

# ÉTUDE DE L'HYDROLOGIE DU FLEUVE RHONE SOUS CHANGEMENT CLIMATIQUE


**Mission 2 : Vulnérabilité et criticité de la ressource Rhône**

Synthèse



Janvier 2023



	<p>BRL ingénierie</p> <p>1105 Av Pierre Mendès-France BP 94001 30001 NIMES CEDEX 5</p>

Date du document	29/07/2022
Contact	Sébastien Chazot

Titre du document	Etude de l'hydrologie du fleuve Rhône sous changement climatique – Synthèse de la mission 2
Référence du document :	A00820
Indice :	V2

Date émission	Indice	Observation	Dressé par	Vérfié et Validé par
28 sept. 2022	V1		Marion Mahé	Sébastien Chazot
Novembre 2022	V2	Prise en compte des remarques de l'Agence de l'eau sur la V1		
30 nov. 2022	V3	Prise en compte de remarques complémentaires		
Janvier 2023	V4	et corrections		

### POUR CITER CE DOCUMENT :

BRLi, 2022, *Etude de l'hydrologie du fleuve Rhône sous changement climatique – Mission 2 : Vulnérabilité et criticité de la ressource Rhône - Synthèse*



# ÉTUDE DE L'HYDROLOGIE DU RHONE SOUS CHANGEMENT CLIMATIQUE

## Mission 2 : Vulnérabilité et criticité de la ressource Rhône

<b>PRÉAMBULE</b> .....	<b>1</b>
<b>1 CONTEXTE ET MÉTHODE D'ANALYSE</b> .....	<b>3</b>
<b>2 PRODUCTION D'ÉNERGIE DÉCARBONÉE</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1 REFROIDISSEMENT DES CENTRALES NUCLEAIRES DE PRODUCTION D'ENERGIE PAR LE FLEUVE</b> .....	<b>6</b>
2.1.1 Rappel du principe de fonctionnement .....	6
2.1.2 Quelles évolutions de la production d'énergie d'origine nucléaire sur le fleuve Rhône sous l'effet du changement climatique ? .....	7
<b>2.2 PRODUCTION HYDROELECTRIQUE A PARTIR DU FLEUVE</b> .....	<b>8</b>
2.2.1 Rappel du principe de fonctionnement .....	8
2.2.2 Quelles évolutions du potentiel de production hydroélectrique sous l'effet du changement climatique ? .....	9
<b>2.3 RISQUE D'ATTEINTE DE NIVEAUX CRITIQUES DE PRODUCTION D'ENERGIE DECARBONEE EN CLIMAT ACTUEL         ET EN CLIMAT FUTUR</b> .....	<b>9</b>
<b>3 REMONTÉE DU COIN SALÉ DANS LE DELTA DU RHÔNE ET REMISE EN CAUSE DES USAGES ASSOCIÉS</b> .....	<b>12</b>
3.1 DESCRIPTION DU PHENOMENE DE COIN SALE .....	12
3.2 RISQUE DE REMONTEE DU COIN SALE DANS LE LIT DU FLEUVE.....	13
<b>4 HYDROBIOLOGIE</b> .....	<b>14</b>
4.1 QUELS SONT LES LIENS ENTRE DEBITS ET HYDROBIOLOGIE SUR LE FLEUVE ? .....	14
4.2 RISQUES DE SOUS PASSEMENT DES DEBITS RESERVES.....	15
<b>5 PRÉSERVATION DE LA QUALITÉ DE L'EAU DU FLEUVE</b> .....	<b>18</b>
5.1 LA QUALITE DE L'EAU DU FLEUVE DIMINUE-T-ELLE LORSQUE LES DEBITS BAISSENT ?.....	18
5.2 DOIT-ON CRAINDRE UNE BAISSSE DE LA QUALITE DES EAUX POMPEES EN NAPPE ALLUVIALE DU RHONE ?	19
<b>6 CONNEXION DES FORÊTS ALLUVIALES ET DES ANNEXES DU FLEUVE</b> .....	<b>20</b>
6.1 QUELS SONT LES LIENS ENTRE FORETS ALLUVIALES ET HYDROLOGIE DU FLEUVE ? .....	20
6.2 QUELS SONT LES LIENS ENTRE DEBITS DU FLEUVE ET CONNEXION DES ANNEXES ALLUVIALES ?.....	21
<b>7 DISPONIBILITÉ DE L'EAU POUR LES PRÉLÈVEMENTS</b> .....	<b>24</b>
7.1 EAUX SOUTERRAINES : Y A-T-IL UN ENJEU, POUR LA PRODUCTION D'EAU POTABLE A PARTIR DE LA NAPPE ALLUVIALE, LIE A L'EVOLUTION DU DEBIT ? .....	24
7.2 EAUX SUPERFICIELLES : LES PRELEVEMENTS D'AUJOURD'HUI POURRONT-ILS ENCORE ETRE SATISFAITS DEMAIN ?.....	25

**8 SYNTHÈSE DE LA CRITICITÉ ET DES RISQUES .....27**

# TABLE DES ILLUSTRATIONS

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Répartition des aménagements sur le Rhône français (source : le Rhône en 100 questions) ..... 5

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Baisse de production électrique sous l'effet du changement climatique : vulnérabilité des différentes centrales nucléaires situées sur le Rhône..... 8

Tableau 2 : Risque d'apparition de conflits d'usage au niveau des différents tronçons sur le fleuve ..... 26

Tableau 3 : Synthèse des principales sources de risque associées au changement climatique sur chaque tronçon ..... 29

## LISTE DES CARTES

Carte 1 : Exposition et vulnérabilité au risque de baisse de la capacité de production d'énergie décarbonée à partir du fleuve dans l'hypothèse d'un équipement et de limites réglementaires à l'identique ..... 11

Carte 2 : Risque de sous passement des débits réservés dans les vieux Rhône ..... 17

Carte 3 : Risque de remise en cause de l'alimentation des annexes alluviales..... 23





# PREAMBULE

L'étude de l'hydrologie du Rhône sous changement climatique fait suite à « l'étude de gestion quantitative et des débits d'étiages du Rhône en période de basses eaux » (BRLi, 2014) (également dites « étude des étiages du Rhône »), pilotée par l'Agence de l'eau RMC et la DREAL de bassin entre 2012 et 2014.

Depuis cette période, de **nombreux projets de prélèvement impactant le débit du Rhône ont émergé**, pour réduire la pression sur des affluents ou nappes en déséquilibre quantitatif mais également pour développer de nouveaux usages.

Par ailleurs, au cours des dernières années, **le niveau de connaissance et la façon dont sont appréhendés les impacts du changement climatique ont largement évolué**. Plusieurs projets ont étudié dans le détail l'impact possible du changement climatique sur l'hydrologie et les ressources en eau. Les données disponibles sur les modifications climatiques possiblement attendues sur le territoire français sont également accessibles suite à de nouveaux travaux de modélisation et la mise en place du portail dédié à la mise à disposition de leurs résultats (portail DRIAS-Climat). Si les niveaux d'incertitudes restent élevés, le bilan des connaissances réalisé par l'Agence de l'eau en 2016 révèle que des tendances lourdes se dessinent sur le bassin versant du Rhône, particulièrement à l'étiage. **L'impact du changement climatique avait été identifié dans l'étude de 2014 comme un facteur sensible**, qu'il est désormais nécessaire de prendre en compte plus précisément au vu de l'avancée des connaissances et des tendances des années récentes.

Enfin, un nouvel outil de modélisation hydrologique (J2000-Rhône) a été mis au point par INRAE ces dernières années. Spécialement développé pour le contexte rhodanien, cet outil offre la possibilité de réaliser des projections d'évolution des débits à différents horizons et selon différents scénarios d'évolution du climat.

Avec l'étude de l'hydrologie du Rhône sous changement climatique l'Agence de l'eau et la DREAL de bassin ont souhaité intégrer ces nouvelles connaissances et approfondir les réflexions menées en 2014 en intégrant davantage les problématiques liées au changement climatique et à ses impacts sur les ressources.

**L'étude vise ainsi à actualiser le diagnostic réalisé en 2014 sur les besoins (actuels et projetés), la ressource en eau et son évolution possible sous l'effet du changement climatique (mission 1). Elle doit permettre d'évaluer la vulnérabilité au changement climatique des différents tronçons définis sur le Rhône vis-à-vis de plusieurs enjeux clés et d'évaluer les risques pour ces enjeux au regard de l'évolution de l'hydrologie du Rhône (mission 2). Ces éléments doivent nourrir la dernière étape de l'étude (mission 3) qui vise à « tester et évaluer une capacité de prélèvements supplémentaires par tronçon, de façon durable ». Il s'agira pour cette mission 3 d'« analyser si les projets induisant des prélèvements supplémentaires dans le Rhône restent admissibles à moyen terme et long terme » en calculant leur empreinte et en analysant leur admissibilité au regard de la criticité pour les enjeux définis en mission 2.**

**Le présent document est une synthèse des résultats obtenus dans le cadre de la mission 2.**





# 1 CONTEXTE ET METHODE D'ANALYSE

## PERIMETRE D'ETUDE

La zone d'étude comprend le fleuve Rhône dans sa partie française, du Léman jusqu'à la mer, zone incluant l'axe Rhône, sa nappe alluviale et les affluents principaux. Ainsi, les enjeux présents sur la partie suisse du bassin ne sont pas abordés. Dans le cadre de la mission 2, c'est bien la vulnérabilité et les risques associés au fleuve Rhône et sa nappe qui sont examinés. Les problématiques qui touchent spécifiquement les affluents du fleuve ou leurs nappes ne sont pas étudiées.

L'étude se concentre sur la modélisation des débits du fleuve et n'aborde pas la question de la thermie. Cette question est toutefois partiellement évoquée lors des analyses, mais la définition de la relation entre l'hydrologie et la température de l'eau est hors cadre nominal de l'étude.

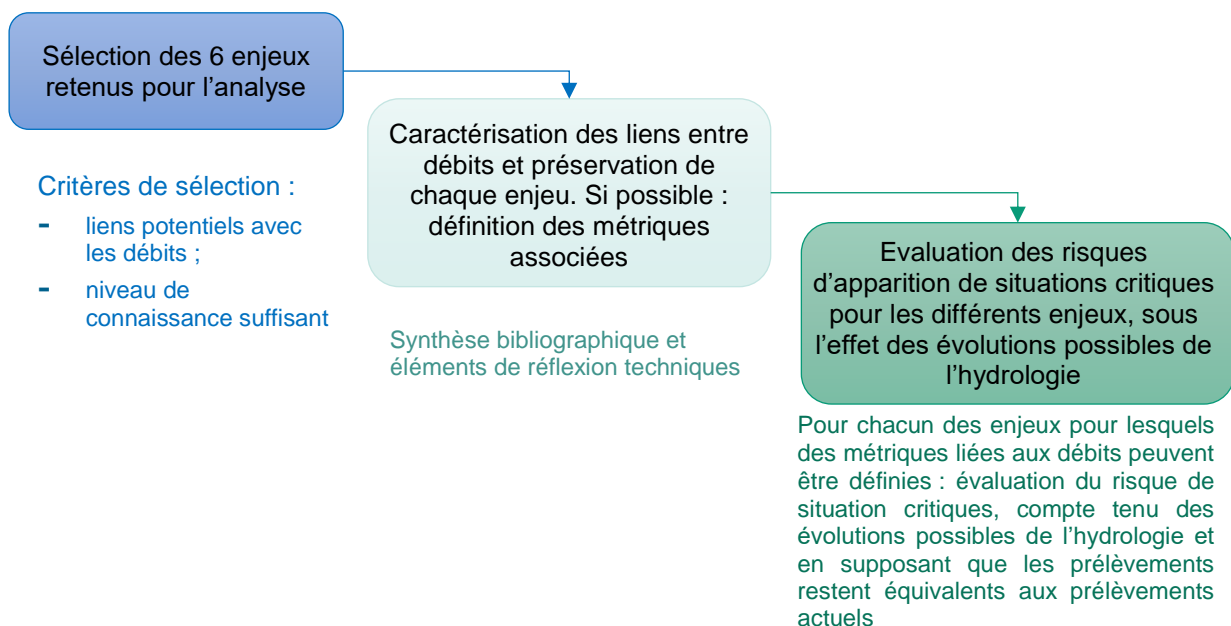
Les analyses menées pour caractériser la vulnérabilité de chacun de ces enjeux aux baisses de débits du Rhône impliquent de définir le lien entre chaque problématique et les écoulements du fleuve. Pour plusieurs des thématiques étudiées, les réflexions menées sont exploratoires et les connaissances scientifiques disponibles restent incomplètes. Soulignons que la présente étude n'avait pas pour objectif de produire de nouvelles connaissances mais de s'appuyer sur les informations bibliographiques existantes. Plusieurs sujets ont toutefois fait l'objet d'analyses spécifiques, n'ayant jamais été réalisées jusqu'à ce jour et qui n'existaient donc pas dans les éléments disponibles.

Les résultats présentés dans cette synthèse concernent l'horizon 2055 (2041-2070) et le scénario RCP 8.5.

## APPROCHE GENERALE

L'objectif de cette mission 2 est de « caractériser le risque que des situations critiques puissent apparaître au regard de l'évolution de l'hydrologie du Rhône et au vu des usages actuels qui en dépendent directement ou indirectement » (extrait du cahier des charges de l'étude).

L'approche mise en œuvre suit plusieurs étapes, explicitées dans le schéma ci-dessous.





Conformément au cahier des charges, 6 enjeux ont été sélectionnés en concertation avec le Comité de Pilotage de l'étude et le bureau du Comité de Bassin. Pour chacun de ces 6 enjeux l'approche proposée vise ainsi à définir :

- les secteurs du fleuve où l'enjeu considéré est présent ;
- l'aléa lié au changement climatique, c'est à dire l'évolution de l'hydrologie du fleuve, variable suivant la localisation que l'on considère ;
- les caractéristiques des différents tronçons du fleuve qui font que, à aléa équivalent, les tronçons peuvent subir des impacts potentiels plus ou moins dommageables.

Les 6 enjeux retenus sont les suivants :

- la production d'énergie décarbonée (cet enjeu regroupe en pratique la production d'énergie nucléaire et la production d'énergie hydroélectrique),
- la remontée du coin salé dans le delta du Rhône et la préservation des usages associés (irrigation, AEP...),
- la préservation des milieux et des espèces aquatiques,
- la préservation de la qualité de l'eau du fleuve,
- le maintien des connexions des forêts alluviales et des annexes alluviales,
- la disponibilité de l'eau pour les prélèvements.

#### RAPPEL DE L'IMPACT DES AMENAGEMENTS SUR LES LIENS ENTRE DEBITS ET NIVEAUX D'EAU SUR LE FLEUVE

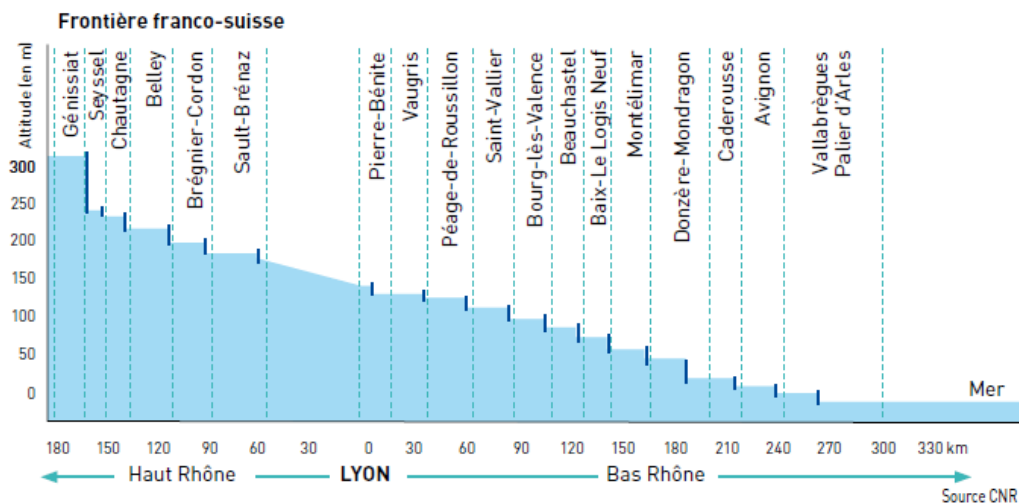
Le Rhône à l'aval du Léman a fait l'objet d'une stratégie d'aménagements hydrauliques de grande envergure motivée par la volonté de satisfaire à la fois les besoins de la production d'hydroélectricité, de la navigation à grand gabarit à l'aval de Lyon et de l'irrigation.

Un aménagement type est composé d'un **barrage** construit sur le cours naturel du fleuve, dont le rôle est de relever le niveau du Rhône et de dériver une large part de son débit vers un **canal de dérivation**, qui conduit les eaux jusqu'à une **usine** fonctionnant au fil de l'eau qui convertit la puissance motrice du fleuve en électricité.

Chaque barrage contrôle la ligne d'eau sur le fleuve à son amont et crée un remous qui remonte souvent jusqu'à l'aval immédiat du barrage précédent. Ainsi, sous l'effet des aménagements qui jalonnent le fleuve, le profil en long du Rhône est proche d'une succession de plans d'eau. La Figure 1 présente la répartition des aménagements sur le fleuve.



Figure 1 : Répartition des aménagements sur le Rhône français (source : le Rhône en 100 questions)<sup>1</sup>



On distingue en réalité, entre le lac Léman et la mer, deux grands cas :

- Les tronçons du Rhône contrôlés hydrauliquement par un ouvrage hydroélectrique. Dans ce cas la hauteur d'eau dépend de la gestion d'un barrage. La relation entre cette hauteur et le débit est alors très différente de celle d'un bief sans influence. En basses eaux, **80 % du linéaire du Rhône situé entre le lac Léman et la mer est dans cette situation.**
- Les tronçons non contrôlés par un ouvrage (ou tronçons à écoulement libre). Ils **concernent les 20 % restant.** Sur ces tronçons la hauteur d'eau varie de manière univoque avec le débit modulo l'influence du niveau de la mer pour les tronçons situés le plus à l'aval.

Au final, deux secteurs présentent des linéaires en écoulements libres relativement importants :

- L'aval de l'aménagement de Sault-Brénaz, le plus long linéaire en écoulement libre du Haut-Rhône (22 km en basses eaux) ;
- l'aval du dernier aménagement sur le Rhône (ouvrage de Vallabrègues). A partir de ce point, le Rhône s'écoule sur 62 km jusqu'à la mer (dont un peu moins de 10 km avant la déflue entre le Petit et le Grand-Rhône).

Ces deux secteurs ne sont pas équivalents en termes de vitesse d'écoulement dans la mesure où la pente est relativement importante à l'aval de Sault-Brénaz, ce qui se traduit par des faciès d'écoulement majoritairement lotiques. A l'aval de Vallabrègues, la pente est nettement plus faible et les écoulements, de ce fait, nettement moins courants. En dehors de ces 2 secteurs, les niveaux à l'étiage sont maintenus par les barrages de retenue, les débits du fleuve n'ont ainsi pas d'influence sur les niveaux d'eau. **Cette déconnection entre niveaux et débits limite l'exposition au risque et la vulnérabilité du fleuve pour plusieurs des enjeux étudiés, notamment pour ce qui concerne l'hydrobiologie, la disponibilité de l'eau pour les prélèvements souterrains et la connexion des annexes et forêts alluviales.**

<sup>1</sup> Cette figure, de source CNR, ne fait pas figurer l'ouvrage de Cusset (sous concession EDF) positionné en amont de l'aménagement de Pierre Bénite.



## 2 PRODUCTION D'ÉNERGIE DÉCARBONÉE

L'eau du fleuve Rhône est utilisée par deux filières de production d'électricité, la filière nucléaire et l'hydroélectricité (fil de l'eau).

### 2.1 REFROIDISSEMENT DES CENTRALES NUCLEAIRES DE PRODUCTION D'ÉNERGIE PAR LE FLEUVE

#### 2.1.1 Rappel du principe de fonctionnement

Comme mentionné dans le rapport de mission 1, un des usages de l'eau du fleuve est le refroidissement de centrales nucléaires de production d'énergie (CNPE) de Bugey, Saint-Alban, Cruas et Tricastin. Les centrales nucléaires refroidies par le Rhône totalisent 10% de la puissance installée française (toutes sources confondues). Elles représentaient en 2019 environ 16 % de la production électrique nationale.

Deux technologies sont utilisées pour le refroidissement. En termes d'impact sur le fleuve, on peut retenir que le refroidissement en circuit fermé (CNPE de Cruas et 2 des 4 réacteurs du site de Bugey) consomme de l'eau (de l'ordre de 24 Mm<sup>3</sup>/an/tranche, soit un débit fictif continu de l'ordre de 0,75 m<sup>3</sup>/s/tranche) mais présente un impact thermique très limité sur le fleuve. Le refroidissement en circuit ouvert (CNPE de Tricastin, Saint Alban et 2 des 4 réacteurs du site de Bugey) prélève des volumes d'eau très supérieurs aux volumes nécessaires en circuit fermé mais sa consommation peut être considérée comme nulle (toute l'eau prélevée est rejetée au fleuve). Ce dernier type de refroidissement a un impact thermique sur le fleuve plus important.

On considère que les réacteurs fonctionnant en circuit fermé ne sont pas vulnérables à une évolution de l'hydrologie du fleuve puisque ces débits sont peu ou pas limitants pour leurs capacités de refroidissement.

Les réacteurs refroidis à l'aide de circuit ouverts sont soumis à des contraintes réglementaires visant à limiter l'impact thermique des réacteurs sur le fleuve. A certaines périodes, quand le débit est faible ou les températures de l'eau amont plus élevées que celles définies dans les arrêtés de prise et rejet, des réductions de la puissance produite par les réacteurs peuvent théoriquement être nécessaires pour respecter ces contraintes environnementales<sup>2</sup>. La production potentielle des réacteurs refroidis en circuit ouvert est donc conditionnée à la fois par les débits et les températures du fleuve.

L'évolution des températures de l'eau du Rhône ne faisant pas partie de l'étude, des hypothèses simplificatrices d'évolution des températures de l'eau ont été proposées. **Ces hypothèses ont pour objectif de tester la sensibilité du système à une hausse des températures de l'eau. Elles ne sont pas basées sur une modélisation thermique et ne constituent donc pas une estimation fiable et précise des températures futures de l'eau du fleuve.**

Par ailleurs, l'approche utilisée évalue l'évolution de la production en comparaison d'un potentiel théorique maximal (correspondant à une situation où les centrales fonctionneraient à plein régime tout au long de l'année). En réalité les réacteurs fonctionnent rarement tous de façon simultanée et sont justement arrêtés pour maintenance préférentiellement aux périodes où ils risqueraient d'être contraints pour raisons environnementales. Ainsi la baisse exprimée en comparaison d'une situation où tous les réacteurs fonctionnent simultanément et en continu peut être nettement supérieure à la baisse effective pourrait entraîner le changement climatique en comparaison du fonctionnement actuel.

<sup>2</sup> En pratique, ces réductions ne sont effective que si les tranches sont en fonctionnement, ne sont pas en maintenance et si des actions de soutien de débit ne sont pas possibles



## 2.1.2 Quelles évolutions de la production d'énergie d'origine nucléaire sur le fleuve Rhône sous l'effet du changement climatique ?

Les contraintes réglementaires environnementales associées au fonctionnement des centrales refroidies en circuit ouvert sont traduites opérationnellement par des courbes limites dans un plan à deux dimensions (débits ; températures de l'eau). Ces courbes définissent des conditions dans lesquelles il n'existe pas de contrainte de fonctionnement liées aux limites de rejets thermiques et d'autres dans lesquelles la puissance produite doit être potentiellement réduite pour respecter les contraintes réglementaires et en considérant le cas théorique où la puissance maximale est disponible et que des soutiens ne sont pas possibles.. Les fréquences auxquelles chaque centrale refroidie en circuit ouvert se trouve théoriquement contrainte dans son fonctionnement ont été déterminées et comparées.

Ces analyses amènent les constats suivants :

- **Toutes les projections (évolution des débits selon 10 projections croisée avec une hypothèse de hausse de températures de l'eau du fleuve) convergent vers une augmentation, en comparaison de la situation de référence, des situations dans lesquelles une réduction de puissance théorique est nécessaire**, en fréquence et/ou en intensité.
- **L'évolution de la température du fleuve a un rôle déterminant sur les puissances potentielles théoriques de chaque centrale.** Rappelons que l'unique hypothèse d'évolution utilisée est basée sur une approche très simplifiée qui reste approximative. Les résultats obtenus mettent en évidence le facteur limitant que constituent les températures maximales aval après mélange, et confirment l'intérêt de préciser les évolutions possibles de la température d'eau du fleuve sous l'effet du changement climatique, via une modélisation couplant hydrologie et thermie.
- **En moyenne, à l'échelle d'une année, les baisses de production potentielle théorique des différentes centrales sont de l'ordre de quelques pourcents.**
- La période de juillet à septembre est celle durant laquelle l'impact du changement climatique aura le plus d'impact sur la production potentielle théorique. Ces baisses peuvent aller jusqu'à plus de 20% voire 25% au mois d'août pour les projections climatiques.

Soulignons cependant que les évolutions présentées dans l'étude correspondent à une évolution du potentiel maximum de production et ne reflètent probablement pas l'évolution effective de la production nucléaire sous l'effet **du changement climatique. En effet :**

- Les évolutions du potentiel maximal de production sont calculées par rapport à une situation de référence fictive dans laquelle l'ensemble des réacteurs fonctionneraient 7j/7, 24h/24, ce qui n'est pas le cas en situation actuelle. En effet, les réacteurs fonctionnent rarement tous de façon simultanée. Ils sont en arrêts pour maintenance préférentiellement aux périodes où ils risqueraient d'être contraints pour raisons environnementales.
- Les résultats présentés ici correspondent à l'impact du changement climatique sur les installations nucléaires actuelles. Compte tenu des durées de vie des réacteurs actuellement refroidis en circuits ouverts il est vraisemblable que les installations effectivement présentes à l'horizon considéré (2041-2071) n'auront pas la même conception ni les mêmes contraintes réglementaires que les réacteurs actuels.
- De même, les possibilités d'adaptation par gestion des débits du Rhône et de ses affluents ne sont pas prises en compte alors qu'aujourd'hui des modalités de gestion particulières sont mise en œuvre en période d'étiage et ont une influence importante sur les débits et la température du Rhône<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> La nature de ces modalités de gestion et leur impact n'ont pas été communiqués dans le cadre de l'étude.





- Enfin, comme évoqué plus haut, les impacts identifiés sont fortement influencés par le paramètre température de l'eau. Les hypothèses de hausse de température ont été proposées pour tester la sensibilité des résultats à l'évolution de ce paramètre mais seraient à préciser dans le cadre d'une modélisation dédiée couplant hydrologie et thermique.

La vulnérabilité au changement climatique de la production électronucléaire des centrales refroidies par le Rhône est synthétisée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1 : Baisse de production électrique sous l'effet du changement climatique

CNPE ASSOCIEE AU TRONÇON	CONTRAINTES HYDRAULIQUES (ENJEU DE SURETE)	REFROIDISSEMENT EN CIRCUIT OUVERT	FREQUENCE DE CONDITIONS [Q ; T] LIMITES	DIMINUTION DE LA PRODUCTION THEORIQUE PAR RAPPORT A LA SITUATION DE REFERENCE (%) (*)
<b>BUGEY</b> (1 820 MW CIRCUIT OUVERT ; 1 760 MW CIRCUIT FERME)	Oui (150 m <sup>3</sup> /s)	Oui (2 tranches)	Diminution la plus marquée sous l'effet du changement climatique (Prod à Pmax passe de 97% du temps en ref à 83% du temps pour la projection la + pessimiste)	Annuel : -4% [-2% ; -5%] Août ; -19% [-11% ; -27%] (tranches ouvertes)  0% (tranches fermées)
<b>SAINT ALBAN</b> (2 600 MW)	Non	Oui	Fréquence la plus élevée des 3 CNPE en circuit ouvert (96% à Pmax en ref)	Annuel : -3% [-1% ; -5%] Août : -17% [-9% ; -25%]
<b>TRICASTIN</b> (3 600 MW)	Non	Oui	Fréquence la plus faible des 3 CNPE refroidies en circuit ouvert (99% à Pmax en ref)	Annuel : -2% [-1% ; -3%] Août ; -13% [-6% ; -22%]
<b>CRUAS</b> (3 600 MW)	Non	Non	-	0% (tranches fermées)

(\*) Evolutions essentiellement liées à l'évolution des températures de l'eau

A l'échelle de l'ensemble des centrales nucléaires refroidies par les eaux du Rhône (y compris celles en circuit fermé), la baisse de production théorique par rapport à la situation de référence s'élève à moins de 2 % [0,9% ; 2,7 %] pour l'année et à 10 % [5% ; 15%] pour le seul mois d'août.

## 2.2 PRODUCTION HYDROELECTRIQUE A PARTIR DU FLEUVE

### 2.2.1 Rappel du principe de fonctionnement

Une série d'aménagements ayant entre autres pour vocation la production d'hydroélectricité se succèdent sur le Rhône. Au total, **la production annuelle de ces ouvrages s'élève à plus de 17 000 GWh**, équivalent au besoin annuel en électricité de près de 2,3 millions de personnes. Les usines de production hydroélectriques alimentées par le fleuve fournissent un quart de l'hydroélectricité nationale et représentent 3 % de la production électrique française.

Les ouvrages de stockage localisés sur les affluents du fleuve représentent quant à eux environ 60% de la production hydroélectrique nationale. Néanmoins, comme indiqué précédemment, l'impact du changement climatique sur les enjeux liés aux affluents n'est pas évalué dans le cadre de l'étude.





### LIENS ENTRE PRODUCTION ET DÉBIT

La production d'énergie par les usines hydroélectriques sur le Rhône se fait majoritairement par turbinage au fil de l'eau des débits du fleuve. L'évolution de la production d'hydroélectricité à partir du fleuve a été évaluée en considérant l'évolution des débits disponibles pour la production hydroélectrique entre la situation de référence et les différentes projections climatiques (*Débits disponibles* = *Minimum (Débit du fleuve - Débit réservé)* ; *Capacité max des turbines*). On néglige ainsi plusieurs autres paramètres (pertes de charges, rendements, variations des hauteurs de chute).

Les incertitudes associées à ces approximations sont difficiles à quantifier. Soulignons toutefois qu'elles pourraient être du même ordre de grandeur voire supérieures aux évolutions de production entraînées par les modifications de l'hydrologie sous l'effet du changement climatique.

#### 2.2.2 Quelles évolutions du potentiel de production hydroélectrique sous l'effet du changement climatique ?

La variation de débit disponible (en %) entre l'hydrologie de référence et les différentes projections climatiques étudiées ont été calculées pour chacun des aménagements au fil de l'eau (le cas de l'ouvrage de Génissiat, dont le mode de gestion diffère de celui des autres aménagements, n'est toutefois pas traité).

On retient les points suivants :

- Il existe **une forte incertitude sur le sens de l'évolution (baisse ou hausse) de la production hydroélectrique potentielle sous l'effet d'une modification des débits du fleuve** (le sens et l'ampleur de ces évolutions varient en effet d'une projection à l'autre).
- **Pour l'ensemble des aménagements, la production hydroélectrique potentielle est globalement stable à l'échelle de l'année (- 1% à +6%). Les modélisations conduisent ainsi à une stabilité de la production hydroélectrique totale annuelle à partir des ouvrages au fil de l'eau.**
- La stabilité de production à l'échelle annuelle masque **des contrastes saisonniers**. Pour l'ensemble des aménagements, on constate une tendance d'évolution à la **hausse des débits disponibles pour la production d'hydroélectricité entre novembre et mai**. Cette hausse est particulièrement marquée sur l'amont du bassin et peut atteindre +38% pour certains aménagements en janvier et février. Durant ces mois, l'ensemble des projections climatiques converge en effet vers une hausse des débits disponibles.

A l'inverse, on constate des tendances à la **baisse des débits disponibles pour la production d'hydroélectricité de juillet à octobre**. La majorité des projections climatiques conclut à une baisse. Ces baisses tendent à être plus marquées sur l'aval du fleuve que sur l'amont et peuvent atteindre jusqu'à 37% en médiane au niveau d'Avignon.

### 2.3 RISQUE D'ATTEINTE DE NIVEAUX CRITIQUES DE PRODUCTION D'ÉNERGIE DECARBONÉE EN CLIMAT ACTUEL ET EN CLIMAT FUTUR

Il n'est pas possible dans le cadre de cette étude de se prononcer sur la gravité des conséquences en termes d'équilibre du réseau électrique associées à ces baisses de production théorique, que ce soit pour l'énergie nucléaire ou la production d'hydroélectricité. En effet, la criticité des baisses possibles dépendra avant tout des possibilités d'atteinte d'un équilibre entre offre et demande en électricité (la demande est actuellement plus importante en hiver, mais la répartition annuelle de la demande pourrait être amenée à évoluer), cet équilibre est géré au niveau national. Enfin, à long terme, comme déjà souligné au sujet de l'équipement électronucléaire, les évolutions liées au changement climatique d'ici à 2050 s'imposeront à des installations probablement différentes de celles en place dans la situation actuelle.



La carte suivante synthétise les résultats obtenus sur l'évaluation de la vulnérabilité du fleuve Rhône à une baisse de production d'énergie électrique.



Carte 1 : Exposition et vulnérabilité au risque de baisse de la capacité de production d'énergie décarbonée à partir du fleuve dans l'hypothèse d'un équipement et de limites réglementaires à l'identique

### ÉTUDE DE L'HYDROLOGIE DU FLEUVE RHÔNE SOUS CHANGEMENT CLIMATIQUE

### Production d'énergie décarbonée

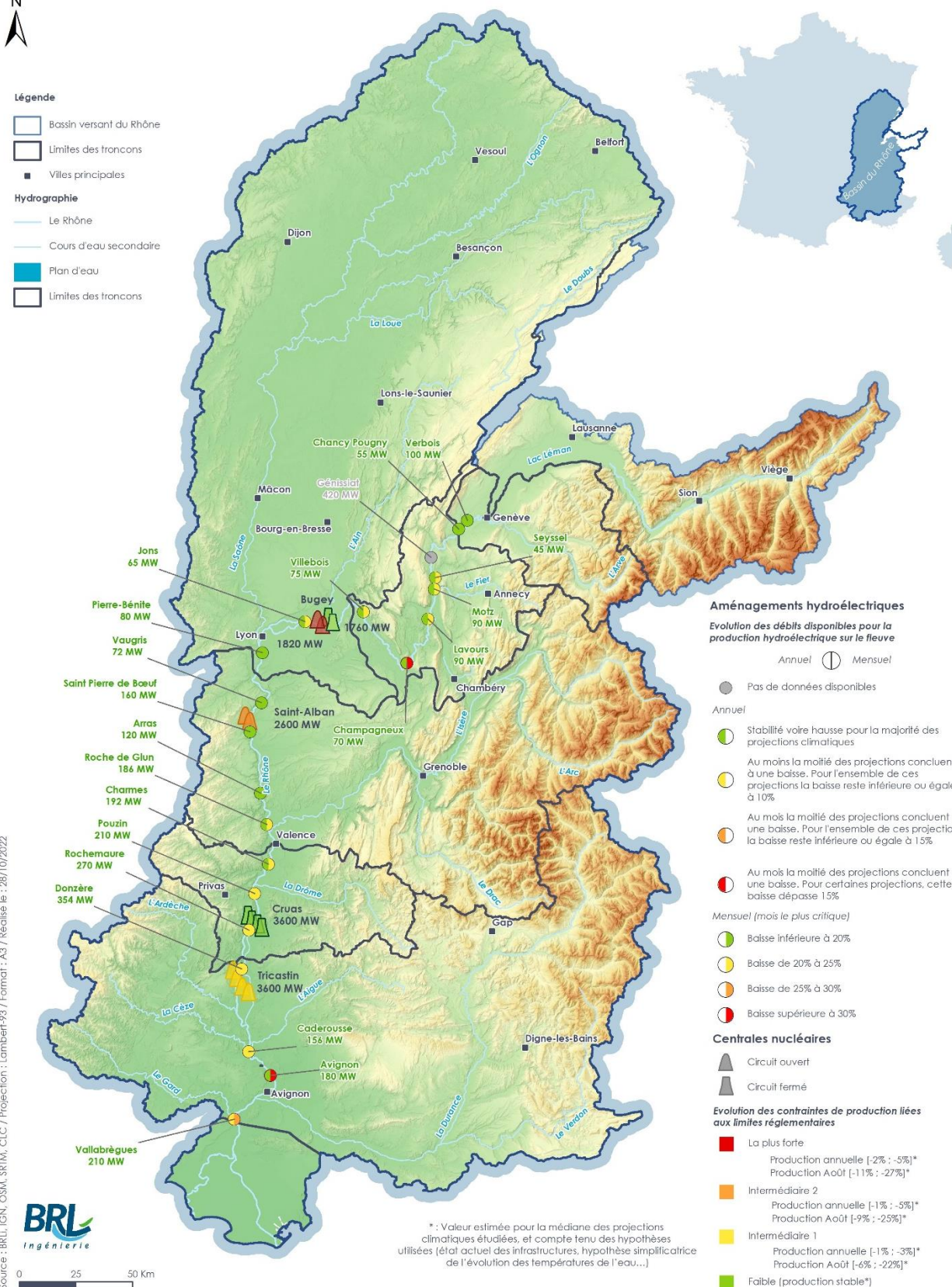


#### Légende

- Bassin versant du Rhône
- Limites des tronçons
- Villes principales

#### Hydrographie

- Le Rhône
- Cours d'eau secondaire
- Plan d'eau
- Limites des tronçons





## 3 REMONTEE DU COIN SALE DANS LE DELTA DU RHONE ET REMISE EN CAUSE DES USAGES ASSOCIES

### 3.1 DESCRIPTION DU PHENOMENE DE COIN SALE

La problématique du coin salé concerne exclusivement la partie la plus aval du fleuve (delta du Rhône). L'expression « coin salé » désigne le phénomène d'intrusion d'eau marine dans le lit d'un fleuve, ce nom évoquant la forme de la masse d'eau salée. L'eau salée ayant une densité supérieure à l'eau douce, elle s'insinue comme un coin sous celle-ci lorsqu'elle remonte en « rampant » dans le lit du fleuve (*Le Rhône en 100 questions*, ZABR, 2008). On parle de l'intrusion de l'eau salée, mais, physiquement, c'est l'eau du fleuve qui repousse l'eau salée. En effet, si le débit du fleuve était nul, l'eau de mer occuperait toute la partie du lit du Rhône jusqu'à la hauteur du niveau de la mer et elle remonterait alors jusqu'à Beaucaire.

#### LIENS ENTRE REMONTEE DU COIN SALE ET DEBIT DU FLEUVE

Le débit du fleuve est un facteur influençant la remontée du coin salé (plus le débit du fleuve est faible plus le risque d'intrusion saline est important), néanmoins, d'autres facteurs ont aussi une influence significative :

- La durée des bas débits du fleuve : si la baisse du débit est trop courte, le phénomène n'a pas le temps d'atteindre son extension maximale.
- La direction et l'intensité du vent : le vent du nord favorise la remontée du coin salé car il augmente la vitesse de l'eau en surface et, à débit égal, la réduit en profondeur.
- Le niveau de la mer, qui évolue avec la pression atmosphérique et l'amplitude des marées. Ce niveau de la mer évolue également à plus grande échelle de temps, en lien avec le changement climatique (hausse de l'ordre de 20 cm depuis le début de l'ère industrielle).
- La géométrie du lit du fleuve à l'embouchure, sa pente plus particulièrement.

L'exploitation des données de mesure de salinité sur le fleuve et de la bibliographie disponible a cependant permis de définir l'échelle suivante qui permet d'associer à différentes gammes de débit un risque de remontée du coin salé jusqu'au seuil de Terrin, à proximité duquel sont localisés les stations d'alerte et de pré-alerte.

EVENEMENT	DEBIT CORRESPONDANT A BEUCAIRE (Q JOURNALIER LISSE SUR 5 JOURS)
Amorçage de la remontée du coin salé dans l'embouchure du fleuve	1200 m <sup>3</sup> /s
Risque de dépassement de la valeur de 1 g/L au seuil de Terrin non nul	620 m <sup>3</sup> /s
Risque de dépassement de la valeur de 1 g/L supérieure à 50% au seuil de Terrin (pré-alerte)	550 m <sup>3</sup> /s
Risque de dépassement de la valeur de 1 g/L supérieure à 85% au seuil de Terrin (pré-alerte)	450 m <sup>3</sup> /s

#### PROBLEMES POSES PAR LA REMONTEE DU COIN SALE

Les usages pouvant être mis en difficulté par une remontée du coin salé sont les suivants :





- l'alimentation en eau potable de la commune des Saintes-Maries-de-la-Mer. En cas de remontée trop importante du coin salé dans le petit Rhône, ce prélèvement peut être concerné par des dépassements des normes de salinité définies pour l'alimentation en eau potable. L'ensemble de l'année peut être considérée comme une période sensible à une remontée du coin salé, néanmoins, au regard de l'augmentation de population que connaît la commune en période estivale sous l'effet de l'afflux touristique, il est certain qu'une remontée du coin salé jusqu'à son point de prélèvement à cette période serait particulièrement critique.
- l'alimentation en eau des prélèvements agricoles du delta de Camargue, notamment les prélèvements pour l'alimentation de surfaces rizicoles. Les périodes sensibles pour cette culture sont les périodes du mois de mai puis du 15 juillet au 15 août (stades de germination / levée, et de floraison). Des épisodes de salinité à ces périodes critiques ont notamment été enregistrés en mai 2011 et durant l'été 2022. La mise en parallèle des difficultés rencontrées par les riziculteurs et les débits mesurés à Beaucaire semble montrer que les problèmes de salinité apparaissent lorsque les débits à Beaucaire sont de l'ordre de 550 m<sup>3</sup>/s ou inférieurs.

## 3.2 RISQUE DE REMONTEE DU COIN SALE DANS LE LIT DU FLEUVE

La probabilité que les débits du Rhône atteignent ces différentes gammes de débit a été calculée pour l'hydrologie de référence et les dix projections climatiques étudiées.

Les résultats obtenus sont synthétisés dans le tableau suivant qui présente la proportion de jours (en %) durant lesquels la probabilité de remontée du coin salé jusqu'au seuil de terrain (station de pré-alerte) est supérieure à 85% (débits à Beaucaire sur les 5 jours précédents inférieurs à 450 m<sup>3</sup>/s).

En % des jours sur 30 années de chronique	Année	Mai + 15juil au 15 août
Référence	0,4% du temps soit en moyenne 1 à 2 j/an	< 0,1% du temps soit en moyenne moins de 1 j/an
Projection médiane [min;max]	2% [0,3% ; 6%] 7 j/an [1 j/an; 22 j/an]	1% [0,0% ; 10%] 0,5 j/an [0 j/an; 6 j/an]

L'attention est attirée sur les fortes incertitudes qui entachent les mesures de débit du fleuve à Beaucaire pour les faibles valeurs. Le niveau du Rhône est alors influencé par le niveau marin et la relation hauteur / débit n'est plus univoque au droit de la station de mesure.

Par ailleurs, comme indiqué plus haut, outre les débits, d'autres paramètres sont susceptibles d'influencer la remontée du coin salé (vent, marées, pression atmosphérique notamment). L'évolution de ces autres paramètres sous l'effet du changement climatique n'est pas prise en compte ici.

Soulignons également que les résultats ci-dessus ne prennent pas en compte les perspectives de hausse du niveau marin sous l'effet du changement climatique. Ces hausses sont susceptibles d'influencer significativement la fréquence, l'ampleur et les linéaires concernés par des épisodes de remontée du coin salé et iront dans le sens d'une aggravation des phénomènes.



## 4 HYDROBIOLOGIE

### 4.1 QUELS SONT LES LIENS ENTRE DEBITS ET HYDROBIOLOGIE SUR LE FLEUVE ?

Le lien entre processus biologiques et écologiques et valeur de débit est complexe à appréhender. En effet, les processus sont globaux, dynamiques, et **les paramètres influençant l'état des milieux et les populations aquatiques sont nombreux et, le plus souvent, leurs effets se combinent.**

Plusieurs facteurs complexifient l'établissement de liens entre débits et vie aquatique :

- Les compartiments concernés par la problématique d'une réduction des débits d'étiage sont multiples (physico-chimie, habitats disponibles, effets sur les différents peuplements aquatiques...) et le plus souvent en interaction ;
- Les processus biologiques s'expriment à des échelles spatiales différentes et recouvrent des échelles de temps allant de la journée au siècle, rendant complexe et augmentant les délais (parfois plusieurs années) de détection de signaux de modifications (altération ou restauration) des peuplements aquatiques ;
- Les résultats d'études sont souvent difficiles à généraliser tant les contextes géographiques, climatiques et hydrologiques dans lesquels les études sont menées sont spécifiques. De même, la disparité des espèces et des communautés étudiées révèle une grande variété de sensibilité aux modifications de leur milieu.

Dans le cas particulier du fleuve Rhône du fait de ses dimensions importantes, cette complexité est encore augmentée par des difficultés à bien appréhender les peuplements aquatiques du fleuve. A cela se rajoute l'existence de situations contrastées sur un même secteur, en lien avec les aménagements en place (différents types de milieux suivant que l'on se trouve au sein des retenues, des canaux usiniers ou des tronçons court-circuités).

#### LIENS ENTRE DEBITS ET HYDROBIOLOGIE SUR LES DIFFERENTS TRONÇONS DU FLEUVE

L'analyse de la bibliographie disponible souligne les points suivants :

- Les évolutions en cours et à venir pourraient avoir un impact sur les conditions de migration et de reproduction de la plupart des grands migrateurs amphihalins qui colonisent le Rhône et notamment perturber les signaux déclencheurs de la migration chez ces espèces. En particulier, dans les scénarios étudiés, il est mis en évidence une baisse des débits associée à une hausse des températures en fin d'été, ce qui pourrait impacter les conditions de dévalaison de l'alose du Rhône, ainsi que les migrations de l'anguille (montaison et dévalaison). Ces modifications pourraient de ce fait avoir un impact non négligeable sur la dynamique des populations de ces espèces pour la plupart déjà menacées.
- Les informations relatives aux liens entre hydrologie/thermie et populations de poissons concernent les **jeunes stades de développement** (plus sensibles, biais d'échantillonnage).
- **La saisonnalité est une composante essentielle à considérer pour comprendre les effets des régimes hydrologiques et thermiques.** La plupart des relations mises en évidence le sont pour les saisons de reproduction (correspondant approximativement au printemps) et/ou de croissance (période estivale). Les variables hydrologiques et thermiques ont un effet soit sur les adultes au moment de la reproduction, soit sur les produits de la reproduction aux différents stades ontogéniques (œuf, larve, alevin).



- Les relations statistiquement significatives entre variables hydroclimatiques et caractéristiques biologiques des peuplements de poissons du Rhône, **mettent le plus souvent en évidence l'impact positif des faibles débits et des fortes températures à la fois sur la richesse spécifique et les abondances des peuplements piscicoles**. Ces conditions favorisent notamment les jeunes stades (meilleure croissance, moindre risque de destruction des œufs et de dérive des jeunes individus). Ce résultat, s'il peut apparaître étonnant de prime abord, pourrait s'expliquer par :
  - Des peuplements en place largement modifiés par rapport à ce qu'ils étaient avant les modifications subies par le fleuve,
  - La prédominance de l'effet des phénomènes hydrologiques les plus forts (crues) sur le fonctionnement de ces écosystèmes,
  - Le maintien des niveaux d'eau (contrôlés par les barrages aval sur la majeure partie du linéaire), limitant l'impact de la réduction des débits sur les habitats aquatiques (notamment en termes de surface).

**En conclusion, on retiendra que sur plus de 80% du linéaire étudié<sup>4</sup> les niveaux d'eau sont contrôlés par les aménagements, ce qui fait que l'hydrologie n'a a priori que peu d'influence sur les habitats et peuplements en place. Sur les autres secteurs, l'hydrologie est l'un des principaux facteurs moteurs dans la dynamique des processus biologiques et écologiques mais il n'a pas été possible, pour les raisons évoquées précédemment, de quantifier de façon précise le lien entre processus biologiques et valeurs de débit minimum ni de définir de seuil critique ; aucune des études consultées ne donne ce type d'information. Un développement de connaissance visant à appréhender ces processus avec des approches globales est encore nécessaire (il est souvent difficile d'isoler l'influence d'un seul paramètre au sein de processus qui sont multifactoriels), afin de mieux déterminer notamment les conséquences de baisses de débits combinées à des élévations de température sur les écosystèmes aquatiques du Rhône.**

## 4.2 RISQUES DE SOUS PASSEMENT DES DEBITS RESERVES

La question de l'impact des évolutions de débits sur la possibilité de maintenir les débits réservés définis en différents points du fleuve a été soulevée dans le cadre de l'étude.

Pour traiter cette question, on s'est intéressé à l'évolution, sous l'effet du changement climatique, du ratio entre débit réservé et débit total circulant dans le fleuve. Pour chacun des jours des 30 années de chacune des chroniques étudiées le ratio suivant est calculé :

$$R = \text{Q réservé} / [\text{Q naturel au niveau de l'ouvrage} + \text{influences de référence}] \text{ lissé sur 10 jours glissants}$$

On représente ainsi la proximité entre les valeurs de débit réservé et les débits du fleuve soumis aux influences représentatives de la situation actuelle. Plus le ratio R est élevé plus les débits réservés sont proches du débit total du fleuve. Si  $R > 100\%$  les débits du fleuve ne permettent plus de garantir le débit réservé.

Les analyses menées montrent que deux points peuvent être concernés par des risques de sous-passement des débits réservés en conditions de changement climatique :

- Le tronçon du Rhône court-circuité en aval du barrage de Champagneux.  
Les situations où le débit du Rhône est proche du débit réservé ( $Q_r > 90\%$  du débit total du Rhône) représentent moins de 1% des jours pour la projection climatique la plus pessimiste parmi celles étudiées (en climat actuel (hydrologie de référence), les débits réservés restent inférieurs à 90% des débits du fleuve tout au long de la chronique).

<sup>4</sup> Pour rappel, l'analyse du lien entre débit et hydrobiologie n'a pas concerné les Vieux Rhône (ou Rhône court-circuités) considérant que le débit ne devrait pas y être modifié (débit réservé)



- L'aval du barrage de Sauveterre.

Soulignons que le débit indiqué au niveau de Sauveterre est 6 fois supérieur au débit réservé au sens de l'article L214-18 du code de l'environnement. Ce débit, défini en 1970 dans le cahier des charges spécial de l'aménagement, vise à conserver l'aspect du fleuve au niveau du site historique d'Avignon.

La Carte 2 synthétise les résultats obtenus.



Carte 2 : Risque de sous passage des débits réservés dans les vieux Rhône





## 5 PRESERVATION DE LA QUALITE DE L'EAU DU FLEUVE

La question de l'impact du changement climatique sur la qualité de l'eau a été évaluée pour les eaux superficielles et les eaux souterraines. Les analyses menées ont visé à répondre aux deux questions qui structurent ce chapitre.

### 5.1 LA QUALITE DE L'EAU DU FLEUVE DIMINUE-T-ELLE LORSQUE LES DEBITS BAISSENT ?

Les données de paramètres qualité ont été mises en parallèle des données de débits correspondant aux dates d'échantillonnage, afin de mettre en évidence d'éventuelles corrélations entre bas débit et dégradation de la qualité de l'eau. Plusieurs types de paramètres ont été considérés<sup>5</sup> :

- Les macro-polluants (nitrates, ammonium, orthophosphates),
- Plusieurs paramètres complémentaires : matières en suspension, et plusieurs composés classés parmi les micropolluants : carbamazépine, acide aminométhylphosphorique (AMPA), Benzo(b)fluoranthène (famille des HAP), Acide perfluoro-n-hexanoïque.

Au vu des analyses réalisées, il ressort que **le risque de dégradation de la qualité de l'eau du Rhône vis-à-vis des normes actuelles en raison d'une évolution de son hydrologie sous l'effet du changement climatique apparaît limité. En effet :**

- **Dans la majorité des cas, on ne détecte pas de lien statistiquement significatif entre réduction des débits et concentration en polluants,**
- **Quand des liens significatifs ont été mis en évidence (nitrates et ammonium sur certaines stations, AMPA), l'impact d'une baisse de débit n'a qu'un poids très limité sur l'évolution du paramètre qualité concerné.**

Il convient toutefois de rester prudent quant à l'interprétation des résultats obtenus sur le lien entre débit et qualité des eaux du Rhône :

- Des modèles beaucoup plus précis pourraient probablement être élaborés ;
- Les valeurs de débits qui nous intéressent ici (étiage) sont en marge du jeu de données disponible, voire en dehors pour les modélisations futures de l'hydrologie. **Le nombre de valeurs représentatives de ces conditions de débit est de ce fait extrêmement limité et les interprétations se font donc sur des extrapolations fournies par les modèles.**

La question de l'évolution de la thermie du fleuve et des liens entre hydrologie et thermie n'est pas abordée dans cette étude. Néanmoins, compte tenu des températures de l'eau actuellement mesurées et des perspectives d'évolution à la hausse de ce paramètre, la température de l'eau du fleuve pourrait dépasser plus souvent et sur des périodes plus longues le seuil de 25 °C. Cette valeur correspond à la valeur limite, dans le Code de la santé publique, pour le paramètre température, concernant les eaux brutes destinées à la consommation humaine. Par ailleurs, une augmentation de température des eaux superficielles, plus importantes que celle enregistrées par le passé, qui pourraient conduire à des développements d'algues phytoplanctoniques ou cyanobactéries.

<sup>5</sup> Les données utilisées sont celles mises à disposition par l'Agence de l'Eau RM & C et récupérables sur le site Naiades (<https://naiades.eaufrance.fr>).



## 5.2 DOIT-ON CRAINDRE UNE BAISSSE DE LA QUALITE DES EAUX POMPEES EN NAPPE ALLUVIALE DU RHONE ?

Deux approches ont été proposées pour identifier des phénomènes susceptibles de conduire à cette baisse de qualité des eaux pompées en nappe alluviale du Rhône sous l'effet d'une réduction des débits du fleuve :

- L'identification des champs captants fortement influencés par les eaux du Rhône (principalement fonction des volumes pompés et de la proximité aux berges du fleuve) et l'évaluation du risque pour ces champs captant d'une augmentation des teneurs en substances indésirables dans les eaux prélevées, en lien avec une augmentation des concentrations de ces substances dans les eaux du fleuve, par baisse de la capacité de dilution.
- L'évaluation des risques de modification des conditions d'échanges entre les eaux qui traversent le réservoir et la matrice rocheuse, entraînant une dégradation de la qualité des eaux pompées. On a pour cela analysé l'évolution des teneurs en fer et en manganèse durant les périodes de faible débit du fleuve. L'hypothèse était que les conditions d'oxygénation des eaux du Rhône, ainsi que leurs potentiels REDOX, soient suffisamment perturbées durant ces périodes pour que les champs captants en proximité du fleuve présentent des anomalies répétées, significatives, en fer et/ou manganèse.

Concernant le premier point : Les données consultées montrent l'absence d'augmentation significative des polluants dans les eaux du fleuve en période de faible débit, excepté pour l'AMPA (voir paragraphe 5.1). Concernant cette molécule, notons cependant qu'elle est aujourd'hui absente dans les analyses des qualitomètres représentatifs de la qualité des eaux souterraines pour les trois grands champs captants soumis à forte dépendance des eaux du Rhône (champs captants de Crépieu Charmy, Jouve et Comps), et que les teneurs mesurées sur les eaux de surfaces sont actuellement très en deçà des limites maximales admissibles (Normes de Qualité Environnementales). Il y aurait toutefois intérêt à renforcer le suivi de cette molécule en période d'étiage dans les eaux superficielles comme dans les eaux souterraines.

Concernant le second point : les données consultées indiquent l'absence de corrélation ou de tendance entre les débits du Rhône et les teneurs en fer/manganèse. Sur la base des approches proposées, le débit du Rhône ne semble donc pas être un facteur explicatif des teneurs en fer ou en manganèse.

Notons qu'il est possible et probable que d'autres facteurs que le débit du fleuve puissent 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. Comme évoqué plus haut, on peut par exemple penser à des augmentations de température des eaux superficielles, plus importantes que celle enregistrées par le passé, qui pourraient conduire à des blooms algaux.



## 6 CONNEXION DES FORETS ALLUVIALES ET DES ANNEXES DU FLEUVE

### 6.1 QUELS SONT LES LIENS ENTRE FORETS ALLUVIALES ET HYDROLOGIE DU FLEUVE ?

Les forêts potentiellement sensibles à une évolution de l'hydrologie du fleuve pour leur alimentation en eau ont été identifiées en croisant :

- l'occupation du sol,
- les secteurs sur lesquels les débits du fleuve ont un impact sur les niveaux de la nappe alluviale. Il s'agit des secteurs au niveau desquels les niveaux d'eau ne sont pas contrôlés par les aménagements hydrauliques en place sur le fleuve,
- leur distance au cours d'eau (la bibliographie disponible indique que la corrélation entre variations de la ligne d'eau du fleuve et variations du niveau piézométrique devient faible au-delà de 500 m des berges du Rhône).

Ce croisement met en évidence que **les forêts potentiellement dépendantes des débits du fleuve représentent des secteurs géographiquement limités. De plus, le risque de perte de connexion entre nappe et forêts alluviales sous l'effet d'une baisse des débits du fleuve est faible** car :

- Des baisses de débit se traduiraient par de faibles modifications des niveaux de nappe (au maximum 10 - 20 cm). Ces variations restent inférieures aux variations de niveaux induites par le fonctionnement des ouvrages hydroélectriques.
- Si des déconnexions apparaissent en période de crise, elles resteront temporaires, quand ce sont les déconnexions permanentes qui sont préjudiciables au bon état écologique des forêts alluviales.

En revanche, indépendamment du changement climatique, les forêts alluviales pourraient souffrir de rabattements locaux des nappes qui les alimentent en cas de **concentration de forages trop importante, associée à des volumes prélevés localement élevés au regard des caractéristiques hydrodynamiques de la nappe**. Ce cas de figure est par exemple rencontré au niveau de la nappe à Péage de Roussillon.





## 6.2 QUELS SONT LES LIENS ENTRE DEBITS DU FLEUVE ET CONNEXION DES ANNEXES ALLUVIALES ?

Trois secteurs présentent des annexes alluviales remarquables.

- Le secteur situé à l'aval de l'aménagement hydroélectrique de Brégnier-Cordon :

Ce secteur présente plusieurs annexes fluviales qui ont fait l'objet de restaurations (2005-2006) dont les effets sont suivis dans le cadre du programme de restauration hydraulique et écologique du Rhône (RHONECO). Il est identifié par les experts comme présentant un intérêt écologique majeur.

Il n'existe pas à l'heure actuelle de consensus sur l'existence d'un lien entre la connexion de ces annexes et les débits du fleuve.

Les équipes de recherche travaillant sur ce secteur indiquent que le maintien d'un débit de l'ordre de 300-350 m<sup>3</sup>/s en aval du Pont d'Evieu aux périodes critiques (de mars à fin juillet-début août) semble nécessaire pour maintenir une bonne connectivité des annexes fluviales et leur fréquentation notamment par les poissons.

De son côté, la CNR indique, sur la base des abaques hydrauliques de l'ouvrage aval (barrage de Villebois), que, pour ces gammes de débit, le niveau du Rhône est dépendant des côtes maintenues par le barrage. La gestion des côtes au niveau de ce barrage est donc théoriquement le principal facteur conditionnant les possibilités de connexion des annexes alluviales sur ce secteur (et non pas le débit du fleuve).

Dans l'attente d'éclaircissements sur ce point, un débit minimum de 300-350 m<sup>3</sup>/s en aval du Pont d'Evieu au cours des périodes de fraie et de développement des jeunes stades des différentes espèces de poissons (de mars à fin juillet -début août) est retenu pour évaluer l'impact potentiel du changement climatique sur la connectivité des annexes alluviales.

- Le secteur aval à l'aménagement de Sault Brénaz :

Ce secteur est positionné sur une masse d'eau (FRDR2004) dont l'état est qualifié de bon par le SDAGE. L'intérêt écologique de ce secteur est cependant moindre que celui de l'aval de Brégnier Cordon et les milieux y sont relativement pauvres (source : entretien CNRS, données EDF en lien avec le suivi environnemental du CNPE de Bugey). Les écoulements sur ce secteur sont globalement contraints du fait de l'encaissement du lit du Rhône dans un chenal unique, et ces caractéristiques (pente importante, chenal unique) rendent les habitats particulièrement sensibles aux éclusées de Génissiat qui se répercutent jusqu'ici. Il n'existe pas vraiment d'annexe alluviale sur ce secteur, conséquence d'un tracé en plan relativement rectiligne et de l'encaissement du lit (du fait de l'incision du Rhône), mais on relève plusieurs bras secondaires associés à la présence d'îles végétalisées. En l'absence d'étude relative aux conditions de mise en eau de ces bras secondaires, on retient qu'une gamme de débit de 250-300 m<sup>3</sup>/s semble nécessaire au cours de la période critique (mars à juillet) pour maintenir un écoulement suffisant au niveau de ces bras (dires d'experts). Soulignons que l'Etat a demandé à CNR d'étudier l'opportunité d'un projet de nouvel aménagement hydroélectrique sur le Rhône, entre l'Isère et l'Ain, dans le périmètre géographique des communes de Saint Romain de Jalionas et de Loyettes. S'il venait à être mis en place, ce projet pourrait modifier le fonctionnement de ce secteur, le barrage associé venant contrôler les niveaux d'eau sur tout ou partie du secteur actuellement à écoulement libre à l'aval de l'aménagement de Sault-Brénaz. La connexion des annexes sur ce secteur deviendrait ainsi indépendante des évolutions potentielles de débit. Les études de faisabilité en cours viendront préciser les impacts potentiels du projet.

- Le secteur en aval de Vallabrègues

Sur ce secteur, il subsiste quelques îles et des aménagements anciens (casiers Girardon), qui jouent probablement un rôle écologique important à l'échelle de la plaine alluviale, malgré des connexions variables, souvent limitées, et un fonctionnement écologique perturbé (faibles débits, colmatage, etc.).



Les aménagements réalisés récemment en rive gauche, n'ont pas vocation à être connectés de façon permanente au cours principal du Rhône et ne sont donc pas directement sous l'influence du débit du Rhône, si ce n'est lors des périodes de submersion/vidange, donc pour des débits relativement élevés. Des étiages plus fréquents et plus marqués dans cette zone ne devraient donc pas influencer sur l'état écologique de ce secteur dans l'état actuel de sa configuration hydraulique.

Pour deux des trois secteurs à enjeu, des gammes de débits ont pu être définies pour mettre en lien les évolutions de l'hydrologie aux conditions de connexion des annexes. Les résultats obtenus sont présentés sur la Carte 3. Il convient cependant de garder à l'esprit que ces valeurs de débits seuils restent entachées d'une incertitude importante.

Les analyses menées dans le cadre de l'étude objet du présent rapport cherchent à établir le lien entre hydrobiologie et débits du fleuve Rhône. Néanmoins, elles se limitent aux débits journaliers et n'abordent pas la question des débits à une échelle plus fine (horaire). Les seuils définis à échelle journalière dans cette étude et la criticité associée sont donc à relativiser au regard de l'impact prépondérant de ces variations de niveau infra-journaliers, en particulier au niveau des berges et des abris qui se trouvent notamment sur les secteurs à écoulement libre.



Carte 3 : Risque de remise en cause de l'alimentation des annexes alluviales

ETUDE DE L'HYDROLOGIE DU FLEUVE RHÔNE  
SOUS CHANGEMENT CLIMATIQUE

Risque de remise en cause  
de l'alimentation des annexes alluviales



**Secteur aval Sault Brenaz**

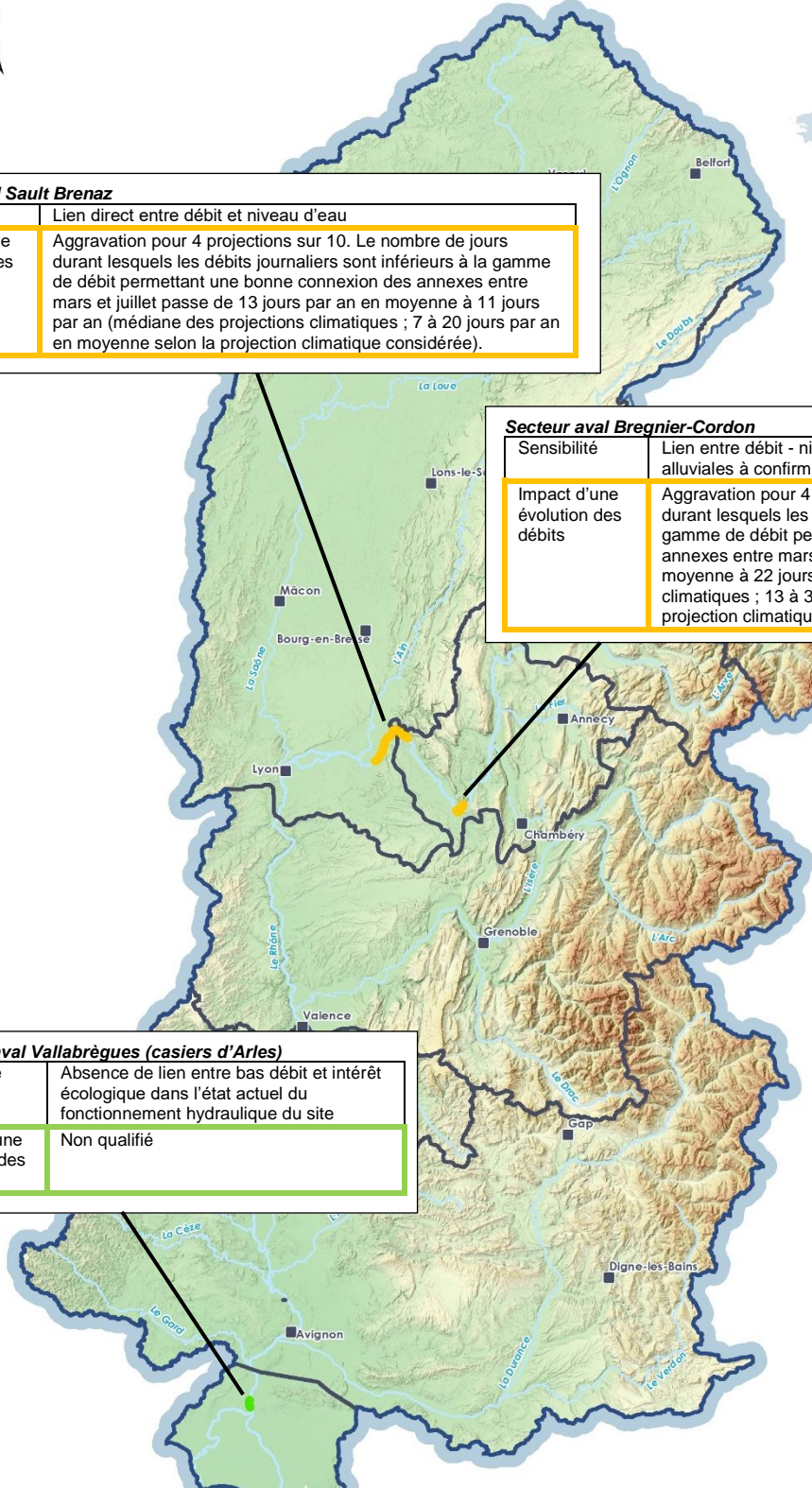
Sensibilité	Lien direct entre débit et niveau d'eau
Impact d'une évolution des débits	Aggravation pour 4 projections sur 10. Le nombre de jours durant lesquels les débits journaliers sont inférieurs à la gamme de débit permettant une bonne connexion des annexes entre mars et juillet passe de 13 jours par an en moyenne à 11 jours par an (médiane des projections climatiques ; 7 à 20 jours par an en moyenne selon la projection climatique considérée).

**Secteur aval Bregnier-Cordon**

Sensibilité	Lien entre débit - niveau d'eau et connexion de annexes alluviales à confirmer
Impact d'une évolution des débits	Aggravation pour 4 projections sur 10. Le nombre de jours durant lesquels les débits journaliers sont inférieurs à la gamme de débit permettant une bonne connexion des annexes entre mars et juillet passe de 23 jours par an en moyenne à 22 jours par an (médiane des projections climatiques ; 13 à 32 jours par an en moyenne selon la projection climatique considérée).

**Secteur aval Vallabrègues (casiers d'Arles)**

Sensibilité	Absence de lien entre bas débit et intérêt écologique dans l'état actuel du fonctionnement hydraulique du site
Impact d'une évolution des débits	Non qualifié



**Légende**

- Bassin versant du Rhône
- Limites des tronçons
- Villes principales

**Hydrographie**

- Le Rhône
- Cours d'eau secondaire

**Impacts d'une évolution des débits**

- Non qualifié
- Pas d'aggravation en comparaison de la situation actuelle quelle que soit la projection considérée
- Perte de connexion pendant +5 à +10 jours/an en moyenne pour la plus pessimiste des projections
- Perte de connexion pendant plus de +10 jours/an en moyenne pour la plus pessimiste des projections

Source : BRL, IGN, OSM, SRTM, CLC / Projection : Lambert93 / Forme



Les impacts du changement climatique évalués ici se basent sur des données journalières. La préservation des enjeux hydrobiologiques et la connexion des annexes alluviales de certains secteurs est conditionné par de nombreux autres paramètres (variations infra-journalières des débits, phénomènes de colmatage, évolution de la géométrie du fleuve)





## 7 DISPONIBILITE DE L'EAU POUR LES PRELEVEMENTS

### 7.1 EAUX SOUTERRAINES : Y A-T-IL UN ENJEU, POUR LA PRODUCTION D'EAU POTABLE A PARTIR DE LA NAPPE ALLUVIALE, LIE A L'EVOLUTION DU DEBIT ?

Dans ce chapitre, nous nous intéressons aux conséquences des baisses potentielles du débit du fleuve Rhône à l'horizon 2055 sur l'enjeu majeur que représente l'alimentation en eau potable dans sa vallée, qui est majoritairement assurée par des prélèvements en nappe alluviale.

Sur plus de 80% du linéaire du fleuve, les aménagements en place sur le fleuve maintiennent la ligne d'eau, quels que soient les débits du Rhône. Les prélèvements souterrains situés à proximité de ces secteurs ne sont donc pas sensibles aux effets d'une modification de l'hydrologie du fleuve. Ces prélèvements, s'ils restent à proximité du fleuve (bande de l'ordre de 500 m de part et d'autre du Rhône) ne sont pas plus sensibles à des modifications de l'hydrologie des apports latéraux (affluents ou nappes connexes) toujours du fait du contrôle hydraulique exercé par l'ouvrage situé à l'aval.

A l'inverse, sur les tronçons pour lesquels la ligne d'eau n'est pas « tenue » par des aménagements, la baisse des débits se traduit logiquement par une diminution de la ligne d'eau. Cette diminution de hauteur d'eau peut se propager à une certaine distance (jusqu'à 500 m selon la bibliographie disponible) au sein du réservoir alluvial (baisse du niveau de la nappe alluviale).

Dans un tel cas de figure, pour appréhender d'éventuels enjeux en termes de production d'eau potable à partir d'un champ captant implanté en nappe alluviale à proximité du fleuve, plusieurs questions se posent :

- Quel est l'ordre de grandeur de baisse de la ligne d'eau au regard de la diminution des débits d'étiage en 2050 ? Est-ce que cela représente plusieurs mètres ? Plusieurs décimètres ?
- Si le champ captant devait être affecté par une baisse du niveau de nappe, est-ce que cela se traduirait par une baisse de productivité ? En termes de productivité, un paramètre clé est la hauteur mouillée de l'ouvrage de production (puits ou forage). Pour une baisse unitaire de 1 m de nappe par exemple, il est évident que la baisse de productivité sera bien plus importante et dommageable sur un ouvrage de 2 mètres de hauteur mouillée que sur un ouvrage de 20 mètres de hauteur mouillée.

L'analyse des informations disponibles ont permis de répondre à ces questions et amènent les conclusions suivantes : **au vu des informations récoltées, sur la base des prospectives de débit proposées en mission 1 de l'étude, il n'existe pas de risque d'atteindre des niveaux critiques de débit du fleuve, en termes d'impact sur la productivité des champs captants pour l'alimentation en eau potable dans la nappe alluviale du Rhône.**

Au vu des aménagements actuels, à l'étiage, le débit « naturel » du Rhône influe peu sur le niveau des nappes (phénomène de second ordre dans les gammes de débit testées) sur près de 80% du linéaire du fleuve.

Sur deux secteurs seulement, il existe une relation entre débit du fleuve et niveau de nappe :

- Le secteur à l'aval de la retenue de Sault-Brenaz (environ 20 km entre Sault-Brenaz et Loyettes).
- Le secteur à l'aval du barrage de Vallabrègues (environ 17 km entre Beaucaire et Arles ; à l'aval d'Arles, le fleuve repose sur des sédiments peu perméables).





Les données consultées montrent que l'ordre de grandeur des baisses potentielles de la ligne d'eau lors des étiages sévères (inférieur à 20 cm), liée à la baisse potentielle des débits d'étiage du Rhône sous l'effet du changement climatique, sera sans impact sur la productivité des champs captants qui exploitent la nappe alluviale, au vu de la hauteur mouillée des ouvrages de prélèvement dans ces deux secteurs (HM>10 m).

Notons toutefois que cela ne signifie pas que ces champs captants situés sur les secteurs non contrôlés par des ouvrages hydrauliques, ne connaîtront pas des problèmes de productivité liés au changement climatique. Certains d'entre eux dépendent en effet d'autres hydro-systèmes ou d'autres phénomènes de recharge, qui risquent eux d'être fortement impactés par le changement climatique. Cela peut concerner des alimentations latérales de la nappe alluviale par d'autres nappes qui vont subir une baisse tendancielle de leur niveau.

## 7.2 EAUX SUPERFICIELLES : LES PRELEVEMENTS D'AUJOURD'HUI POURRONT-ILS ENCORE ETRE SATISFAITS DEMAIN ?

La satisfaction des prélèvements (notamment pour les usages considérés comme les moins prioritaires) ne dépendra pas uniquement des débits disponibles dans le fleuve. Elle sera également influencée par les besoins des autres usages de l'eau : préservation des milieux aquatiques, production d'énergie ...

On a ainsi cherché à **identifier les tronçons du fleuve au niveau desquels le risque d'apparition de conflit d'usages est le plus élevé.**

Pour chaque tronçon, plusieurs interrogations ont été soulevées pour évaluer ce risque :

- **Quelle proportion de la ressource naturelle du fleuve est utilisée par les prélèvements et comment va-t-elle évoluer ?**

Cette interrogation a été analysée au regard de « l'empreinte », c'est-à-dire le rapport entre les influences (c'est-à-dire la somme des usages préleveurs et des influences des ouvrages de stockage ou de transferts) et les débits naturels dans le fleuve.

$$\text{Empreinte (\%)} = \frac{\text{Influences ayant un impact sur le tronçon}}{\text{Débit naturel au niveau du tronçon}}$$

Les influences utilisées dans cette formule correspondent à la somme des influences représentatives de la situation actuelle qui ont un impact sur le tronçon du fleuve que l'on considère. Cela inclut donc également les prélèvements sur les affluents du Rhône en amont du tronçon considéré.

Plus l'empreinte est élevée, plus l'impact des prélèvements sur la ressource est fort. Les niveaux d'empreinte de chaque tronçon vont varier sous l'effet des évolutions de l'hydrologie liées au changement climatique.

Compte tenu des incertitudes au pas de temps journalier sur certaines influences (voir rapport de mission 1), les calculs ont été réalisés sur des débits moyens sur 10 jours glissants. Les empreintes ont été calculées pour chacun des jours des différentes chroniques de 30 années étudiées (référence et projections climatiques).

- **Quels autres enjeux ou usages non préleveurs pourraient entrer en concurrence avec les prélèvements sur le fleuve ?**

Cette question a principalement été analysée au regard des résultats obtenus sur les différents enjeux étudiés dans le cadre de la mission 2.

Le tableau ci-dessous synthétise les résultats obtenus. **Pour l'ensemble des tronçons, on constate une augmentation des empreintes pour la majorité des projections climatiques étudiées.** Le risque d'apparition de conflits d'usage à l'échelle des différents tronçons du fleuve est gradué de vert (risque le plus faible) à rouge (risque le plus fort).



Tableau 2 : Risque d'apparition de conflits d'usage au niveau des différents tronçons sur le fleuve

TRONÇON	RISQUE D'APPARITION DE CONFLITS D'USAGE
AMONT POUNGY	Empreinte <5% sur l'ensemble des chroniques étudiées (horizon 2055), peu d'enjeux critiques sur le tronçon
POUGNY A LAGNIEU	Empreinte <5% sur l'ensemble des chroniques étudiées (horizon 2055), Concurrence avec débits réservés (limité aux années de crise).  Risque de conflit prélèvement-milieux naturels mais limités aux années de crise : à confirmer suivant les liens débit-côtes-annexes alluviales.
LAGNIEU A TERNAY	Empreinte <10% au moins 97% du temps (horizon 2055).  Concurrence possible avec le maintien d'un débit de 150 m <sup>3</sup> /s à Pont de Lagnieu afin d'assurer un fonctionnement en sûreté de Bugey, intégrant par ailleurs la satisfaction d'autres usages comme l'eau potable de la métropole lyonnaise. Il est à noter que le débit est désinfluencé et ne prend pas en compte la gestion du Léman et autres modalités de gestion hydrauliques existantes.
TERNAY A VALENCE	Empreinte <20% au moins 98% du temps à l'échelle annuelle (horizon 2055) Empreintes supérieures à 20% principalement entre mai et juin (référence) mais qui peuvent également concerner d'autres mois, notamment juillet et août pour certaines des projections climatiques.
VALENCE A VIVIERS	Empreinte <20% au moins 98% du temps à l'échelle annuelle (horizon 2055), Empreintes supérieures à 20% principalement entre mai et juin (référence) mais qui peuvent également concerner d'autres mois, notamment juillet et août pour certaines des projections climatiques.
VIVIERS A BEUCAIRE	Empreinte parfois supérieure à 30% (3% du temps pour les projections pessimistes), voire à 40% Ce sont durant les mois de mai et juin qu'on note les empreintes les plus élevées (référence et projections climatiques). On note cependant pour la majorité des projections l'apparition d'empreintes supérieures à 30% certains jours de juillet et août (horizon 2055).  Enjeu de maintien du débit réservé à Sauveterre (enjeu patrimonial et non biologique) (limité aux années de crise)
AVAL BEUCAIRE	Empreinte parfois supérieure à 30% (5% du temps à l'échelle annuelle pour les projections pessimistes), voire 40 ou même 50%  Enjeu de remontée du coin salé dans le delta du fleuve



## 8 SYNTHÈSE DE LA CRITICITÉ ET DES RISQUES

Le Tableau 3 synthétise les résultats obtenus pour les enjeux étudiés, à l'échelle des différents tronçons définis sur le fleuve. Il résume ainsi pour chaque tronçon les principales sources de risques liés au changement climatique.

Les risques sont gradués du vert (risque le plus faible) au rouge (risque le plus fort).

Plusieurs limites méritent d'être soulignées concernant ces résultats.

- **La gradation utilisée pour qualifier le niveau de risque n'a souvent pas pu être clairement reliée à un niveau de gravité effective des phénomènes.** Par exemple, le risque de baisse de production d'énergie a été gradué du vert au rouge suivant les baisses de production encourues, sans qu'il soit possible de définir à quel niveau le risque devient problématique pour la production d'énergie.

De même, concernant les risques de conflits d'usage en lien avec la satisfaction des prélèvements, les niveaux de risques définis donnent une idée des secteurs où les conflits d'usages seraient potentiellement les moins (en vert) ou les plus élevés (en rouge). Néanmoins, au vu des résultats obtenus dans l'étude, même au niveau des tronçons au niveau de risque le plus élevé, il est probable que les prélèvements actuels pourront perdurer sans que cela ne soit préjudiciable aux autres enjeux, moyennant des adaptations si nécessaire les années les plus critiques.

En conséquence, **il est possible d'identifier pour chaque tronçon quels enjeux seront touchés par les évolutions de l'hydrologie.** En revanche, il n'est pas possible de dire si les conséquences associées seront graves pour la collectivité (perte économique, écologique ...). Ainsi, **il n'est pas possible, pour un tronçon donné, de comparer le risque associé à un enjeu avec celui associé à un autre enjeu** (la gravité associée à un risque de niveau rouge sur un enjeu donné n'est pas forcément équivalente à la gravité d'un risque de niveau rouge sur un autre enjeu).

- Concernant l'évolution possible de la production électronucléaire, rappelons qu'elle est faite à équipement et contraintes réglementaires constantes alors que ces paramètres auront probablement évolués à l'horizon considéré.
- L'indicateur utilisé pour évaluer l'impact possible de l'évolution des débits sur la production hydroélectrique (le débit disponible pour la production) est imparfait. Plusieurs autres paramètres entrent en effet en compte pour évaluer l'énergie électrique générée par les centrales au fil de l'eau (hauteur de chute, rendements). Négliger ces facteurs est à l'origine d'incertitudes qui sont difficiles à quantifier. **Soulignons toutefois qu'elles pourraient être du même ordre de grandeur, voire supérieures, aux évolutions de production entraînées par les modifications de l'hydrologie sous l'effet du changement climatique.**
- Concernant les enjeux de préservation des milieux aquatiques (hydrobiologie, connexion des annexes), les débits ne sont qu'un paramètre parmi d'autres, qui conditionnent l'état des milieux et l'évolution des populations.

Par ailleurs, le maintien d'un débit journalier ne garantit en rien la préservation et le bon fonctionnement des annexes alluviales sur les tronçons à enjeux. **La variabilité à l'échelle horaire est déterminante et la préservation de l'intérêt écologique de certains des secteurs à enjeu passe avant tout par l'évitement de variations infra-journalières trop importantes des débits.** Sur ces secteurs, à l'heure actuelle, c'est davantage la variabilité des débits liée aux éclusées que les débits plancher à l'échelle journalière qui sont déterminants pour l'état des milieux.



Tableau 3 : Synthèse des principales sources de risque associées au changement climatique sur chaque tronçon

	EQUILIBRE DU RESEAU ELECTRIQUE		REMONTEE DU COIN SALE	HYDROBIOLOGIE (RISQUE DE SOUS PASSEMENT DES DEBITS RESERVES)	QUALITE DES EAUX	CONNEXION DES ANNEXES ET FORETS ALLUVIALES	DISPONIBILITE EN EAU POUR LES PRELEVEMENTS (RISQUE DE CONFLIT D'USAGE)
<b>AMONT DE POUAGNY</b>	Pas de CNPE	Débits disponibles pour la production hydroélectrique stables ou en hausse à l'échelle annuelle. Baisse de moins de 20% le mois le plus défavorable.	Non concerné par l'enjeu	Pas de RCC	Pas de liens identifiés entre faibles débits et qualité de l'eau	Absence d'annexes identifiées	Empreinte <5%, peu d'enjeux critiques sur le tronçon
<b>DE POUAGNY A LAGNIEU</b>		Débits disponibles pour la production hydroélectrique stables ou en hausse à l'échelle annuelle. Baisse de moins de 25% le mois le plus défavorable, sauf pour Champagneux (baisse de plus de 30%)		aval de Champagneux : pour certaines des projections, le QR réservé représente certains jours plus de 90% du débit disponible et pourrait très exceptionnellement être sous-passé.		Secteur à fort enjeu biologique (aval aménagement de Brégnier-Cordon). Les niveaux d'eau sont contrôlés par le barrage de Villebois pour ce secteur, les débits n'ont donc théoriquement pas d'influence directe sur les possibilités de connexion des annexes alluviales. Pour autant des équipes de recherches identifient que des débits de 300-350 m³/s semblent favoriser la mise en eau des annexes. 6 des 10 projections étudiées, concluent à une amélioration des conditions de connexion des annexes, les 4 autres concluent au contraire à une dégradation de ces conditions (atteinte plus fréquente de débits ne permettant pas une connexion des annexes). Forêt alluviale : liens débits-niveaux de nappe-forêt à approfondir par une étude dédiée pour préciser les enjeux sur le secteur aval de Brégnier-Cordon	Empreinte <5%, Concurrence avec débits réservés (limité aux années de crise). Risque de conflit prélèvement-milieux naturels mais limités aux années de crise : à confirmer suivant les liens débit-côtes-annexes alluviales.
<b>DE LAGNIEU A TERNAY</b>	CNPE Bugey (2 réacteurs en circuit ouvert). Production annuelle [-2 % ; -5%] Production août [-11% ; -26%] <b>Besoin de 150 m³/s à Pont de Lagnieu pour la sûreté et autres usages avals</b>	Débits disponibles pour la production hydroélectrique stables ou en hausse à l'échelle annuelle. Baisse inférieure ou égale à 20% le mois le plus défavorable, sauf pour Cusset (-20%).		Débits réservés restent <60% du débit mais peuvent ponctuellement dépasser 30%		Secteur aval de Sault Brenaz (intérêt écologique plus limité). Une gamme débits écologiquement souhaitables sur ce secteur a été proposée à dire d'experts et est de l'ordre de 250-300 m³/s. Il conviendrait de le préciser/confirmer par une étude dédiée. 6 des 10 projections étudiées, concluent à une amélioration des conditions de connexion des annexes, les 4 autres concluent au contraire à une dégradation de ces conditions (atteinte plus fréquente de débits ne permettant pas une connexion des annexes).	Empreinte <10% au moins 97% du temps. Concurrence possible avec le maintien de 150 m³/s à Bugey (l'usage potentiellement le plus contraint sera a priori l'hydroélectricité)
<b>DE TERNAY A VALENCE</b>	CNPE St Alban Production annuelle : [-1% ; -5%] Production août : [-9% ; -25%]	Débits disponibles pour la production hydroélectrique stables ou en hausse à l'échelle annuelle. Baisse inférieure ou égale à 20% le mois le plus défavorable, sauf pour Bourg lès Valence (-23%).		Les débits réservés des RCC présents sur ce tronçon représentent moins de 30% des débits sur l'ensemble de la chronique, quelle que soit la projection climatique		Absence d'annexes identifiées	Empreinte <20% au moins 98% du temps à l'échelle annuelle Empreintes supérieures à 20% principalement entre mai et juin (référence) qui peuvent également concerner d'autres mois, notamment juillet et août pour certaines des projections climatiques.
<b>DE VALENCE A VIVIERS</b>	CNPE Cruas (circuit fermé)	Débits disponibles pour la production hydroélectrique stables à l'échelle annuelle. Baisse inférieure ou égale à 25% le mois le plus défavorable.					Empreinte <20% au moins 98% du temps à l'échelle annuelle Empreintes supérieures à 20% principalement entre mai et juin (référence) qui peuvent également concerner d'autres mois, notamment juillet et août.
<b>DE VIVIERS A BEUCAIRE</b>	CNPE Tricastin Production annuelle : [-1 % ; -3 %] Production août : [-6% ; -22%]	Débits disponibles pour la production hydroélectrique stables à l'échelle annuelle. Baisse supérieure à 25% pour certains aménagements, voire supérieure à 35% (Avignon) durant le mois le plus défavorable		en aval de Sauveterre : pour certaines des projections, le débit réservé représente certains jours plus de 90% du débit disponible et pourrait exceptionnellement être sous-passé (pas de lien avec hydrobiologie mais avec patrimoine)			Empreinte parfois supérieure à 30% (3% du temps pour les projections pessimistes), voire 40% Ce sont durant les mois de mai et juin que les empreintes les plus élevées se trouvent (référence et projections climatiques). On note cependant pour la majorité des projections l'apparition d'empreintes supérieures à 30% certains jours de juillet et août. Enjeu de maintien du débit réservé à Sauveterre (enjeu patrimonial et non biologique) (limité aux années de crise)
<b>AVALE DE BEUCAIRE</b>	Pas d'installation de production d'énergie			Sur l'année, le nombre de jours avec P (salinité)>85% passe d'une moyenne de moins de 2 jour/an, à 7 jours par an pour la médiane des projections climatiques (min 1 jours/an : max 22 j/an) Sur la période mai et 15 juillet-15août : passage de de 0,03 j/an 0,4 j/an (min=0 ; max=6 j/an)		Lônes à hauteur d'Arles : Etat et intérêt écologique du secteur peu sensible aux variations des débits (pour les gammes de faibles débits). Les enjeux pourraient cependant augmenter en fonction des modifications morphologiques qui seront réalisées à l'avenir.	Empreinte parfois supérieure à 30% (5% du temps à l'échelle annuelle pour les projections pessimistes), voire 40 ou même 50% Enjeu de remontée du coin salé dans le delta du fleuve







**BRL**  
*Ingénierie*



[www.brl.fr/brli](http://www.brl.fr/brli)

Société anonyme au capital de 3 183 349 euros  
SIRET : 391 484 862 000 19 - RCS : NÎMES B 391 484 862  
N° de TVA intracom : FR 35 391 484 862 000 19

1105, avenue Pierre Mendès-France  
BP 94001 - 30 001 Nîmes Cedex 5  
FRANCE  
Tél. : +33 (0) 4 66 84 81 11  
Fax : +33 (0) 4 66 87 51 09  
e-mail : brli@brl.fr