



ÉTUDE DE LA GESTION QUANTITATIVE DU FLEUVE RHÔNE À L'ÉTIAGE

PRINCIPAUX RÉSULTATS

Fleuve Rhône

Novembre 2014

Ce document a été rédigé par le bureau d'études BRLi.

Il présente une synthèse détaillée de l'« Etude de la gestion quantitative du fleuve Rhône à l'étiage » portée par l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse et la DREAL délégation de bassin et réalisée, de juin 2012 à octobre 2014, par BRLi et ses deux sous-traitants Hydrofisis et Hépia.

L'étude s'est déroulée dans le cadre d'un comité de pilotage et s'est appuyée sur un groupe d'experts en hydrobiologie.

Le comité de pilotage était constitué d'institutions et d'organismes français : agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, DREAL délégation de bassin, Conseils régionaux des régions Provence-Alpes-Cote d'Azur, Languedoc-Roussillon et Rhône-Alpes, Irstea, EDF, CNR, ainsi que des représentants du Canton de Genève. Les institutions suivantes étaient représentées au sein du groupe d'experts en hydrobiologie : CNRS-Lyon 1, ARALEP, EDF DTG, EDF CIDEN, CNR, Université de Liège, Irstea (centres d'Aix en Provence et de Lyon), ONEMA, AERMC.

L'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse remercie pour leur appui l'ensemble des participants au comité de pilotage et au groupe d'experts. Un remerciement particulier est adressé aux représentants suisses, pour leur collaboration active et leur efficacité pour la transmission de données.

Des recommandations de gestion ont été dégagées en corollaire de l'étude par l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse et la DREAL délégation de bassin pour la gestion quantitative du Rhône et sont exposées dans le document « Etude de la gestion quantitative du fleuve Rhône à l'étiage - Constats et Recommandations ».

L'ensemble des documents est disponible sur :
www.eaurmc.fr/quantiterhone

SOMMAIRE

PREAMBULE	1
1. LE FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DU FLEUVE RHONE A L'ETIAGE.....	11
1.1. <i>Le Rhône, le plus puissant des fleuves métropolitains</i>	
1.2. <i>Un régime complexe avec un poids important du bassin amont pendant les basses eaux</i>	
1.3. <i>Un fleuve très aménagé, structuré par les ouvrages hydrauliques</i>	
1.4. <i>L'ensemble de ces ouvrages influencent les débits du Rhône à différentes échelles de temps</i>	
1.5. <i>Sur le Rhône aménagé, les ouvrages soutiennent la ligne d'eau sur 80 % du linéaire et les basses eaux ne correspondent donc pas forcément à de faibles hauteurs d'eau</i>	
1.6. <i>Retour sur les étiages historiques depuis 1920, une grande diversité de situations</i>	
1.7. <i>Les tensions associées aux basses eaux du Rhône</i>	
1.8. <i>Liens entre température et débit du fleuve</i>	
1.9. <i>La nappe du Rhône est sensible à une baisse du débit du fleuve sur seulement 25 % de son linéaire</i>	
1.10. <i>La propagation de biseaux salés dans les nappes de Camargue dépend très peu du débit du Rhône</i>	
1.11. <i>Les faibles débits sont un des facteurs de remontée du coin salé dans le fleuve</i>	
1.12. <i>La précision des stations de mesure des débits du Rhône à l'étiage est de l'ordre de 10%</i>	
2. LES USAGES PRELEVEURS SUR LE BASSIN DU RHONE.....	53
2.1. <i>Toute l'eau prélevée n'est pas consommée</i>	
2.2. <i>Quatre centrales nucléaires et une centrale thermique utilisent l'eau du Rhône</i>	
2.3. <i>Environ 10,5 millions d'habitants sont alimentés par l'eau du bassin du Rhône en France</i>	
2.4. <i>Environ 221 000 hectares sont irrigués à partir de l'eau du bassin du Rhône en France</i>	
2.5. <i>De nombreux industriels présents sur le bassin</i>	
2.6. <i>L'eau du bassin du Rhône permet une production hydroélectrique de 41 TWh/an environ, 60% de la production française. La gestion des grands ouvrages influence les débits du Rhône</i>	
2.7. <i>Des transferts entre sous-bassins affluents du Rhône</i>	
2.8. <i>De l'eau du bassin du Rhône est exportée vers d'autres territoires</i>	
2.9. <i>Bilan des prélèvements nets sur le bassin versant du Rhône mois par mois et tronçon par tronçon</i>	
2.10. <i>Évolution des consommations d'eau au cours des dernières années et projets à l'horizon 2030</i>	
3. QUELS SONT LES DEBITS MINIMUM A MAINTENIR DANS LE FLEUVE ?.....	79
3.1. <i>Les débits planchers pour les espèces de poissons présentes dans le chenal du Rhône</i>	
3.2. <i>Les débits planchers pour le refroidissement des centrales nucléaires nécessaires à une production minimale d'électricité</i>	
3.3. <i>Les débits planchers pour l'alimentation en eau potable</i>	
3.4. <i>Les débits minimums définis sur le fleuve</i>	
4. CHANGEMENT CLIMATIQUE ET FLEUVE RHONE.....	86
5. CAPACITE DU FLEUVE A REpondre AUX USAGES.....	89
5.1. <i>Niveau d'exploitation des eaux du fleuve par les usages preleveurs en situation actuelle</i>	
5.2. <i>Marge de manœuvre aujourd'hui et demain pour de nouveaux prélèvements</i>	

PREAMBULE

L'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse a confié à BRIngénierie, associé à Hydrofis et Hepia (sous-traitants), la réalisation de l'étude de la gestion quantitative et des débits du Rhône en période de basses eaux.

Cette étude a permis de progresser sur la connaissance de la ressource en eau du fleuve Rhône à l'étiage et sur son niveau actuel d'exploitation pour savoir jusqu'à quel point elle peut être utilisée sans compromettre l'état écologique du fleuve et satisfaire durablement ses usages.

Elle a porté sur le seul Rhône dit non court-circuité. Elle exclut le « Vieux-Rhône » correspondant aux tronçons du fleuve court-circuités par les aménagements hydroélectriques créés en France au 20^e siècle, tronçons situés généralement à l'aval immédiat de ces aménagements, et dans lesquels le débit, en dehors des crues, est limité à un débit réservé.

L'étude se focalise sur le cours principal du fleuve lui-même entre le lac Léman et la mer mais a bien été conduite à l'échelle de son bassin versant en étudiant, par exemple, la contribution des différents affluents ou en quantifiant l'influence des prélèvements en eau et des ouvrages de tout le bassin sur le débit du Rhône.

L'étude a comporté 6 phases, qui font chacune l'objet d'un rapport détaillé.

La phase 1 caractérise le territoire de l'étude et dresse un bilan des influences anthropiques passées, actuelles et futures possibles, à l'échelle du bassin versant, sur les eaux superficielles et les eaux souterraines : gestion du lac Léman, barrages, transferts hydroélectriques, prélèvements pour l'irrigation, l'eau potable, l'industrie et le refroidissement des centrales nucléaires.

La phase 2 reconstitue, au droit des 6 stations hydrométriques de référence, les débits non influencés par les prélèvements et évalue l'empreinte des influences anthropiques sur ces débits.

La phase 3 examine les conditions limites (débits et températures) à maintenir dans le fleuve pour l'alimentation en eau potable et le fonctionnement des centres nucléaires de production d'électricité.

La phase 4 s'interroge sur les conditions limites de débit à maintenir pour les poissons.

Les phases 5 et 6 font la synthèse des débits limites pouvant être définis à ce stade dans le Rhône et évaluent les effets possibles d'une augmentation des prélèvements sur les étiages du Rhône.

Le présent document expose les principaux résultats de l'étude.



eau & CONNAISSANCE

ETUDE
DE LA GESTION
QUANTITATIVE
DU FLEUVE RHÔNE
À L'ÉTIAGE

RÉSUMÉ

Le Rhône est **le fleuve le plus puissant de France**, avec, à son aval, un débit moyen de 1700 m³/s (55 milliards de m³), soit près de deux fois celui de la Loire, trois fois celui de la Seine et quatre fois celui de la Garonne. Est-il pour autant une « ressource inépuisable » ?

On peut cependant s'interroger sur l'évolution de la capacité du fleuve à satisfaire les usages dans le futur tout en garantissant le bon état des milieux aquatiques, compte tenu de l'émergence de nouveaux prélèvements sur le fleuve et sa nappe, de l'apparition de périodes de tensions lors d'étiages prononcés, des liens complexes entre débits et température de l'eau et des perspectives de modification de ses écoulements en lien avec le changement climatique.

Ces constats ont conduit l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse et la DREAL Délégation de bassin à engager une étude pour mieux encadrer la gestion quantitative du Rhône en basses-eaux et préciser si, oui ou non, il existe des marges de manœuvre pour augmenter les prélèvements sur le fleuve et sa nappe.

Elle a été réalisée par le bureau d'études BRLi et ses deux sous-traitants Hydrofis et Hépia entre juin 2012 et octobre 2014.

Elle s'est concentrée sur **le cours principal du Rhône**. Les tronçons court-circuités par l'aménagement du fleuve, dits « Vieux Rhône », n'étaient pas inclus dans le périmètre d'étude, leur gestion quantitative étant abordée par ailleurs, à travers la définition de débits réservés au droit des ouvrages à l'aval desquels ils se situent.

L'étude a apporté des éléments de connaissance sur cinq grandes questions.

Quel est le fonctionnement du fleuve à l'étiage ?

Le Rhône s'étend sur environ 800 km, de son glacier alpin à la mer Méditerranée. Il traverse la Suisse sur 169 km avant son entrée dans le lac Léman puis la France sur 556 km entre sa sortie du Lac Léman et la mer Méditerranée. Son bassin versant de 96 500 km² (6 719 km² en Suisse, 91 748 km² en France) recouvre des domaines climatiques très contrastés, entre haute montagne et plaines méditerranéennes.

On dispose sur le Rhône de chroniques de débits remarquablement longues (données depuis 1920 pour certaines stations), présentant très peu ou pas de lacune. Six stations hydrométriques sont inscrites comme points de référence dans le SDAGE : Pougny, Lagnieu, Ternay, Valence, Viviers et Beaucaire. La précision de ces stations est satisfaisante en étiage. Dans pratiquement tous les cas, on estime que l'erreur reste inférieure à 10 % sur les débits journaliers ou mensuels. Seule la station de Beaucaire présente une erreur de l'ordre de 20% pour les très bas débits (inférieurs à 500-600 m³/s).

Le contraste souligné entre les différentes zones climatiques du bassin versant se retrouve dans le régime des affluents qui connaissent des basses eaux décalées. Ce décalage atténue les étiages du Rhône lui-même.

Selon la courbe du régime moyen, **les plus basses eaux du Rhône surviennent en hiver sur ses tronçons les plus amont, en octobre entre la sortie du Léman et la confluence avec l'Ain et en août pour le tronçon situé entre cette confluence et l'embouchure.**

Le bassin amont contribue remarquablement au débit estival. Alors que sa surface ne représente que 8 % du bassin, la zone située entre la source et la confluence avec l'Arve (à l'aval de la sortie du Léman) représente par exemple, en moyenne, 40 % du débit du Rhône à Beaucaire pendant le mois d'août.

Quatorze années entre 1921 et 2011 ont été identifiées comme présentant un étiage remarquable. L'observation de ces situations historiques montre que les régimes moyens masquent des situations très diverses, avec des explications climatiques différentes. **Il n'existe pas d'étiage type du Rhône.** Seule une partie du bassin versant peut être en étiage. La durée de l'étiage peut être très variable, de quelques semaines, à plusieurs mois, comme par exemple en 1921 ou en 2011. Ils peuvent concerner toutes les saisons (par exemple hiver 1921, printemps 2011, été 1976 et automne 1989) mais surviennent plus fréquemment en automne.

Comment les barrages, les transferts et les prélèvements influencent-ils le débit du Rhône ?

Les débits du Rhône varient fortement, à différentes échelles de temps, année, mois, jour, heure. Ces variations sont le fruit d'influences climatiques, mais aussi anthropiques.

A l'échelle mensuelle. Les influences anthropiques notables à l'échelle mensuelle sont celles de la gestion du lac Léman, des grands barrages situés sur les affluents suisses et français, des transferts hydroélectriques et des prélèvements pour l'irrigation, l'eau potable, l'industrie et le refroidissement des centrales.

La variation de volume à l'échelle annuelle du **lac Léman** (de 350 à 500 Mm³) est très réduite au regard de son volume total (89 milliards de m³). **L'influence moyenne nette (différence entre le débit sortant et le débit entrant) du lac, dont la sortie est contrôlée par le barrage du Seujet, est un déstockage entre les mois de novembre et mars (apport net de 10 à 50 m³/s selon les mois) lié à un abaissement du lac d'environ 70 cm pour pouvoir absorber sans débordement l'onde de fonte printanière, un stockage pendant les premiers mois de cette onde de fonte entre avril et juillet (stockage net, assimilable à un prélèvement, de 10 à 75 m³/s selon les mois) et une influence quasiment nulle entre juillet et novembre**, la cote du lac restant alors pratiquement constante à l'échelle mensuelle. Cette influence est issue de l'application de courbes de consigne pour le niveau du lac contenues dans une convention inter-cantonale suisse datant de 1884 dont la France n'est pas signataire. Ce texte précise par ailleurs que le débit sortant du lac à tout moment doit être au minimum de 50 m³/s du 1er octobre au 30 avril et de 100 m³/s du 1er mai au 30 septembre. La France et la Suisse sont toutefois signataires d'une convention (dite d'Emosson), datant de 1963. Elle encadre la gestion en commun, par les deux Etats, d'un aménagement hydroélectrique. Cet aménagement conduit à détourner vers l'amont du lac Léman des eaux du bassin de l'Arve (environ 90 Mm³ par an), affluent du Rhône dont les eaux se jettent naturellement à l'aval du lac. La convention précise que les eaux détournées peuvent être relâchées depuis le lac sur demande de la France à la Suisse, pour être restituées au Rhône aval.

Les retenues des grands barrages (hydroélectriques ou multi-usages) **situés sur les affluents** du Rhône en Suisse et en France cumulent un volume utile de 4,4 milliards de m³ parmi lesquels environ 2,2 milliards sont stockés et déstockés chaque année. Les barrages alpins, qui représentent près de 90 % de ce volume, **stockent de l'eau lors de la fonte des neiges et la restituent pendant l'automne et l'hiver, modifiant ainsi le régime du Rhône**. Le volume net stocké, donc soustrait au débit du Rhône, par l'ensemble des ouvrages français, au mois de mai, mois de pointe pour le stockage par les barrages, représente un débit continu de 220 m³/s ; le débit moyen net déstocké par ces ouvrages, donc apporté au débit du Rhône, entre septembre et mars, oscille entre 50 et 100 m³/s en moyenne.

L'approche des usages décrite ci-après se limite à la seule partie française du Rhône, du lac Léman à la mer.

Deux transferts hydroélectriques influencent principalement le débit du Rhône. L'aménagement de Montpezat induit un apport d'environ 200 Mm³/an depuis le bassin de la Loire vers l'Ardèche, affluent du Rhône, avec des débits de l'ordre de 6 à 10 m³/s d'octobre à mars et de 2 à 3 m³/s en été. Au contraire, l'aménagement hydroélectrique de la Durance dérive actuellement vers l'étang de Berre, situé en dehors du bassin, un volume moyen de 900 Mm³ par an. Cette dérivation représente un débit exporté moyen compris entre 25 et 50 m³/s pour les mois de septembre à mai et de l'ordre de 10 m³/s pour les mois de juin, juillet et août.

221 000 ha, dont environ 7 % se trouvent en dehors du bassin, sont irrigués à partir des eaux souterraines ou superficielles du bassin du Rhône. Il s'agit pour moitié de maïs et de verger. On trouve également des surfaces en herbe (15%), du maraichage (10%), de la vigne (10%), du riz (10 %). Le prélèvement annuel associé est de 2,5 milliards de m³ bruts et de 1,2 milliards de m³ nets en moyenne, soit l'équivalent de **39 m³/s** sur une année. Le prélèvement se concentre pendant les mois d'été et est maximal en juillet avec un débit de l'ordre de 135 m³/s (année moyenne) à 155 m³/s (année quinquennale sèche). Les surfaces irriguées dans les bassins de la Durance, de l'Isère et du delta du Rhône représentent près de 60 % des surfaces totales irriguées. Le plus gros prélèvement agricole est constitué par l'ensemble des riziculteurs de Camargue. On trouve ensuite des canaux utilisant les eaux de la Durance (canal de la Crau, canal des Alpines, canal St Julien, ...) puis les deux sociétés d'aménagement régional BRL et SCP.

10,5 millions de personnes sont desservies en eau potable à partir des eaux du bassin. Cela représente un prélèvement brut de 1,1 milliard de m³ par an et un prélèvement net d'environ 535 Mm³ par an en considérant les retours, soit un débit fictif continu de **17 m³/s**. Seuls 2 % du volume brut est prélevé sur le Rhône lui-même. 16 % sont prélevés dans sa nappe. Le prélèvement connaît peu de variations à l'échelle annuelle.

Les **prélèvements industriels** représentent un prélèvement brut par an de 720 Mm³ et un prélèvement net d'environ 230 Mm³ en intégrant les retours, soit un débit fictif continu de **7 m³/s**.

4 centrales nucléaires sont refroidies par les eaux du Rhône (Bugey, Saint-Alban, Cruas et Tricastin), selon des systèmes dits ouverts ou fermés. Les premiers prélèvent de très grandes quantités d'eau mais en rejettent 99%, pratiquement au point de prélèvement. Les seconds prélèvent beaucoup moins d'eau mais en rejettent une plus faible partie. Le prélèvement annuel associé à cet usage est de 13 milliards de m³ bruts et de 142 Mm³ nets en moyenne, soit l'équivalent de **4,5 m³/s** sur une année.

A l'échelle du bassin, hors stockage/déstockage des grands barrages (dont l'effet est globalement neutre à l'échelle annuelle), les usages préleveurs représentent un **prélèvement net total annuel de 2,9 milliards de m³, soit l'équivalent d'un débit de 92 m³/s prélevé en continu sur une année**. Les eaux prélevées définitivement par les usages préleveurs actuels du bassin du Rhône représentent 5 % des écoulements moyens annuels du fleuve à son aval (7 à 9 % en année sèche).

L'empreinte globale de tous ces usages sur les débits du Rhône a été approchée à l'échelle mensuelle. Pour la calculer, on divise les prélèvements nets situés à l'amont du point de calcul par le débit qu'aurait eu le fleuve à ce point en l'absence d'usages (débits désinfluencés). Le calcul est réalisé pour les prélèvements nets « actuels » et pour les débits désinfluencés de chacune des années 1980 à 2011 afin de cerner la variation interannuelle de la ressource en eau, et donc de l'empreinte.

L'empreinte varie de l'amont vers l'aval, ainsi qu'au cours de l'année. Elle a été approchée pour les seuls usages situés sur le Rhône entre le lac Léman et la mer. **Elle est globalement de moins de 1 % sur le Haut Rhône ; de moins de 10 % à l'aval de la confluence avec l'Ain et la Saône, au droit de Ternay ; de l'ordre de 10 % en moyenne à l'aval de la confluence avec l'Isère, au droit de Valence et Viviers (elle peut alors atteindre 20 % en année sèche)**. Sur ce tronçon, elle peut être négative lorsque les barrages déstockent en automne ou en hiver (le débit du Rhône est alors plus élevé que s'il n'y avait pas les usages). A l'aval du bassin, l'empreinte reste en général inférieure à 10 % en automne et hiver (les barrages compensent alors en partie les transferts vers l'extérieur) et est de l'ordre de 10 à 20 % d'avril à août, lorsque les prélèvements liés à l'irrigation se cumulent avec le stockage des barrages et les transferts d'eau. Elle peut atteindre 30 % pour les épisodes les plus extrêmes. **En mai 2011, elle était de 33 % à Beaucaire (plus forte empreinte calculée sur la série étudiée)**.

L'empreinte des usages sur les affluents, à l'échelle globale de chacun de leur bassin, a été approchée par la même méthode. Elle est très variable d'un affluent à l'autre : empreinte moyenne inférieure à 5 % la plupart du temps pour le Fier et le Guiers, inférieure à 10 % sur la Bourbre ou la Saône (exceptionnellement 20 % pour des épisodes très secs sur cette dernière). Sur l'Ain, comme sur l'Isère, elle peut être négative (débit influencé supérieur au débit sans usage) à certains mois du fait des déstockages de barrages. En dehors de ces mois d'automne ou d'hiver, elle atteint 5 à 15 % sur l'Ain et 20 à 30 % sur l'Isère. L'affluent le plus influencé est la Durance. En l'état actuel des usages, l'empreinte moyenne annuelle sur cet affluent est de 60 %. Son débit moyen annuel désinfluencé étant de 160 m³/s (période 1980-2011), cela représente un prélèvement net moyen annuel de près de 100 m³/s. De septembre à juin, l'empreinte atteint de 40 à 80 % et 80 % en juillet et août. Ces valeurs d'empreinte élevées sur la Durance sont liées à l'influence de grands ouvrages de stockage (barrages de Serre-Ponçon et de Sainte Croix), à d'importantes surfaces irriguées, majoritairement en gravitaire, au transfert hydroélectrique vers l'étang de Berre et, dans une moindre mesure, à des prélèvements pour l'eau potable ou l'industrie.

A des échelles de temps inférieures. Les ouvrages hydroélectriques adaptent leur production à la demande en électricité. **L'adaptation se fait à l'échelle de la saison (plus de production en automne et en hiver), de la semaine (moins de production le week-end), de la journée (l'énergie hydroélectrique permet de répondre aux pics de demandes au cours de la journée)**. Les variations saisonnières sont essentiellement la conséquence de la gestion des grands ouvrages de stockage (stockage printanier ou estival, déstockage automnal et hivernal). Les variations à plus courtes échelles de temps sont liées à l'ensemble des ouvrages hydroélectriques, en particulier à l'ouvrage de contrôle du lac Léman (barrage du Seujet) et aux autres ouvrages situés au fil de l'eau sur le Rhône lui-même.

Ces variations ont une influence directe sur les débits du Rhône : les débits pendant les week-ends sont souvent inférieurs au débit du reste de la semaine ; les débits au cours d'une journée peuvent varier de plusieurs centaines de m^3/s (par exemple le débit moyen de la journée sera de $400 m^3/s$ mais avec des moments à 200 et d'autres à $500 m^3/s$) ; etc. On notera plus bas que ces variations de débit ne se traduisent pas forcément, pour près de 80% de linéaire, sur les hauteurs d'eau du fleuve du fait du contrôle de la ligne d'eau par les ouvrages hydroélectriques eux-mêmes et les barrages de dérivation dans le Rhône chenalisé qui leur sont associés.

Les autres usages conduisent aussi à des variations de débit à des échelles de temps inférieures au mois, mais les dynamiques sont souvent plus lentes que dans le cas des ouvrages hydroélectriques.

Peut-on définir des débits minimums pour les milieux aquatiques et les usages prioritaires ?

A l'échelle mensuelle

On trouve 51 espèces de poissons dans le Rhône, avec une dominance des cyprinidés. Les migrateurs amphihalins comme l'Anguille, l'Alose feinte, la Lamproie marine ou fluviatile constituent les espèces les plus emblématiques. Peut-on associer de bonnes conditions pour les poissons du Rhône à des débits ? L'étude a été l'occasion de rassembler en atelier une quinzaine d'experts hydrobiologistes. **Il a été conclu que des débits biologiques définis au pas de temps mensuel associés à un bon état n'apparaissent pas comme un indicateur pertinent pour le Rhône aménagé au regard de son fonctionnement et aucun Débit Objectif d'Etiage (DOE) n'a donc été défini à ce stade pour le Rhône.** Ceci pour deux raisons :

- sur 80 % du linéaire du Rhône non court-circuité, le débit ne constitue pas un facteur limitant car les ouvrages hydroélectrique au fil de l'eau contrôlent la ligne d'eau (même à débit nul, il y aurait de l'eau dans ces tronçons).
- sur les 20 % restant, dit « libres » (principalement le secteur de Bugey (22 km) sur le Haut Rhône et le secteur d'Arles (62 km) entre l'ouvrage le plus aval et la mer), le facteur limitant pour la biologie n'est pas la quantité d'eau globale qui s'écoule en une journée ou en un mois mais les variations importantes des débits et donc des hauteurs d'eau à l'échelle infrajournalière générées par la gestion des ouvrages hydroélectriques suisses et français.

A l'échelle journalière, trois usages prioritaires sont considérés

Les quatre centrales nucléaires du bassin doivent respecter des contraintes réglementaires d'échauffement des eaux du fleuve et de dilution de rejets polluants et doivent donc parfois adapter leur niveau de production quand les conditions de débit et/ou de température du fleuve l'exigent. Selon le futur SDAGE 2016-2021, « pour le fleuve Rhône, compte-tenu de la part importante de **production d'électricité hydraulique et nucléaire installée sur son linéaire, les exigences de sécurité civile comprennent les conditions nécessaires à la production minimale requise pour le maintien de la sécurité de l'approvisionnement énergétique du pays** ». Il a ainsi été déterminé, pour chacune des quatre centrales, un débit journalier (au droit d'une station hydrométrique de référence) visant à garantir une production minimale dans des conditions respectant les contraintes environnementales. En pratique, des **débits journaliers de temps de retour 30 ans** ont été retenus (une année sur 30, en moyenne, le débit du Rhône à la station considérée passe sous cette valeur). Les niveaux de production associés sont de 70 à 100 % du potentiel selon les centrales.

Concernant **la survie des espèces de poissons** présentes dans le fleuve, il a été estimé que les débits minimums retenus pour la production électronucléaire étaient suffisants. Aucune mortalité piscicole n'a été constatée pour ces valeurs de débit.

Les **prélèvements en eau potable** sont globalement très inférieurs aux plus petits débits connus du Rhône. L'étude a d'autre part montré, par des modélisations hydrodynamiques, que les étiages du fleuve ont un impact limité et localisé sur la productivité des nappes alluviales liées au Rhône court-circuité et que les captages d'eau potable existants dans ces nappes n'étaient pas mis en danger par des baisses de débit du fleuve. Le captage en nappe du Grand Lyon a pu connaître des problèmes d'alimentation. Mais sa situation est particulière. Le niveau de la nappe concernée dépend en effet du débit transitant dans le canal de Miribel, dont l'alimentation est contrôlée par le barrage de Jons sur le Rhône en amont de Lyon. Il est estimé qu'en dessous de $60 m^3/s$ dans ce canal le fonctionnement du captage est difficile. La question relève en pratique d'un partage local de la ressource et non du débit global du Rhône, toujours largement supérieur à $60 m^3/s$, même pour les années les plus sèches connues.

Au final, **trois débits de crise (DCR), devant protéger les usages prioritaires, ont donc été définis dans l'étude au droit de stations de référence : 130 m³/s à Lagnieu, 205 m³/s à Ternay et 320 m³/s à Viviers.** Ces débits garantissent respectivement une production minimale des centrales nucléaires de Bugey, de Saint Alban et des deux centrales de Tricastin et Cruas. Ces débits assurent par ailleurs la survie des poissons du fleuve. Le temps de retour de ces débits journaliers est de l'ordre de 30 ans.

La question du sel

Les liens entre les bas débits du Rhône et les remontées, d'une part du biseau salé (partie d'un aquifère côtier envahie par de l'eau salé), et d'autre part du coin salé (pénétration d'eau salée dans le lit du fleuve) ont été étudiés. Pour le premier point, il ressort que les étiages du Rhône n'ont pas d'impact significatif sur la dynamique du sel dans les nappes superficielles de Camargue. Pour les nappes profondes, les bas débits sont considérés comme un facteur secondaire, voire négligeable, au regard d'autres facteurs comme les prélèvements dans la nappe de Crau. Concernant le coin salé, les faibles débits constituent le facteur principal de remontée, parmi d'autres facteurs comme le vent, le niveau de la mer, les marées. Ces bas débits doivent durer suffisamment longtemps pour que la remontée s'opère. La remontée peut s'opérer jusqu'au seuil de Terrin (situé sur le Grand Rhône, environ au premier quart de son parcours jusqu'à la mer) pour des débits de la gamme 300-600 m³/s. Depuis 1980, pour environ 3 % des jours, le débit à Beaucaire se situait dans cette fourchette. Cette remontée du coin salé est principalement dommageable pour la riziculture quand elle intervient pendant les mois de mai (germination/levée) ou de juillet (floraison). Les interruptions de pompage liées aux épisodes de sel sont généralement courtes et compatibles avec la culture, sauf lors de basses eaux exceptionnelles comme 2011 pendant lesquelles environ 2 000 ha de riz ont été affectés (sur environ 20 000 ha).

Comment a évolué la demande en eau et comment pourrait-elle évoluer à court et moyen terme ?

La rétrospective conduite sur **les prélèvements montre que la tendance des dix dernières années est à la baisse.** Les débits transférés de la Durance vers l'étang de Berre sont passés d'un débit moyen de 100 m³/s sur la période 1980-1993 à un débit moyen actuel de 30 m³/s (moyenne 2007-2011), soit un gain de 70 m³/s. Cette réduction est très importante à l'échelle des volumes nets totaux prélevés dans le bassin français du Rhône (débit moyen annuel actuel total prélevé de 92 m³/s pour tous les usages préleveurs, soit une baisse de plus de 40 %) ; elle est remarquable pour les mois de mai, juin et juillet (gain net moyen pour le Rhône respectif de 90, 80 et 35 m³/s entre l'ancienne gestion et la nouvelle gestion du transfert) mais quasi nulle en août et septembre.

Les prélèvements bruts pour l'eau potable sont passés de 1,23 milliards en 2004 à 1,1 milliards en 2010. Les prélèvements industriels ont diminué en moyenne de près de 2 % depuis 1980. L'évolution des prélèvements agricoles est plus délicate à quantifier étant donné la disparité des informations historiques disponibles sur les débits prélevés. On peut toutefois indiquer à ce sujet que les surfaces irriguées avec l'eau du bassin ont diminué de 13 % entre 2010 et 2013.

On peut s'attendre globalement à une poursuite de la baisse des prélèvements industriels. Les prélèvements nets pour l'eau potable, en tendance à l'horizon 2021, étant donné la croissance démographique attendue de la population desservie, représenteraient une hausse de l'ordre de 35 Mm³ (1,1 m³/s), hausse pouvant être atténuée, voire annulée, par une poursuite des efforts sur les rendements et les consommations unitaires. La prospective globale sur l'irrigation est plus difficile. A court-moyen terme, on peut s'attendre à une poursuite de la baisse des superficies irriguées. Mais on note une stabilisation des souscriptions dans le sud du bassin et plusieurs facteurs pourraient participer à une demande plus importante (hausse de la demande agricole en lien avec la croissance démographique mondiale, demande pour produire localement, impact du changement climatique, ...).

Des projets d'économie d'eau et des projets de nouveaux prélèvements ont été identifiés. Les premiers portent pour l'essentiel sur des systèmes d'irrigation gravitaire mais également sur des réseaux d'eau potable. Il a été estimé que les économies pourraient atteindre à court – moyen terme quelques 25 Mm³ par an et que cela pourrait représenter une économie, en mois de pointe, de 2 m³/s.

Les nouveaux projets concernent le développement de réseaux d'irrigation et de réseaux desservant plusieurs usages. Les principaux projets sont le projet multi-usage Aqua Domitia (16 à 29 Mm³/an, 2,5 m³/s en pointe) extension du réseau BRL vers l'ouest, la liaison multi-usages Verdon Saint-Cassien (1 m³/s en pointe) qui vise la sécurisation et le développement de ressources en eau dans le centre et l'est du Var, des projets de développement agricoles dans le sud Drôme-nord Vaucluse (0,5 m³/s en pointe), d'autres projets agricoles qui cumulent un débit de moins de 0,5 m³/s et, à un horizon plus lointain, des projets éventuels d'alimentation du Nord-ouest nîmois et de l'agglomération d'Alès (1 à 2 m³/s).

La somme cumulée des projets d'économie d'eau, **des projets de développement à court-moyen terme et de la hausse tendancielle de la demande en eau potable conduit à une hausse totale d'environ 5 m³/s en pointe, soit 3 % du débit prélevé actuellement pendant le mois de pointe** (juillet sans considérer les stockages/déstockages des barrages).

Peut-on prélever plus d'eau sur le Rhône ?

Aucune « ligne rouge » n'a été définie à ce stade à l'échelle mensuelle pour les milieux aquatiques du Rhône non court-circuité et de ce fait aucun volume prélevable n'a été calculé formellement dans le cadre de l'étude.

Plusieurs approches ont cependant été conduites pour éclairer les décideurs. La principale approche a consisté à croiser deux scénarios d'évolution des prélèvements avec deux scénarios d'évolution de la ressource.

Concernant les usages, **le premier scénario** est une hausse liée aux évolutions court - moyen terme déjà décrites, soit une augmentation de **5 m³/s en mois de pointe** correspondant à 3 % des prélèvements actuels. Le second scénario est une hausse plus importante, très maximaliste, construite pour tester les limites du système, et ne présentant pas forcément un caractère réaliste. Elle correspond à une hausse des prélèvements d'environ **50 m³/s en pointe** (associée à une hausse de 15 % des besoins unitaires en irrigation d'un tiers des surfaces irriguées à partir des eaux du bassin et d'un million des personnes desservies en eau potable à l'extérieur du bassin).

Concernant la ressource, la première hypothèse est une stabilité des débits du Rhône, la deuxième une décroissance de ses débits sous l'influence du changement climatique.

En croisant ces hypothèses, on parvient aux conclusions suivantes. Les évolutions sont données par rapport à la situation de référence (usages actuels, ressource définie sur la chronique 1980-2011).

En climat actuel, une hausse de 3 % des usages (scénario court – moyen terme) induit une évolution relative marginale des débits, même en année sèche : baisse des débits mensuels quinquennaux secs inférieure à 1 % pour le tronçon le plus impacté (Rhône aval). Cette évolution des débits reste inférieure à 5 % pour le scénario « maximaliste de long terme ».

Dans l'hypothèse « pessimiste raisonnable » d'évolution possible de la ressource à long terme, il est supposé que les débits du Rhône désinfluencés baissent jusqu'à 30 % sous le seul effet climatique (en pratique le scénario s'appuie sur les résultats d'études sur le changement climatique et nuance les évolutions selon les mois et les tronçons). L'effet d'une hausse des usages de 5 m³/s conserve alors un effet additionnel marginal. **Le scénario de hausse des usages plus maximaliste a un effet plus notable**, mais reste du second ordre par rapport à l'effet « climat ». En intégrant baisse de la ressource et hausse maximaliste des usages, l'empreinte moyenne des usages en été **sur les tronçons les plus aval passe de 15 % en situation de référence pendant les mois les plus influencés (jusqu'à 22 % en année sèche) à 25 % (jusqu'à 38 % en année sèche)**. Le débit mensuel quinquennal sec du mois de juillet connaît une baisse de 40 %, l'évolution climatique pesant 8 à 10 fois plus que l'évolution des prélèvements dans cette évolution, sous les hypothèses retenues.

Le Rhône offre donc une marge de manœuvre certaine pour la satisfaction de nouveaux prélèvements mais sa gestion devra intégrer l'évolution possible de son hydrologie et faire l'objet d'un suivi attentif dans les prochaines décennies.



eau & CONNAISSANCE

ETUDE
DE LA GESTION
QUANTITATIVE
DU FLEUVE RHÔNE
À L'ÉTIAGE

**PRINCIPAUX
RÉSULTATS**

1. LE FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DU FLEUVE RHONE A L'ETIAGE

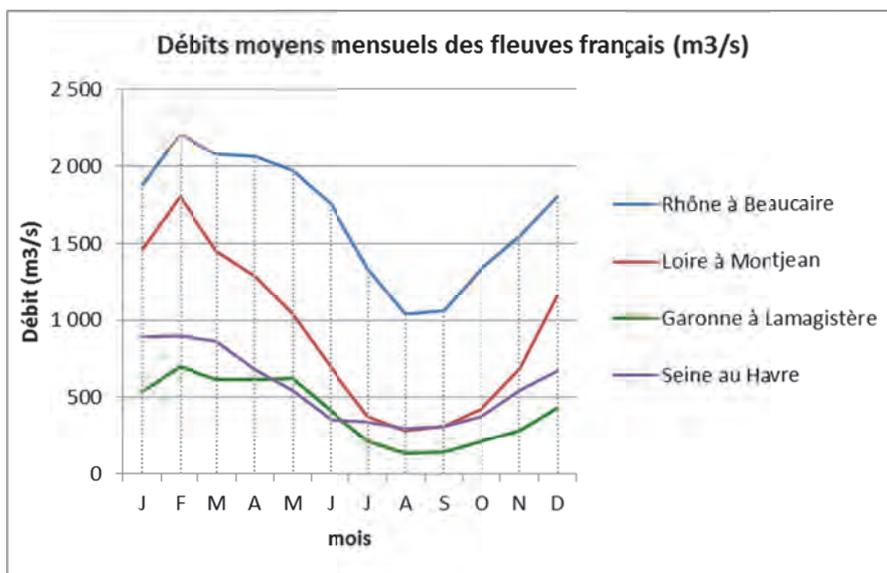
1.1. LE RHONE, LE PLUS PUISSANT DES FLEUVES METROPOLITAINS

Le Rhône a une longueur d'environ 800 km, 170 km pour sa portion suisse entre sa source et son entrée dans le lac Léman et 560 km entre sa sortie du lac Léman et la Mer Méditerranée pour sa portion française. Son bassin versant s'étend sur environ 98 400 km² : la partie suisse du bassin couvre 6 700 km², et la partie française couvre 91 700 km². Il représente 19% du territoire suisse et 16% du territoire métropolitain français.

Le tableau et le graphe ci-dessous comparent les quatre grands fleuves français à leur embouchure. Avec un **débit moyen annuel de l'ordre de 1 700 m³/s**, le Rhône est le fleuve le plus puissant du territoire métropolitain¹. Il possède, par rapport aux autres fleuves, un débit spécifique élevé. Le ratio (à la station la plus aval) débit du mois d'août / débit moyen annuel est également remarquable.

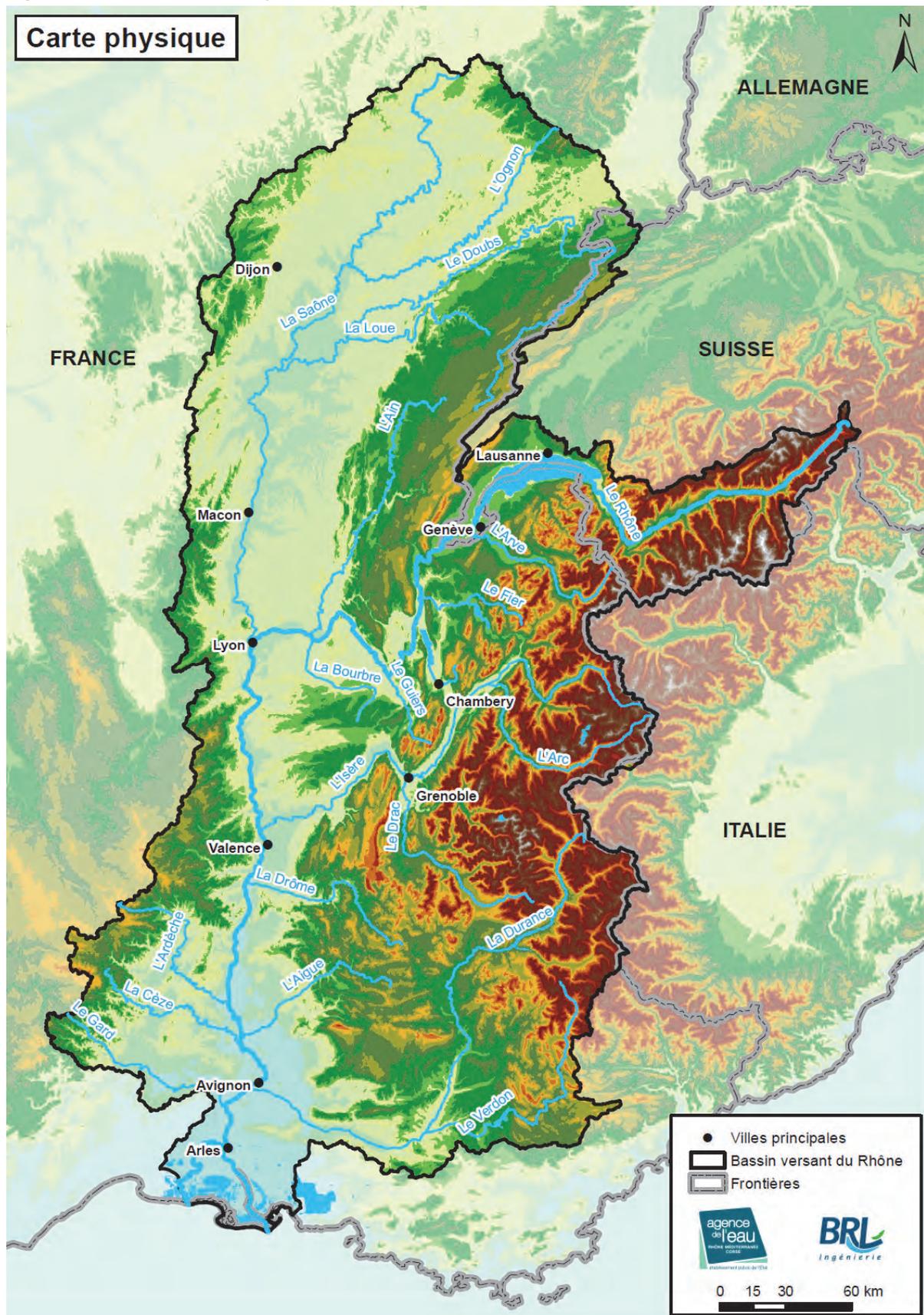
Figure 1 : Débits moyens mensuels des grands fleuves français

débits moyens en m ³ /s	Surface km ²	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel	ratio Q Août/ Q annuel	Q spécifique l/s/km ²	Période
Rhône à Beaucaire	96 016	1 884	2 216	2 080	2 063	1 975	1 752	1 339	1 039	1 060	1 338	1 552	1 803	1 673	62%	17	1962-1991
Loire à Montjean	110 188	1 463	1 803	1 448	1 287	1 043	690	375	281	312	426	684	1 161	912	31%	8	1962-1991
Garonne à Lamagistère	32 427	539	698	617	614	624	414	211	134	143	215	284	432	409	33%	13	1967-1991
Seine au Havre	79 000	890	902	861	680	543	354	338	298	314	374	544	674	563	53%	7	1989-2006



¹ Le fleuve Maroni, situé à la frontière entre la Guyane française et le Guyana a un débit moyen annuel de 1 672 m³/s à sa station Langa Tabiki (60 930 km²), débit équivalent à celui du Rhône à son embouchure, mais avec un débit spécifique bien plus élevé (27 l/s/km²).

Figure 2 : Bassin du Rhône – Relief



1.2. UN REGIME COMPLEXE AVEC UN POIDS IMPORTANT DU BASSIN AMONT PENDANT LES BASSES EAUX

Dans sa partie amont, jusqu'au lac Léman, le fleuve connaît un régime essentiellement glaciaire. Il reçoit ensuite des affluents aux régimes variés : régime glacio-nival pour l'Arve, régime pluvial pour la Saône et l'Ain, régime nival pour l'Isère, régime méditerranéen des affluents à l'aval.

La position des hautes eaux et des basses eaux est variable dans l'année, selon qu'on se situera plus ou moins à l'amont :

- pour le Rhône alpestre, les hautes eaux ont lieu de mai à août, période de fonte des neiges dans le haut bassin ; les basses eaux ont lieu principalement d'octobre à février.
- à partir de Lyon, à l'aval de la confluence avec l'Ain et la Saône, le Rhône connaît en moyenne des hautes eaux hivernales et des basses eaux estivales. Le Rhône aval est marqué par un régime pluvial.

Ces considérations caractérisent les débits moyens : on verra par la suite que, pour le Rhône, des épisodes de bas débits peuvent survenir à d'autres périodes de l'année.

Le Schéma Directeur d'Aménagement de Gestion des Eaux (SDAGE) du bassin Rhône-Méditerranée retient six stations hydrométriques de référence sur le fleuve Rhône, présentées dans le tableau suivant. Elles font référence pour le suivi du fleuve.

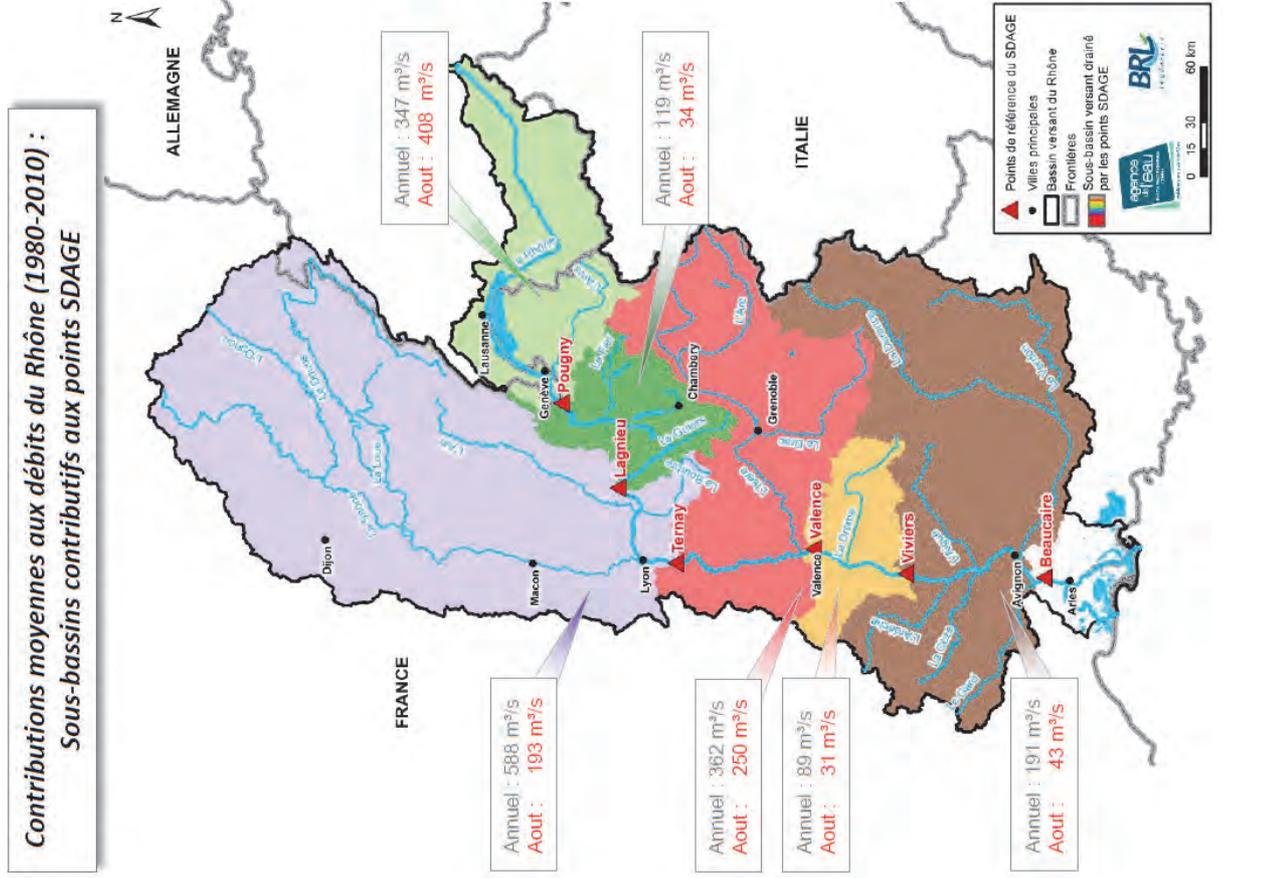
Tableau 1 : Stations de référence du fleuve Rhône

	Surface contrôlée par la station (km ²)	Surface de la zone contributive intermédiaire (km ²)	Principaux affluents de la zone contributive intermédiaire
Pougny	10 320	10 320	Rhône alpestre, Arve
Lagnieu	15 380	5 060	Fier, Guiers
Ternay	50 560	35 180	Ain, Saône
Valence	66 450	15 890	Isère
Viviers	70 900	4 450	Drôme
Beaucaire	95 590	24 690	Durance, Ardèche

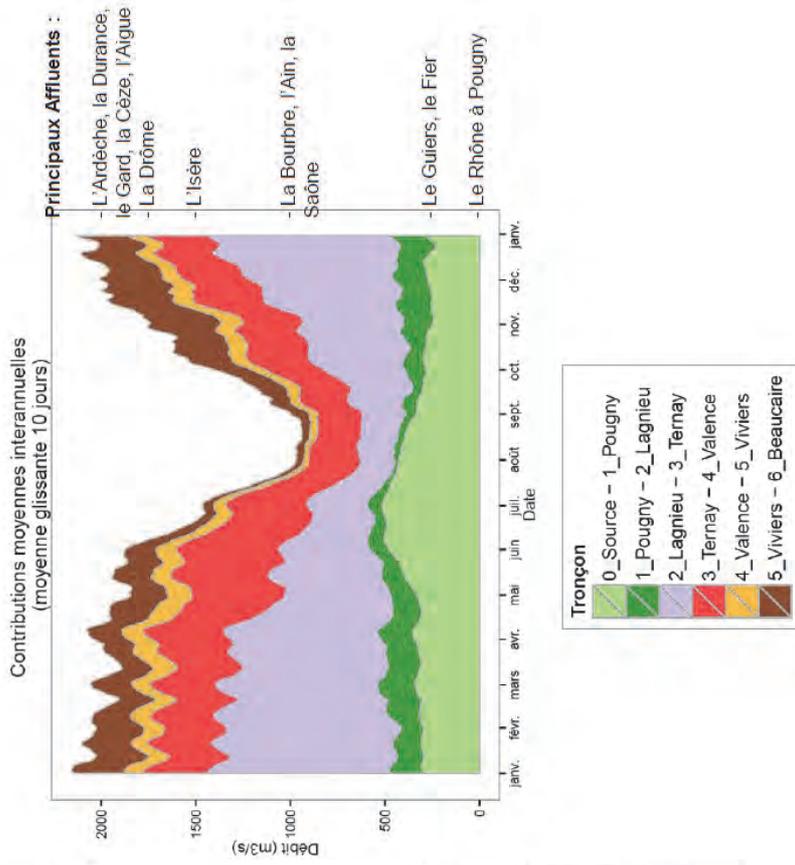
La carte suivante présente un découpage du bassin versant selon les sept grandes zones contributives limitées par ces six stations. Le graphe associé indique la contribution de chacune de ces zones au débit du fleuve à la station hydrométrique la plus aval (station de Beaucaire).

Ce graphe met en évidence une **contribution remarquable du bassin amont pendant la période des étiages**. Alors que sa surface ne représente que **8 % du bassin**, la zone située entre la source et la confluence avec l'Arve (Rhône suisse et bassin de l'Arve), représente, en moyenne, **40 % du débit du Rhône à Beaucaire pendant le mois d'août**.

Figure 3 : Zones contributives délimitées par les six stations de référence et contribution de ces zones au débit moyen du Rhône à Beaucaire



-- Contribution moyenne au module
 -- Contribution moyenne au débit moyen du mois d'Août



De nombreux indicateurs statistiques existent pour rendre compte de l'hydrologie des cours d'eau. On en présente quelques-uns dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2 : Indicateurs statistiques au droit des six stations de référence du fleuve Rhône

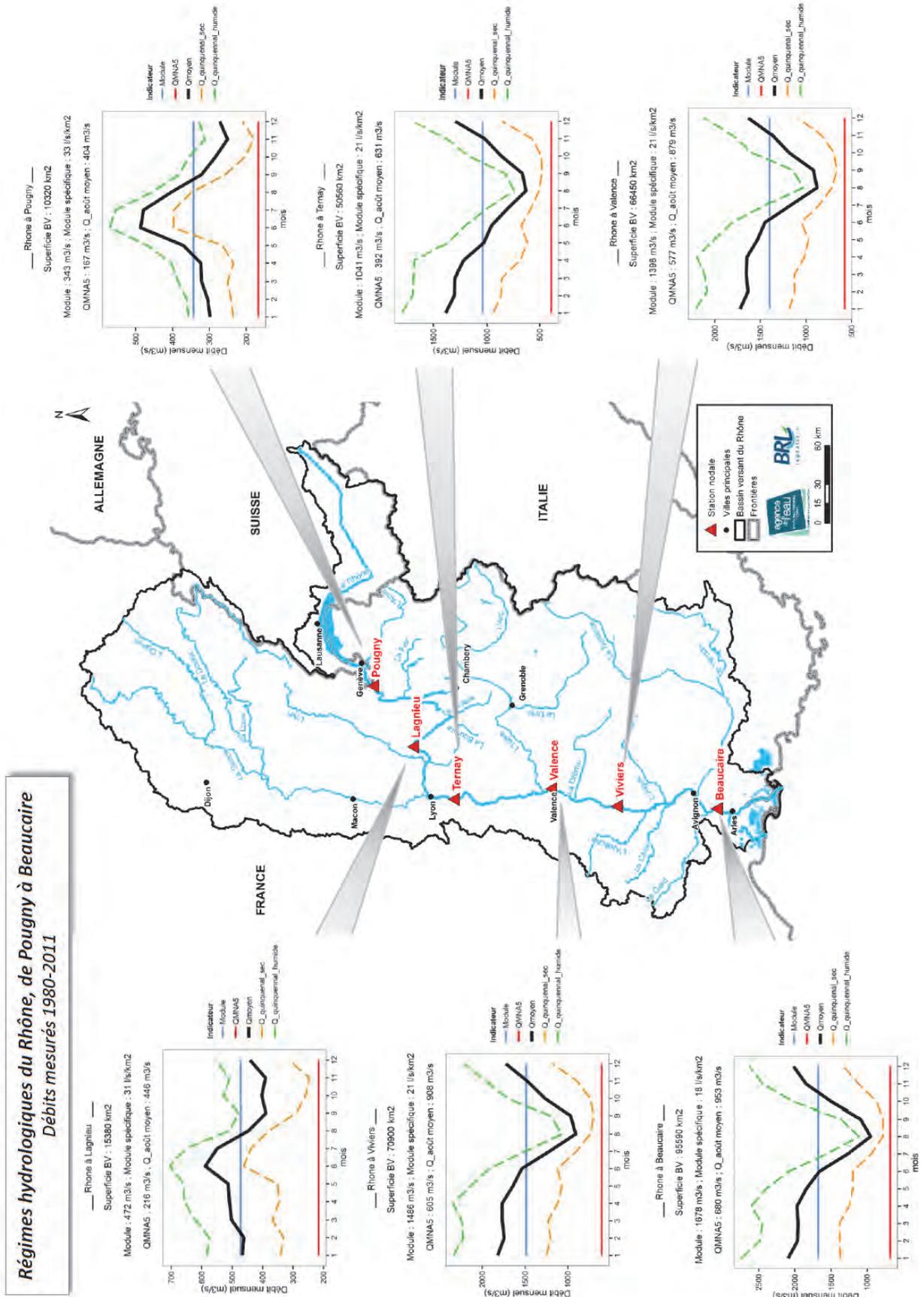
	Statistique*	Débits mensuels (m3/s)												Autres indicateurs statistiques		
		Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Débit Annuel	Mensuel/ QMNA**	Débit 10 jours VCNI0***
Pougny	Moyenne	298	304	321	323	371	487	479	404	322	284	251	272	343	204	153
	Quinquennal sec	236	241	251	234	265	398	397	349	257	204	179	210	268	167	119
Lagnieu	Moyenne	467	461	502	510	513	588	549	446	389	403	391	442	472	282	217
	Quinquennal sec	341	331	368	345	351	462	438	378	290	258	246	315	344	216	170
Ternay	Moyenne	1 394	1 309	1 306	1 221	1 031	957	801	631	665	865	1 021	1 302	1 041	509	398
	Quinquennal sec	942	866	861	684	619	676	580	507	479	484	573	857	677	392	313
Valence	Moyenne	1 724	1 634	1 655	1 647	1 532	1 449	1 166	879	918	1 185	1 366	1 632	1 398	729	578
	Quinquennal sec	1 184	1 125	1 128	1 016	972	1 049	855	716	662	694	824	1 089	943	577	465
Viviers	Moyenne	1 823	1 743	1 768	1 769	1 643	1 540	1 217	908	969	1 267	1 475	1 726	1 486	764	619
	Quinquennal sec	1 250	1 205	1 231	1 120	1 071	1 122	902	738	697	738	893	1 179	1 012	605	498
Beaucaire	Moyenne	2 094	1 960	1 954	1 970	1 840	1 661	1 270	953	1 090	1 503	1 844	2 017	1 678	843	686
	Quinquennal sec	1 371	1 381	1 385	1 252	1 197	1 197	942	783	778	871	1 118	1 327	1 133	680	553

(*) Les statistiques sont calculées sur la période 1980-2011

(**) Plus petit débit mensuel d'une année hydrologique

(***) Plus petit débit glissant sur 10 jours d'une année hydrologique

Figure 4 : Les régimes du Rhône au droit des six stations de référence



La figure 4 présente les régimes du fleuve au droit des six stations de référence. Elle montre comment on passe, de l'amont vers l'aval, d'un régime nivo-glaciaire (station de Pougny) à un régime encore fortement sous influence nivale (station de Lagnieu) puis à un régime qui intègre l'influence pluviale d'affluents comme la Saône et l'Ain (station de Ternay, Valence, Viviers et Beaucaire).

Grâce à la combinaison de régimes différents comprenant des basses eaux décalées, **le fleuve Rhône connaît des étiages peu marqués au regard d'autres fleuves.**

1.3. UN FLEUVE TRES AMENAGE, STRUCTURE PAR LES OUVRAGES HYDRAULIQUES

De nombreux ouvrages hydrauliques ont été construits sur le fleuve Rhône et sur ses affluents, et influencent de façon complexe l'hydrologie du fleuve.

Le lac Léman est régulé depuis le XIX^{ème} siècle, dans une optique d'écrêtement des crues du Rhône et en lien avec des usages secondaires de production hydroélectrique, de navigation et de tourisme. Il joue un rôle important sur l'hydrologie du Rhône en France.

À l'aval de Genève, le fleuve Rhône a été progressivement et fortement aménagé au cours du XX^{ème} siècle. **22 ouvrages hydroélectriques ont été construits le long du Rhône** de Genève à la mer.

De plus, **en Suisse et en France, de nombreux ouvrages de stockage hydroélectriques** sont présents sur les affluents du Rhône et modulent les apports saisonniers de ces cours d'eau.

Des ouvrages de transferts à vocation hydroélectrique sont également présents sur le bassin : ils sont présentés dans le chapitre consacré aux transferts.

Les cartes ci-après localisent les principaux ouvrages hydroélectriques le long du Rhône et sur son bassin versant.

Figure 5 : Ouvrages linéaires

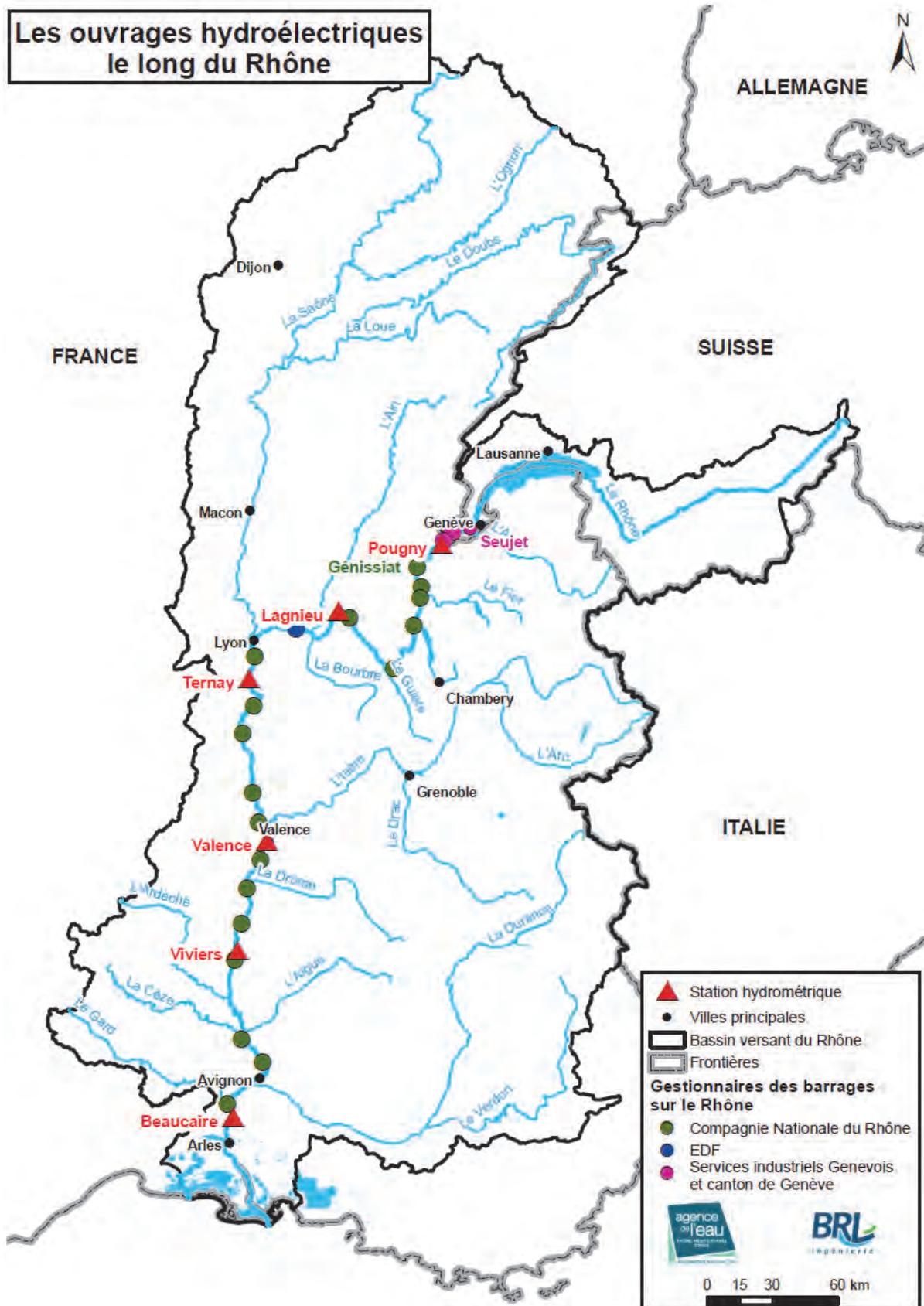
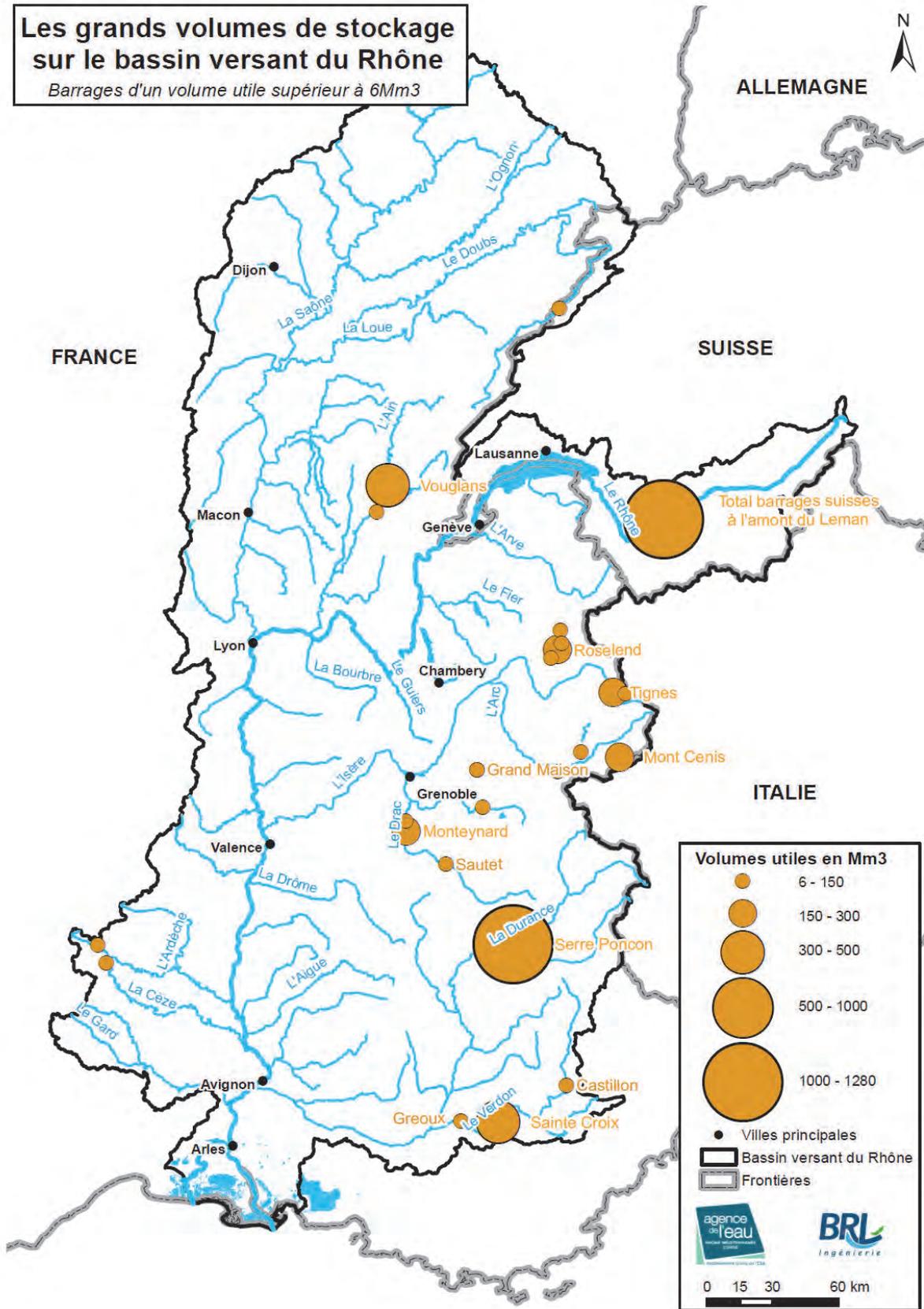


Figure 6 : Ouvrages de stockage



LE LAC LEMAN EST REGULE PAR LE BARRAGE DU SEUJET A GENEVE

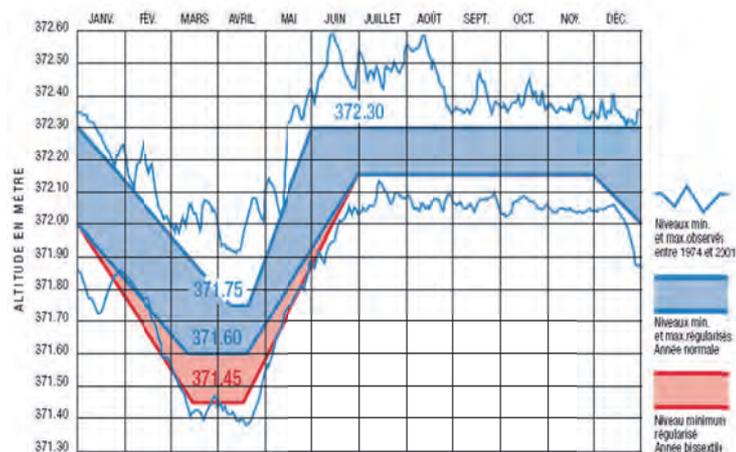
Le Léman est régularisé depuis 1884, d'abord avec la construction du Pont de Machine, puis avec la mise en service, en 1994, du barrage de Seujet situé à Genève. **L'objectif premier est de diminuer les risques de crues.** Il s'agit **d'abaisser la cote du Léman au début du printemps, afin de stocker sans dommage la crue de fonte estivale**, dont les débits dépassent souvent la capacité d'évacuation du Rhône à Genève, égale à 560 m³/s au niveau du barrage du Seujet.

Le processus de régulation du lac est encadré essentiellement par des textes suisses (dont la France n'est donc pas signataire) :

- *l'acte intercantonal de 1984.* Il concerne la correction et la régularisation de l'écoulement des eaux du lac entre les cantons de Genève, de Vaud et du Valais. Il fixe les niveaux minimum et maximum du Léman à 371,70 msm et 372,30 msm.
- *Le Règlement de 1997 sur la manœuvre de l'ouvrage de régularisation du niveau du lac Léman à Genève.* Il fixe des niveaux cibles pour chaque période de l'année afin en particulier d'abaisser le niveau du lac en hiver, pour qu'il puisse recevoir les eaux de fonte estivale sans rehaussement excessif.
- *Les modalités d'application de ce texte.* Elles fixent le domaine de régularisation des niveaux du lac ainsi que le débit minimum sortant du lac : 100 m³/s du 1^{er} mai au 30 septembre, 50 m³/s du 1^{er} octobre au 30 avril.

Ce règlement et ces modalités aboutissent à la courbe de consigne de régularisation du Léman.

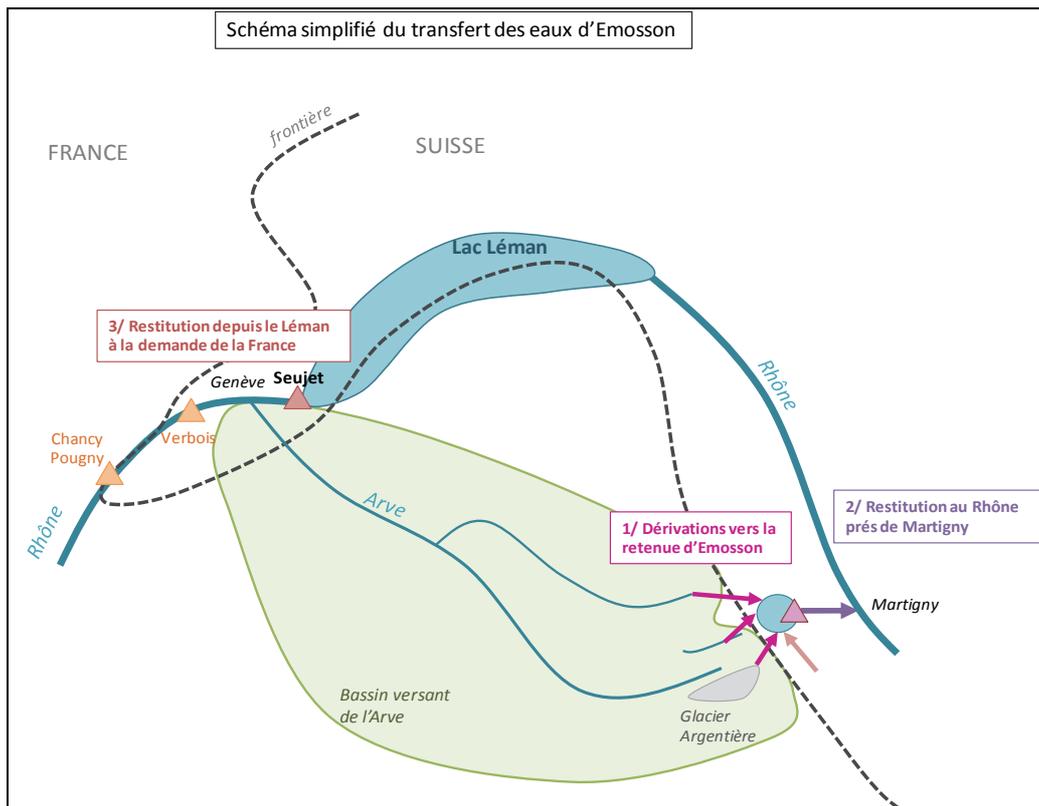
Figure 7 : Régularisation du lac Léman. Années normale et bissextile



Un accord international, **le protocole d'Emosson** permet à la France de demander des lâchers en provenance du lac, correspondant aux « eaux d'Emosson ». **Notons qu'il n'existe pas, en dehors de ce protocole portant sur un volume très limité, de convention internationale entre la France et la Suisse, pour la gestion des débits à la frontière entre les deux pays (débits sortie Suisse, entrée France).**

Concernant le protocole d'Emosson, l'explication technique est la suivante (cf. figure 8). Le barrage franco-suisse d'Emosson exploite des eaux issues du bassin de l'Arve, un affluent confluent avec le Rhône juste à l'aval du lac Léman. Ce barrage dévie des eaux de l'Arve qu'il transfère en amont du Léman, dans la partie Suisse du bassin rhodanien. Ce déficit d'écoulement vers le Rhône français est restitué à la France en sortie du lac Léman suivant le protocole d'Emosson. Les modalités pratiques d'application résultent d'un compromis entre les demandes de la France, qui souhaite accéder sans restriction à cette eau, et de la Suisse, qui souhaite préserver la régularisation du Léman. Selon l'accord, l'Etat français, et, par son intermédiaire, EDF, peut réclamer à tout moment une tranche d'eau de 5 cm du Léman, soit un volume de 29 millions de m³, dans la limite d'un volume total annuel de 87 millions de m³.

Figure 8 : Schéma simplifié du transfert des eaux d'Emosson



Le canton de Genève est garant de la bonne exécution de l'acte intercantonal et des règlements concernant la régulation du Léman. Dans la plage de variation autorisée, les Services Industriels Genevois (SIG) effectuent une **modulation horaire et journalière des débits pour assurer une production hydroélectrique**. Cette modulation journalière des débits est contrainte par plusieurs facteurs externes : les apports de l'Arve à l'aval du Léman, les débits turbinables au barrage de Verbois (barrage situé à l'aval du lac Léman), la restitution des eaux d'Emosson, etc.

En conséquence, **la régulation du Léman influence l'hydrologie du Rhône à différentes échelles de temps : horaire, journalière, hebdomadaire et mensuelle.**

LES OUVRAGES HYDROELECTRIQUES AU FIL DU RHONE MODULENT LES DEBITS HORAIRES

Sur le Rhône, à l'aval du Léman, on trouve 21 ouvrages hydroélectriques : 18 ouvrages sont gérés par la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) en France, un ouvrage est géré par les Services Industriels Genevois (barrage de Verbois), un ouvrage est géré par ces deux entreprises (barrage de Chancy-Pougny) et un aménagement est géré par EDF (barrage de Cusset).

Ces ouvrages sont généralement composés d'un ou plusieurs barrages et d'un canal d'aménagé conduisant l'eau du fleuve vers une centrale de production d'énergie hydroélectrique. Ils sont associés à un système de contre-canaux assurant le drainage et d'un système d'écluse permettant le passage de bateaux à grand gabarit, pour ceux situés en aval de Lyon.

Les capacités de stockage de ces ouvrages sont relativement faibles au regard des débits du Rhône. Ils permettent une **modulation journalière des débits** pour la plupart d'entre eux, à l'exception de l'ouvrage de Génissiat dont le volume permet une **gestion hebdomadaire** des débits.

DES OUVRAGES DE STOCKAGE SUR LES AFFLUENTS, QUI STOCKENT MAJORITAIREMENT AU PRINTEMPS ET A L'ETE UN VOLUME DE L'ORDRE DE 2.2 MILLIARDS DE M³ ET LE DESTOCKENT L'HIVER

Sur les affluents du Rhône, en France et en Suisse, se trouvent des barrages de forte capacité (au regard du cours d'eau sur lequel ils sont implantés). La majorité des ouvrages de stockage se situent :

- sur les affluents du **Rhône alpestre**, dans le canton du Valais en Suisse ;
- sur le bassin de l'**Isère** ;
- sur le bassin de la **Durance** (dont les barrages de Serre-Ponçon sur la Durance et Sainte-Croix sur le Verdon) ;
- sur le bassin de l'Ain (lac de Vouglans) et de l'Ardèche.

Les grands ouvrages de stockage sur la partie française du bassin sont gérés principalement par EDF. En Suisse, il existe plusieurs gestionnaires.

Ces barrages exercent une **influence sur les débits à l'échelle annuelle : les plus grands barrages des vallées alpines stockent de l'eau au printemps ou en été et la déstockent en hiver.**

Ces ouvrages, français et suisses, disposent d'un volume utile de stockage de l'ordre de 4,4 milliards de m³. En moyenne, ils stockent et déstockent environ 2,2 milliards de m³ chaque année. Pour mémoire, les débits du Rhône à l'aval représentent de l'ordre de 55 milliards de m³/an.

Ils influencent **également les débits sur des pas de temps plus courts (échelles hebdomadaire, journalière ou horaire).**

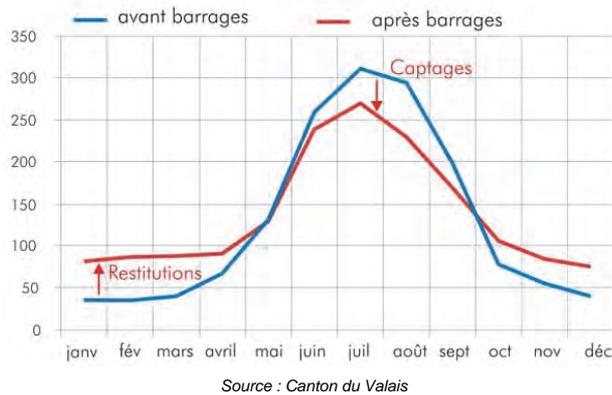
1.4. L'ENSEMBLE DE CES OUVRAGES INFLUENCENT LES DEBITS DU RHONE A DIFFERENTES ECHELLES DE TEMPS

Les nombreux ouvrages hydrauliques présentés au chapitre précédent influencent les débits du Rhône au pas de temps horaire, journalier, hebdomadaire, mensuel, saisonnier, selon leur mode de gestion et leurs capacités de stockage. Ces influences se combinent de l'amont vers l'aval du fleuve.

LES OUVRAGES A L'AMONT DU LAC LEMAN INFLUENCENT LES DEBITS DU RHONE ALPESTRE, A L'ECHELLE DES SAISONS ET DE LA JOURNEE

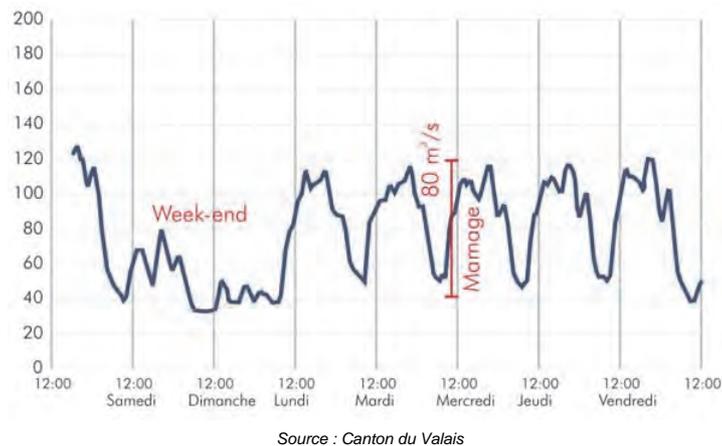
Sur la partie alpestre du bassin du Rhône, dans le Valais (Suisse), de **nombreuses retenues stockent une part des débits de fontes des cours d'eau en été.** La somme de ces stockages représente de l'ordre d'**un milliard de m³ sur l'été.** Le mois de plus fort stockage est le mois de **juillet**, pendant lequel l'équivalent de **100-120 m³/s** environ sont stockés. Ces volumes sont déstockés le reste de l'année.

Figure 9 : Débits mensuels du Rhône à Branson (Suisse, 30 km à l'amont du Léman)



La gestion des ouvrages hydroélectriques sur le bassin du Rhône alpestre suit la demande en électricité sur le réseau au cours d'une journée. En conséquence, des lâchers plus importants sont effectués à la mi-journée et le soir, provoquant des **fluctuations importantes des débits des affluents du Rhône, et donc du Rhône lui-même, à l'échelle de quelques heures**. Les variations les plus sensibles se situent à l'aval de Riddes où se trouvent les restitutions des installations de Mauvoisin et de la Grande-Dixence.

Figure 10 : Débits horaires du Rhône à Branson en hiver (Suisse, 30 km à l'amont du Léman)

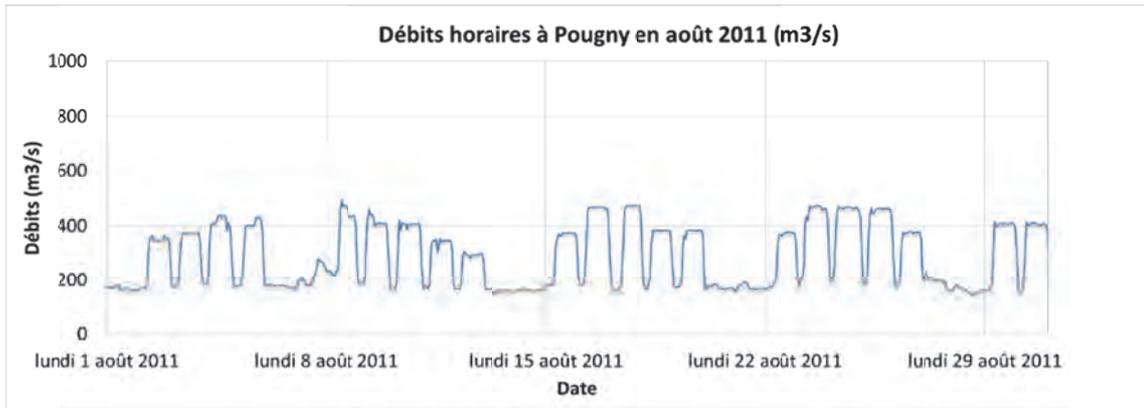


LE LEMAN MODULE LES DEBITS A DIFFERENTES ECHELLES DE TEMPS

> A l'échelle horaire

Le barrage du Seujet permet de réguler la hauteur du Léman à l'échelle de l'heure, afin d'optimiser la production hydroélectrique. En diminuant la hauteur du Lac d'1 cm en 4 heures, on augmente les débits sortants de 200 m³/s. La figure ci-après représente les débits horaires à Pougny, et met en évidence cette modulation. Les fluctuations dépendent des débits et des jours de la semaine, on rencontre fréquemment des fluctuations de l'ordre de 300 m³/s en quelques heures.

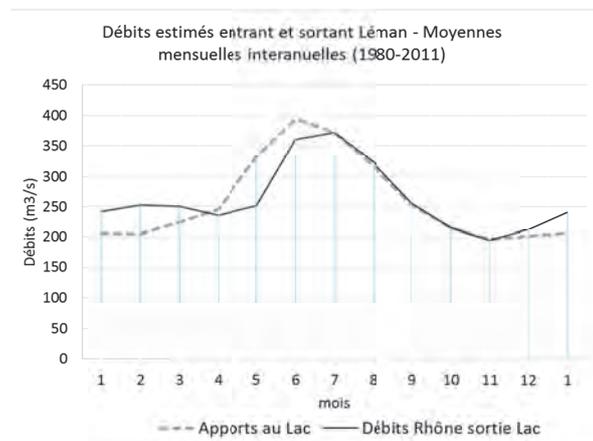
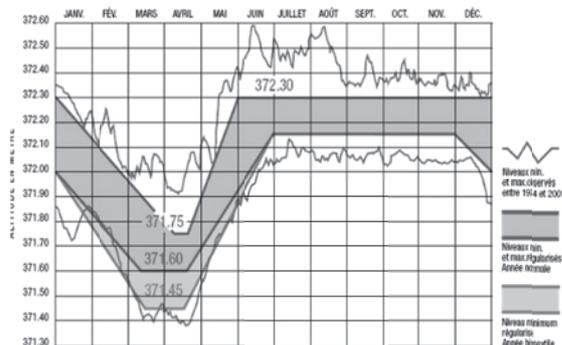
Figure 11 : Exemple de débits horaires à Pougny (août 2011)



> A l'échelle mensuelle

En application des textes présentés au chapitre précédent, à l'échelle des mois, le niveau du lac Léman est abaissé progressivement de janvier à avril, afin de préparer le stockage printanier de l'onde de fonte et d'écrêter les crues. La cote du lac est rehaussée au cours de mai-juin, et reste relativement stable de juillet à décembre. En conséquence, comparativement au régime hydrologique des apports au lac (Rhône alpestre et autres affluents), les débits sortant du Léman sont en moyenne plus haut de janvier à avril, et plus bas en mai et juin. Les débits moyens mensuels entrant et sortant du Lac de juillet à décembre sont assez proches (à l'échelle mensuelle, il y a très peu d'influence du lac pendant cette période).

Figure 12 : A/ Rappel de la consigne de la cote du Léman ; B/ Estimation des débits mensuels entrants et sortants du Léman (moyenne 1980-2011)



LE BARRAGE DE GENISSIAT PROVOQUE UNE FORTE MODULATION DES DEBITS HORAIRES DU RHONE ET EFFECTUE UN STOCKAGE A L'ECHELLE HEBDOMADAIRE

L'ouvrage de Génissiat provoque d'importantes fluctuations des débits horaires, souvent d'un ordre de grandeur de 550-600 m³/s.

L'aménagement de Génissiat est le seul aménagement sur le Rhône dont la gestion des niveaux est hebdomadaire (en lien avec sa capacité utile plus importante), le niveau de sa retenue varie avec une amplitude de 5,7 m.

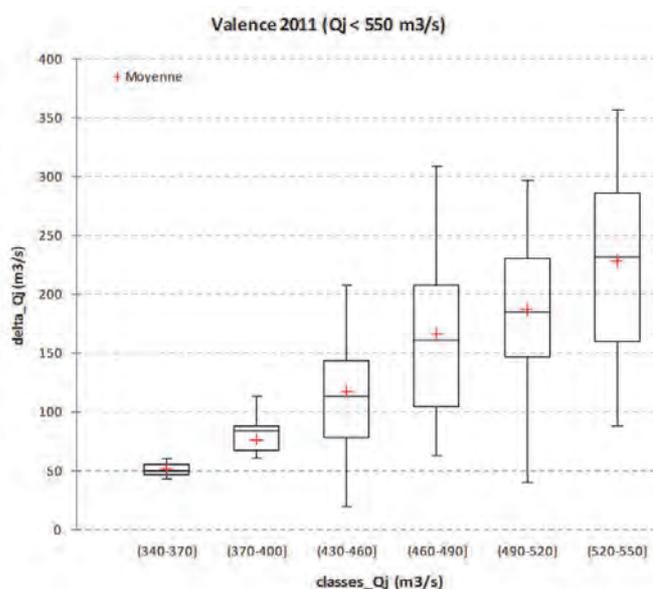
LES AUTRES OUVRAGES LE LONG DU RHONE DEMODULENT PARTIELLEMENT LE SIGNAL DE GENISSIAT, ET EFFECTUENT DES MARNAGES A L'ECHELLE DE LA JOURNEE...

Les ouvrages de la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) et l'aménagement de Cusset (EDF) disposent d'une capacité de stockage destinée à **stocker de l'eau puis à la relâcher à l'échelle de quelques heures pour faire varier leur production hydroélectrique et répondre à des pics de demande**. Ces variations de production conduisent à d'**importantes variations de débits infra-journalières du Rhône**.

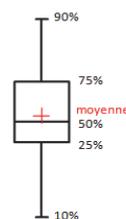
Ces variations de débits peuvent être **de l'ordre de plusieurs centaines de m³/s**.

Des données CNR sur les années 2011 et 2012 ont été analysées en détail dans le cadre de l'étude. Il ressort, sur les six stations de référence du Rhône, et pour toutes les gammes de débits journaliers, **que les variations de débits induites par les ouvrages le long du Rhône sont plus importantes lorsque les débits journaliers augmentent**, comme le montre par exemple le graphe suivant pour la station de Valence. **En deçà d'un certain débit, ces variations deviennent nulles**.

Figure 13 : Exemple de variations de débits infrajournalières



Le graphe met en lien les variations de débits observés à l'échelle d'une journée (notées « delta_Qj » en ordonnées) pour différents débits moyens journaliers regroupés en classe (abscisse). Les « boîtes à moustaches » représentent les statistiques suivantes sur les variations de débit : moyenne (croix rouge), médiane (milieu de la boîte), quantile 10 %, 25 %, 50 % 75 % et 90 %.



On note aussi de manière générale des différences marquées entre semaines et week-ends (pendant lesquels la demande électrique est moindre et les variations donc plus faibles).

Ces variations de débits sont associées à des variations de hauteur d'eau. Le lien est cependant complexe et est très différent selon qu'on se trouve ou non dans la zone d'influence hydraulique des barrages concernés. Ce point est détaillé au chapitre suivant.

La figure ci-après donne un aperçu **des variations de débit le long du Rhône à l'échelle horaire pour une semaine en exemple**.

Il montre comment la production des ouvrages est adaptée en fonction des variations de la demande en électricité à l'échelle de 24h et à l'échelle de la semaine (différence entre la période lundi-vendredi et le week-end).

Les aménagements CNR situés en aval de Génissiat (Seyssel, Chautagne, Belley, Brégnier-Cordon et Sault-Brénaz) ont un effet de démodulation des variations horaires suisses et françaises ainsi que de celles générées par les ouvrages EDF situés sur les affluents (Fier et Ain notamment).

Jusqu'à Beaucaire, on observe cependant globalement une forte modulation horaire des débits du Rhône, associée à la production hydroélectrique.

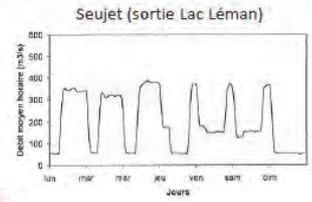
Figure 14 : Modulation et Démodulation des débits du Rhône

Les ouvrages hydroélectriques le long du Rhône

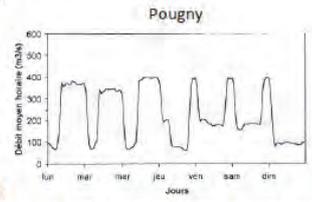


Semaine type du 20/02/2012-26/02/2012

⇒ Forte modulation horaire par le Seujet (lac Léman)

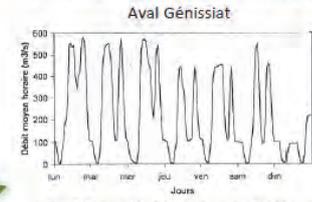


Variation maximale de débit le mercredi : 333 m³/s



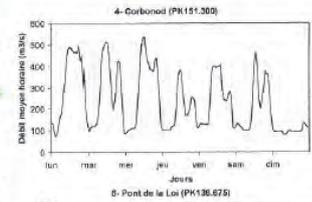
334 m³/s

⇒ Forte modulation horaire par le barrage de Génissiat

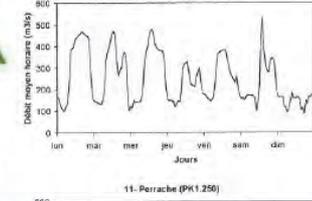


564 m³/s

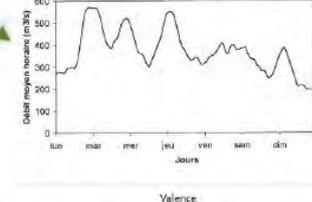
⇒ Démodulation partielle par les ouvrages aval ; effet du marnage des ouvrages ; effet des affluents



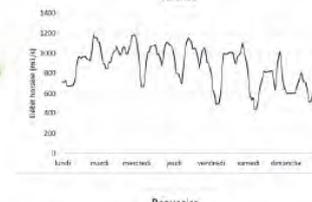
447 m³/s



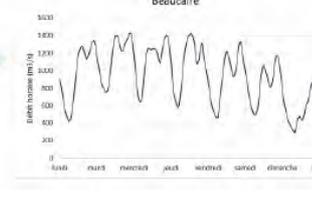
366 m³/s



233 m³/s



439 m³/s



745 m³/s

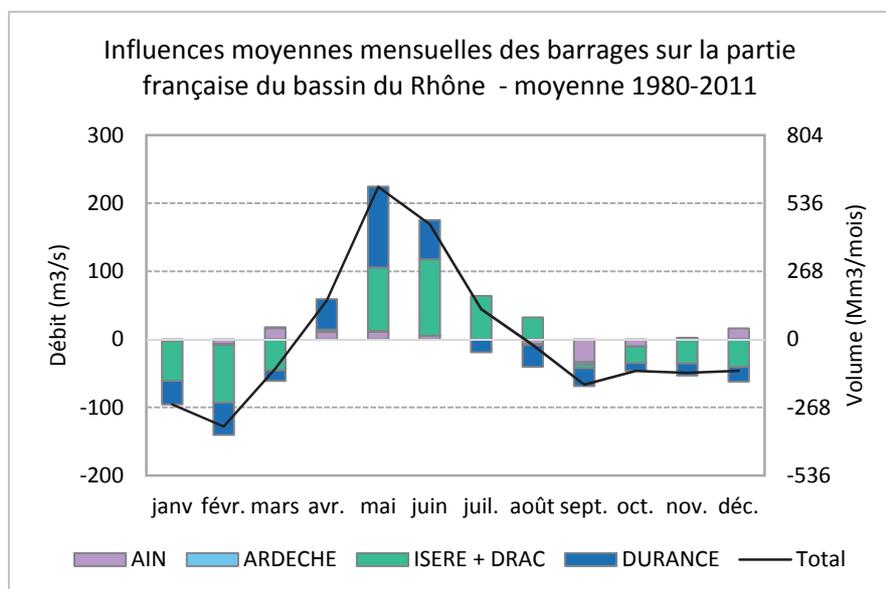
SUR LA PARTIE FRANÇAISE, LE STOCKAGE DES OUVRAGES DES VALLEES ALPINES ABASSE LES DEBITS MOYENS DE MAI D'ENVIRON 220 M³/S ... ET LEUR DESTOCKAGE REHAUSSE LES DEBITS HIVERNAUX

De nombreux ouvrages de stockage sont présents sur les affluents français. La gestion des stockages et déstockages saisonniers n'a pas lieu à la même période de l'année pour tous ces ouvrages ; elle dépend fortement de **l'hydrologie des cours d'eau aménagés**.

Les plus grands volumes de stockage sont situés sur le bassin de la Durance et sur le bassin de l'Isère. Sur ces bassins alpins, les ouvrages stockent principalement pendant l'onde de fonte, **d'avril à juillet**. Pendant cette période, environ **1,3 milliards de m³** sont stockés en moyenne. Le mois de **stockage maximal est le mois de mai** : en moyenne, 600 Mm³ sont stockés en mai sur le bassin du Rhône français, soit **220 m³/s** pendant un mois. Ces volumes sont déstockés de septembre à mars.

La figure ci-dessous représente la moyenne des influences **mensuelles des ouvrages de stockage sur les affluents** français du Rhône. Ces influences varient en réalité chaque année, selon les **conditions climatiques et hydrologiques**, et les contraintes de gestion (soutien d'étiage assuré par les ouvrages, etc.).

Figure 15 : Influences moyennes mensuelles des barrages situés sur les affluents français du Rhône



En outre, les ouvrages influencent également les débits à des pas de temps plus courts (semaine, journée) afin notamment de s'adapter aux consommations électriques.

Le schéma suivant donne un aperçu des périodes de stockage des grands ouvrages, de l'amont vers l'aval du Rhône.

Figure 16 : Ordre de grandeur des effets moyens, sur les débits mensuels du Rhône, de la gestion du lac Léman et des ouvrages de stockage situés sur les affluents

Ordres de grandeurs des effets moyens à l'échelle mensuelle (m3/s) sur les débits du Rhône														
Attention : les valeurs et les périodes varient en réalité chaque année. Uniquement ordre d'idée ici.														
Amont	Points sur le Rhône	Principaux ouvrages	janv.	févr.	mars	avr.	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.
		Retenues valaisannes sur les affluents du Rhône alpestre	déstockage					stockage total ~ 100 à 120 m3/s en pointe. Centré sur Juillet					déstockage	
	Porte de Scex													
	Pougny	Lac Léman								stockage ~ 80 m3/s en pointe. Centré sur Mai				
	Lagnieu													
		Ouvrage de Vouglans sur l'Ain								stockage			déstockage	
	Ternay													
		Ouvrage sur le bassin de l'Isère								stockage total ~ 100 m3/s en pointe. Centré sur Mai				
	Valence													
	Viviers													
		Ouvrages sur le bassin de la Durance								stockage total ~ 120 m3/s en pointe. Centré sur Juin			destockage	
		Ouvrages sur le bassin de l'Ardèche								stockage			déstockage	
	Beaucaire													
Aval														

VISION D'ENSEMBLE DE L'INFLUENCE DU LAC LEMAN ET DES OUVRAGES HYDROELECTRIQUE AU REGARD DE L'INFLUENCE CLIMATIQUE

De l'amont à l'aval du bassin, les effets des ouvrages se combinent et modulent les débits du Rhône de façon complexe. Cette influence s'additionne avec celle du climat. L'importance respective de la gestion des ouvrages et des conditions naturelles est variable selon l'échelle de temps considérée.

> A l'échelle infra-journalière, c'est avant tout la gestion du lac Léman et celle des ouvrages hydroélectriques qui modulent les débits du Rhône.

Cependant, de manière exceptionnelle, de fortes pluies peuvent induire des crues du Rhône en quelques heures. En octobre 2011, les débits sont par exemple passés de 1000 à 4000 m³/s à Beaucaire en 24h.

> Aux échelles mensuelles et saisonnières, ce sont avant tout les conditions météorologiques sur l'ensemble du bassin versant qui modulent les débits du Rhône. Les conditions de neige et de précipitations en particulier, sur l'ensemble des grands bassins affluents, peuvent conduire à des étiages marqués ou des hautes eaux.

Mais, en second ordre, la gestion du **lac Léman et celle des grands ouvrages de stockage** en Suisse et en France influencent également les débits du Rhône à l'échelle mensuelle.

> A l'échelle de la semaine, des variations des débits du Rhône peuvent être liées à la fois aux conditions météorologiques et à la gestion du lac Léman, du barrage de Génissiat, et des ouvrages de stockage. On note des différences entre la semaine et le week-end pendant lequel la demande en électricité est moindre.

La figure ci-dessous illustre ce que **peuvent être les variations des débits du Rhône à différentes échelles de temps.**

Le tableau qui suit synthétise les ordres de grandeur des variations de débit induites à ces différentes échelles par les différents types d'ouvrage.

Figure 17 : Variation des débits du Rhône à différentes échelles de temps. Exemple à Pougny

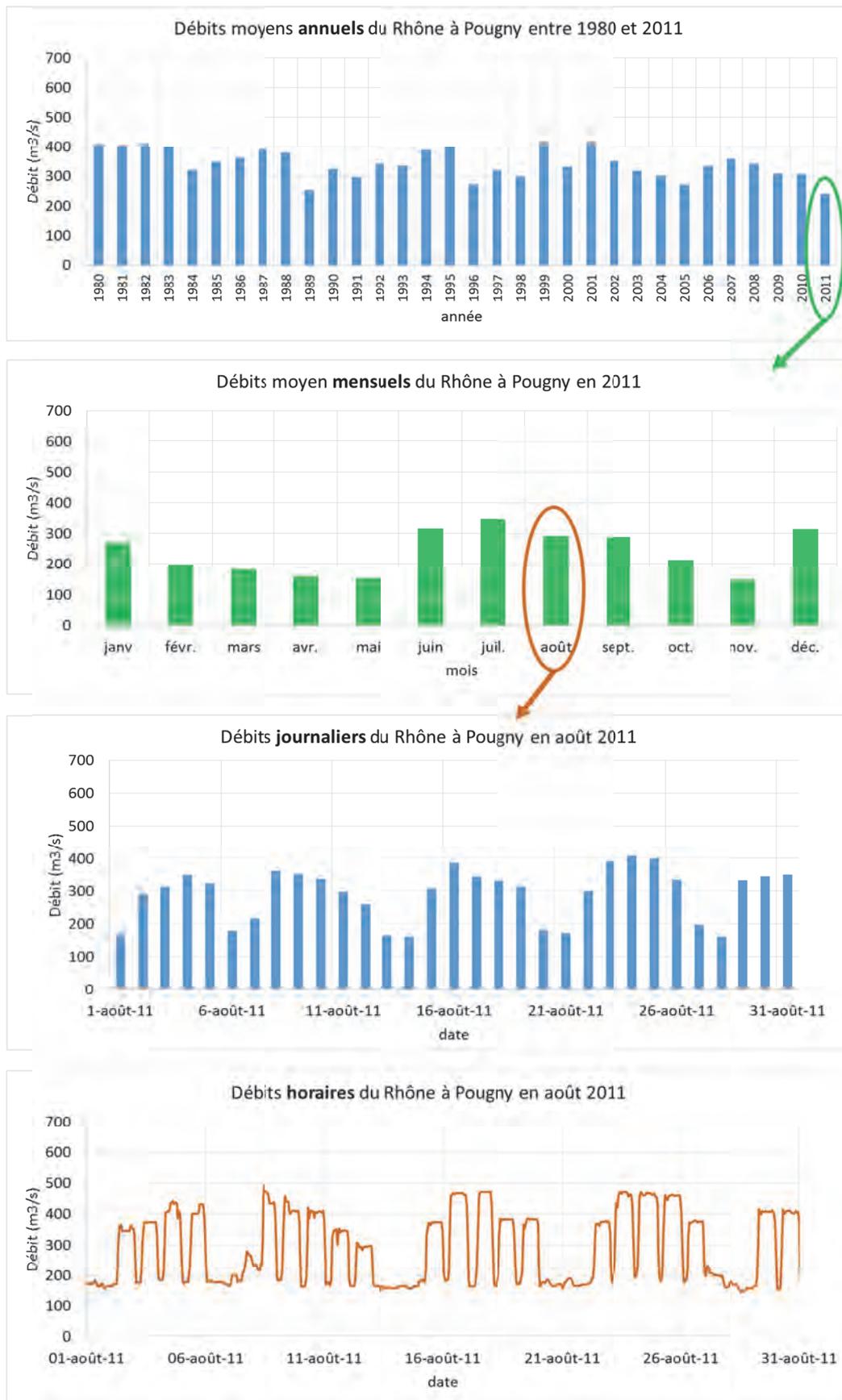


Tableau 3 : Quelques ordres de grandeurs associés aux grands ouvrages du bassin du Rhône

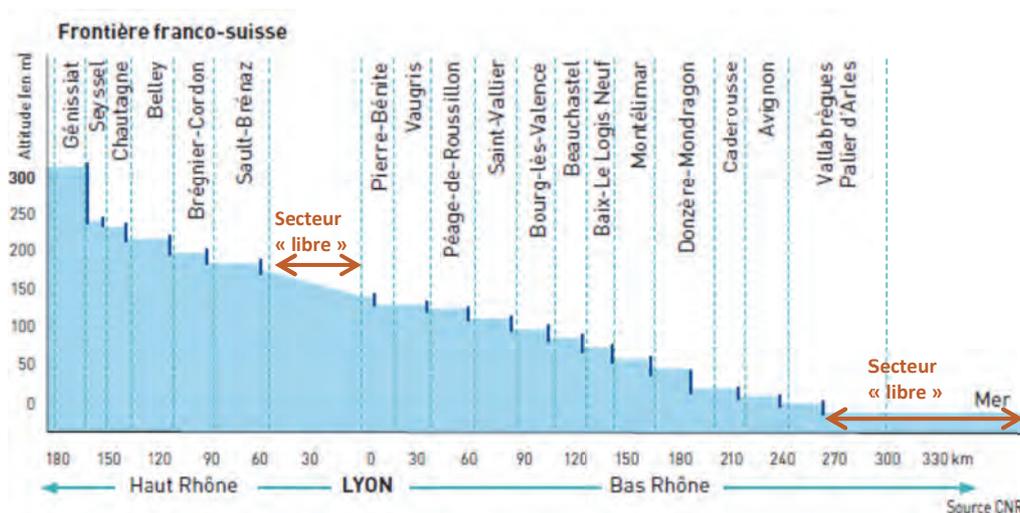
		Ouvrages ou Lac considéré				
		lac Léman	Grands ouvrages situés sur les affluents en Suisse (amont Léman)	Grands ouvrages situés sur les affluents en France	Ouvrage sur le Rhône avec des capacités de stockage limitées (Génissiat)	Ouvrage sur le Rhône avec des capacités de stockage très limités (21 ouvrages CNR et SIG)
Influence des ouvrages sur les débits du Rhône à l'échelle ...	Volume utile de stockage	Variation du Léman sur l'année : 500 millions de m ³ (Volume total du Léman : 89 milliards de m ³)	1,2 milliards de m ³	3,2 milliards de m ³	14 millions de m ³	1 à 5 millions de m ³ par ouvrage
	... de un ou plusieurs mois	- déstockage de janvier à mars - stockage en avril-mai-juin, - neutre de juin à octobre	- déstockage en hiver - stockage en été	Pour les grands ouvrages dans les vallées alpines : - déstockage en hiver - stockage au printemps	aucune influence	aucune influence
	<i>influence moyenne cumulée au mois de plus fort stockage :</i>	80 m ³ /s (mai)	110 m ³ /s (juillet)	220 m ³ /s (mai)	-	-
	... d'une semaine	Débit de sortie plus élevé en semaine que le week-end	Influence sur les débits à l'échelle hebdomadaire	Influence sur les débits à l'échelle hebdomadaire	aucune influence	aucune influence
... d'une journée	débit de sortie plus élevé au moment des pics de consommation électrique	pendant la période de déstockage : débit de sortie plus élevé au moment des pics de consommation électrique		débit de sortie plus élevé au moment des pics de consommation électrique. Forte modulation des débits	Démodulation partielle de Génissiat, effet du marnage des ouvrages en fonction de la consommation électrique	
	<i>Ordre de grandeur de la variation de débit :</i>				Plusieurs centaines de m ³ /s. Dépend du débit du Rhône.	Plusieurs centaines de m ³ /s. Dépend du débit du Rhône.

1.5. SUR LE RHONE AMENAGE, LES OUVRAGES SOUTIENNENT LA LIGNE D'EAU SUR 80 % DU LINEAIRE ET LES BASSES EAUX NE CORRESPONDENT DONC PAS FORCEMENT A DE FAIBLES HAUTEURS D'EAU

Le Rhône a fait l'objet d'aménagements de son cours depuis les années 1930. Il connaît aujourd'hui entre le lac Léman et la mer Méditerranée une série de 21 ouvrages hydroélectriques. **Une majeure partie de ces ouvrages sont des ouvrages de basses chutes qui conduisent à soutenir à leur aval la ligne d'eau du Rhône.** Leur répartition le long du Rhône est indiquée sur une carte au chapitre 1.3.

Le schéma suivant indique comment le Rhône non court-circuité, dans sa partie française, est donc constitué essentiellement d'une succession de biefs contrôlés par ces ouvrages.

Figure 18 : Répartition des aménagements sur le Rhône français (source : le Rhône en 100 questions)



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

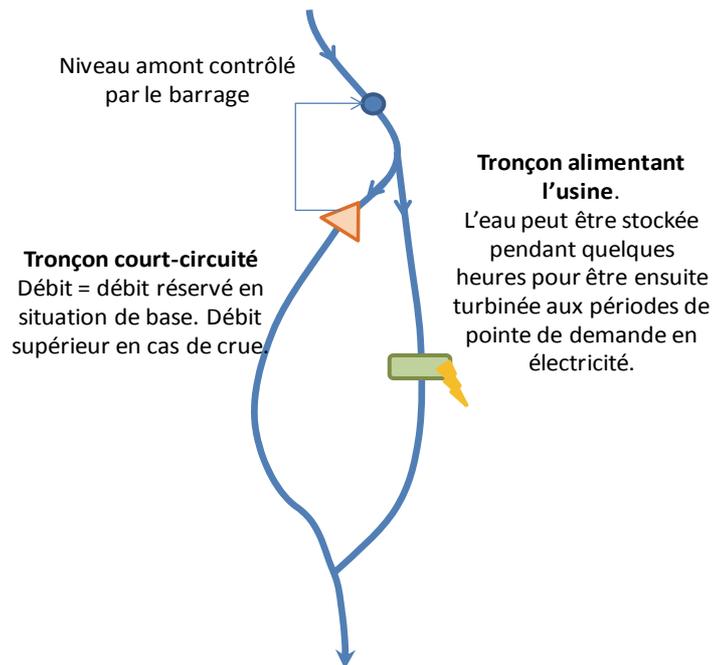
> **Les tronçons du Rhône contrôlés hydrauliquement par un ouvrage hydroélectrique.** Dans ce cas la hauteur d'eau dépend de la gestion d'un barrage. La relation entre cette hauteur et le débit est alors très différente de celle d'un bief sans influence. **80 % du linéaire du Rhône situé entre le lac Léman et la mer est dans cette situation.**

Les grands principes de gestion sont les suivants :

Un barrage permet de contrôler d'une part le débit qui passe à travers lui, dans le tronçon court-circuité, d'autre part le débit qui passe vers l'usine hydroélectrique.

En situation normale, le débit qui passe à travers le barrage est limité à un débit réservé et le débit du fleuve est principalement orienté vers l'usine. Quand le débit du Rhône dépasse la somme « débit réservé + débit turbinable par l'usine », le barrage est ouvert progressivement de façon à limiter, à son amont, la montée du niveau (plus le débit augmente plus le barrage s'ouvre).

Par ailleurs, un volume d'eau peut être stocké pendant quelques heures en amont de l'usine, pour être turbiné plus tard.



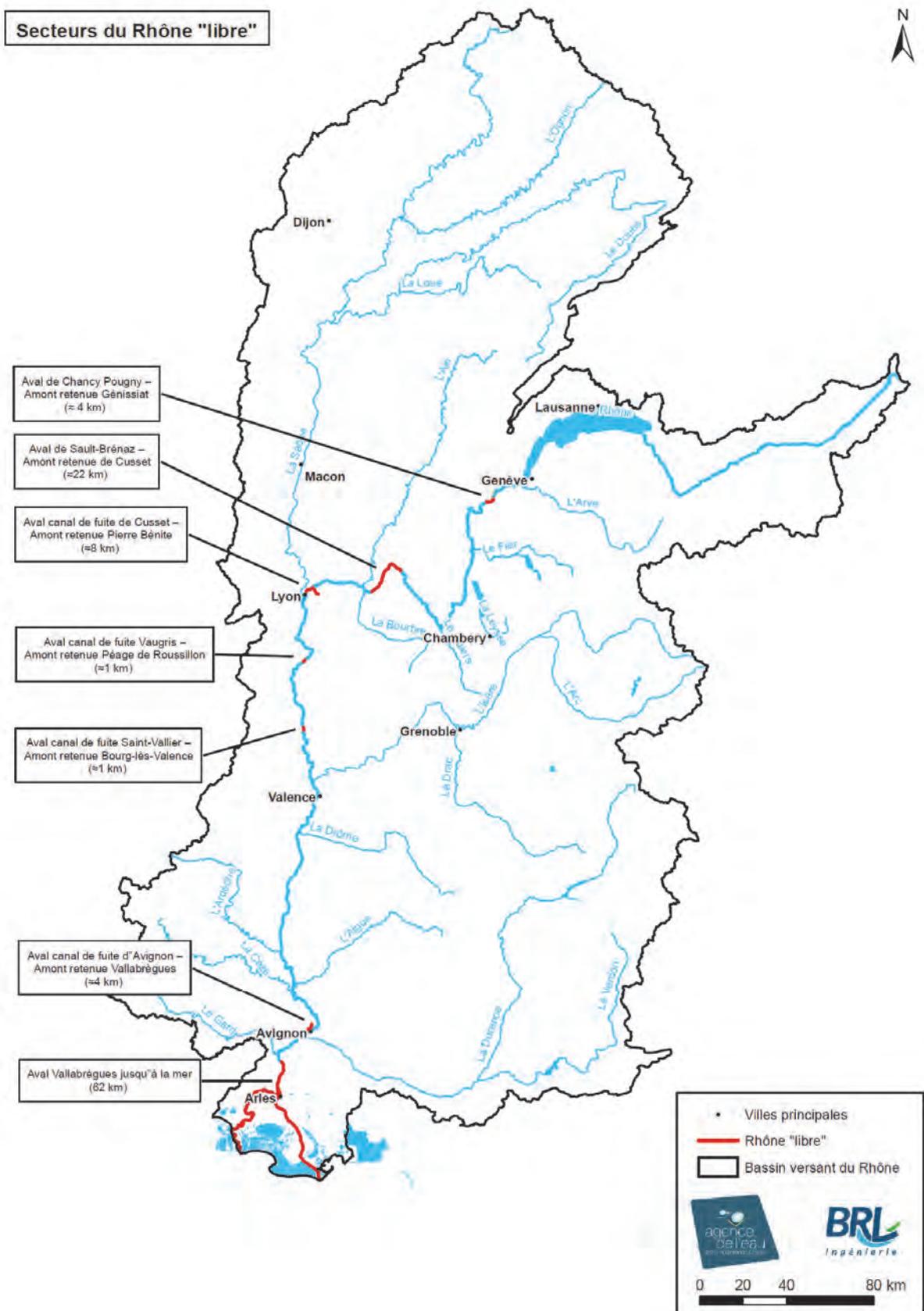
Au final, les variations de hauteur d'eau dans le bief amont sont beaucoup plus limitées que dans le cas d'un bief naturel. En particulier, en basses eaux, le niveau d'eau est maintenu par la présence du barrage. En poussant le raisonnement à l'extrême, on note que, pour une situation (fictive) d'un débit du Rhône nul, il y aurait quand même de l'eau dans le tronçon amont.

On distingue les ouvrages du Haut-Rhône (amplification des variations hydrologiques suisses à partir du barrage de Génissiat et démodulation jusqu'à Cusset) des ouvrages du Bas-Rhône fonctionnant « au fil de l'eau », avec la possibilité de réaliser des éclusées énergétiques induisant une variation de plan d'eau de 50 cm au maximum dans la zone dite du « programme de débit » (compris entre le débit turbinable maximal de chaque aménagement et un débit de basses eaux/étiage).

En dehors du « programme de débit », le plan d'eau amont n'est plus soumis aux variations journalières associées au fonctionnement des usines hydroélectriques.

> Les autres tronçons. Ils concernent les 20 % restant localisés sur la carte suivante. Sur ces tronçons la hauteur d'eau varie de manière univoque avec le débit. Deux secteurs sont principalement concernés : le **secteur de Bugey**, qui s'étend sur 22 km sur le Haut-Rhône, et le **secteur d'Arles**, qui s'étend sur 62 km de l'ouvrage hydroélectrique le plus aval (ouvrage de Vallabrègue) jusqu'à la mer.

Figure 19 : Localisation des secteurs dits « libres »



1.6. RETOUR SUR LES ETIAGES HISTORIQUES DEPUIS 1920, UNE GRANDE DIVERSITE DE SITUATIONS

LES ANNEES DE PLUS BASSES EAUX DEPUIS 1920

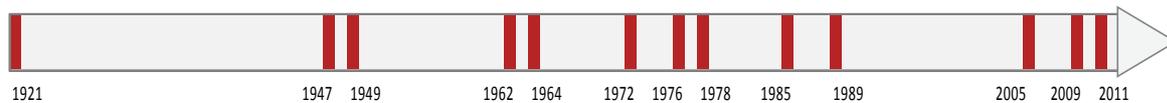
On parle d'étiage du Rhône lorsque l'on rencontre des bas débits sur **une large période de temps, de plusieurs jours à plusieurs mois**.

Pour caractériser les étiages, de nombreux indicateurs hydrologiques statistiques existent. Pour identifier **quels ont été les étiages les plus sévères sur le Rhône depuis 1920**, on peut s'intéresser par exemple aux débits moyens glissant sur 10 jours. À partir de ces débits sur 10 jours, on considère la plus petite valeur annuelle ayant une période de retour de 2 ans, 5 ans, 10 ans. On les note communément VCN10_2ans ; 5ans ; 10ans.

Par exemple, le VCN10_5ans à Beaucaire est de $553 \text{ m}^3/\text{s}$: statistiquement, pour quatre années sur cinq, le plus petit débit moyen sur 10 jours est supérieur à $553 \text{ m}^3/\text{s}$, une année sur cinq, il est inférieur à $553 \text{ m}^3/\text{s}$.

La figure de la page suivante identifie les épisodes de bas et très bas débits sur le Rhône, inférieurs à ces VCN10, depuis 1920. La couleur rend compte de l'intensité des étiages ; la largeur rend compte de leur durée.

La lecture de cette figure permet de retrouver les années marquées par les étiages les plus sévères depuis 1920 ; synthétisées sur la frise ci-dessous.



On présente ci-après quatre épisodes d'étiage en particulier.

QUATRE EXEMPLES D'EPISODES D'ETIAGE SEVERES DU RHONE

La figure ci-dessous présente quatre exemples d'année ayant connu un étiage important sur le Rhône. Pour chacune des années, sont présentés, en cumulé, les débits moyens glissant sur 10 jours au droit des six stations de référence. Les zones de contribution correspondant aux biefs délimités par ces stations sont rappelées sur la carte ci-contre.

Les graphes présentent par ailleurs (courbe noire) le débit moyen mensuel interannuel à Beaucaire sur la période 1980-2011.

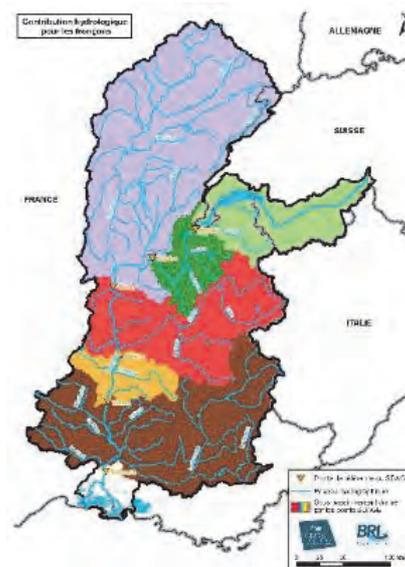
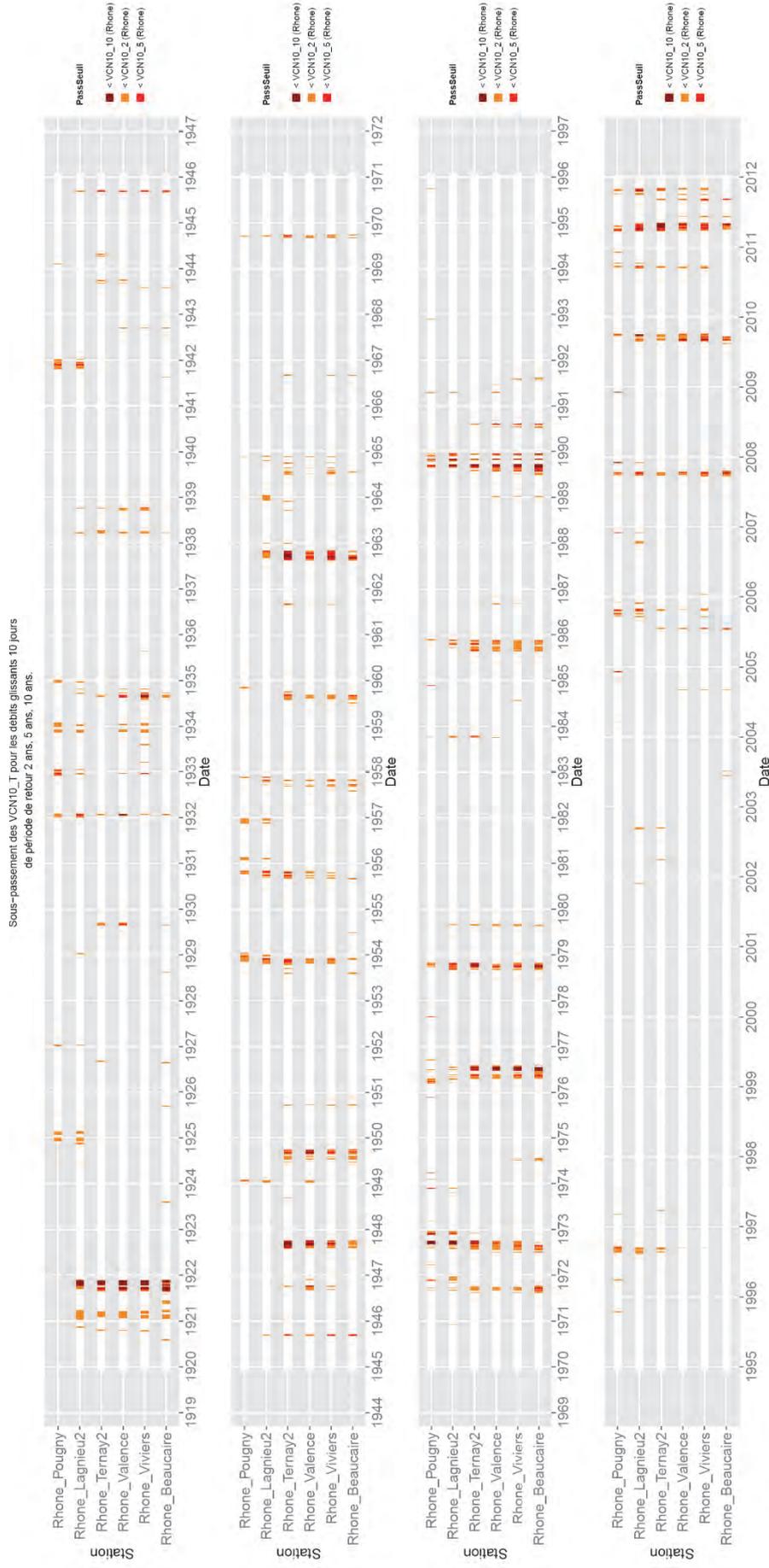
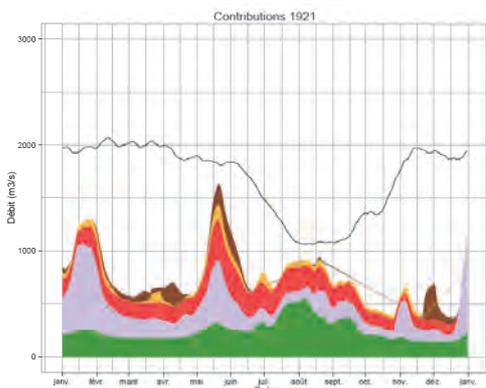


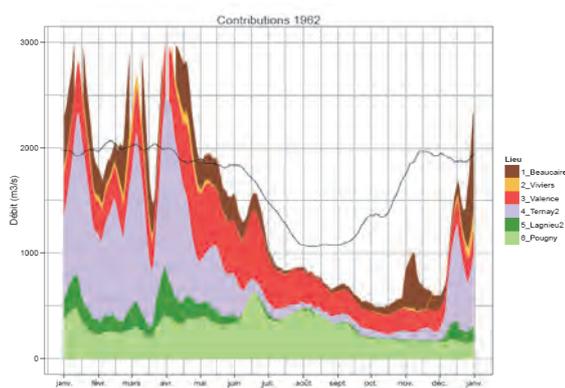
Figure 20 : Episodes de basses eaux au droit des 6 stations de référence du Rhône (passage du débit moyen sur 10 jours sous des valeurs de temps de retour 2 ans, 5 ans et 10 ans)



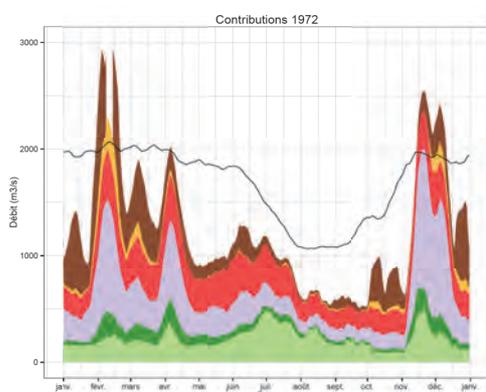
> 1921



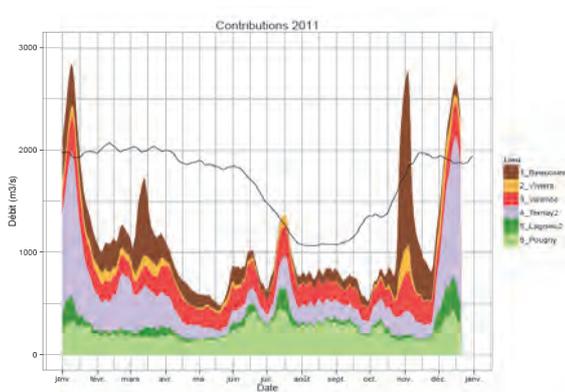
> 1962



> 1972



> 2011



(courbe noire : moyenne interannuelle 1980-2011 des débits à Beaucaire)

> En 1921, un étiage généralisé sur l'ensemble du bassin du Rhône.

L'année 1921 a été marquée par un étiage du Rhône **tout au long de l'année, du Léman à la mer**. Si les débits étaient déjà bas à Pougny, **on a observé une aggravation de l'étiage de l'amont vers l'aval, en raison des faibles apports des principaux affluents** (Isère, Saône, Ain). On peut ici parler d'un étiage généralisé sur le bassin du Rhône.

Il s'agit de **l'épisode le plus extrême enregistré depuis 1920**, à la fois en terme d'intensité (plus bas débit moyen sur 10 jours à Beaucaire atteint depuis 1920 : 419 m³/s) et en terme de durée (situation d'étiage quasiment toute l'année).

> A l'automne 1962, un déficit sévère de l'Ain et de la Saône conduit à accentuer fortement l'étiage du Rhône à partir de Ternay.

L'automne est une période où les apports des affluents de régime pluvial, tels que l'Ain et la Saône, constituent une contribution majeure aux débits du Rhône (voir chapitre 1.2). À l'automne 1962, l'Ain et la Saône connaissent un étiage sévère, lié à de très faibles précipitations.

Les déficits de ces affluents **accentuent fortement l'étiage** du Rhône, déjà observé sur le haut bassin. À Lagnieu, on enregistre des débits 10 jours de période de retour de 5 ans, à Ternay (aval Saône), on enregistre des débits 10 jours de période de retour de 30 ans.

À l'aval du bassin, l'Isère connaît également un étiage et ne permet pas de soutenir nettement les débits du Rhône.

> A l'automne 1972, les débits du Rhône amont sont très bas ; les apports de l'Isère et d'autres affluents soutiennent l'étiage à l'aval.

À l'automne 1972, on enregistre un étiage historique du haut Rhône : à Pougny et à Lagnieu, on mesure en octobre 1972 les plus bas débits observés depuis 1920 (118 m³/s en moyenne en octobre 1972 à Pougny).

Les apports de certains affluents aval (Isère, Durance) permettent d'atténuer l'étiage du Rhône à l'aval (Valence, Beaucaire). Ainsi, les débits d'étiage enregistrés correspondent à des périodes de retour de l'ordre de la centaine d'années sur le haut bassin, et de quelques années seulement à l'aval.

> Au printemps 2011, le Rhône alpestre et les affluents amont sont bas, suite à des déficits de neige et de précipitations.

En mai 2011, on enregistre de très bas débits du Rhône amont à Pougny, liés notamment à des conditions de précipitations et neiges déficitaires sur le haut bassin.

Cette situation d'étiage se propage vers l'aval du Rhône, car les principaux affluents sont également marqués par de basses eaux au printemps 2011, en lien avec de faibles précipitations (Saône) et des apports neigeux limités (Isère) à l'hiver et au printemps 2011.

IL N'Y A PAS D'ETIAGE TYPE DU RHONE

Ces quatre exemples d'étiage du Rhône illustrent la diversité des situations qui peuvent conduire à de bas débits du Rhône. On constate qu'il n'y a finalement pas d'étiage type du Rhône.

Cela s'explique notamment par l'importance du bassin versant du Rhône et la diversité de ses affluents. Depuis sa source jusqu'à la mer, le Rhône reçoit à la fois :

- des affluents de régime nival et pluvio-nival, marqués par de hautes eaux au printemps ou en été, dues à la fonte de la neige ; c'est le cas de l'Isère par exemple ;
- des affluents de régime pluvial, marqués par de hautes eaux en automne-hiver. C'est le cas de la Saône ;
- des affluents de régime méditerranéen, au sud du bassin.

Aussi chaque année, selon les conditions de neige et de précipitations, les combinaisons des apports de ces différents affluents peuvent créer des situations d'étiage sur le Rhône à différentes saisons.

De plus, compte tenu de ces différents apports des affluents, une situation d'étiage du Rhône évolue de l'amont vers l'aval du bassin versant. Les débits du Rhône peuvent être moyens sur le haut Rhône et bas à l'aval, si les affluents de l'aval connaissent un étiage sévère.

DEPUIS 1920, DES ETIAGES SEVERES DU RHONE ONT ETE OBSERVES EN TOUTES SAISONS, MAIS LE PLUS SOUVENT A L'AUTOMNE

Ainsi, les étiages du Rhône n'ont pas toujours lieu en été. Des étiages du Rhône ont pu avoir lieu à toute période de l'année. La

Figure 21 illustre des étiages historiques du Rhône en toutes saisons : l'hiver 1921, le printemps 2011, l'été 1976, l'automne 1989.

L'étude statistique des débits du Rhône montre que depuis 1920 :

- du Léman jusqu'à l'amont de Lyon, les étiages les plus sévères ont eu lieu majoritairement en automne et en hiver (on peut citer les années 1921, 1947, 1949, 1962, 1972, 1978, 1985, 1989, 2005, 2009) ;

- de Lyon à la mer, les étiages les plus sévères ont eu lieu majoritairement à la fin de l'été et à l'automne (on peut citer les années 1921, 1947, 1949, 1962, 1972, 1989, 2009).

Cependant des situations d'étiage fort du Rhône ont eu lieu à d'autres périodes : la plus récente est le mois de **mai 2011**, conséquence d'un déficit de neige en hiver 2011 et de faibles précipitations en mai 2011. Cela a été le mois de mai le plus sec depuis 1920 pour le Rhône.

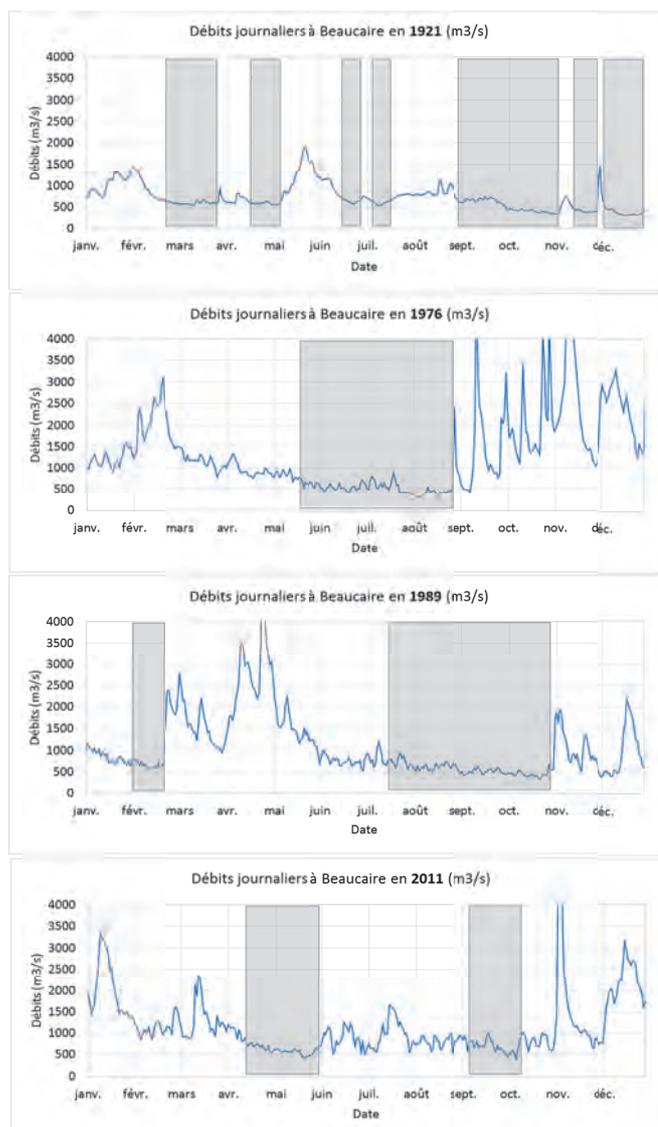
Autre exemple, l'**été 1976** a été marqué par un étiage fort du Rhône, et ce **dès le mois de juin** : le débit moyen du mois de juin enregistré à Beaucaire en 1976 a été de 536 m³/s.

Comme déjà évoqué, la plupart des étiages du Rhône résultent de la combinaison de déficits sur plusieurs bassins affluents du Rhône. Aussi, on retrouve pour la plupart des étiages historiques depuis 1920, deux situations climatiques prépondérantes :

- **déficit de précipitations liquides et neigeuses sur la partie suisse du bassin ;**
- **déficit de précipitations liquides sur les bassins de la Saône et de l'Ain en particulier, et de l'ensemble du bassin du Rhône dans de nombreux cas.**

Comme déjà explicité, il n'y a pas d'étiage type sur le Rhône : les causes climatiques de chaque étiage sont à nuancer selon les années.

Figure 21 : Des étiages historiques du Rhône à Beaucaire, à toutes les périodes de l'année (1921, 1976, 1989, 2011). (Rq : le débit moyen à Beaucaire est de 1 700 m³/s)



LES ETIAGES DU RHONE S'AGGRAVENT-ILS CES DERNIERES DECENNIES ? IL EST DIFFICILE DE DISCERNER UNE TENDANCE MARQUEE

L'analyse de tendance sur des chroniques hydrométriques est un exercice très délicat, et cela pour plusieurs raisons :

- la variabilité climatique et donc hydrologique est très importante, et rend difficile l'identification d'une tendance qui ne serait pas attribuable uniquement à cette variabilité intrinsèque ;
- ce travail requiert des séries de données suffisamment longues et de qualité suffisante ;
- les causes de changement sont multiples : changement météorologique (modification de la station, ...), influence de prélèvements, d'ouvrages (dont le lac Léman dans le cas présent), et d'aménagements sur les débits ou les mesures ; changement climatique ; etc.
- les analyses statistiques ont leurs limites.

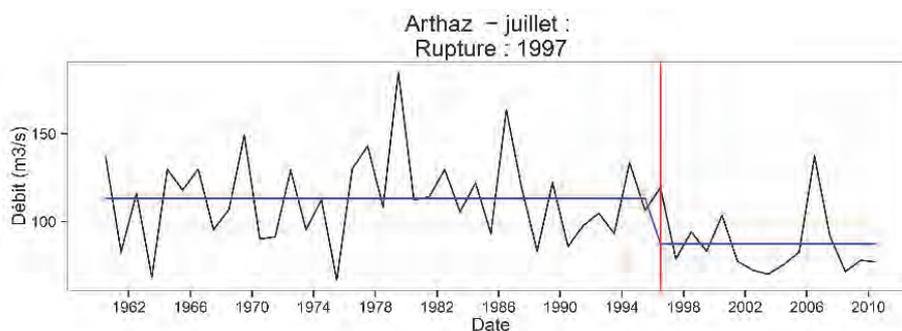
Des tests de rupture (tests de Pettitt) ont été réalisés sur les chroniques de débits du Rhône en France, sur plusieurs indicateurs statistiques (moyennes, débits d'étiage, etc.). Ces tests n'ont pas permis de détecter des tendances significatives avec consistance, ni de leur attribuer une origine de changement climatique.

Cependant, cette analyse n'est pas exhaustive, et ne permet pas de conclure sur l'absence ou l'existence de tendances.

En outre, les débits du fleuve Rhône sont la résultante d'un système complexe, combinaisons de nombreux affluents aux régimes hydrologiques variés, et modifiés par la gestion humaine : en conséquence, il est d'autant plus difficile de détecter les effets éventuels du changement climatique dans la variabilité hydrologique.

En revanche, on détecte des changements locaux, en particulier pour les cours d'eau alpestres. Sur le haut bassin du Rhône, on observe par exemple une tendance à la baisse des débits estivaux de l'Arve ; cette tendance doit cependant être analysée avec prudence en raison des divers facteurs pouvant y contribuer.

Figure 22 : Etude des débits moyens de juillet sur l'Arve à Arthaz (1962-2011)



1.7. LES TENSIONS ASSOCIEES AUX BASSES EAUX DU RHONE

Aucune crise majeure ayant porté atteinte à la vie biologique ou à la sécurité civile n'a été recensée sur le fleuve Rhône comme étant à mettre en lien avec des étiages sévères.

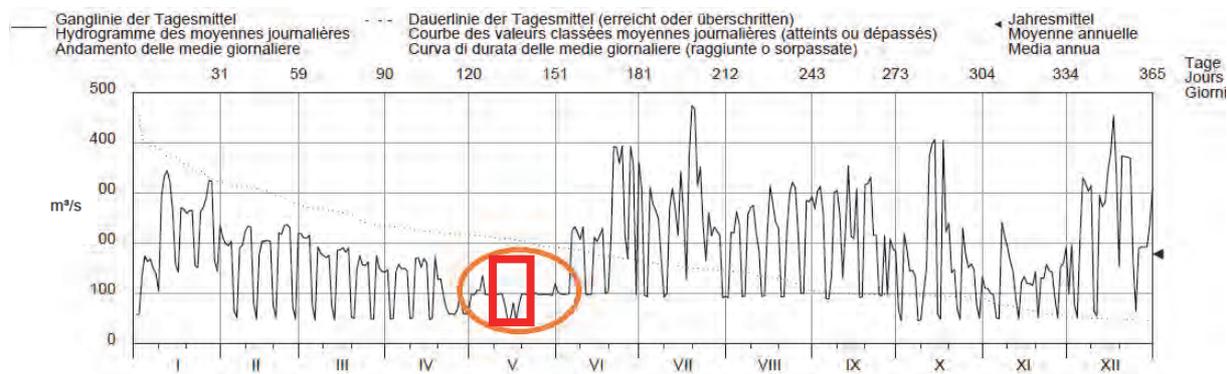
Des tensions sont cependant apparues au cours de certains étiages et ceci dans plusieurs domaines. On cite ci-après les principaux événements recensés.

REFROIDISSEMENT DES CENTRALES NUCLEAIRES

> **En mai 2011**, suite à un déficit de remplissage du lac Léman lié à de faibles précipitations neigeuses hivernales et de faibles pluies printanières, les autorités suisses décident, afin de respecter les niveaux du lac inscrits dans sa courbe de consigne, de réduire exceptionnellement à 50 m³/s le débit de sortie du Lac, normalement égal à 100 m³/s à cette période.

Cette décision provoque, côté français, la réaction d'EDF et de la DREAL de bassin, face à la difficulté à assurer le fonctionnement de la centrale nucléaire de Bugey tout en garantissant les seuils de débits et température réglementaires dans de telles conditions. Il est alors convenu pour 2011, entre la DREAL et le canton de Genève, que les débits minimums sortant du lac Léman peuvent passer sous le seuil de 100 m³/s, dans la limite du respect d'un débit minimum de 130 m³/s à Bugey.

Figure 23 : Débits à Genève en 2011. Baisse momentanée des débits à 50 m³/s en mai 2011 suite à la dérogation du canton de Genève, puis remontée à 100 m³/s suite à l'accord avec la France.



> **Pendant les étiages 2003 et 2007**, du fait de températures du Rhône élevées, EDF a été conduit à des baisses de production de ses centrales. Les tensions sur le fonctionnement des centrales ont été à l'origine de négociations entre EDF et l'Etat, qui se sont traduites par l'obtention de dérogations pour EDF en termes d'échauffement des eaux du Rhône, dans le but de ne pas trop diminuer la production énergétique.

PRELEVEMENTS EAU POTABLE

Trois préleveurs pompent l'eau du Rhône en surface pour l'usage eau potable : la Communauté urbaine de Lyon, pour la barrière hydraulique qui assure la sécurité des pompages dans la nappe du Rhône en cas de pollution dans le fleuve ; le réseau Bas-Rhône-Languedoc, qui distribue de l'eau brute destinée à la potabilisation vers le Gard et l'Hérault ; la commune des Saintes-Maries-de-la-Mer.

Parmi ces trois préleveurs, le gestionnaire du captage des Saintes Maries de la Mer a rencontré des difficultés de gestion de l'alimentation en raison de bas niveaux dans le fleuve en **août 2007 et au cours de l'été 2008**.

L'alimentation de l'agglomération de Lyon à partir de la nappe alluviale du Rhône a connu, sur la chronique étudiée, des périodes de tension liées à des bas débits du fleuve. En effet, certaines baisses significatives du niveau de la nappe peuvent être liées à une baisse du débit dans le Rhône :

> **Épisode 2003** : L'année 2003 a été marquée par une baisse du niveau de la nappe, limitant les captages. À cela s'ajoute une demande en eau exceptionnelle : on atteignait les 450 000 m³/j en demande, contre les 250 000 m³/j moyens. De plus, une température de l'eau exceptionnellement élevée a été atteinte, entraînant des risques sanitaires.

> **Épisode 2004** : En 2004, la nappe s'est retrouvée au-dessus du niveau des puits suite à des problèmes de colmatage, ce qui a provoqué un blocage des captages.

> **Épisode 2011** : Les bas débits du Rhône en 2011 ont provoqué une forte baisse du niveau de la nappe. En outre, le débit dans le canal de Miribel n'a pas respecté les valeurs planchers.

Les épisodes de 2003 et 2011 ont été suivis de précipitations importantes au mois de juillet, permettant de réalimenter la nappe et de rétablir la situation.

Figure 24 : Organisation des ouvrages hydrauliques autour de l'île de Miribel-Jonage



Source image : sur une base EDF

RIZICULTURE

> **La campagne 2011** a été particulièrement problématique pour les riziculteurs. En effet, des débits exceptionnellement bas pour la saison ont été rencontrés au printemps, à un stade critique du cycle de culture, et ont favorisé la remontée du coin salé (phénomène d'intrusion d'eau marine dans le lit d'un fleuve, ce nom évoquant la forme de la masse d'eau salée) au-delà du seuil de Terrin, (*source : Centre français du riz, Convention France-Agrimer, Conduites et pratiques culturales, rapport d'activité 2011*). Une salinité de l'eau d'irrigation allant jusqu'à 5 g/l a été mesurée. Au moins 2000 ha ont été fortement touchés, dont 600 ha ont dû être ressemés selon le SRFF (*Syndicat des Riziculteurs de France et Filière*). Une remontée des débits du Rhône et un épisode pluvieux sur la Camargue ont toutefois permis un rétablissement de la situation au mois de juin.

En dehors du cas particulier de la campagne 2011, il semblerait qu'aucune autre année n'ait connu de problèmes aussi importants (en dehors des fins de mois d'août).

Figure 25 : Points de repère pour localiser la remontée du coin salé en Camargue



1.8. LIENS ENTRE TEMPERATURE ET DEBIT DU FLEUVE

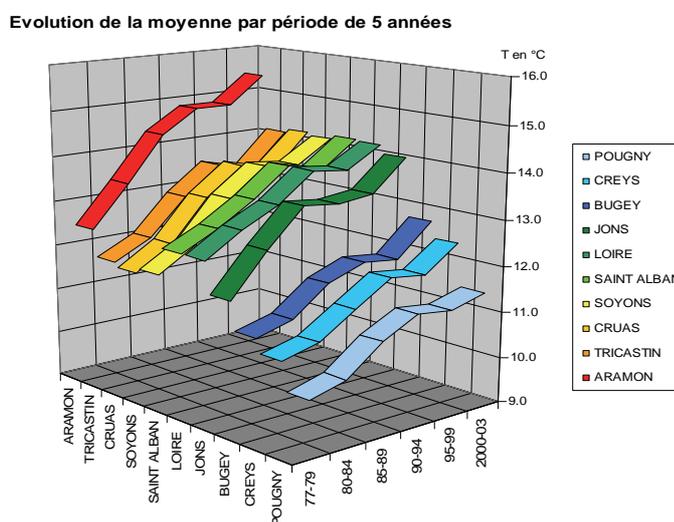
Source pour ce chapitre : Etude thermique du Rhône, EDF, 2000-2014

EVOLUTION DE LA TEMPERATURE DU RHONE DEPUIS 30 ANS

Grâce à un réseau de 15 stations réparties sur le Rhône et ses 3 affluents majeurs l'étude thermique EDF permet de dégager les tendances suivantes.

Sur la période 1977-2004, il est constaté un réchauffement global des températures du fleuve de l'ordre de **+ 1,5°C sur le Haut Rhône et + 2,0°C sur le Bas-Rhône pour le mois le plus chaud** de l'année. À l'échelle pluriannuelle, le Rhône et ses affluents présentent un échauffement moyen de + 0.5 à + 1.6°C selon les stations de mesure entre les périodes [1977-87] et [1988-2003].

Figure 26 : Evolution historique de la température du Rhône (source : EDF)



LE RHONE EST UN VECTEUR THERMIQUE FONCTION DE L'HYDROLOGIE

Le débit influence la température de l'eau en modifiant le temps de transfert des masses d'eau d'amont en aval. Le transfert de débit s'effectue en une journée environ entre le Léman et le delta du Rhône alors que le transfert thermique est beaucoup plus lent puisqu'il dépend du temps de résidence des masses d'eau ; il est compris entre 5 jours (en crue, à 2500 m³/s) et 15 jours (à l'étiage, 700 m³/s).

De manière simplifiée, sur l'amont du fleuve : 2/3 des variations de température de l'eau amont se conserve à l'aval et sur l'aval du fleuve : 18% d'une modification de température à Pouigny se conserve au niveau de Beaucaire.

À bas débit, le transfert moins rapide de l'eau augmente le temps d'échange entre les masses d'air et les masses d'eau et donc le système se met plus rapidement à l'équilibre T°eau/T°air, surtout sur l'aval.

FACTEURS EXPLIQUANT LA TEMPERATURE DE L'EAU EN UN POINT DU FLEUVE

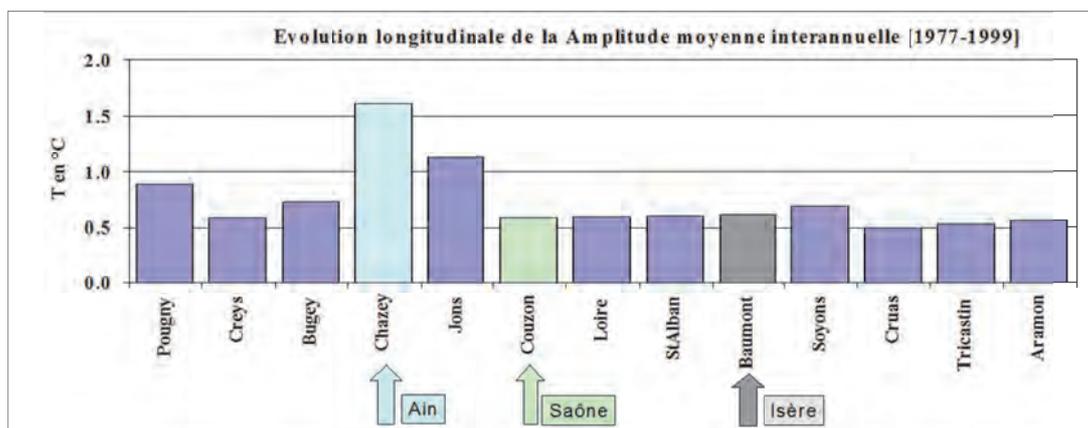
Les grands facteurs qui influent sur la température de l'eau du Rhône français sont les transferts amont-aval d'eau en fonction du débit, la température de l'eau en sortie du lac Léman et les conditions météorologiques locales que sont : la température de l'air, la dilution par les affluents et les échauffements des centrales nucléaires.

LES LEVIERS HYDRAULIQUES INFLUENCANT LA TEMPERATURE DE L'EAU

La température de l'eau du Rhône en sortie du Léman et les affluents ont des effets thermiques marqués sur le fleuve. L'Arve est un affluent froid influencé par la glace, la Saône est un affluent chaud, l'Ain un affluent froid en hiver et chaud en été et l'Isère un affluent très froid. L'Isère, avec son régime hydrologique nival, abaisse les températures du Rhône en aval de sa confluence de 1°C en période chaude.

La température de l'eau de la Durance est en moyenne plus froide de 3°C que celle du Rhône. Mais compte tenu des débits importants du Rhône sur son cours aval, la température du Rhône est peu sensible à une augmentation de débit de la Durance.

Figure 27 : Évolution longitudinale de la température du mois le plus chaud de période de retour 5 ans (TMNA5). Période 1977 à 1999 (Poirel et al., 2001)



L'augmentation du débit du Rhône en sortie du Léman ou sur les principaux affluents a un double effet sur la température de l'eau du Rhône à l'aval :

- **un effet « direct »** qui conduit à diminuer la température de l'eau par apport complémentaire d'eau si elle est plus froide que le Rhône ;
- **un effet « indirect »** par dilution des calories dans un débit plus important du Rhône.

Ainsi, l'augmentation de débits de certains bassins versants contributeurs a un impact sur la température de l'eau dans le fleuve : **pour un mètre cube par seconde supplémentaire, l'effet thermique potentiel (direct + indirect) : est de 0,025°C pour l'Arve en été, 0,01°C pour le Léman en été et au printemps, 0,0045°C pour l'Isère et 0,004°C pour la Durance.**

1.9. LA NAPPE DU RHONE EST SENSIBLE A UNE BAISSSE DU DEBIT DU FLEUVE SUR SEULEMENT 25 % DE SON LINEAIRE

Les relations entre le Rhône et sa nappe alluviale sont dépendantes des cotes respectives de la ligne d'eau du fleuve et du niveau piézométrique. La problématique est donc celle de l'impact d'une baisse de débit, lors des étiages, sur la ligne d'eau.

Or le fleuve est très aménagé et cette relation va être fortement contrôlée par ces aménagements et leurs modalités de gestion. Il est en effet nécessaire de distinguer :

- les secteurs de nappe situés directement à l'aval d'un ouvrage CNR (cas ① sur la figure 28), dont le débit au cours d'eau **non dérivé** correspond au **débit réservé**. Si, dans ces secteurs, la ligne d'eau est certes dépendante du débit, les dispositions administratives actuelles impliquent que dans ces secteurs, le débit est en quelque sorte "sanctuarisé" durant les étiages. Il est indépendant du débit global et naturel du Rhône ; les baisses de débit lors des étiages sévères sont intégralement transmises au débit d'alimentation des canaux usiniers.
- les secteurs **sous influence d'une ligne d'eau contrôlée par un ouvrage CNR** (cas ② sur la figure 28), . Sur ces secteurs situés à l'amont des retenues (zone dite des remous des barrages) mais aussi correspondant aux canaux de dérivation, les variations de débit du fleuve auront **peu d'impact** sur la ligne d'eau et donc sur la piézométrie de la nappe ; les lignes d'eau sont en quelque sorte fixées et varient peu lors de la survenue des débits d'étiage.
- les secteurs sous influence d'un **Rhône libre**, qui enregistrent des **variations de leur ligne d'eau** en relation avec les **variations des débits du fleuve**. Dans ces secteurs, rares, le débit n'est pas contrôlé et la ligne d'eau n'est pas contrainte par des aménagements.

Le schéma suivant illustre les deux premières configurations qui se traduisent par une non-sensibilité des relations nappe-rivière aux étiages du fleuve.

Figure 28 : Localisation, sur un schéma d'ouvrage type, des secteurs avec une non-sensibilité des relations nappe rivière aux étiages du fleuve



Aménagement type du Rhône (© Photothèque CNR).

Si l'on s'intéresse uniquement à la dernière catégorie, celle des secteurs de nappe dépendant des variations des débits du Rhône (hors sections régies par les débits réservés), on comptabilise sept secteurs représentant **320 km² de nappe sensible aux variations globales des débits du Rhône. Cela représente seulement 25 % de sa superficie totale.** Ces sept secteurs figurent sur la carte ci-dessous (cercles noirs). Sur le Haut Rhône, il s'agit de trois secteurs marqués par une certaine naturalité et des relations nappe rivière peu influencées, de l'amont vers l'aval :

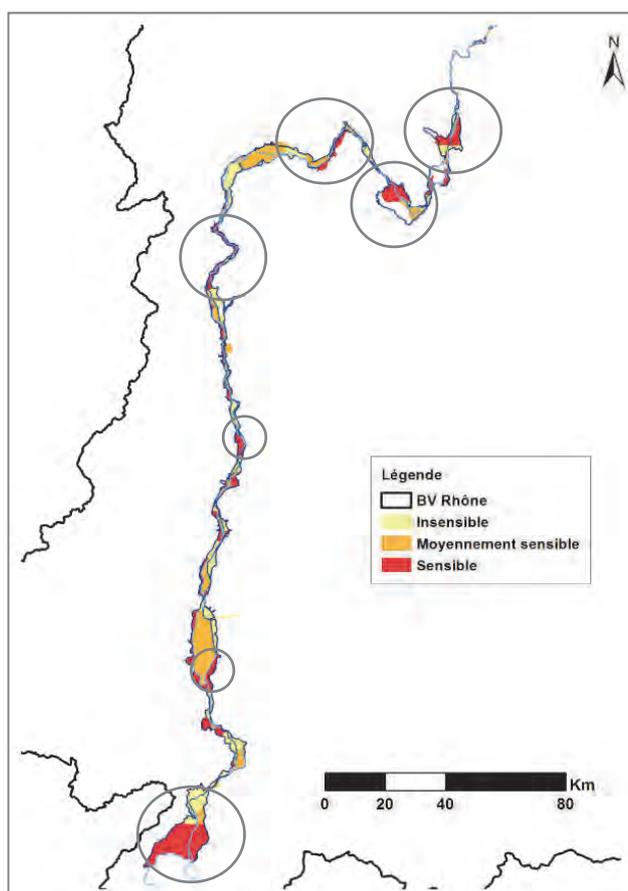
- aval de l'aménagement de Chautagne (environ 30 km²),
- aval de l'aménagement de Brégnier Cordon (environ 40 km²),
- aval de l'aménagement de Saultz-Brénat (environ 30 km²).

Plus au sud, toujours de l'amont vers l'aval, il s'agit de :

- aval de l'aménagement de Pierre Bénite (environ 20 km²),
- aval du barrage usine de Vaugris (environ 20 km²),
- aval de l'aménagement de Bollène (environ 20 km²),
- et, secteur le plus étendu, la plaine située à l'aval de Beaucaire et à l'amont d'Arles (160 km²).

La carte ci-dessous présente la sensibilité des différents secteurs de nappe aux variations de débits du fleuve.

Figure 29 : Cartographie des secteurs vulnérables aux variations de débit du fleuve.



Cependant, la piézométrie de la nappe alluviale est la résultante d'un grand nombre de facteurs (précipitations, prélèvements, apports par l'irrigation, conditions locales d'un piézomètre, etc.), il est donc difficile d'associer des baisses de piézométrie à des étiages du Rhône à partir des mesures historiques de débit et de piézométrie.

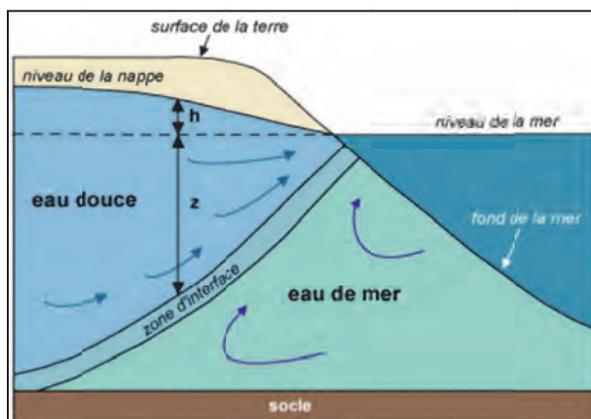
Les secteurs **structurellement vulnérables** sont les secteurs pour lesquels une baisse de piézométrie peut conduire à une baisse importante de la productivité de la nappe. Il s'agit des sections de faibles épaisseurs mouillées. Ces secteurs sont **rare et de superficie limitée** : moins de 4 % des nappes ont une puissance inférieure à 5 m. Le seul secteur vulnérable étendu correspond à la plaine de Montélimar, qui présente une superficie de nappe de l'ordre de 20 km². On observe aussi quelques lambeaux de nappe (superficie <10 km²) structurellement vulnérables dans le secteur d'Avignon, près de Mornas, de la Voulte-sur-Rhône (rive droite du Rhône) et dans les 10 km à l'amont de la confluence avec l'Ain.

Parmi ces secteurs, le champ captant de Crépieu-Charmy pour l'alimentation du Grand Lyon est le seul dans une position de forte dépendance aux débits du Rhône. En effet, les étiages induisent d'une part une baisse du niveau d'eau dans le canal de Miribel qui impacte la productivité du champ captant et d'autre part des vitesses d'écoulement très faibles qui favorisent le dépôt des fines et dégradent les relations cours d'eau/nappe.

1.10. LA PROPAGATION DE BISEAUX SALES DANS LES NAPPES DE CAMARGUE DEPEND TRES PEU DU DEBIT DU RHONE

Un biseau salé est une partie d'un aquifère côtier envahie par de l'eau salée (marine) comprise entre la base de l'aquifère et une interface eau douce / eau salée (Figure 30), le biseau salé étant sous l'eau douce. Précisons que la présence d'un biseau salé est un phénomène naturel et que son extension horizontale à l'intérieur des terres est faible. Par contre, c'est généralement la surexploitation de l'aquifère qui va conduire à la pénétration du biseau salé sur de grandes distances.

Figure 30 : Schématisation d'un biseau salé dans un aquifère homogène.



Dans le delta du Rhône, il est nécessaire de distinguer les nappes superficielles, variées dans leur nature (bourelets alluviaux, cordons dunaires, ..) et morcelées dans l'espace, de la nappe profonde des cailloutis, de superficie étendue et relativement homogène, qui correspond au prolongement des cailloutis de la Crau et qui plonge sous le delta de la Camargue.

En Camargue, les analyses ont montré que **les étiages du Rhône n'ont pas d'impact significatif sur les nappes superficielles**. Les dynamiques de propagation de biseau salé pour les nappes superficielles en contact avec des masses d'eau salée (mer ou étangs) sont indépendantes du débit du fleuve. **En revanche, lorsque le fleuve lui-même est soumis à une remontée d'eau salée, les eaux d'irrigation en Camargue, issues du Rhône, sont affectées et peuvent constituer un apport d'eau salée pour la nappe, par infiltration.**

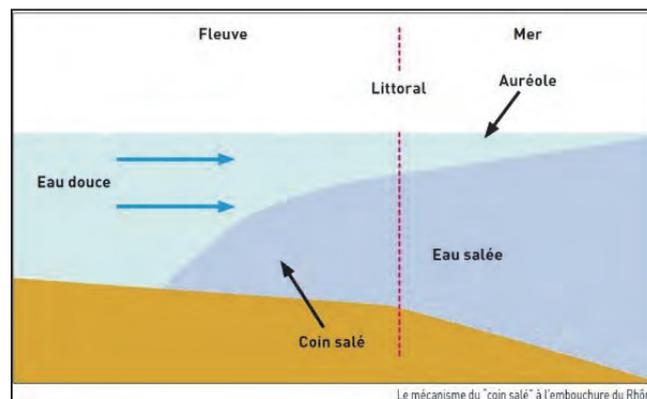
La salinisation de la **nappe profonde** de Camargue par propagation d'un biseau salé, observée et surveillée depuis les années 1960, dépend de nombreux facteurs. Une baisse des débits du Rhône peut théoriquement entraîner une perte de charge dans la nappe alluviale associée et ainsi favoriser la propagation du biseau salé dans la nappe profonde. Cependant, ce phénomène est considéré comme **secondaire, voire négligeable, relativement aux autres phénomènes en jeu**. Les causes de remontée du biseau salé seraient ainsi attribuées en premier lieu aux prélèvements en nappe de Crau.

1.11. LES FAIBLES DEBITS SONT UN DES FACTEURS DE REMONTEE DU COIN SALE DANS LE FLEUVE

On appelle « coin salé », ou encore « langue salée » le phénomène **d'intrusion d'eau marine dans le lit d'un fleuve**. Ce nom évoquant la forme de la masse d'eau salée (cf. figure ci-dessous). L'eau salée a une densité supérieure à l'eau douce et 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.

Figure 31 : Schéma d'un coin salé



Source : Le Rhône en 100 questions, ZABR, 2008

Le facteur principal est le débit du fleuve, car sa faiblesse favorise la remontée du coin salé. Cependant, 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 augmente quand la pression atmosphérique diminue.
- l'amplitude des marées.

QUELS IMPACTS LES ETIAGES REMARQUABLES DU RHONE PEUVENT-ILS AVOIR SUR LA REMONTEE DU COIN SALE ?

Les études réalisées par la CNR et par EDF ont mis en évidence **les liens entre les basses eaux du Rhône et la remontée du coin salé en Camargue**.

On peut retenir les ordres de grandeur suivants (en rappelant que l'embouchure du Rhône se situe au PK330, voir aussi la figure suivante) :

- il faut que le débit du Rhône mesuré à Beaucaire descende au-dessous de $1\,300\text{ m}^3/\text{s}$ pour voir le coin salé amorcer sa remontée². (A titre indicatif : depuis 1980, pour environ 45% des jours, le débit moyen journalier à Beaucaire est descendu sous les $1\,300\text{ m}^3/\text{s}$) ;

² Les estimations les plus récentes, fournies par la CNR, estiment à $1300\text{ m}^3/\text{s}$ le débit en dessous duquel s'amorcent la remontée du coin salé. D'autres sources différencient le Grand et le Petit Rhône et indiquent une remontée du coin salé dans le Grand Rhône à partir d'un débit à Beaucaire de $1000\text{ m}^3/\text{s}$, et dans le Petit Rhône à partir de $1200\text{ m}^3/\text{s}$.

- il remonte jusqu'au Sambuc (PK 303) pour des débits entre 600 et 800 m³/s (A titre indicatif : depuis 1980, pour environ 11% des jours, le débit moyen journalier à Beaucaire est descendu entre 600 et 800 m³/s) ;
- il remonte jusqu'au seuil de Thibert (PK 299) pour des débits entre 400 et 600 m³/s (A titre indicatif : depuis 1980, pour environ 3% des jours, le débit moyen journalier à Beaucaire est descendu entre 400 et 600 m³/s).
- il remonte jusqu'au seuil de Terrin (PK 295) pour des débits entre 300 et 600 m³/s (A titre indicatif : depuis 1980, pour environ 3% des jours, le débit moyen journalier à Beaucaire est descendu entre 300 et 600 m³/s).

A l'automne 2007, le coin salé est resté 3 semaines sur le seuil. Le débit moyen journalier minimal mesuré sur cette période est de 370 m³/s, le 11 novembre 2007. (ZABR 2008).

D'après les modélisations réalisées par EDF, le dépassement de ce seuil correspond à des étiages exceptionnels.

Depuis la mise en service des systèmes de mesures existants, le seuil de Terrin n'a été dépassé qu'une seule fois, en août 2005, pour un débit moyen journalier minimal de 406 m³/s le 15 août. La limite amont du coin salé est remontée jusqu'au PK 293,25 (mesure CNR du 21 août 2005).

Sur le Petit Rhône, les modélisations d'EDF indique que le seuil de Sylveréal peut être franchi lors d'étiages marqués du Rhône.

La carte de situation ci-dessous présente la localisation des différents seuils.

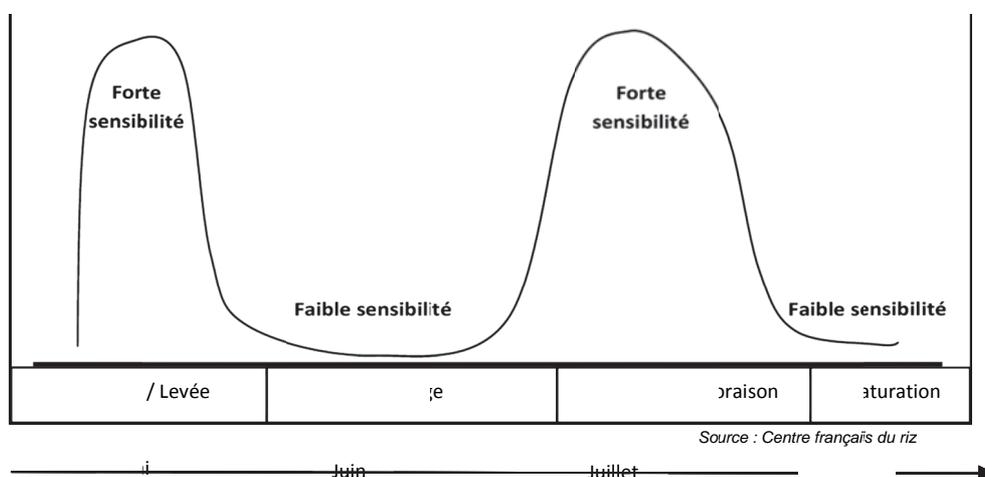
Figure 32 : Débits (mesurés à Beaucaire) associés à la remontée du coin salé en Camargue



LA REMONTEE DU COIN SALE PEUT ETRE UNE CONTRAINTE PENDANT LES MOIS CRITIQUES DE LA CULTURE DU RIZ

L'eau utilisée pour l'irrigation du riz est pompée dans le Petit ou le Grand Rhône. La remontée du coin salé jusqu'au niveau de ces pompages constitue une forte contrainte pour les riziculteurs. Les stations de pompage sont plus ou moins sensibles à la remontée du coin salé en fonction de la profondeur de ce dernier. Les coups de mistral favorisent le mélange des eaux et peuvent induire de très fortes augmentations de la salinité des eaux d'irrigation, en particulier dans le Grand Rhône. En fin de cycle (fin août), il est courant (en moyenne une fois tous les deux à trois ans selon l'expert du Centre Français du Riz contacté) que les irrigants les plus aval soient obligés d'interrompre les pompages en raison d'une trop forte salinité. **Ces interruptions sont relativement ponctuelles et ne durent généralement que quelques jours, lorsque les bas débits du Rhône sont conjugués à un épisode de mistral. Cela représente une gêne pour les riziculteurs mais reste généralement compatible avec la conduite de la culture et une production satisfaisante.**

C'est pendant les stades de germination/levée (mai), puis de floraison (de mi-juillet à mi-août) que le riz est le plus sensible et qu'une remontée du coin salé est le plus dommageable à la culture (à partir de niveaux dépassant 1 g/l).



Comme déjà évoqué au chapitre 1.7, **la campagne 2011 a été particulièrement problématique pour les riziculteurs**. En effet, des débits exceptionnellement bas pour la saison ont été rencontrés au printemps, à un stade critique du cycle de culture, et ont favorisé la remontée du coin salé au-delà du seuil de Terrin (source : Centre français du riz, Convention France-Agrimer, Conduites et pratiques culturales, rapport d'activité 2011). Une salinité de l'eau d'irrigation allant jusqu'à 5 g/l a été mesurée. Au moins 2000 ha ont été fortement touchés, dont 600 ha ont dû être ressemés selon le SRFF (Syndicat des Riziculteurs de France et Filière). Une remontée des débits du Rhône et un épisode pluvieux sur la Camargue ont toutefois permis un rétablissement de la situation au mois de juin.

1.12. LA PRECISION DES STATIONS DE MESURE DES DEBITS DU RHONE A L'ETIAGE EST DE L'ORDRE DE 10%

Une douzaine de stations hydrométriques permettent de suivre les débits du Rhône en France. Nous nous concentrons ici sur les six stations de référence : Pognny, Lagnieu, Ternay, Valence, Viviers, Beaucaire.

Il est à noter que ces six stations hydrométriques disposent d'enregistrements de débits depuis les années 1920, sans données lacunaires, ce qui est remarquable. On dispose ainsi de chroniques de débits mesurés de 90 ans environ sur le Rhône.

DES MESURES MOINS PRECISES AU DROIT DES STATIONS « DOUBLES » SUR LE RHONE, EN PARTICULIER A L'ETIAGE

Des ouvrages hydroélectriques contrôlent fortement la ligne d'eau sur 80% du linéaire du Rhône (cf. chapitre 1.5).

Certaines stations hydrométriques (Ternay, Valence, Viviers) sont situées sur ces secteurs. Au droit de ces stations, la **relation hauteur-débit n'est pas univoque** et il est donc nécessaire de mesurer une deuxième cote en aval pour déterminer le débit.

Pour ces stations « doubles », la connaissance des très bas débits est **nettement plus imprécise** que pour des stations simples, en particulier **en période de basses eaux**. Cela s'explique par la difficulté à construire une loi hauteur-débit double fiable en raison de la faible pente, à bas débits, entre les deux limnimètres.

DES DEBITS MOYENS CRITIQUES PLUS PRECIS QUE LES MESURES EN TEMPS REEL

Les stations hydrométriques mesurent des hauteurs d'eaux à l'échelle de l'heure ou de la minute. Ces données en temps réel sont ensuite critiquées par les services de la CNR et permettent d'obtenir une meilleure précision. En outre, la précision est toujours améliorée lorsque l'on calcule des débits moyens sur des pas de temps longs (moyenne mensuelle par exemple).

Depuis quelques années, la CNR effectue de nouvelles corrections des débits, en croisant les mesures de stations hydrométriques avec la connaissance des débits turbinés par les barrages sur le Rhône. Ce travail permet d'augmenter la précision des débits, en particulier en période d'étiage.

UNE INCERTITUDE PLUS FORTE EN ETIAGE, QUI COMMENCE A ETRE ETUDIEE

Il n'existe pas, à ce jour, de travaux d'analyse complet permettant de quantifier précisément l'incertitude des stations hydrométriques du Rhône à l'étiage. En particulier, il existe actuellement peu d'études abouties sur la précision des stations doubles. Des travaux sont en cours.

QUELQUES VALEURS A DIRE D'EXPERT

Il est cependant possible de donner quelques ordres de grandeurs à dire d'expert :

Tableau 4 : Estimation à dire d'expert de la précision des stations hydrométriques de référence

Stations nodales	Incertitude à dire d'experts
Pouigny	Station de très bonne qualité Incertitude estimée à 10% sur les débits mensuels
Lagnieu	Station à enjeux importants : amont de la CNPE de Bugey Station d'excellente qualité, très fiable, très suivie par les gestionnaires Incertitude estimée à 10% sur les débits mensuels Bonne fiabilité à l'étiage Très bonne précision au dessus de la valeur palier de 130 m ³ /s
Ternay	Station de très bonne qualité Incertitude estimée à 10% sur les débits mensuels Très bonne précision au dessus de la valeur palier de 400 m ³ /s
Valence	Station de très bonne qualité Incertitude à l'étiage de l'ordre de 10% au pas de temps mensuel Incertitude sur les débits journaliers estimée à 10% depuis une dizaine d'années
Viviers	Station de très bonne qualité Incertitude estimée à 10% au pas de temps mensuel depuis les années 2000
Beaucaire	Station très influencée par la marée, le vent... Incertitude de l'ordre de 20% en basses eaux Très bonne précision au dessus de la valeur palier de 500 - 600 m ³ /s

2. LES USAGES PRELEVEURS SUR LE BASSIN DU RHONE

L'eau du Rhône et de son bassin versant dessert de nombreux usages : une forte **production hydroélectrique**, une **irrigation** importante, notamment à l'aval du bassin, **l'alimentation en eau potable** de plus de 10 millions de personnes, de nombreuses **industries** et quatre **centrales nucléaires**. Ce document se concentre uniquement sur la **partie française** du bassin du Rhône, du Léman à la mer.

Notion de **Débit Fictif Continu** utilisée pour comparer plus facilement les prélèvements et les débits du fleuve ou de ses affluents

Les prélèvements sont présentés sous la forme de **volumes prélevés mensuels** ou **annuels**. L'unité utilisée sera le plus souvent le million de m³ par mois ou par an, noté respectivement Mm³/mois et Mm³/an.

On ramènera également les volumes prélevés à des débits.

On utilisera pour cela la notion de « **débit fictif continu** » (**DFC**). Un tel débit, exprimé en m³/s, se définit comme suit :

$$DFC = \text{Volume prélevé} / \text{durée de prélèvement.}$$

Un prélèvement de 30 Mm³ sur une année peut ainsi être ramené à un débit de 30 000 000 / (365 x 24 x 60 x 60) = environ 1 m³/s. Cela signifie que, si le volume de 30 Mm³ était prélevé de façon continue sur toute l'année, le débit prélevé instantané serait de 1 m³/s (dans la réalité, le prélèvement n'est certainement pas continu sur l'année, mais il s'agit là d'un débit « imaginaire » qui vise à comparer plus facilement les prélèvements avec la ressource disponible).

De la même manière un prélèvement de 2,5 Mm³ sur un mois est équivalent à un DFC d'environ 1 m³/s sur un mois.

2.1. TOUTE L'EAU PRELEVEE N'EST PAS CONSOMMEE

Parmi les **18 milliards de m³ prélevés** chaque année sur le bassin du Rhône en France, **seuls 3 milliards de m³ sont perdus pour le Rhône**. Ce prélèvement net de 3 milliards de m³ par an représente un débit fictif continu de 92 m³/s sur un an, ce qui représente 5 % du débit moyen du fleuve à Beaucaire.

En effet, **une part importante des volumes prélevés est restituée au milieu et aux cours d'eau** : retours des eaux de refroidissement industriel ; retours des stations d'épuration ; retours des canaux d'irrigation ; infiltrations des eaux d'irrigation ; etc.

Sur le volume total prélevé, environ **85 % retourne au milieu (environ 50 % si on exclut la part des centrales de production d'énergie et des transferts hydroélectriques)**.

Ainsi, les **volumes d'eau effectivement soustraits** au Rhône sont les volumes **consommés** effectivement, et les volumes **exportés** vers l'extérieur du bassin versant (vers l'étang de Berre par exemple). On appelle **prélèvements nets** ces volumes d'eau utilisés et finalement perdus pour le Rhône.

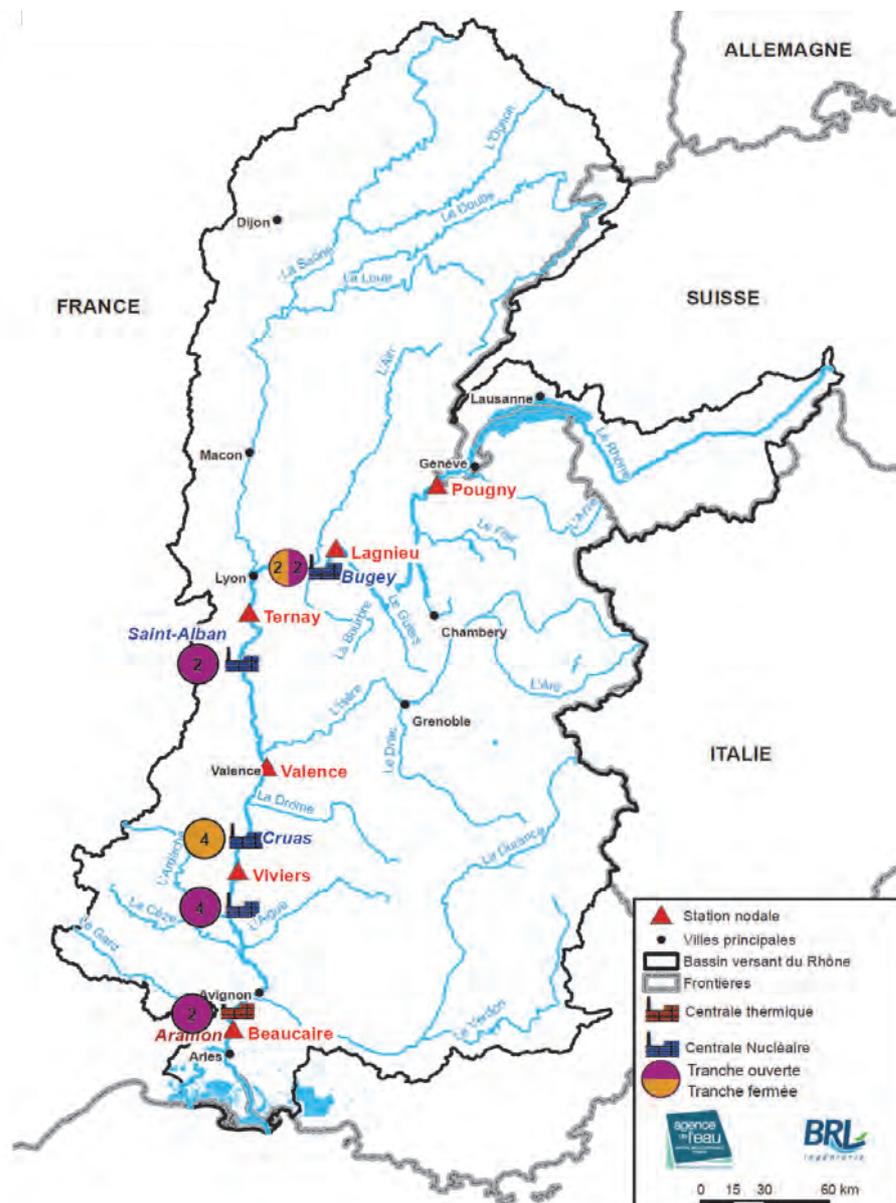
2.2. QUATRE CENTRALES NUCLEAIRES ET UNE CENTRALE THERMIQUE UTILISENT L'EAU DU RHONE

L'eau du Rhône est utilisée pour le refroidissement de quatre centrales nucléaires (Bugey, Saint-Alban, Cruas et Tricastin) et une centrale thermique (Aramon). Deux technologies sont utilisées :

- les **circuits ouverts** : d'importants volumes d'eau sont dérivés, refroidissent la centrale puis sont restitués au fleuve à une température de quelques degrés supérieurs à la température initiale ;
- les **circuits fermés** : le refroidissement se fait grâce à l'évaporation d'eau au niveau d'aéroréfrigérants. Les volumes d'eau prélevés sont nettement inférieurs mais ne sont pas entièrement restitués au fleuve.

Les volumes bruts prélevés sur le Rhône pour ces centrales sont très importants, près de 13 milliards de m³ par an, soit un débit fictif continu sur l'année de 410 m³/s. Mais **99 % de l'eau prélevée par les centrales sur le Rhône est restituée au fleuve**. Au final, le prélèvement net pour le refroidissement des 5 centrales est estimé à **142 Mm³/an**, soit l'équivalent d'un débit fictif continu de **4,5 m³/s**, prélevé en totalité sur le fleuve Rhône.

Figure 34 : Les centrales nucléaires et thermique de production d'énergie sur le Rhône



2.3. ENVIRON 10,5 MILLIONS D'HABITANTS SONT ALIMENTES PAR L'EAU DU BASSIN DU RHONE EN FRANCE

Environ **1 milliard de m³/an brut** est prélevé pour l'alimentation en eau potable sur le bassin du Rhône en France. Ce volume dessert environ **10,5 millions d'habitants**.

Sur ces 1,1 milliards de m³ brut prélevés, on décompte :

- 82 % prélevés sur les bassins affluents du Rhône (cours d'eau et nappes) ;
- 16 % prélevés dans la nappe du Rhône, et majoritairement pour la communauté urbaine de Lyon ;
- 2 % prélevés sur le fleuve Rhône lui-même, et majoritairement à destination de communes du Gard et de l'Hérault, via le réseau BRL.

Les trois prélèvements les plus importants en volume sont :

- la **communauté urbaine de Lyon**, qui prélève principalement dans la nappe du Rhône, un volume de l'ordre de 99 Mm³/an ;
- la **Société du Canal de Provence**, qui prélève dans la Durance et le Verdon, un volume de l'ordre de 87 Mm³/an pour l'AEP ;
- la **communauté urbaine de Marseille Provence Métropole**, avec 106 millions de m³ d'eau prélevée dans le Durance et le Verdon.

La plupart de ces volumes d'eau retourne au Rhône via les réseaux d'assainissement sur le Rhône et ses affluents : on considère un **taux de retour de l'ordre de 70 %** à l'échelle du bassin.

Cependant, une partie des volumes dessert également **des populations à l'extérieur du bassin** : ville de Marseille, communes de PACA et de Languedoc Roussillon, etc. ; via les réseaux de canaux, et ne reviennent pas au système Rhône.

Au final, le prélèvement net total associé à l'alimentation en eau potable est estimé à **535 Mm³/an**, soit un débit fictif continu sur l'année de l'ordre de **17 m³/s**.

2.4. ENVIRON 221 000 HECTARES SONT IRRIGUES A PARTIR DE L'EAU DU BASSIN DU RHONE EN FRANCE

On estime à environ **221 000 hectares** le total des superficies effectivement irriguées à partir de l'eau du bassin versant du Rhône, soit environ 14 % de la superficie irriguée nationale. Une partie de ces superficies (estimées à environ 15 000 ha) sont situées à l'extérieur du bassin du Rhône, et desservies par les réseaux de canaux (notamment SCP, canaux CED en Durance et BRL).

DES SURFACES IRRIGUEES PRESENTES SUR L'ENSEMBLE DU BASSIN, ET MAJORITAIREMENT SUR LES BASSINS DE L'ISERE, LA DURANCE, ET DANS LE DELTA DU RHONE

Les **surfaces irriguées** sont présentes dans l'ensemble des départements, mais **se concentrent dans la moitié sud du secteur étudié**, notamment dans la vallée du Rhône et de la Durance.

Les **deux principales cultures irriguées sur le bassin versant sont le maïs grain et semence et les cultures de vergers et petits fruits**. Elles représentent au total environ **50 % des superficies irriguées à partir d'eau du bassin du Rhône**. Les cultures de vergers sont principalement localisées dans le sud du territoire d'étude, dans les moyennes et basse vallées du Rhône, en Provence et dans le Gard, alors que le maïs irrigué se retrouve généralement dans la basse vallée de la Saône et en moyenne vallée du Rhône.

Les prairies et Surfaces Toujours en Herbe représentent au total 15 % des superficies irriguées. Elles sont principalement localisées en zone de montagne et dans le delta du Rhône, où le foin de la Crau est cultivé sur plusieurs milliers d'hectares.

Les légumes frais, fraises et melon, ainsi que la vigne, représentent chacun environ 10 % des surfaces irriguées. La vigne irriguée est localisée à 99 % au sud de Tricastin.

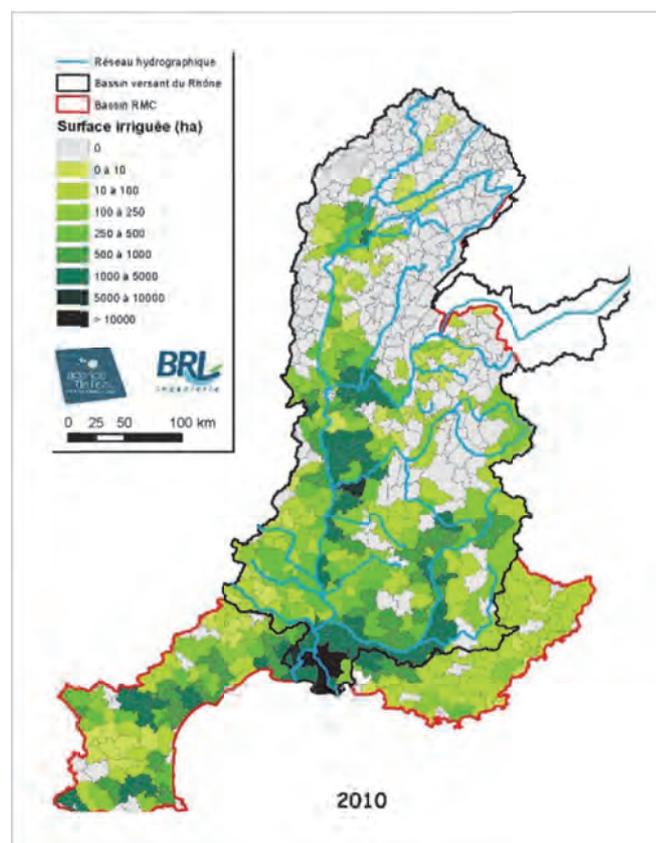
Parmi les « autres céréales irriguées » plus de 70 % des surfaces sont cultivées dans le delta du Rhône et correspondent à la riziculture de Camargue.

Les sous-bassins de l'Isère, de la Durance et du Delta du Rhône représentent à eux seuls près de 60 % des surfaces irriguées par le bassin versant du Rhône.

Entre 2000 et 2010, les superficies irriguées ont nettement diminué. Cette baisse se rencontre sur l'ensemble du territoire et représente une perte de 13 % des superficies irriguées. Les diminutions de surface touchent l'ensemble des cultures, à l'exception de la vigne irriguée qui se développe.

Sur certains secteurs, notamment autour de l'agglomération de Lyon, dans les Bouches-du-Rhône et le Vaucluse, les terres agricoles sont perdues sous l'effet de la pression de l'urbanisation. En zone de montagne, la disparition de certains réseaux gravitaires contribue également à la perte de surfaces irriguées. À ceci vient s'ajouter la crise de certaines filières agricoles, notamment les productions de fruits et légumes.

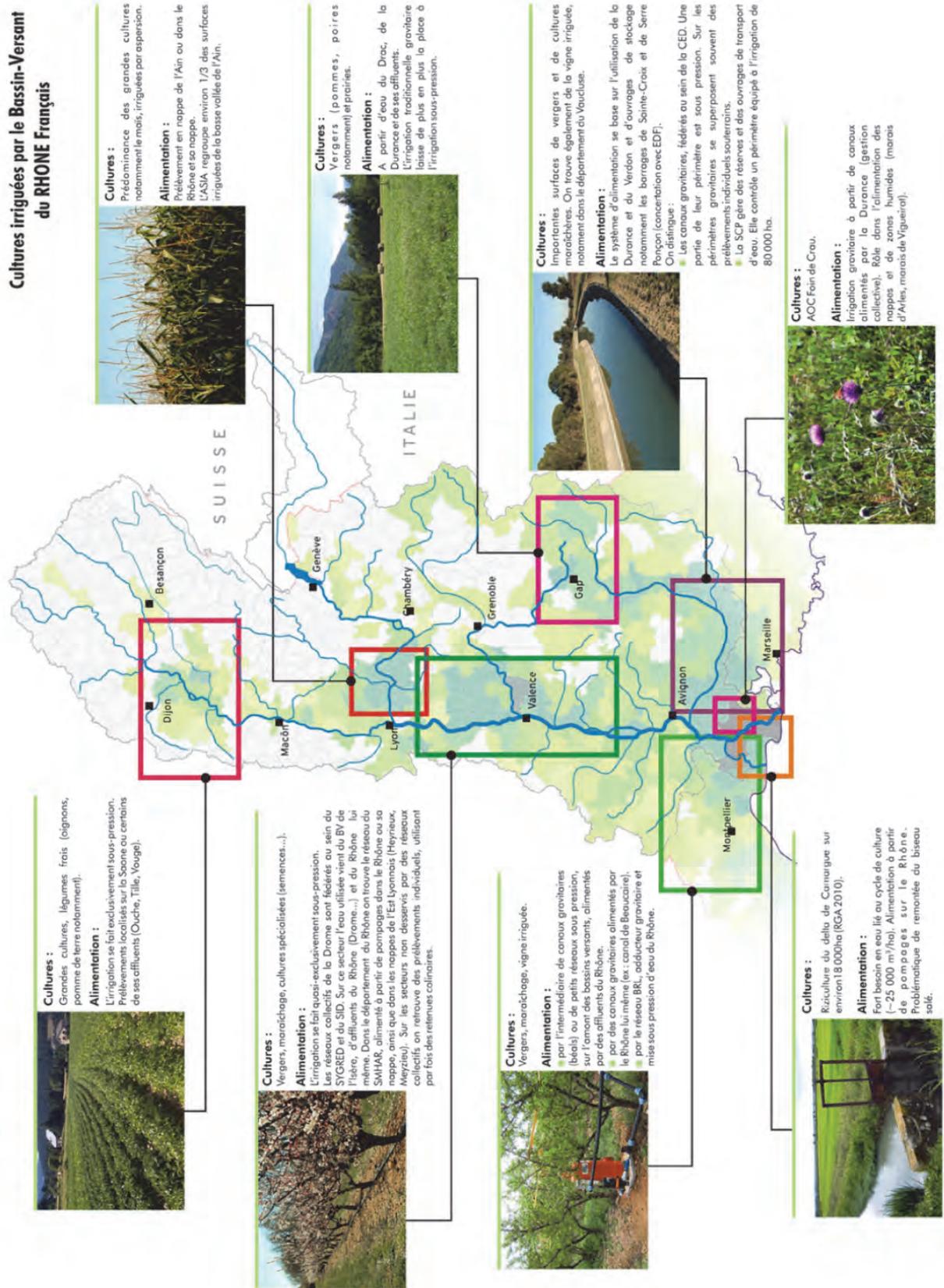
Figure 35 : Superficies irriguées par canton en 2010



Source des données : RGA 2010

La planche suivante présente les grandes zones d'irrigation du bassin.

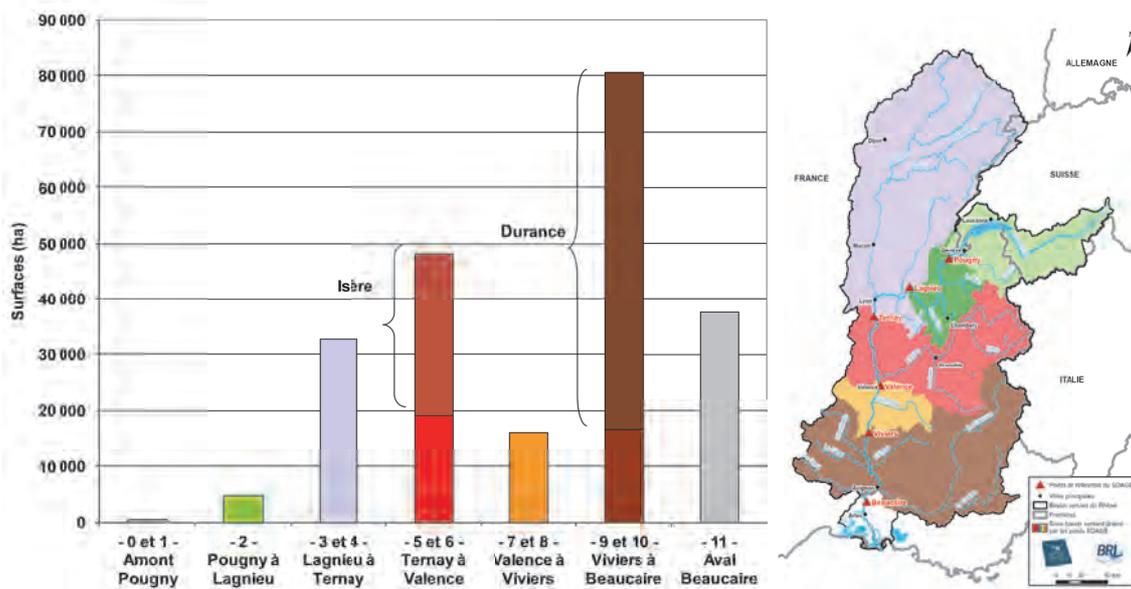
Figure 36 : Principales zones d'irrigation



La figure ci-après présente les surfaces irriguées par sous-bassins contributifs au Rhône. On note en particulier que :

- **les sous-bassins du Rhône entre Lagnieu et Ternay irriguent des surfaces conséquentes.** On retrouve sur ces bassins des prélèvements de l'Association Syndicale d'Irrigation de l'Ain (ASIA) et du Syndicat Mixte d'Hydraulique Agricole du Rhône (SMHAR), pour irriguer des surfaces importantes dont certaines sont géographiquement localisées dans les sous-bassins voisins : Ain, Rhône de Ternay à Saint-Alban (via le réseau Millery-Mornant du SMHAR par exemple) ;
- **les sous-bassins de l'Isère, de la Durance et du Delta du Rhône représentent à eux seuls une forte proportion des surfaces totales irriguées à partir du bassin versant du Rhône (près de 60 %).**

Figure 37 : Surfaces irriguées par sous-bassins contributifs du Rhône (partie française)



LES PLUS FORTS PRELEVEMENTS SE CONCENTRENT A L'AVAL DU BASSIN VERSANT, MARQUE PAR UNE IRRIGATION GRAVITAIRE IMPORTANTE, ET DES TRANSFERTS D'EAU VERS LES REGIONS PACA ET LANGUEDOC ROUSSILLON

Les pratiques d'irrigation ont largement évolué au cours de la dernière décennie. On rencontre des modes d'irrigation hétérogènes sur le bassin du Rhône :

- **à l'amont de Viviers, l'irrigation par aspersion représente 93 % des surfaces** et l'irrigation gravitaire moins de 2 % (0.2 % si on exclut les surfaces du sous-bassin de l'Isère) ;
- **à l'aval de Viviers, 46 % des surfaces sont irrigables en gravitaire**, (en zoomant au niveau du delta du Rhône, cette proportion atteint 67 %) ;
- **les secteurs Durance et Delta du Rhône représentent plus de 90 % des surfaces irriguées par gravité à partir de l'eau du bassin du Rhône.**

Ces chiffres ne sont pas sans lien avec le contexte propre à chaque sous-bassin et les cultures pratiquées. Alors que les cultures de céréales comme le maïs ou de vergers, dominantes dans la vallée du Rhône, sont adaptées pour l'irrigation sous-pression, le riz de Camargue ne saurait se passer d'un système gravitaire.

Les **préleveurs agricoles les plus importants** sur le bassin sont, **outre la riziculture** :

- de **nombreux canaux gravitaires** prélevant de l'eau du bassin de la **Durance**, notamment le Canal de la Crau, le Canal des Alpines et Canal Saint Julien, qui sont parmi les 3 plus gros préleveurs de 2008 à 2010, mais également le Canal de Carpentras et le Canal de Manosque (n°6 et 7), le Canal Mixte du Luberon, ... ;
- les **deux sociétés d'aménagement régionales** : la **SCP** (eau du bassin de la Durance) et **BRL** (eau du Rhône) ;
- quelques **grands canaux prélevant sur l'aval du Rhône** : canal de Beaucaire et de Nourriguier ;
- le **canal de la Bourne** (n°8 en 2009 et 2010), qui prélève sur **l'Isère** et dessert 10 000 ha entre les départements de l'Isère et la Drôme.

Les canaux de la Basse Durance (CED) et les réseaux BRL et SCP desservent des territoires au-delà du bassin versant du Rhône. Au total, **plus de 15 000 ha** (soit 6 à 7 % des surfaces irriguées totales à partir de l'eau du bassin du Rhône) **sont irrigués par l'eau du bassin du Rhône à l'extérieur** du bassin versant, dans les départements du Gard et de l'Hérault via le canal du Bas-Rhône-Languedoc, et dans le Var et les Bouches-du-Rhône via différents réseaux et canaux du système Durance-Verdon. On détaille les transferts dans le chapitre 2.8.

Aussi, on retrouve à l'aval du bassin du Rhône – en particulier sur le bassin de la Durance et la basse vallée du Rhône - les plus grandes surfaces irriguées, un mode d'irrigation gravitaire très présent, et l'existence de transferts vers l'extérieur du bassin : ces secteurs concentrent la majeure part des prélèvements nets agricoles.

EN MOYENNE, ENVIRON 1,2 MILLIARDS DE M³/AN NETS SONT PRELEVES POUR L'IRRIGATION

Environ **2,5 milliards de m³/an bruts** sont prélevés sur le bassin du Rhône pour l'irrigation ; mais une part importante est restituée au milieu : les **prélèvements nets sont estimés à environ 1,2 milliards de m³/an en moyenne**, soit l'équivalent de 39 m³/s sur une année.

Ces prélèvements nets ont été estimés par l'intermédiaire d'un modèle de besoin des plantes, ajusté à de nombreuses données du territoire, sur l'ensemble du bassin du Rhône. Ces travaux sont détaillés dans le rapport d'étude.

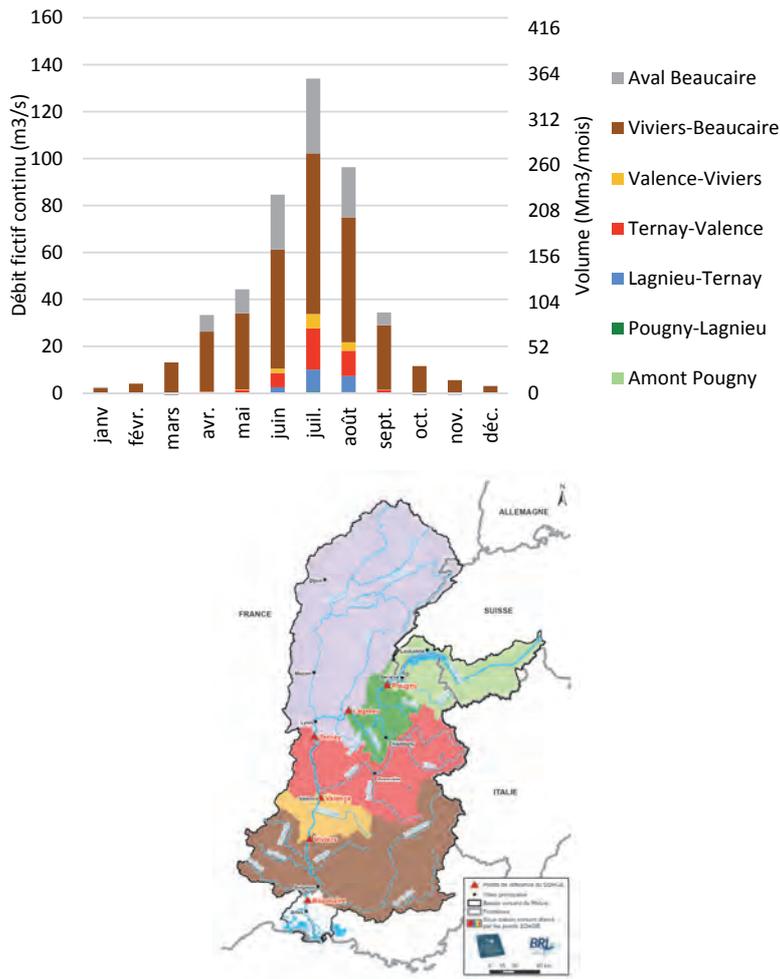
Les prélèvements pour l'irrigation se concentrent l'été, avec une **pointe au mois de juillet**, pour lequel les prélèvements nets totalisent **360 Mm³/mois** en année moyenne, soit un débit fictif de l'ordre de **135 m³/s**. Ces prélèvements varient d'une année sur l'autre, en fonction des conditions météorologiques notamment. On estime que, pour une année quinquennale sèche, le prélèvement du mois de juillet sur le bassin s'élève à environ 413 Mm³/mois, soit environ **154 m³/s**.

Les tronçons du delta du Rhône et de l'Ardèche de Viviers à Beaucaire (avec notamment la Durance) représentent plus de **75%** du prélèvement net le mois de pointe.

Les prélèvements nets agricoles sur le bassin versant du Rhône se répartissent comme suit :

- 23 % sur le fleuve Rhône ;
- 68 % sur les affluents ;
- 2 % sur la nappe du Rhône ;
- 6 % sur les autres nappes du bassin du Rhône.

Figure 38 : Prélèvements nets moyens pour l'irrigation (partie française du bassin du Rhône)



2.5. DE NOMBREUX INDUSTRIELS PRESENTS SUR LE BASSIN

Les principaux préleveurs industriels sur le bassin versant du Rhône sont des établissements du secteur de la chimie. **720 Mm³ brut** sont prélevés pour l'alimentation des industries du bassin. Cependant, **une part importante des prélèvements industriels retourne au milieu** : les taux de restitution de l'eau prélevée sont de l'ordre de **85 % à 100 %** pour la plupart des industriels.

Certains établissements prélèvent de l'eau au sein du bassin du Rhône mais la rejettent à l'extérieur, entraînant ainsi un prélèvement net plus important pour le bassin. Il s'agit d'établissements localisés dans les Bouches-du-Rhône, qui utilisent de l'eau du Rhône aval ou de la Durance.

Le prélèvement net total pour les usages industriels est estimé à **228 Mm³/an**, soit un débit fictif continu de l'ordre de **7 m³/s**.

2.6. L'EAU DU BASSIN DU RHONE PERMET UNE PRODUCTION HYDROELECTRIQUE DE 41 TWH/AN ENVIRON, 60% DE LA PRODUCTION FRANÇAISE. LA GESTION DES GRANDS OUVRAGES INFLUENCE LES DEBITS DU RHONE

Comme exposé au chapitre 1.3, le bassin du Rhône a été **fortement aménagé** en vue de produire de l'énergie : de grands **ouvrages de stockage sur les bassins affluents** et de nombreux **ouvrages au fil de l'eau**, sur le Rhône français et ses affluents, totalisent une production hydroélectrique de l'ordre de 41 TWh/an, soit **60 % de la production hydroélectrique française**.

Figure 39 : Production d'énergie électrique dans le bassin Rhône-Méditerranée (France)

Bassin Rhône Méditerranée	Hydroélectricité		Thermique et nucléaire		Total	
	Puissance MW	Productible GWh	Puissance MW	Productible GWh	Puissance MW	Productible GWh
Année de référence 2003						
Total EDF	10 600	24 200	14 800	89 200	25 400	113 400
Total CNR	3 000	16 000			3 000	16 000
Autres producteurs	400	1 500			400	1 500
Total producteurs	14 000	41 700	14 800	89 200	28 800	130 900

D'un point de vue énergétique, la vallée du Rhône produit aujourd'hui :

- près de 20 % de l'énergie électrique française,
- près de 25 % de l'énergie hydroélectrique française.

Le bassin du Rhône représente :

- près de 25 % de l'énergie électrique française,
- près de 60 % de l'énergie hydroélectrique française.

Source : Plan Rhône

Comme décrit au chapitre 1.4, la gestion des ouvrages de stockages a des effets sur l'hydrologie du Rhône à **l'échelle mensuelle**.

Ces ouvrages modulent la **disponibilité saisonnière des volumes d'eau présents sur les affluents**. Autrement dit, la production des grands ouvrages de stockage des affluents du Rhône entraîne un décalage de l'écoulement des débits dans le temps, mais n'entraîne pas un prélèvement net pour le Rhône à l'échelle annuelle.

Au pas de temps mensuel, cet usage induit des modifications importantes du régime hydrologique du Rhône et de ses affluents. **Au mois de mai, le volume stocké sur la partie française du bassin du Rhône, et donc soustrait à son débit, est ainsi estimé à un débit fictif de l'ordre de 220 m³/s environ**. Les plus grands volumes de régulation sont situés sur le bassin de l'Isère et de la Durance.

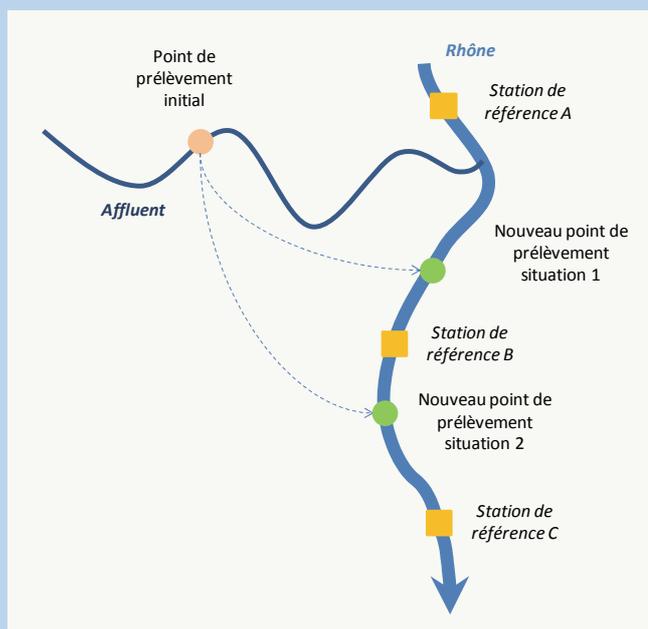
Sur la partie suisse du bassin du Rhône, les ouvrages de stockage hydroélectriques et la régulation du Léman influencent également fortement l'hydrologie du Rhône au pas de temps saisonnier, avec un volume utile de l'ordre de 1,6 milliards de m³.

2.7. DES TRANSFERTS ENTRE SOUS-BASSINS AFFLUENTS DU RHONE

À l'intérieur du bassin du Rhône, il existe de nombreux transferts d'eau entre les affluents, dont les principaux sont les suivants :

- **les eaux d'Emosson turbinées** en Suisse et restituées par le Léman selon la demande française : comme décrit dans un chapitre précédent, le barrage d'Emosson, situé sur le bassin du Rhône alpestre en Suisse, reçoit des eaux issues du bassin de l'Arve en France. Ainsi un volume **de l'ordre de 90 Mm³/an** en moyenne est transféré du bassin de l'Arve vers le Rhône amont du Léman.
La régulation du lac Léman et le **protocole d'Emosson** permettent une restitution de ce volume à l'aval du Léman **à la demande de la France**. En pratique, c'est souvent EDF, dans une optique de refroidissement des centrales nucléaires, qui est à l'origine de ces demandes.
- **le transfert du barrage de Belleville**, entre les bassins de l'Arve et de l'Isère. Ce transfert permet une production hydroélectrique, et représente un volume transféré d'environ **45 Mm³/an**.
- **le canal de Gap** transfère des eaux du Drac (bassin de l'Isère) vers la Durance : environ **30 Mm³/an** sont transférés et satisfont plusieurs usages : production hydroélectrique, irrigation et alimentation en eau potable.
- **de nombreux autres transferts existent sur le bassin, à vocation agricole** (canal de la Bourne, Syndicat Mixte d'Hydraulique Agricole du Rhône (SMHAR), Association Syndicale d'Irrigation de l'Ain (ASIA), canaux durancien du Vaucluse, etc.).

La substitution de prélèvements dans des affluents ou leur nappe par des prélèvements dans le Rhône est neutre pour ce dernier.



Des projets sur le point d'aboutir ou de plus long terme consistent à remplacer des prélèvements dans des affluents du Rhône ou leur nappe par des prélèvements dans le Rhône lui-même.

Ces substitutions permettent de réduire la pression sur les affluents considérés et participent à l'équilibre besoins/ ressources des bassins versants concernés.

Pour le Rhône lui-même, notons que l'opération est neutre vis-à-vis du débit soustrait à son écoulement. Seule la longueur du tronçon du Rhône impacté peut éventuellement être modifiée, selon où se situe le nouveau point de prélèvement par rapport à l'ancien. En effet, que l'eau soit prélevée sur l'affluent ou sur le fleuve Rhône, il s'agit d'un volume d'eau qui ne contribue plus au débit du fleuve Rhône.

En terme de bilan global calculé à l'échelle des « stations de référence » du SDAGE, l'opération aura un impact ou non selon également où se situera le nouveau point. Ainsi, dans l'exemple présenté, en situation 1 le bilan du prélèvement n'est pas modifié sur le tronçon A-B du Rhône. Dans la situation 2, le prélèvement se reporte sur le tronçon B-C.

2.8. DE L'EAU DU BASSIN DU RHONE EST EXPORTEE VERS D'AUTRES TERRITOIRES

Plusieurs ouvrages transfèrent des eaux du bassin du Rhône vers l'**extérieur du bassin**, principalement pour des **usages de production hydroélectrique ou d'irrigation**. Les volumes transférés constituent **des pertes nettes pour le Rhône**. On présente ci-après les principaux transferts.

DES TRANSFERTS A VOCATION ESSENTIELLEMENT HYDROELECTRIQUE

Environ 900 Mm³/an sont déviés de la Durance aval et rejetés dans l'étang de Berre par EDF via l'ouvrage de St Chamas à **vocation hydroélectrique**. Les volumes transférés vers l'étang de Berre ont été diminués, en accord la réglementation et la mise en application du **Plan Barnier** en 1993 puis en 2006, qui vise à limiter les apports en eau douce et de limon à l'étang de Berre.

Actuellement, les débits transférés de la Durance vers l'étang de Berre représentent un débit fictif continu annuel de **30 m³/s en moyenne**.

NB : Indiquons qu'il existe un transfert EDF se faisant dans l'autre sens (c'est-à-dire qu'il correspond à une importation d'eau pour le bassin du Rhône). **Environ 200 Mm³/an sont en effet importés du bassin de la Loire vers l'Ardèche (affluent rive droite du Rhône)**, via le complexe de Montpezat. Ce complexe permet une production hydroélectrique importante, ainsi qu'un soutien d'étiage de l'Ardèche. La majeure partie des volumes sont transférés d'octobre à mars (débit transféré moyen de l'ordre de 6 à 10 m³/s) ; en été, les débits transférés sont de l'ordre de 2 à 3 m³/s en moyenne.

Vu du Rhône, le solde entre l'import depuis le bassin de la Loire et l'export vers l'étang de Berre lié au système Durance est une exportation (assimilable à un prélèvement).

DES TRANSFERTS A VOCATION MULTI- USAGES ...

À l'**aval du bassin versant du Rhône**, plusieurs transferts d'eau à **vocation principalement agricole** ont été mis en place. **Au total, plus de 15 000 ha** (soit 6 à 7 % des surfaces irriguées totales à partir de l'eau du bassin du Rhône) sont irrigués par l'eau du bassin du Rhône à l'extérieur du bassin versant, dans les départements du **Gard** et de **l'Hérault** via le **canal du Bas-Rhône-Languedoc**, et dans le **Var** et les **Bouches-du-Rhône** via différents **réseaux et canaux du système Durance-Verdon** (notamment le **réseau de la Société du Canal de Provence, et les canaux de la Commission Exécutive de la Durance**). Des prélèvements pour l'alimentation en eau potable et pour des industries sont également alimentés par ces transferts. Les transferts des plus gros volumes sur le bassin du Rhône sont les suivants.

> Le canal Philippe Lamour : irrigation du Languedoc-Roussillon à partir de l'eau du Rhône

Le canal Philippe Lamour, ou canal du Bas-Rhône-Languedoc, inauguré en 1960, parcourt quelques 60 km depuis sa prise sur le Rhône à Fourques jusqu'aux abords de Montpellier. Il est associé à d'autres canaux (canal des Costières, canal de Campagne) sur lesquels l'eau est pompée et alimente un réseau sous-pression qui dessert les communes et les agriculteurs dans les départements du Gard et de l'Hérault, une partie de l'eau étant donc utilisée hors du bassin versant du fleuve. Les prélèvements annuels de BRL, tous usages confondus, varient de **115 à 142 Mm³/an** entre 2003 et 2010.

L'eau est utilisée à environ **55 % pour de l'irrigation agricole, à 18 % pour l'alimentation en eau potable, 11 % pour le soutien d'étiage, 10 % pour l'irrigation d'espaces verts et 6 % pour des usages industriels** (source : BRL Exploitation).

La période de plus fort prélèvement correspond aux mois d'été, avec une pointe en juillet durant laquelle le prélèvement brut (tous usages confondus) **s'élève en moyenne à près de 24 Mm³, soit un débit fictif continu d'environ 9 m³/s**.

Figure 40 : Organisation du réseau BRL alimenté à partir du Rhône



> Le système Durance-Verdon : irrigation de la Provence à partir de l'eau Durancienne

A l'heure actuelle, les enjeux autour de l'utilisation des eaux de la Durance et du Verdon sont nombreux et fortement interconnectés : hydroélectricité, irrigation, alimentation en eau potable, recharge de nappe, impacts sur les étangs et zones humides, ...

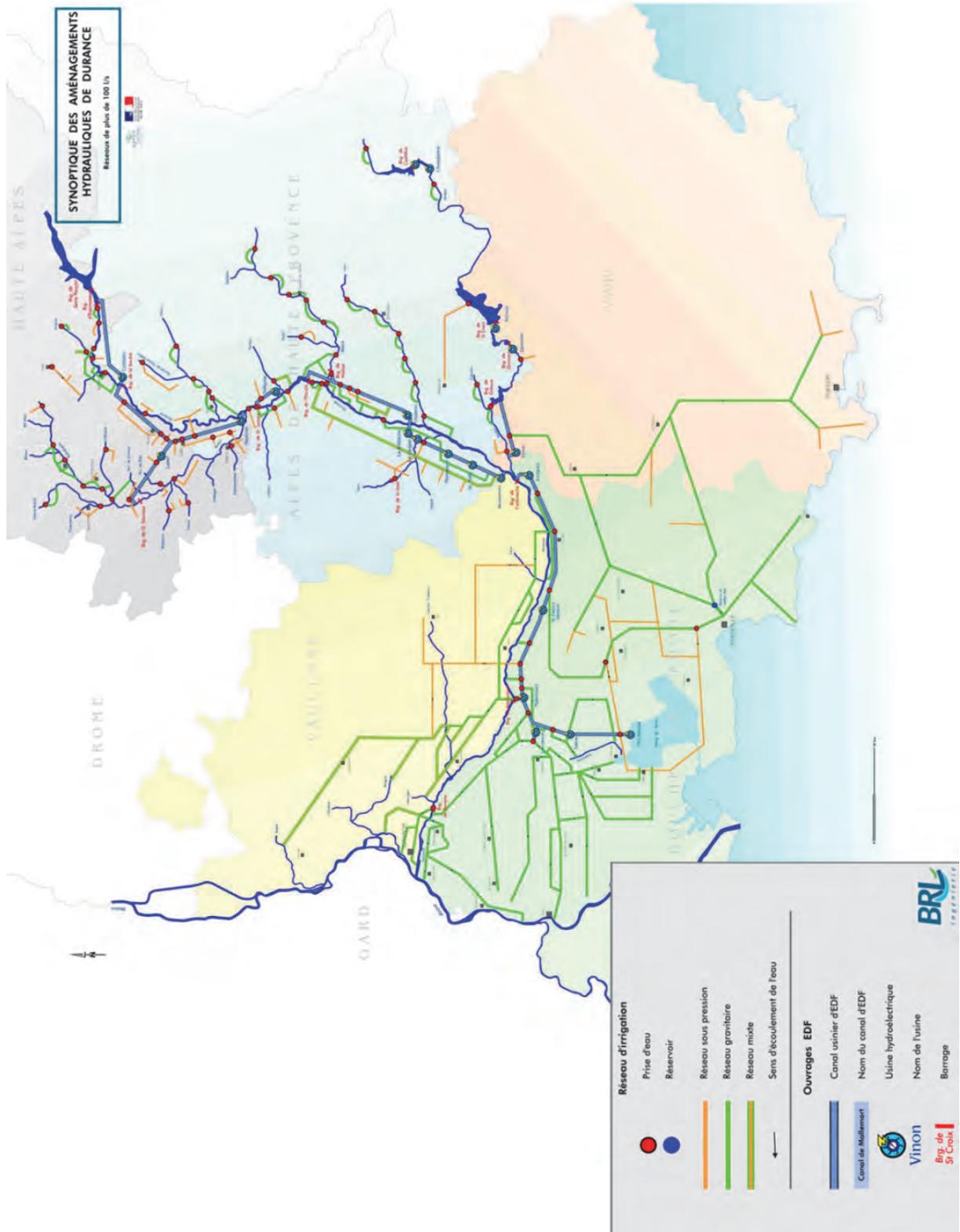
Les grands ouvrages de stockage, notamment les barrages de Serre-Ponçon (tranche agricole de 200 Mm³) de Sainte-Croix (tranche agricole de 140 Mm³) structurent le fonctionnement et la gestion de l'eau sur le sous-bassin de la Durance.

On peut distinguer deux entités réalisant un transfert entre le sous-bassin de la Durance et l'extérieur du bassin versant du Rhône :

- le réseau de la **Société du Canal de Provence (SCP)** : Elle fournit de l'eau pour l'agriculture (**80 000 hectares irrigables**), mais également pour les communes (espaces verts, bornes incendie), les particuliers, pour l'**eau potable de 110 communes** et pour des usages industriels (400 entreprises alimentées). **Son prélèvement brut moyen sur la période 2000-2010 est de 178 Mm³/an**, et varie de 154 à 201 Mm³. (source : base de données de l'Agence de l'eau) ;
- **les canaux de la basse vallée de la Durance**. La répartition et la gestion de l'eau qui alimente ces canaux sont gérées par la **Commission Exécutive de la Durance (CED)**. **Leur prélèvement brut est de l'ordre de 1,3 milliards de m³** (moyenne sur les 3 dernières années, source : CED), ils sont donc de l'ordre de 30 % du prélèvement brut total sur le bassin versant du Rhône hors refroidissement des centrales. Une partie du prélèvement brut rejoint la Durance via les retours des canaux, le reste est consommé pour l'agriculture, ou bien correspond à des retours qui, suivant les cas, sortent du bassin ou alimentent le Rhône ou certains de ses affluents. Les prélèvements sont concentrés sur la période d'été. **Les mois de juillet et août représentent à eux deux plus de 30 % des prélèvements bruts totaux.**

On peut citer également le transfert du **canal de Marseille**, qui contribue à l'alimentation en eau potable de la communauté urbaine de Marseille à partir d'une prise en Durance. Le volume prélevé est de l'ordre de 40 Mm³/an.

Figure 41 : Synoptique des aménagements hydrauliques de Durance



2.9. BILAN DES PRELEVEMENTS NETS SUR LE BASSIN VERSANT DU RHONE MOIS PAR MOIS ET TRONÇON PAR TRONÇON

On présente ici une vision globale de l'ensemble des prélèvements nets sur le bassin du Rhône, pour tous les usages préleveurs.

Les valeurs présentées correspondent à la « situation présente ». Les hypothèses suivantes ont été retenues pour les différents usages :

- pour l'AEP et l'industrie, les valeurs représentées correspondent aux prélèvements de 2010 ;
- pour l'irrigation, nous avons calculé les prélèvements correspondant aux surfaces irriguées en 2010 et au climat sur la période 1980-2011. A partir de ces calculs, nous représentons les valeurs moyennes : il s'agit des prélèvements agricoles nets correspondant aux surfaces irriguées actuelles, et pour des conditions climatiques moyennes sur 1980-2011 ;
- pour les transferts : nous considérons la moyenne calculée sur la période 2006-2011. En effet, les volumes transférés à St Chamas ont nettement diminué à partir de 2006 en application du plan Barnier ;
- pour les influences des ouvrages hydrauliques de stockage, nous considérons la moyenne sur la période 1980-2011.

Le tableau ci-dessous met en perspective, à l'échelle annuelle, pour tout le bassin, les principaux prélèvements nets avec les prélèvements bruts.

Tableau 5 : Vue d'ensemble à l'échelle annuelle des prélèvements bruts et nets sur le bassin du Rhône

Usages	Prélèvement brut	Prélèvement net	
	Mm3	Mm3	débit fictif continu (m3/s)
Irrigation (221 000 ha irrigués)	2 500	1 200	39
Industrie	720	230	7
Alimentation en Eau Potable (10,5 millions d'habitants)	1 100	535	17
Refroidissement des centrales nucléaires (4 centrales)	13 000	140	4.5
Navigation	100	100	3.2
Transferts hydroélectriques (du bassin vers extérieur = transfert vers étang de Berre)	900	900	28
(de l'extérieur vers le bassin = transfert du bassin de la Loire vers l'Ardèche)	- 200	- 200	- 6
TOTAL	18 000	2 900	92

Le schéma de la page suivante présente les ordres de grandeurs des prélèvements nets par usage, par tronçon, mois par mois.

Figure 42 : Vue d'ensemble des prélèvements nets sur le bassin du Rhône par usages, par tronçon et par milieu aquatique (Rhône et sa nappe / affluents et autres nappes)

VUE SYNOPTIQUE DES PRELEVEMENTS DU BASSIN DU RHÔNE, DU LEMAN A LA MER EN "SITUATION ACTUELLE"

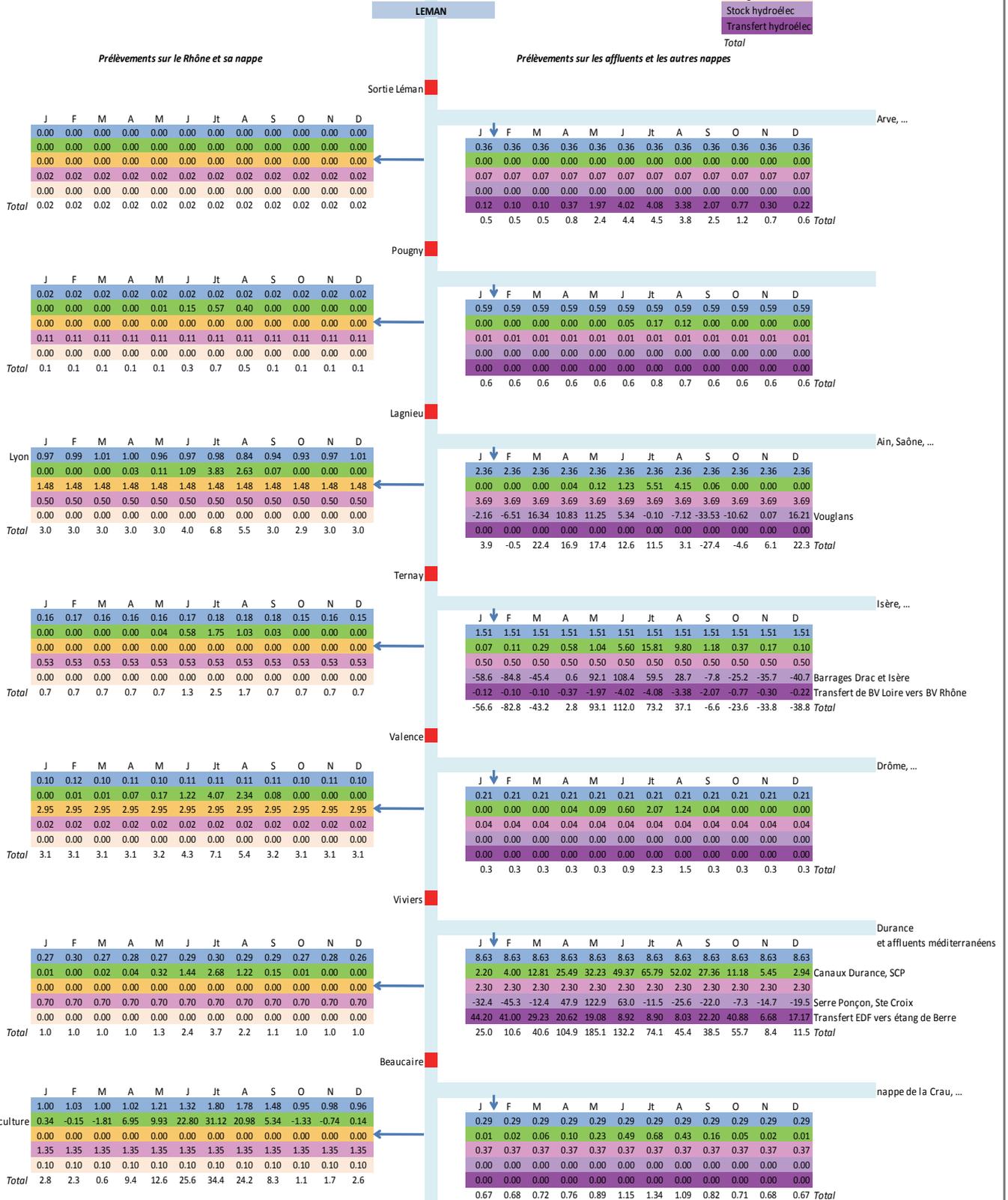
(AEP : 2010, Irrigation : RGA 2010, Transfert hydroélec : moy 2006-2011, Stock/Déstock barrages : moyenne 1980-2011)

Tous les prélèvements indiqués sont des prélèvements NETS mensuels en m3/s

débits en m3/s

- AEP
- Agriculture
- CNPE
- Industrie
- Navigation
- Stock hydroélec
- Transfert hydroélec
- Total

Il y a des prélèvements en Suisse. Mais ils n'ont pas été étudiés dans cette étude.



REPARTITION DANS LE TEMPS : LES PRELEVEMENTS SUR LE BASSIN DU RHONE SE CONCENTRENT L'ETE, PENDANT LA SAISON D'IRRIGATION ; LES STOCKAGES DES GRANDS BARRAGES SE CONCENTRENT AU PRINTEMPS

Le poids des usages est **très variable au cours de l'année**. La figure ci-dessous illustre la répartition dans l'année des niveaux de prélèvements à l'échelle du bassin du Rhône. (Pour les ouvrages de stockage, on représente les volumes stockés comme des prélèvements ; et les volumes déstockés à l'opposé des prélèvements, en valeurs négatives).

> D'avril à août : les prélèvements agricoles et le stockage des grands ouvrages représentent les plus grands volumes

Les **prélèvements agricoles** représentent une **forte part** des prélèvements, et se concentrent **d'avril à septembre**.

De plus, c'est pendant les mois d'avril à août que s'effectuent la **majeure partie des stockages des grands ouvrages hydroélectriques**, qui stockent l'eau de fonte des **vallées alpines** pour la restituer principalement l'automne et l'hiver.

Ainsi, **les plus grands volumes d'eau sont mobilisés pendant la période d'avril à août, sur le bassin du Rhône (partie française)**.

La période de pointe correspond aux mois de **mai et juin** : **en moyenne, plus de 800 Mm³/mois, soit l'équivalent de plus de 300 m³/s sont mobilisés par les différents usagers pendant ces deux mois**.

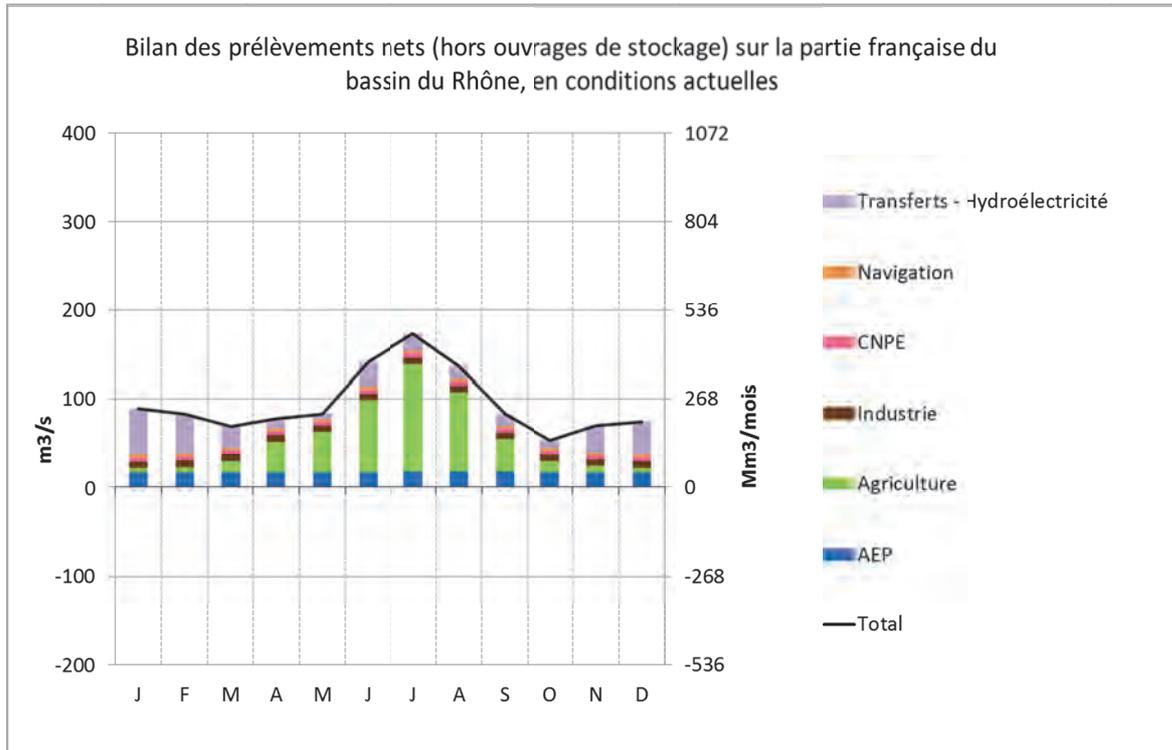
> De septembre à mars, le déstockage des grands ouvrages compense, en moyenne, les prélèvements et les transferts d'eau à l'échelle du bassin.

Les mois **d'octobre à mars** sont marqués par l'absence de prélèvements pour l'irrigation, et par le **déstockage des plus grands barrages**, notamment sur le bassin de l'Isère et de la Durance. À l'échelle du bassin (au niveau de Beaucaire), le déstockage des barrages peut compenser en moyenne les différents prélèvements et les transferts d'eau de la Durance vers l'étang de Berre : cet équilibre varie en fait selon les années.

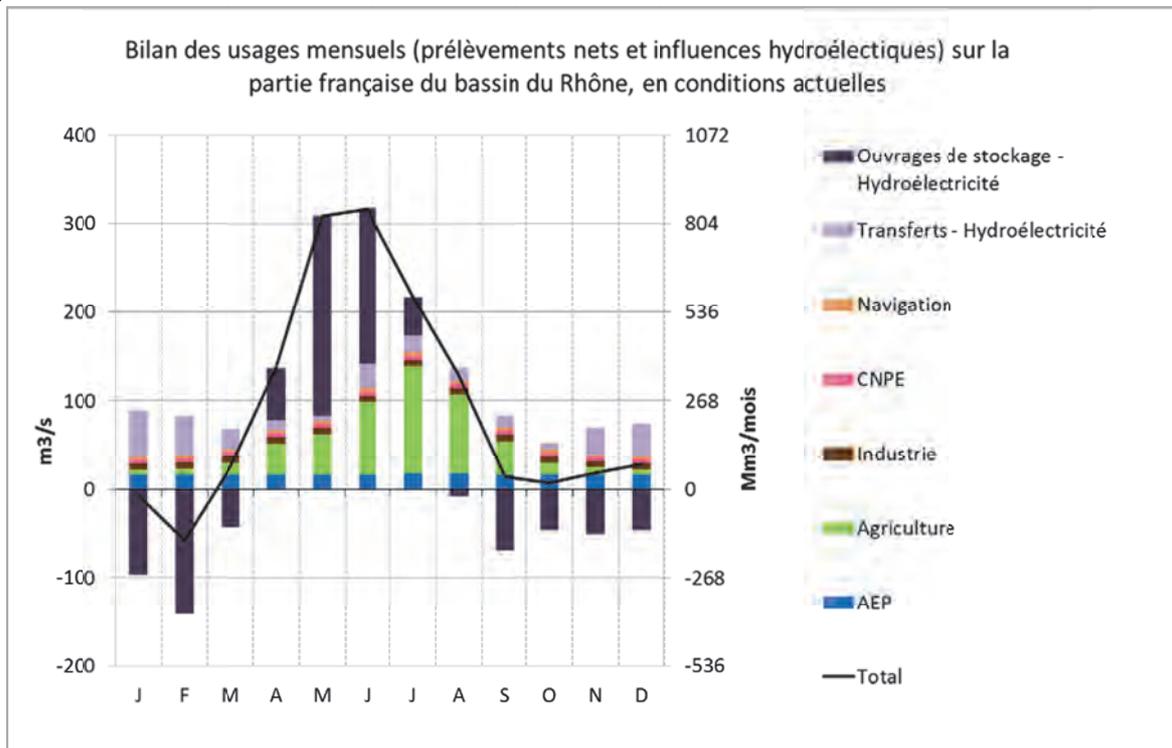
A l'échelle de l'année, **l'hydroélectricité, en stockant au printemps/été, et en déstockant en hiver lorsque la demande en électricité augmente, modifie significativement le profil du bilan des prélèvements nets sur le fleuve Rhône**.

Figure 43 : Bilan des prélèvements nets mensuels sur la partie française du bassin du Rhône (a/ hors ouvrages de stockage ; b/ avec les ouvrages des stockage)

a/



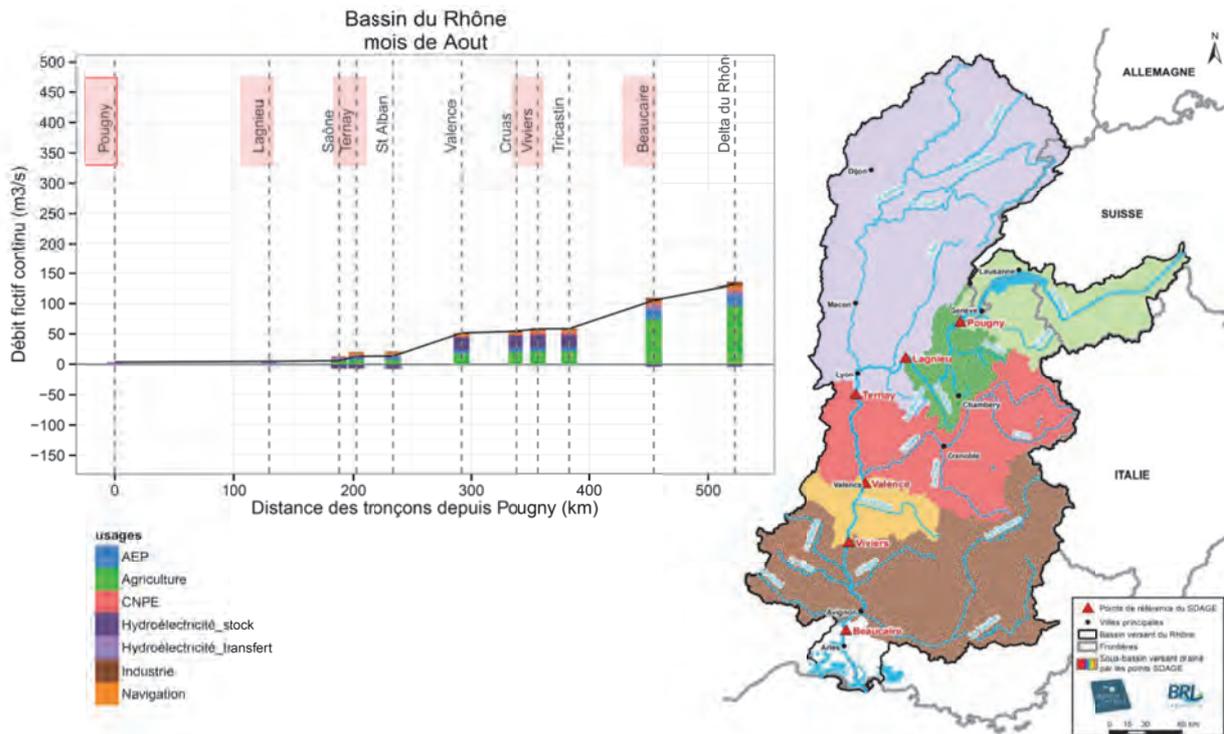
b/



REPARTITION DANS L'ESPACE : LES PRELEVEMENTS SE CONCENTRENT A L'AVAL DU BASSIN

La figure de la page suivante donne **une vision spatiale des prélèvements moyens mensuels** sur le bassin du Rhône en France, **cumulés de l'amont vers l'aval**. Chaque graphique illustre, pour un mois de l'année, les prélèvements cumulés jusqu'à un point de Rhône. L'axe des abscisses représente le linéaire du Rhône de Pougny à la mer, en km. À nouveau, les prélèvements et les stockages sont comptés en valeur positive ; les déstockages sont comptés en valeur négative. On donne ci-dessous l'exemple du mois d'août. On lit par exemple que la somme des prélèvements à l'amont de Valence représente en moyenne 50 m³/s au mois d'août. À l'amont de Beaucaire, la somme des prélèvements en août représente de l'ordre de 100 m³/s.

Figure 44 : Bilan des prélèvements moyens du mois d'Août de l'amont vers l'aval sur le bassin du Rhône

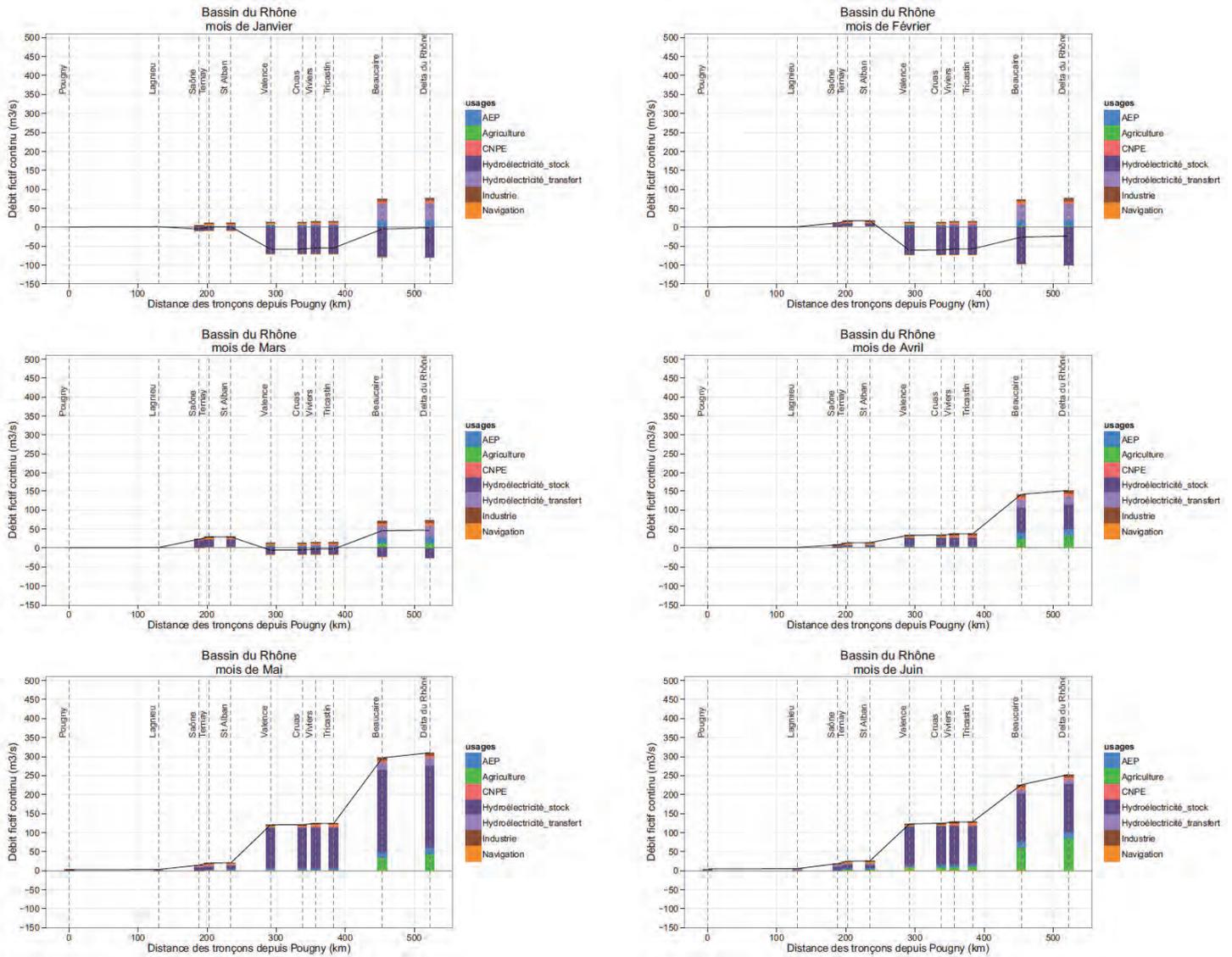


À l'amont de Ternay, les influences anthropiques sont relativement faibles comparativement au reste du bassin. En juillet, les prélèvements moyens sur cette zone totalisent 30 m³/s. Les influences des barrages sur le bassin de l'Ain sont de l'ordre de 10 à 20 m³/s.

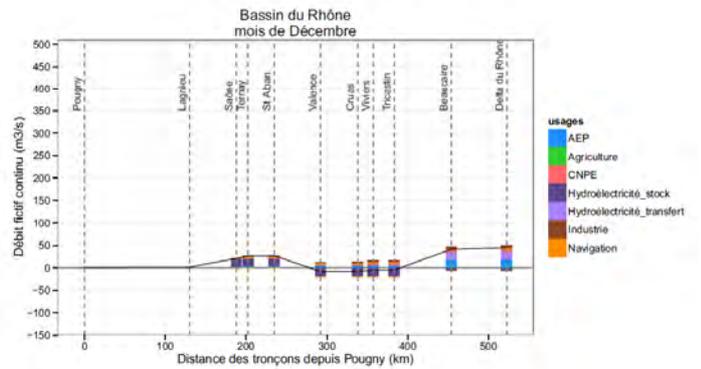
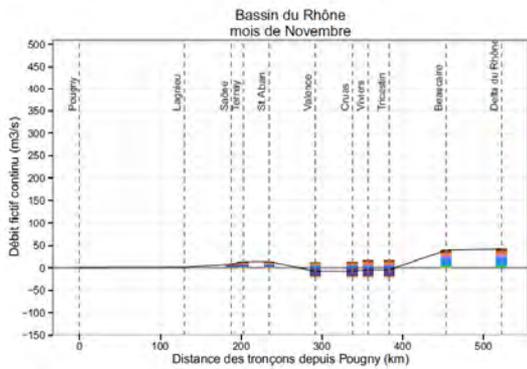
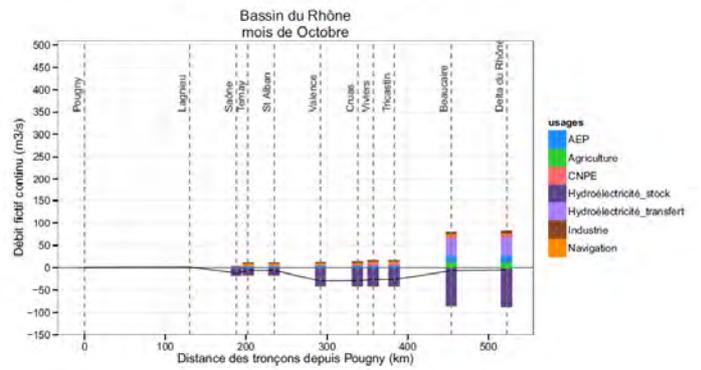
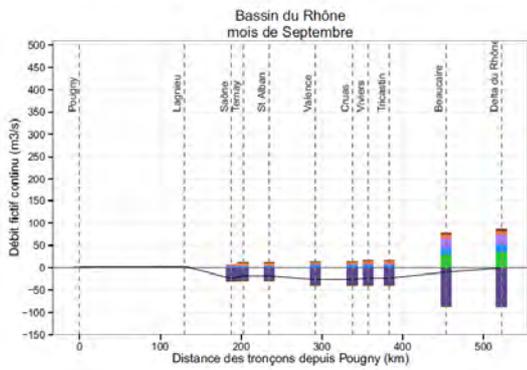
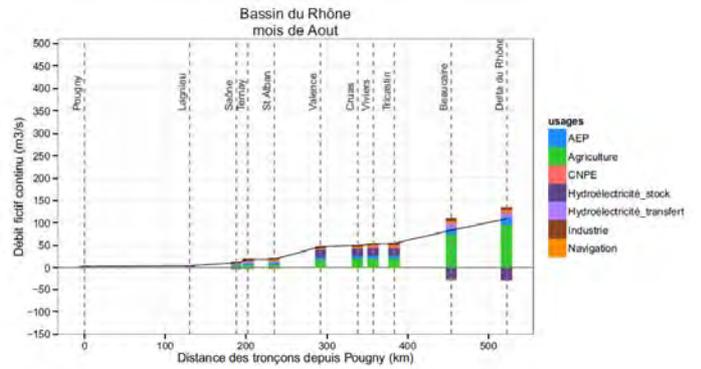
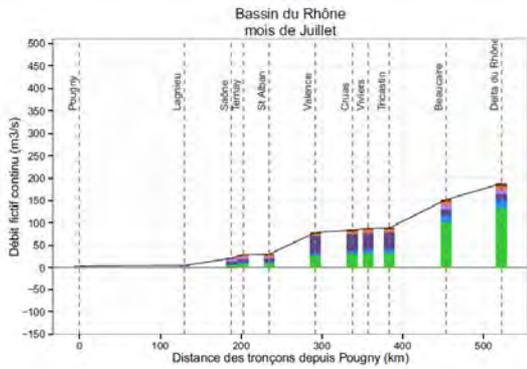
De Ternay à Viviers, les barrages du bassin de l'Isère influencent fortement les débits, avec un stockage de l'ordre de 90 m³/s en mai et juin. De plus, l'agriculture représente sur cette zone, un prélèvement de 24 m³/s en juillet.

L'aval du bassin est marqué par l'influence des ouvrages hydroélectriques sur le bassin de la Durance, occasionnant un stockage de l'ordre de 130 m³/s en mai. Cela se cumule à d'importants **prélèvements agricoles, sur les bassins de la Durance et dans le delta du Rhône principalement.**

Figure 45 : Usages préleveurs – Evolution dans le temps (échelle mensuelle) et l'espace – janvier à juin



Usages préleveurs – Evolution dans le temps (échelle mensuelle) et l'espace – juillet à décembre

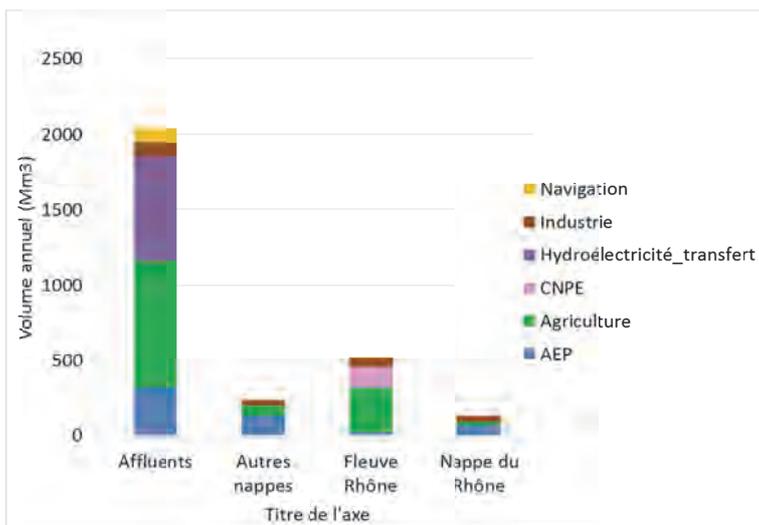


LES PRELEVEMENTS A L'ECHELLE DU BASSIN VERSANT DU RHONE SE CONCENTRENT SUR LES EAUX DE SURFACE ET SUR LES AFFLUENTS

La part des prélèvements souterrains à l'échelle du bassin s'élève à 12 % en prélèvement net. Ces prélèvements concernent principalement l'eau potable (54 %), puis l'irrigation (25 %) et enfin l'industrie (21 %).

La part des prélèvements directs sur le Rhône et sa nappe est réduite. A l'échelle annuelle, les prélèvements nets sur le Rhône et sa nappe représentent 22 % des prélèvements nets à l'échelle de tout le bassin. La majeure partie des prélèvements s'effectue en effet sur les affluents (70 %) ou leur nappe (8 %), et notamment sur le bassin de la Durance.

Figure 46 : Répartition des prélèvements nets annuels sur le bassin du Rhône, par usages et par milieux



Mm3	Affluents	Autres nappes	Fleuve Rhône	Nappe du Rhône	Total général
AEP	319	129	21	66	534
Agriculture	840	70	298	20	1227
CNPE			140		140
Hydroélectricité_transfert	699				699
Industrie	88	37	58	44	228
Navigation	95		3		98
Total général	2040	236	520	129	2925

Mm3	Affluents	Autres nappes	Fleuve Rhône	Nappe du Rhône	Total général
AEP	60%	24%	4%	12%	100%
Agriculture	68%	6%	24%	2%	100%
CNPE	0%	0%	100%	0%	100%
Hydroélectricité_transfert	100%	0%	0%	0%	100%
Industrie	39%	16%	26%	19%	100%
Navigation	97%	0%	3%	0%	100%
Total général	70%	8%	18%	4%	100%

2.10. ÉVOLUTION DES CONSOMMATIONS D'EAU AU COURS DES DERNIERES ANNEES ET PROJETS A L'HORIZON 2030

UNE TENDANCE A LA BAISSSE DES PRELEVEMENTS CES DERNIERES ANNEES

Depuis **une dizaine d'années**, on observe une **tendance à la baisse** des prélèvements sur le bassin du Rhône.

Les prélèvements bruts pour **l'alimentation en eau potable baissent** progressivement depuis 2003 : ils sont passés de 1,26 milliards de m³ en 2003 (1,23 en 2004) à 1,1 milliards de m³ en 2010.

Les prélèvements **industriels** sont également en **baisse** ces dernières années : depuis 1980, on enregistre une baisse régulière des prélèvements bruts pour l'industrie, au rythme de **2 % par an** en moyenne.

L'évolution de l'influence hydroélectrique au cours des trente dernières années a été en particulier marquée par la **réduction des rejets du système Durance à l'extérieur du bassin du Rhône, dans l'étang de Berre** (moyenne annuelle de 100 m³/s pour la période 1980-1993, à 60 m³/s pour la période 1994-2005, 30 m³/s pour 2006-2011).

L'évolution des prélèvements agricoles est plus difficile à quantifier, car elle dépend des conditions météorologiques de chaque année, et les modes de comptage ont également changé au cours du temps. Sur les 10 dernières années, aucune tendance ne peut être dégagée. Cependant, on assiste à une **diminution de 13 % des surfaces irriguées entre 2000 et 2010** par le bassin du Rhône (source, RGA 2000 et 2010).

LES PROJETS IDENTIFIES SUR LE BASSIN DU RHONE

> Sollicitation du Rhône comme ressource de substitution

Suite aux 70 études volumes prélevables menées sur le bassin depuis 2010, plusieurs **projets de substitution sollicitant l'eau du Rhône ou sa nappe** sont envisagés, afin de compléter les efforts d'économie d'eau réalisés sur les bassins en déficit. Ces projets concernent des prélèvements liés à l'irrigation ou à l'eau potable.

On peut citer les principaux projets suivants :

- **dans le domaine de l'eau potable : communauté de commune du pays genevois, pays de Gex, Est lyonnais.**
- dans le domaine de l'irrigation : plusieurs projets de l'Association Syndicale d'irrigation de l'Ain (substitution de prélèvements dans la nappe de l'Ain concernant environ 2200 ha – 7,5 Mm³/an) ; projet du SMAHR (Syndicat Mixte d'Hydraulique Agricole du Rhône) (substitution de prélèvements dans la nappe du couloir de Meyzieu dans l'est lyonnais – 3 Mm³/an) ; projets dans le bassin de Bièvre-Liers-Valloire (substitution de prélèvement en nappe par prélèvement dans le Rhône ou l'Isère) ; projet des syndicats d'irrigation d'Etoile-Livron et d'Allex-Montoison (substitution de prélèvements dans la Drôme – 1 Mm³/an) ; plusieurs projets dans les secteurs Véore-Barberolle, Drôme des Collines, bassin versant de la Galaure ; projet dans le sud Drôme et le nord Vaucluse (substitution de prélèvements dans le Lez, l'Aygués et des ressources souterraines – 7 Mm³/an).

De tels projets de substitution, s'ils n'induisent pas de développement de nouveau prélèvement, permettraient de soulager les ressources locales déficitaires, sans modifier les conséquences sur les débits du Rhône lui-même³ comme détaillé dans un encadré exposé plus haut.

³ Pour le système Rhône, la somme des prélèvements reste la même, que le prélèvement s'effectue sur le fleuve ou sur un affluent.

> Projets de modernisation et d'économies d'eau sur les réseaux agricoles

Par ailleurs, de nombreux canaux, concernant principalement l'irrigation gravitaire, mènent des réflexions sur leurs évolutions et leurs modes de gestion. Plusieurs sont engagés dans des démarches de contrats de canaux, et s'apprêtent à mettre en œuvre des actions dont certaines engendreront des économies d'eau.

On peut citer notamment les canaux suivants, engagés dans des mesures d'économies d'eau : l'ASA de Tricastin (1 Mm³/an) ; l'ASA de Beaucaire (contrat de canal – près de 9 Mm³/an) ; le canal de Nourriguier ; les canaux de Carpentras, l'Isle, Saint-Julien, Cabedan-Neuf et canal mixte (contrat des canaux du Vaucluse) (15 Mm³/an) ; des canaux en rive gauche de la Durance (contrat des canaux Crau-Sud-Alpilles).

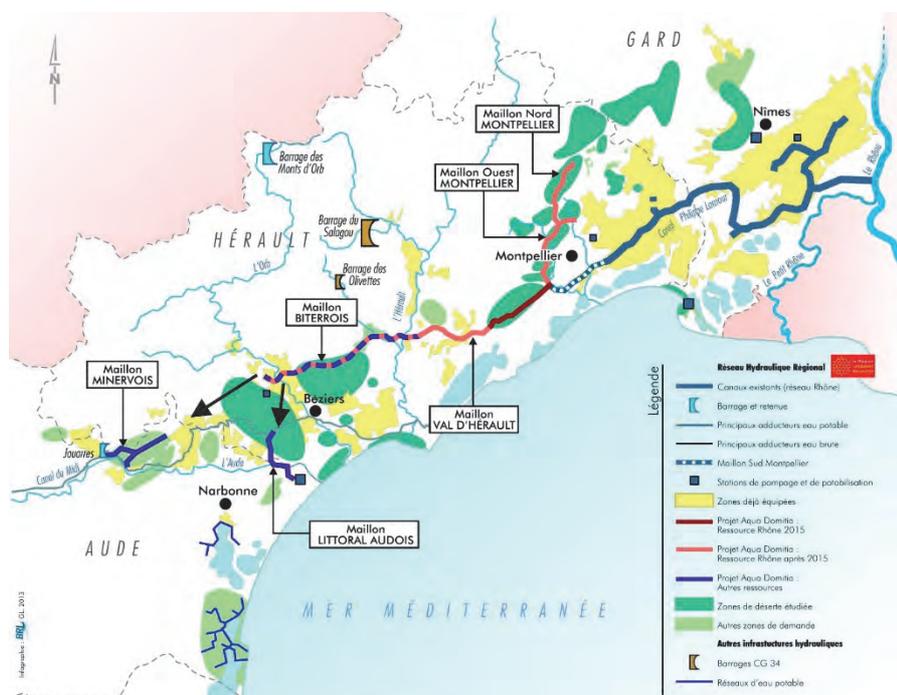
La somme des économies d'eau associées aux divers projets d'économie d'eau sur ces réseaux gravitaires s'élève à environ 25 Mm³/an, soit un ordre de grandeur, en débit sur le mois de pointe, de l'ordre de 2 m³/s.

> Projets de développement : Irrigation, AEP et multiusages

Deux projets de grande ampleur sont développés actuellement pour amener de l'eau hors du bassin du Rhône :

- le projet **Aqua Domitia**, extension du réseau BRL, prévoit la mobilisation du Rhône et de l'Orb pour alimenter un réseau sous-pression, à destination des départements de l'**Hérault** et de l'**Aude**, pour des usages agricoles et AEP. La figure ci-dessous présente l'organisation prévue pour la conduite principale. **Le volume total soustrait au Rhône lié au projet pourra s'élever à terme entre 16 et 29 Mm³ sur la période mai à octobre avec un débit de pointe de 2,5 m³/s.**

Figure 47 : Tracé du réseau Aqua Domitia



- l'infrastructure de **transfert Verdon/Saint-Cassien – Sainte-Maxime** est un **programme d'aménagement, de sécurisation des ressources de l'Est du département du Var et de « desserte en route » du centre Var**. Un impact positif est attendu sur l'économie et le développement des territoires traversés, sur le maintien des terroirs et des activités agricoles, et sur la protection des espaces naturels contre les risques incendie. C'est aussi un programme à caractère environnemental, soutenu par l'Agence de l'Eau RM&C, qui soulagera les ressources locales les plus fragiles et permettra de combiner les prélèvements locaux avec les ressources de transfert, et globalement, de garantir des prélèvements moindres sur les nappes et les cours d'eau du Var (source : plaquette de présentation du projet).

Rappelons que la **SCP** mobilise l'eau du Verdon stockée dans plusieurs réservoirs, notamment le lac de Sainte-Croix, et que ce prélèvement n'aura donc a priori pas d'impact sur les débits d'étiage du Verdon. À terme (2020), il est prévu que la liaison dérive, en pointe, un débit de l'ordre de **1 m³/s**. Cette liaison desservira divers usages (AEP, industriels, agricoles). La figure ci-après représente le tracé prévu pour cette liaison, en cours de réalisation.

Figure 48 : Tracé de la liaison Verdon/Saint-Cassien – Sainte-Maxime



D'autres **projets d'extension des réseaux pour l'alimentation en eau potable et/ou de périmètres irrigués** à partir de l'eau du bassin du Rhône sont à l'étude. On peut citer les projets suivants :

- en parallèle du projet de liaison hydraulique, la société d'aménagement régional SCP a également en projet quelques petites **extensions de son réseau agricole**, pour un débit de pointe total de l'ordre de **quelques dizaines de l/s** (source : SCP) ;
- en parallèle du projet Aqua Domitia, BRL a engagé l'extension du Réseau Hydraulique Régional vers le **Nord Sommiérois**. Ce projet porte sur une surface de l'ordre de **500 ha (essentiellement viticoles)**, nécessitant un débit de pointe de **90 l/s** et représentant un volume supplémentaire annuel de l'ordre de **0,4 Mm³** prélevés sur le Rhône à l'horizon 2016 ;
- à court terme, d'autres projets d'extension du Réseau Hydraulique Régional BRL sont à l'étude, issus des schémas d'eau brute de Nîmes et Montpellier. Ils sont principalement agricoles et portent **sur 600 ha à 800 ha de vignes**, soit un débit de **150 l/s** et un volume supplémentaire annuel de l'ordre de **0,6 Mm³** prélevés sur le Rhône à l'horizon 2018-2020. ;

- à moyen terme, des projets d'alimentation du **Nord-Ouest Nîmois et de l'Agglomération d'Ales**, via le réseau BRL (usages agricoles et eau brute à potabiliser), sont aussi étudiés par le Pôle Métropolitain Nîmes-Alès. A ce jour, les hypothèses de débit mobilisé sont de l'ordre de **1 à 2 m³/s**.
- des réflexions sont en cours concernant une possibilité de sollicitation de la ressource Rhône pour des demandes agricoles dans le **sud de la Drôme et le nord-ouest du Vaucluse** (notamment le bassin de l'Ouvèze). Ces demandes représentent un **volume annuel d'environ 7 Mm³ et un débit fictif continu de 0,5 m³/s pendant la saison d'irrigation**.

La somme des débits de pointes associés aux divers projets de développement s'élève à environ **5,9 m³/s**.

QUELLES EVOLUTIONS POSSIBLES DES PRELEVEMENTS SUR LE BASSIN AU-DELA DES PROJETS IDENTIFIES ?

L'évolution des prélèvements sur le bassin du Rhône, au-delà des projets cités, reste dépendante de nombreux paramètres.

> **Concernant l'industrie**, on peut s'attendre dans les années qui viennent à une baisse des prélèvements, suivant la tendance actuelle et en lien avec l'amélioration des procédés.

> **Pour l'alimentation en eau potable**, les chiffres de l'INSEE se traduiraient à l'échelle du bassin du Rhône (et des agglomérations hors bassin desservies en tout ou partie par l'eau du Rhône comme Marseille, Nîmes ou Montpellier) par une **croissance démographique de l'ordre de 6 %** à l'horizon 2021. En absence d'évolution de la consommation des ménages, la hausse associée des prélèvements annuels nets serait de l'ordre de 35 Mm³ (soit environ 1,1 m³/s). Parallèlement, on peut s'attendre à une diminution des **consommations des ménages et à une amélioration du rendement des réseaux AEP**. Dans un scénario optimiste de poursuite de l'amélioration des rendements et de baisse de la consommation des ménages, la hausse globale associée pourrait être inférieure, voire nulle.

> **Concernant l'irrigation**, les facteurs susceptibles d'influencer l'activité agricole sont nombreux et difficiles à évaluer avec certitude. Le cours mondial des produits agricoles, les conditions climatiques mondiales, les orientations de la nouvelle PAC etc. sont autant de paramètres dont les tendances d'évolution restent incertaines.

Que ce soit au cours des entretiens réalisés ou parmi les scénarios d'évolution envisagés dans différentes études, il semble que la **tendance à la diminution des surfaces risque de continuer à court terme** :

- la **pression foncière** (urbanisation, grands aménagements) est l'un des principaux facteurs évoqués dans l'érosion des surfaces agricoles et irriguées qu'ont connue l'ensemble des régions du territoire d'étude au cours des dernières années. Cette pression foncière risque de peser sur les exploitations agricoles dans les années à venir et il est donc probable que la diminution des surfaces irriguées se poursuive à l'horizon 2021 ;
- par ailleurs, les systèmes d'irrigation sont confrontés à des difficultés financières et réglementaires croissantes ;
- certaines chambres d'agriculture s'attendent par ailleurs à ce que les mesures qui seront adoptées suite aux études volumes prélevables entraînent des pertes de surfaces irriguées, même si elles sont difficiles à chiffrer.

Nuançons toutefois en indiquant que les chiffres des dernières années semblent montrer une stabilisation des souscriptions sur certains territoires, notamment au sud du bassin.

À plus long terme, plusieurs facteurs pourraient entrainer un redressement de l'activité et une demande plus importante :

- l'essor d'une demande des consommateurs pour des produits locaux de qualité et des circuits courts, en particuliers en fruits et légumes ;
- l'impact du changement climatique. Les effets attendus sont multiples :
 - on évoque la détérioration des conditions de production dans des pays concurrents (notamment sur le marché des fruits et légumes) qui pourrait être favorable au développement de ces productions sur le bassin du Rhône ;
 - le changement climatique pourrait ensuite faire augmenter le besoin des plantes irriguées ;
 - il pourrait enfin faire apparaître de nouvelles demandes : les modifications du climat pourraient en effet rendre nécessaire l'irrigation de certaines cultures pour lesquelles cette pratique est aujourd'hui alternative. Cette évolution est déjà visible en viticulture, où la demande de la profession est à l'origine de la plupart des projets d'extension des réseaux d'irrigation. Elle pourrait concerner demain d'autres cultures comme l'olive ou le blé dur.

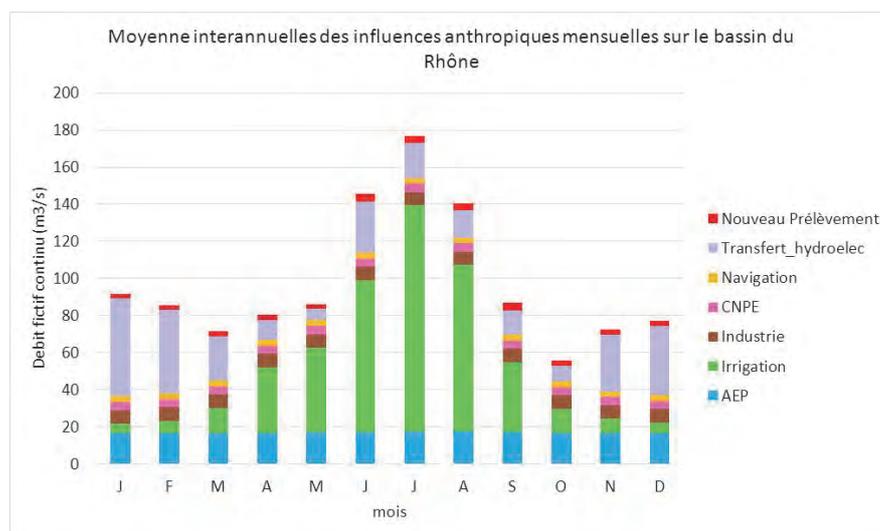
AU FINAL, L'EVOLUTION POSSIBLE DES PRELEVEMENTS A COURT-MOYEN TERME EST UNE FAIBLE AUGMENTATION

Si on retient les hypothèses maximalistes, la **hausse possible des prélèvements sur le bassin du Rhône à court-moyen terme** pourrait s'élever à environ 5 m³/s. La présentation est faite en débit pour le mois de pointe (juillet) :

- Somme des projets d'économie d'eau identifiés : - 2,0 m3/s
- Somme des nouveaux projets identifiés : + 5,9 m3/s
- Hausse tendancielle des prélèvements AEP : + 1,1 m3/s
- **Bilan :** **5 m3/s**

Le graphe suivant met en regard cette hausse avec les prélèvements actuels. Il montre qu'elle représente, pour le mois de pointe, une **hausse relative de l'ordre de 3 % des prélèvements nets actuels** (en prenant en considération les prélèvements liés à l'industrie, le refroidissement des centrales, l'eau potable, l'irrigation et les transferts liés à l'hydroélectricité).

Figure 49 : Mise en perspective des hausses de prélèvements possibles à court-moyen terme avec les prélèvements actuels



3. QUELS SONT LES DEBITS MINIMUM A MAINTENIR DANS LE FLEUVE ?

3.1. LES DEBITS PLANCHERS POUR LES ESPECES DE POISSONS PRESENTES SUR LE CHENAL DU FLEUVE

Le peuplement de poissons du Rhône est diversifié, au total on retrouve 51 espèces, les cyprinidés constituant la famille dominante. Les espèces les plus emblématiques sont les migrateurs amphihalins comme l'anguille, l'alose feinte, la lamproie marine ou fluviatile.

Les travaux menés mettent en évidence la difficulté de définir une valeur seuil de débit garantissant les fonctions vitales (croissance, alimentation, circulation, reproduction) et la création ou le renouvellement des habitats des espèces présentes dans le fleuve. Ceci pour les raisons suivantes :

- **le débit est un critère limitant pour les espèces sur uniquement 20% du linéaire sur le fleuve à l'étiage.** En effet, comme vu plus haut, **seul 20% du linéaire est dit « libre ».** Sur ce linéaire, **il y a une relation univoque entre hauteur et débit : une variation de débit entraîne une variation de la surface mouillée et de la hauteur d'eau.** Aussi, le débit représente sur ces secteurs un facteur déterminant pour le bon déroulement des cycles biologiques puisqu'il a un effet direct sur la connexion des habitats en berges, des embâcles et des annexes.

Il s'agit principalement du secteur situé entre l'aval de Sault-Brénaz – amont retenue de Cusset (secteur dit de Bugey) et du secteur situé de l'aval de l'ouvrage de Vallabrègues jusqu'à la mer (secteur dit d'Arles).

- sur ces 20% de linéaire, **les experts hydrobiologistes consultés pour l'étude soulignent que le facteur limitant pour la biologie n'est pas la quantité d'eau globale qui s'écoule en une journée ou en un mois, même dans les mois les plus secs, mais les variations importantes des débits et donc des hauteurs d'eau à l'échelle intrajournalière générées par les éclusées énergétiques suisses et françaises.** En effet, les peuplements aquatiques sont adaptés aux variations de débit à l'échelle saisonnière ou annuelle mais pas à l'échelle infra-journalière.

DEBIT BIOLOGIQUE DE « SURVIE » AU PAS DE TEMPS JOURNALIER

Par définition, **le débit biologique de survie (DBS) doit satisfaire, en étiage sévère, les fonctionnalités biologiques du milieu en situation de survie à tout moment.** Il est estimé sur la base d'un débit journalier.

Sur le Rhône, **aucun épisode de mortalité ayant pour cause une baisse significative des débits** n'a été enregistré à ce jour. Les difficultés citées ci-dessus n'ont pas permis de définir une valeur de débit moyen journalier exigée par les espèces pour leur survie. **Ainsi, les débits nécessaires pour la production d'électricité sont utilisés comme valeur guide pour la survie des espèces, à condition que la température du Rhône n'atteigne pas les limites létales (non observées jusqu'à présent) des espèces les plus exigeantes.**

Le DBS à Lagnieu est ainsi fixé à 130 m³/s (VCN3_5ans influencé : 158 m³/s) en raison des inconnues sur le fonctionnement du milieu à un débit inférieur et par mesure de précaution pour ne pas « hypothéquer l'avenir ». Il n'a pas été observé de mortalité piscicole à ce débit même lorsqu'il a été enregistré sur plusieurs semaines consécutives.

A ces niveaux de débits, les variations infra-journalières sont quasiment inexistantes hormis à Pagny (signal hydrologique de la Suisse). En effet, plus le débit moyen journalier est faible plus l'amplitude maximum des éclusées énergétiques est faible

Figure 50 : Liste des espèces de poisson (incluant les espèces estuariennes) présentes dans le bassin du Rhône. La présence par grand secteur est détaillée. Nat = native ; Int = introduite ; D = espèce disparue du secteur ; E = espèce endémique (extrait de Bravard et Clémens 2008, chap. 7).

Nom commun	Nom latin	Famille	Haut-Rhône	Bas-Rhône	Delta	Rhône sans delta	Rhône total
Esturgeon	<i>Acipenser sturio</i>	Acipenseridae	-	Nat/D	Nat/D	Nat/D	Nat/D
Anguille	<i>Anguilla anguilla</i>	Anguillidae	Nat	Nat	Nat	Nat	Nat
Joel	<i>Atherina boyeri</i>	Atherinidae	-	-	Nat	-	Nat
Loche franche	<i>Barbatula barbatula</i>	Balitoridae	Nat	Nat	Nat	Nat	Nat
Blennie fluviatile	<i>Salaria fluviatilis</i>	Blenniidae	Nat	Nat	Nat	Nat	Nat
Perche-soleil	<i>Lepomis gibbosus</i>	Centrarchidae	Int	Int	Int	Int	Int
Achigan à grande bouche	<i>Micropterus salmoides</i>	Centrarchidae	Int	Int	Int	Int	Int
Alose	<i>Alosa fallax rhodanensis</i>	Clupeidae	Nat/D	Nat	Nat	Nat	Nat
Loche d'étang	<i>Misgurnus fossilis</i>	Cobitidae	Nat	-	-	Nat	Nat
Chabot	<i>Cottus gobio</i>	Cottidae	Nat	Nat	-	Nat	Nat
Brème bordelière	<i>Abramis bjoerkna</i>	Cyprinidae	Nat	Nat	Nat	Nat	Nat
Brème commune	<i>Abramis brama</i>	Cyprinidae	Nat	Nat	Nat	Nat	Nat
Spirilin	<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Cyprinidae	Nat	Nat	Nat	Nat	Nat
Ablette	<i>Alburnus alburnus</i>	Cyprinidae	Nat	Nat	Nat	Nat	Nat
Barbeau fluviatile	<i>Barbus barbus</i>	Cyprinidae	Nat	Nat	Nat	Nat	Nat
Carassin doré	<i>Carassius auratus</i>	Cyprinidae	Int	-	-	Int	Int
Carassin	<i>Carassius carassius</i>	Cyprinidae	Int	Int	-	Int	Int
Carassin argenté	<i>Carassius gibelio</i>	Cyprinidae	Int	Int	Int	Int	Int
Hotu	<i>Chondrostoma nasus</i>	Cyprinidae	Int	Int	Int	Int	Int
Carpe commune	<i>Cyprinus carpio</i>	Cyprinidae	Int	Int	Int	Int	Int
Goujon	<i>Gobio gobio</i>	Cyprinidae	Nat	Nat	Nat	Nat	Nat
Able de Heckel	<i>Leucaspis delineatus</i>	Cyprinidae	Int	Int	-	Int	Int
Chevaîne	<i>Leuciscus cephalus</i>	Cyprinidae	Nat	Nat	Nat	Nat	Nat
Vandoïse	<i>Leuciscus leuciscus</i>	Cyprinidae	Nat	Nat	-	Nat	Nat
Blageon	<i>Leuciscus souffia</i>	Cyprinidae	Nat	Nat	Nat	Nat	Nat
Toxostome	<i>Parachondrostoma toxostoma</i>	Cyprinidae	Nat	Nat	-	Nat	Nat
Vairon	<i>Phoxinus phoxinus</i>	Cyprinidae	Nat	Nat	Nat	Nat	Nat
Pseudorasbora	<i>Pseudorasbora parva</i>	Cyprinidae	Int	Int	Int	Int	Int
Bouvière	<i>Rhodeus amarus</i>	Cyprinidae	Nat	Nat	Nat	Nat	Nat
Gardon	<i>Rutilus rutilus</i>	Cyprinidae	Nat	Nat	Nat	Nat	Nat
Rotengle	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	Cyprinidae	Nat	Nat	Nat	Nat	Nat
Tanche	<i>Tinca tinca</i>	Cyprinidae	Nat	Nat	Nat	Nat	Nat
Brochet	<i>Esox lucius</i>	Esocidae	Nat	Nat	Nat	Nat	Nat
Lote	<i>Lota lota</i>	Gadidae	Nat	Nat	-	Nat	Nat
Epinoche	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	Gasterosteidae	Nat	Nat	Nat	Nat	Nat
Gobie noir	<i>Gobius niger</i>	Gobiidae	-	-	Nat	-	Nat
Gobie tacheté	<i>Pomatoschistus microps</i>	Gobiidae	-	-	Nat	-	Nat
Poisson-chat	<i>Ameiurus melas</i>	Ictaluridae	Int	Int	Int	Int	Int
Loup	<i>Dicentrarchus labrax</i>	Moronidae	-	-	Nat	-	Nat
Mulet lippu	<i>Chelon labrosus</i>	Mugilidae	-	-	Nat	-	Nat
Mulet doré	<i>Liza aurata</i>	Mugilidae	-	-	Nat	-	Nat
Mulet-porc	<i>Liza ramada</i>	Mugilidae	-	Nat	Nat	Nat	Nat
Mulet sauteur	<i>Liza saliens</i>	Mugilidae	-	-	Nat	-	Nat
Mulet à grosse tête	<i>Mugil cephalus</i>	Mugilidae	-	Nat	Nat	Nat	Nat
Grémille	<i>Gymnocephalus cernuus</i>	Percidae	Int	Int	Int	Int	Int
Perche commune	<i>Perca fluviatilis</i>	Percidae	Nat	Nat	Nat	Nat	Nat
Sandre	<i>Sander lucioperca</i>	Percidae	Int	Int	Int	Int	Int
Apron	<i>Zingel asper</i>	Percidae	Nat/E	Nat/E	-	Nat/E	Nat/E
Lamproie fluviatile	<i>Lampetra fluviatilis</i>	Petromyzontidae	-	Nat	Nat	Nat	Nat
Lamproie de Planer	<i>Lampetra planeri</i>	Petromyzontidae	Nat	Nat	-	Nat	Nat
Lamproie marine	<i>Petromyzon marinus</i>	Petromyzontidae	-	Nat	Nat	Nat	Nat
Flet	<i>Platichthys flesus</i>	Pleuronectidae	-	-	Nat	-	Nat
Gambusie	<i>Gambusia affinis</i>	Poeciliidae	-	Int	Int	Int	Int
Lavaret	<i>Coregonus lavaretus</i>	Salmonidae	Nat	-	-	Nat	Nat
Truite arc-en-ciel	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Salmonidae	Int	Int	-	Int	Int
Truite fario	<i>Salmo trutta</i>	Salmonidae	Nat	Nat	Nat	Nat	Nat
Omble chevalier	<i>Salvelinus alpinus</i>	Salmonidae	Int	-	-	Int	Int
Ombre commun	<i>Thymallus thymallus</i>	Salmonidae	Nat	-	-	Nat	Nat
Silure glane	<i>Silurus glanis</i>	Siluridae	Int	Int	Int	Int	Int
Syngnathe de lagune	<i>Syngnathus abaster</i>	Syngnathidae	-	-	Nat	-	Nat

Sur les stations de Ternay, Valence et Viviers, il n'y a pas de relation univoque entre débit et hauteur d'eau car elles sont fortement soumises aux aménagements. La succession de plans d'eau dans ce secteur du fleuve assure un niveau d'eau minimum permanent pour la survie des espèces même pour les très basses eaux. Aussi, le débit en moyenne journalière n'est pas un facteur limitant sur cette portion du fleuve.

Enfin, une approche statistique au niveau de Pougny et Beaucaire pour être en cohérence de fréquence avec celle proposée à Lagnieu conduirait à une valeur guide de 80 m³/s à Pougny (VCN3_5ans influencé : 98 m³/s) et de 420 m³/s à Beaucaire (VCN3_5ans influencé : 499 m³/s). **Cependant en dessous de ces valeurs en moyenne journalière, les experts hydrobiologistes ne considèrent pas que les poissons soient en situation de survie, aussi elles n'ont pas été retenues.**

DEBIT BIOLOGIQUE DE « CONFORT » AU PAS DE TEMPS MENSUEL

Dans une telle situation, les experts scientifiques spécialistes du fleuve n'ont pas déterminé un débit de confort pour les espèces présentes dans le fleuve en moyenne mensuelle. En effet, une valeur de débit biologique à un pas de temps mensuel n'a pas de sens sur le chenal du Rhône, tant que l'effet des variations de débits à l'étiage liés aux éclusées énergétiques à l'échelle infra-journalière n'a pas été précisé.

Au final, des débits biologiques définis au pas de temps mensuel associés à un bon état n'apparaissent pas comme un indicateur pertinent au regard du fonctionnement du fleuve aménagé.

LES BAS DEBIT DU RHONE N'IMPACTENT PAS LE DEPLACEMENT DES POISSONS MIGRATEURS AMPHIHALINS

L'importance du fleuve en fait un des foyers majeurs des différentes espèces amphihalines de la méditerranée occidentale. **Le débit du Rhône, par l'appel d'eau douce qu'il constitue, joue un rôle majeur dans l'attractivité des espèces migratrices comme l'Alose feinte du Rhône.**

Figure 51 : Aloses feinte du Rhône (source : MRM)



C'est lors de l'approche hivernale vers les zones d'embouchures que l'appel d'eau douce en mer est déterminant et conditionne en partie les quantités de géniteurs qui emprunteront l'axe migratoire. **Aussi, lorsque l'hydrologie hivernale est importante, les migrateurs rentrent de façon massifs dans le bassin du Rhône et inversement.**

Une fois la migration enclenchée dans le système fluvial, on distingue deux cas :

- **lorsque l'hydrologie du Rhône est faible**, les migrateurs empruntent majoritairement le Rhône aménagé qui est alors plus attractif que le vieux Rhône. Les migrateurs empruntent alors massivement les écluses de navigation. Certaines années, on peut ainsi observer des Aloses feintes à Montélimar dès la fin du mois d'avril.

- **lorsque l'hydrologie du Rhône est forte** : les Vieux Rhône ont une forte attractivité pouvant même dépasser celle des canaux usiniers. Dans la mesure où, à ce jour, les barrages de dérivation du Rhône aval ne sont pas tous équipés de passes à poissons efficaces pour l'Alose (réalisation et projets de la CNR), la colonisation du bassin reste cantonnée à l'aval (forte colonisation du Vieux Rhône de Beaucaire et du Gardon mais accès réduit aux frayères de l'Ardèche par exemple).

Il n'a pas été observé d'arrêt de migration en cas de bas débits du Rhône dans la mesure où ils sont atteints de façon progressive. A priori, les arrêts de migration chez l'Alose feinte sont surtout liés à des variations brusques de débit qui sont essentiellement liées aux crues.

Pour finir, les connaissances sur les conséquences des caractéristiques des étiages (saisonnalité, durée, intensité, fréquence) sur les organismes aquatiques à leurs différents stades de développement sont peu connues et restent à explorer. Enfin, les modifications de débits (variations niveaux d'eau et de vitesses) interagissent avec d'autres aspects fonctionnels du milieu aquatique (morphologie, physico-chimie et thermie) à considérer mais hors champ de cette étude.

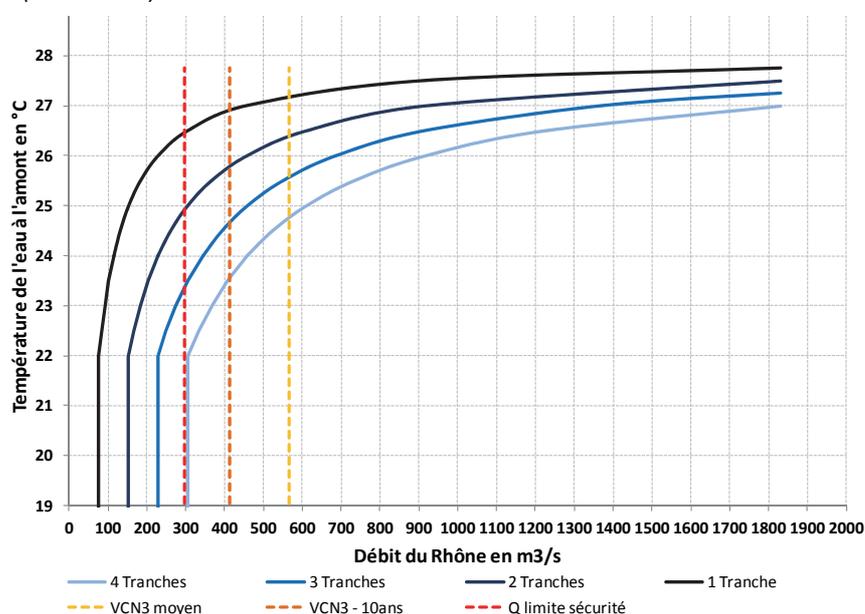
3.2. LES DEBITS PLANCHERS POUR LE REFROIDISSEMENT DES CENTRALES NUCLEAIRES NECESSAIRES A UNE PRODUCTION MINIMALE D'ELECTRICITE

Le fonctionnement des centrales nucléaires est encadré par des textes réglementaires indiquant les contraintes à respecter en termes de température et de débit.

Les contraintes en termes de température portent sur la température à l'aval de la centrale et l'échauffement (différence entre température à l'amont et à l'aval de la centrale). Ces contraintes thermiques sont en pratique fortement liées au débit et à la température de l'eau à l'amont de la station. En effet, plus le débit du fleuve sera bas, plus il sera sensible à l'échauffement (dilution des calories dans un moindre débit conduisant à un échauffement plus important) et plus la température de l'eau à l'amont de la station sera élevée plus la marge de manœuvre pour échauffer l'eau sera réduite. Notons qu'au-delà d'une certaine température de l'eau, la valeur du débit ne joue pratiquement plus sur le niveau de fonctionnement des CNPE, la température de l'eau devient alors le facteur de contrôle.

Afin de respecter ces contraintes, la production de chacune des quatre centrales nucléaires situées sur le Rhône doit être adaptée afin de rester dans les consignes. Ci-dessous, par exemple, un graphe indiquant le nombre de tranches pouvant être mise en fonctionnement à la centrale de Tricastin en fonction du débit et de la température.

Figure 52 : Conditions limites en débit et température pour le fonctionnement des tranches ouvertes de la centrale de Tricastin (source : EDF)



Les périodes de réduction importante de production des centrales sont plutôt liées jusqu'ici à des épisodes de température élevées de l'eau plutôt qu'à une faible quantité d'eau dans le Rhône.

En plus du lien avec la thermie décrit ci-avant, il existe également des **contraintes en terme de débits** liées à la nécessité de rejeter les produits polluants générés par les centrales dans des débits du fleuve suffisamment élevés pour permettre leur dilution, mais également pas trop élevés, afin de ne pas engendrer leur dispersion en dehors du lit mineur. Si EDF se retrouve dans l'impossibilité de rejeter les produits polluants pour des raisons de débit insuffisant dans le Rhône, il y a alors la possibilité de stocker temporairement ces effluents dans des réservoirs en attendant que les conditions hydrologiques requises soient présentes.

La production des centrales nucléaires rhodaniennes, comme celle des autres centrales françaises, a une **portée stratégique en termes de sécurité de l'approvisionnement en électricité du territoire national**. Une baisse trop importante de leur production peut conduire à fragiliser l'alimentation en électricité et ainsi mettre en péril des exigences de sécurité civile. En effet, la production d'électricité sur le fleuve Rhône correspond à environ 20 % de la production nationale d'électricité.

Ce point sera affirmé dans le SDAGE 2016-2021 du bassin du Rhône :

« Pour le fleuve Rhône, compte-tenu de la part importante de production d'électricité hydraulique et nucléaire installée sur son linéaire, les exigences de sécurité civile comprennent les conditions nécessaires à la production minimale requise pour le maintien de la sécurité de l'approvisionnement énergétique du pays. »

Dans le cadre de la présente étude, **des débits du fleuve Rhône limites pour le fonctionnement des centrales nucléaires ont été définis dans ce sens**. Ils visent à participer à cet équilibre entre la demande et l'offre en énergie au niveau national.

Ces débits sont présentés dans le tableau ci-dessous. Il présente les débits eux-mêmes et le niveau de production en électricité associé pour la centrale considérée.

Tableau 6 : Débits limites associés à une production d'électricité minimale par les centrales nucléaires dans un objectif de maintien de la sécurité de l'approvisionnement énergétique du pays

Centrale Nucléaire	Débit limite proposé (station hydrométrique de référence)	Niveau de production associé
Bugey	130 m ³ /s (Lagnieu)	100 %
Saint-Alban	205 m ³ /s (Ternay)	70 %
Cruas	Contraintes moins fortes car refroidissement en circuit fermé. Les débits maintenus à Viviers pour la centrale de Tricastin assurent le bon fonctionnement du CNPE de Cruas.	
Tricastin	320 m ³ /s (Viviers)	80 %

Dans le cadre de la présente étude, le choix a été fait par l'Etat de fixer des débits limites pour le fonctionnement des CNPE à une **fréquence de retour de 30 ans** sur les débits journaliers, afin que ces débits limites relèvent bien d'une notion de crise, particulièrement rare sur le fleuve. **Le niveau de production associée est compris, selon les centrales, entre 70 et 100 % de la production maximale.**

3.3. LES DEBITS PLANCHERS POUR L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE

A l'échelle de l'étude, les étiages du fleuve Rhône ont un impact limité et localisé sur la productivité des nappes alluviales associées. Le captage du Grand Lyon est le seul prélèvement souterrain pour l'eau potable à être dans une position de forte dépendance aux débits du Rhône. En effet, la productivité du champ captant est sensible aux variations de débit du fleuve, de plus des débits faibles favorisent le colmatage des champs captants.

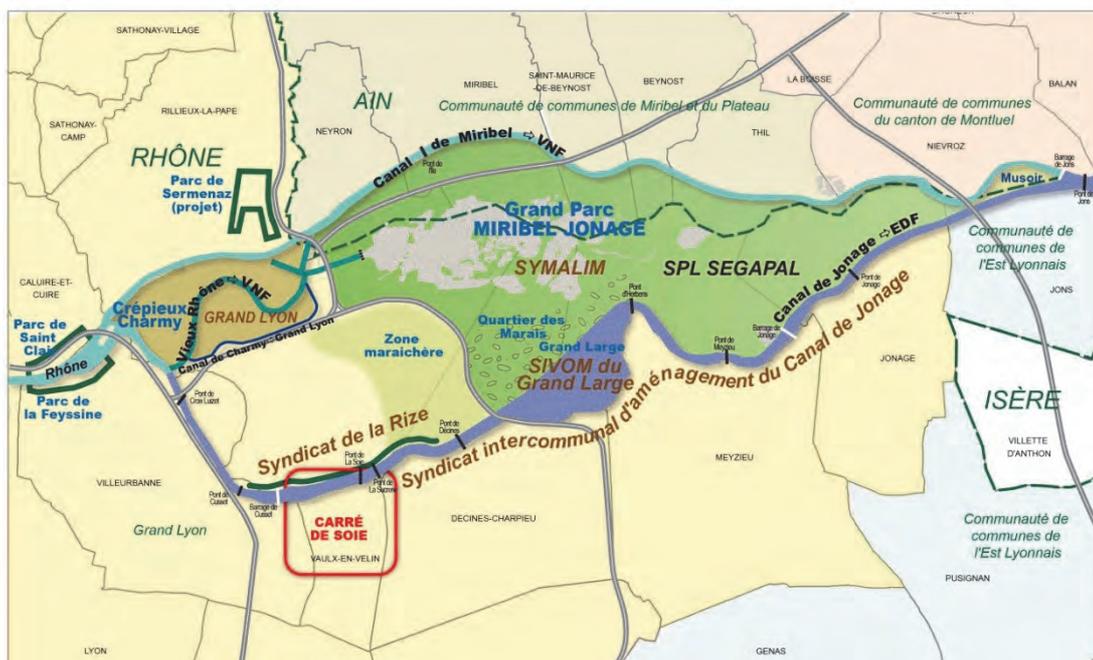
Le Grand Lyon alimente en eau potable environ 1,3 millions d'habitants. Cette alimentation est assurée, à hauteur de 95 % environ, par la ressource du champ captant de Crépieux-Charmy, ressource souterraine en connexion essentiellement avec le canal de Miribel, dont l'alimentation est contrôlée par le barrage de Jons.

Une convention entre EDF et le Grand Lyon fixe les débits planchers à l'aval de ce barrage comme égal à 30 m³/s (débit réservé réglementaire) ou 60 m³/s en fonction du niveau du lac des eaux bleues, pour que le canal de Miribel ne draine pas la nappe. Le service eau potable du Grand Lyon se trouve fréquemment en état d'alerte. Les années 2003, 2004, 2011 ont été particulièrement problématiques. La productivité de la nappe sur ce secteur est influencée par les variations de débit dans le Vieux Rhône dont le débit à l'étiage dépend du débit dans le canal de Miribel. Le Grand Lyon estime aujourd'hui qu'en dessous de 60 m³/s dans le canal de Miribel le fonctionnement de son système d'approvisionnement est difficile.

Comme déjà évoqué, parmi les 3 prélèvements en eau potable réalisés directement dans le Rhône (milieu superficiel), seul le gestionnaire du captage des Saintes Maries de la Mer a rencontré des difficultés occasionnelles de gestion de l'alimentation en 2007 et 2008. Cependant, le lien avec les bas niveaux du fleuve et la valeur seuil de débit n'ont pu être identifiés, faute de système de mesure de hauteur d'eau ou de débit au niveau de la prise d'eau.

Aussi, la seule limite de débit traduisant une situation de tension éventuelle pour l'usage eau potable est un débit à l'amont du barrage de Jons, a minima égal à 60 m³/s. L'analyse de l'hydrologie du fleuve à l'étiage montre que, sur toute la chronique disponible, les débits du fleuve sont significativement supérieurs à cette valeur (VCN10_5ans influencé à Lagnieu de 170 m³/s).

Figure 53 : Localisation du champ captant de Crépieux Charmy, du canal de Miribel, du canal de Jonate et du Vieux Rhône (Source : Grand Lyon)



3.4. LES DEBITS MINIMUMS DEFINIS SUR LE FLEUVE

L'un des objectifs de l'étude était de déterminer des débits minimum à inscrire au SDAGE sur les points nodaux du fleuve Rhône. Les objectifs de quantité à l'étiage sont traduits par deux notions :

> **les débits objectifs d'étiage (DOE)** pour lesquels sont simultanément satisfaits le bon état des eaux et, en moyenne 8 années sur 10, l'ensemble des usages. Les DOE sont fixés à un pas de temps mensuel et doivent permettre de faire de la gestion structurelle de la quantité d'eau du fleuve à moyen terme.

> **les débits de crise (DCR)** en dessous desquels seules les exigences relatives à la santé, à la salubrité publique, à la sécurité civile, à l'alimentation en eau potable et les besoins naturels peuvent être satisfaits. Les DCR sont fixés à un pas de temps journalier et doivent permettre de faire de la gestion de crise en période d'étiage.

L'étude montre concernant les DOE, que la définition d'une valeur minimale de débit biologique à l'échelle mensuelle n'a pas de sens sur le fleuve tant que l'effet des variations de débits à l'étiage liés au marnage à l'échelle infrajournalière n'a pas été précisé.

Aussi il est proposé de ne pas mettre en place de DOE sur le fleuve Rhône. Néanmoins il faudra préciser les exigences des milieux aquatiques sur le fleuve.

La gestion de crise liée à la quantité d'eau disponible, **repose notamment sur la définition de débits de crise (DCR) inscrits dans le SDAGE aux points nodaux**. Au-dessous des DCR seuls les usages prioritaires et les besoins des milieux naturels peuvent être satisfaits. Sont considérés comme usages prioritaires sur le fleuve :

- l'alimentation en eau potable ;
- la production d'un minimum d'électricité à partir des centrales nucléaires pour le maintien d'un approvisionnement énergétique minimum en France (sécurité civile);
- la survie des espèces présentes dans le fleuve.

Aujourd'hui, l'usage prioritaire le plus limitant en lien avec la quantité d'eau présente en moyenne journalière dans le fleuve est la production d'électricité à partir des centrales nucléaires. Les débits nécessaires à la satisfaction de cet usage sont suffisants pour assurer la survie des espèces piscicoles présentes dans le fleuve.

L'étude propose de ne pas définir de DCR à Valence et à Beaucaire car il n'a pas été possible de définir un débit plancher sur ces tronçons. Aussi des débits de crise sont proposés en 3 points du fleuve.

Tableau 7 : Valeurs de DCR proposées sur le fleuve Rhône

Station hydrométrique	Production d'électricité	Biologie	Eau potable	DCR proposés sur le fleuve
Pouigny	L'étude ne définit pas de DCR à Pouigny car il n'y a pas de débits planchers déterminés pour les usages prioritaires sur le tronçon à l'aval de ce point.			
Lagnieu	130 m ³ /s	130 m ³ /s sont suffisants pour assurer les conditions de survie des espèces	130 m ³ /s sont suffisants pour assurer les 60 m³/s indiqués par le Grand Lyon pour fiabiliser l'alimentation du captage de Crépieu-Charmy	130 m³/s
Ternay	205 m ³ /s	L'aménagement du fleuve assure un niveau d'eau minimum permanent pour la survie des espèces même pour les très basses eaux		205 m³/s
Viviers	320 m ³ /s	L'aménagement du fleuve assure un niveau d'eau minimum permanent pour la survie des espèces même pour les très basses eaux		320 m³/s
Valence et Beaucaire	L'étude ne définit pas de DCR à Beaucaire et Valence car il n'y a pas de débits planchers déterminés pour les usages prioritaires sur les tronçons à l'aval de ces points.			

4. CHANGEMENT CLIMATIQUE ET FLEUVE RHONE

Il n'existe pas, à ce jour, de travaux d'étude d'impact du changement climatique sur les débits du Rhône, intégrant l'ensemble de son bassin versant et le fonctionnement des ouvrages de stockage.

Plusieurs projets de recherche ont toutefois produit des simulations de débits sur une partie de bassin versant, notamment :

- **le projet ACQWA** sur la partie suisse du bassin du Rhône, jusqu'à l'entrée du lac Léman ;
- **le projet EXPLORE 2070** en France. Ce projet a produit des simulations de débits futurs du Rhône à l'aval du Léman. Il est à noter cependant qu'il ne prenait en compte ni l'influence anthropique sur les cours d'eau, ni l'évolution des glaciers, et qu'il ne disposait pas de données climatiques de bonne qualité sur la partie suisse du bassin ;
- **des travaux d'EDF⁴** sur le bassin du Rhône, qui incluent les mêmes limites que le projet Explore 2070.

Les différents travaux de simulation hydrologique sous scénario de changement climatique, menés par la communauté scientifique, amènent à deux conclusions majeures :

- on peut s'attendre, dans les décennies à venir, à des **changements de l'hydrologie des cours d'eau** en France, **dont le Rhône**, en particulier :
 - une **accentuation importante des étiages estivaux** ;
 - **un décalage dans le temps des ondes de fonte des cours d'eau de régime nival ou glacio-nival**, qui deviendraient plus précoces.
- **en revanche, il n'est pas possible de quantifier ces changements, dans l'état des connaissances actuelles, compte tenu des incertitudes.**

Les incertitudes sont principalement de deux ordres :

- l'incertitude sur les déterminants du climat futur (quelles émissions futures de gaz à effet de serre ? Quelle variabilité du climat ? , etc.) ;
- l'incertitude associée aux différentes modélisations qui font passer de ces déterminants à des débits futurs possibles : les modèles climatiques et hydrologiques ne permettent pas de reproduire suffisamment bien les phénomènes naturels pour pouvoir simuler des évolutions hydrologiques en contexte futur avec finesse et fiabilité. C'est pour cette raison que les différents travaux existants peuvent conduire à des projections de débits très différentes sur un même cours d'eau.

⁴ Hendrickx F (2001) *Impact hydrologique d'un changement climatique sur le bassin du Rhône – Hydroécol. Appl.* 13 pages 77 – 100]. Ces travaux ont été poursuivis et en 2009 une présentation des impacts du changement climatique a été faite au congrès SHF de Lyon 7-8 octobre ; 2009 « Étiages Sécheresses, Canicules rares et leurs impacts sur les usages de l'eau ».

L'ÉVOLUTION POSSIBLE DE L'HYDROLOGIE DU RHONE ET DE SES GRANDS AFFLUENTS : SYNTHÈSE DES CONNAISSANCES

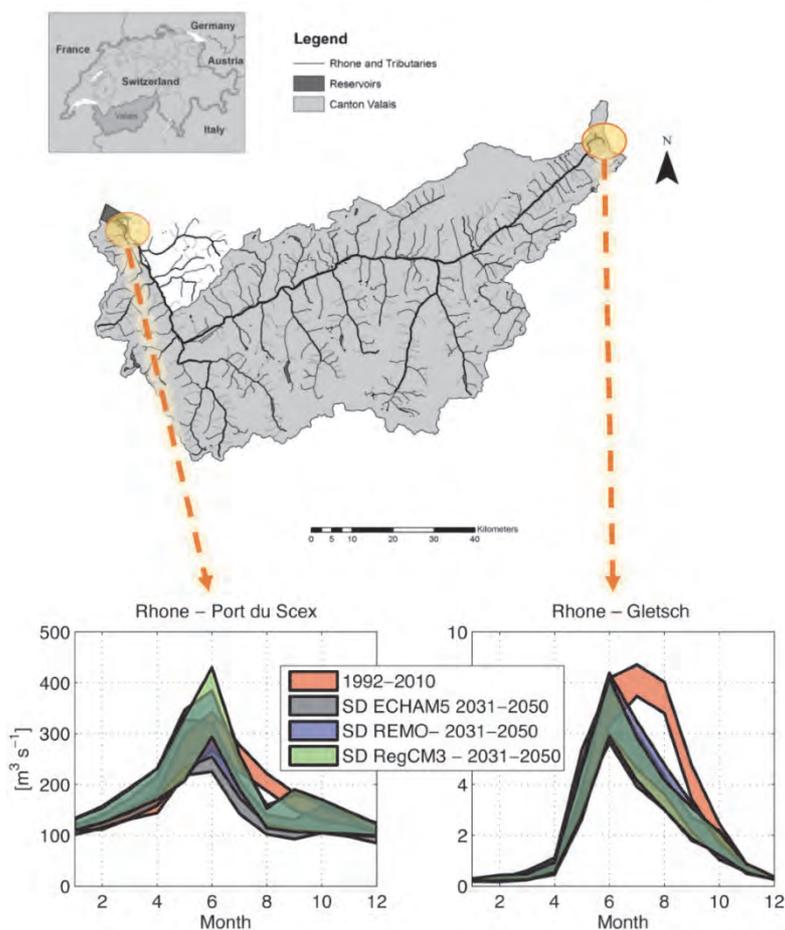
Sur la base des travaux existants, on peut dresser un bilan des signaux qui se dégagent, concernant l'évolution possible des débits du Rhône et de ses plus grands affluents.

Le **Rhône alpestre, à l'amont du Léman** a été étudié dans le cadre du projet ACQWA. Son régime hydrologique, fortement dépendant des glaciers et du manteau neigeux, pourrait évoluer à l'horizon 2050 vers :

- **une augmentation des débits au printemps**, due à une **fonte des neiges plus précoce** associée à des précipitations hivernales plus importantes ;
- **une baisse des débits estivaux** (juillet-septembre), conséquence du décalage de l'onde de fonte et de l'évolution des glaciers ;
- **pour les autres mois de l'année, les signaux (hausse ou baisse) divergent selon les simulations.**

La **gestion des retenues valaisannes et celle du lac Léman** pourraient être modifiées, en conséquence des changements de l'hydrologie du Rhône et des affluents de régime nival ou glacio-nival. **Leurs effets sur l'hydrologie du Rhône pourraient alors évoluer.**

Figure 54 : Simulations des débits du Rhône à Gletsch et Porte du Scex, dans le projet ACQWA⁵



⁵ M. Hill Clarvis et al, 2013. Governing and managing water resources under changing hydro-climatic contexts: The case of the upper Rhone basin. Science Direct, 1-12.

Les plus grands affluents français du Rhône ont fait l'objet de simulations dans le cadre du projet Explore 2070.

L'Ain et la Saône, de régime pluvial, pourraient voir leurs débits estivaux baisser. Cette baisse pourrait s'étendre plus largement pour les mois de mai à novembre. En revanche, les projections divergent sur les débits hivernaux : des baisses ou des hausses des débits sont simulées selon les modèles. Cette incertitude très forte sur les débits hivernaux se retrouve pour un très grand nombre de cours d'eau français, et est due notamment aux fortes incertitudes sur l'évolution des précipitations. Les simulations projettent également une baisse de la ressource moyenne annuelle de ces cours d'eau.

L'Isère pourrait connaître une onde de fonte plus précoce : l'onde de fonte actuellement centrée sur mai-juin pourrait se déplacer vers le mois d'avril ; ce qui pourrait induire une diminution des débits de mai-juin et une modification de la gestion des ouvrages de stockage sur le bassin versant. De plus, les simulations projettent une baisse des débits estivaux (juillet-août-septembre). De nombreuses simulations projettent une baisse des débits de l'Isère sur la majeure partie de l'année, et une baisse de la ressource moyenne annuelle. Ces modifications pourraient induire des changements pour la gestion des ouvrages de stockage.

La Durance pourrait également connaître une onde de fonte plus précoce et moins élevée, induisant une baisse des débits printaniers ; ainsi qu'une baisse des débits estivaux. Ces changements pourraient induire une modification dans la gestion des ouvrages de stockage et transfert.

Le Rhône lui-même (partie française) a fait l'objet de simulations dans le cadre d'Explore 2070, et par EDF également, avec les limites précédemment évoquées. Ces simulations ont ressorti les signaux suivants :

- le Rhône pourrait connaître une baisse marquée de ses débits estivaux. Cette baisse pourrait s'étendre sur la période de mai-juin à octobre-novembre. Compte tenu des régimes hydrologiques des différents affluents intermédiaires, et de leur sensibilité au changement climatique, il est possible que cette baisse soit plus marquée à l'aval qu'à l'amont du bassin ;
- on ne peut pas dégager de tendance sur les débits en hiver : certaines simulations projettent une hausse, d'autres une baisse des débits. Cela est dû notamment aux fortes incertitudes sur l'évolution des précipitations ;
- au printemps, la situation est également nuancée :
 - sur le haut Rhône (Pougny-Lagnieu), le décalage et la modification de l'onde de fonte pourrait induire une hausse des débits printaniers.
 - sur le Rhône aval, cet effet se combine à une forte incertitude sur les précipitations. Aussi les apports intermédiaires de l'Ain et de la Saône notamment sont très incertains. En outre, les débits de l'Isère pourraient baisser à cette période sous l'effet d'une fonte plus précoce. En conséquence, il est difficile de dégager une tendance sur les débits du Rhône aval au printemps.
- la plupart des simulations projettent une baisse de la ressource moyenne annuelle sur le Rhône.

5. CAPACITE DU FLEUVE A REpondre AUX USAGES

5.1. NIVEAU D'EXPLOITATION DES EAUX DU FLEUVE PAR LES USAGES PRELEVEURS EN SITUATION ACTUELLE

NOTION D'EMPREINTE ET DE DEBIT DESINFLUENCE

Afin d'appréhender comment les usages du bassin du Rhône influencent et modifient les débits du Rhône, de l'amont à l'aval, on utilise une méthode commune dans le domaine de la gestion intégrée des ressources en eau : « le désinfluencement des débits ».

Il s'agit de calculer **quels auraient été les débits du Rhône ces dernières années, s'il n'y avait pas eu d'usage (ni prélèvements, ni ouvrages hydrauliques) sur le bassin.**

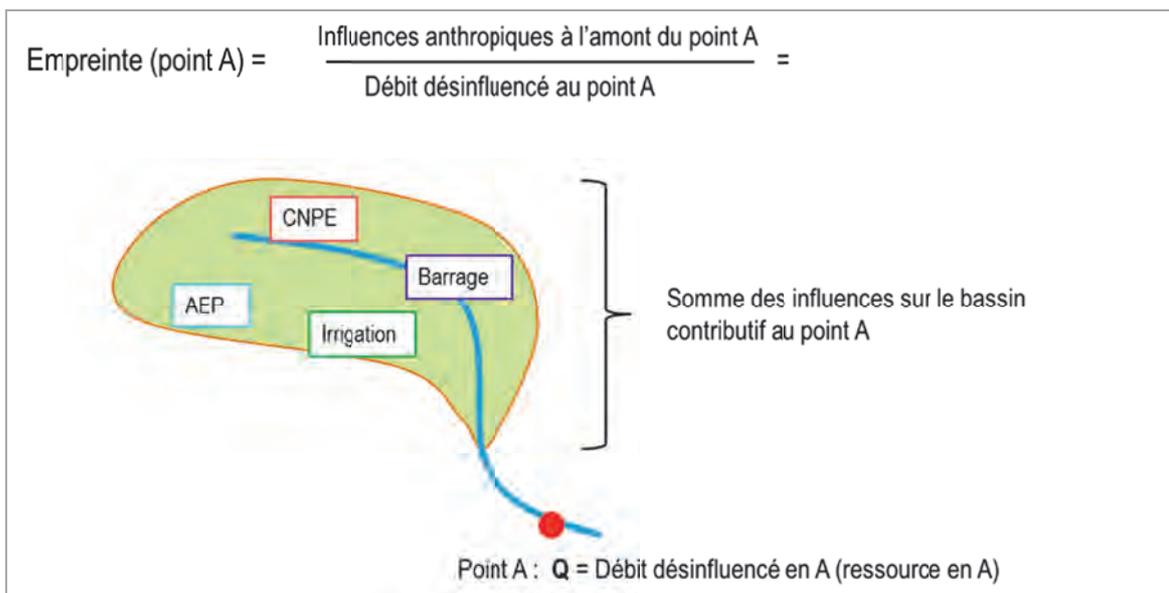
La comparaison de ces débits « désinfluencés », et des débits effectivement mesurés dans le Rhône, permet de rendre compte de **l'effet des usages sur l'hydrologie du Rhône**, tout en prenant en compte la variabilité hydrologique du fleuve.

Les résultats qui sont donnés ci-après concernent **uniquement les usages français** : ni les effets du lac Léman, ni les effets des ouvrages et prélèvements suisses ne sont pris en compte, compte tenu des contraintes de l'étude.

Une seconde notion pour appréhender l'effet des usages que nous proposons d'utiliser est la notion d'« empreinte » : **L'empreinte est définie ici comme la part de la ressource mobilisée (prélèvement net) sur la ressource disponible (débit désinfluencé).**

À titre d'exemple : Si, pour un mois donné, l'ensemble des prélèvements sur le bassin versant à l'amont de Beaucaire représente 150 m³/s, et que les débits désinfluencés à Beaucaire sont de 1000 m³/s, alors l'empreinte est de 15 % ce mois-là à Beaucaire.

Figure 55 : Définition de la notion d'empreinte utilisée dans l'étude



COMMENT LE REGIME HYDROLOGIQUE DU RHONE EST-IL INFLUENCE PAR LES USAGES ?

> De Pougny à Viviers, les usages français modifient relativement peu le régime hydrologique du Rhône

Sur le **haut Rhône**, au niveau de Pougny et de Lagnieu, les usages français représentent **moins de 1 % des débits du Rhône, à l'échelle mensuelle**.

Au droit de **Ternay**, à l'aval de la confluence avec l'Ain et la Saône, les **prélèvements représentent moins de 10 % des débits mensuels du Rhône**. Le barrage de Vouglans effectue un soutien d'étiage principalement en septembre, qui peut représenter jusqu'à 15 % des débits mensuels du Rhône lors des années sèches.

À **Valence et Viviers**, à l'aval de la confluence avec l'Isère, les débits du Rhône sont principalement influencés par les **stockages et déstockages des barrages situés sur le bassin de l'Isère**. La gestion de ces stocks, et les prélèvements, représentent **de l'ordre de 10 %** des débits du Rhône en moyenne, et peuvent **approcher les 20 %** lors des années les plus sèches. Ces influences se traduisent par :

- une **baisse** des débits disponibles, pour les mois de **mai-juin-juillet** (stockage des barrages) ;
- un apport d'eau, notamment de septembre à novembre et en février (déstockage des barrages).

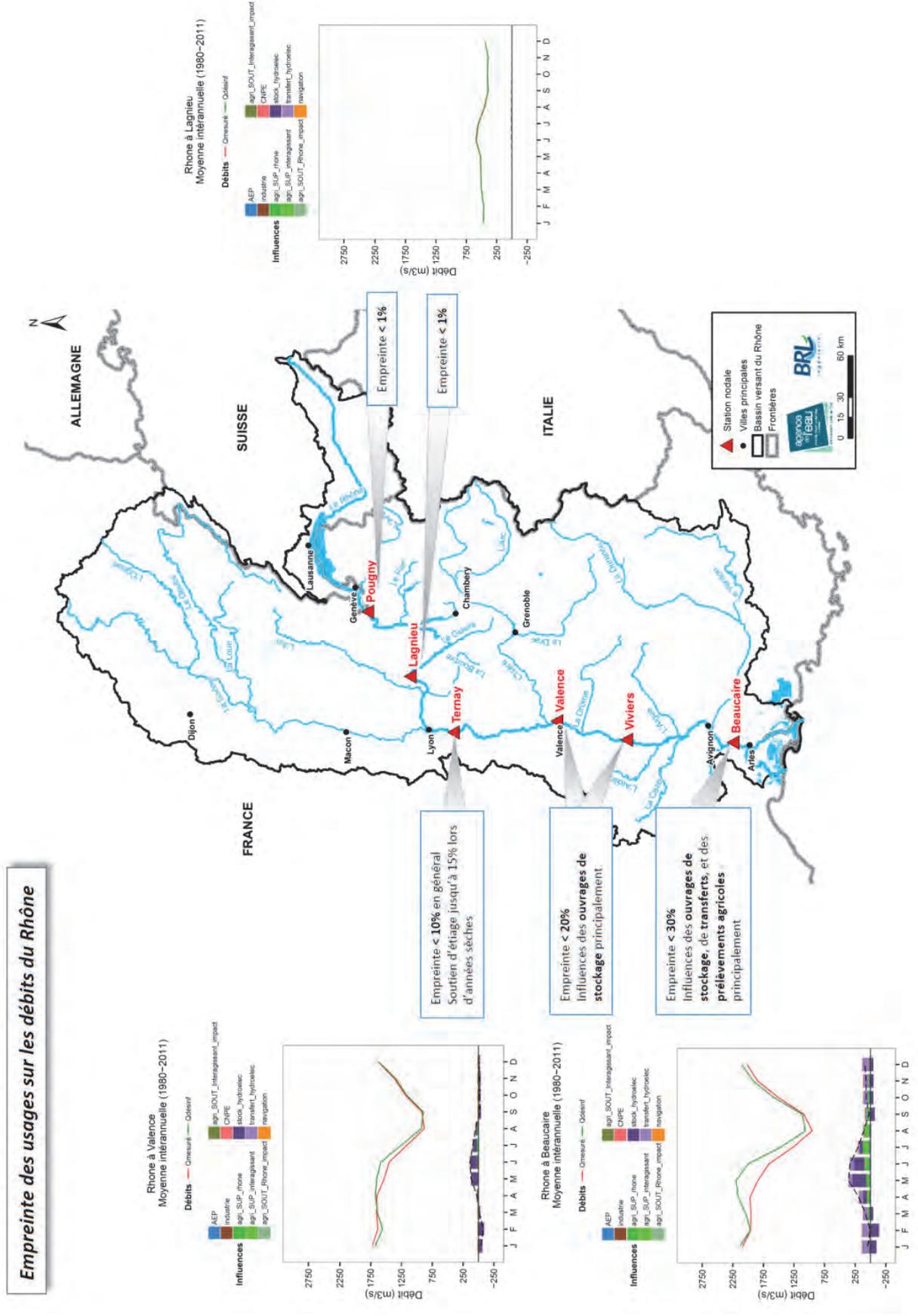
> A l'aval du Rhône, les usages induisent une baisse des débits printaniers et estivaux du Rhône

À Beaucaire, à l'aval de la confluence avec la Durance, les prélèvements sont plus importants mais les niveaux d'empreinte n'ont jamais dépassé 33 % :

En automne et hiver, au niveau de Beaucaire, le déstockage des principaux barrages compense en partie les transferts d'eau vers l'extérieur du bassin. Il en résulte une **empreinte modérée** des usages sur les débits du Rhône, en général **inférieure à 10 % des débits** ;

D'avril à août, les prélèvements liés à **l'irrigation** se cumulent avec le **stockage** des principaux **barrages** et les **transferts** d'eau, entraînant une **diminution des débits du Rhône**. L'empreinte des usages sur les débits du Rhône est **de l'ordre de 10 à 20 %** pendant cette période (selon les années considérées). Cette empreinte peut augmenter **jusqu'à 30 % des débits mensuels du Rhône** pour les épisodes les plus extrêmes. En mai 2011, elle a par exemple atteint 33 % à Beaucaire (plus forte empreinte calculée sur la série étudiée).

Figure 56 : Empreinte des usages sur les débits du Rhône



COMMENT LES PRINCIPAUX AFFLUENTS DU RHONE SONT-ILS INFLUENCES PAR LES USAGES ?

Les bilans ressources/prélèvements sur les affluents sont très variables d'un affluent à l'autre.

> **Les débits du Fier et du Guiers** sont ainsi faiblement influencés par les usages anthropiques : l'empreinte des usages reste **inférieure à 5%** la plupart du temps, elle atteint 10% lors d'épisodes d'étiage exceptionnels (juillet 2003, octobre 2009).

> **La Bourbre** : l'empreinte des usages sur les débits de la **Bourbre** est de l'ordre de **moins de 10%** la plupart du temps, elle atteint 25% lors d'épisodes d'étiages exceptionnels (2003, 2009).

> **La Saône aval** : l'empreinte des usages sur le bassin de la **Saône aval** représente **moins de 10%** (établie à Couzon) la plupart du temps, il a atteint 20% des débits à l'étiage de 2003.

> **L'Ain aval** est principalement influencé par la gestion du barrage de Vouglans, qui stocke entre mars et juin, et déstocke entre août et octobre. Le **déstockage du barrage** peut représenter des volumes importants, au regard des débits de l'Ain : l'apport net moyen mensuel en septembre est de 30 m³/s (**soit 70%** des débits moyens désinfluencés de l'Ain). En septembre 2005 et 2009, le déstockage net a atteint de l'ordre de 80 m³/s, les débits mensuels de l'Ain ont alors été multipliés par 6. En dehors des périodes de déstockage, l'empreinte des usages sur les débits de l'Ain représente en moyenne **5 à 15%** des débits mensuels.

> **Les débits de l'Isère** sont fortement impactés par l'ensemble des barrages de stockage présents sur le bassin. On note :

- une diminution des débits disponibles de mai à août, liée au stockage des barrages, et dans une moindre mesure, aux prélèvements agricoles. Pour le mois de pointe (juin), cela représente un manque de l'ordre de 100 m³/s (entre 50 et 190 m³/s selon les années), et une réduction des débits de l'ordre de **20 à 30%** en moyenne.
- un apport d'eau de septembre à mars lié au déstockage des barrages, impliquant un soutien d'étiage pour l'Isère. Ces **restitutions** sur les débits de l'Isère peuvent représenter **plus de 50%** du débit non influencé.

> **Les débits de la Durance aval** sont très fortement modifiés par les barrages de stockage, les prélèvements agricoles et le transfert d'eau vers l'étang de Berre. L'empreinte cumulée reste élevée toute l'année, avec un pic d'avril à juillet, même si cette empreinte a été réduite avec la diminution des transferts vers l'étang de Berre :

- de 1980 à 1992, la quasi-totalité des débits de la Durance étaient prélevés ou transférés, et ne rejoignaient pas le Rhône ;
- depuis l'application du plan Barnier visant à réduire les transferts, l'empreinte s'est nettement réduite mais reste très élevée (valeurs moyennes depuis 2007) :
 - de septembre à juin, en moyenne, la part des débits prélevée représente **40 à 80%** ;
 - en juillet et août, cette part atteint **80%**.

5.2. MARGE DE MANŒUVRE AUJOURD'HUI ET DEMAIN POUR DES NOUVEAUX PRELEVEMENTS

Comme explicité au chapitre 3, les experts hydrobiologistes consultés pour l'étude ont estimé que la définition de débits biologiques à l'échelle mensuelle pour le Rhône libre n'était pas pertinente.

La définition d'une marge de manœuvre au sens du SDAGE, c'est-à-dire le volume d'eau pouvant être prélevé huit années sur dix sans restriction et ceci dans le respect permanent (dix années sur dix) des exigences du milieu aquatique n'a ainsi pas pu être établie, faute de la définition d'une « ligne rouge » correspondant aux besoins du milieu à l'échelle mensuelle.

Deux approches ont toutefois été conduites afin d'éclairer les décideurs sur la sensibilité du système rhodanien à des variations des prélèvements nets.

RAPPORT ENTRE HAUSSE DES PRELEVEMENTS ET DEBITS NON SOUS-PASSES 8 ANNEES SUR 10

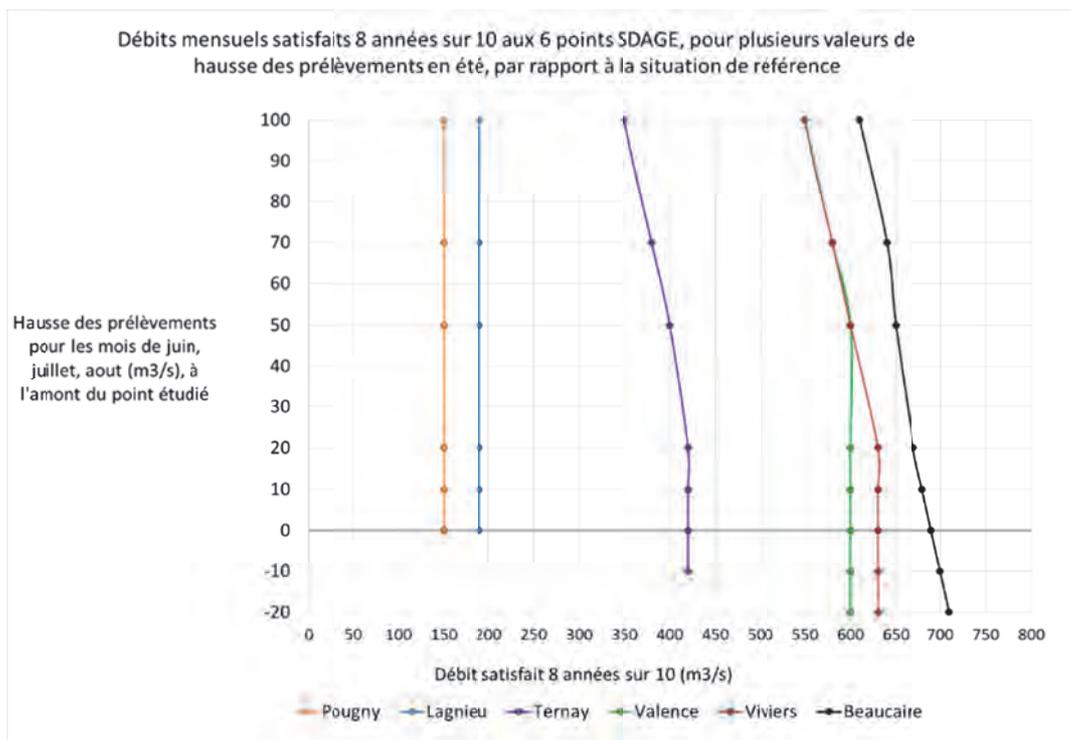
Cette première approche a montré comment variait le débit mensuel du fleuve sous lequel on ne passe pas 8 années sur 10, et donc sous lequel on passe 2 années sur 10, (ce débit sera noté le « Q 8/10 » dans la suite), en fonction du volume prélevé, ceci au droit des six stations hydrométriques de référence. Ce calcul permet d'approcher les effets induits par des nouveaux prélèvements, en plus de ceux déjà pratiqués.

Le graphe suivant synthétise les résultats obtenus quand on simule une hausse des prélèvements pendant les mois estivaux.

Prenons l'exemple de la station de Beaucaire (courbe noire). On note en premier lieu que la courbe croise l'axe des abscisses pour la valeur 690 m³/s. Cela signifie, qu'en l'état actuel des prélèvements sur le bassin et de l'hydrologie du Rhône (approche statistique sur 1980-2011), 8 années sur 10, le débit mensuel à la station de Beaucaire ne descend jamais sous 690 m³/s. Regardons ensuite la pente de la courbe : elle est de 1 pour 1. C'est à dire que, si on augmente, par exemple, de 30 m³/s les prélèvements à l'amont de Beaucaire (sur n'importe quel tronçon du Rhône ou affluent), on diminue de 30 m³/s le Q 8/10 (débit mensuel minimal sous lequel on ne descend pas 8 années sur 10).

Pour les autres stations, le raisonnement est le même. L'intersection avec l'axe des abscisses renseigne sur la situation actuelle en terme de Q 8/10 (150 m³/s à Pougny, 190 m³/s à Lagnieu, 420 m³/s à Ternay, 600 m³/s à Valence, 630 m³/s à Viviers) et la pente de la courbe traduit la sensibilité de cet indicateur à une hausse des prélèvements. On note une évolution importante quand on remonte vers l'amont du fleuve. **Au droit des stations situées sur le haut Rhône, les épisodes de plus bas débits ne surviennent pas en été (mais pendant l'automne et l'hiver). En effet, les apports principaux sur le haut du bassin sont de régimes glacio-nivaux ou nivaux. La hausse des prélèvements à l'amont de ces stations pendant les mois d'été n'entraînera donc pas forcément de baisse de Q 8/10.** Pour Pougny et Lagnieu on note ainsi que la courbe est verticale. Même une hausse de prélèvement de 100 m³/s à leur amont n'entraînerait pas de baisse du Q 8/10 pour ces stations (rappelons le, de l'ordre, respectivement, de 150 et 190 m³/s en situation actuelle). Pour Viviers, Valence et Ternay, la courbe s'infléchit à partir d'une certaine hausse de prélèvement.

Figure 57 : Débits mensuels satisfaits 8 années sur 10 aux 6 points SDAGE pour plusieurs valeurs de hausse des prélèvements en été, par rapport à la situation de référence



INFLUENCE DE SCENARIOS D'ÉVOLUTION DES PRELEVEMENTS ET DE LA RESSOURCE SUR L'HYDROLOGIE DU RHONE

Cette seconde approche a consisté à regarder comment des indicateurs hydrologiques variaient sur le fleuve sous différents scénarios d'évolution socio-économique et hydrologique.

Dans cette approche, on cherche à cerner l'enveloppe des évolutions possibles en croisant des scénarios d'évolution des prélèvements et d'évolution de la ressource.

> Pour les prélèvements, trois situations sont envisagées :

- la **situation de référence**. C'est la situation « actuelle » déjà exposée au chapitre « bilan des prélèvements nets sur le bassin versant du Rhône mois par mois et tronçon par tronçon » ;
- une **situation de court-moyen terme**, correspondant à l'évolution des prélèvements exposée au chapitre « Evolution des consommations d'eau au cours des dernières années et projets à l'horizon 2030 ». Ce scénario représente une **hausse de 5 m3/s pendant le mois de pointe** ;
- une **évolution de plus long terme**. Cette évolution n'est pas issue d'un exercice de prospective détaillé mais cherche à approcher une limite haute des hausses possibles de prélèvements sur le bassin (bien que l'exercice, à cette échéance, reste très délicat).

Dans ce scénario, on suppose, d'une part, que 1 000 000 nouveaux habitants du sud de la France (PACA et/ou Languedoc Roussillon) sont alimentés par de la ressource en eau soustraite définitivement au bassin du Rhône par transfert. Sur la base d'une hypothèse d'une consommation nette de 160 litres par jour et par habitant et d'un rendement de 80 % (soit un prélèvement brut de 200 litres par jour), le débit de prélèvement fictif continu associé au scénario est de 2,3 m3/s.

On suppose, d'autre part, que toutes les surfaces cultivées aujourd'hui en maïs et verger au sud de Lyon seront irriguées et que 15 000 ha de vignes seront également irrigués à partir des eaux du bassin. Cela revient, au final, à ajouter une superficie de 65 000 nouveaux hectares aux 220 000 ha irrigués actuellement à partir des eaux du bassin du Rhône, soit une hausse de 30 %. Pour traduire ces surfaces en prélèvements nets, nous avons considéré les besoins théoriques des plantes calculés dans l'étude pour différentes zones climatiques que l'on a majoré de 15 % pour prendre en compte l'effet de la hausse probable de la température atmosphérique moyenne à cet horizon. On a, par ailleurs, intégré un rendement de 80 % pour passer du besoin théorique des plantes au prélèvement net effectif.

Ce scénario représente au final une hausse de 47 m3/s des prélèvements totaux au mois de juillet, soit une hausse de +28 % par rapport aux prélèvements actuels (hors influence des barrages hydroélectriques) et de +21 % si on intègre l'influence des barrages hydroélectriques.

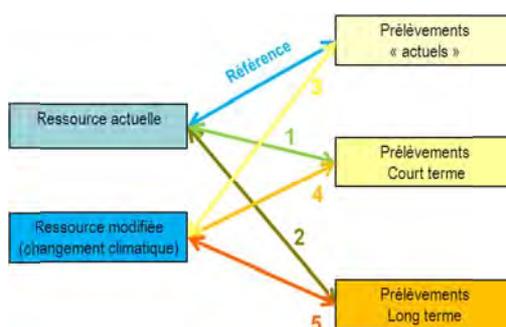
> Pour la ressource, deux situations sont envisagées :

- la situation de référence, définie par la chronique des débits 1980-2011,
- une situation où on prend en compte un effet possible du changement climatique à l'horizon 2050-2060. Le scénario suivant a été retenu pour les évolutions possibles de débit (le tableau indique les variations relatives des débits entre la situation future et la situation de référence) :

	janv.	févr.	mars	avr.	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.
Haut Rhône (Pougy - Lagnieu)	-10%	0%	0%	20%	10%	-10%	-30%	-30%	-30%	-10%	-10%	-10%
Rhône aval (Valence - Beaucaire)	-10%	-10%	-10%	-10%	-20%	-20%	-30%	-30%	-30%	-30%	-10%	-10%

NB : ce scénario a été établi à dire d'expert, à partir des résultats disponibles dans les différentes approches décrites au chapitre « Changement climatique et fleuve Rhône ». Il constitue un scénario « pessimiste raisonnable ».

Le croisement des hypothèses « prélèvements » et des hypothèses « ressources » conduit aux scénarios suivants :

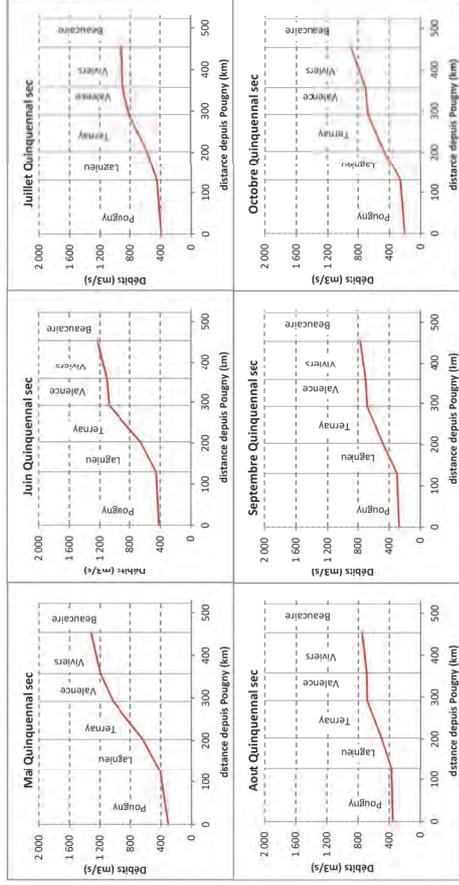


Les graphes ci-dessous représentent pour les scénarios « 1 », « 2 » et « 5 », les débits quinquennaux secs mensuels⁶ du Rhône au droit des six stations de référence (comparaison avec la situation de Référence).

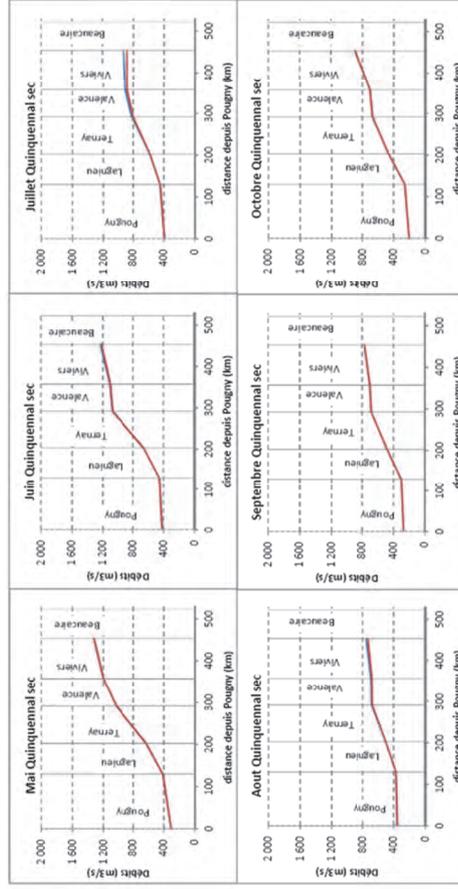
⁶ Statistiquement, 4 années sur 5 le débit du mois considéré est supérieur à cette valeur, 1 année sur 5 il est inférieur.

Figure 58 : Comparaison des débits mensuels quinquennaux secs en situation de référence et pour trois scénarios

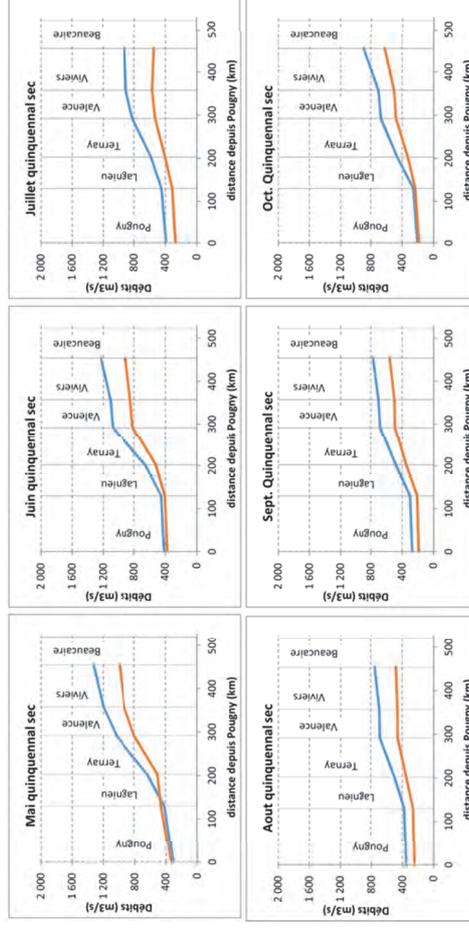
1 : Ressource actuelle x Prélèvement court terme



2 : Ressource actuelle x prélèvements long terme

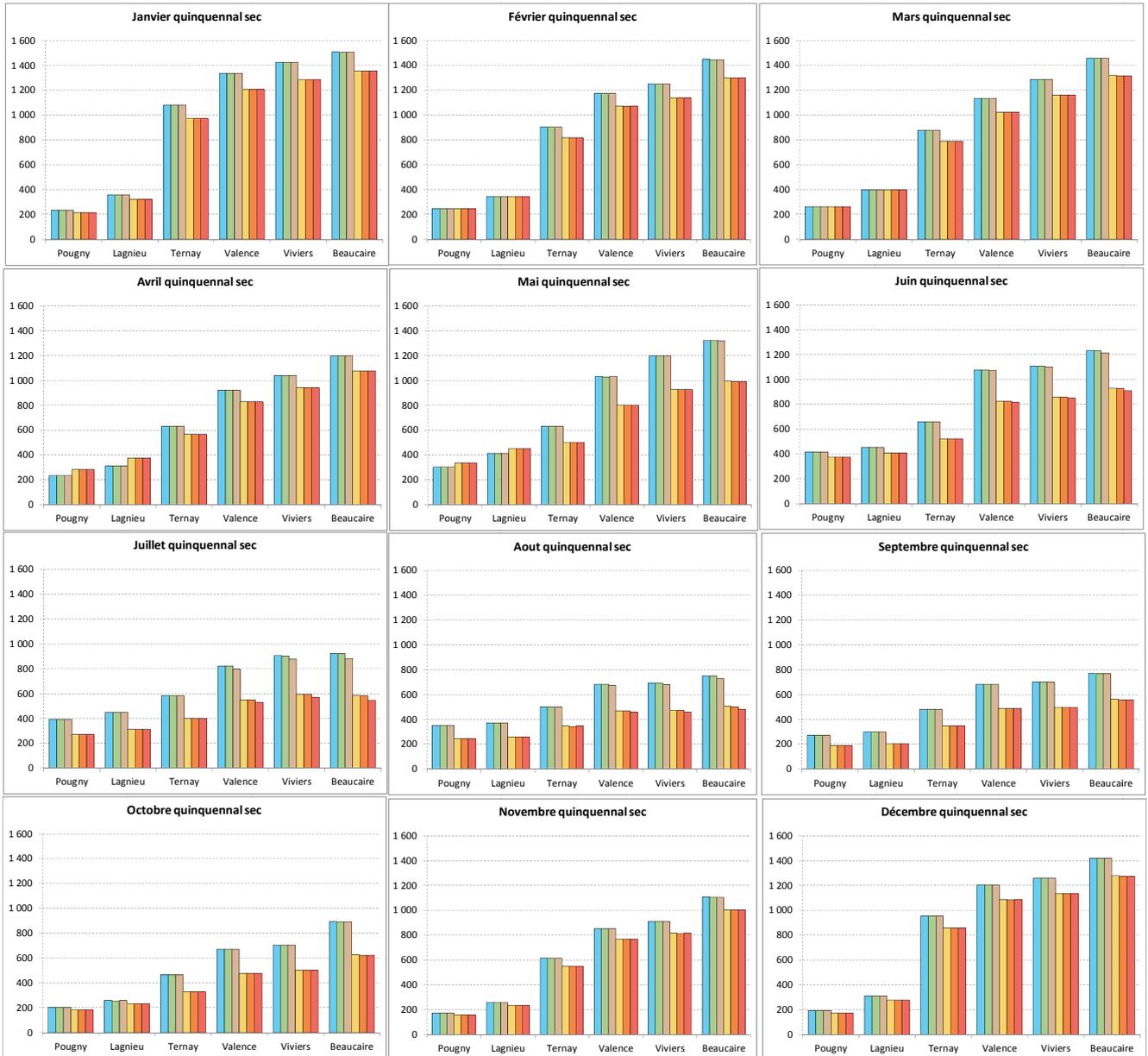


5 : Ressource future x prélèvements long terme



Les graphes ci-dessous représentent pour l'ensemble des scénarios, les débits quinquennaux secs mensuels du Rhône au droit des six stations de référence.

Figure 59 : Débits mensuels quinquennaux secs au droit des six station de référence du Rhône pour différents scénarios (m³/s)



- Référéce
- Ressource actuelle - Prélèvements court terme
- Ressource actuelle - Prélèvements long terme
- Changement Ressource - Prélèvements inchangés
- Changement Ressource - Prélèvements court Terme
- Changement Ressource - Prélèvements Long Terme

CONCLUSION PRATIQUE SUR LES MARGES DE MANŒUVRE EN TERME DE PRELEVEMENTS SUR LE RHONE ET SA NAPPE

On pourra retenir les points suivants :

> En climat actuel

En climat actuel, **il existe une marge de manœuvre certaine pour augmenter les prélèvements** dans le Rhône ou sa nappe, sans mettre en danger les écosystèmes associés.

On pourra toutefois être conduit à limiter des hausses de prélèvements en nappe dans certains secteurs, par exemple pour éviter un rabattement qui nuirait à des écosystèmes rivulaires associés (comme des formations végétales alluviales). La raison ne serait pas alors le manque d'eau global dans le Rhône mais un effet local de rabattement du niveau de la nappe.

Cette marge de manœuvre n'a pas été définie, à ce stade, de manière absolue (volumes prélevables) étant donné qu'il n'a pas été défini de débits environnementaux sur le Rhône non court-circuité. En effet, de tels débits n'ont pas été jugés pertinents compte tenu du fonctionnement hydrologique du fleuve.

Les gestionnaires du fleuve estiment cependant que la marge de manœuvre effective acceptable est supérieure aux évolutions des prélèvements en eau sur le bassin recensés à court - moyen terme (2021).

Ces évolutions de court – moyen terme constituent, en ordre de grandeur, quand on intègre les projets de développement et les projets d'économie d'eau, une hausse de l'ordre de $5 \text{ m}^3/\text{s}$ en mois de pointe (juillet), **hausse qui représente 3 % des prélèvements nets actuels** hors influence des barrages. Ces évolutions conduiraient à une **évolution relative des débits mensuels quinquennaux secs inférieure à 1% sur le tronçon le plus impacté** (Rhône aval).

Il apparaît que **des évolutions plus marquées des prélèvements, en l'absence d'une évolution de l'hydrologie naturelle du fleuve, pourraient également être acceptables.**

Ainsi, **dans un scénario de hausse globale de long terme de près de $50 \text{ m}^3/\text{s}$ (mois de pointe), soit une hausse de près de 30 % des prélèvements nets actuels** hors influence des barrages (mois de pointe), **la baisse relative des débits mensuels quinquennaux secs sur le tronçon le plus impacté (Rhône aval) reste inférieure à 5 % par rapport à la situation actuelle.**

A la station de référence la plus aval (Beaucaire), dans ce scénario, l'empreinte moyenne (c'est-à-dire le ratio des prélèvements par rapport à ressource désinfluencée) au mois de juillet augmente de 3 points (passage de 14 à 17 %).

> Dans un scénario de changement climatique

L'état de la science en termes de projections climatiques et hydrologiques permet de définir qualitativement des évolutions probables du régime et des débits du Rhône et de ses affluents mais ne permet pas de les quantifier. Les incertitudes restent très élevées sur les évolutions à attendre.

En croisant l'ensemble des informations disponibles à ce jour, **il a été retenu – parmi les scénarios possibles - un scénario « pessimiste raisonnable » pour dessiner une évolution possible des débits du Rhône à l'horizon 2050-60. Sous cette hypothèse de ressource, le débit du Rhône aval diminuerait de 10 à 30 % selon les mois.**

Une baisse de 30% de la ressource (au sens de débit désinfluencé) se traduirait à Beaucaire par une baisse des débits quinquennaux secs mensuels de l'ordre de $335 \text{ m}^3/\text{s}$ en juillet et $260 \text{ m}^3/\text{s}$ en août.

Parallèlement, on peut appliquer l'hypothèse de prélèvements long terme déjà évoquée : cette hypothèse représente, sur le bassin contributif à Beaucaire, une hausse des prélèvements mensuels de $40 \text{ m}^3/\text{s}$ en juillet, $25 \text{ m}^3/\text{s}$ en août.

En conséquence, dans un scénario « long terme » combinant changement climatique et hausse des prélèvements, les débits quinquennaux secs à Beaucaire à juillet baisserait de l'ordre de 375 m³/s ; baisse attribuable :

- à hauteur de 335 m³/s, au changement climatique ;
- à hauteur de 40 m³/s, à la hausse des prélèvements à long terme.

Ainsi, en absolu, l'évolution climatique considérée pèse 8 fois plus que l'évolution des prélèvements étudiée en juillet à Beaucaire sur les débits influencés. En aout, ce ratio est de 10.

> Dans tous les cas

C'est bien la baisse absolue de débits qui devra être surveillée de près par les gestionnaires et les conséquences possibles de cette baisse sur l'écosystème et sur certains usages, en particulier les pompages dans l'extrémité aval du fleuve. Ce tronçon est en effet sous influence de la mer Méditerranée et peut connaître des remontées du coin salé (intrusion d'eau marine dans le lit du fleuve). Ces remontées dépendent de différents facteurs (vitesse et direction du vent, niveau de la mer, débit du fleuve, ...). **Le débit du fleuve est le plus déterminant, les remontées ayant lieu lors des bas débits.**

Au final, il ressort que, étant donné les dynamiques en œuvre, aussi bien celles du changement climatique que celle des évolutions relatives aux prélèvements à court-moyen termes, il n'existe pas d'urgence à définir, en particulier dans le SDAGE 2016-2021, des lignes rouges pour limiter les prélèvements sur le Rhône.

> Plusieurs points clé de vigilance sont cependant retenus afin de ne pas subir l'avenir mais bien de l'anticiper

- **Suivre l'évolution, dans les 10 à 20 prochaines années, d'indicateurs clés du régime et des étiages du Rhône et de ses principaux affluents.** La surveillance de cette évolution imposera de se donner les moyens (par exemple tous les 5 ans) de dresser un état des influences sur les débits du Rhône (gestion du lac Léman, gestion des ouvrages EDF et CNR, prélèvements nets, ...) ;
- **Suivre la somme des débits et volumes des nouveaux prélèvements effectivement autorisés ;**
- **Suivre la gestion effective du lac Léman et plus généralement du bassin amont ;**
- **Suivre l'évolution des écosystèmes rhodaniens en lien avec les évolutions hydrologiques mais aussi thermiques.**

Des remerciements sont adressés aux membres du Comité de suivi de l'étude composé de la DREAL délégation de bassin, de la CNR, d'EDF, du Canton de Genève, de l'ONEMA, d'experts IRSTEA, des Conseils Régionaux de Rhône-Alpes, de Provence-Alpes Côte d'Azur et de Languedoc-Roussillon, des délégations régionales de l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse pour leur participation attentive à l'étude.

Pour en savoir plus :

www.eaurmc.fr/quantiterhone
www.eaurmc.fr/climat

ÉTUDE DE LA GESTION QUANTITATIVE DU FLEUVE RHÔNE À L'ÉTIAGE

PRINCIPAUX RÉSULTATS

Le Rhône, premier fleuve de France par son débit, est souvent considéré comme une ressource inépuisable, susceptible de satisfaire de nombreux usages (prélèvements pour l'eau potable, l'industrie et l'irrigation, production hydroélectrique, refroidissement de centrales nucléaires,...).

On peut cependant s'interroger sur l'évolution de la capacité du fleuve à satisfaire les usages dans le futur tout en garantissant le bon état des milieux aquatiques, compte tenu de l'émergence de nouveaux prélèvements sur le fleuve et sa nappe, de l'apparition de périodes de tensions lors d'étiages prononcés, des liens complexes entre débits et température de l'eau et des perspectives de modification de ses écoulements en lien avec le changement climatique.

Ces constats ont conduit l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, en copilotage avec la DREAL délégation de bassin, à mener une étude pour améliorer la connaissance du fonctionnement du fleuve Rhône à l'étiage, connaître son niveau actuel d'exploitation et évaluer le potentiel d'augmentation des prélèvements sans compromettre l'état écologique du fleuve et en satisfaisant durablement les usages. L'étude permet de répondre à 3 grandes questions :

Quel est aujourd'hui le poids des usages sur les débits du Rhône ?

Peut-on définir des débits « planchers » pour les milieux aquatiques et les usages prioritaires (besoins pour l'eau potable, la production d'électricité) ?

Peut-on prélever plus d'eau dans le Rhône ?