

CONSEIL  
SCIENTIFIQUE  
DU COMITÉ  
DE BASSIN  
RHÔNE  
MÉDITERRANÉE



**AVIS SUR L'ÉTUDE DE L'HYDROLOGIE DU FLEUVE RHÔNE  
SOUS CHANGEMENT CLIMATIQUE (2023)**

**MARS 2024**

## Résumé de l'avis

L'étude dite « Etude de l'hydrologie du fleuve Rhône sous changement climatique » concernant l'évolution des débits du fleuve à l'horizon 2055 a été réalisée par BRL ingénierie et publiée au printemps 2023.

Cette étude a été commandée et financée par l'agence de l'eau. Réalisée de février 2021 à mars 2023, elle comprend trois missions : un diagnostic sur les évolutions passées du climat et de l'hydrologie du fleuve, de l'état actuel des prélèvements en eau et leur influence sur les débits du Rhône et des projections climatiques et leurs conséquences sur les débits du fleuve (mission 1) ; une évaluation de la vulnérabilité et de la criticité de la ressource Rhône au regard d'enjeux clés (mission 2) ; enfin, un test et une évaluation de la capacité de Rhône à fournir les services attendus (mission 3).

Le conseil scientifique a été saisi le 15 décembre 2022 par le directeur général de l'agence de l'eau pour examiner les méthodes, résultats et conclusions de cette étude. Après analyse des documents et échanges avec BRL ingénierie et l'agence de l'eau, le conseil scientifique a rendu un avis dont les principaux éléments sont les suivants :

La qualité des rapports fournis par les chargés d'étude dans des contraintes de temps fortes, sur un sujet complexe, est soulignée. Les documents sont très bien conçus, les résultats sont présentés de manière très lisible et explicitent les hypothèses faites, les simplifications utilisées et certaines limites d'interprétation.

La modélisation hydrologique et le diagnostic sur l'hydrologie du fleuve (mission 1) ont permis de bien analyser les évolutions du climat passées et futures sur le bassin, ainsi que le régime hydrologique actuel et l'évolution historique passée du fleuve et de ses affluents. En revanche, les projections des débits attendus pour le futur sont à considérer avec beaucoup de prudence. En effet, la méthode dite de futurisation des débits, utilisée pour corriger les écarts entre les résultats du modèle hydrologique utilisé J2000-Rhône et les débits observés, n'est pas validée scientifiquement : un test de la méthode, effectué par le Conseil scientifique sur une longue série de données observées portant la trace des évolutions du climat, montre des biais significatifs entre observations et résultats de simulation. Par ailleurs et d'une manière générale, la question des incertitudes n'est pas suffisamment prise en compte dans la démarche. En particulier, la méthodologie de futurisation des débits ne tient compte que des incertitudes liées aux modélisations climatiques. Elle omet les incertitudes très significatives liées aux modèles hydrologiques qu'on ne peut se permettre d'ignorer. Les résultats présentés sur les débits futurs ne doivent donc pas être considérés comme l'enveloppe des trajectoires de l'hydrologie du Rhône et de ses affluents : les plages de variation sont plus larges que celles énoncées. Par exemple, des épisodes plus sévères que ceux prévus dans les modélisations pourront être observés dans le futur.

L'analyse des risques concernant les enjeux clés dans le futur (mission 2) se heurte aux difficultés et conclusions exprimées ci-avant. Le risque que les débits d'étiages soient significativement plus faibles que ceux présentés dans l'étude est réel, mais pas quantifié. En conséquence, le risque de non-satisfaction des enjeux clés, qui repose sur la connaissance du faisceau des régimes possibles, est lui-même significativement sous-évalué. Ceci affecte les analyses et invalide les conclusions, généralement optimistes, qui sont énoncées dans les rapports d'étude sur tous les enjeux.

Les eaux souterraines sont peu abordées dans les rapports d'étude. L'échelle spatiale de la modélisation n'est pas adaptée pour évaluer la part des eaux souterraines dans le débit du Rhône et pour tenir compte des effets du changement climatique. Pour l'évaluation du risque d'intrusion saline, l'étude n'envisage pas la conjonction d'un étiage sévère sur le Rhône, d'une augmentation des prélèvements en nappe et d'une augmentation du niveau de la mer, qui peut favoriser l'intrusion saline à l'intérieur des terres.

Le conseil scientifique rejoint les conclusions de l'étude concernant la complexité du fonctionnement écologique du système et de la difficulté à la caractériser par les seules variables hydrologiques présentées. Il regrette cependant que les tronçons court-circuités soient insuffisamment pris en compte dans le cahier des charges de l'étude, alors qu'ils portent une très large part des valeurs écologique et patrimoniale du fleuve. En outre, les résultats sont lissés sur des pas de temps longs (mensuels, saisonniers, annuels) qui peuvent masquer des situations critiques essentielles à prendre en compte, à des pas de temps plus courts, pour certains domaines comme la qualité de l'eau, l'hydrobiologie ou encore les connectivités entre eaux de surface et souterraines, déterminantes pour la dynamique des forêts alluviales et les annexes fluviales.

En ce qui concerne la demande en eau (mission 3), l'évaluation des prélèvements bruts et nets actuels a été conduite de façon très pertinente. Pour les projections des besoins futurs en eau potable, le Conseil scientifique partage l'approche retenue et ses conclusions. Pour l'eau agricole, l'avis est plus contrasté. L'évaluation de la demande théorique en irrigation par culture et par zone à partir d'une modélisation spatialisée de l'ETP paraît conforme à ce qui est décrit dans la littérature scientifique. Le Conseil scientifique partage les interrogations de l'étude sur l'affectation future des volumes économisés grâce aux programmes récents de modernisation de l'irrigation soutenus par l'Agence. Cependant, l'estimation des prélèvements nets agricoles en 2050 apparaît sous-estimée dans les trois scénarios retenus, par l'effet cumulé de 3 hypothèses fortes, minimisant chacune les consommations projetées : omission de l'extension de l'irrigation depuis 2010, non prise en compte de l'efficacité de l'irrigation à 2050, besoins en eau futurs des extensions estimés sur des bases actuelles. En outre, l'étude ne considère pas les projets de « substitution » des prélèvements dans les affluents par des pompages dans le Rhône, dont le bilan serait probablement déficitaire à terme, en fonction de l'hydrologie à venir de ces affluents. Les conclusions plutôt optimistes de l'étude sur la capacité de Rhône à satisfaire les scénarios d'accroissement de la demande ne peuvent donc être retenues.

En conséquence, le conseil scientifique formule trois principales recommandations :

La première recommandation est que la diffusion des résultats de l'étude auprès du public et des éventuels utilisateurs soit accompagnée des réserves indispensables indiquant qu'ils n'intègrent que partiellement les fortes incertitudes associées à la méthodologie utilisée. Il faut admettre l'incomplétude importante de ces résultats : ils ne suffisent pas, à eux seuls, à faire une véritable évaluation du faisceau dans lequel se trouveront les régimes hydrologiques futurs du Rhône et de ses affluents. Les situations réelles futures pourront être plus sévères que celles présentées dans l'étude.

La deuxième recommandation invite à approfondir ces travaux dans deux directions : d'une part l'amélioration de la méthodologie de modélisation de l'ensemble du bassin (notamment en utilisant un ensemble de modèles hydrologiques pour générer un plus grand nombre de simulations), et d'autre part, la focalisation sur des espaces plus homogènes du point de vue de différentes caractéristiques naturelles et anthropiques et dont le fonctionnement hydrologique pourra de ce fait être approché de manière plus simple et plus précise. Ces travaux pourraient utilement s'accompagner d'un effort de bancarisation et de mise à disposition des données rassemblées et utilisées ainsi que des résultats produits.

La présente recommandation insiste en outre sur l'intérêt d'étudier les effets du changement climatique sur d'autres facteurs de contrôle de la biologie et de la chimie du fleuve, en particulier la température de l'eau (elle-même conditionnant les usages de l'eau). Compte tenu de leur valeur écologique et patrimoniale particulière, elle invite aussi à étudier ces effets sur les besoins en eau et le fonctionnement des tronçons court-circuités. Enfin, l'étude de la contribution à la ressource en eau du haut bassin situé en Suisse, en particulier la gestion du lac Léman, doit être intégrée, car elle contribue fortement au débit d'étiage du Rhône en été.

La troisième recommandation porte sur les études de la capacité du Rhône et ses affluents à satisfaire, à terme, les demandes croissantes en eau à mesure que s'amplifie le changement climatique et que les contextes politiques et économiques incitent à déployer à nouveau, sur le bassin, des activités exigeantes en eau (industrie, hydro-électricité, agriculture). La recommandation précédente de travailler aux échelles spatiales adaptées aux espaces de vie et de projets vaut également ici, en engageant de véritables prospectives collaboratives territoriales intégrant des scénarios contrastés d'usages et de rapports à l'eau.

# Préambule : contexte de la saisine

## *Sur les études des étiages du Rhône*

Après une première étude conduite en 2014 sur la gestion quantitative du fleuve Rhône en période de basses eaux, l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse (AERMC) a lancé en 2021-2022 une seconde étude, co-pilotée avec la DREAL Auvergne-Rhône-Alpes pour :

- Évaluer la part que représentent les prélèvements existants par rapport aux débits du Rhône,
- Analyser l'évolution des débits du fleuve au cours des dernières décennies,
- Simuler les variations possibles des débits du fleuve à l'horizon 2055 sous l'influence des évolutions climatiques,
- Identifier les usages pouvant être impactés par l'évolution de ces débits et par des augmentations des besoins en eau.

Avec le changement climatique, l'évolution des débits du fleuve devient en effet une préoccupation collective majeure, et il s'agit au fond d'actualiser et de consolider l'étude de 2014 en intégrant davantage le changement climatique.

L'étude a été confiée au bureau d'études BRL-ingénierie (BRLi) qui l'a réalisée en association avec Hydrofis, ARALEP et l'Université de Lausanne. Son intitulé est « Étude de l'hydrologie du fleuve Rhône sous changement climatique ». On notera que l'étude 2014 a été également effectuée par BRLi.

L'AERMC et la DREAL-AuRA ont réalisé le pilotage général de la démarche. Le comité de pilotage de l'étude comprend CNR, EDF, DREAL-AuRA, DRAAF-AuRA, OFB, AERMC, INRAE et quelques membres du conseil scientifique du comité de bassin Rhône-Méditerranée.

## *Sur le contenu de la présente étude*

Le périmètre géographique de l'étude comprend le « nouveau » Rhône et sa nappe d'accompagnement du Léman à la mer, ainsi que les affluents principaux et leur nappe, à l'exception des tronçons court-circuités (ancien Rhône) qui ne sont pas pris en compte.

Le diagnostic des prélèvements, la définition des enjeux et l'analyse de la vulnérabilité du fleuve ne sont pas détaillés sur le Rhône suisse. En revanche, les apports en provenance de la partie suisse du bassin, dont l'impact sur les débits disponibles en aval est déterminant, sont pris en compte ainsi que leur évolution sous l'effet du changement climatique.

Conformément au cahier des charges, l'étude s'est chronologiquement déroulée en 3 missions :

- La mission 1 actualise le diagnostic réalisé en 2014 sur les besoins en eau actuels et projetés et dresse la situation hydrologique du fleuve et son évolution possible sous l'effet du changement climatique.
- La mission 2 évalue la vulnérabilité et la criticité de la ressource en eau du Rhône vis-à-vis de différents enjeux clés dans la perspective du changement climatique.
- La mission 3 cherche à évaluer une capacité durable de prélèvements supplémentaires par tronçon.

### *Sur l'intervention du conseil scientifique*

La saisine du conseil scientifique, signée du directeur général de l'AERMC le 22 décembre 2022, intervient à la suite de la remise des rapports d'étude par BRLi. Le conseil scientifique est sollicité pour un avis :

- Sur les méthodes utilisées dans l'étude pour répondre au cahier des charges,
- Sur la robustesse et les limites de l'interprétation des résultats et des conclusions opérationnelles de l'étude.

Il est également indiqué que le conseil scientifique pourra formuler, le cas échéant, des recommandations sur l'utilisation des résultats de l'étude et plus largement, sur les réflexions et travaux nécessaires pour préciser le diagnostic porté sur l'évolution de la ressource en eau du fleuve sous l'effet du changement climatique et de ses conséquences socio-économiques et écologiques.

Le conseil scientifique a bénéficié d'une journée de présentations et discussions approfondies des résultats par les chargés d'étude de BRLi et ARALEP, qu'il remercie vivement pour leur participation à cet exercice indispensable pour la bonne compréhension des analyses et des résultats de l'étude.

Un groupe de travail dédié a été constitué pour élaborer l'avis qui est in fine soumis à l'ensemble du conseil scientifique pour consolidation et validation.

### *Sur le contenu de l'avis*

L'avis se présente en trois chapitres, calqués sur les 3 missions de l'étude, à une différence notable près : tout ce qui concerne l'évaluation des prélèvements et des usages, actuels ou futurs, dont une partie est abordée en mission 1 de l'étude, est regroupé dans le troisième chapitre de l'avis. Le premier chapitre aborde exclusivement la modélisation hydrologique réalisée et le diagnostic porté sur la situation hydrologique du fleuve. Le deuxième chapitre, conformément au contenu de la mission 2 de l'étude, reprend l'analyse des risques de non-satisfaction des enjeux clés identifiés en climat futur.

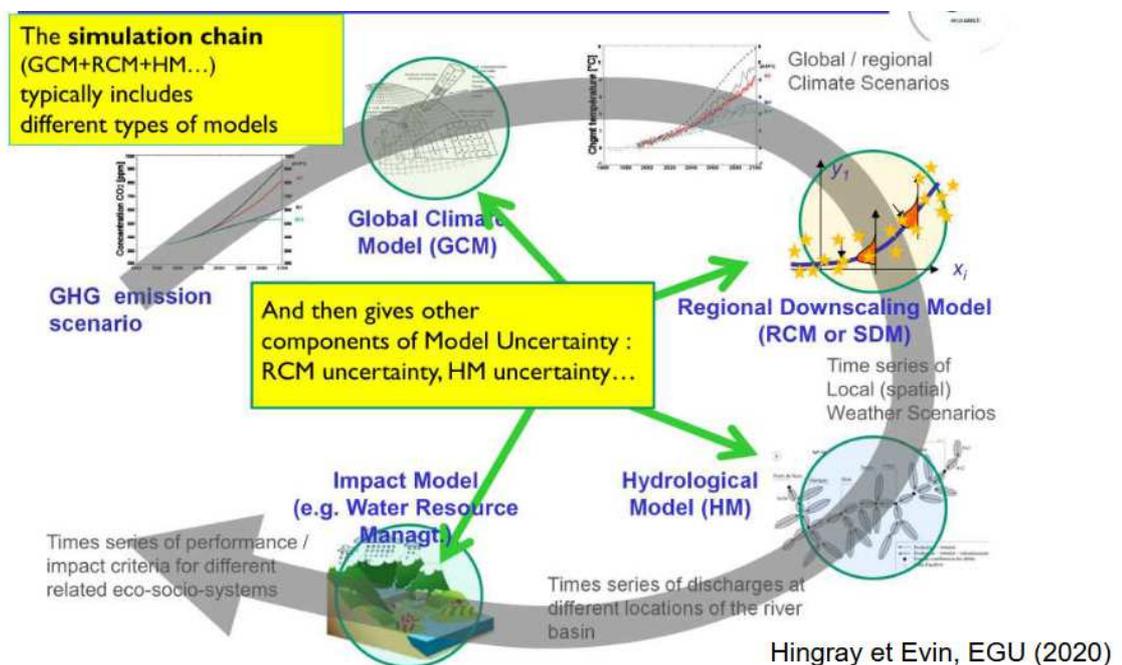
# 1. Modélisation hydrologique et diagnostic sur la situation hydrologique du fleuve

Ce chapitre se concentre sur les analyses hydrologiques développées dans la mission 1. Il consacre une première partie à la question des incertitudes dans les chaînes de modélisation hydroclimatologique puis analyse les méthodes employées et les résultats obtenus, d'une part sur les évolutions passées et futures du climat sur le bassin versant du Rhône et, d'autre part, sur les impacts du changement climatique sur l'hydrologie du fleuve. En dernier lieu, une courte analyse présente les principales critiques opposables aux méthodes et résultats de l'étude, puis la conclusion synthétise les points importants à retenir de ce chapitre dont les résultats conditionnent les analyses ultérieures sur les enjeux clés et les possibilités de prélèvements.

## a) Quelques considérations sur les incertitudes en modélisation hydroclimatologique

Pour travailler en climat futur à l'échelle d'un bassin versant tel que celui du Rhône, il faut mobiliser l'arsenal des méthodes et résultats qui permettent d'effectuer « la descente d'échelle » (cf. schéma ci-dessous), c'est-à-dire de passer des variables décrivant la dynamique du climat à l'échelle de la planète aux variables hydrologiques significatives aux échelles territoriales régionales à locales représentatives du fonctionnement du bassin versant.

*Schéma : descente d'échelle en modélisation hydroclimatologique : des modèles globaux d'émission de gaz à effet de serre jusqu'aux modèles locaux de gestion des ressources en eau - d'après Hingray et Evin EGU 2020*



Les incertitudes, multiples et significatives dans cette chaîne de traitement, proviennent de nombreuses sources et sont liées aussi bien aux imperfections des représentations accessibles par les modèles utilisés qu'à la qualité et à la variabilité des données et paramètres nécessaires à leur fonctionnement. Pour les évaluer, la communauté scientifique recommande de s'appuyer sur la simulation d'ensemble, consistant à utiliser, à chaque étape de la chaîne, une panoplie de modèles et pour chacun, un très grand nombre de simulations prenant en compte les variabilités possibles. Les incertitudes peuvent alors être approchées à partir de l'analyse des distributions statistiques des résultats obtenus dans l'ensemble de ces simulations.

Dans la partie de cette chaîne concernant les modélisations climatiques (qui va des scénarios d'émission de GES aux modèles climatiques régionaux), ces incertitudes sont liées, pour les principales :

- Au choix des scénarios d'émission et à l'impossibilité de prévoir comment la concentration de gaz à effet de serre va évoluer dans le futur en fonction des trajectoires d'évolution socio-économiques, mal contraintes, à l'échelle de la planète (démographie, croissance économique) ;
- Aux modèles climatiques globaux et régionaux, qui utilisent une représentation simplifiée des processus géophysiques et ne peuvent prétendre représenter correctement la complexité des interactions naturelles dans le système terre et les anthropo-hydro-systèmes impactés par le changement climatique ;
- Même sous l'hypothèse d'une représentation parfaite des processus dans les modèles climatiques, à la variabilité interne du climat qui n'est pas connue et résulte en grande partie du fonctionnement chaotique du système climatique.

Les étapes suivantes, qui intéressent l'aménagement et la gestion des eaux, consistent, via les modèles hydrologiques couplés éventuellement à des modèles de gestion prenant en compte les usages, à passer des variables climatiques régionales aux variables hydrologiques usuelles (les débits) et, in fine, à évaluer dans quelle mesure les valeurs de ces variables satisferont ou non, dans le futur, divers critères et contraintes physiques, écologiques ou économiques.

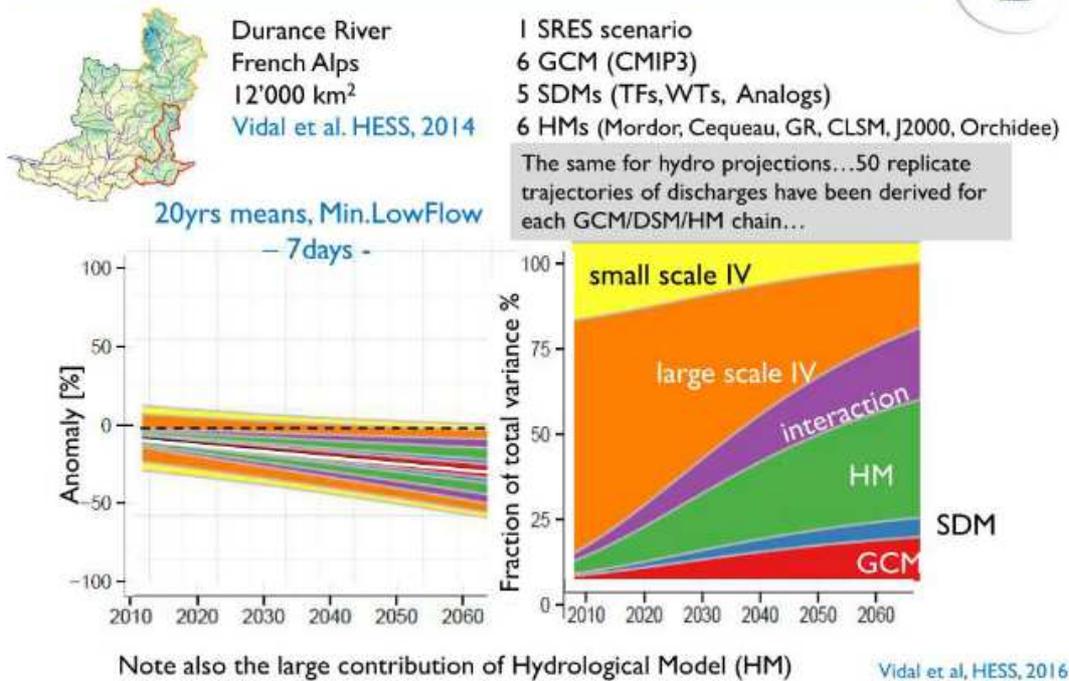
Dans ces dernières étapes, l'approche par des simulations d'ensemble de modèles est également préconisée pour évaluer la pertinence des résultats et les incertitudes qui les accompagnent, au double motif que :

- Différents modèles hydrologiques produisent des impacts locaux différents pour un forçage par un même climat régional futur ;
- Les analyses multi-modèles (projet Explore 2070 notamment) montrent à la fois un rôle dominant de l'incertitude introduite par le choix du modèle hydrologique et la variabilité des sources d'incertitudes en fonction de l'indicateur hydrologique considéré.

Des études statistiques récentes ont permis des avancées utiles pour identifier et quantifier les variabilités et les incertitudes associées à ces différentes sources (Hingray et Saïd, 2014 ; Vidal et al., 2016 ; Evin et al, 2019 ; Evin et al., 2021). On voit clairement dans le schéma ci-dessous la part croissante que prend, dans le temps, la modélisation hydrologique (zone verte HM) par rapport aux autres modélisations dans l'explication de la variance globale des résultats.

Schéma : approche des incertitudes sur l'estimation des débits pour un exemple de descente d'échelle hydroclimatologique appliquée au bassin de la Durance – d'après Vidal et al., 2016.

## SM2. Illustration : Uncertainty in low flow discharges



On notera ici que, à la différence du consensus méthodologique accompagnant la descente d'échelle des variables climatiques, l'état de la science n'est pas stabilisé pour l'obtention des variables hydrologiques, sauf à dire que l'approche par la simulation d'ensemble de modèles est indispensable pour approcher le faisceau des futurs hydrologiques possibles.

### b) Évolutions passées et futures du climat sur le bassin versant du Rhône

L'ensemble de l'analyse est conduit de manière convaincante et s'appuie sur les méthodes développées et validées par la communauté scientifique des climatologues et des météorologues. Elle conduit à des résultats très intéressants qu'il est utile de rappeler ici, car ils témoignent des évolutions significatives déjà constatées et alertent sur les évolutions probables des principaux marqueurs du climat sur le bassin du Rhône.

En premier lieu, **les analyses rétrospectives** permettent de constater la réalité des évolutions climatiques marquées par :

- Une augmentation généralisée des températures, de +1,8 °C en moyenne annuelle à l'échelle du bassin sur la période 1960-2020, hausse plus marquée en été (+2,7 °C). Spatialement, les zones de la vallée moyenne du Rhône, de la rive droite du Rhône située entre Saône et Ardèche et des confins vosgiens du bassin versant de la Saône ont connu des hausses plus marquées sur la période.
- Pour les précipitations, une relative stabilité dans le temps des précipitations totales (solides + liquides) annuelles et saisonnières, quel que soit le secteur considéré, mais une évolution généralisée de la balance pluie-neige au profit des précipitations liquides. Ce point est important pour le fonctionnement hydrologique du bassin.

L'augmentation globale des températures entraîne l'augmentation de l'évaporation et de l'évapotranspiration potentielle (ETP). Cette tendance, observée principalement pendant l'été, est importante, car l'ETP est un facteur clé conditionnant les besoins en eau de la végétation naturelle et des cultures. Sur la période 1960-2020, l'augmentation de l'ETP est estimée à 180 mm (soit 23 % de la moyenne annuelle 1960-2020).

L'augmentation de la température de l'air impacte aussi la température de l'eau des cours d'eau et du fleuve Rhône comme l'avait déjà identifié l'étude de 2014. L'analyse des données de la période récente (2004-2020) montre que la température moyenne annuelle continue d'augmenter. En fonction des stations, le réchauffement observé de l'eau du fleuve, depuis les années 1970, varie de +2,2°C à +4,5°C.

Des fiches détaillées de rétrospectives donnent accès aux évolutions des principales variables climatiques par grands secteurs géographiques.

Pour travailler en climat futur, deux scénarios d'émission de GES sont utilisés, RCP 4.5 associé à une stabilisation des émissions avant 2100 et RCP 8.5 associé à une absence de politique climatique et à une forte augmentation des émissions jusqu'en 2100. Chacun de ces deux scénarios d'émission est utilisé pour le forçage de six modèles climatiques globaux (CNRM, EC-HEARTH, IPSL, HadGEM, MPI-ESM, NorESM) qui représentent la circulation atmosphérique générale, les principales interactions avec les océans et les surfaces continentales (relief, végétation, sols) et la réponse du système climatique au forçage radiatif sélectionné. Cet ensemble de modèles produit des réponses climatiques très différentes pour un même forçage. La descente d'échelle spatiale depuis les résolutions spatiales de ces modèles planétaires (maillage 150 km) à la climatologie régionale (de l'ordre de 10 km) nécessaire pour aborder l'aménagement des eaux, est effectuée dans le cadre de DRIAS 2020, un service climatique de météo-France qui permet d'accéder aux résultats des simulations du climat futur sur la France. Pour ce faire sept modèles climatiques régionaux ont été utilisés : Aladin, RACMO, RCA4, CCLM, WRF381P, REMO, HIRHAM. L'ensemble des combinaisons n'ayant pas été réalisées, au final, seules 10 projections climatiques sont disponibles. Dans cette étape de descente d'échelle, différents modèles régionaux forcés par un même modèle global aboutissent effectivement à des réponses climatiques régionales différentes. L'étape suivante consiste à corriger les biais des projections climatiques par comparaison avec les données observées de la période de référence (1976-2005). Dans le cas de DRIAS 2020, il s'agit de la méthode statistique ADAMONT. Chaque distribution des variables climatiques (températures et précipitations notamment) est ainsi corrigée en utilisant une climatologie par saison et par type de temps. Les données climatiques finales sont disponibles sur la même grille de 8 km par 8 km avec un pas de temps journalier. Les résultats sont ainsi obtenus conformément aux préconisations de la communauté scientifique, et ils s'accompagnent d'incertitudes, éventuellement fortes, qui prennent en compte le faisceau des futurs possibles dessiné par l'ensemble des simulations effectuées.

On cite ci-dessous les résultats principaux obtenus sur les projections climatiques du bassin :

La période de référence est de 30 ans 1976 -2005. Trois horizons à court (2035), moyen (2055) et long (2085) terme sont étudiés, centrés sur des périodes de 30 ans, respectivement 2021 -2050, 2041 – 2070 et 2071 – 2100. Seuls les deux premiers sont étudiés en détail.

- Toutes les modélisations projettent une augmentation des températures ;
- Les 2 scénarios RCP ne se différencient qu'à partir de 2050, horizon où les éventuelles mesures d'atténuation prises aujourd'hui commencent à produire un effet sensible ; ainsi à l'horizon 2055 (2041 – 2070), les résultats suivants sont obtenus :
  - Dans le cas du scénario RCP 4.5 : une augmentation de + 1,8°C (de + 1,10°C à + 2,6°C selon les projections) par rapport à la période de référence 1976 – 2005 ;
  - Dans le cas du scénario RCP 8.5 : une augmentation de + 2,3°C (1,90°C à 3,0°C selon les projections) par rapport à la période de référence 1976 – 2005.
- Les augmentations de température tendent à être plus importantes sur le massif alpin que sur le reste du bassin du Rhône.
- Pour ce qui concerne les précipitations, aucune tendance à l'augmentation ou à la diminution des précipitations moyennes n'est constatée à l'échelle annuelle, jusqu'à l'horizon 2100 pour le bassin du Rhône.
- À l'échelle mensuelle, pour l'horizon proche (2021-2050), il n'y a pas de tendance claire à l'augmentation ou la diminution des précipitations. Pour l'horizon à moyen terme (2041-2070), les projections s'accordent sur des hausses de précipitations en hiver. Les médianes des projections en juillet et août tendent à une baisse des précipitations, mais certaines projections diffèrent.
- Enfin, tous les secteurs à dominante montagneuse voient une diminution très significative des précipitations solides comme conséquence directe de l'augmentation globale de la température de l'air. Cette nouvelle distribution de l'enneigement en montagne aura un impact direct sur la formation des écoulements et leurs répartitions saisonnières. Une élévation importante de l'isotherme zéro degré se traduira dans un premier temps par une fonte accélérée des glaciers. À un horizon plus lointain, l'apport hydrologique par la fonte des glaciers va se réduire drastiquement. Dans le climat actuel, la contribution des glaciers au débit du Rhône au mois d'août à Beaucaire est en moyenne de 25 %, mais elle peut atteindre 40 % en période d'étiage sévère comme en 2003.

### **c) Impacts du changement climatique sur l'hydrologie du fleuve**

Les changements climatiques influencent tous les compartiments (glaciers, versants, sols, cours d'eau, lacs ...) et tous les processus qui sont à l'origine des écoulements de l'eau à la surface et en profondeur (aquifères). Une modification de la distribution spatiale et/ou temporelle des précipitations va impacter directement le régime hydrologique des cours d'eau. Si la température de l'air augmente, l'évapotranspiration et la fonte des glaciers vont augmenter. Le réchauffement de l'atmosphère va également avoir un effet sur la proportion de précipitation solide, il y a moins de neige. Cela se traduit par la diminution de la couverture de neige en hiver, une fusion nivale plus précoce et sa disparition en été. Une modification des débits pour les cours d'eau montagnards en sera la principale conséquence.

Les différents compartiments (réservoirs) réagissent selon des échelles de temps très différentes. Aux deux extrémités du spectre, on trouve les cours d'eau et les sols qui peuvent réagir en quelques minutes sous l'effet des précipitations et provoquer une augmentation locale du débit. Il faudra quelques semaines ou mois aux sols pour restituer de l'eau à l'atmosphère sous l'effet de l'évapotranspiration. À l'inverse, les glaciers et les eaux souterraines profondes peuvent stocker l'eau pendant plusieurs années, voire des décennies ou même des siècles. Plus un réservoir a un temps de stockage long, plus lentement il réagit aux changements climatiques.

Ces quelques exemples illustrent la complexité des relations causales dans un bassin versant et la difficulté à la représenter dans un modèle hydrologique. La modélisation hydrologique sous climat actuel est déjà une opération d'une très grande complexité, d'autant plus grande que l'on veut prendre en compte les usages anthropiques (irrigation, production d'eau potable, production d'énergie), qui, en dehors de tout changement climatique, impactent très fortement le régime naturel des eaux et la disponibilité actuelle de la ressource en eau, comme c'est le cas sur le bassin du Rhône, déjà très fortement anthropisé. En outre, cette complexité est augmentée par l'hétérogénéité du bassin, qui, par sa taille même, compose des sous-bassins très différents par la géologie, le relief, la climatologie, la couverture végétale, ou encore l'anthropisation, et par conséquent également très différents par le régime hydrologique.

L'étude se heurte à cette complexité pour reconstituer l'hydrologie naturelle du Rhône, en particulier à l'étiage. Celle-ci s'appuie d'une part sur la connaissance de l'ensemble des influences concernant les usages et les ouvrages (voir chapitre 3 du présent avis) et, d'autre part, sur l'utilisation du modèle hydrologique J2000-Rhône développé par INRAE. Ce modèle distribué, en développement continu en tant qu'outil de recherche, présente un certain nombre de limitations, notamment l'absence de module glaciaire et l'insuffisance du calage, au point de vue du fonctionnement hydrologique en temps présent, sur certains tronçons ou zones du bassin. En conséquence, son utilisation en tant qu'outil opérationnel, et pour des simulations en climat futur, présente des difficultés et engendre nécessairement des incertitudes fortes. Cependant, le comité de pilotage de l'étude a décidé de l'utiliser, au vu de sa capacité à représenter, en valeurs relatives, les changements hydrologiques passés sur les affluents majeurs du Rhône. Le modèle a ainsi été utilisé pour la simulation en temps présent des débits du Rhône puis pour évaluer les impacts du changement climatique sur les régimes hydrologiques, mais l'obtention des valeurs absolues des débits a nécessité d'élaborer et mettre en œuvre une méthodologie particulière de correction, dite de « futurisation » des débits dans le rapport d'étude.

Une difficulté majeure provient de ce que la méthodologie de « futurisation » des débits n'est accompagnée d'aucune analyse qui aurait permis d'évaluer quantitativement sa pertinence. En particulier, l'utilisation et l'estimation des deux vecteurs de transformation proposés pour la correction des débits ne sont pas validées scientifiquement. Cette manière de procéder est calquée en effet sur des pratiques de la communauté des météorologues et climatologues et les références bibliographiques scientifiques se rapportent à la correction de biais pour des variables climatiques. En revanche, elle ne fait l'objet pour l'instant d'aucun consensus scientifique de la part des hydrologues, pour ce qui est des applications à des variables purement hydrologiques (les débits).

Cette démarche repose sur des hypothèses fortes, qui vont contraindre les résultats :

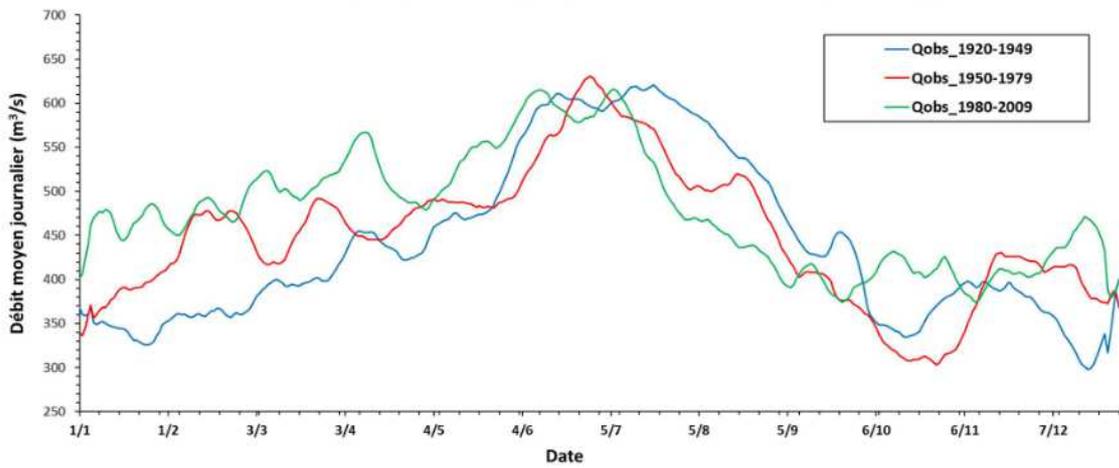
- Le fonctionnement hydrologique des bassins versants reste identique, l'état de surface reste inchangé de sorte que les vecteurs de transformations hydrologiques resteront semblables en conditions futures.
- L'évolution climatique, en agissant à minima sur l'évapotranspiration et la distribution de la neige en montagne, provoquera de nouvelles conditions hydrologiques, comme la diminution de la contribution de la neige et de la dynamique des fontes glaciaire et nivale, qui pourront induire des changements de régime de l'ensemble des cours d'eau du bassin et en conséquence de nouvelles modalités de gestion de l'eau. Ces possibilités d'évolutions ne sont pas prises en compte dans la méthode qui admet une certaine invariance de la distribution des régimes et de la gestion de l'eau dans le bassin.
- Les biais du modèle J2000-Rhône dans le futur seront de même nature que pour les conditions présentes alors que les corrélations entre variations de précipitations, de températures et de débits seront différentes dans le futur.

Pour illustrer concrètement ces biais possibles, nous avons appliqué la méthode de « futurisation » dans un univers hydrologique connu, celui des débits du Rhône à la station de Lagnieu. La période d'observation des débits, ici 1920-2009, est découpée en 3 périodes de 30 ans, 1920-1949, 1950-1979 et 1980-2009. La première sert de référence historique et la méthode de « futurisation » est appliquée pour simuler les débits sur les 2 autres, qui jouent le rôle de futur proche et futur lointain vis-à-vis de la référence. L'intérêt est de pouvoir comparer les débits simulés sur ces deux périodes « futures » aux débits réellement observés à la station. Les observations et résultats sont présentés sur les 3 figures en page suivante.

Une interprétation simplement visuelle de ces courbes amène aux constats suivants :

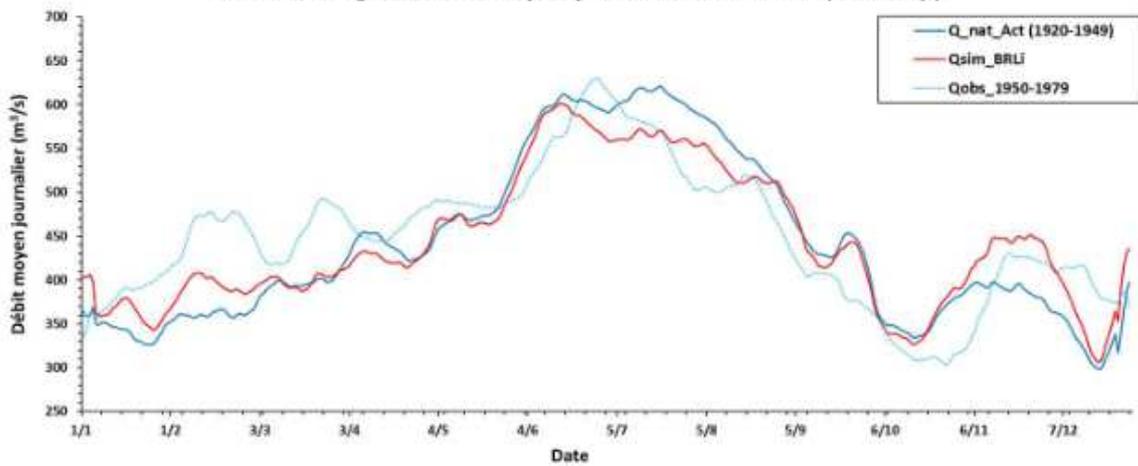
- En un peu moins d'un siècle, le régime du Rhône évolue de manière significative (1<sup>ère</sup> figure) ;
- Le régime simulé, courbe rouge, est proche du régime de référence, courbe bleu foncé, pour le moins, les deux courbes sont animées de variations très similaires (2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> figures) ;
- Le régime réellement observé, courbe bleu clair, est significativement différent du régime simulé, courbe rouge, et la différence est d'autant plus grande que l'horizon est lointain (2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> figures).

Le Rhône à Lagnieu, débits moyens journaliers interannuels (lissés 11 j.)

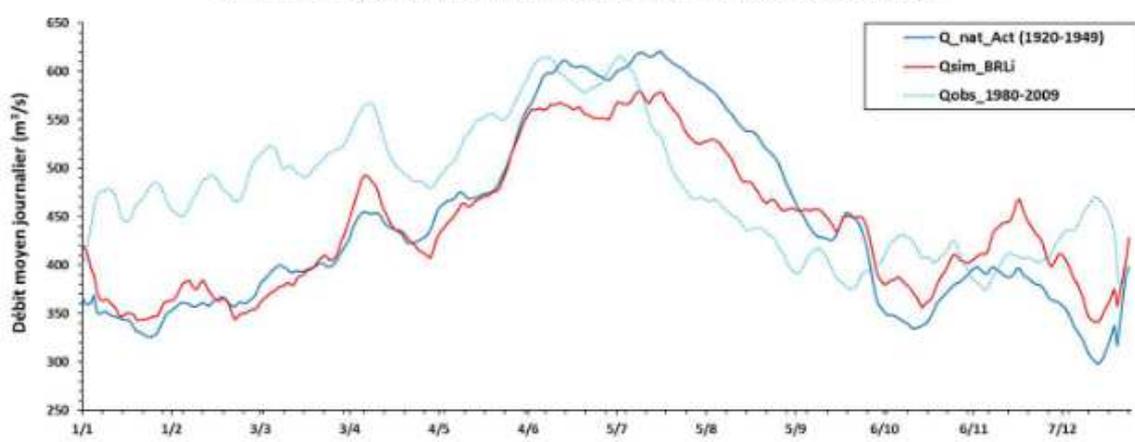


Source des données CNR (2023)

Le Rhône à Lagnieu, débits moyens journaliers interannuels (lissés 11 j.)



Le Rhône à Lagnieu, débits moyens journaliers interannuels (lissés 11 j.)



Ainsi, la méthode de « futurisation » des débits, i.e. l'application aux débits observés naturalisés des deux vecteurs de transformation utilisés pour la correction des biais, donne un poids trop fort au régime des débits de la période historique. Elle va projeter dans le futur des régimes proches de répliques des régimes observés sur la période de référence de l'étude (1986-2020), alors que les régimes futurs du Rhône et de ses affluents seront très probablement significativement différents. Ce dernier point est lui-même bien illustré, entre autres, par les observations des débits à la station de Lagnieu (figures précédentes) et plus généralement par le tableau suivant, tiré de la synthèse mission 1, résumant les évolutions des débits au cours des dernières décennies en différents points du bassin.

Tableau 3 : Résumé des évolutions (significatives ou non) aux stations nodales du Rhône et pour quelques stations de référence des principaux affluents du Rhône.

	Période d'analyse		Q Annuel	QMNA	VCN10	Q Hiver	Q Printemps	Q Été	Q Automne
	Arve à Arthaz	1961	2020	-11%	-11%	-6%	-4%	-8%	-19%
Bourbre à Tignieu	1964	2020	-1%	-8%	-14%	11%	-13%	-12%	8%
Ain à Chazey	1960	2020	-5%	-16%	0%	3%	-17%	-14%	4%
Saône à Couzon au Mtd_Or	1960	2020	-5%	-13%	-15%	-2%	-13%	-14%	5%
Isère à Beaumont	1960	2020	-6%	-5%	-4%	6%	-7%	-15%	-2%
Durance à Cadarache	1970	2016	-5%	-14%	-22%	2%	-8%	-16%	5%
Rhône à Pougny	1960	2020	-1%	4%	-8%	7%	-2%	-7%	0%
Rhône à Lagnieu	1960	2020	-2%	-5%	-5%	7%	-6%	-7%	2%
Rhône à Ternay	1960	2020	-5%	-3%	-2%	0%	-12%	-11%	2%
Rhône à Valence	1960	2020	-6%	-8%	-9%	1%	-13%	-14%	1%
Rhône à Viviers	1960	2020	-5%	-6%	-7%	2%	-11%	-12%	2%
Rhône à Beaucaire	1960	2020	-4%	-5%	-3%	2%	-12%	-13%	6%

Tendance positive significative

Tendance négative significative

X% : écart entre les périodes 1960-1990 et 1990-2020

Ces évolutions, visibles sur les données observées, sont significatives : globalement, on observe sur tous les affluents du Rhône une baisse des caractéristiques d'étiage entre la période ancienne et la période récente. Sur le Rhône lui-même, on retrouve des tendances identiques à celles constatées sur les bassins de méso échelle alpins et préalpins étudiés : une hausse des débits hivernaux et une baisse des débits estivaux et des caractéristiques d'étiage (Pougny excepté).

#### d) Synthèse des analyses critiques des travaux conduits dans l'étude

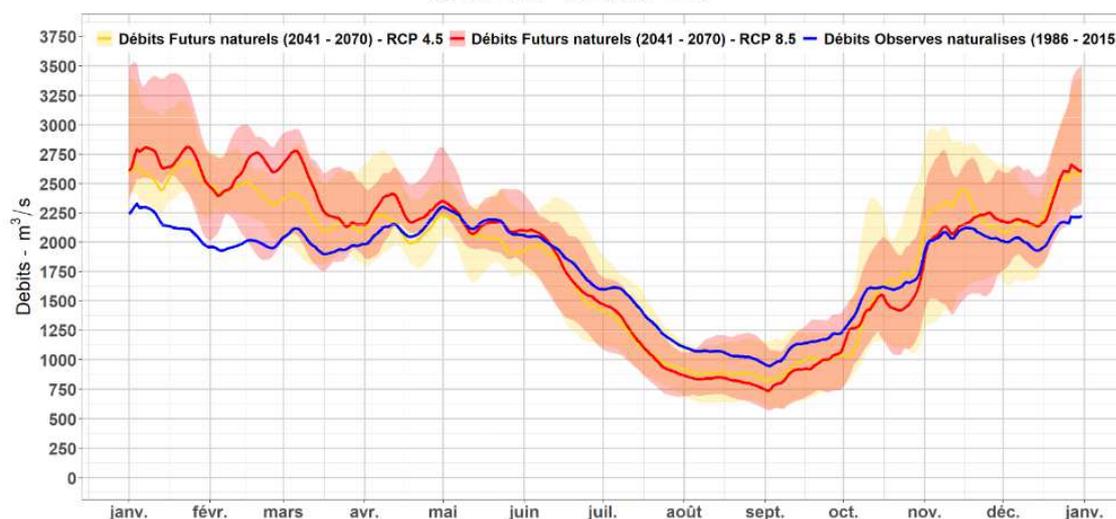
Ce paragraphe synthétise les critiques principales adressées au rapport d'étude. Il présente, en complément des analyses développées dans les paragraphes précédents concernant le fonctionnement hydrologique, quelques points qui n'y ont pas encore été évoqués.

En premier lieu, on peut s'étonner de ce que l'étude n'ait pris en compte les tronçons court-circuités que pour analyser le risque de non-satisfaction de leurs débits réservés. En effet, ils portent une partie très significative de la valeur écologique et patrimoniale du Rhône. En outre, il semble pertinent, a priori, de considérer que leur fonctionnement peut être affecté par les périodes d'étiage futures selon les tensions auxquelles sera soumis le système Rhône dans ces périodes.

En deuxième lieu, les biais assez visibles de la méthodologie hydrologique de « futurisation » utilisée amènent à s'interroger sur la pertinence des résultats.

En troisième lieu, la présentation des résultats, dans la synthèse notamment (pages 20 à 24), fait beaucoup de place aux schémas de valeurs lissées sur des pas de temps plutôt larges (échelle annuelle, échelle saisonnière ou mensuelle et, au plus fin, débits lissés sur 10 jours glissants). Le modèle hydrologique utilisé fonctionnant au pas de temps journalier, il ne faut cependant pas oublier d'examiner les résultats à ce pas de temps, d'autant plus que les études de risque qui constituent le cœur de la mission 2 (chapitre suivant) vont s'intéresser aux occurrences statistiques de dépassement et sous-passement de certaines valeurs seuils. La figure 10 page 20 de la synthèse présente bien les évolutions annuelles des débits moyens journaliers, mais, pour les raisons qui sont rappelées aux alinéas ci-dessous, les interprétations et commentaires qui les accompagnent ne sont pas satisfaisants.

Figure 10. Débits moyens journaliers interannuels projetés du Rhône à Beaucaire à l'horizon 2055 pour les scénarios de GES RCP 4.5 et RCP 8.5.



En dernier lieu, l'analyse des incertitudes accompagnant les résultats produits est largement insuffisante, ceci englobant, dans une certaine mesure, les critiques sur la méthodologie hydrologique de « futurisation » utilisée. Le rapport met en avant la précision des mesures de débits comme source principale d'incertitude, mais semble ignorer la cause et l'importance des incertitudes dans l'ensemble de la méthodologie développée (*SAFRAN, J-2000 corrigé pour le climat présent et DRIAS2020\_J2000\_futurisé*). En outre, les résultats proviennent de l'utilisation d'un seul modèle hydrologique, ce qui peut limiter l'approche des variabilités possibles, comme le montrent les travaux scientifiques récents cités sur les incertitudes. Ainsi, dans la figure 10 ci-dessus, d'une part, ce ne sont pas les courbes jaune et rouge des débits futurs qu'il faut considérer comme représentatifs, mais bien le faisceau enveloppe des débits (cumul des zones jaune et rose) issus des simulations d'ensemble avec 10 modèles climatiques, dans lequel devrait se situer l'hydrologie réelle future. Et d'autre part, il faut aussi admettre que ce faisceau enveloppe est une vue « optimiste », il est en réalité plus large ; l'évaluer avec davantage de pertinence demanderait des investigations supplémentaires qui n'étaient pas possibles dans les contraintes de l'étude.

## Points à retenir et recommandations

Il convient tout d'abord de saluer le travail considérable et de qualité qui a été fourni par les chargés d'étude, dans des contraintes de temps fortes. Il donne lieu à des documents très bien conçus, qui présentent les résultats de manière très lisible et mentionnent clairement, aux étapes nécessaires, les hypothèses faites, les simplifications utilisées et certaines limites d'interprétation. Il faut aussi se réjouir de ce que les grands opérateurs de l'ingénierie soient en mesure de mettre en œuvre les chaînes de traitement complexes permettant d'aborder les questions d'aménagement et de gestion des eaux en prenant explicitement en compte les évolutions potentielles du climat.

Pour ce qui concerne la qualité et la pertinence des résultats produits le long de la chaîne de modélisation hydroclimatologique :

- Les évolutions du climat sur le bassin sont bien analysées aussi bien pour le passé que pour le futur.
- Un important travail d'estimation des débits historiques naturels ou désinfluencés est conduit et des résultats originaux sur l'évolution du régime hydrologique du Rhône et de ses affluents sur la période historique sont présentés.
- La méthode de « futurisation » des débits n'est pas validée scientifiquement ; testée rapidement sur une longue série de données observées portant la trace des évolutions du climat, elle aboutit à des résultats peu convaincants montrant des biais significatifs entre observations et résultats de simulation.
- La question des incertitudes n'est pas suffisamment prise en compte. En particulier, la méthodologie dite de « futurisation » des débits ne traite pas des incertitudes spécifiques à la modélisation hydrologique, elle ne tient compte que des incertitudes liées aux modélisations climatiques.

En conséquence, il est recommandé de ne pas considérer les résultats présentés sur les débits futurs comme les trajectoires probables de l'hydrologie du Rhône et de ses affluents. Plus précisément, les plages de variation (voir figure 10 ci-dessus) dans lesquelles se situera le régime du Rhône dans le futur sont plus larges que celles énoncées. Il ne faut donc diffuser ces résultats auprès du public et des éventuels utilisateurs qu'en les accompagnant des réserves indispensables indiquant que les très fortes incertitudes qu'engendre la méthodologie utilisée n'ont pas été suffisamment prises en compte.

Il est également recommandé de donner une suite à ces travaux qui peuvent être approfondis très utilement, pour faire face aux enjeux de gestion de l'eau dans le bassin, dans deux directions complémentaires s'alimentant l'une l'autre : d'une part l'amélioration de la méthodologie de modélisation de l'ensemble du bassin, et d'autre part, la focalisation sur des espaces (sous bassins du Rhône) plus homogènes du point de vue de différentes caractéristiques et dont le fonctionnement hydrologique pourra de ce fait être approché de manière plus simple et plus précise.

On note enfin trois points importants qui ne relèvent pas directement des considérations énoncées ci-dessus :

1. Le recours fréquent à des pas de temps longs (mensuels, saisonniers, annuels) pour présenter les résultats produits est certainement indispensable pour illustrer les évolutions que le régime hydrologique du bassin pourrait suivre dans le futur ; il ne faut cependant pas oublier qu'ils introduisent des lissages qui peuvent gommer des situations momentanées éventuellement critiques et que, par ailleurs, pour certains domaines comme l'hydrobiologie ou la qualité de l'eau, des pas de temps bien plus faibles (journaliers et infra journaliers) sont essentiels à prendre en compte.
2. Les tronçons court-circuités ne sont pas pris en compte dans l'étude, ce qui est surprenant au vu de leur importance et de leur valeur aux plans patrimonial et hydrobiologique. Ils font cependant l'objet d'une analyse des risques de sous-passement des débits réservés en climat futur (voir chapitre suivant).
3. Comme pour l'étude de 2014, la contribution à la ressource en eau du haut bassin, la pérennité des barrages hydro-électriques et la gestion du lac Léman par les Suisses ne sont pas abordées, alors que l'apport par le Léman peut représenter certaines années jusqu'à 40 % du débit d'étiage du Rhône à Beaucaire comme au mois d'août 2003.

Enfin, compte tenu de la somme considérable d'informations et de données recueillies, le conseil scientifique estime que ces travaux pourraient utilement s'accompagner d'un effort de bancarisation et de mise à disposition des données rassemblées et utilisées ainsi que des résultats produits. Cette remarque vaut aussi pour les deux autres missions examinées ci-après.

### *Références bibliographiques*

Hingray, B., Saïd, M., 2014. Partitioning internal variability and model uncertainty components in a multimodel multireplicate ensemble of climate projections. *J.Climate*. 27(17); pp. 6779-6798. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00629.1>

Evin, G., Hingray, B., Blanchet, J., Eckert, N., Morin, S., and Verfaillie, D., 2019. Partitioning Uncertainty Components of an Incomplete Ensemble of Climate Projections Using Data Augmentation, *J. Climate*, 32, 2423–2440, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0606.1>, 2019.

Evin, G., Somot, S., Hingray, B., 2021. Balanced estimate and uncertainty assessment of European climate change using the large EURO-CORDEX regional climate model ensemble. *Earth Syst. Dynam.*, 12, 1543–1569, 2021. <https://doi.org/10.5194/esd-12-1543-2021>

Vidal, J.P., Hingray, B., Magand, C., Sauquet, E., Ducharne, A., 2016. Hierarchy of climate and hydrological uncertainties in transient low flow projections. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 20, 3651–3672, [doi:10.5194/hess-20-3651-2016](https://doi.org/10.5194/hess-20-3651-2016) ;

## **2. Analyse des risques concernant les enjeux clés dans le futur**

La méthodologie générale mise en œuvre est clairement exposée au début du rapport de mission 2.

Elle s'appuie sur la connaissance des chroniques hydrologiques correspondant aux débits naturels du système et à leur évolution sous l'effet du changement climatique, d'une part, et sur celle des influences anthropiques correspondant aux usages actuels, dites influences de référence, d'autre part. L'hydrologie du système, dite réinfluencée dans le rapport, est reconstituée sur les 4 périodes d'intérêt, la période actuelle de référence (1976-2005) et les 3 périodes futures à court (2021-2050), moyen (2041-2070) et long terme (2071-2100) en appliquant les mêmes influences de référence aux débits naturels ; ces débits, pour ce qui concerne les périodes futures, sont ceux obtenus dans les différentes projections climatiques utilisées dans l'étude.

Une première partie du travail s'efforce de caractériser la satisfaction de chaque enjeu par des variables hydrologiques spécifiques (i.e., concrètement, en termes de valeurs de débits seuils, débits dépassés ou sous-passés notamment). Cette correspondance hydrologique étant établie - lorsqu'elle est possible- on peut alors pister ces variables spécifiques dans le régime actuel puis dans les régimes futurs et analyser la manière dont leurs valeurs évoluent et se situent par rapport aux critères de satisfaction de chaque enjeu.

Le présent avis ne revient pas sur le choix des 6 enjeux clés finalement retenus, qui est le fruit d'une concertation approfondie entre les différentes parties prenantes de l'étude. Dans le temps imparti, il n'est pas non plus entré dans l'analyse détaillée de la manière dont sont extraites les caractéristiques hydrologiques de chaque enjeu. Il fait, en revanche, pour chacun de ces enjeux, un certain nombre de remarques et de commentaires qui peuvent souligner les limitations ou l'incomplétude des analyses effectuées et amener à la prudence dans l'utilisation des résultats énoncés.

En outre, il faut garder à l'esprit le fait, établi au chapitre précédent, que les variations possibles des régimes hydrologiques futurs, autrement dit les incertitudes associées aux résultats produits, sont significativement plus fortes que celles présentées, sans qu'il soit à ce stade possible de les évaluer plus précisément. Ceci invalide également, au moins en partie, les conclusions de l'étude, généralement plutôt optimistes.

Cependant, 2 enjeux ne sont pas examinés ici ; il s'agit de :

- La production d'énergie décarbonée : d'une part l'étude du refroidissement des CNPE demande de regarder assez précisément la question de la thermie du fleuve, qui est hors cahier des charges ; d'autre part, l'étude du productible hydroélectrique demande de s'intéresser, vu leur poids dans le bilan énergétique, aux affluents du Rhône qui ne sont pas non plus dans le champ d'étude. Pour cette double raison, l'analyse des résultats qu'on peut proposer pour cet enjeu est trop limitée.
- La disponibilité de l'eau pour les prélèvements : l'analyse des questions concernant les usages et les prélèvements est regroupée au chapitre 3 du présent avis. Il convient cependant de noter ici que la question de la disponibilité de l'eau du Rhône pour les prélèvements doit être revue sur la base d'une hydrologie future plus complète accompagnée des bonnes incertitudes.

Le dernier paragraphe regroupe les remarques et critiques principales. Elles doivent aboutir à relativiser et durcir les conclusions du rapport d'étude et, pour le moins, à en nuancer et compléter les formulations qui vont, en général et trop rapidement dans le texte, dans le sens d'une faible à très faible augmentation des risques de non-satisfaction de tous les enjeux.

### **a) Le rôle des eaux souterraines comme une ressource en eau importante**

Les eaux souterraines ne sont que peu abordées dans les rapports : pour la mission 1 par exemple, le mot « Piézométrie » est absent et le mot « Aquifère » apparaît à 2 reprises de manière très spécifique.

On comprend (annexe 7) qu'elles sont considérées par le réservoir profond du modèle et que leur fonctionnement est pris en compte dans le modèle à travers un coefficient de vidange (paramètre calé). Le bassin est discrétisé selon 12 classes de réservoirs (types d'aquifères) à partir de la carte géologique au 1 : 250 000. Ainsi, la méthodologie apparaît adaptée à l'échelle et aux objectifs de l'étude. Néanmoins, quelques remarques peuvent être formulées :

- Les relations nappe-rivière ne sont pas illustrées par exemple par des chroniques liant piézométrie, niveau d'eau du Rhône ou d'affluent et précipitations. Cela pourrait permettre d'illustrer comparativement le cas d'un karst et d'une nappe peu perméable et leur rôle en soutien d'étiage.
- La part des eaux souterraines dans le débit du Rhône ou de ses affluents par secteur n'est pas estimée (besoin de territorialisation) : cela permettrait de localiser les zones vulnérables (quantité, hydrochimie, thermie).
- L'impact du changement climatique sur les aquifères n'est pas exploré. Par comparaison, le rôle des glaciers ou des retenues artificielles lors des périodes d'étiage est abordé dans la période actuelle et sous scénarios climatiques. Pourtant, l'augmentation de l'ETP et le changement de régime des précipitations ne vont pas impacter dans les mêmes proportions la recharge des aquifères selon leur nature (leur classe dans le modèle) et par conséquent les volumes échangés avec le Rhône et ses affluents, particulièrement en période d'étiage. On peut penser que des précipitations plus intenses vont moins recharger les nappes favorisant le ruissellement et les écoulements dans les drains karstiques. Dans ces conditions, ces phénomènes très non linéaires et difficiles à intégrer dans un modèle à réservoir pourraient avoir pour conséquence de réduire les débits d'étiage futurs estimés.
- Un important effort a été réalisé sur le volet prélèvement dans les aquifères (eau potable et agriculture principalement), mais l'évolution de la répartition des prélèvements entre eaux de surface et eaux souterraines n'est pas claire. Même si annuellement cela ne représente que 10 %, il peut y avoir des conséquences locales quantitatives et qualitatives notamment en période d'étiage.

### **b) La remontée du coin salé dans le delta du Rhône**

Pour ce qui concerne le risque de remontée du coin salé, l'enjeu pour la production d'eau potable (AEP) à partir de la nappe alluviale lié à l'évolution (à la baisse) du débit apparaît bien abordé compte tenu de l'échelle de l'étude et des données disponibles. Le rapport de synthèse de la mission 2 conclut à un risque faible sur la base d'une méthode adaptée.

Néanmoins, l'hypothèse d'atténuation de perte piézométrique des nappes à faible distance du Rhône provoquée par la baisse de son niveau manque d'arguments plus solides que la simple affirmation : « Notons de plus qu'une perte de 10 cm de la ligne d'eau du Rhône ne signifie pas une perte de 10 cm dans la totalité du réservoir alluvial ; cette perte diminue avec la distance aux berges du fleuve et devient négligeable en quelques centaines de mètres ». Cette atténuation est liée au gradient piézométrique des nappes, dit autrement à leurs transmissivités et à leurs débits.

Enfin pour ce qui est de l'enjeu de production d'eau potable à partir de la nappe alluviale en cas de baisse du débit du Rhône, le phénomène de « biseau salé » qui est bien associé à celui du « coin salé » ne fait pas l'objet d'une étude approfondie. Toutefois, à juste titre, il est dit que les productions agricoles, dont le riz, « subissent les effets du sel, mais les difficultés rencontrées sont davantage liées aux problématiques de remontée du biseau salé ». Le rapport identifie un enjeu de remontée du coin salé (secteur Aval de Beaucaire et delta) (tableau 23). Les prévisions d'augmentation de fréquence et de précocité de la remontée du coin salé auront aussi des conséquences sur le biseau salé dans les secteurs en aval des seuils. Les captages AEP ne semblent pas concernés, par contre la production agricole et la biodiversité pourraient être largement impactées par la salinisation engendrée des sols et des milieux humides.

Concernant la question de l'évolution future du niveau du Rhône, il est dit « Par ailleurs, les perspectives de hausse du niveau marin sont plutôt favorables au maintien des niveaux d'eau sur l'aval du fleuve ». Mais cette hausse n'est pas prise en compte (cf. page 82). Même si cette conséquence indirecte du changement climatique ne fait pas partie du cahier des charges de l'étude, il convient de mentionner que ses effets sur la salinisation des nappes peuvent être redoutables. En effet, la baisse attendue de la recharge associée à la hausse des prélèvements, et à de possibles baisses de niveau du Rhône qui sert de limite à potentiel, aura pour conséquence une baisse piézométrique. Dans ce contexte, la hausse du niveau marin aura un effet amplifié sur la pénétration du biseau salé. D'après la loi de Ghyben-Herberg, la profondeur de l'interface eau douce/eau salée est donnée par :  $H = 40 \times Z$  avec Z : piézométrie (mesurée par rapport au niveau marin !) et H : profondeur de l'interface). Ainsi, sans évoquer la réduction de la recharge des nappes, une hausse de 10 cm du niveau marin provoquerait une remontée généralisée de 4 mètres du biseau salé.

### **c) La préservation des milieux et des espèces aquatiques**

Mis à part les calculs de risques de sous-passement des débits réservés dans les tronçons court-circuités (TCC), l'étude propose une synthèse à partir de la consultation de nombreux experts hydrobiologistes ayant travaillé ou travaillant sur le Rhône (Universités, CNRS, INRAe, OFB, HEPIA, EDF, SYMADREM, ARALEP) et de la bibliographie aussi bien sous forme de publications scientifiques que de rapports d'études. La complexité des interactions multifactorielles est ainsi exposée de façon satisfaisante. Le diagramme de la Figure 38 (page 72) donne un aperçu de cette complexité. De ce fait, il n'a pas été possible aux chargés d'étude ni de quantifier de façon précise la relation entre processus biologiques et valeurs de débit minimum, ni de définir de seuil critique.

Compte tenu de l'importance de l'influence de la température sur les processus biologiques, l'étude BRLi reconnaît que l'évolution thermique du fleuve nécessiterait une modélisation dédiée qui n'avait pas été prévue dans l'étude.

Les TCC n'ont pas été considérés. Or c'est sur ces tronçons que l'on rencontre la plus grande diversité de conditions d'habitats, donc la plus forte biodiversité. Ce n'est pas un hasard si les deux réserves naturelles nationales rhodaniennes (RNN du Haut-Rhône Français, RNN de l'île de la Platière) sont justement établies sur de tels tronçons.

Les TCC n'ont pas fait l'objet de cette étude considérant que les débits réservés ne devraient pas y être modifiés, mais le risque de sous-passement des débits réservés dans les TCC est analysé dans la partie 4.2 ; il y est écrit page 84 que « la sensibilité des différents secteurs à une diminution des débits réservés, c'est-à-dire la gravité des conséquences sur les milieux aquatiques d'un sous-passement des débits réservés sur les TCC n'ayant pas pu être définie dans le cadre de l'étude, on considère cette sensibilité (donc la vulnérabilité des différents secteurs) homogène d'un secteur à l'autre ».

Cette hypothèse est très discutable et elle corrobore le fait que le fonctionnement des TCC devrait être examiné comme partie intégrante de l'étude des étiages du Rhône.

La modélisation a été réalisée à partir de calculs des débits lissés sur 10 jours glissants en raison de fortes incertitudes sur les débits à l'échelle journalière or les variations à l'échelle journalière, voire infra-journalière peuvent avoir de très forts impacts surtout sur les espèces et les stades de développement peu mobiles. L'étude en conclut (tableau 15, p.85) que les risques les plus élevés concernent les barrages de Lavours, de Champagnieux et d'Avignon (Sauveterre) or les tronçons court-circuités par ces barrages concentrent de très forts enjeux hydrobiologiques. Ainsi à l'aval du barrage de Champagnieux, a été établie la RNN du Haut-Rhône Français, et à l'aval du barrage de Lavours, 9 annexes alluviales ont fait l'objet de travaux de restauration écologique.

#### **d) La préservation de la qualité de l'eau du fleuve**

L'analyse comporte deux volets : 1) la recherche (rétrospective sur la période 1971-2020) d'éventuelles relations entre les plus faibles débits et les concentrations de quelques paramètres chimiques (N, P et 4 polluants organiques) et physiques (matière en suspension), 2) l'évaluation succincte des conséquences des modifications de concentrations, en termes de concentrations « critiques » pour les eaux superficielles.

Une évaluation de la modification de la qualité des eaux souterraines au niveau de trois champs captant sensibles à la qualité des eaux superficielles (analyse sur Mn et Fe) est également proposée.

L'étude BRL mentionne avec raison que bien d'autres facteurs que le débit peuvent contrôler la présence de substances dans l'eau :

*« En première approche, il peut sembler logique de supposer que pour les étiages sévères, la plus faible dilution des substances indésirables dans les eaux du Rhône devrait entraîner une augmentation de leur concentration. Cela reste une hypothèse à valider. En effet, cette hypothèse peut être qualifiée de simpliste. Elle suppose que les flux de substances indésirables soient constants dans le temps, ce qui peut ne pas être le cas ; on peut notamment citer le cas des produits phytosanitaires dont la diffusion dans l'environnement est saisonnière. De plus, les réactions physico-chimiques et biologiques, qui peuvent conduire à une diminution des concentrations des substances indésirables au fil de l'eau, peuvent être contrôlées par des paramètres plus ou moins indépendants du débit, comme la température, le taux d'oxygène dissous ... ».*

Ceci doit amener à prendre avec grande prudence l'assertion (page 102 du rapport) : « Compte tenu de la (très) faible influence du débit du Rhône sur les concentrations mesurées (de l'ordre de quelques 1/100 ème de mg/L pour une baisse de débit de 50 m<sup>3</sup>/s), le risque de dégradation de la qualité de l'eau dans le cadre d'une évolution de l'hydrologie liée au changement climatique apparaît limité.

En effet, sans analyser en détail l'approche mise en œuvre, dans un contexte complexe (baisse naturelle des concentrations de certains paramètres, saisonnalité de certaines pollutions, quantité et qualité des données disponibles, incertitude sur la nature et les quantités de polluants qui seront rejetées dans le temps et l'espace), on soulèvera ici quelques points méthodologiques majeurs qui contribuent à l'impossibilité d'une conclusion fiable, sur l'évolution de la qualité physico-chimique du fleuve avec les modifications de débit attendues sous changement climatique, et des conséquences en termes de santé humaine et de perturbation des écosystèmes :

- Les liens entre débits du fleuve et température de l'eau sont hors du champ de la présente étude, ce qui implique qu'il n'y a pas de prise en compte, pour l'analyse des conséquences en termes de concentrations « critiques », de ce facteur de contrôle des propriétés biologiques (sensibilité du vivant) et physico-chimiques (devenir / transfert) des substances.
- La contamination du Rhône varie dans l'espace et le temps, et il serait nécessaire de localiser les zones de pollution majeure (dissoutes ou particulaires) pour analyser localement les effets de variations du débit sur les concentrations.
- Les apports de polluants au Rhône doivent être évalués à l'aune des changements de fréquence et d'intensité des précipitations et des débits en résultant. Une analyse des basses eaux uniquement n'a pas vraiment de sens. En effet, les apports de polluants sont pour la plupart générés dans les bassins versants et sont transportés dans les réseaux hydrographiques, et in fine dans le chenal du Rhône. La plupart des scénarios de changements climatiques suggèrent une augmentation des régimes de pluies intenses, et donc de transfert de produits terrigènes vers les cours d'eau où ils peuvent s'accumuler. Des débits du Rhône plus faible en été et des températures de l'eau plus élevées sont des éléments qui risquent alors de remobiliser ces éléments terrigènes et donc diminuer la qualité de l'eau.
- L'évolution des stocks de polluants présents dans les sédiments (berges, retenues...) et d'un éventuel effet des débits sur les facteurs de contrôle des mécanismes d'échanges eau-particules ne sont pas considérés ici. Ces processus pouvant affecter la solubilité et la biodisponibilité des substances (en particulier des métaux qui n'ont pas été considérés dans l'étude).
- Pour la vie aquatique, la comparaison avec les concentrations « critiques » établies aujourd'hui (notamment NQE) n'est pas satisfaisante. En effet la sensibilité toxicologique des organismes et le fonctionnement des écosystèmes évolueront également avec les augmentations de température attendues sur le Rhône, induisant une plus grande vulnérabilité des organismes (modification du métabolisme et du comportement ...); de même, les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques de l'eau et des sédiments (pH, O<sub>2</sub>, activité microbienne...) et les propriétés des molécules (transfert, cinétique de transformation) seront modifiées selon la température. Ainsi, même si les concentrations ne sont pas modifiées, ou de manière limitée, la sensibilité des organismes et des milieux peut quant à elle évoluer, avec des impacts non prévus.
- L'analyse est menée par substance, sans regard sur la problématique des effets cumulés d'une augmentation de la concentration, peut être limitée substance par substance, mais significative en considérant l'ensemble des substances (notamment, mais pas uniquement, sur les molécules de même mode d'action, par exemple des substances à activité endocrinienne).
- Il faudrait également tenir compte du fait que l'augmentation des concentrations avec une diminution des débits, même si sans conséquence aiguë et immédiate, induira des effets à long terme, en particulier sur la bioaccumulation des substances les plus rémanentes.

Sur les eaux souterraines, et indépendamment des remarques sur la fiabilité des projections sur les débits, il apparaît qu'il n'est pas possible de proposer une conclusion définitive, en termes d'absence de risque, comme le souligne elle-même l'étude : « ... Au vu des informations récoltées, sur la base des perspectives de débit proposées en phase 1 de l'étude, il n'existe pas de risque d'atteindre des niveaux critiques de débit, en termes d'impact sur la qualité des eaux prélevées dans les champs captants pour l'alimentation en eau potable de la nappe alluviale du Rhône. Ces conclusions doivent être considérées avec prudence. Elles résultent d'analyses rétrospectives de données enregistrées par le passé. Elles ne peuvent nous renseigner sur des phénomènes en rupture avec les observations passées. »

Dit autrement, il n'est pas possible d'affirmer que ces champs captants ne connaîtront pas des problèmes de qualité, mais aussi de quantité, des eaux prélevées, liés au changement climatique.

Il est possible et probable que d'autres facteurs que le débit du fleuve soient susceptibles de conduire à une dégradation de la qualité des eaux du fleuve et, localement, à celle des eaux prélevées en nappe alluviale en proximité du Rhône. On peut par exemple penser à des augmentations de température des eaux superficielles, plus importantes que celles enregistrées par le passé, qui pourraient conduire à des blooms bactériens.

Il y a aussi une hypothèse d'un marquage croissant des eaux superficielles par les eaux usées après traitement, possiblement lié à une croissance des flux des substances indésirables (accroissement de la pression démographique, augmentation de la consommation moyenne journalière en eau par les populations soumises à des canicules plus fréquentes et plus longues que par le passé, baisse des performances avec le vieillissement des stations d'épuration...), croissance qu'il faudra conjuguer à des étiages du fleuve plus longs et plus sévères. »

#### **e) Le maintien des connexions des forêts alluviales et des annexes fluviales**

Comme pour l'enjeu concernant l'hydrobiologie, de nombreux experts scientifiques ont été consultés et la bibliographie prise en compte. Il en ressort notamment l'impact des marnages provoqués par les variations de production d'hydroélectricité (échelle de temps infra-journalière) sur la connectivité et l'hydrobiologie, en particulier dans les zones peu profondes des berges et des bancs d'alluvions. Or cette échelle temporelle ne fait pas l'objet de cette étude.

On corrigera p.126 sur le secteur aval de Sault-Brénaz, où il est écrit « écoulements lenticques favorables aux espèces rhéophiles », « lenticques » en « lotiques ».

D'un point de vue plus général, des études complémentaires seraient nécessaires pour préciser la relation débit-connectivité, relation susceptible d'évoluer à moyen et long terme en fonction de la sédimentologie.

## f) Commentaires principaux et points à retenir

La critique fondamentale qu'on peut faire aux résultats présentés provient de ce que les incertitudes sur les régimes futurs ne sont pas évaluées correctement (voir chapitre 1). De ce fait le faisceau des régimes possibles est a priori significativement plus large que ce qui a été évalué et utilisé dans l'étude, sans qu'il soit possible d'estimer plus précisément cette incertitude, sur la base des calculs et simulations effectués. Dit autrement, le risque que les débits d'étiages soient significativement plus faibles que ceux présentés dans l'étude est réel et non quantifié à ce stade. Et en conséquence, le risque de non-satisfaction des enjeux clés, qui repose sur la connaissance du faisceau des régimes possibles, est lui-même significativement sous-évalué. Ceci invalide assez profondément les conclusions, généralement optimistes, qui sont énoncées dans les rapports d'étude. On peut insister ici sur le fait que ce qui est présenté dans l'étude n'est pas à rejeter comme étant erroné, mais il faut admettre l'incomplétude importante de ces résultats ; ils représentent seulement une partie du travail à fournir pour aboutir à une véritable évaluation du faisceau des possibles dans lequel se trouveront les régimes futurs.

Outre cette critique liminaire, qui affecte les analyses et met en doute les conclusions présentées sur tous les enjeux clés, on résume ci-dessous quelques points à retenir pour certains d'entre eux.

De manière générale, les eaux souterraines sont peu abordées dans les rapports d'étude. Le découpage spatial de même que la typologie adoptée pour les aquifères sont adaptés à l'échelle et aux objectifs de l'étude, mais la modélisation spatialisée suivie ne permet pas d'accéder à une répartition suffisamment localisée des échanges, et notamment, par exemple, d'évaluer la part des eaux souterraines dans le débit du Rhône. Par conséquent, la prise en compte des effets du changement climatique sur ce compartiment hydrogéologique reste très limitée.

Pour l'évaluation du risque d'intrusion saline, on peut regretter que les conclusions principales de l'étude précédente (2014), ayant conduit à négliger le phénomène de biseau salé et à ne considérer que le coin salé sur le Rhône, ne soient pas reprises ici afin que soit appréciée leur pertinence dans le contexte actuel, c'est-à-dire notamment avec l'ensemble des usages actualisés. L'élévation à terme du niveau marin n'est pas prise en compte ; certes son effet peut être jugé plutôt bénéfique en moyenne sur le maintien des niveaux du Rhône à l'aval, mais la conjonction d'un étiage sévère sur le Rhône, d'une augmentation des prélèvements en nappe et d'une augmentation du niveau de la mer, peut favoriser l'intrusion saline à l'intérieur des terres. Ce point n'est pas du tout abordé.

En ce qui concerne l'enjeu de préservation des milieux et des espèces aquatiques, l'analyse de la complexité du fonctionnement de ces systèmes et de la difficulté à la caractériser par des variables hydrologiques est tout à fait pertinente. Ainsi, la prudence s'impose fort justement dans la portée des résultats concernant cet enjeu, d'autant que 1) les tronçons court-circuités, porteurs d'une partie significative de ces enjeux, ne sont pas pris en compte dans l'étude, 2) les calculs de sous-passements de leurs débits seuils ne sont pas valides pour les raisons évoquées plus haut, et 3) ni la température de l'eau, ni les variations à faibles pas de temps des débits, i.e. pas de temps infra-journaliers, facteurs conditionnant largement le fonctionnement de ces systèmes, ne font partie du cahier des charges.

De la même façon, les travaux sur le maintien de la connectivité des forêts alluviales et des annexes fluviales sont très bien documentés, mais les conclusions sur la faible évolution du risque de déconnexion apparaissent optimistes, indépendamment même du fait que la statistique de l'hydrologie future est incomplète, car elles concernent essentiellement des situations en régimes moyens. Dans le fonctionnement à moyen et long terme de ces espaces, les marnages de haute fréquence (variations de débits infra-journalières) vont jouer un rôle, sans compter que la sédimentologie du fleuve, qui n'est pas abordée dans l'étude, est susceptible de varier en s'ajustant aux régimes futurs.

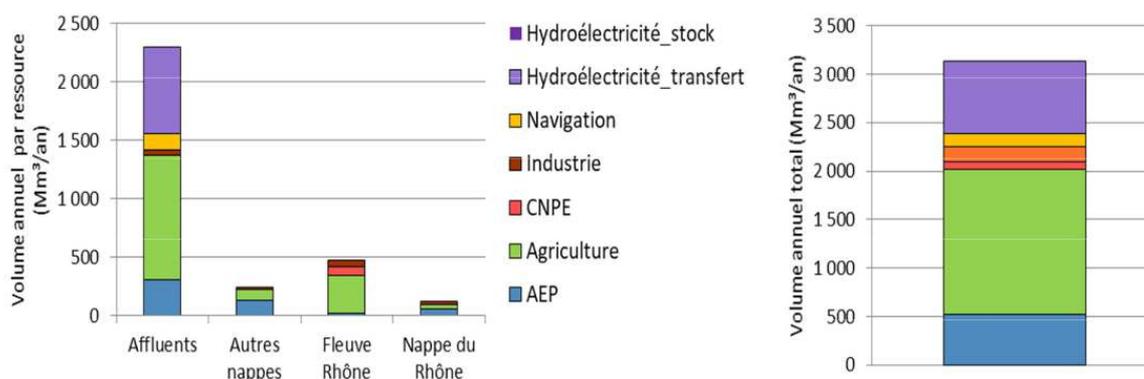
Enfin l'étude conclut à un risque limité de dégradation de la qualité de l'eau dans le cadre d'une évolution de l'hydrologie liée au changement climatique, en s'appuyant notamment sur l'analyse rétrospective de la faible corrélation entre les variations du débit du Rhône en étiages et les concentrations mesurées de plusieurs paramètres chimiques. Ce résultat est obtenu cependant sur un jeu de données en marge, voire en dehors, des valeurs des débits d'étiage futurs, et ce d'autant plus que la statistique hydrologique utilisée n'est pas complète et que les étiages futurs pourront être plus sévères que ceux calculés. Mais, là aussi, la prudence s'impose dans l'interprétation du résultat. De nombreux facteurs autres que les débits sont susceptibles d'influencer significativement la qualité des eaux du fleuve ; ils sont liés à l'évolution des équilibres, dans le futur, entre biocénoses, sédiments et colonne d'eau, sous l'effet de l'augmentation générale des températures. Hors de portée de la présente étude, ils représentent une composante supplémentaire du risque qu'il conviendrait d'approfondir.

### 3. Évaluation des prélèvements actuels et des prélèvements futurs soutenablement durablement

Les rapports d'étude font un bilan détaillé et bien argumenté des usages et des prélèvements actuels qu'ils occasionnent sur l'ensemble du bassin versant, en s'efforçant de distinguer et d'estimer de manière précise les prélèvements bruts et les prélèvements nets. Trois postes dominent ce bilan en prélèvements nets, l'AEP, l'agriculture et les transferts hydroélectriques, ces derniers s'opérant exclusivement sur les affluents. Pour le corridor fluvial (fleuve Rhône et nappe d'accompagnement), les prélèvements agricoles (irrigation) sont largement majoritaires tandis que l'AEP, la CNPE et l'industrie ont un poids sensiblement équivalent.

Tableau 1 : Prélèvements nets par usage sur le bassin du Rhône français

Mm3/an	Affluents	Autres nappes	Fleuve Rhône	Nappe du Rhône	Total général
AEP	310	130	20	60	520
Agriculture	1 060	90	320	30	1 500
CNPE	0	0	80	0	80
Industrie	50	20	50	30	150
Navigation	140	0	0	0	140
Hydroélectricité_stock	0	0	0	0	0
Hydroélectricité_transfert	740	0	0	0	740
<b>Total général</b>	<b>2 300</b>	<b>240</b>	<b>470</b>	<b>120</b>	<b>3 130</b>



L'annexe au présent chapitre fait, pour l'essentiel, une analyse critique approfondie des réflexions et travaux conduits dans l'étude pour estimer les prélèvements agricoles actuels et leur évolution à moyen terme. On en reprend ici les conclusions.

En bilan, le CS souligne la qualité des évaluations, que ce soit pour la partie AEP ou pour la mise à jour des évaluations des prélèvements agricoles bruts et nets aujourd'hui et leur spatialisation. Il tient aussi à mentionner la pertinence de l'étude de l'ETP à l'horizon 2050 qui montre bien que même sans extension de l'irrigation, la demande en eau agricole augmentera significativement, dans tous les scénarios climatiques envisagés par l'étude.

En outre, sans mener une réelle prospective sur les besoins en eau potable et l'agriculture irriguée en 2050, les différents scénarios retenus pour évaluer la capacité du Rhône à satisfaire ces demandes sont pertinents.

La réalisation de tous les projets collectifs imaginés dans les territoires donne ainsi à voir ce qui attend les acteurs de l'eau pour les 20 ans qui viennent dans le bassin, si on n'omet pas de considérer qu'à côté de ces projets collectifs, l'extension des équipements par des dynamiques individuelles se poursuit, comme l'attestent les données du dernier recensement agricole (RA 2020). La demande d'eau pour l'irrigation va donc très probablement s'accroître. La demande en eau potable quant à elle est à ce stade difficile à anticiper, certains facteurs pouvant conduire à poursuivre la tendance observée à la stabilisation (de nature « technique » -réduction des fuites ...- ou humaine -des comportements plus économes ...-), d'autres suggérant une demande en augmentation (croissance démographique, utilisation accrue d'autres ressources en eau via notamment des forages privés ...).

En revanche, les conclusions relativement optimistes sur la capacité du Rhône à satisfaire les trois scénarios d'accroissement de la demande agricole ne peuvent être validées. D'une part elles sont à considérer avec beaucoup de prudence, compte tenu des hypothèses trop optimistes retenues qui vont presque toutes dans le sens d'une atténuation des pressions attendues : i) omission de l'extension de l'irrigation depuis 2010 ; ii) approche des besoins en eau de 2050 centrée uniquement sur la demande climatique, sans appliquer de coefficient d'efficacité de l'irrigation ; iii) évaluation des besoins en eau des extensions sur les références de conception d'aujourd'hui et non pas sur les besoins en 2050. On notera aussi que l'étude n'a pas considéré les projets dits de substitution des prélèvements dans les affluents par des pompages dans le Rhône, dont le bilan serait neutre à court terme pour le fleuve, mais probablement déficitaire à terme, en fonction de l'hydrologie à venir de ces affluents. Il n'y a que la non-prise en compte des économies d'eau attendues des projets de modernisation en cours qui va dans le sens d'une augmentation de la demande. Et d'autre part, elles reposent sur une hydrologie future du Rhône à l'étiage qui ne peut être considérée comme représentative.

Cette étude aura eu aussi le mérite de réinterroger le bilan des programmes de modernisation des canaux et des matériels d'irrigations. L'efficacité de l'irrigation reste très médiocre, surtout à l'aval de Vivier. Quelles sont les économies d'eau et quels ont été les effets sur l'efficacité de l'irrigation ? À quoi sont destinées les économies constatées et celles qui sont encore à venir ?

## ANNEXE AU CHAPITRE 3

### Usages en eau potable (AEP) actuels et dynamique récente (missions 1 et 3)

Le rapport de la mission 1 concernant les prélèvements actuels pour l'alimentation en eau potable (AEP) est établi à partir des données issues de prélèvements bruts de l'Agence de l'eau complétées par une enquête spécifique. Ces prélèvements concernent l'alimentation en eau des populations, mais également des activités industrielles, commerciales et publiques (piscines municipales, activités scolaires, associations, santé ...).

Le rapport explicite ensuite la méthode choisie pour estimer les prélèvements nets actuels, « une grande partie de l'eau étant restituée au bassin via l'assainissement » (p. 10 – synthèse rapport mission 1) et présente les résultats par tronçon, en tenant compte de différentes hypothèses de taux de retour de l'eau dans le milieu (entre 60 % et 80 %) et du lieu où les eaux usées assainies sont rejetées.

Il est observé une stabilité des prélèvements nets AEP au cours de la dernière décennie après la baisse qui s'est produite jusqu'aux années 2010 et sa variabilité intra-annuelle (pic de prélèvement observé en juillet) même si de moindre ampleur que pour les usages agricoles. Leur répartition géographique est également précisée, permettant d'observer les secteurs les plus consommateurs. Il est aussi mentionné l'origine du prélèvement (lieu et type de ressource) et sa nature (certains prélèvements n'étant effectués qu'en appoint ou en secours par exemple).

Les estimations ont été réalisées de manière rigoureuse et bien explicitée. Le bureau d'étude a cherché à compléter les données disponibles auprès de l'Agence de l'eau quand ces dernières s'avéraient insuffisantes pour bien comprendre le processus (de prélèvement et de rejet dans le milieu naturel) et en rendre compte. Il s'est appuyé sur les données de population permanentes disponibles auprès de l'INSEE et a cherché à compléter ces données auprès des principaux offices de tourisme pour estimer la population saisonnière. Ces données sont présentées en vue d'être en mesure ensuite d'estimer l'évolution future des prélèvements. Il aurait pu être intéressant de rapporter les prélèvements (bruts et nets) à la population, pour avoir une appréciation de la quantité d'eau prélevée par habitant permanent (et/ou par personne présente sur le territoire, avec le problème alors des doubles comptes).

Le rapport aurait pu également mentionner, comme pour le cas de l'irrigation, la non-connaissance des prélèvements réalisés directement par les abonnés domestiques, notamment dans les nappes, à partir de puits ou de forages privés souvent non déclarés. Ces prélèvements peuvent représenter dans certains secteurs une partie non négligeable de la consommation en eau totale des ménages, en particulier en période estivale et en période de restriction d'usage de l'eau. Cette mention aurait pu ensuite être mobilisée dans la partie de prospective : un recours plus important à cette pratique pourrait faire partie d'un scénario d'augmentation de la pression sur la ressource.

Le rapport 1 précise ensuite les facteurs qui pourraient les influencer à la hausse (croissance démographique, plus fort raccordement des communes au Rhône) et à la baisse (amélioration des rendements des réseaux). Il donne de premières estimations en s'appuyant sur les projections de l'INSEE disponibles à l'échelle départementale, mais aussi des projets d'amélioration des rendements des réseaux de distribution et d'évolution des infrastructures. La mission 3 complète les éléments d'analyse en identifiant des projets de prélèvements supplémentaires pour l'AEP connus pour le sud du bassin.

Globalement, les prévisions réalisées, moins détaillées que pour la partie agricole, sont basées sur des hypothèses issues d'estimations démographiques ou techniques (nouveaux raccordements, réduction des fuites). Ces estimations semblent correctement conduites et le rapport propose différentes hypothèses qui paraissent réalistes de prélèvements futurs.

Il aurait toutefois pu être estimé (ou au moins mentionné) également l'impact de changements de comportement (à la baisse suite à l'ensemble des mesures cherchant à inciter les usagers AEP à réduire leurs consommations unitaires ou à la hausse, du fait d'un besoin accru conséquence de l'évolution des températures par exemple).

Il aurait pu aussi faire mention (sans exploration plus précise du fait de trop fortes incertitudes sur le devenir de cette « nouvelle » pratique) en quoi un développement de la réutilisation des eaux usées traitées (REUT) pourrait impacter les prélèvements et les usages. Ses enjeux quantitatifs auraient ainsi pu être évoqués.

## Usages agricoles actuels et dynamique récente (missions 1 et 3)

### 1 Contexte et justification de l'analyse des prélèvements agricoles

L'essentiel des prélèvements nets sur le fleuve Rhône et ses affluents, de mai à octobre, est imputable à l'irrigation agricole. Avec le changement climatique, la demande d'irrigation à partir de ressources perçues comme sûres va s'accroître selon trois dynamiques complémentaires :

- i) Une hausse des besoins en eau des plantes, du fait de l'augmentation des températures, sans augmentation des précipitations pendant le cycle cultural ;
- ii) Une extension des surfaces équipées pour l'irrigation ;
- iii) Un transfert des points de prélèvements actuels sur des ressources apparaissant vulnérables au changement climatique vers des ressources vues comme plus sûres, c'est-à-dire le Rhône ou sa nappe d'accompagnement (projets dits de substitution).

En contrepartie, d'importants programmes de modernisation de l'irrigation ont été engagés, notamment au cours de la dernière décennie. Ils devraient générer des réductions des prélèvements agricoles.

Le cahier des charges des missions 1 et 3 sur le volet agricole demandait donc d'évaluer la distribution spatiale et temporelle des prélèvements nets agricoles, pour deux périodes :

1. La période actuelle en mettant à jour des estimations réalisées lors de l'étude de 2014 sur l'impact du changement climatique sur l'hydrologie du Rhône ;
2. À l'horizon 2050, selon 3 scénarios :
  - a. Une hypothèse de réalisation de tous les projets d'extension de l'irrigation imaginés dans le bassin ;
  - b. En intégrant, en plus de ces projets, l'augmentation des besoins d'irrigation des superficies déjà irriguées aujourd'hui, du fait du changement climatique ;
  - c. En ajoutant une extension importante des superficies irriguées au-delà des projets identifiés.

## 2 Aperçu sur les méthodes mises en œuvre dans l'étude

La démarche adoptée peut se résumer selon le schéma séquentiel suivant :

Attendus	Démarche
Prélèvements nets agricoles aujourd'hui	<ol style="list-style-type: none"><li>1) Mise à jour et analyse de la base de données des <u>prélèvements bruts annuels</u> de l'Agence de l'eau ;</li><li>2) Estimation des retours dans les cours d'eau et les nappes et du bassin pour en déduire <u>les prélèvements nets annuels</u> ;</li><li>3) Spatialisation des prélèvements nets en 7 secteurs : 5 en amont de Viviers, 2 en aval de Viviers ;</li><li>4) Répartition des prélèvements nets annuels en prélèvements mensuels moyens puis en débits nets prélevés dans le Rhône.</li></ol>
Prélèvements nets agricoles en 2050 tous scénarios	<ol style="list-style-type: none"><li>i) Analyse de la répartition des cultures irriguées aujourd'hui sur les 7 secteurs ;</li><li>ii) Estimation des <u>besoins supplémentaires théoriques en eau</u> par culture, par secteur et par mois (modélisation de l'ETP) à rajouter aux prélèvements nets actuels.</li></ol>
Scénario a) projets	<ol style="list-style-type: none"><li>iii) Recensement des projets et des cultures projetées par secteur, dont les besoins théoriques en eau sont rajoutés aux prélèvements nets des surfaces actuelles.</li></ol>
Scénario b) projet et tendances	<ol style="list-style-type: none"><li>iv) +idem III (besoins eau des projets recensés) + ajout de l'augmentation des besoins théoriques en eau en 2050 des superficies irriguées aujourd'hui (idem II).</li></ol>
Scénario c) exploratoire	<ol style="list-style-type: none"><li>v) Construction d'un scénario d'accroissement des superficies irriguées au-delà des projets recensés par secteur ;</li><li>vi) Estimation des besoins en eau en 2050 de ces superficies irriguées supplémentaires, à ajouter aux besoins du scénario b.</li></ol>

### 21 - Prélèvements agricoles bruts, nets et besoins théoriques d'irrigation et efficience de l'irrigation

Les besoins théoriques en eau d'une culture correspondent à la quantité d'eau consommée en évitant tout stress hydrique, afin d'obtenir une production maximale dans des conditions culturales optimales. Comme calculé dans l'étude BRLi, ils peuvent être estimés à partir de l'EvapoTranspiration Potentielle (ETP) qui dépend du climat et des paramètres de la culture. Ces besoins en eau sont fournis par le sol, réalimenté soit par la pluie soit par l'irrigation. Les besoins théoriques d'irrigation se déduisent donc de l'ETP et de ce que le sol peut fournir par les pluies. Pour une même culture en un lieu donné, la différence des besoins théoriques d'irrigation entre aujourd'hui et 2050 peut ainsi être estimée par la différence entre l'ETP en 2050 et l'ETP aujourd'hui. C'est ce qui est proposé dans l'étude BRLi, en évaluant les ETP mensuelles en 2050 selon les mêmes modèles de circulations atmosphériques et les mêmes scénarios de production de GES que ceux retenus pour la modélisation hydrologique.

Les prélèvements agricoles bruts, mesurés à la station de pompage ou à la prise des canaux, sont supérieurs à ces besoins théoriques d'irrigation. De nombreuses pertes surviennent lors du transport de l'eau dans les réseaux jusqu'à la plante :

- Ces pertes sont particulièrement importantes dans les systèmes irrigués à partir de canaux. Une partie revient rapidement dans les cours d'eau à l'aval via le réseau des colatures, qui sont de plus en plus instrumentées dans les projets de modernisation pour estimer ces retours. Une autre partie percole vers les aquifères ou est absorbée par les haies et les arbres bordant les canaux. Dans la parcelle, si l'irrigation se fait par gravité, à la raie, par calan ou par submersion, il y a des pertes supplémentaires vers la nappe et en colature. Si l'irrigation se fait par aspersion ou microaspersion, entre 5 et 15 % des apports sont perdus par évaporation des aérosols. S'il s'agit de goutte-à-goutte, les pertes sont négligeables si l'irrigation est bien conduite. La pratique de chaque irrigant, son recours ou non aux moyens de pilotage de l'irrigation vont induire d'autres différences avec les besoins théoriques de la culture ;
- Quand le réseau d'aménée est sous pression, les pertes sont moindres (5 à 25 % selon la vétusté des installations). Elles sont plus diffuses. Elles rejoignent les nappes ou sont absorbées par les arbres et les haies voisines. Il faut y ajouter celles qui ont lieu dans les parcelles et qui dépendent du matériel et des pratiques des irrigants.

Pour évaluer les effets des prélèvements agricoles sur l'hydrologie actuelle et future du Rhône, l'étude BRLi s'est donc efforcée d'estimer les prélèvements nets, en déduisant les retours dans le Rhône et ses affluents des prélèvements bruts de la base de données de l'Agence. La figure 7 p 21 du rapport de la mission 1 illustre parfaitement cette démarche sur la Durance.

Comme précisé par BRLi à nos questions, « *les prélèvements nets agricoles de la situation actuelle sont estimés comme suit (rappel de la méthodologie dans les grandes lignes. Pour une approche détaillée cf. sous –chapitres 2.1.2 et 2.1.3 du rapport de mission 1 et ses annexes 5 et 6) :*

- *Pour les secteurs sous pression : les prélèvements agricoles sont considérés comme égaux aux volumes bruts prélevés déclarés dans la Base de Données de l'Agence de l'eau. Un complément a été apporté avec les informations de l'étude récente DREAL-CNR (par le bureau d'étude Cereg) sur les prélèvements agricoles dans le Rhône et sa nappe (étude qui recense quelques prélèvements supplémentaires) ;*
- *Pour les secteurs gravitaires (dans le bassin de la Durance notamment) : les prélèvements nets sont estimés connaissant les volumes bruts prélevés (BDD Redevance Agence), et en utilisant d'autres informations disponibles sur les volumes et la localisation des restitutions : données de certaines ASA, du SMAVD ou d'EDF (dans le cadre des calculs faits pour la CED), dire d'experts...*

*NB Avec cette approche, on néglige les prélèvements qui ne payent pas de redevance auprès de l'Agence de l'eau, soit parce qu'ils sont en dessous des seuils (7000 à 10 000 m<sup>3</sup>/an), soit par négligence/méconnaissance de la réglementation ou par fraude volontaire ».*

Ces prélèvements nets incluent donc les pertes qui n'ont pas donné lieu à un retour mesuré vers les cours d'eau (alimentation des nappes, des haies, des arbres, aérosols...). Ainsi, on peut en déduire une « efficience » de l'irrigation pour une échelle spatiale et une année donnée :

Efficience de l'irrigation (en %) = prélèvements nets / besoins théoriques d'irrigation

avec Besoins théoriques d'irrigation =  $\sum_1^n Sli * BThéo i$

Sli= surface irriguée de la culture i

BThéo i = besoin théorique de la culture i

22- Pour les scénarios à 2050, une estimation du différentiel de prélèvements nets

**Pour 2050, l'étude propose d'estimer le différentiel des prélèvements nets agricoles par rapport à celui d'aujourd'hui.** Ce différentiel peut donc provenir d'un changement sur l'une ou l'autre, ou plusieurs, des 3 composantes du prélèvement net, et plus précisément :

- D'une extension des superficies irriguées (Sli 2050-Sli 2020 – scénarios projets & exploratoire) ;
- D'un changement des besoins théoriques d'irrigation de chaque surface irriguée (c'est-à-dire BThéo i 2050 - BThéo i 2020) ;
- D'un changement de l'efficacité de l'irrigation, du fait d'amélioration dans les systèmes d'amenée d'eau, de matériels ou de pratiques d'irrigation.

L'étude évoque les baisses de prélèvements nets engendrés par les programmes de modernisation de canaux qui devraient réduire les prélèvements bruts et améliorer l'efficacité de l'irrigation. Lors de la mission 1, tous ces projets recensés de modernisation à venir devraient générer une économie d'eau de 110 Mm<sup>3</sup> (p 45, rapport mission 1). Mais les auteurs de l'étude ont choisi de ne pas tenir compte de ces économies potentielles dans les prélèvements nets des scénarios de 2050 (cf. chap 1.1) compte tenu des incertitudes sur leur ampleur et leur affectation (pour les cours d'eau ou pour d'autres usages).

### 3 Avis sur la démarche

L'avis aborde successivement les différentes étapes de la démarche, en commençant par l'estimation des prélèvements nets agricoles aujourd'hui puis les 3 composantes qui pourraient conduire à modifier ces prélèvements nets : les superficies irriguées Sli, les besoins théoriques en irrigation (BThéoi) et l'efficacité de l'irrigation.

#### 3.1 Les prélèvements nets agricoles aujourd'hui

Une des spécificités du bassin RMC est la prépondérance des prélèvements agricoles par des canaux, concentrés dans le sud du bassin, à l'aval de Viviers. Comme le détaille parfaitement l'étude BRLi, les 12 principaux préleveurs représentant plus de 50 % des volumes prélevés au titre de l'agriculture sur le bassin sont des canaux. À partir de ces canaux, les agriculteurs recourent à des pratiques et équipements divers, du goutte-à-goutte jusqu'à l'irrigation gravitaire en passant par différentes techniques d'aspersion. D'importants programmes de modernisation des canaux et d'équipements d'irrigation ont été systématiquement recensés et évalués un à un dans l'étude. Cette diversité des pratiques et ces modernisations récentes des canaux et des équipements d'irrigation rendent l'estimation des prélèvements nets par rapport aux prélèvements bruts particulièrement complexe, avec des retours en nappe ou en cours d'eau. L'étude en propose une analyse méticuleuse au cas par cas, avec des hypothèses clairement exposées et une synthèse globale éclairante pour la Durance.

Cette complexité des estimations de prélèvements bruts et nets, puis de leur évolution est accentuée par l'incomplétude de la base de données Agence concernant les prélèvements dans le Rhône et sa nappe d'accompagnement. BRLi s'appuie sur une étude conduite en 2021 par le Cereg destinée à compléter cette base, mais propose une approche afin de corriger les lacunes du travail du Cereg sur la Camargue (annexe 5). Cette correction, détaillée en annexe 6, s'appuie sur les besoins d'irrigation de la riziculture et du maraîchage dans cette zone. Les hypothèses haute et basse de consommation par unité de surface sont conformes à ce qui est donné dans la littérature scientifique et les estimations de surfaces conformes aux données du RA 2020.

**En bilan ces estimations des prélèvements bruts et nets apparaissent très bien documentées et sans faille méthodologique.** À notre connaissance, il n'existe pas d'étude pour évaluer les biais d'estimation des prélèvements bruts imputables à la non-déclaration des prélèvements agricoles inférieurs au seuil réglementaire de 7 ou 10 000 m<sup>3</sup>/an, ou aux fausses déclarations des agriculteurs. Sur le bassin Rhône Méditerranée Corse, les prélèvements par des réseaux collectifs sont largement majoritaires. Ils sont moins sujets aux fausses déclarations que les prélèvements individuels. On peut donc supposer que les estimations de prélèvements bruts et nets actuels sont robustes.

Les prélèvements bruts agricoles ont été estimés à 2,3 milliards de m<sup>3</sup> sur le bassin, dont 20 % sur le Rhône et sa nappe, en baisse de 200 Mm<sup>3</sup> par rapport à l'étude de 2014. Cette baisse est logiquement imputée au net recul de la riziculture, confirmée par les données récentes du RA 2020. Les prélèvements nets sont estimés à 1,5 milliard de m<sup>3</sup>, concentrés à l'aval de Viviers, et relativement stables depuis 2010 à l'échelle du bassin.

***Toutefois le CS se questionne sur le devenir des volumes « économisés » par les programmes de modernisation sur les systèmes irrigués dépendant de prises sur des canaux. Ces volumes économisés, estimés à 53 Mm<sup>3</sup>, sont-ils restitués aux cours d'eau du bassin, exportés hors du bassin ou affectés à un autre usage ? Sur la Durance, l'étude évoque par exemple « 31 Mm<sup>3</sup> d'économie théorique, entre 2012 et 2017, enregistrés dans un compte épargne volume piloté conjointement par l'État, EDF et l'Agence de l'eau ».***

### 3.2 Estimations des superficies irriguées aujourd'hui, pour le calcul de l'augmentation des prélèvements nets en 2050

Le chapitre 2.1.1 de la mission est dédié à l'estimation des superficies irriguées et son évolution depuis le recensement agricole (RA) de 2010. Au moment de la mission 1, les données du RA de 2020 n'étaient pas disponibles. BRLi s'est donc appuyé sur des publications de statistiques agricoles et des interviews d'experts pour estimer les dynamiques de l'irrigation depuis 2014, date de la précédente étude. Les auteurs soulignent la fragilité de leur méthode et insistent à juste titre sur la nécessité de vérifier si les tendances qu'ils ont proposées seront validées par les analyses du recensement agricole (RA) de 2020, seules à même de tracer une mise en perspective historique des dynamiques agricoles à l'échelle du bassin sur 50 ans.

La mission 3, en 2022, a comblé en partie les lacunes de la mission 1, en exploitant les premières analyses départementales proposées par les DRAAF sur les surfaces cultivées et irriguées en 2020. Les évolutions des principales cultures irriguées entre 2010 et 2020 sont résumées (§ 1.4.1 p 11 à 13 du rapport mission 3), nuancant les hypothèses issues de la mission 1.

Des analyses plus complètes sortent progressivement du service AGRESTE ou d'INRAE<sup>1</sup>, intégrant notamment les superficies équipées, non disponibles lors de cette mission 3. La superficie irriguée d'une année donnée dépend, par définition, à la fois du climat de l'année et des prix, de leur volatilité et des anticipations que les agriculteurs font sur ces paramètres. Ils décident dans cet univers incertain de recourir ou non à l'irrigation au démarrage de la campagne. La comparaison de 2 années particulières (2010-2020) est donc à manier avec prudence s'il s'agit de dresser une trajectoire entre elles. La dynamique de l'irrigation se reflète plutôt dans l'évolution des surfaces équipées, c'est-à-dire dans les investissements que les agriculteurs réalisent pour être à même d'irriguer si le climat et les prix sont favorables. Or la mission 3 n'a pas considéré l'évolution des superficies équipées. À partir d'une extraction des RA 2010 et 2020, nous avons estimé cet accroissement à 30 % depuis 2010, sur le bassin RMC amputé de l'Aude et des Pyrénées-Orientales, pour approcher le territoire de l'étude (cf. annexe). Cela représenterait entre 65 et 75 000 ha irrigables de plus par rapport à 2010, soit 55 à 60 000 ha irrigués en plus en 2020 par rapport à 2010 (+25 %) sur le périmètre de l'étude, soit par des réseaux collectifs ou des équipements individuels.

La dynamique d'accroissement de l'irrigation s'inscrit donc comme une tendance lourde. Lors de la mission 1 (§ 2.1.1.3 p 13, rapport de mission 1), seules les extensions des surfaces irrigables réalisées dans des réseaux collectifs entre 2010 et 2017 ont pu être prises en compte : ces extensions ont été estimées entre 11 800 et 16 800 ha. Elles correspondent aux projets qui ont fait l'objet de financements publics. Il est précisé (p 15, rapport de mission 1) que l'incertitude sur les extensions des surfaces irrigables par des équipements individuels était trop forte pour étayer une hypothèse d'assolement irrigué en 2020 lors de la mission 1.

La mission 3 a repris les premières analyses du RA 2020 pour constater le développement de l'irrigation sur de nombreuses cultures (vigne, prairies et fourrages, légumes, blé). Cette extension fait plus que compenser le recul du maïs et du riz. Ce constat général est conforme à celui fait dans les publications citées et dans notre analyse sur ce territoire (cf. annexe). **Mais les auteurs n'ont pas modifié la surface irriguée de référence qui est restée celle de 2010 pour la suite de la mission 3.**

En d'autres termes, ***ce choix conduit à omettre l'accroissement des superficies irriguées entre 2010 et 2020 dans l'évaluation des prélèvements nets en 2050, imputable à l'augmentation des besoins théoriques en eau (BTheo2050-BThéo2020) de ces surfaces déjà irriguées (tous scénarios).*** Nous reviendrons dans la partie suivante sur les effets de cette omission. La dernière hypothèse « exploratoire » de la mission 3 est toutefois peu affectée par cette omission, le scénario retenu étant celui d'une augmentation de 198 500 ha irrigués (dont 65 000 ha de projets de réseaux collectifs identifiés). Cela correspond à une expansion de 90 % de l'irrigation à l'horizon 2050 comparée à 2010. L'accroissement de l'irrigation dans la dernière décennie entre 2010 et 2020, estimé de 25 %, est largement couvert dans ce scénario.

---

<sup>1</sup> A minima : Agreste, 2022. Recensement agricole 2020 – En Provence-Alpes-Côte d'Azur, 20 % des terres agricoles sont irriguées. Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire. Paris. Série Études n° 126, mai 2022. 4 p.

Agreste, 2023. Irrigation – Occitanie. L'irrigation nécessaire aux productions régionales. Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire. Paris. Série Études n° 3, juin 2023. 13 p.

Scotti A., Loubier S., Pignard G. 2023. L'irrigation en France. État des lieux 2020 et évolution. Rapport final - Convention PTGE. Inrae. Montpellier. 73 p + annexes (A paraître décembre 2023).

### 3.3 Estimation des besoins théoriques en irrigation sur la superficie de référence de 2010 et en 2050

L'estimation des besoins théoriques en irrigation à partir d'une modélisation spatialisée de l'Évapotranspiration Potentielle (ETP) n'appelle aucune critique sur le modèle.

Sur l'assolement irrigué de référence de 2010, ce modèle donne une estimation de ce besoin théorique de 560 Mm<sup>3</sup> en 2018. Selon les modèles de circulation retenus dans l'étude, cette même surface de référence de 2010 verra ses besoins théoriques annuels augmenter de + 70 à 140 Mm<sup>3</sup> en 2050 (et + 7 à 14 % en juillet).

On en déduit donc qu'en 2020 l'efficacité moyenne de l'irrigation =  $1\,500/560 = 37\%$ . En d'autres termes, quand les cultures ont besoin d'1 m<sup>3</sup>, il faut prélever aujourd'hui 2,7 m<sup>3</sup> (rappelons que les 1,7 m<sup>3</sup> sont réellement « perdus » pour le bassin, puisque les retours directs aux cours d'eau ont déjà été déduits des prélèvements bruts).

Le scénario « tendances » retient une augmentation des prélèvements nets en 2050 équivalente aux besoins théoriques supplémentaires de cette superficie irriguée de 2010. Cela conduit à deux faiblesses :

- La superficie de référence omet *a minima* les expansions de l'irrigation de 2010 à 2017 que la mission 1 avait recensées (11 800 et 16 800 ha). Il aurait donc fallu calculer les besoins théoriques en 2050 sur la SI irriguée en 2010 plus les extensions 2010 - 2017 ;
- Cette hypothèse d'une augmentation des prélèvements nets strictement équivalente à celle des besoins théoriques des cultures fait l'hypothèse non dite dans l'étude que ces besoins climatiques supplémentaires ne sont pas affectés par la faible efficacité de l'irrigation de 37 %. Rien ne justifie cette hypothèse qu'1 m<sup>3</sup> de besoin théorique en plus se traduirait par 1 m<sup>3</sup> de prélèvement net supplémentaire, quand il en faut 2,7 m<sup>3</sup> pour 1 m<sup>3</sup> de besoin théorique aujourd'hui.

Interrogé sur ces deux points, Brli répond :

- Pour la 1<sup>re</sup> critique : « *On aurait effectivement dû en toute logique intégrer ces surfaces pour le calcul de la hausse du besoin lié au changement climatique. Rajouter ces environ 10 000 ha aux 220 000 ha considérés pour le calcul aurait toutefois modifié à la marge le résultat, d'autant plus qu'il s'agit essentiellement de vigne avec un différentiel qui reste discuté entre la pratique actuelle et la pratique future possible (il est question dans plusieurs projets de vignes de brider à 1000 m<sup>3</sup> le besoin unitaire).* »

L'expansion de la vigne dans les projets collectifs recensés par l'étude en 2018 est effectivement prépondérante, avec un cadrage des prélèvements à 1000 m<sup>3</sup>/ha. Une augmentation de 7 à 14 % de sur 10 000 ha serait faible au regard de l'ensemble des prélèvements nets actuels. Cependant l'analyse du RA 2020, qui resta à affiner, indique que l'expansion de l'irrigation de la vigne ne représente qu'environ 50 % de l'expansion de l'irrigation sur le bassin (cf. annexe). Si la mission 1 ne pouvait accéder à cette donnée, la mission 3 (qui a eu accès au RA) aurait pu faire cet ajustement.

- Sur la seconde critique : « La faible efficacité vue du bassin du Rhône (37 %) s'explique en grande partie par le fait que sont inclus des prélèvements gravitaires exportés hors du BV qui viennent grossir le prélèvement net (export par BRL, SCP, canaux prélevant sur la Durance pour irriguer notamment la Crau).

*Pour les prélèvements futurs, nous n'avons pas réutilisé ce taux : on imagine que tous les nouveaux projets seront nécessairement irrigués sous pression (hypothèse probable). On pourrait aussi penser que les améliorations des pratiques mises en œuvre en parallèle et qui, on peut l'espérer, se généraliseront d'ici à 2050 (meilleur pilotage de l'irrigation, etc.) pourraient contribuer à diminuer l'écart entre besoin théorique et volumes appliqués en adduction sous pression.*

*En toute rigueur nous aurions pu appliquer une efficacité de l'ordre de 80 à 90 % qui aurait conduit à une fourchette de 80 à 165 Mm<sup>3</sup> pour la hausse des prélèvements nets au lieu de 70 à 140 Mm<sup>3</sup>. Pour mémoire dans l'hypothèse « projets et tendances », nous avons au final retenu une valeur de 140 Mm<sup>3</sup>, qui nous semble correcte en ordre de grandeur. »*

Cette réponse n'est que partielle. Elle propose, à juste titre, de recourir à une efficacité de 80 à 90 % pour toutes les extensions (celles qui ont déjà eu lieu entre 2010 et 2020 et celles projetées dans 3 scénarios). Mais elle ne propose aucun coefficient d'efficacité pour les besoins climatiques supplémentaires des superficies déjà irriguées en 2010. Une hypothèse pessimiste pourrait être de considérer que ce coefficient reste le même, soit une augmentation des prélèvements nets de 190 à 400 Mm<sup>3</sup> pour la surface irriguée en 2010.

### 3.4 Les besoins des extensions entre 2020 et 2050

Deux scénarios d'extensions ont été envisagés à l'horizon 2050 : +65 000 ha de projets collectifs déjà imaginés (scénario a et b), + 198 500 ha (scénario exploratoire).

Les besoins en eau supplémentaires à l'horizon 2050 ont été estimés selon les besoins d'équipement d'aujourd'hui (1000 m<sup>3</sup>/ha pour la vigne, 5000 m<sup>3</sup>/ha pour les vergers, 2500 m<sup>3</sup>/ha pour les céréales, 6000 m<sup>3</sup>/ha pour les prairies – p 14, rapport de mission 3). Ces valeurs sont déjà proches des besoins théoriques de ces cultures, estimés en 2020 (cf. p 27, rapport mission 1). Ils ne tiennent donc pas compte ni i) d'une demande accrue de 7 à 14 % de ces besoins théoriques en 2050, d'après l'étude de l'ETP ni ii) de l'efficacité des apports 80 à 90 % des systèmes modernes d'irrigation (cf. partie précédente). Il faudrait donc ajouter 17 à 34 % de prélèvements nets aux estimations concernant ces extensions.

Interrogé sur les hypothèses de besoins de ces extensions, Brli a répondu :

*« Nous n'avons pas utilisé de référence bibliographique particulière pour fixer ces besoins unitaires, mais utilisé des ordres de grandeur de besoin d'irrigation possibles à l'horizon 2050 sur la base de notre expertise.*

*Pour la vigne, il aurait été effectivement possible d'appliquer une modulation, mais (i) l'irrigation de la vigne telle que pratiquée ne cherche pas à compenser pleinement un déficit hydrique « nominal », mais simplement à le réduire, et les doses apportées sont très variables selon les pratiques et surtout (ii) il ne nous semblait pas que cela allait modifier l'ordre de grandeur (considérer par exemple 1200 m<sup>3</sup>/an au lieu de 1000 modifie le débit de pointe final d'environ 2 % si on rapporte ce débit de pointe pour la vigne au débit de pointe total (77 m<sup>3</sup>/s) de l'hypothèse exploratoire<sup>2</sup>.*

---

<sup>2</sup> Calcul : 200 m<sup>3</sup>/ha x 40 % (part du besoin pour le mois de pointe) x 55 000 ha / 31 jours / 86 400 secondes par jour = 1,6 m<sup>3</sup>/s

*Pour les autres cultures, nous insistons sur le fait qu'il s'agit aussi d'ordres de grandeur et qu'ils constituent une approche très simplifiée :*

- Le besoin de 5 000 m<sup>3</sup> pour les vergers se veut un chiffre très moyenné qui englobe des cultures très diverses avec des besoins propres très divers (noyers, pommiers, pêcheurs, etc.). Certaines de ces cultures auront des besoins supérieurs, d'autres inférieurs.*
- Dans la réalité, pour une culture donnée, le besoin varie grandement dans l'espace. Mais on a fait ici le choix ici d'utiliser un besoin identique pour tout le bassin du Rhône. On tente ainsi de « moyenner » dans l'espace un besoin.*

*Le but était de construire une hypothèse exploratoire avec une cohérence en ordre de grandeur et de répartition dans le temps (répartition du besoin dans l'année selon le besoin des plantes) et dans l'espace (hypothèses présentées dans le tableau 4 de la page 15 du rapport de mission 3). Il ne s'agissait pas de construire un besoin associé à un scénario de prospective. Le comité de pilotage avait insisté sur ce point. Au début il avait même été question de simuler des prélèvements rattachés à aucune donnée « réelle ». Mais on s'est vite heurté au besoin de la cohérence spatiale et temporelle et au besoin de pouvoir situer l'hypothèse par rapport à une référence. »*

Ces réponses confirment que le caractère très exploratoire de la mission 3 et l'extrême prudence avec laquelle il faut prendre les perspectives rassurantes que dessinent l'étude sur la capacité du Rhône à subvenir à l'ensemble des demandes qui vont affluer.

### 3.5 Substitution aujourd'hui, mais demain ?

Cette invitation à la prudence vaut aussi pour le recours à la notion de substitution quand il s'agit de remplacer les prélèvements dans des rivières déjà déficitaires par des prélèvements dits « sécurisés » dans le Rhône.

La notion de substitution avec un impact nul sur le fleuve est discutable, lorsqu'il s'agit de remplacer un pompage déjà incertain aujourd'hui dans un affluent déficitaire du Rhône par un prélèvement sécurisé dans le Rhône. L'exemple du projet HPR (Hauts de Provence Rhodanienne cf. <https://www.irrigation84.fr/organismes-projets/hpr>) illustre ce point. 20 Mm<sup>3</sup>/an seront prélevés durablement sur le Rhône en substitution de prélèvements déjà très incertains du même ordre de grandeur dans le Lez, l'Aygues, l'Ouvèze, la nappe miocène (encadré p 38). Sans projet, on peut supposer que ces milieux ne pourront plus de toute façon délivrer les 20 Mm<sup>3</sup> en 2050. Les 20 Mm<sup>3</sup> seront bien prélevés dans le Rhône en cas de réalisation du projet. Si le bilan est présenté comme nul en 2023 en négligeant la variabilité interannuelle des prélèvements réalisables aujourd'hui dans ces cours d'eau, ce bilan sera probablement déficitaire en 2050 pour les milieux avec beaucoup de ces cours d'eau devenus intermittents.

Cette réserve sur la notion de substitution s'agissant de la situation à l'horizon 2050 devrait être soulignée dans l'avis du CS.

## Conclusion sur les usages

En bilan, le CS souligne la qualité des évaluations, que ce soit pour la partie AEP ou pour la mise à jour des évaluations des prélèvements agricoles bruts et nets aujourd'hui et leur spatialisation. Il tient aussi à mentionner la pertinence de l'étude de l'ETP à l'horizon 2050 qui montre bien que même sans extension de l'irrigation, la demande en eau agricole augmentera significativement, dans tous les scénarios climatiques envisagés par l'étude.

En outre, sans mener une réelle prospective sur les besoins en eau potable et l'agriculture irriguée en 2050, les différents scénarios retenus pour évaluer la capacité du Rhône à satisfaire ces demandes sont pertinents. La réalisation de tous les projets collectifs imaginés dans les territoires donne ainsi à voir ce qui attend les acteurs de l'eau pour les 20 ans qui viennent dans le bassin, si on n'omet pas de considérer qu'à côté de ces projets collectifs, l'extension des équipements par des dynamiques individuelles se poursuit, comme l'attestent les données du RA 2020. La demande d'irrigation va donc très probablement s'accroître. La demande en eau potable quant à elle est à ce stade difficile à anticiper, certains facteurs pouvant conduire à poursuivre la tendance observée à la stabilisation (de nature « technique » -réduction des fuites ...- ou humaine -des comportements plus économes ...-), d'autres suggérant une demande en augmentation (croissance démographique, utilisation accrue d'autres ressources en eau via notamment des forages privés ...).

Les conclusions relativement optimistes sur la capacité du Rhône à satisfaire les trois scénarios d'accroissement de la demande agricole sont par contre à considérer avec beaucoup de prudence, compte tenu des hypothèses retenues qui vont presque toutes dans le sens d'une atténuation des pressions attendues : i) omission de l'extension de l'irrigation depuis 2010 ; ii) approche des besoins en eau de 2050 centrée sur la demande climatique, sans appliquer de coefficient d'efficacité de l'irrigation iii) évaluation des besoins en eau des extensions sur les références de conception d'aujourd'hui et non pas sur les besoins en 2050.

On notera aussi que l'étude n'a pas considéré les projets dits de substitution des prélèvements dans les affluents par des pompages dans le Rhône, dont le bilan serait neutre à court terme pour le fleuve, mais probablement déficitaire à terme, en fonction de l'hydrologie à venir de ces affluents. Il n'y a que la non-prise en compte des économies d'eau attendues des projets de modernisation en cours qui va dans le sens d'une augmentation de la demande.

Cette étude aura eu aussi le mérite de réinterroger le bilan des programmes de modernisation des canaux et des matériels d'irrigations. L'efficacité de l'irrigation reste très médiocre, surtout à l'aval de Vivier. Quelles sont les économies d'eau et quels ont été les effets sur l'efficacité de l'irrigation ? À quoi sont destinées les économies constatées et celles qui sont encore à venir ?

## Complément : Analyse du recensement agricole RA 2020, comparaison avec les tendances dégagées dans la mission 1 et la mission 3

Pour une première approximation de l'évolution des assolements depuis 2010, nous avons demandé une extraction des données du RA de 2020 sur le bassin RMC amputé de la Corse, des Pyrénées orientales et de l'Aude (cf. tableau ci-dessous). Les superficies irriguées sur cette zone étaient de 239 000 ha lors du RA de 2010 dans notre extraction, contre 220 000 dans le périmètre de l'étude.

L'analyse reste à affiner pour bien se caler aux limites territoriales de l'étude BRLi, mais les tendances devraient être du même ordre de grandeur.

	Superficies Irriguées en ha* sur bassin RMC – PO, Corse et Aude			Étude BRLi sur périmètre de l'étude Missions 1 et 3		
	RA 2010	RA 2020	Variation	2010	RA 2020	Variation
Mais grain et semence	51 157	42 462	-17 %	52 000	baisse	
Riz	20 291	13 352	-34 %	20 000	baisse	+3 %
Autres céréales	14 769	30 559	+107 %	25 000	hausse	
Oléagineux	9 896	17 264	+74 %			+79 %
Protéagineux	1 858	1 138	-39 %		inconnu	inconnu
Vergers	49 881	50 875	+2 %	51 000		+2 %
Légumes frais	23 735	25 581	+8 %	22 000		
Pomme de terre	2 859	3 250	+14 %			+11 %
Vignes	18 252	50 962	+179 %	8000	20 000	+98 %
Prairies	35 524	42 395	+19 %	38 000		+4 %
Cultures fourragères	4 634	14 575	+215 %			+32 %
Cultures industrielles	2 132	4 209	+97 %	4000		
Autres cultures irriguées	4 029	4 470	+11 %			inconnu
Total	239 018	301 093	+26 %	220 000	hausse	inconnu
Total équipé	317 172	410 814	+30 %	inconnu	inconnu	

\*Extractions faites par S. Loubier INRAE depuis le fichier de données du RA 2010 et 2020, sur un territoire couvrant le bassin RMC amputé de la Corse des Pyrénées orientales et de l'Aude

Les deux périmètres ne sont pas parfaitement identiques. En ne retirant que l'Aude, la Corse et les Pyrénées-Orientales, on intègre environ 10 000 ha de vignes irriguées supplémentaires et 3 000 ha de légumes par rapport au périmètre de l'étude, irrigués par des fleuves côtiers ou des aquifères indépendants du Rhône, dans l'Hérault et le Gard notamment. Pour le reste les superficies irriguées sont concordantes.

On peut donc tirer quelques enseignements complémentaires de ces données du RA 2020 par rapport à ce qui est mentionné dans les rapports de mission 1 et 3 :

- Les superficies irriguées d'1/4 environ, soit une hausse globale de l'ordre de 55 à 60 000 ha, entre 2010 et 2020, à partir d'équipements collectifs ou individuels sur le périmètre de l'étude hydrologie du Rhône.
- La superficie irriguée d'une année donnée dépend, par définition, à la fois du climat de l'année et du contexte économique qui incitent plus ou moins les agriculteurs à recourir à cette pratique. La comparaison de 2 années (2010-2020) est donc à manier avec prudence. La dynamique de l'irrigation se reflète plutôt dans l'évolution des surfaces équipées, c'est-à-dire dans les investissements que les agriculteurs réalisent pour être à même d'irriguer si le climat et les prix sont favorables. Or les surfaces potentiellement irrigables ont augmenté de 30 % depuis 2010 sur la zone. Si on admet un ratio de 73 % entre la superficie équipée et irriguée dans la zone d'étude en 2020, cela donne de 70 à 80 000 ha équipés en plus. Dans la mission 1, seules les extensions des surfaces irrigables par les réseaux collectifs ont pu être prises en compte (11 800 à 16 800 ha), car ils font l'objet de demandes de financements publics (plus 5 000 ha d'équipement individuel recensés dans le Vaucluse).

Ces évolutions des surfaces équipées et des assolements irrigués confirment que les agriculteurs s'adaptent au changement climatique :

- En se donnant les moyens de recourir de plus en plus à l'irrigation pour faire face à l'augmentation de l'ETP, comme souligné dans l'étude ;
- Pour des cultures qui étaient peu arrosées dans le passé (surtout la vigne au sud du bassin avec un peu d'amandier et d'olivier ; des cultures fourragères) ;
- En se détournant des céréales gourmandes en eau en période estivale et moins rémunératrices que par le passé (maïs grain et riz) et en arrosant plus les céréales de printemps (blé tendre, blé dur) et les cultures d'été portées par une forte demande (soja).

Par contre, les injonctions à une consommation de fruits et légumes produits localement peinent encore à se traduire par une augmentation significative des surfaces concernées, nécessairement irriguées dans le bassin, même si leur déclin semble enrayé.

Si les analyses du RA à l'échelle du périmètre précis de l'étude BRLi étaient confirmées, l'estimation d'une demande théorique en eau accrue de 17 à 22 Mm<sup>3</sup> pour l'irrigation depuis 2010 devrait être significativement augmentée (de l'ordre de 70 à 100 Mm<sup>3</sup> pour les 60 000 ha de plus d'irrigation de la vigne, de fourrages et de céréales à paille).

On suggère en outre à l'Agence de l'eau un retour d'expérience sur l'année 2022, particulièrement favorable à la demande d'irrigation (climat et prix agricoles). Cette année 2022 particulièrement chaude et sèche dès le printemps devrait avoir renforcé les dynamiques d'extension des surfaces irrigables et irriguées.

## **Composition du Conseil scientifique du Comité de bassin Rhône-Méditerranée**

*(à la date de validation du présent avis)*

- **Membres du bureau :**

M. Montginoul (Présidente), E. Sauquet (1<sup>er</sup> vice-Président), J. Garric (2<sup>ème</sup> vice-Présidente)

D. Banaru, P. Billet, B. Chastan, P. Garin.

- **Autres membres ayant eu à valider l'avis :**

C. Amoros, C. Aspe, D. Badariotti, D. Banaru, S. Barone, B. Barraqué, P. Binet, V. Borrell, P. Bustamente, B. Camenen, F. Cattaneo, J.C. Clément, F. Colin, I. Domaizon, A. Dupuy, M. Esteves, E. Farcy, B. Fervers, J. Garric, J.L. Gonzalez, P. Gourbesville, E. Gross, P. Hartemann, F. Huneau, M. Legrand, P. Lenfant, E. Martin, A. Micoud, J. Mudry, G. Parrinello, C. Pergent, H. Piégay, G. Pinay, S. Pistre, G. Piton, Y. Souchon, A. Togola, T. Vallaëys.

### **Composition du groupe de travail du Conseil scientifique constitué pour constituer les versions de travail de cet avis :**

- **Scientifiques membres du Conseil scientifique du Comité de bassin :**

Claude Amoros, Agnès Barillier, Bernard Chastan (co-animateur), Michel Esteves (co-animateur), Patrice Garin, Jeanne Garric, Stéphane Ghiotti, M. Montginoul, Hervé Piégay, Gilles Pinay, Severin Pistre.

- **Secrétariat :**

Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse : S. Stroffek, O. Gorin

*Les contributions au contenu de ce document sont faites à titre personnel et n'engagent pas les institutions qui emploient les personnes sus-mentionnées, conformément aux statuts du conseil scientifique.*