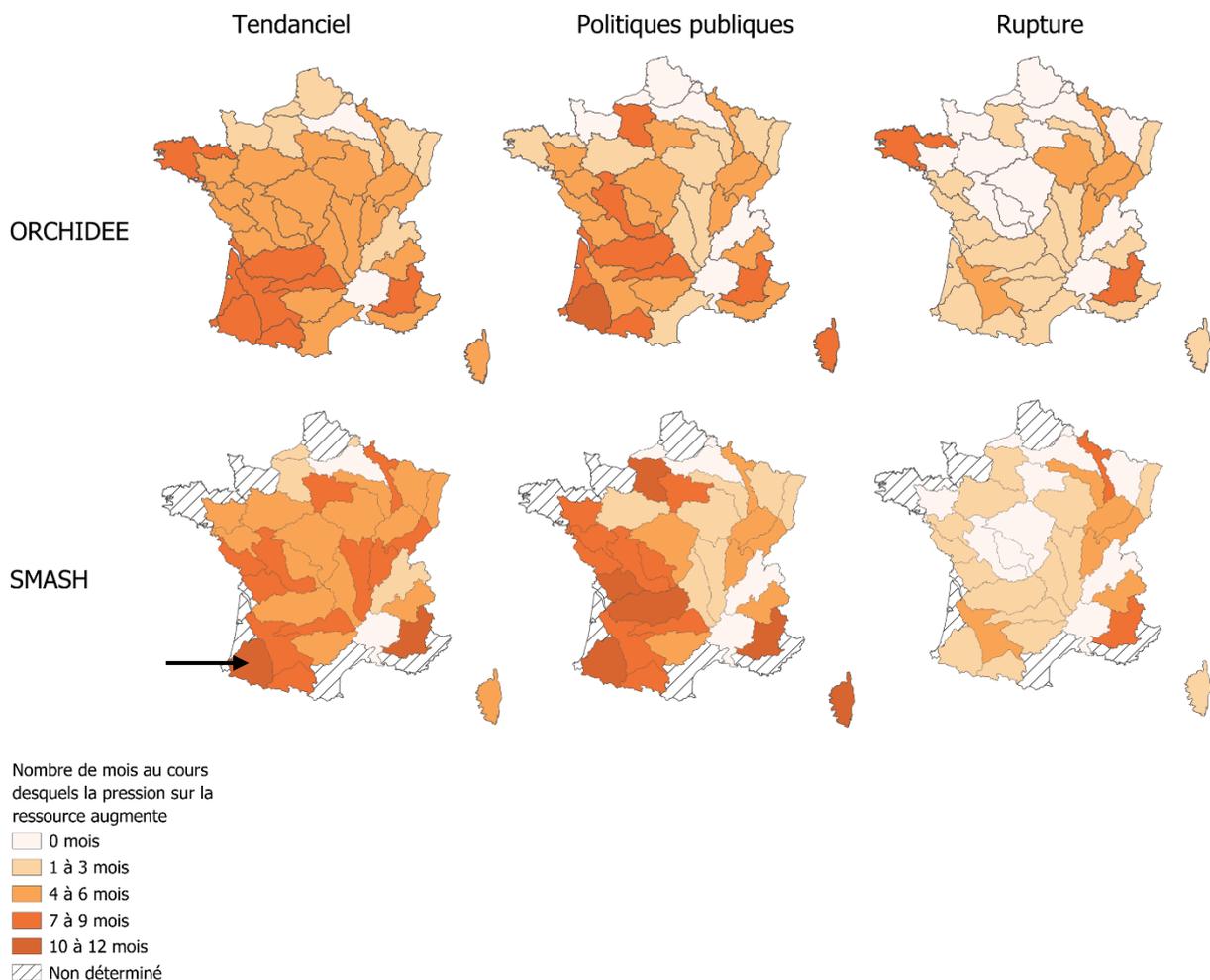
Source : HCSP, selon la méthode décrite précédemment

Annexe 13

Indice d'évolution croisée ressource-demande Résultats de la projection « jaune »

Pour cet indice, les résultats sont également plus favorables avec la projection climatique « jaune » par comparaison avec la projection climatique « violet ». On observe néanmoins des tendances similaires, avec une aggravation marquée de la situation hydrique pour les scénarios tendanciel et politiques publiques (Carte A6).

Carte A6 – Nombre de mois où la situation hydrique calculée via les prélèvements s'aggrave entre 2020 et 2050 (printemps-été sec), selon le modèle hydrologique (ORCHIDEE ou SMASH) et le scénario d'usage (projection « jaune »)



Note : pour le modèle SMASH, tous les bassins versants n'ont pas pu être analysés (en hachuré) faute de points de simulation en nombre suffisant dans ces territoires.

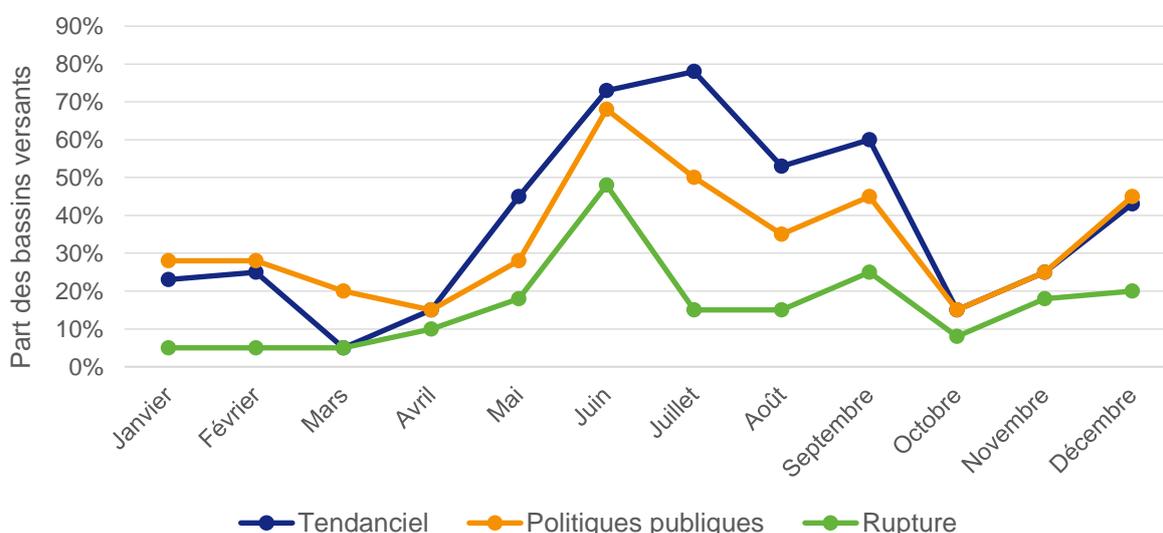
Lecture : à l'horizon 2050, avec le modèle hydrologique SMASH, dans le scénario tendanciel, la pression hydrique s'aggrave pendant plus de dix mois dans le bassin versant de l'Adour (indiqué par une flèche).

Source : HCSP, selon la méthode décrite précédemment

Le scénario politiques publiques présente davantage de mois de dégradation que le scénario tendanciel dans la zone ouest, du fait du remplissage de retenues de substitution qui viennent dégrader la situation hydrique en période hivernale.

La part mensuelle des bassins versants qui présentent une aggravation de leur situation hydrique entre 2020 et 2050 diffère largement entre les projections climatiques « violet » et « jaune ». Ainsi, alors que cette part est très élevée non seulement en hiver mais également en été avec la projection « violet », on constate avec la projection « jaune » que cette part ne dépasse 50 % qu'entre les mois de juin et septembre, et ce pour le scénario tendanciel et dans une moindre mesure pour le scénario politiques publiques (Graphique A5).

Graphique A5 – Proportion mensuelle (en %) de bassins versants où la situation hydrique calculée via les prélèvements se dégrade entre 2020 et 2050 (modèle ORCHIDEE) pour les trois scénarios d'usage (projection « jaune »)

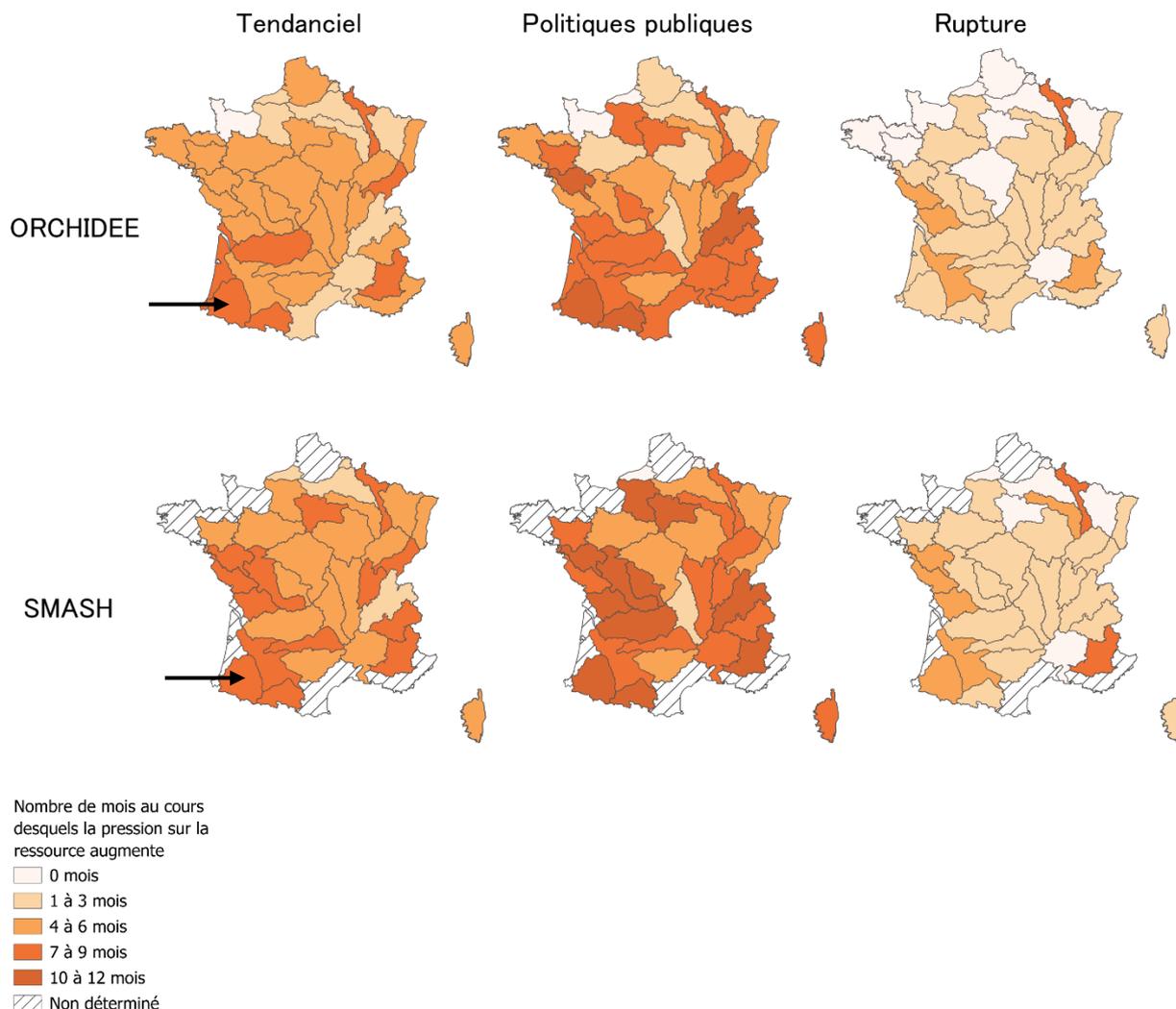


Lecture : à l'horizon 2050, dans le scénario tendanciel, la situation hydrique calculée via les prélèvements pourrait s'aggraver dans 78 % des bassins versants de France hexagonale et de Corse, en juillet.

Source : HCSP, selon la méthode décrite précédemment

Concernant l'indice croisé calculé sur les consommations, on observe une détérioration de la situation hydrique entre 2020 et 2050 sur tout le territoire, avec des durées supérieures à six mois dans les zones sud-ouest et sud-est. Avec le scénario de rupture, les périodes d'aggravation de la situation hydrique demeurent inférieures à six mois dans la majorité des bassins versants (Carte A7).

Carte A7 – Nombre de mois où la situation hydrique calculée via les consommations s'aggrave entre 2020 et 2050 (printemps-été sec), selon le modèle hydrologique (ORCHIDEE ou SMASH) et le scénario d'usage



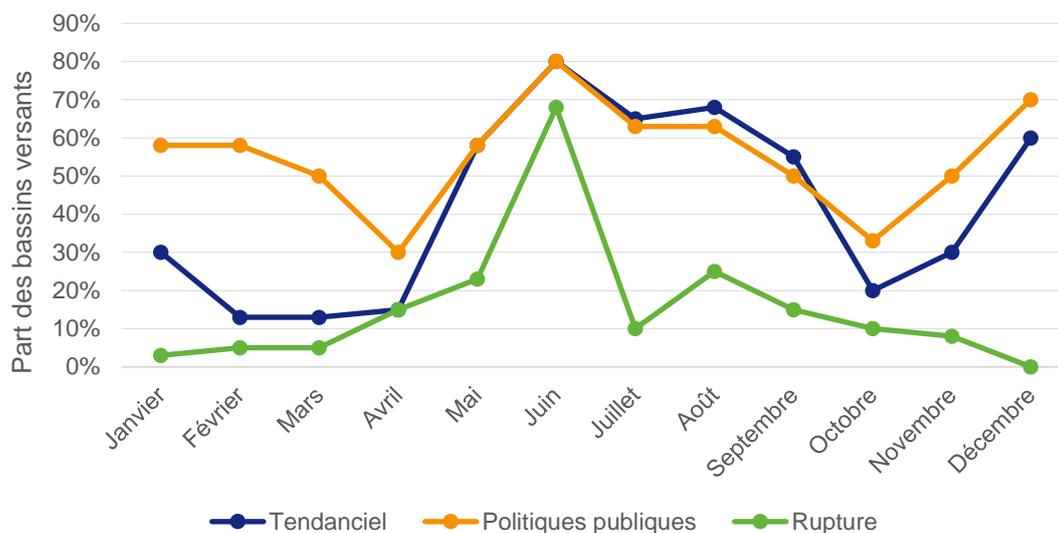
Note : pour le modèle SMASH, tous les bassins versants n'ont pas pu être analysés (en hachuré) faute de points de simulation en nombre suffisant dans ces territoires.

Lecture : à l'horizon 2050, dans le scénario tendanciel, la pression hydrique s'aggrave pendant plus de sept mois dans le bassin versant de l'Adour (indiqué par une flèche), que ce soit avec le modèle hydrologique ORCHIDEE ou SMASH.

Source : HCSP, selon la méthode décrite précédemment

La situation hydrique se détériore entre 2020 et 2050 essentiellement entre les mois de mai et de septembre, avec une aggravation de la pression sur la ressource dans plus de 50 % des bassins versants dans les scénarios tendanciel et politiques publiques. Dans le scénario politiques publiques, la situation hydrique s'aggrave particulièrement en hiver du fait du remplissage des retenues de substitution (l'eau est considérée comme prélevée et majoritairement consommée car elle n'est plus disponible ni pour les milieux, ni pour les usages situés en aval).

Graphique A6 – Proportion mensuelle (en %) de bassins versants où la situation hydrique calculée via les consommations se dégrade entre 2020 et 2050 (modèle ORCHIDEE) pour les trois scénarios d'usage



Lecture : à l'horizon 2050, dans le scénario tendanciel, la situation hydrique calculée via les consommations pourrait s'aggraver en juillet dans 72 % des bassins versants de France hexagonale et de Corse.

Source : HCSP, selon la méthode décrite précédemment

Bibliographie

- Alcamo J. et Henrichs T. (2002), « Critical regions: A model-based estimation of world water resources sensitive to global changes », *Aquatic Sciences*, vol. 64, décembre, p. 352-362.
- Alvarez-Garreton C., Boisier J.-P., Billi M. *et al.* (2023), « [Protecting environmental flows to achieve long-term water security](#) », *Journal of Environmental Management*, vol. 328, février.
- Arambourou H. et Ferrière S. (2025), *La demande en eau. Prospective territorialisée à l'horizon 2050*, France Stratégie, rapport, janvier.
- Arambourou H., Ferrière S. et Oliu-Barton M. (2024), « [Prélèvements et consommations en eau : quels enjeux et usages ?](#) », France Stratégie, *La Note d'analyse*, n° 136, avril.
- Arthington A. H., Bhaduri A., Bunn S. E. *et al.* (2018), « [The Brisbane Declaration and Global Action Agenda on Environmental Flows](#) », *Frontiers in Environmental Science*, vol. 6, juillet.
- Auverlot D., Bernhard C. et Neveü A. (2022), *Les conditions de mobilisation des retenues hydroélectriques pour le soutien d'étiage sur le bassin de Loire-Bretagne*, rapport IGEDD n° 014269-01 et CGAAER n° 22017, novembre.
- Auverlot D., Follenfant P., Joly A. et Le Coz C. (2021), *Conditions de mobilisation des retenues hydroélectriques pour le soutien d'étiage dans le bassin Adour-Garonne*, rapport CGEDD n° 013099-01 et CGAAER n° 19109, juin.
- Brauman K. A., Richter B. D., Postel S. *et al.* (2016), « [Water depletion: An improved metric for incorporating seasonal and dry-year water scarcity into water risk assessments](#) », *Elementa: Science of the Anthropocene*, vol. 4, janvier.
- Casadei S., Peppoloni F. et Pierleoni A. (2020), « [A new approach to calculate the Water Exploitation Index \(WEI+\)](#) », *Water*, vol. 12(11), novembre.
- Fernandez S. et Debril T. (2016), « [Qualifier le manque d'eau et gouverner les conflits d'usage : le cas des débits d'objectif d'étiage \(DOE\) en Adour-Garonne](#) », *Développement durable et territoires*, vol. 7(3), décembre.
- Giec (2014), *Climate Change 2014. Synthesis Report*, novembre.
- Hanasaki N., Kanae S., Oki T. *et al.* (2008), « [An integrated model for the assessment of global water resources – Part 1: Model description and input meteorological forcing](#) », *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 12(4), p. 1007-1025.
- Henrichs T., Lehner B. et Alcamo J. (2002), « An integrated analysis of changes in water stress in Europe », *Integrated Assessment*, vol. 3(1), p. 15-29.
- Hoekstra A. Y., Mekonnen M. M., Chapagain A. K. *et al.* (2012), « [Global monthly water scarcity: Blue water footprints versus blue water availability](#) », *PLoS ONE*, vol. 7(2), février.
- Huang P., Ducharne A., Rinchuso L. *et al.* (2024), « [Multi-objective calibration and evaluation of the ORCHIDEE land surface model over France at high resolution](#) », *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 28(19), p. 4455-4476.

- Kosuth P. et Ménager T. (2024), *Inventaire national des plans d'eau*, IGEDD, août.
- Lamouroux N., Augeard B., Baran P. *et al.* (2018), « Débits écologiques : la place des modèles d'habitat hydraulique dans une démarche intégrée », *Hydroécologie appliquée*, vol. 20, mai, p. 1-27.
- Liu J., Yang H., Gosling S. N. *et al.* (2017), « Water scarcity assessments in the past, present, and future », *Earth's Future*, vol. 5, mars, p. 545-559.
- Liu J., Liu Q. et Yang H. (2016), « Assessing water scarcity by simultaneously considering environmental flow requirements, water quantity, and water quality », *Ecological Indicators*, vol. 60, p. 434-441.
- Marson P., Corre L., Soubeyroux J.-M. *et al.* (2024), *Explore2 – Rapport de synthèse sur les projections climatiques régionalisées*, Météo France, Inrae, Institut Pierre-Simon Laplace.
- Messenger M. L., Dickens C. W. S. *et al.* (2024), « Limited comparability of global and local estimates of environmental flow requirements to sustain river ecosystems », *Environmental Research Letters*, vol. 19(2).
- Nogueira-Sondemann M. et Proença de Oliveira R. (2022), « Using the WEI+ index to evaluate water scarcity at highly regulated river basins with conjunctive uses of surface and groundwater resources », *Science of the Total Environment*, vol. 836, août.
- Oliver T. H., Heard M. S., Isaac N. J. B. *et al.* (2015), « Biodiversity and resilience of ecosystem functions », *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 30(11), novembre, p. 673-684.
- Pastor A. V., Ludwig F., Biemans H. *et al.* (2014), « Accounting for environmental flow requirements in global water assessments », *Hydrology and Earth System Science*, vol. 18(12), p. 5041-5059.
- Sauquet É., Héraud L., Bonneau J. *et al.* (2023), *Diagnostic des modèles hydrologiques. Des données aux résultats*, rapport technique Explore2, novembre.
- Sauquet É., Strohmenger L., Thirel G. et Le Lay M. (2025), *Quelles évolutions des régimes hydrologiques en France hexagonale ?*, rapport technique Explore2, janvier.
- SDES (2023), *La France face aux neuf limites planétaires*, coll. « Théma Analyse – Environnement », octobre.
- Steffen W., Richardson K., Rockström J. *et al.* (2015), « Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet », *Science*, vol. 347(6223), janvier.
- Vanham D., Alfieri L., Flörke M. *et al.* (2021), « The number of people exposed to water stress in relation to how much water is reserved for the environment: A global modelling study », *The Lancet – Planet Health*, vol. 5(11), novembre, p. 766-774.
- Wada Y., van Beek L. P. H., Viviroli D. *et al.* (2011), « Global monthly water stress: Water demand and severity of water stress », *Water Resources Research*, vol. 47(7), juillet.
- Zamani Sabzi H., Moreno H. A., Fovarguea R. *et al.* (2019), « Comparison of projected water availability and demand reveals future hotspots of water stress in the Red River basin, USA », *Journal of Hydrology: Regional Studies*, vol. 26, décembre.
- Zhang W., Zhao X., Gao X. *et al.* (2025), « Spatially explicit assessment of water stress and potential mitigating solutions in a large water-limited basin: The Yellow River basin in China », *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 29(2), p. 507-524.

RETROUVEZ LES DERNIÈRES ACTUALITÉS DU HAUT-COMMISSARIAT À LA STRATÉGIE ET AU PLAN SUR :



@StrategiePlan



@Strategie_gouv



Haut-commissariat
à la Stratégie et au Plan



FranceStrategie



@strategieplan



StrategieGouv



HAUT-COMMISSARIAT À LA STRATÉGIE ET AU PLAN

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Le Haut-commissariat à la Stratégie et au Plan contribue à l'action publique par ses analyses et ses propositions. Il éclaire les choix collectifs sur les enjeux démographiques, économiques, sociaux, environnementaux, sanitaires, technologiques et culturels, dans un cadre national et européen. *France Stratégie et le Haut-commissariat au Plan deviennent le Haut-commissariat à la Stratégie et au Plan.*