

## ETUDE DE LA GESTION QUANTITATIVE ET DES DEBITS DU RHONE EN PERIODE DE « BASSES EAUX »



**PHASE 5 - SYNTHÈSE DES DÉBITS LIMITES POUVANT ÊTRE DÉFINIS  
DANS LE RHONE ET APPROCHE DES VOLUMES PRÉLEVABLES**

*Document A – Rapport principal*



Edition finale - Octobre 2014



L'étude de la gestion quantitative et des débits du Rhône en période de basses eaux comporte les documents listés ci-dessous. Le présent document constitue le rapport surligné en gris.

<b>Synthèse de l'étude</b>	
Synthèse	Etude de la gestion quantitative du fleuve Rhône à l'étiage : Principaux résultats - Synthèse de l'étude en 100 pages précédée d'un résumé de 6 pages
<b>Phase 1 - Caractérisation du territoire du fleuve Rhône et Bilan des influences anthropiques passées, actuelles et futures possibles</b>	
A	Rapport principal de phase 1
B	Rapport thématique sur l'irrigation dans le bassin du Rhône
C	Rapport thématique sur les nappes en interaction avec le Rhône
D	Fiche de synthèse sur les ouvrages hydroélectriques situés sur la partie française du bassin du Rhône
E	Fiche de synthèse sur l'hydrologie du Rhône alpestre et l'influence des ouvrages hydrauliques suisses
F	Résumé de la phase 1
<b>Phase 2 - Etude des étiages historiques ; Reconstitution des débits désinfluencés et Evaluation de l'empreinte des influences anthropiques sur les débits du Rhône</b>	
A	Rapport principal de mission 1 : Etude des étiages historiques
B	Rapport principal de mission 2 : Reconstitution des débits désinfluencés et évaluation des empreintes des influences anthropiques sur les débits
C	Rapport thématique Hydrogéologie : Estimation des impacts des prélèvements en nappes sur le débit du Rhône
D	Rapport thématique Hydrométrie : Etude critique des débits mesurés aux stations d'étude
E	Résumé de la phase 2
<b>Phase 3 - Détermination des 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</b>	
A	Rapport principal de phase 3
B	Résumé de la phase 3
C	Impact d'une baisse des débits d'étiage sur la salinisation des hydrosystèmes souterrains en Camargue
D	Impact d'une baisse de débit du fleuve sur les usages préleveurs en nappe alluviale
<b>Phase 4 - Détermination des conditions limites de débits pour les espèces</b>	
A	Rapport principal de phase 4
B	Résumé de la phase 4
<b>Phase 5 - Synthèse des débits limites pouvant être définis dans le Rhône et Approche des volumes prélevables</b>	
A	Rapport principal de phase 5
B	Résumé de la phase 5
<b>Phase 6 - Etude de la sensibilité des étiages du Rhône à des scénarios prospectifs</b>	
A	Rapport principal de phase 6
B	Résumé de la phase 6





**BRL ingénierie**

1105 Av Pierre Mendès-France BP 94001  
30001 NIMES CEDEX 5

<b>Date de création du document</b>	juin 2014
<b>Contact</b>	Sébastien Chazot

<b>Titre du document</b>	Phase 5 – Document A : Synthèse des débits limites pouvant être définis dans le Rhône et Approche des volumes prélevables
<b>Référence du document :</b>	800420 Ph5_A_Principal
<b>Indice :</b>	Vfb

<b>Date émission</b>	<b>Indice</b>	<b>Observation</b>	<b>Dressé par</b>	<b>Vérifié et Validé par</b>
20/06/2014	V1		M. Chauveau et S. Chazot	S. Chazot
Octobre 2014	Vfb	Prise en compte des remarques du COPIL	M. Chauveau et S. Chazot	S. Chazot

# ETUDE DE LA GESTION QUANTITATIVE ET DES DÉBITS DU RHÔNE EN PÉRIODE DE « BASSES EAUX »

## Phase 5 – Document A : Synthèse des débits limites pouvant être définis dans le Rhône et Approche des volumes prélevables

PRÉAMBULE.....	1
1. TERMINOLOGIE ET DÉFINITIONS .....	3
2. DÉBITS DE CRISE RENFORCEE.....	5
2.1 Définition	5
2.2 Proposition de DCR sur le fleuve Rhône	6
2.2.1 Synthèse des conclusions des phases 3 et 4	6
2.2.2 DCR proposés sur le Rhône	9
2.2.3 Discussions sur le point de Pougny	11
2.2.4 Discussions sur les marges de manœuvre pour éviter d'atteindre les DCR	14
3. OUTIL DEVELOPPÉ POUR L'ANALYSE DOE / VOLUMES PRÉLEVABLES ET LA MODÉLISATION DE SCÉNARIOS .....	15
3.1 Objectifs du modèle	15
3.2 Principe du modèle	16
3.3 Echelles de temps et d'espace	17
3.4 Usages et ressource pris en compte	19
3.5 Ce que fait le modèle : les débits calculés par le modèle	20
3.6 Topologie	21
3.7 Situation de référence et situation sous scenario	23
3.8 Pourquoi une analyse sur 30 ans ?	23
4. DÉBITS OBJECTIFS D'ÉTIAGE ET VOLUMES PRÉLEVABLES .....	25
4.1 Limites des notions de Débit Objectif d'Étiage et de Volumes Prélevables dans le cas du bassin du Rhône	25
4.1.1 Les limites biologiques du système n'ont pu être définies à l'échelle mensuelle	26
4.1.2 Les autres limites...	26
4.1.3 Conclusion : l'aide à la décision proposée dans la présente approche	27
4.2 Préambule : Quels sont les débits satisfaits 8 années sur 10 au droit des six points SDAGE...	29
4.2.1 ... en situation de référence ?	29
4.2.2 ... sans influences anthropiques ?	31

<b>4.3 Approche 1 : Quels sont les débits satisfaits 8 années sur 10 si l'on multiplie les prélèvements actuels ?</b>	<b>32</b>
<b>4.4 Approche 2 : Quels sont les volumes prélevables sur le bassin du Rhône pour un débit cible donné à Beaucaire ?</b>	<b>40</b>
<b>4.5 Quelle répartition amont-aval des volumes prélevables ?</b>	<b>49</b>
4.5.1 Un outil d'aide à la décision qui rend compte des effets d'une hausse des prélèvements estivaux, de l'amont vers l'aval.	49
4.5.2 Discussion sur les résultats obtenus	51
<b>5. SYNTHÈSE : LES GRANDES IDEES À RETENIR .....</b>	<b>55</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>57</b>
<b>Annexe 1 : Précisions sur le modèle</b>	<b>59</b>
1. Précisions sur les données d'entrée	59
2. Sur quoi peut-on jouer dans le modèle ? L'interface utilisateur	63
3. Quels types de résultats sont donnés par le modèle ?	67

# TABLES DES ILLUSTRATIONS

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma du Rhône amont, du Seujet à Lagnieu .....	11
Figure 2 : Découpage du bassin versant du Rhône en surfaces contributives aux 6 points SDAGE .....	18
Figure 3 : Illustration de la notion de débit satisfait 8 années sur 10 .....	28
Figure 4 : Fréquences mensuelles de satisfaction des Q8/10 aux 6 points SDAGE.....	29
Figure 5: Valeurs moyennes des prélèvements AEP, agricoles et industriels sur le bassin du Rhône : Scénario « multiplication X 2 » et situation de référence.....	32
Figure 6 : Rappel des sous-bassins versants du Rhône. Le bassin de la Durance est figuré en rose. La station de Beaucaire est encadrée. ....	33
Figure 7 : Tests de sensibilité des Q8/10 aux points SDAGE, par rapport à une multiplication des prélèvements actuels. Présentation 1.....	35
Figure 8 : Tests de sensibilité des Q8/10 aux points SDAGE, par rapport à une multiplication des prélèvements actuels. Présentation 2.....	36
Figure 9 : Fréquences mensuelles de satisfaction du Q8/10 de référence, lors de la multiplication des prélèvements de référence. ....	37
Figure 10 : Illustration de la différence entre fréquences de satisfaction mensuelle et annuelle .....	41
Figure 11 : Illustration des méthodes utilisées pour calculé des prélèvements permettant la satisfaction d'un débit cible à Beaucaire.....	43
Figure 12 : Calcul de prélèvements mensuels permettant la satisfaction d'un débit cible à Beaucaire, 8 années sur 10. Méthode A .....	45
Figure 13 : Calcul de prélèvements mensuels permettant la satisfaction d'un débit cible à Beaucaire, 8 années sur 10. Méthode B .....	46
Figure 14 : Présentation des volumes prélevables calculés par les méthodes A et B pour le mois de juillet, pour plusieurs valeurs de débits cibles. Comparaison avec les prélèvements de référence (Moyenne et Quinquennal haut) .....	47
Figure 15 : Présentation des volumes prélevables calculés par les méthodes A et B, pour plusieurs valeurs de débits cibles. ....	48
Figure 16 : Débits satisfaits 8 années sur 10 aux 6 points SDAGE, pour différentes hausses des prélèvements estivaux. ....	50
Figure 17 : Rappel des ordres de grandeur des prélèvements AEP, agricoles, industriels sur le bassin du Rhône. ....	54
Figure 18 : Moyenne mensuelle interannuelle (1980-2011) des débits transférés vers St Chamas. Historique et Simulation en conditions actuelles.....	60
Figure 19 : Chroniques mensuelles des débits transférés vers l'étang de Berre. Historique et Simulation en conditions actuelles.....	61
Figure 20 : Extrait de l'interface utilisateur du modèle – modifications des prélèvements nets – Exemple.....	64
Figure 21 : Extrait de l'interface utilisateur du modèle – modifications de la ressource – Exemple.....	65
Figure 22 : Extrait de l'interface utilisateur du modèle – Choix pour la visualisation des résultats. ....	65
Figure 23 : Exemple de transect sur les débits. ....	71



## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Débits mensuels satisfaits 8 années sur 10 aux six points SDAGE du Rhône, en situation de référence. ....	29
Tableau 2 : Q8/10 au droit des 6 points SDAGE du Rhône, pour les débits influencés en situation de référence ; pour les débits désinfluencés des prélèvements uniquement ; et pour les débits complètement désinfluencés. (débits calculés à 10 m <sup>3</sup> /s près).....	31
Tableau 3 : Prélèvements AEP, agricoles, industriel, au mois de <b>JUILLET</b> à l'amont de chaque point SDAGE, pour les différents test effectués. ( <b>Débit Fictif Continu, m<sup>3</sup>/s</b> ).....	33
Tableau 4 : Prélèvements AEP, agricoles, industriel, au mois de <b>JUILLET</b> à l'amont de chaque point SDAGE, pour les différents test effectués. ( <b>Volume Mm<sup>3</sup>/mois</b> ).....	34
Tableau 5 : Etude de débits satisfaits 8 années sur 10 (m <sup>3</sup> /s). Tests de sensibilité à la multiplication des prélèvements actuels (hors affluents entre Viviers et Beaucaire).....	35
Tableau 6 : Calcul de prélèvements mensuels permettant la satisfaction d'un débit cible à Beaucaire, 8 années sur 10. Méthode A .....	44
Tableau 7 : Calcul de prélèvements mensuels permettant la satisfaction d'un débit cible à Beaucaire, 8 années sur 10. Méthode B .....	44
Tableau 8 : Débits satisfaits 8 années sur 10 aux 6 points SDAGE, pour différentes hausses des prélèvements estivaux. ....	50
Tableau 9 : Débits mensuels satisfaits 8 années sur 10 aux six points SDAGE du Rhône, en situation de référence. ....	55
Tableau 10 : Effets d'une hausse des prélèvements sur le Q8/10 à Beaucaire - Exemples.....	56



# PRÉAMBULE

L'Agence de l'Eau RMC a confié à BRL*Ingénierie*, 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.

Le Rhône est souvent considéré comme une ressource pléthorique et susceptible de satisfaire de nombreux usages (prélèvements pour l'eau potable, l'industrie ou l'irrigation, production hydroélectrique, refroidissement de centrales nucléaires, navigation, etc.). **On peut cependant s'interroger sur l'évolution de sa capacité à satisfaire, à terme, en périodes d'étiage, tous ces usages, conjointement avec une garantie du bon état des milieux aquatiques associés,** compte tenu de plusieurs paramètres, en particulier :

- ▶ des perspectives d'évolution des usages prélevant dans le fleuve ou sa nappe ;
- ▶ des perspectives de modification de son régime hydrologique et de la température de ses eaux sous l'influence du changement climatique ;
- ▶ une émergence de divers projets de substitution ou de développement de ressource pour amener de l'eau du fleuve (eau superficielle ou nappe) vers des bassins voisins ne disposant pas des ressources suffisantes pour satisfaire leurs besoins (alimentation en eau potable, usage agricole, usage industriel) ;
- ▶ l'apparition de périodes de tensions, en particulier lors d'épisodes caniculaires et/ou d'étiage prononcé. Certaines années récentes se sont illustrées par des températures d'eau élevées (en particulier 2003 et 2006), qui ont conduit EDF à diminuer la production des CNPE.

Ces différents points soulignent l'importance de la question clé posée par le cahier des charges de l'étude : « **Quelle est la capacité du fleuve Rhône à répondre à l'ensemble des usages actuels et à venir tout en assurant le fonctionnement des milieux aquatiques ?** ». Plus précisément, l'étude doit apporter des réponses aux questions suivantes :

- ▶ Est-il pertinent de considérer le Rhône comme une ressource pléthorique ?
- ▶ Quelles sont les composantes du débit du Rhône (contributions des glaciers, du manteau neigeux, du Lac Léman, des affluents, de la pluviométrie...) et les différents leviers influençant les débits d'étiage ?
- ▶ Quels sont les impacts des variations de débits et de température sur les différents usages ?
- ▶ Quels seuils de débit ne faut-il pas dépasser sur le fleuve pour ne compromettre ni la vie biologique, ni les usages prioritaires (eau potable/sécurité civile) ?

L'étude est découpée en six phases chronologiques.

- ▶ 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 six 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 résultats de la phase 5 de l'étude.**



# 1. TERMINOLOGIE ET DÉFINITIONS

Dans la suite du rapport, on parlera de **débit mesuré** (au niveau d'une station de mesure) : débit **historique**, mesuré par la station de mesure ;

De plus, afin de distinguer les débits influencés des débits non-influencés, on parlera de :

- ▶ **Débit influencé** (au niveau d'un point donné) : débit du cours d'eau en ce point ; il est dit « influencé » car il est impacté par les usages anthropiques ;
- ▶ **Débit désinfluencé** (au niveau d'un point donné) : débit du cours d'eau en ce point qui serait observé sans influence d'origine anthropique modifiant le régime du cours d'eau au niveau de la station. Lorsque seule une partie des influences anthropiques seront considérées, on précisera « débit désinfluencé de telle et telle influences ».

Dans le cadre de la présente étude, les débits désinfluencés du Rhône sont les débits calculés en phase 2 : ils représentent les débits historiques désinfluencés des seules influences françaises.

Les indicateurs de débits qui sont employés dans le présent rapport sont présentés ci-dessous :

- ▶ **Débit mensuel quinquennal sec** : correspond au débit mensuel qui a une fréquence de non-dépassement de 0,2 (période 5 ans). 4 années sur 5, le débit mensuel du mois considéré est supérieur au débit quinquennal sec de ce mois. Il permet de caractériser un mois calendaire de faible hydraulicité. Il est noté Qsec5.

- ▶ **Empreinte** : Dans le présent rapport, On désigne par « empreinte des usages sur les débits au point A » :

Empreinte (point A) = (Usages amont du point A) / (débit désinfluencé au droit du point A)

**L'empreinte est le rapport des prélèvements nets sur les débits désinfluencés.** C'est la part de la ressource qui est prélevée ou stockée pour un mois donné.

- ▶ **Module** : correspond à la moyenne des débits sur toute la période considérée.
- ▶ **QMNA** : correspond au plus faible débit mensuel de chaque année hydrologique. Le QMNA5<sup>1</sup> est le QMNA de période de retour 5 ans. 4 années sur 5, le plus faible débit mensuel dépasse le QMNA5 et 1 année sur 5, le plus faible débit mensuel sous-passe le QMNA5.
- ▶ **Temps de retour** (définition des adjectifs « quinquennal », « décennal », etc.) : cette notion s'applique lorsque l'on cherche à évaluer « tous les combien de temps, en moyenne » un phénomène se reproduit. En hydrologie, cette question se pose principalement pour les crues et les étiages. On peut répondre à la question en termes de période (« un étiage aussi sévère s'observe, en moyenne, tous les 10 ans : sa période de retour est de 10 ans ») ou en termes de fréquence (« un débit d'étiage aussi sévère n'est atteint, en moyenne, que 1 année sur 10. Sa fréquence de non dépassement est de 1/10, sa fréquence de dépassement est de 9/10 »). Les deux expressions sont équivalentes.
- ▶ **« Q8/10 »** : On utilisera très largement dans le présent rapport la notion de « **débit mensuel satisfait 8 années sur 10** ». Il s'agit d'un débit mensuel statistique calculé en un point, qui est tel que :
  - 8 années sur 10, tous les débits mensuels de l'année sont supérieurs à cette valeur ;
  - 2 années sur 10, il y a au moins un mois dans l'année pour lequel le débit mensuel est inférieur à cette valeur.

On choisit d'utiliser l'abréviation « Q8/10 » pour alléger la lecture du présent rapport.

<sup>1</sup> Remarque : les indicateurs statistiques de basses eaux sont calculés sur des années hydrologiques adaptées aux régimes hydrologiques de chaque cours d'eau (année encadrant l'étiage), et ajustés sur une loi log-normale. Ces indicateurs sont calculés sur la période 1980-2011.

► **Notion de débit fictif continu**

On présentera dans le rapport des prélèvements sous la forme de **volumes prélevés mensuels** ou **annuels**. L'unité utilisée sera le plus souvent le million de m<sup>3</sup> par mois ou par an, noté respectivement Mm<sup>3</sup>/mois et Mm<sup>3</sup>/an. On pourra aussi ramener les volumes prélevés à des débits afin de les mettre en parallèle plus facilement avec les débits du Rhône ou de ses affluents. On utilisera pour cela la notion de « **débit fictif continu** » (**DFC**). Un tel débit, exprimé en m<sup>3</sup>/s, se définit comme suit :

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

Un prélèvement de 30 Mm<sup>3</sup> sur une année peut ainsi être ramené à un débit de 30 000 000 / (365 x 24 x 60 x 60) = environ 1 m<sup>3</sup>/s. Cela signifie que, si le volume de 30 Mm<sup>3</sup> était prélevé de façon uniforme et continue sur toute l'année, le débit prélevé instantané serait de 1 m<sup>3</sup>/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 Mm<sup>3</sup> sur un mois est équivalent à un DFC d'environ 1 m<sup>3</sup>/s.

## 2. DÉBITS DE CRISE RENFORCÉE

### 2.1 DÉFINITION

Le SDAGE définit le DCR (Débit de Crise Renforcée) comme « *la limite en dessous de laquelle seules les exigences relatives à la santé et la salubrité publique, la sécurité civile, l'alimentation en eau potable, aux besoins des milieux naturels peuvent être satisfaits. Il est établi en valeur journalière associée à une durée maximum de franchissement, sur la base de débits caractéristiques ou d'un débit biologique de survie lorsque celui-ci peut être évalué* ».

Le DCR est un indicateur mis en place pour la gestion de l'eau en période de crise quantitative. Il est associé à d'autres seuils dont les valeurs sont définies par masse d'eau et auxquels sont associées des mesures de gestion des prélèvements visant à préserver l'intégrité des usages considérés comme prioritaires.

- ▶ Le seuil de **vigilance** : il sert de référence pour déclencher des mesures de communication et de sensibilisation du grand public et des professionnels, dès que la tendance hydrologique laisse pressentir un risque de crise à court ou moyen terme.
- ▶ Le seuil d'**alerte** : il correspond au seuil à partir duquel les premières mesures de limitation d'usages (pour les usages non prioritaires) sont mises en place afin d'éviter une aggravation de la crise.
- ▶ Le seuil de **crise** : les mesures de limitation sont renforcées, pouvant aller jusqu'à la suspension de certains usages, afin de ne pas atteindre le niveau de crise renforcée.
- ▶ Le seuil de **crise renforcée** : à partir du DCR, l'ensemble des usages jugés non prioritaires est arrêté (voir également la définition ci-dessus).

Ces différents niveaux sont repris par des arrêtés cadre sécheresse départementaux, qui prévoient à l'échelle de la masse d'eau les valeurs de débit correspondant à chaque seuil (généralement sur la base de débits journaliers, de VCN3) ainsi que les mesures de restriction à appliquer aux usages. Des « comités sécheresse » se réunissent pour décider du déclenchement des mesures de restriction et de leurs modalités de mise en œuvre. En dessous du seuil de crise renforcée, le débit devient insuffisant pour satisfaire les usages prioritaires. L'arbitrage entre ces usages prioritaires n'est pas encadré par les arrêtés cadre et fait l'objet de discussions du comité sécheresse au cas par cas.

On propose ci-dessous des valeurs de DCR sur le fleuve Rhône, pour lequel il n'existe pas d'arrêté cadre sécheresse.

Comme pour les autres cours d'eau, les prélèvements jugés « prioritaires » sur le fleuve Rhône sont la salubrité publique, l'alimentation en eau potable, les besoins du milieu et la sécurité civile. Compte tenu du rôle particulier du fleuve dans le refroidissement de centrales nucléaires et la production d'énergie, les besoins en eau pour la sécurité civile incluent **le débit nécessaire au fonctionnement de ces installations à un niveau de production suffisant pour assurer la sécurité de l'approvisionnement énergétique à l'échelle nationale.**

## 2.2 PROPOSITION DE DCR SUR LE FLEUVE RHÔNE

### 2.2.1 Synthèse des conclusions des phases 3 et 4

Les phases 3 et 4 de l'étude ont porté sur la détermination des conditions limites pour les usages alimentation en eau potable, fonctionnement des centrales nucléaires et production d'électricité (phase 3) ainsi que pour les besoins des espèces (phase 4). On rappelle ci-après les principales conclusions de ces travaux dont les résultats visent à être intégrés dans les réflexions pour la détermination de DCR.

#### CONDITIONS LIMITES POUR LES ESPÈCES

Les travaux menés dans le cadre de la phase 4 mettent en évidence la difficulté à définir des conditions limites pour les espèces garantissant un « bon potentiel » ou « bon état » des masses d'eau du Rhône non court-circuitées à l'échelle mensuelle ou journalière (se reporter au rapport correspondant pour plus de détails). En effet, sur plus de 80 % de son linéaire, les conditions hydrodynamiques dans le Rhône sont contrôlées par les ouvrages, réduisant d'autant l'influence du débit sur les habitats.

De plus, les variations infra-journalières enregistrées sur le Rhône dans le cadre de l'optimisation énergétique de l'hydroélectricité sont un facteur impactant de façon significative le fonctionnement biologique du fleuve. Les réflexions menées dans le cadre de cette étude sur les DOE et DCR ne permettent pas de prendre en compte cette spécificité.

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. Au regard des éléments collectés et des échanges entre experts, il n'a pu être défini de valeurs robustes répondant à cette définition.

Sur le Rhône, aucun épisode de mortalité ayant pour cause une baisse significative des débits n'a été encore enregistré à ce jour. Les débits nécessaires pour la production d'électricité en toute sûreté des CNPE semblent donc être suffisants pour la survie des espèces, si la température du Rhône n'atteint pas les limites létales des espèces les plus exigeantes (non observé à ce jour).

- ▶ **Lagnieu** : le débit à Lagnieu est maintenu à 130 m<sup>3</sup>/s en raison de la présence du CNPE de Bugey. Il est donc très rare d'observer des débits inférieurs à cette valeur. **Il n'a pas été observé de mortalité piscicole à ce débit même lorsqu'il a été enregistré sur plusieurs semaines consécutives.** En l'absence d'observation de mortalité piscicole, les experts concluent qu'un débit de 130 m<sup>3</sup>/s à Lagnieu est suffisant pour assurer la survie des espèces piscicoles. Ils n'ont pas pu conclure en revanche sur la pertinence d'un débit inférieur permettant néanmoins la survie des espèces.
- ▶ **Ternay, Valence et Viviers** : Ces stations et les tronçons associés sont **fortement soumis aux aménagements.** Le maintien des plans d'eau par les ouvrages suffisent pour le maintien à l'état de survie des espèces. Le débit n'a que peu d'influence sur la survie des espèces dans ses tronçons. Pour autant, une augmentation des périodes à très faible débit renforcera l'aspect lentique du fleuve et les espèces associées.
- ▶ **Beaucaire** : L'étude de 1994 sur la connexion des casiers/annexes sur le secteur d'Arles indique que tous les casiers/annexes sont déconnectés à partir de 400 m<sup>3</sup>/s. En dessous de cette valeur, la disponibilité des habitats est réduite et le débit se concentre dans le lit principal du Rhône, **mais la survie des espèces n'est cependant pas menacée.**



### CONDITIONS LIMITES POUR L'AEP

Comme détaillé dans le rapport de phase 3, il apparaît que les étiages du fleuve Rhône n'ont qu'un impact mineur et localisé sur la productivité des nappes alluviales associées. Le captage du Grand Lyon est le seul prélèvement souterrain pour l'AEP 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 et des débits faibles favorisent le colmatage des captages. Le Grand Lyon estime qu'en **dessous de 60 m<sup>3</sup>/s dans le vieux Rhône, le fonctionnement de son système d'approvisionnement est menacé**. Notons que cette limite ne concerne pas directement le Rhône non court-circuité objet de la présente étude.

### CONDITIONS LIMITES POUR LES CENTRALES NUCLÉAIRES ET LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ

Des débits limites pour le fonctionnement des centrales nucléaires du Rhône ont été déterminés (voir rapport de phase 3 pour davantage de détails). Ces valeurs correspondent à un débit :

- ▶ qui permet que la production d'électricité nucléaire reste suffisante pour ne pas mettre en danger l'équilibre du réseau de transport d'électricité en assurant un équilibre entre la demande et l'offre en énergie ;
- ▶ qui risque d'être rencontré sur le Rhône en moyenne une fois tous les 30 ans (dans les conditions climatiques actuelles et compte tenu des prélèvements et de la gestion actuelle des ouvrages sur le fleuve).

Les débits proposés sont :

- ▶ 130 m<sup>3</sup>/s à Lagnieu (pour la centrale de Bugey) ;
- ▶ 205 m<sup>3</sup>/s à Ternay (pour la centrale de Saint-Alban) ;
- ▶ 320 m<sup>3</sup>/s à Viviers (pour la centrale de Tricastin, cette condition étant également suffisante pour assurer le bon fonctionnement du CNPE de Cruas).

### SYNTHÈSE DES ÉLÉMENTS DISPONIBLES SUR LES BESOINS DES USAGES PRIORITAIRES

Le tableau suivant fait la synthèse des éléments d'information disponibles pour étayer le choix de valeurs de DCR sur le Rhône.

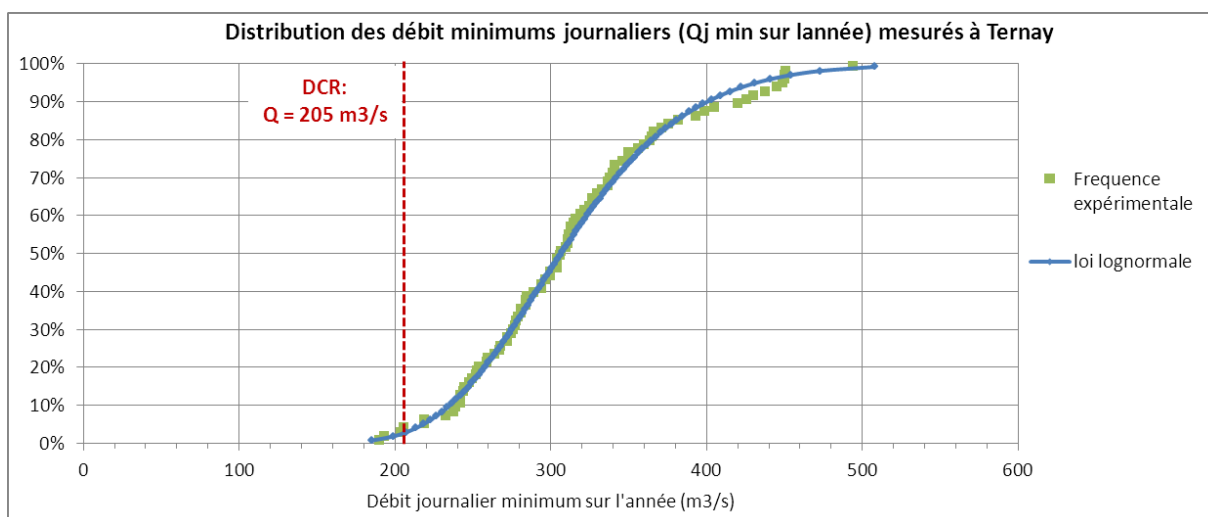
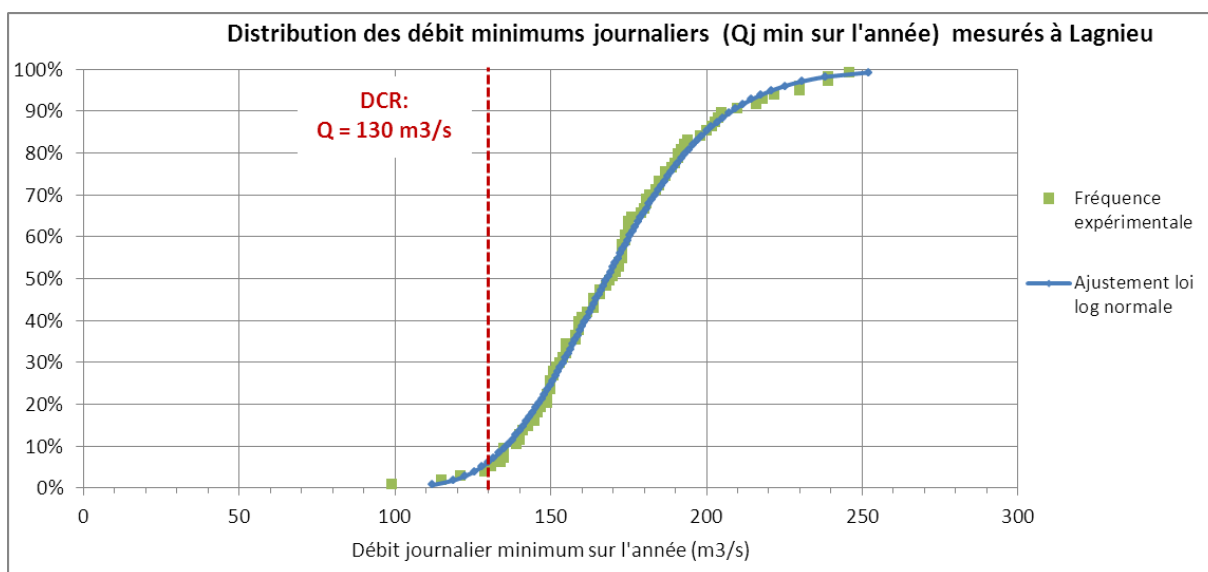
	Besoin des milieux (survie)	AEP	CNPE et production d'électricité
<b>Lagnieu</b>	Mortalité en lien avec le débit non observée à ce jour sur ce secteur. Le débit de 130 m <sup>3</sup> /s est suffisant pour assurer les conditions de survie.	60 m <sup>3</sup> /s minimum sont nécessaires dans le vieux Rhône au niveau de l'île de Miribel-Jonage pour l'alimentation du captage du Grand Lyon. Compte tenu de la valeur de 130 m <sup>3</sup> /s à maintenir en amont pour la centrale de Bugey, et du bilan prélèvements/apports cette valeur de 60 m <sup>3</sup> /s n'est pas limitante. La disponibilité de ce débit dans le vieux Rhône dépend davantage de la répartition de l'eau disponible entre le vieux Rhône et le Rhône canalisé au niveau de l'île de Miribel-jonage que du débit dans le Rhône.	130 m <sup>3</sup> /s
<b>Ternay</b>	Pas de relation entre débit et hauteur d'eau. Maintien d'un plan d'eau constant même pour les très basses eaux.	-	205 m <sup>3</sup> /s
<b>Valence</b>	Pas de relation entre débit et hauteur d'eau. Maintien d'un plan d'eau constant même pour les très basses eaux.	-	-
<b>Viviers</b>	Pas de relation entre débit et hauteur d'eau. Maintien d'un plan d'eau constant même pour les très basses eaux.	-	320 m <sup>3</sup> /s
<b>Beaucaire</b>	Mortalité en lien avec le débit non observée à ce jour sur ce secteur	La commune des Saintes-Maries-de-la-mer constate des difficultés occasionnelles pour l'alimentation de son prélèvement (prélèvement de surface sur le petit Rhône) qui pose des difficultés de gestion sans voir jusqu'ici provoqué d'interruption du service. L'apparition de ces difficultés n'a pas pu être reliée à un débit.	-

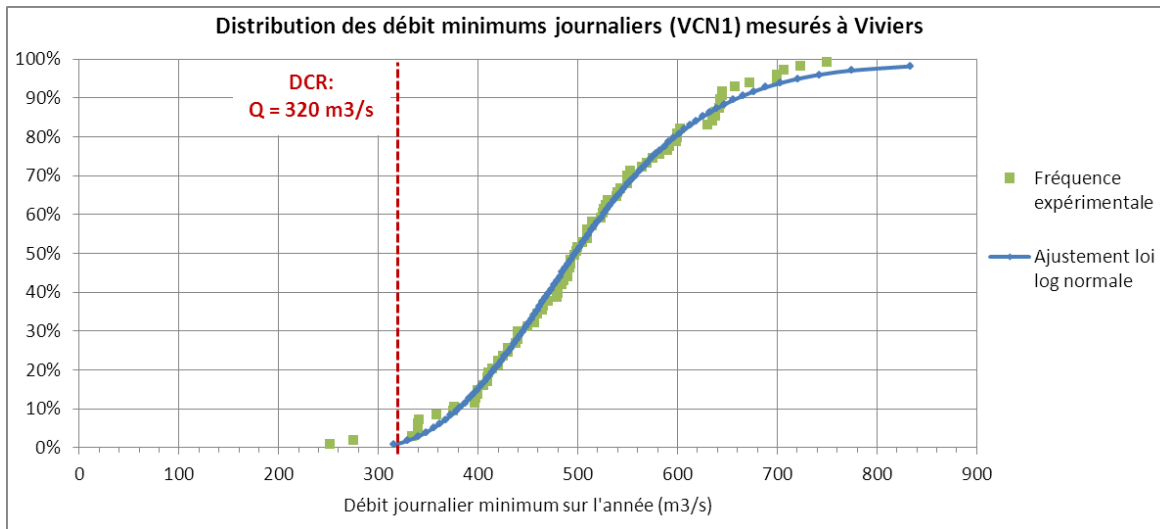
## 2.2.2 DCR proposés sur le Rhône

Au vu des éléments présentés ci-dessus, on propose de retenir les valeurs de DCR suivantes :

- ▶ 130 m<sup>3</sup>/s sur le Rhône à Lagnieu,
- ▶ 205 m<sup>3</sup>/s sur le Rhône à Ternay,
- ▶ 320 m<sup>3</sup>/s sur le Rhône à Viviers.

Les graphiques suivants replacent les DCR proposés par rapport aux débits journaliers minimum sur l'année effectivement mesurés sur le Rhône en chacun de ces trois points.





Au cours des dernières décennies, il apparaît que **les années où ces débits sont sous-passés sur le Rhône sont extrêmement rares** (période de retour de l'ordre d'une trentaine d'années).

- ▶ Au niveau de Lagnieu, on retrouve des débits inférieurs à 130 m<sup>3</sup>/s seulement 4 années sur les 90 testées (1920-2011).

	Nombre d'occurrence de Q <sub>j</sub> <130 m <sup>3</sup> /s
<b>Total *</b>	35
<b>1972</b>	26
<b>1949</b>	3
<b>1990</b>	5
<b>1958</b>	1

\* sur 33603 jours, répartis sur 90 années

- ▶ Au niveau de Ternay, on retrouve des débits inférieurs à 205 m<sup>3</sup>/s seulement 3 années sur les 90 testées (1920-2011).

	Nombre d'occurrence de Q <sub>j</sub> <205 m <sup>3</sup> /s
<b>Total</b>	7
<b>1921</b>	4
<b>1985</b>	2
<b>2011</b>	1

\* sur 33603 jours, répartis sur 90 années

- ▶ Au niveau de Viviers, on retrouve des débits inférieurs à 320 m<sup>3</sup>/s seulement 2 années sur les 90 testées (1920-2011).

	Nombre d'occurrence de Q <sub>j</sub> <320 m <sup>3</sup> /s
<b>Total</b>	19
<b>1921</b>	18
<b>1965</b>	1

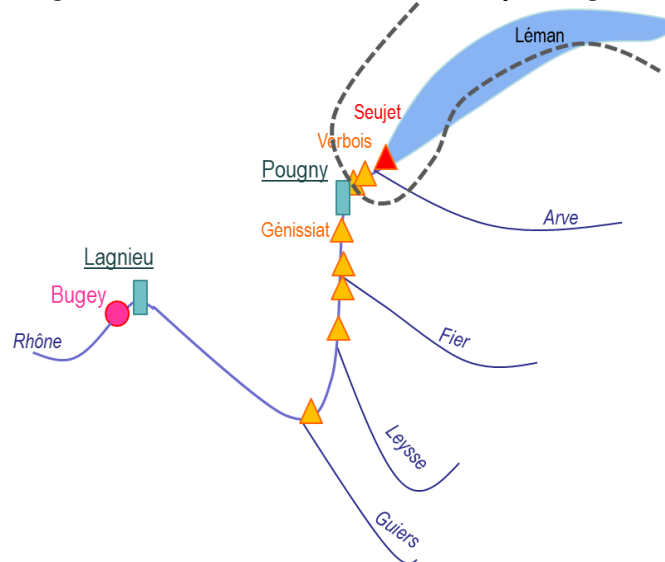
\* sur 33603 jours, répartis sur 90 années

### 2.2.3 Discussions sur le point de Pougny

La question de la définition d'un DCR à Pougny a été posée, en particulier en lien avec les réflexions sur l'opportunité d'un accord entre les états français et suisse sur la gestion quantitative du Rhône.

**Nous exposons ci-dessous les éléments qui ont conduit à ne pas proposer de DCR à Pougny dans le cadre de la présente étude.**

Figure 1 : Schéma du Rhône amont, du Seujet à Lagnieu



#### DES CONDITIONS LIMITES DÉFINIES À LAGNIEU

Comme évoqué précédemment, la première condition limite sur le Rhône, depuis la frontière, est située à Lagnieu :

- ▶ Condition limite pour la centrale de Bugey ;
- ▶ Condition pour la biologie sur le secteur de Bugey.

En revanche, on n'identifie pas de condition limite pour les usages prioritaires sur le secteur de Pougny.

#### UNE GESTION OPÉRATIONNELLE DES OUVRAGES SIG ET CNR QUI ASSURE LES 130 M<sup>3</sup>/S À LAGNIEU

La **gestion actuelle**, qui est menée entre les trois gestionnaires d'ouvrages sur le fleuve (les Services Industriels Genevois, la Compagnie nationale du Rhône et EDF), permet de garantir un débit à Lagnieu de 130 m<sup>3</sup>/s la plupart du temps, en activant les leviers suivants :

- ▶ EDF réalise **des prévisions des apports du bassin intermédiaire compris entre le Léman et Bugey** (incluant l'Arve, le Fier, le Guiers, etc.). En croisant ces prévisions avec les programmes de lâchers du Léman par les SIG, EDF fait des estimations de débits à Lagnieu. Si ces apports sont trop faibles, il peut demander l'activation des **lâchers des eaux d'Emosson par le Léman (protocole d'Emosson)**, par l'intermédiaire de l'Etat français et de la CNR.
- ▶ En mai 2011, suite à des lâchers exceptionnellement faibles par les SIG depuis le Léman, EDF a demandé, par l'intermédiaire de l'Etat et de la CNR, une augmentation des lâchers par le Léman afin de garantir les 130 m<sup>3</sup>/s à Genève (en dehors du cadre du protocole d'Emosson).
- ▶ De plus, la gestion des ouvrages le long du Rhône et notamment les déstockages du barrage de **Génissiat** tiennent compte de cet objectif, et sont réalisés afin de garantir les 130 m<sup>3</sup>/s à Lagnieu.

Ainsi, actuellement, la gestion en vue de garantir les débits à Bugey (demandes de lâchers du Léman, gestion des ouvrages CNR), se fait sur la base des débits à la station de Lagnieu (observations et prévisions, intégrant les données des apports amont).

### L'ANALYSE STATISTIQUE DES APPORTS INTERMÉDIAIRES ENTRE PUGNY ET LAGNIEU NE PERMET PAS DE CONCLURE

Il est possible d'étudier statistiquement les **apports journaliers historiques intermédiaires entre Pougny et Lagnieu**. Il convient de rappeler en premier lieu que **les écoulements entre Pougny et Lagnieu sont modulés par l'ouvrage de Génissiat en particulier, géré de façon à éviter des débits à Lagnieu inférieurs à 130 m<sup>3</sup>/s**. (Pour rappel, ces apports intermédiaires Pougny-> Lagnieu n'incluent pas l'Arve, qui est situé à l'amont de Pougny).

L'analyse statistique de ces apports intermédiaires montre que (cf. figure ci-dessous) :

- ▶ Il arrive que les débits à Lagnieu soient inférieurs aux débits à Pougny (effet de stockage du barrage de Génissiat) ;
- ▶ En médiane, ces apports représentent 95 m<sup>3</sup>/s (statistique sur 1980-2011) ;
- ▶ Ces apports sont supérieurs à 8 m<sup>3</sup>/s pour 90% du temps (statistique sur 1980-2011).

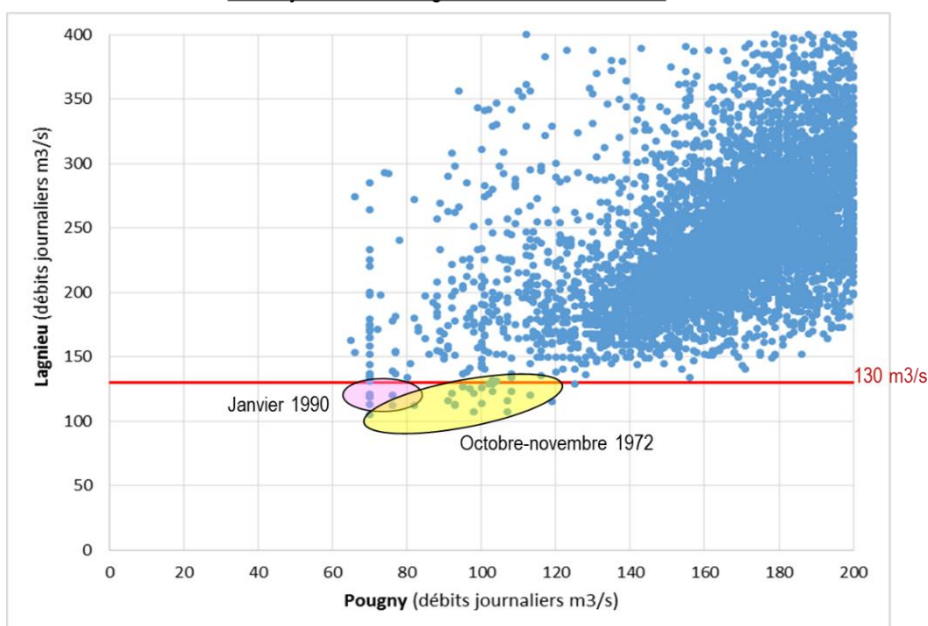
Si l'on s'intéresse particulièrement aux faibles débits journaliers historiques du Rhône, on observe que :

- ▶ Les débits à Lagnieu sont descendus sous les 130 m<sup>3</sup>/s pour de très faibles fréquences : fréquence de 0.1% sur les débits journaliers depuis 1920 ; 0.04% depuis 1980 ;
- ▶ Ces débits à Lagnieu (< 130 m<sup>3</sup>/s) ont pu être atteints pour des débits à Pougny compris entre 60 et 120 m<sup>3</sup>/s ;
- ▶ Inversement, pour des débits à Pougny entre 60 et 70 m<sup>3</sup>/s, on observe la majorité du temps des débits à Lagnieu supérieurs à 130 m<sup>3</sup>/s.

**Ainsi, statistiquement, on ne peut définir un débit cible à Pougny qui permettrait de garantir systématiquement 130 m<sup>3</sup>/s à Lagnieu. Inversement, la valeur de 130 m<sup>3</sup>/s à Lagnieu a été sous-passée très rarement (moins de 0.4 % des jours depuis 1980), grâce :**

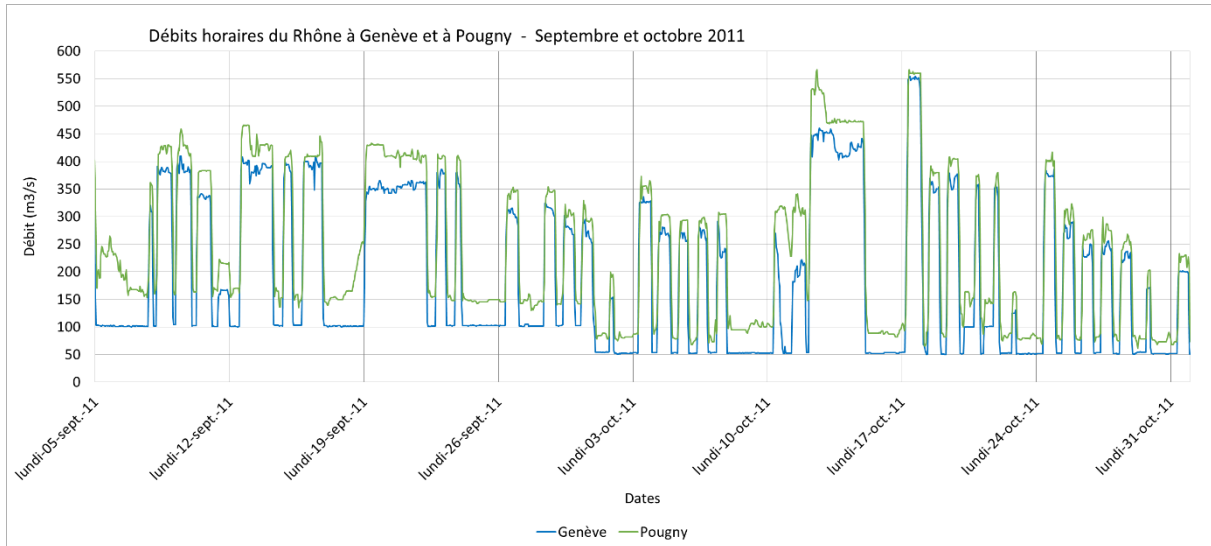
- ▶ d'une part aux apports hydrologiques intermédiaires ;
- ▶ d'autre part à la gestion qui est faite par les trois industriels, EDF, CNR et SIG, gestion qui fait intervenir les leviers Léman et Génissiat afin de garantir les 130 m<sup>3</sup>/s.

Débits journaliers enregistrés entre 1925 et 2011



## LA DÉFINITION D'UN DCR À PUGNY SUPÉRIEUR À 60 M<sup>3</sup>/S ENGENDRERAIT DES CONTRAINTES ET DES COÛTS SYSTÉMATIQUES POUR LES SIG

Par ailleurs, on rappelle que le débit minimum turbinable au barrage de Verbois est de 60 m<sup>3</sup>/s. Ainsi, la gestion actuelle du Léman par les SIG, à l'échelle journalière, est réalisée dans un objectif de production hydroélectrique, en tenant compte des diverses contraintes (débits minimums en sortie du Léman de 50 ou 100 m<sup>3</sup>/s selon les mois, débit minimum de 60 m<sup>3</sup>/s à Pougny, apports de l'Arve, courbe de consigne du Léman, protocole d'Emosson, etc.).



Il en résulte que :

- ▶ proposer un DCR à Pougny de 60 m<sup>3</sup>/s n'aurait pas d'effet pour les SIG (cela correspond au débit minimal actuel, du fait des limites des ouvrages) ;
- ▶ proposer un DCR à Pougny supérieur à 60 m<sup>3</sup>/s entraînerait une contrainte pour les SIG et une diminution de la production hydroélectrique en conséquence.

## CONCLUSION

Il n'existe pas d'accord franco-suisse sur les débits du Rhône, à l'exception du protocole d'Emosson. La gestion transfrontalière entre la Suisse et la France des débits du fleuve reste essentiellement l'affaire des producteurs d'hydroélectricité. Des réflexions sont naissantes pour élaborer un tel accord officiel et la question de l'opportunité de la définition d'un débit minimum à Pougny a été soulevé.

Dans le cadre des réflexions conduites dans la présente étude, il n'apparaît pas opportun de définir un DCR à Pougny et il semble qu'un accord devra peut-être rechercher une autre approche ou un autre point de consigne.

## 2.2.4 Discussions sur les marges de manœuvre pour éviter d'atteindre les DCR

Les mesures pouvant être prises pour limiter les usages préleveurs non prioritaires afin d'éviter d'atteindre des débits inférieurs au DCR ne pourront avoir qu'un impact très limité au vu des ordres de grandeurs en jeu. Pour mémoire, les prélèvements pour l'irrigation et l'industrie représentent en pointe un débit fictif continu de 0,9 m<sup>3</sup>/s en amont de Lagnieu, de 11,4 m<sup>3</sup>/s en amont de Ternay et de 36 m<sup>3</sup>/s en amont de Viviers, ce qui est de l'ordre de grandeur de l'incertitude existant sur les mesures de débit.

En définitive, **les principales marges de manœuvre pour éviter le passage sous les DCR se situent sur la gestion des ouvrages hydrauliques (du Rhône et surtout de ses affluents).**

Soulignons que la faible fréquence de sous-passement des DCR dans les chroniques historiques est en partie liée aux mesures prises par EDF pour assurer un débit suffisant en amont de ses centrales (en utilisant les marges de manœuvres évoquées ci-avant : gestion des ouvrages hydrauliques sur les affluents du Rhône, accords avec la CNR et les Services industriels genevois), notamment en ce qui concerne les 130 m<sup>3</sup>/s à maintenir en amont de CNPE de Bugey.

La question de levier potentiel supplémentaire associé aux ouvrages hydrauliques du bassin du Rhône est approfondie dans la phase 6 de l'étude.



### 3. OUTIL DEVELOPPÉ POUR L'ANALYSE DOE / VOLUMES PRÉLEVABLES ET LA MODÉLISATION DE SCÉNARIOS

Nous avons construit un modèle permettant d'étudier la **sensibilité des étiages du Rhône à différentes variables d'entrée** (prélèvements, stockage des ouvrages, ressource). Ce modèle constitue un outil pour :

- ▶ Alimenter l'analyse des débits objectifs d'étiages et volumes prélevables, présentée au chapitre 4 du présent rapport ;
- ▶ Simuler des scénarios de changement de la ressource et/ou des usages sur le bassin du Rhône, dans le cadre de la phase 6 de l'étude. Ces aspects font l'objet d'un rapport distinct.

Les détails concernant la construction et l'utilisation du modèle sont présentés en annexe. On rappelle ci-dessous les principaux choix méthodologiques et les principales fonctionnalités associés au modèle.

#### 3.1 OBJECTIFS DU MODÈLE

Il s'agit de construire un modèle simplifié afin de tester des scénarios hydrologiques. **Cet outil doit permettre d'appréhender la sensibilité des débits au droit des six points nodaux du Rhône à différentes variables d'entrée. En particulier, il visera à rendre compte de la sensibilité de ces débits :**

- ▶ à des changements possibles de prélèvements et à des changements possibles des stockages/déstockages des ouvrages hydrauliques ;
- ▶ à des changements potentiels de la ressource, en lien avec le changement climatique.

**L'objectif est d'appréhender dans son ensemble les grands équilibres besoins/ressources à l'échelle du bassin du Rhône et à l'échelle mensuelle, et d'analyser ainsi les leviers et marges de manœuvre possibles sur les débits du Rhône.**

**Cette étude des « degrés de liberté » du système Bassin du Rhône a pour objectifs de :**

- ▶ Fournir une compréhension des équilibres quantitatifs du système et de leur sensibilité à des évolutions futures possibles ;
- ▶ Etudier quels **Débits Objectifs d'Etiage (DOE)** pourraient être définis au droit des six points SDAGE (Pougny, Lagnieu, Ternay, Valence, Viviers, Beaucaire) dans le cadre du SDAGE.

Ce modèle s'intéresse uniquement aux débits du Rhône. Les débits résultants du modèle pourront ensuite être mis en regard avec l'étude thermique menée par EDF, afin de fournir des éléments d'analyse sur la sensibilité de la thermie du Rhône aux usages et aux changements climatiques possibles. Il est à noter que l'étude n'intègre pas de développement en lien avec la thermie du Rhône.

## 3.2 PRINCIPE DU MODÈLE

**Le modèle permet de calculer, aux points nodaux du Rhône, des chroniques de débits influencés issus de scénarios sur les usages et/ou la ressource :**

- ▶ Possibilité de tester des modifications des prélèvements sur le Rhône, ses affluents, les nappes ;
- ▶ Possibilité de tester des modifications de la ressource en eau dans le contexte du changement climatique.

*Les calculs effectués par le modèle sont précisés en Annexe.*

Le modèle produit :

- 1. Des débits « de référence », correspondant au contexte climatique actuel et aux usages actuels ;**
- 2. Des débits « sous scénarios », issus de scénarios sur la ressource ou les usages.**

*Cela est détaillé en Annexe.*

On pourra ainsi :

- ▶ Etudier comment les leviers / évolutions possibles pourraient modifier les débits du Rhône et le bilan ressource/usages ;
- ▶ **Mener des analyses fréquentielles sur les débits**, avec et sans scénario, afin de répondre à des questions du type « Quel débit est satisfait 8 années sur 10 à Ternay, :
  - Avec les prélèvements nets actuels ? (référence)
  - avec des prélèvements nets plus importants ? (scénarios)
  - avec une autre gestion des barrages ? (scénarios)
  - avec des scénarios de changement climatique ? (scénarios) ».

Ce type d'analyse permettra de rechercher les « limites du système ».

### 3.3 ECHELLES DE TEMPS ET D'ESPACE

#### PAS DE TEMPS

Le modèle fonctionne **au pas de temps mensuel**. Les usages et la ressource ont été quantifiés à cette échelle de temps en phases 1 et 2 de l'étude.

**Il est rappelé que l'échelle mensuelle ne permet pas de rendre compte de toute la variabilité des débits du Rhône.** En particulier, du fait des conditions hydrologiques et surtout de la gestion des ouvrages hydroélectriques, **les débits du Rhône connaissent une forte variabilité à des pas de temps hebdomadaires, journaliers et horaires.**

#### PÉRIODE DE CALCUL

**La période de référence est la période 1980–2011.** C'est sur cette période que l'on a quantifié les usages en phase 1 et que l'on dispose d'une connaissance de l'aléa hydrologique, issus des calculs des débits désinfluencés sur cette période en phase 2 de l'étude.

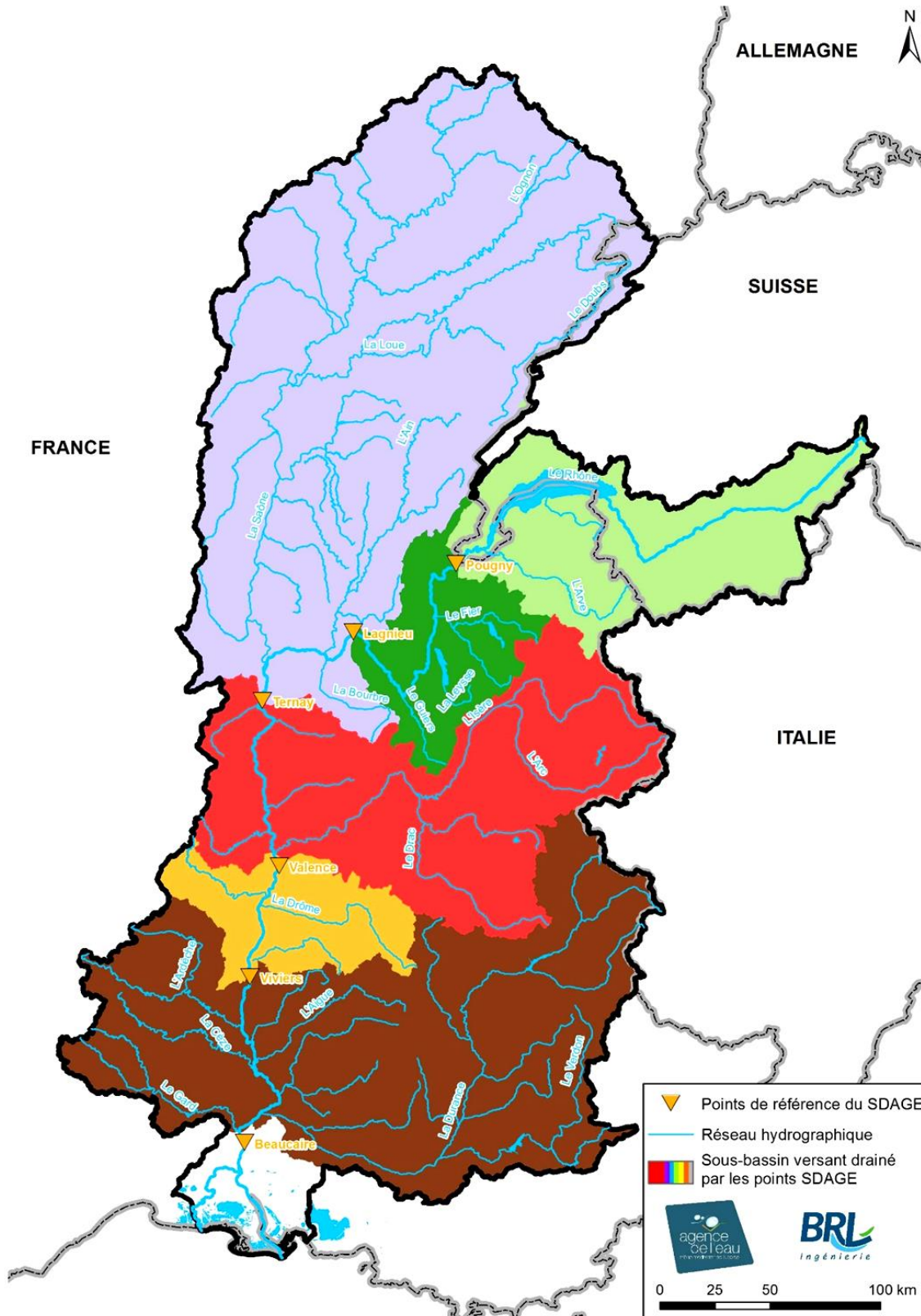
#### ECHELLE SPATIALE

Les calculs sont réalisés à l'échelle des **sept grandes surfaces contributives** séparant les six points nodaux (points SDAGE) du Rhône.

**Les calculs de débits seront effectués au droit des six points SDAGE du Rhône (Pougny, Lagnieu, Ternay, Valence, Viviers, Beaucaire). Un point fictif correspondant à l'exutoire du bassin versant du Rhône sera également considéré dans le calcul, afin de prendre en compte les usages à l'aval de Beaucaire.**

La figure ci-après rappelle le découpage du bassin versant du Rhône selon les six points SDAGE.

Figure 2 : Découpage du bassin versant du Rhône en surfaces contributives aux 6 points SDAGE



## 3.4 USAGES ET RESSOURCE PRIS EN COMPTE

### LES USAGES DE RÉFÉRENCE

Les usages pris en compte dans le modèle sont **les prélèvements nets (y compris les transferts), et les stockages et déstockages des ouvrages hydroélectriques sur la partie française du bassin du Rhône**. On rappelle que les prélèvements nets sont les volumes d'eau définitivement perdus pour le bassin du Rhône. Ils constituent la différence entre les prélèvements bruts et les retours.

Ces usages sont calculés à l'échelle des sept grandes surfaces contributives séparant les points SDAGE.

Les usages pris en compte dans le modèle par défaut sont appelés « usages de référence ». Ils représentent les prélèvements et influences anthropiques sur le bassin du Rhône, dans les conditions socio-économiques actuelles.

- ▶ Pour les usages peu dépendants des conditions hydro-climatiques (CNPE, AEP, industrie), nous avons considéré les prélèvements de l'année 2010.
- ▶ Pour les autres usages, nous construisons des séries qui tiennent compte de la variabilité hydro-climatiques :
  - Les prélèvements pour l'irrigation ont été construits sur la base des hypothèses suivantes :
    - Surfaces irriguées actuelles ;
    - Conditions climatiques 1980-2011.
  - Concernant les ouvrages de stockage et déstockage, nous prenons en compte les chroniques historiques des influences de ces ouvrages.
  - Concernant le transfert de Saint-Chamas, EDF nous a transmis une simulation de ce transfert, construit sur la base des hypothèses suivantes :
    - Législation actuelle (Plan Barnier, limitant les transferts vers l'étang de Berre) ;
    - Conditions hydroclimatiques historiques.

En conséquence, la situation de référence considère des prélèvements « actuels » mais qui varient sur la chronique de 30 ans du fait de l'hydrologie (pour les ouvrages de stockage) et du fait de la climatologie (pour les prélèvements agricoles et pour l'hydroélectricité).

*NB : Par ailleurs, on rappelle que l'on ne dispose pas de station hydrométrique à l'aval de Beaucaire, on ne peut donc pas, en théorie, directement calculer l'effet des usages du delta du Rhône sur les débits des stations hydrométriques. Sur le delta du Rhône, les préleveurs majoritaires sont les riziculteurs (prélèvements diffus dans le delta), et le canal BRL, situé juste après Beaucaire. Aussi on choisit de considérer dans le modèle le prélèvement BRL sur le tronçon Viviers-Beaucaire – et non sur le tronçon Delta du Rhône – afin de prendre en compte, dans l'analyse des débits, l'effet de ce préleveur sur les débits du Rhône.*

*On précise en annexe la construction des séries « Usages de référence » qui alimentent le modèle.*

### LA RESSOURCE DE RÉFÉRENCE

La ressource prise en compte par défaut dans le modèle, dans la « situation de référence », est la ressource désinfluencée sur la période 1980-2011, calculée en phase 2 de la présente étude.

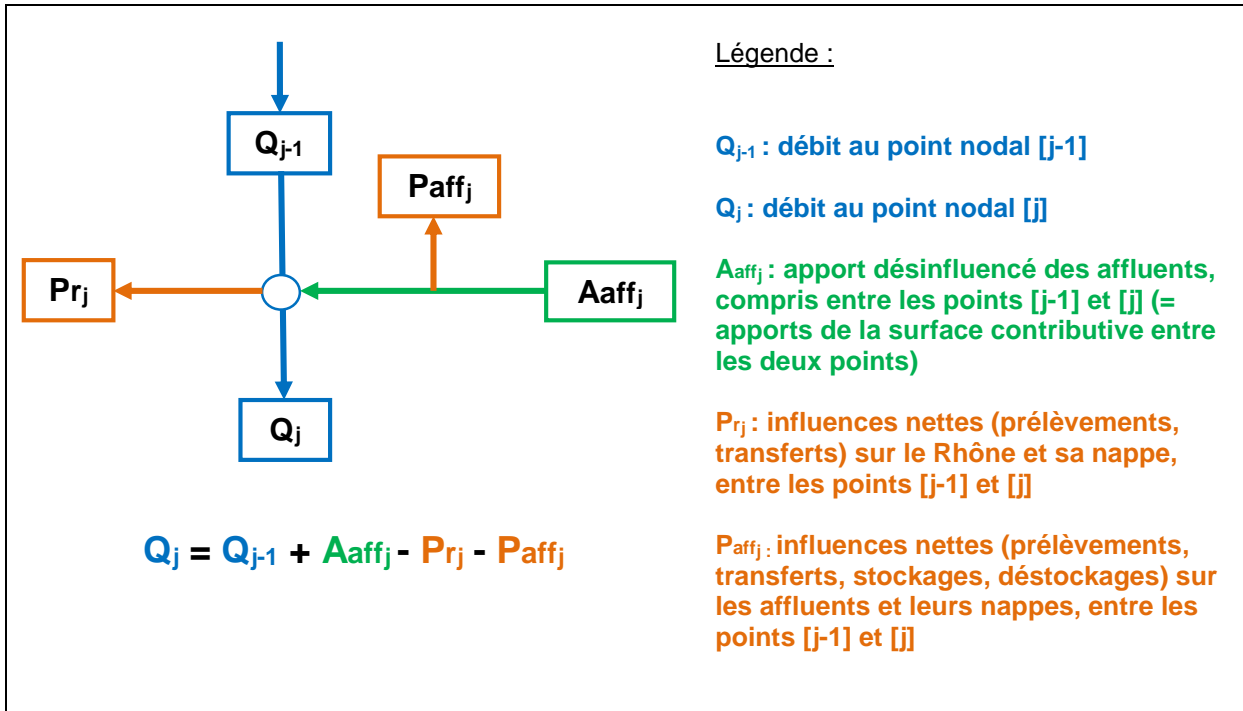
Entre chaque point SDAGE de l'étude, on dispose ainsi des apports en eaux mensuels et désinfluencés.

### 3.5 CE QUE FAIT LE MODÈLE : LES DÉBITS CALCULÉS PAR LE MODÈLE

Le principe général du modèle est le suivant. Il calcule, en chaque point d'étude, une chronique de débits influencés, comme la résultante :

- ▶ Des apports hydrologiques désinfluencés;
- ▶ **Des influences des usages français** (prélèvements nets, transferts, stockage et déstockage des ouvrages)

A l'échelle d'une surface contributive entre deux points SDAGE (points nodaux), le calcul effectué par le modèle peut-être schématisé comme suit :



Sur ces deux composantes, il est possible :

- ▶ Soit de « jouer » l'aléa hydrologique historique et les prélèvements actuels ;
- ▶ Soit de « jouer » des scénarios sur l'aléa hydrologique et/ou les usages.

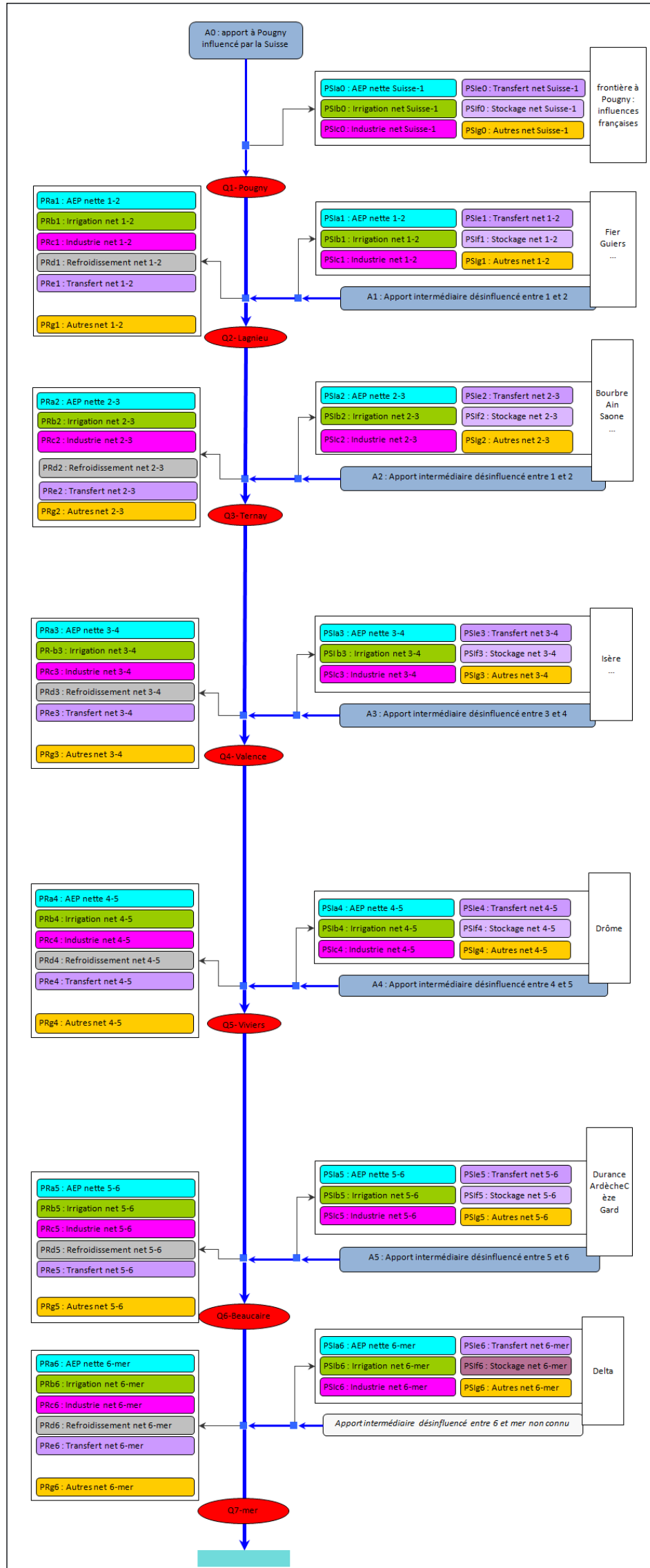
### 3.6 TOPOLOGIE

On représente ci-dessous la topologie du modèle.

Y figurent notamment :

- ▶ Les sept points de calcul (six points SDAGE et point fictif exutoire (la mer)), au droit desquels sont calculés les « débits influencés modèle » ;
- ▶ Les usages et les apports de débits, données d'entrée du modèle.

A l'échelle de chacun des sept tronçons étudiés, il sera possible de jouer de façon distincte sur ces données d'entrée, c'est-à-dire sur chacun des usages et/ou sur les débits d'apport, et cela au pas de temps mensuel.







### 3.7 SITUATION DE RÉFÉRENCE ET SITUATION SOUS SCENARIO

Le jeu des données d'entrée permet de considérer deux cas de figures :

1) **Référence** : elle est la résultante :

- a. **Des débits désinfluencés historiques** (l'aléa hydrologique sur les trente dernières années, calculé en phase 2) ;
- b. **Des usages de référence (= « prélèvements actuels »)** (cf. plus haut la manière dont ils ont été calculés).

Ce calcul rend compte du **bilan usages/ressource en condition actuelle, avec une vision dans la durée, qui permet de prendre en compte la variabilité hydrologique**. Elle consiste à **rejouer les débits du Rhône, avec le contexte socio-économique actuel**. Elle répond par exemple à la question « Quels débits auraient coulé dans le Rhône pendant les années 1980-2011 si les prélèvements avaient été les prélèvements actuels ? ».

2) **Scénario** : Il est possible de jouer des scénarios sur les usages et/ou sur la ressource. Ces scénarios peuvent par exemple simuler une augmentation des prélèvements, la mise en place de nouveaux transferts d'eau, la modification de la gestion d'ouvrages ou encore des impacts potentiels du changement climatique sur la ressource en eau. **Il en résultera des chroniques de débits sur 30 ans, calculés à partir de ces scénarios.**

**Nous proposons dans la suite de l'étude, dans la présente phase et en phase 6, de comparer les débits de référence avec ceux issus de différents scénarios, afin d'analyser la sensibilité des débits du Rhône aux usages et aux changements potentiels du climat.**

### 3.8 POURQUOI UNE ANALYSE SUR 30 ANS ?

Comme déjà évoqué, le modèle utilise et produit des chroniques de débits mensuels sur 30 ans. **Cela permet de prendre en compte la variabilité hydrologique du Rhône et notamment la variabilité des situations d'étiage dans l'analyse.**

En effet, il a été montré en phase 2 de l'étude qu'il n'est **pas possible de reconstituer une année type d'étiage du Rhône**, tant les étiages historiques ont été variables : dynamique amont/aval des étiages variables, saisonnalité des étiages variable, causes climatiques et hydrologiques des étiages variables, etc.

Ainsi, avec l'analyse proposée sur 30 ans, à partir de la connaissance de l'aléa hydrologique désinfluencé issue de la phase 2, nous obtiendrons une meilleure vision de la diversité des étiages et de la sensibilité de ces basses eaux. En outre, l'étude de 30 années de débits permet de mettre en place une **analyse fréquentielle** des débits, en cohérence avec le SDAGE et le calcul des débits objectifs d'étiage.

**Dans la suite du rapport, on présente des analyses issues de simulations effectuées avec le modèle, qui viennent alimenter la détermination des débits objectifs d'étiage.**

**Ce modèle est également mobilisé pour l'étude de scénarios sur le bassin du Rhône, qui fait l'objet d'un rapport distinct.**



## 4. DÉBITS OBJECTIFS D'ÉTIAGE ET VOLUMES PRÉLEVABLES

### 4.1 LIMITES DES NOTIONS DE DÉBIT OBJECTIF D'ÉTIAGE ET DE VOLUMES PRÉLEVABLES DANS LE CAS DU BASSIN DU RHÔNE

Les termes de référence de la présente étude mentionnent que :

- ▶ L'objectif de cette phase est de déterminer les **volumes maximum prélevables** tous usages confondus et les **valeurs de débits** aux points nodaux correspondantes, sur un cycle hydrologique complet. Le volume prélevable est déterminé pour **ne pas recourir aux dispositifs de gestion de crise plus de 2 années sur 10 en moyenne**.
- ▶ Les DOE est défini par :

**DOE = Débit nécessaire à la satisfaction des usages prioritaires visé tous les ans + Débit nécessaire à la satisfaction des usages économiques (industriels, agricoles, producteurs d'électricité...) visé 8 années/10, en intégrant la satisfaction des fonctionnalités biologiques du milieu (cf. phase 4).**

D'après le code de l'environnement, les usages prioritaires sont : « la sûreté des installations nucléaires, l'alimentation en eau potable et la vie biologique. »

- ▶ Le titulaire propose une méthode pour estimer le volume prélevable sur chaque tronçon, afin de quantifier la **marge de manœuvre existant sur les usages**. En prenant comme base la différence entre les chroniques de débit naturel reconstituées et **le débit permettant de satisfaire les exigences du milieu**, le prestataire établit le volume prélevable par les usages de fréquence quinquennale (qui en moyenne ne sera pas satisfait 2 années sur 10). La proposition de volume prélevable doit être présentée sous la forme d'une **plage de valeurs**.
- ▶ Cependant, **vu les spécificités du fleuve Rhône** (conditions hydrauliques, enjeu température, spécificités biologiques, usages prioritaires, etc.) **le titulaire réalise une analyse critique de la méthode** (note « guide » élaborée par le groupe de bassin Rhône Méditerranée et Corse « gestion quantitative » en juillet 2011) et propose, dans son offre, des modes de détermination des DOE et DCR adaptés.

Dans le cas du Rhône canalisé, **aucune condition limite n'a été définie à l'échelle mensuelle pour les milieux aquatiques**, comme rappelé dans le sous-chapitre suivant.

En conséquence, l'approche classique de détermination des DOE, proposée par la note « guide » de 2011, et qui se fonde sur le calcul ci-après, ne pourra pas être mise en œuvre directement :

<p>« DOE = Débit Biologique</p> <p>« Il satisfait, en étiage, les fonctionnalités biologiques du milieu. Il est visé en moyenne mensuelle, chaque année. Une défaillance d'intensité et de fréquence maîtrisée est admissible sur les débits journaliers. »</p>	+	<p>Débit prélevables par l'ensemble des usages »</p> <p>« Débit correspondant au volume prélevable par tronçon de cours d'eau. L'objectif général visé est la satisfaction des usages 8 années sur 10 »</p> <p>Le volume prélevable est lui-même déterminé de façon à « garantir le respect du débit biologique, sans recours aux premières restrictions de la gestion de crise, 8 années</p>
---	---	---

### 4.1.1 Les limites biologiques du système n'ont pu être définies à l'échelle mensuelle

La phase 4 de la présente étude visait initialement à définir des conditions limites de température et de débit pour atteindre le bon état ou bon potentiel des masses d'eau du Rhône non court-circuité. On rappelle ci-dessous les principales conclusions de l'analyse effectuée en phase 4 :

- ▶ 80 % du linéaire du Rhône non court-circuité présentent des lignes d'eaux contrôlées par des ouvrages : la hauteur d'eau et le lit mouillé ne dépendent pas du débit.

Le débit ne présente pas, sur ces tronçons, un critère pertinent pour définir les besoins des milieux aquatiques.

- ▶ Seuls 20 % du linéaire du Rhône non court-circuité est dit « libre » : pour une morphologie du fleuve donnée, le débit contrôle la quantité et la qualité des habitats disponibles. Les études scientifiques réalisées sur les deux principaux secteurs concernés (le secteur de Bugey et le secteur à l'aval d'Arles – ces deux secteurs représentent environ 84 % du linéaire « libre ») ont défini des relations entre débits et niveaux de connexions aux berges, habitats en berges (embâcles notamment) et annexes fluviales.

Ces éléments de réflexion pourront être exploités a posteriori dans une réflexion sur les différents scénarios d'évolution de l'hydrologie et des prélèvements afin d'évaluer la pression/contrainte sur les milieux.

Pour autant, la gestion de la problématique des basses eaux pour la biologie sur le Rhône libre ne sera pas contenue dans la seule valeur absolue du débit à l'échelle journalière ou mensuelle si tant est qu'on puisse la définir. En effet, les variations infra-journalières de débits constituent à priori un facteur également déterminant, voire plus important.

La réflexion portée à ce jour sur les valeurs de DOE et DCR dans le cadre du SDAGE ne permet pas de prendre en compte cette spécificité.

- ▶ En résumé :
  - à la lumière des éléments présentés sur la caractérisation hydrodynamique du Rhône et des variations infra-journalières de l'hydrologie, la détermination de plage de débits « confort » pour les espèces à l'échelle mensuelle correspondant aux « débits biologiques » n'apparaît pas pertinente pour le système Rhône.
  - L'ensemble des variations infra-journalières de débits constituent en basses eaux un facteur déterminant pour le fonctionnement des milieux en raison des incidences sur les habitats (connexion/déconnexion) enregistrées sur les secteurs dits « à courant libre ». La valeur mensuelle de débit n'a que peu de sens d'un point de vue biologique pour caractériser les besoins des milieux sur ce système.

### 4.1.2 Les autres limites...

Les éléments ci-dessous sont issus du rapport de phase 3 de la présente étude. Les explications associées aux conclusions citées ci-après sont données dans le rapport de phase 3.

#### 4.1.2.1 Usage prioritaire : Centrales nucléaires et AEP

Les conclusions relatives aux conditions limites pour ces usages sont ont été présentées plus haut dans le chapitre 2.2.1.

### 4.1.2.2 Autres usages, non prioritaires : Riziculture

Les riziculteurs sont régulièrement gênés par des remontées du coin salé (environ une année sur 2). Ces phénomènes ont généralement lieu en fin de saison (fin du mois d'août) et les obligent à interrompre pendant quelques jours les pompages, mais ne compromettent pas de façon trop importante les récoltes.

Des phénomènes exceptionnels peuvent par contre être plus dommageables aux riziculteurs. Cela a été le cas en 2011, où des débits extrêmement bas ont eu lieu au printemps et ont favorisé une remontée du coin salé, à une période où le riz est particulièrement sensible.

En pratique, **les riziculteurs ne rencontrent pas de difficulté si le débit du Rhône (mesuré à Beaucaire) est supérieur à 600 - 800 m<sup>3</sup>/s aux stades critiques du développement du riz, principalement mai et juillet.**

### 4.1.3 Conclusion : l'aide à la décision proposée dans la présente approche

Compte tenu de l'absence de condition limite définie pour les milieux biologiques à l'échelle mensuelle, on ne peut déterminer de débits objectifs d'étiage sur la base du calcul utilisé habituellement dans les études Volumes Prélevables.

Ainsi on propose de fournir différentes analyses constituant **des outils d'aide à la décision pour la détermination d'objectifs d'étiage**. De façon simple, il s'agira de proposer des analyses du type :

1. Pour tels prélèvements, quels débits sont satisfaits 8 années sur 10 sur le Rhône ?

$$\text{Débits } 8/10 = f(\text{prélèvements})$$

2. Pour telles valeurs de débits cibles, quels volumes prélevables permettent la satisfaction de ces débits cibles 8 années sur 10 sur le Rhône ?

$$\text{Volumes prélevables} = f(\text{Débit cible})$$

On montrera que ces équations peuvent comporter un grand nombre de solutions, à la fois en termes de répartition temporelle (mensuelle) et spatiale (amont-aval).

En pratique, dans la suite du rapport :

- ▶ Dans un premier temps (chapitre 4.2), on décrit quels sont les débits satisfaits 8 années sur 10 en situation de référence, aux six points SDAGE du Rhône.
- ▶ Dans un second temps, (chapitres 4.3 à 4.5), on présente les analyses mises en place pour l'aide à la décision, en abordant les questions suivantes :
  - Comment la multiplication des prélèvements actuels (par 1,5 ; par 2 ; par 3) peut-elle impacter les débits satisfaits 8 années sur 10 au droit des six points SDAGE ?
  - Si l'on fixe des débits cibles à Beaucaire, quels volumes peut-on prélever sur le bassin du Rhône, tout en satisfaisant ces débits ? Pour différentes valeurs de débits cibles à Beaucaire, on propose différentes valeurs de volumes prélevables mensuels associés.
  - Quelles clés de répartition spatiale des prélèvements estivaux sont possibles, et quels effets ont-elles sur les Q8/10 sur le linéaire du Rhône ?

On utilisera l'abréviation « Q8/10 » pour faire référence aux débits mensuels satisfaits 8 années sur 10.

On discute ci-après quelle acceptation on a donné ici à cette expression.

Rappel de la notion de « débit satisfait 8 années sur 10 » :

Il s'agit d'un débit tel que :

- ▶ 8 années sur 10, il est satisfait tous les mois (les débits mensuels de tous les mois sont supérieurs à ce débit) ;
- ▶ 2 années sur 10, on trouve au moins 1 mois pour lequel il n'a pas été satisfait (le débit a été inférieur à ce débit).

La figure ci-après illustre cette notion. Elle représente les débits mensuels à Beaucaire, et teste la satisfaction du débit cible de 690 m<sup>3</sup>/s. On observe que sur les 32 années étudiées, 5 années ont présenté une défaillance, pour au moins un mois. On a donc une **fréquence annuelle** de  $5/32 = 81\%$  de satisfaction. On dit alors que le **débit satisfait 8 années sur 10 (Q8/10) à Beaucaire est de 690 m<sup>3</sup>/s.**

Figure 3 : Illustration de la notion de débit satisfait 8 années sur 10

Etude du débit cible de 690 m <sup>3</sup> /s													
	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre	Année satisfaite ?
1980	2 124	3 074	2 095	1 855	1 701	1 979	2 454	1 324	1 223	1 801	1 357	1 686	oui
1981	2 237	1 632	2 728	2 296	1 821	1 834	1 650	1 006	1 311	2 518	1 473	3 607	oui
1982	3 668	1 787	1 636	1 468	1 283	1 748	1 345	1 297	1 175	2 270	2 989	3 954	oui
1983	2 117	2 235	2 382	3 859	4 837	2 941	1 546	937	1 269	1 155	1 034	1 658	oui
1984	2 081	2 750	1 487	1 850	2 080	2 257	1 129	749	1 193	1 924	1 844	1 876	oui
1985	1 848	2 211	2 340	2 270	2 946	2 132	1 320	984	736	655	765	725	non
1986	1 857	1 678	1 901	3 973	3 478	1 976	1 125	924	966	926	1 174	1 377	oui
1987	1 916	2 185	2 001	2 681	1 839	2 878	2 184	1 316	1 202	2 430	1 871	2 200	oui
1988	2 637	3 117	2 791	2 916	2 755	1 993	1 613	945	936	2 396	1 196	2 013	oui
1989	873	950	1 682	2 660	1 814	785	762	598	460	414	1 092	918	non
1990	728	2 524	1 547	1 220	1 134	1 410	1 192	644	613	1 105	2 099	1 764	non
1991	2 297	1 236	2 466	1 194	888	1 296	921	682	790	1 689	2 077	1 669	non
1992	1 169	1 432	1 375	1 924	1 367	2 169	1 617	838	1 197	1 865	3 608	2 712	oui
1993	1 182	936	833	1 529	1 555	1 565	1 390	884	2 207	4 995	1 652	2 443	oui
1994	4 843	2 739	2 116	2 419	2 287	1 619	1 193	949	2 078	1 997	2 960	1 595	oui
1995	3 159	3 873	2 934	2 477	2 651	2 258	1 576	976	1 607	1 483	1 343	1 909	oui
1996	3 364	2 077	1 616	1 061	1 650	1 418	1 463	1 012	765	922	3 060	3 793	oui
1997	3 024	1 920	1 364	847	1 469	1 400	1 735	1 016	970	1 000	1 668	2 728	oui
1998	2 436	1 237	1 108	2 239	1 669	1 413	834	718	1 180	1 528	2 081	1 240	oui
1999	1 949	2 766	3 010	2 408	3 020	1 908	1 209	1 089	1 153	2 500	2 086	2 504	oui
2000	1 650	2 343	1 791	1 860	1 781	1 241	1 063	872	900	1 889	3 702	2 759	oui
2001	2 824	1 883	4 967	3 258	2 771	1 970	1 589	1 059	1 212	1 679	953	1 135	oui
2002	1 265	1 626	2 039	835	1 648	1 342	950	1 017	1 533	1 548	5 131	3 225	oui
2003	2 691	2 127	1 451	1 097	1 048	959	696	772	768	1 251	1 739	2 553	oui
2004	2 546	1 992	1 760	1 218	1 190	1 064	734	1 151	827	1 576	1 607	1 337	oui
2005	1 479	1 627	1 344	2 620	1 529	1 006	788	746	924	885	976	998	oui
2006	1 169	1 506	2 526	2 876	1 797	1 136	907	1 036	1 036	1 570	1 311	1 679	oui
2007	1 631	1 788	2 203	1 062	1 388	2 054	1 779	1 430	917	742	1 070	1 653	oui
2008	2 127	1 209	1 610	2 466	1 872	2 650	1 287	1 030	1 869	1 253	2 269	2 049	oui
2009	1 791	2 794	1 900	1 844	1 313	1 232	936	715	665	632	993	1 896	non
2010	2 072	2 350	2 002	1 927	1 644	1 911	1 059	938	944	849	1 916	2 957	oui
2011	2 080	1 097	1 342	878	548	881	985	785	761	725	1 615	2 001	non
Fréquence de satisfaction du débit cible	100%	100%	100%	100%	97%	100%	100%	91%	91%	91%	100%	100%	81%

## 4.2 PRÉAMBULE : QUELS SONT LES DÉBITS SATISFITS 8 ANNÉES SUR 10 AU DROIT DES SIX POINTS SDAGE...

### 4.2.1 ... en situation de référence ?

On rappelle que la situation de référence correspond à une chronique de 30 ans (1980-2011) pour laquelle on confronte :

- ▶ La ressource en eau désinfluencée sur la période 1980-2011 ;
- ▶ Les usages correspondant à la situation socio-économique actuelle (c'est-à-dire, les usages de référence, décrits au chapitre 3.4).

Sur cette base, on calcule les débits mensuels satisfaits 8 années sur 10 (Q8/10) au droit des six points SDAGE, en situation de référence. Ces débits sont donnés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1 : Débits mensuels satisfaits 8 années sur 10 aux six points SDAGE du Rhône, en situation de référence.

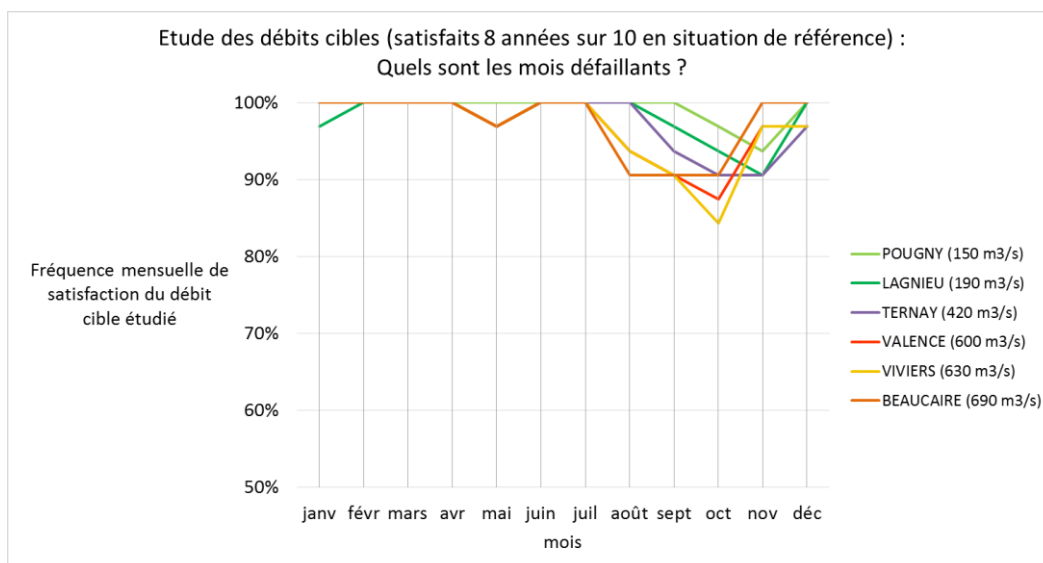
	Pouigny	Lagnieu	Ternay	Valence	Viviers	Beaucaire
Q8/10 (m3/s)	150	190	420	600	630	690

Dans la suite du rapport, on nommera ces valeurs les « Q81/10 de référence ».

Afin de compléter la compréhension du système, on regarde pour quels mois de l'année ces débits sont sous-passés. Cela est représenté sur la figure ci-dessous. La figure présente, pour chaque point SDAGE étudié et pour le Q8/10 associé, la fréquence mensuelle de satisfaction pour les 12 mois de l'année.

Par exemple, une fréquence de 100 % en janvier indique que, sur la période de référence, le débit mensuel de chaque mois de janvier est toujours supérieur au Q8/10.

Figure 4 : Fréquences mensuelles de satisfaction des Q8/10 aux 6 points SDAGE.



Ce graphique présente d'une autre manière l'un des résultats de la phase 2 : les étiages historiques du Rhône ont souvent eu lieu en fin d'été ou à l'automne.

Il montre en particulier qu'au mois de juillet, au droit de chaque point SDAGE, les débits cibles étudiés sont toujours satisfaits en situation de référence. Au mois d'août, il arrive que les débits de Valence à Beaucaire sous-passent les Q8/10.

	POUGNY (150 m3/s)	LAGNIEU (190 m3/s)	TERNAY (420 m3/s)	VALENCE (600 m3/s)	VIVIERS (630 m3/s)	BEAUCAIRE (690 m3/s)
janv	100%	97%	100%	100%	100%	100%
févr	100%	100%	100%	100%	100%	100%
mars	100%	100%	100%	100%	100%	100%
avr	100%	100%	100%	100%	100%	100%
mai	100%	97%	97%	97%	97%	97%
juin	100%	100%	100%	100%	100%	100%
juil	100%	100%	100%	100%	100%	100%
août	100%	100%	100%	94%	94%	91%
sept	100%	100%	94%	91%	91%	91%
oct	97%	94%	91%	88%	84%	91%
nov	94%	94%	91%	97%	97%	100%
déc	100%	100%	97%	97%	97%	100%

Ce constat est l'occasion de rappeler deux spécificités du Rhône, déjà explicitées et détaillées en phase 2 de l'étude :

- ▶ Les influences anthropiques représentent une empreinte limitée de la ressource ;
- ▶ Les plus fortes influences anthropiques (concentrée de mai à août : prélèvements agricoles et stockage de barrages) ne sont pas toujours concomitantes avec les étiages historiques sévères du Rhône (plusieurs épisodes historiques à l'automne).

**Cela est d'autant plus marqué sur le haut bassin (Pougny, Lagnieu),** caractérisé par un régime hydrologique nival ou pluvio-nival. En conséquence, et en particulier sur le haut bassin, une augmentation importante des prélèvements induit une baisse des Q8/10 qui peut rester relativement limitée.



## 4.2.2 ... sans influences anthropiques ?

Afin de mieux appréhender le système en situation actuelle et de comprendre comment les influences anthropiques actuelles impactent les débits satisfaits 8 années sur 10 sur le Rhône, on regarde ci-après les Q8/10 avec et sans influences anthropiques.

On présente ci-dessous les Q8/10 aux six points SDAGE du Rhône, pour les chroniques de débits suivants :

- ▶ Les débits influencés en situation de référence (influencés par les prélèvements de référence et par les ouvrages hydroélectriques) (cf. sous-chapitre 4.2.1) ;
- ▶ Les débits influencés uniquement pas les ouvrages hydroélectriques (stockage et transferts) ; mais désinfluencés des prélèvements ;
- ▶ Les débits désinfluencés de toute influence anthropique française.

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 2 : Q8/10 au droit des 6 points SDAGE du Rhône, pour les débits influencés en situation de référence ; pour les débits désinfluencés des prélèvements uniquement ; et pour les débits complètement désinfluencés. (débits calculés à 10 m<sup>3</sup>/s près)

	Débits satisfaits 8 années sur 10 (m3/s)					
	Pougny	Lagnieu	Ternay	Valence	Viviers	Beaucaire
<b>Débits influencés par les prélèvements de référence et par les ouvrages hydroélectriques</b>	150	190	420	600	630	690
<b>Débits influencés uniquement par les ouvrages hydroélectriques. Désinfluencés des prélèvements.</b>	150	200	430	620	650	800
<b>Débits désinfluencés de toute influence anthropique française</b>	150	200	400	550	570	690

**Il ressort, qu'en l'absence d'influence anthropique, les Q8/10 seraient plus faibles qu'en situation influencée sur le Rhône, à partir de Ternay et jusqu'à l'aval du bassin. Cela s'explique par le fait qu'un nombre important d'épisodes d'étiages historiques sévères ont eu lieu à l'automne, période pour laquelle le déstockage des ouvrages hydroélectriques dans les vallées alpines peut compenser les prélèvements sur le bassin du Rhône. Autrement dit, la gestion saisonnière de certains barrages conduit à faire du soutien d'étiage sur les mois d'automne, pour certaines années.**

En l'absence de prélèvements, mais en considérant les influences des ouvrages hydroélectriques, les Q8/10 sont plus élevés que dans les autres cas. Cela s'explique par les mêmes raisons : dans ce cas, on cumule l'absence de prélèvements qui rehausse les débits et le déstockage de barrage à l'automne, qui rehausse certains débits d'étiages historiques.

**Par rapport à une situation sans aucun prélèvement (mais avec des barrages hydroélectriques), les débits influencés en référence, satisfaits 8 années sur 10 sur le Rhône, sont légèrement plus faibles jusqu'à Valence. L'écart reste inférieur à environ 20 m<sup>3</sup>/s jusqu'à Viviers. On peut dire que l'effet des prélèvements de référence représente jusqu'à environ 20 m<sup>3</sup>/s sur les débits satisfaits 8 années sur 10, à l'amont de Viviers.**

**Pour Beaucaire, la différence est plus élevée, elle s'explique par les prélèvements sur la partie aval du bassin, et notamment sur le bassin de la Durance. Une part notable de ces prélèvements étant permise par le déstockage des ouvrages, et notamment depuis le barrage de Serre Ponçon.**

### 4.3 APPROCHE 1 : QUELS SONT LES DÉBITS SATISFAITS 8 ANNÉES SUR 10 SI L'ON MULTIPLIE LES PRÉLÈVEMENTS ACTUELS ?

#### MÉTHODE

Dans un premier temps, on choisit d'étudier l'effet possible de la multiplication des prélèvements nets actuels (de référence), sur les Q8/10 du Rhône. On fait varier dans ce test uniquement les prélèvements AEP, agricoles et industriels.

Il est important de noter que :

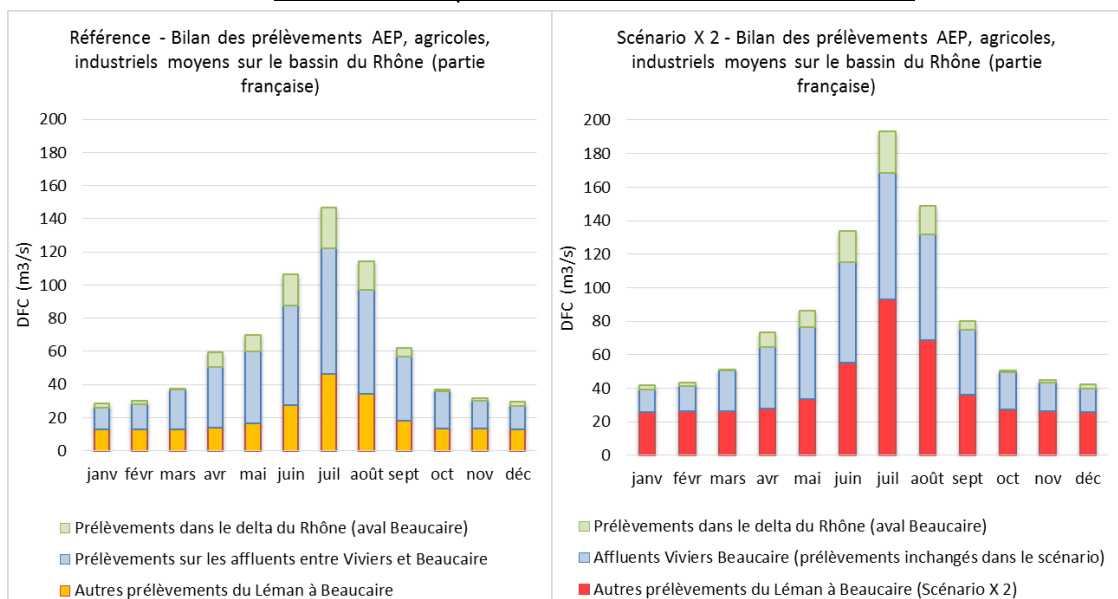
- ▶ Ce test ne permet pas de rendre compte de l'effet de la multiplication des prélèvements du delta du Rhône (majoritairement la riziculture)<sup>2</sup>.
- ▶ Ce premier test ne fait pas varier les prélèvements des CNPE ni les transferts liés à l'hydroélectricité, ni les influences des ouvrages de stockage sur le bassin.
- ▶ Il y a une limite à la hausse des prélèvements, en particulier sur le bassin de la Durance. En effet, actuellement, les prélèvements sur les affluents du tronçon Viviers-Beaucaire (concentrés essentiellement sur la Durance) représentent une forte part de la ressource disponible : pour 10 % du temps, les influences anthropiques sur les affluents dépassent 60 % de la ressource à l'échelle du tronçon. **En conséquence, pour ce test, on ne multipliera pas les prélèvements des affluents du tronçon Viviers-Beaucaire.** En revanche, on peut multiplier, pour ce tronçon, les prélèvements sur le fleuve lui-même.

**Ce test conduit donc à multiplier les prélèvements AEP, agricoles et industriels jusqu'à Beaucaire, hors affluents aval (dont Durance et Ardèche).** Ces prélèvements représentent en moyenne, 47 m<sup>3</sup>/s en juillet, et 18 m<sup>3</sup>/s en septembre.

A titre de comparaison, les prélèvements sur les affluents (dont la Durance) entre Viviers et Beaucaire représentent en moyenne 75 m<sup>3</sup>/s en juillet. Les prélèvements sur le delta du Rhône représentent 25 m<sup>3</sup>/s en juillet.

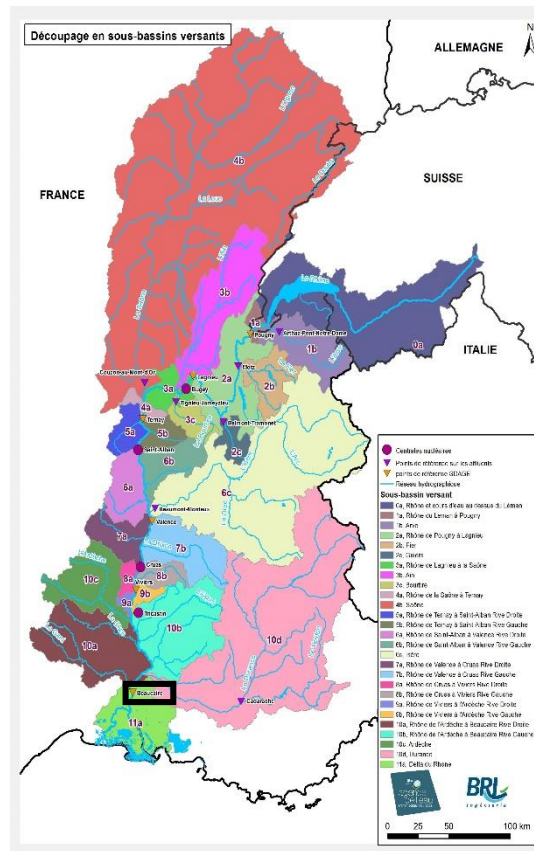
La figure 5 présente les prélèvements résultants d'un scénario « multiplication par deux des prélèvements de référence », sur le bassin du Rhône.

Figure 5: Valeurs moyennes des prélèvements AEP, agricoles et industriels sur le bassin du Rhône : Scénario « multiplication X 2 » et situation de référence.



<sup>2</sup> A noter que le prélèvement du canal BRL est comptabilisé dans le modèle à l'amont de Beaucaire, afin de pouvoir prendre en compte son effet sur les débits aval du Rhône (à Beaucaire).

Figure 6 : Rappel des sous-bassins versants du Rhône. Le bassin de la Durance est figuré en rose. La station de Beaucaire est encadrée.



Le tableau ci-dessous présente, pour chaque test effectué de « multiplication des prélèvements », les nouvelles valeurs de prélèvements AEP, agricoles, industriels, à l'amont de chaque point SDAGE, au mois de juillet :

Tableau 3 : Prélèvements AEP, agricoles, industriel, au mois de **JUILLET** à l'amont de chaque point SDAGE, pour les différents test effectués. (Débit Fictif Continu, m<sup>3</sup>/s)

		Pougny	Lagnieu	Ternay	Valence	Viviers	Beaucaire	Augmentation absolue (m <sup>3</sup> /s) à Beaucaire par rapport à la situation de référence	Augmentation relative à Beaucaire par rapport à la situation de référence
Scénarios	Prélèvements REF	0.6	1.9	11	27	32	122		
	Prélèvements REF * 1.25	0.8	2.4	14	33	41	134	12	1.10
	Prélèvements REF * 1.5	0.9	2.9	17	40	49	145	23	1.19
	Prélèvements REF * 2	1.2	3.8	22	54	65	169	47	1.38
	Prélèvements REF * 3	1.9	5.8	33	80	97	215	93	1.76

Tableau 4 : Prélèvements AEP, agricoles, industriel, au mois de **JUILLET** à l'amont de chaque point SDAGE, pour les différents test effectués. (Volume Mm<sup>3</sup>/mois)

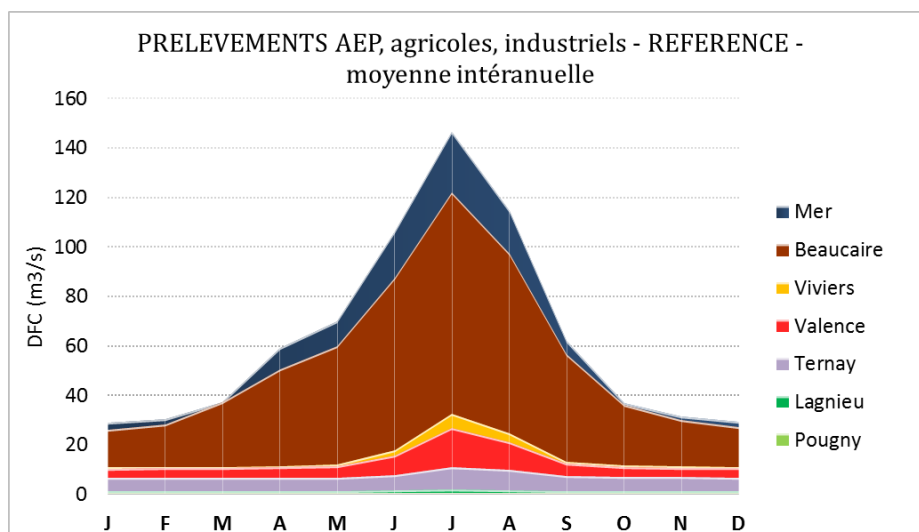
		Pouigny	Lagnieu	Ternay	Valence	Viviers	Beaucaire	Augmentation absolue à Beaucaire par rapport à la référence	Augmentation relative à Beaucaire par rapport à la référence
Scénarios	Prélèvements REF	1.7	5.1	30	72	87	327		
	Prélèvements REF * 1.25	2.1	6.4	37	90	109	358	236	1.1
	Prélèvements REF * 1.5	2.5	7.7	45	108	130	389	267	1.2
	Prélèvements REF * 2	3.3	10.3	60	144	174	451	329	1.4
	Prélèvements REF * 3	5.0	15.4	89	215	260	576	454	1.8

Pour mémoire, on rappelle ci-dessous la moyenne des prélèvements AEP, agricoles et industriels à l'amont de chaque point SDAGE, en situation de référence.

Rappel des prélèvements moyens AEP, agricoles et industriels sur le bassin du Rhône (référence) :

Moyenne mensuelle interannuelle des prélèvements AEP, agricoles, industriels sur le bassin de Rhône (référence).  
Somme des prélèvements à l'amont de chaque point SDAGE.

mois	Pouigny	Lagnieu	Ternay	Valence	Viviers	Beaucaire	Mer
J	0.6	1.4	7	10	11	26	29
F	0.6	1.4	7	11	11	28	30
M	0.6	1.4	7	11	11	37	37
A	0.6	1.4	7	11	11	51	59
M	0.6	1.4	7	11	12	60	70
J	0.6	1.5	8	16	18	87	106
J	0.6	1.9	11	27	32	122	147
A	0.6	1.8	10	21	25	97	114
S	0.6	1.4	7	12	13	57	62
O	0.6	1.4	7	11	12	36	37
N	0.6	1.4	7	11	11	30	32
D	0.6	1.4	7	11	11	27	30



### RÉSULTATS : ANALYSE DE LA SENSIBILITE DES Q8/10 A UNE AUGMENTATION DES NIVEAUX DE PRELEVEMENTS DE REFERENCE

Les graphiques de la Figure 7 et la Figure 8 donnent deux visions de l'évolution des Q8/10 aux six points SDAGE, pour plusieurs facteurs de multiplication des prélèvements. Ces débits sont calculés à 10 m<sup>3</sup>/s près.

Le graphique de la Figure 9 considère le Q8/10 de référence comme un débit cible. Sur cette base, il indique quelles sont les fréquences mensuelles de satisfaction de ces débits cibles, en situation de référence et lorsque l'on multiplie les prélèvements. Ainsi il donne une idée de la **sensibilité de chaque mois à la multiplication des prélèvements**, pour la satisfaction du débit cible Q8/10. Autrement dit : pour un mois donné, si les prélèvements augmentent de X, à quelle fréquence est satisfait le « Q8/10 de référence » ?

Tableau 5 : Etude de débits satisfaits 8 années sur 10 (m<sup>3</sup>/s). Tests de sensibilité à la multiplication des prélèvements actuels (hors affluents entre Viviers et Beaucaire)

Débits satisfaits 8 années sur 10 (m <sup>3</sup> /s) - Avec une multiplication des prélèvements AEP, agricoles, industriels sur le bassin (EXCEPTÉ sur les affluents du Rhône entre Viviers et Beaucaire)						
	Pouigny	Lagnieu	Ternay	Valence	Viviers	Beaucaire
Prélèvements REF * « 0.90 »	150	190	420	600	630	710
Prélèvements REF	150	190	420	600	630	690
Prélèvements REF * « 1.25 »	150	190	420	600	630	680
Prélèvements REF * « 1.5 »	150	190	410	600	620	660
Prélèvements REF * « 2 »	150	190	410	590	610	640
Prélèvements REF * « 3 »	150	190	400	580	600	610

Figure 7 : Tests de sensibilité des Q8/10 aux points SDAGE, par rapport à une multiplication des prélèvements actuels. Présentation 1.

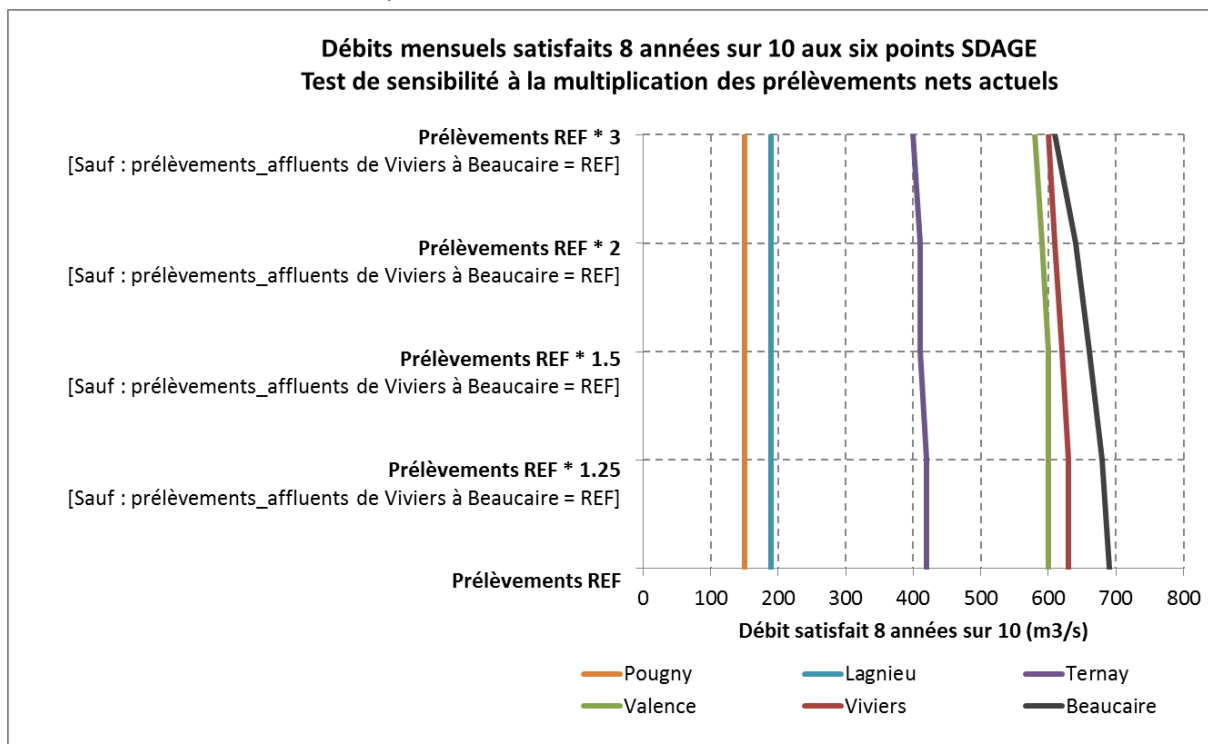


Figure 8 : Tests de sensibilité des Q8/10 aux points SDAGE, par rapport à une multiplication des prélèvements actuels. Présentation 2.

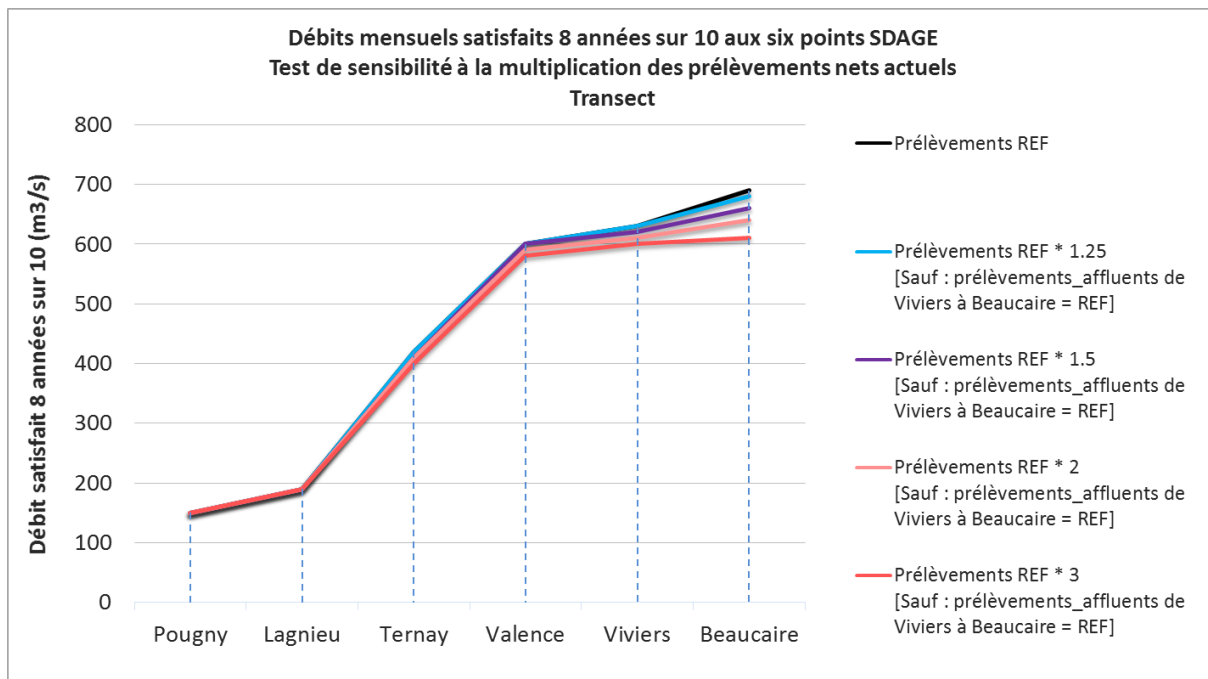




Figure 9 : Fréquences mensuelles de satisfaction du Q8/10 de référence, lors de la multiplication des prélèvements de référence.







Ces graphiques font ressortir les résultats suivants :

- ▶ A Pougny et Lagnieu, une multiplication par 2 ou 3 des prélèvements actuels n'a pas d'impact sur le Q8/10. En effet, les prélèvements actuels à l'amont de Lagnieu représentent moins de 3 m<sup>3</sup>/s.
- ▶ A Ternay, la multiplication des prélèvements a un effet très limité sur le Q8/10. Multiplier par 2 les prélèvements à l'amont de Ternay revient à abaisser le Q8/10 d'environ 10 m<sup>3</sup>/s (passant de 420 à 410 m<sup>3</sup>/s). En effet, les prélèvements AEP, agricoles et industriels à l'amont de Ternay représentent de l'ordre de 6 à 16 m<sup>3</sup>/s.

A noter (voir Figure 9) que les mois les plus « défaillants » à Ternay **restent les mois d'automne**, en situation de référence et en multipliant par 2 ou 3 les prélèvements. Cela s'explique par les épisodes historiques de basses eaux du Rhône à Ternay, souvent centrés sur l'automne (1921, 1947, 1949, 1962, 1972, 1989 : voir phase 2 mission 1 de l'étude).

- ▶ A Valence et Viviers, la multiplication des prélèvements a un effet un peu plus marqué. Multiplier par 2 les prélèvements revient à abaisser Q8/10 de 10 à 20 m<sup>3</sup>/s.
  - Les Q8/10 passent de 600 m<sup>3</sup>/s (Valence) et 630 m<sup>3</sup>/s (Viviers) en situation de référence, à 590 m<sup>3</sup>/s (Valence) et 610 m<sup>3</sup>/s (Viviers) si l'on double les prélèvements.
  - En outre, on observe une sensibilité accrue pour les mois d'été, comparativement aux points plus amont. En multipliant par 2 ou 3 les prélèvements, les nouveaux épisodes « défaillants » apparaissent **en automne et en été**. Cela s'explique en particulier par les prélèvements estivaux plus importants.
- ▶ **A Beaucaire**, l'augmentation des prélèvements a un **effet nettement plus marqué** (étant entendu qu'on ne réalise pas une multiplication stricte en ce point). Cependant, en doublant les prélèvements (excepté ceux des affluents entre Viviers et Beaucaire), on abaisse le Q8/10 de 50 m<sup>3</sup>/s.

En outre, en ce point, la sensibilité la plus forte est observée lors des mois d'été (voir Figure 9), et en particulier au mois d'août.

## 4.4 APPROCHE 2 : QUELS SONT LES VOLUMES PRÉLEVABLES SUR LE BASSIN DU RHÔNE POUR UN DÉBIT CIBLE DONNÉ À BEAUCAIRE ?

### DEMARCHE GENERALE

On propose de jouer ici sur les prélèvements en valeur absolue, dans une démarche d'étude des volumes prélevables.

Pour cette analyse, on étudie de façon globale l'ensemble des prélèvements du bassin entre le Léman et Beaucaire. La question posée est : « **A Beaucaire, quelle augmentation en absolu des prélèvements en amont permet de satisfaire, huit années sur 10, un débit cible à Beaucaire ?** ».

**On rappelle qu'à ce stade, l'étude n'a pas permis de définir des conditions limites à l'échelle mensuelle et donc des débits cibles aux différents points nodaux du Rhône.** En particulier, les débits mensuels ne sont pas un facteur d'influence prépondérant sur les milieux aquatiques sur le linéaire du Rhône et aucun débit cible mensuel à respecter pour l'hydrobiologie n'a été défini.

On propose donc de raisonner pour **plusieurs valeurs de débits cibles, afin de proposer des analyses** qui mettent en regard volumes prélevables et débits cibles : il s'agira d'un outil d'aide à la décision pour la détermination d'éventuels DOE.

En outre, compte tenu de l'absence de conditions limites définies pour les usages prioritaires, on propose dans un premier temps d'étudier des valeurs de débit cible constantes sur l'année.

Dans cette analyse, **on considère l'influence des ouvrages de stockage et de transferts pour l'hydroélectricité comme une donnée d'entrée non modifiable.** On étudiera en phase 6 le levier que peuvent représenter ces ouvrages sur les débits. Aussi, dans ce test, la ressource prise en compte est la ressource influencée par les ouvrages de stockage et de transferts hydroélectriques. En conséquence, **dans cette approche, les « volumes prélevables » sont calculés à partir d'une ressource en eau déjà influencée par les ouvrages hydroélectriques.**

Comme explicité précédemment, **le point du Rhône à Beaucaire est le point pour lequel l'empreinte des influences anthropiques sur les débits est la plus forte et c'est le point nodal le plus aval sur le bassin. Il paraît donc pertinent de commencer par étudier les volumes prélevables en ce point.** La question de la répartition spatiale de l'amont vers l'aval des volumes prélevables est discutée par la suite.

**METHODE DÉTAILLÉE****1. Limite d'une approche fréquentielle mensuelle**

On considère un débit cible donné. Si l'on calcule, pour chaque mois indépendamment, le volume prélevable mensuel permettant de satisfaire ce débit 8 fois sur 10, on obtient alors une série de 12 valeurs de prélèvement mensuel. Ces volumes :

- ▶ permettent de satisfaire le débit cible 8 fois sur 10 pour chaque mois indépendamment ;
- ▶ mais ne permettent pas de satisfaire le débit cible 8 années sur 10.

Cela est illustré par la figure ci-dessous. Dans cet exemple, les cases jaunes correspondent à des mois pour lesquels le débit cible est satisfait et les cases roses correspondent à des mois pour lesquels le débit cible n'est pas satisfait. Pour chaque mois indépendamment, on observe une fréquence de satisfaction de 8/10. En revanche, dans le cas illustré, seules 25 % des années satisfont le débit cible pour chaque mois.

Figure 10 : Illustration de la différence entre fréquences de satisfaction mensuelle et annuelle

	Janv.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Année satisfaite ?
1980	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Non
1981	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Non
1982	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Rose	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Non
1983	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Non
1984	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Rose	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Non
1985	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Rose	Rose	Rose	Rose	Rose	Non
1986	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Rose	Non
1987	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Non
1988	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Non
1989	Rose	Rose	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Rose	Rose	Rose	Rose	Rose	Rose	Non
1990	Rose	Jaune	Jaune	Jaune	Rose	Jaune	Jaune	Rose	Rose	Jaune	Jaune	Jaune	Non
1991	Rose	Rose	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Rose	Rose	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Non
1992	Rose	Rose	Rose	Jaune	Jaune	Jaune	Rose	Rose	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Non
1993	Rose	Rose	Rose	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Non
1994	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Non
1995	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Non
1996	Jaune	Jaune	Jaune	Rose	Jaune	Jaune	Jaune	Rose	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Non
1997	Jaune	Jaune	Rose	Rose	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Non
1998	Jaune	Rose	Rose	Jaune	Jaune	Jaune	Rose	Rose	Jaune	Jaune	Jaune	Rose	Non
1999	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Non
2000	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Non
2001	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Rose	Rose	Non
2002	Rose	Jaune	Jaune	Rose	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Non
2003	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Rose	Jaune	Jaune	Jaune	Non
2004	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Rose	Rose	Rose	Rose	Jaune	Jaune	Jaune	Rose	Non
2005	Rose	Jaune	Rose	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Rose	Jaune	Rose	Rose	Rose	Non
2006	Rose	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Non
2007	Jaune	Jaune	Jaune	Rose	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Rose	Rose	Rose	Non
2008	Jaune	Rose	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Non
2009	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Rose	Rose	Rose	Rose	Rose	Rose	Rose	Rose	Non
2010	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Rose	Rose	Jaune	Jaune	Non
2011	Jaune	Rose	Rose	Rose	Rose	Rose	Rose	Rose	Rose	Rose	Rose	Rose	Non
Fréquence de satisfaction du débit cible mensuel	78%	78%	78%	78%	78%	78%	78%	78%	78%	78%	78%	78%	25%

## 2. Nécessité de raisonner sur des fréquences annuelles

Par conséquent, il est nécessaire de chercher des combinaisons de 12 valeurs de prélèvements mensuels qui permettent de satisfaire un débit cible, avec une fréquence annuelle de 8/10. On est alors confronté à un système qui présente de nombreux degrés de liberté : plusieurs combinaisons de 12 valeurs de volumes prélevables permettent de satisfaire un même débit cible.

On propose la méthode suivante :

- ▶ On se place à Beaucaire, avec la ressource de référence, influencée par les ouvrages hydroélectriques ;
- ▶ On fixe une valeur de débit cible mensuel à satisfaire 8 années sur 10 à Beaucaire ;
- ▶ On applique d'abord des prélèvements nets mensuels qui correspondent à **la moyenne des prélèvements de référence** sur le bassin du Rhône jusqu'à Beaucaire ;
- ▶ On additionne à ces prélèvements des débits supplémentaires, jusqu'à passer à la limite de fréquence de satisfaction de 8 années sur 10 pour le débit cible que l'on s'est fixé.
- ▶ Comme on s'y attend (voir commentaires précédents), on observe que la fréquence de satisfaction des débits cibles est **plus sensible à la variation des prélèvements estivaux**. C'est la période de l'année qui correspond aux basses eaux en moyenne, et aux plus forts prélèvement, au niveau de Beaucaire. Aussi **on cherche en priorité la limite pour les prélèvements estivaux** ; et dans un second temps, on cherche la limite pour les prélèvements du reste de l'année.

Plusieurs méthodes sont possibles pour calculer les volumes prélevables. On propose deux méthodes, parmi un très grand nombre de solutions possibles.

- **Méthode A :**

- On applique une même constante additive pour tous les mois de l'année et on cherche à maximiser cette constante, tout en satisfaisant le débit cible 8 années sur 10 ;
- Une fois cette constante définie, on s'aperçoit que l'on ne peut pas augmenter les prélèvements estivaux (juin-septembre), sans dégrader le débit satisfait 8 années sur 10. En revanche, il est possible d'augmenter encore les prélèvements des autres mois de l'année. On maximise donc une nouvelle constante additive pour les prélèvements non estivaux uniquement.

A titre d'exemple, la Figure 11 illustre cette méthode pour un débit cible de 550 m<sup>3</sup>/s. Une large plage de valeurs entre 450 et 750 m<sup>3</sup>/s a été testée. Pour rappel, le QMNA5 à Beaucaire est de 680 m<sup>3</sup>/s.

- **Méthode B :**

- On applique une même constante additive pour les mois de juin à septembre uniquement. On cherche à maximiser cette constante sur les prélèvements estivaux, tout en satisfaisant le débit cible 8 années sur 10 ;
- Une fois cette constante définie, on cherche ensuite à augmenter les prélèvements sur les autres mois. On applique alors, pour les mois non estivaux, une même constante additive que l'on cherche à maximiser.

A titre d'exemple, la Figure 11 illustre cette méthode pour un débit cible de 550 m<sup>3</sup>/s.

Ces deux méthodes constituent des choix méthodologiques, qui réduisent fortement les degrés de liberté du système pour simplifier les calculs. Elles permettent de proposer **deux combinaisons de volumes prélevables, parmi de nombreuses autres possibilités**. Malgré leurs limites, elles donnent de clés de compréhension utiles pour l'étude des volumes prélevables.

Figure 11 : Illustration des méthodes utilisées pour calculé des prélèvements permettant la satisfaction d'un débit cible à Beaucaire

Méthode A			
	Prélèvements REFERENCE – Moyenne (m <sup>3</sup> /s)	Valeur additive permettant d'augmenter les prélèvements moyens, et de satisfaire un débit cible de 550 m <sup>3</sup> /s à Beaucaire 8 années sur 10 (m <sup>3</sup> /s)	Prélèvements résultants, permettant de satisfaire 550 m <sup>3</sup> /s à Beaucaire 8 années sur 10 (m <sup>3</sup> /s)
janv	34	280	314
févr	36	280	316
mars	45	280	325
avr	58	280	338
mai	67	280	347
juin	95	170	265
juil	129	170	299
août	105	170	275
sept	64	170	234
oct	44	280	324
nov	37	280	317
déc	34	280	314

Méthode B			
	Prélèvements REFERENCE – Moyenne (m <sup>3</sup> /s)	Valeur additive permettant d'augmenter les prélèvements moyens, et de satisfaire un débit cible de 550 m <sup>3</sup> /s à Beaucaire 8 années sur 10 (m <sup>3</sup> /s)	Prélèvements résultants, permettant de satisfaire 550 m <sup>3</sup> /s à Beaucaire 8 années sur 10 (m <sup>3</sup> /s)
janv	34	100	134
févr	36	100	136
mars	45	100	145
avr	58	100	158
mai	67	100	167
juin	95	190	285
juil	129	190	319
août	105	190	295
sept	64	190	254
oct	44	100	144
nov	37	100	137
déc	34	100	134

Les graphiques ci-après présentent, pour plusieurs valeurs de débits cibles étudiés à Beaucaire, des volumes de prélèvements permettant la satisfaction de ces débits 8 années sur 10, calculés à partir de ces deux méthodes.

- ▶ On rappelle qu'il s'agit de deux propositions de volumes prélevables pour ces valeurs de débits cibles ; d'autres propositions (combinaisons de 12 valeurs mensuelles) fonctionnent également.
- ▶ On rappelle que les valeurs sont calculées à 10 m<sup>3</sup>/s près.

Les tableaux suivants donnent les valeurs des volumes prélevables calculés à l'amont de Beaucaire, avec les méthodes A et B. A titre de comparaison, on donne également les valeurs moyenne et quinquennale haute des prélèvements de référence.

On rappelle qu'en situation de référence, le Q8/10 à Beaucaire est de 690 m<sup>3</sup>/s. On a donc un seuil au niveau de ce débit : sous les 700 m<sup>3</sup>/s, il faut diminuer les volumes prélevables pour atteindre le débit cible.

Tableau 6 : Calcul de prélèvements mensuels permettant la satisfaction d'un débit cible à Beaucaire, 8 années sur 10. Méthode A

	Prélèvements moyens permettant la satisfaction d'un débit cible à Beaucaire 8 années sur 10							Prélèvements REF : Moyenne	Prélèvements REF : Quinquennal haut
	Débit cible (m3/s)								
	450	500	550	600	650	700	750		
janv	414	364	314	264	214	164	24	34	34
févr	416	366	316	266	216	166	26	36	37
mars	425	375	325	275	225	175	35	45	47
avr	438	388	338	288	238	188	48	58	61
mai	447	397	347	297	247	197	57	67	73
juin	365	315	265	215	165	115	70	95	101
juil	399	349	299	249	199	149	104	129	144
août	375	325	275	225	175	125	80	105	113
sept	334	284	234	184	134	84	39	64	68
oct	424	374	324	274	224	174	34	44	46
nov	417	367	317	267	217	167	27	37	39
déc	414	364	314	264	214	164	24	34	36

Tableau 7 : Calcul de prélèvements mensuels permettant la satisfaction d'un débit cible à Beaucaire, 8 années sur 10. Méthode B

	Prélèvements moyens permettant la satisfaction d'un débit cible à Beaucaire 8 années sur 10							Prélèvements REF : Moyenne	Prélèvements REF : Quinquennal haut
	Débit cible (m3/s)								
	450	500	550	600	650	700	750		
janv	234	184	134	84	34	34	24	34	34
févr	236	186	136	86	36	36	26	36	37
mars	245	195	145	95	45	45	35	45	47
avr	258	208	158	108	58	58	48	58	61
mai	267	217	167	117	67	67	57	67	73
juin	385	335	285	235	185	115	70	95	101
juil	419	369	319	269	219	149	104	129	144
août	395	345	295	245	195	125	80	105	113
sept	354	304	254	204	154	84	39	64	68
oct	244	194	144	94	44	44	34	44	46
nov	237	187	137	87	37	37	27	37	39
déc	234	184	134	84	34	34	24	34	36

Les figures ci-après illustrent, sur l'année, les volumes prélevables calculés par les méthodes A et B respectivement, pour chacun des débits cibles considérés. On représente en « aires » les prélèvements de référence, en moyenne et en quinquennal haut, à titre de comparaison.

Figure 12 : Calcul de prélèvements mensuels permettant la satisfaction d'un débit cible à Beaucaire, 8 années sur 10. Méthode A

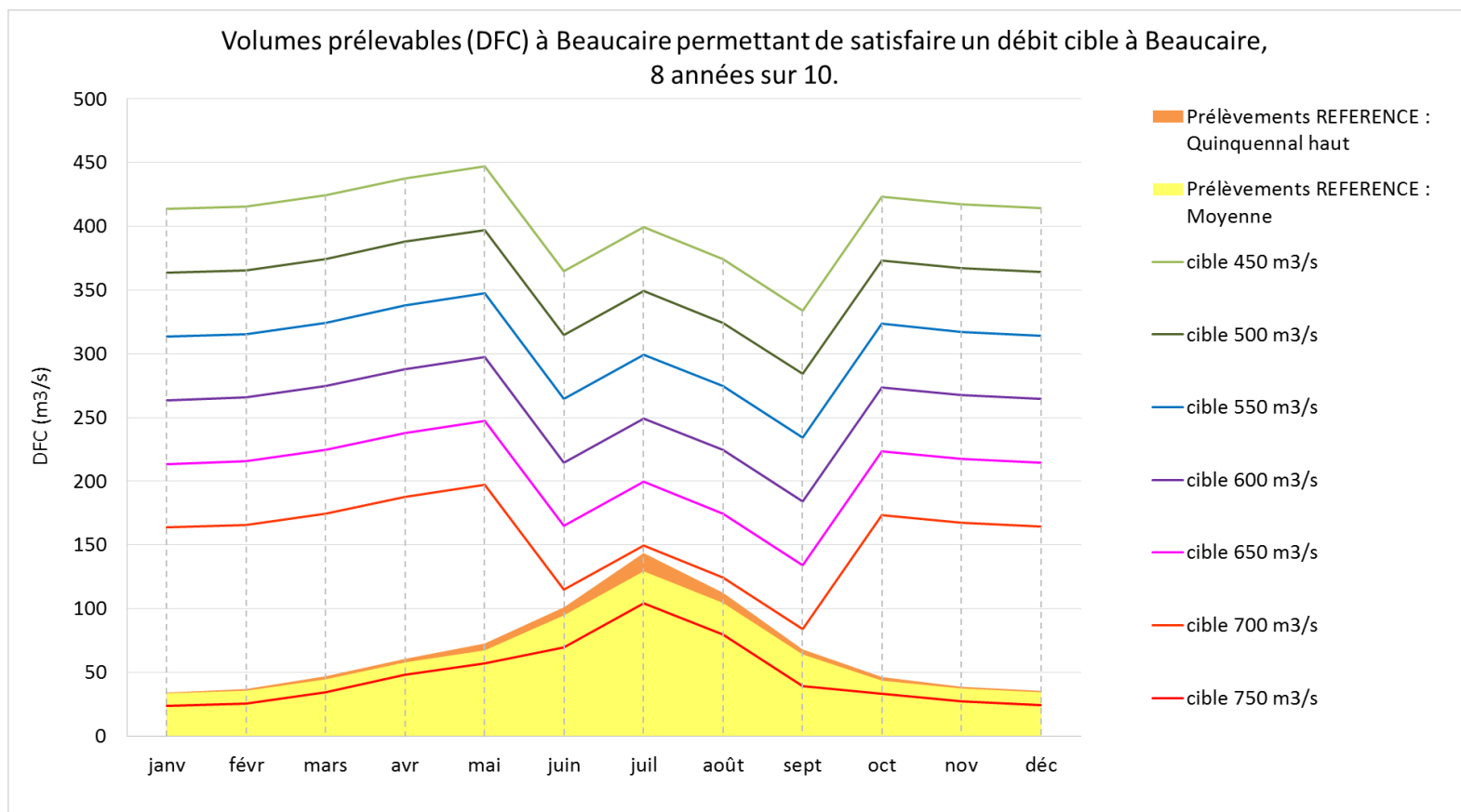
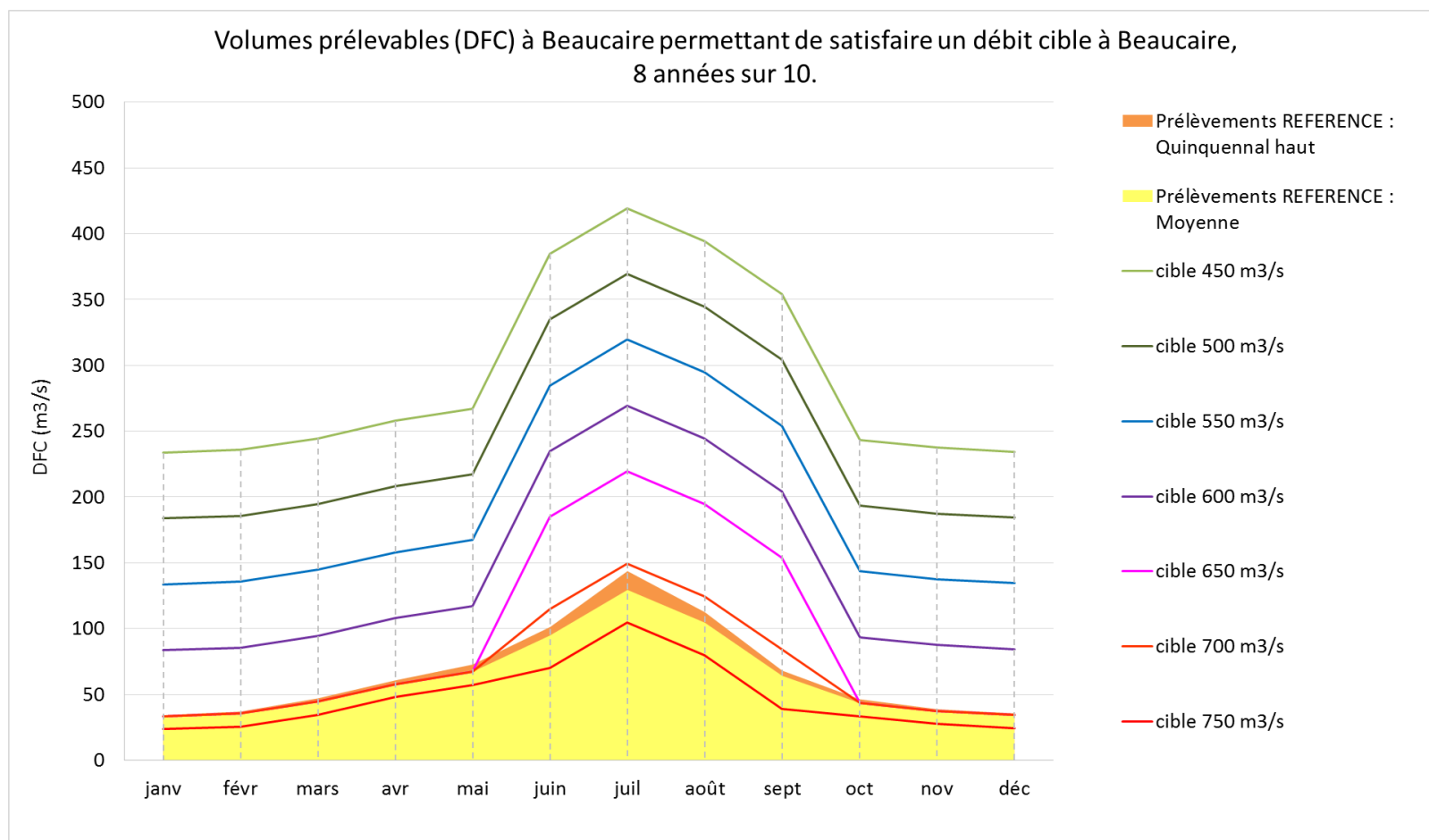


Figure 13 : Calcul de prélèvements mensuels permettant la satisfaction d'un débit cible à Beaucaire, 8 années sur 10. Méthode B



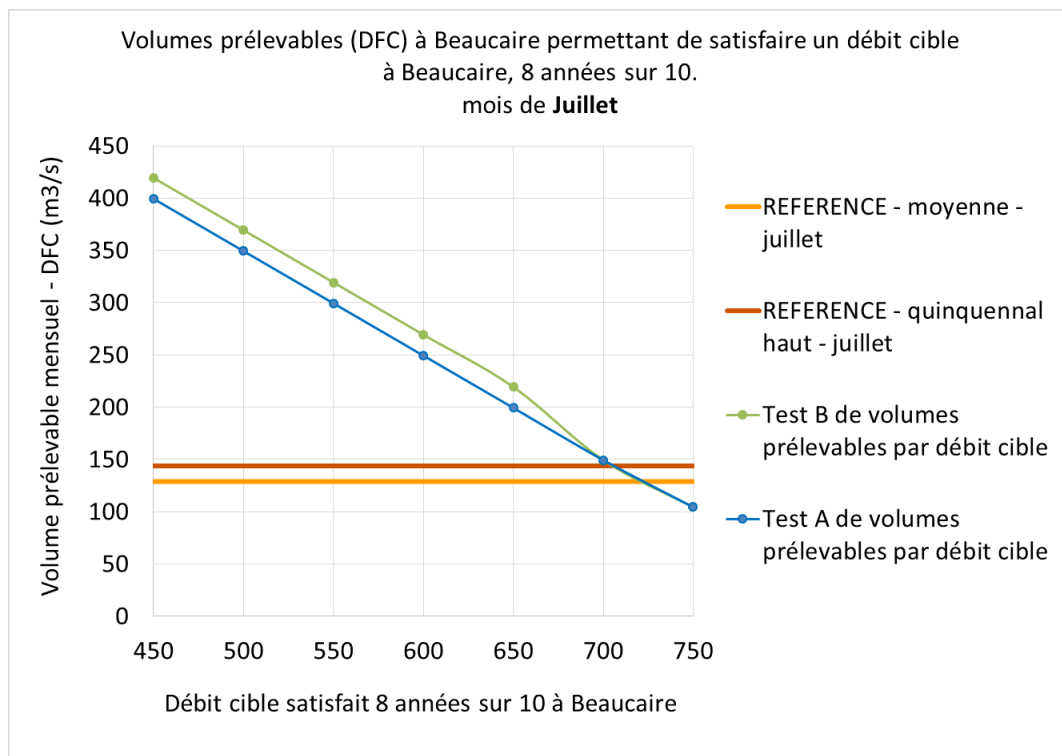


La figure ci-dessous représente, pour le mois de juillet uniquement, les différentes valeurs de volumes prélevables calculées en fonction des débits cibles visés. On représente les valeurs calculées par les méthodes A et B.

On place également sur ce graphique, à titre de comparaison, les valeurs des prélèvements de référence en juillet, en moyenne interannuelle et en fréquence quinquennale.

On retrouve, à l'intersection des courbes, l'ordre de grandeur du Q8/10 de référence, de l'ordre de 700 m<sup>3</sup>/s.

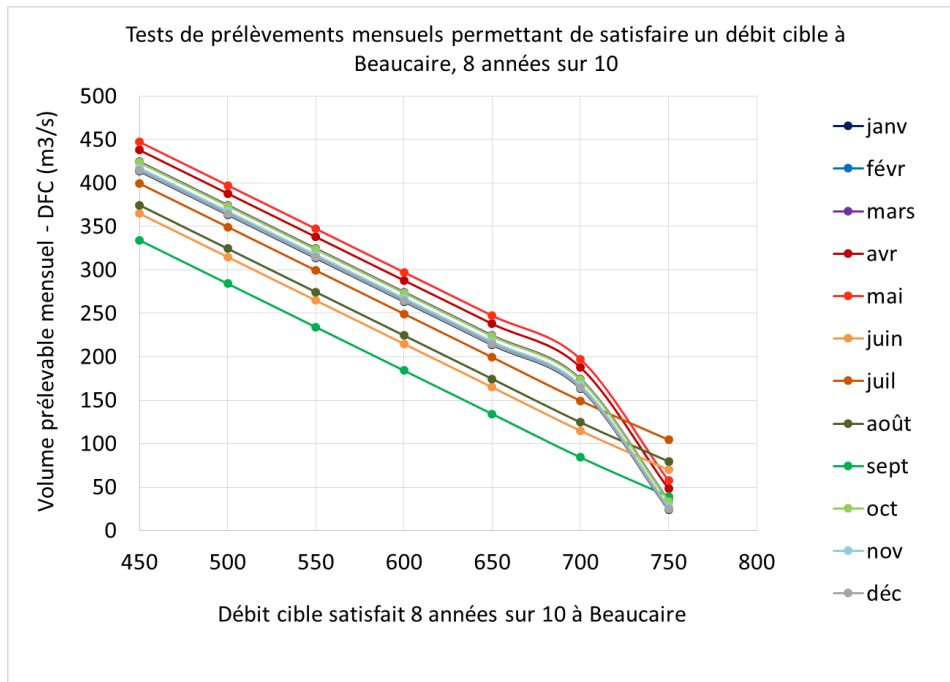
**Figure 14 : Présentation des volumes prélevables calculés par les méthodes A et B pour le mois de juillet, pour plusieurs valeurs de débits cibles. Comparaison avec les prélèvements de référence (Moyenne et Quinquennal haut)**



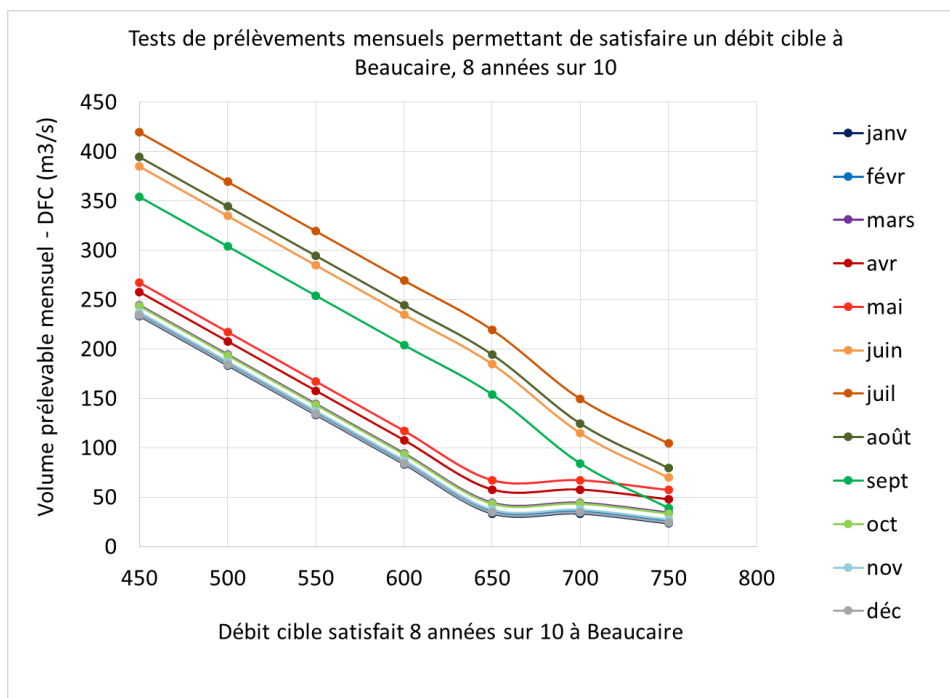
Les graphiques suivants représentent à nouveaux les valeurs des volumes prélevables calculés en fonction des débits cibles visés, mais ici pour les 12 mois de l'année.

On observe, pour les méthodes suivies, **une relation linéaire entre les volumes prélevables et les débits cibles atteints**, pour les plages de valeurs en dehors du seuil des 700 m<sup>3</sup>/s (méthode A) ou 650 m<sup>3</sup>/s (méthode B). Pour augmenter de 50 m<sup>3</sup>/s un débit cible à Beaucaire, il faut abaisser les volumes prélevables estivaux de 50 m<sup>3</sup>/s.

Figure 15 : Présentation des volumes prélevables calculés par les méthodes A et B, pour plusieurs valeurs de débits cibles.



Méthode A



Méthode B

## 4.5 QUELLE RÉPARTITION AMONT-AVAL DES VOLUMES PRÉLEVABLES ?

### 4.5.1 Un outil d'aide à la décision qui rend compte des effets d'une hausse des prélèvements estivaux, de l'amont vers l'aval.

On peut définir, comme dans le paragraphe précédent, une grille associant, à un débit cible donné à Beaucaire, des valeurs de volumes prélevables mensuels sur le bassin du Rhône à l'amont de Beaucaire, permettant de satisfaire ce débit cible 8 années sur 10. On a vu que cette grille n'est pas unique mais comporte de nombreuses solutions possibles.

La question qui peut venir ensuite est **celle de la répartition amont-aval des prélèvements**.

A nouveau, on est confronté à un système avec un grand nombre d'inconnues, puisque l'on ne dispose pas de conditions limites ou de débits cibles mensuels aux six points SDAGE a priori. Aussi, pour un débit cible donné à Beaucaire, il existe un grand nombre de solutions de répartition amont-aval des volumes prélevables.

On propose de raisonner comme suit. **Si l'on décide, par exemple, de définir un débit cible de 600 m<sup>3</sup>/s à Beaucaire, alors on peut augmenter les prélèvements estivaux d'environ 100 m<sup>3</sup>/s, tout en satisfaisant ce débit cible 8 années sur 10. Se pose alors la question de comment répartir les 100 m<sup>3</sup>/s supplémentaires sur les différents tronçons du Rhône, et de quel impact cette répartition aura sur les Q8/10 en chaque point SDAGE ?**

**A nouveau on propose une grille de lecture, qui permet de donner des idées sur « quels impacts une hausse des prélèvements de X m<sup>3</sup>/s à l'amont d'un point peut avoir sur les Q8/10 en ce point ? ».**

- ▶ On sait **qu'une hausse des prélèvements homogène** sur l'année de X m<sup>3</sup>/s à l'amont d'un point induit, en ce point, **une baisse du Q8/10 de X m<sup>3</sup>/s**. (i.e. : Si l'on augmente de janvier à décembre les prélèvements de 10 m<sup>3</sup>/s à l'amont de Ternay, le Q8/10 passera de 420 à 410 m<sup>3</sup>/s).
- ▶ On peut étudier ensuite **comment une hausse des prélèvements pour les mois de juin, juillet, août uniquement peut impacter les Q8/10**. Dit autrement : Que devient le Q8/10 à Valence, si l'on augmente de 50 m<sup>3</sup>/s (par exemple) les prélèvements de juin, juillet et août ?

Le tableau et le graphique ci-après répondent à ces questions. On rappelle que les valeurs de Q8/10 sont calculées à 10 m<sup>3</sup>/s près.

Tableau 8 : Débits satisfaits 8 années sur 10 aux 6 points SDAGE, pour différentes hausses des prélèvements estivaux.

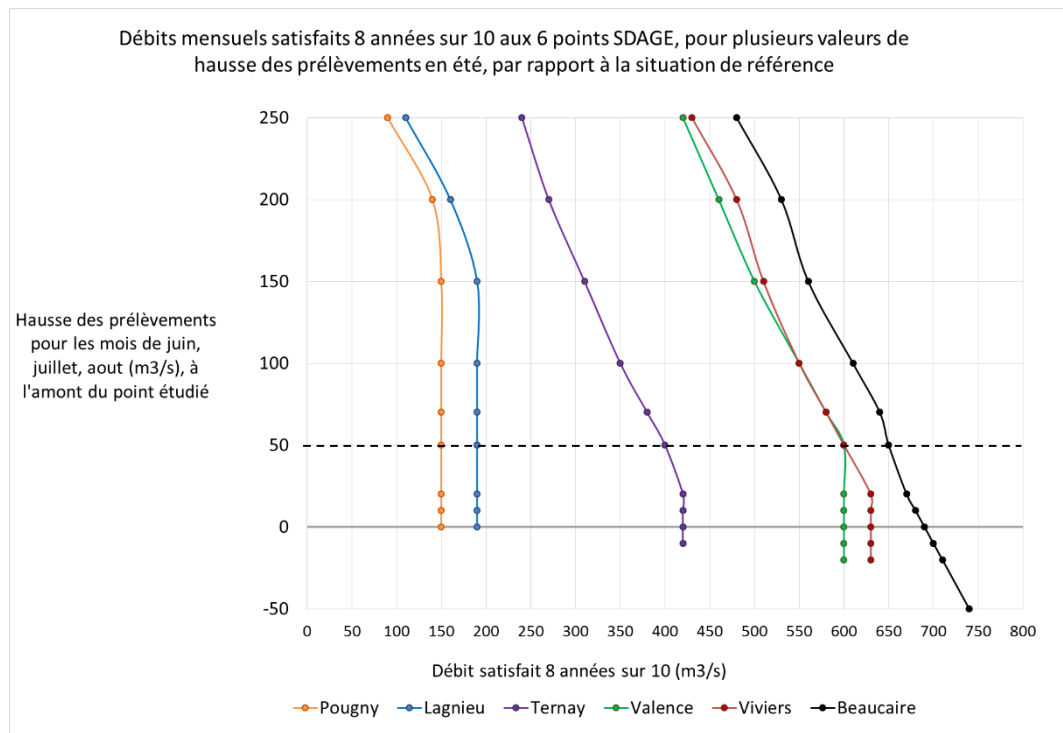
Test : Hausse des prélèvements estivaux à l'amont du point, par rapport à la référence (m <sup>3</sup> /s)	Débits mensuels satisfaits 8 années sur 10 (m <sup>3</sup> /s)					
	Pougny	Lagnieu	Ternay	Valence	Viviers	Beaucaire
-50						740
-20				600	630	710
-10			420	600	630	700
<b>0 (Référence)</b>	<b>150</b>	<b>190</b>	<b>420</b>	<b>600</b>	<b>630</b>	<b>690</b>
10	150	190	420	600	630	680
20	150	190	420	600	630	670
50	150	190	400	600	600	650
70	150	190	380	580	580	640
100	150	190	350	550	550	610
150	150	190	310	500	510	560
200	140	160	270	460	480	530
250	90	110	240	420	430	480

Le tableau peut se lire comme suit :

- ▶ Une hausse de 50 m<sup>3</sup>/s des prélèvements estivaux à l'amont de Lagnieu n'aura pas d'effet sur le Q8/10 à Lagnieu ;
- ▶ Une hausse de 50 m<sup>3</sup>/s des prélèvements estivaux à l'amont de Ternay conduira à un Q8/10 de 400 m<sup>3</sup>/s à Ternay (au lieu de 420 m<sup>3</sup>/s de référence) ;
- ▶ Une hausse de 50 m<sup>3</sup>/s des prélèvements estivaux à l'amont de Beaucaire conduira à un Q8/10 de 650 m<sup>3</sup>/s à Beaucaire (au lieu de 690 m<sup>3</sup>/s de référence).

La figure suivante présente graphiquement les résultats.

Figure 16 : Débits satisfaits 8 années sur 10 aux 6 points SDAGE, pour différentes hausses des prélèvements estivaux.



Cette figure peut constituer un outil d'aide à la décision pour la répartition spatiale d'un volume prélevable sur le bassin du Rhône.

Cette figure associe, pour une valeur de hausse des prélèvements estivaux, le Q8/10 en chaque point nodal induit. Il permet donc de tester simplement (graphiquement) plusieurs scénarios de répartition amont-aval des prélèvements estivaux.

On donne dans le paragraphe 4.5.2 des explications des résultats obtenus.

## 4.5.2 Discussion sur les résultats obtenus

Comme attendu, on montre qu'à Pougny et Lagnieu, une hausse des prélèvements estivaux affecte très peu le Q8/10, jusqu'à un certain seuil très élevé de prélèvement supplémentaire (200 m<sup>3</sup>/s). Cela s'explique notamment par le régime pluvio-nival du Rhône en ces points.

A Ternay, Valence et Viviers, on observe que :

- ▶ Une hausse de 10 ou 20 m<sup>3</sup>/s des prélèvements estivaux n'affecte pas les Q8/10 ;
- ▶ Pour une hausse des prélèvements estivaux de 50 m<sup>3</sup>/s et plus, on observe une relation presque linéaire entre la hausse des prélèvements et la baisse du Q8/10 (A partir de ce seuil, ré-augmenter les prélèvements estivaux de 20 m<sup>3</sup>/s conduit à abaisser le Q8/10 d'environ 20 m<sup>3</sup>/s également).
- ▶ Autrement dit, les Q8/10 à Ternay, Valence et Viviers (en conditions actuelles), sont peu sensibles à une hausse des prélèvements de l'ordre de 10 à 20 m<sup>3</sup>/s mais ils sont sensibles à une hausse des prélèvements estivaux à partir de 50 m<sup>3</sup>/s environ, et alors, la relation est presque linéaire entre la hausse des prélèvements et la baisse de débit cible associé.
- ▶ Par ailleurs, une baisse des prélèvements estivaux de 10 ou 20 m<sup>3</sup>/s ne modifie pas le Q8/10<sup>3</sup>.

Cela s'explique notamment par la combinaison de deux facteurs :

- ▶ Les étiages historiques qui déterminent les Q8/10 en ces points sont principalement des épisodes d'automne. Les débits estivaux abaissés de 10-20 m<sup>3</sup>/s restent supérieurs aux Q8/10 en ces points.
- ▶ Le Rhône en ces points est de régime pluvial (basses eaux en été, en moyenne). Les débits estivaux abaissés de plus de 50 m<sup>3</sup>/s deviennent, pour certaines années, inférieurs au Q8/10.

**A Beaucaire, le Q8/10 est sensible à toute hausse des prélèvements estivaux testée, dès 10 m<sup>3</sup>/s. On observe, pour toute la plage de valeur étudiée, une relation proche d'une relation linéaire de pente 1 :** Une hausse des prélèvements estivaux de X m<sup>3</sup>/s à Beaucaire entraîne une baisse du Q8/10 de X m<sup>3</sup>/s. Les graphiques suivants représentent à nouveaux les valeurs des volumes prélevables calculés en fonction des débits cibles visés, mais ici pour les 12 mois de l'année. On observe, pour les méthodes suivies, une relation linéaire entre les volumes prélevables et les débits cibles atteints, pour les plages de valeurs en dehors du seuil des 700 m<sup>3</sup>/s. Pour augmenter de 50 m<sup>3</sup>/s un débit cible à Beaucaire, il faut abaisser les volumes prélevables estivaux de 50 m<sup>3</sup>/s). Une baisse des prélèvements estivaux modifient selon la même logique les Q8/10 à Beaucaire.

<sup>3</sup> Pour rappel, les prélèvements à l'amont de Ternay représentent en moyenne 15 m<sup>3</sup>/s en juillet en situation de référence. A l'amont de Viviers, l'ensemble des prélèvements sur le bassin du Rhône représentent en moyenne 40 m<sup>3</sup>/s en juillet.

### EXEMPLES D'UTILISATION DE L'OUTIL POUR L'AIDE À LA DÉCISION

L'exemple ci-après permet d'illustrer comment il est possible d'utiliser l'outil afin de tester des répartitions spatiales de prélèvements estivaux entre tronçons du bassin du Rhône.

Exemple : On souhaite satisfaire à Beaucaire un débit cible de 610 m<sup>3</sup>/s à Beaucaire. Il est alors possible d'augmenter sur le bassin amont les prélèvements de référence en été de 100 m<sup>3</sup>/s. Plusieurs répartitions de ces 100 m<sup>3</sup>/s sont envisageables. On en présente quelques exemples à titre illustratif.

► Répartition 1 :

- Augmentation de 50 m<sup>3</sup>/s des prélèvements estivaux entre Ternay et Valence ;
- Augmentation de 50 m<sup>3</sup>/s des prélèvements estivaux entre Viviers et Beaucaire.

La lecture du graphique ci-dessous nous permet de voir quels seront alors, dans ce cas, les débits satisfaits 8 années sur 10 aux 6 points :

- Inchangés à Pougny, Lagnieu, Ternay ;
- 600 m<sup>3</sup>/s à Valence et Viviers ;
- Environ 610 m<sup>3</sup>/s à Beaucaire.

► Répartition 2 :

- Augmentation de 20 m<sup>3</sup>/s des prélèvements estivaux entre Pougny et Lagnieu ;
- Augmentation de 20 m<sup>3</sup>/s des prélèvements estivaux entre Lagnieu et Ternay ;
- Augmentation de 20 m<sup>3</sup>/s des prélèvements estivaux entre Ternay et Valence ;
- Augmentation de 10 m<sup>3</sup>/s des prélèvements estivaux entre Valence et Viviers ;
- Augmentation de 30 m<sup>3</sup>/s des prélèvements estivaux entre Viviers et Beaucaire.

La lecture du graphique ci-dessous nous permet de voir quels seront alors, dans ce cas, les débits satisfaits 8 années sur 10 aux 6 points :

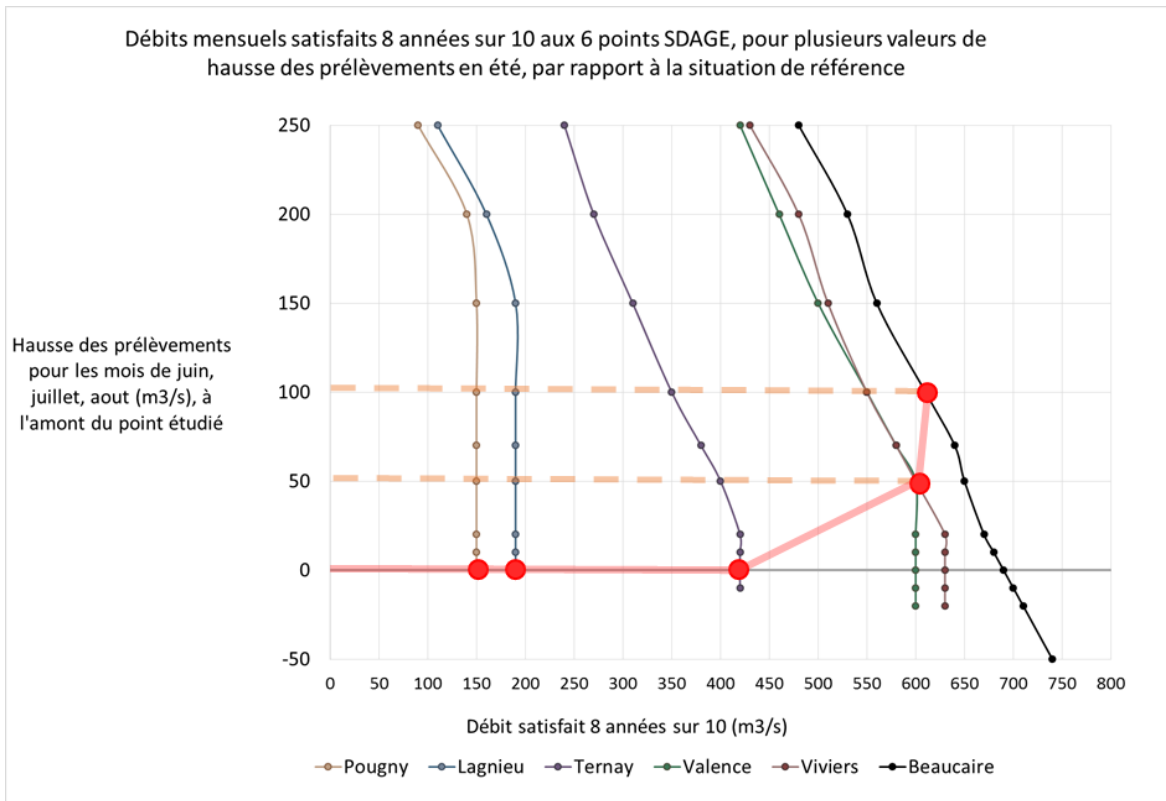
- Inchangés à Pougny et Lagnieu ;
- Environ 410 m<sup>3</sup>/s à Ternay ;
- Environ 590 et 580 à Valence et Viviers ;
- Environ 610 m<sup>3</sup>/s à Beaucaire.

Ces deux répartitions ont uniquement valeur d'exemple pour expliquer l'utilisation possible de l'outil graphique.

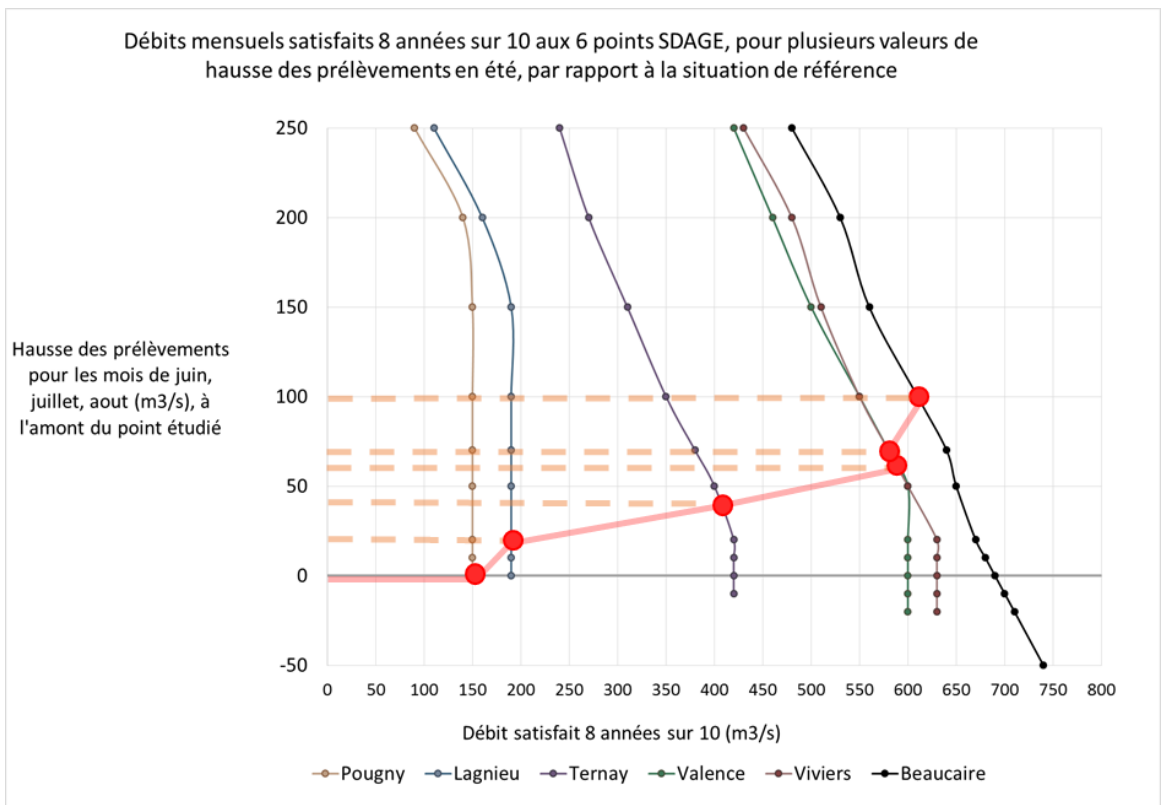
On rappelle que tous les calculs de débits satisfaits 8 années sur 10 sont effectués à 10 m<sup>3</sup>/s près. Il est donc important de rester prudent dans la manipulation de chiffres inférieurs à cet ordre de grandeur.

Au-delà de ce test sur les prélèvements estivaux, on rappelle que rehausser l'ensemble des prélèvements d'une constante sur toute l'année revient à abaisser le Q8/10 de cette même valeur, et ce en chaque point nodal.

Exemple – Répartition 1



Exemple – Répartition 2



Ce type d'exercice cherche à appréhender la sensibilité du système, en explorant des gammes de valeurs de prélèvements qui sont très au-delà des évolutions attendues dans les années à venir.

Il est important, et c'est l'objet de la phase 6 de l'étude, de repositionner ensuite l'analyse dans des gammes de valeurs d'évolution des prélèvements plus réalistes.

Le tableau ci-dessous rappelle les ordres de grandeurs des prélèvements AEP, agricoles et industriels actuels : les scénarios proposés dans le schéma ont uniquement une dimension pédagogique mais n'ont pas de sens prospectif.

Figure 17 : Rappel des ordres de grandeur des prélèvements AEP, agricoles, industriels sur le bassin du Rhône.

Moyenne mensuelle interannuelle des prélèvements AEP, agricoles, industriels sur le bassin de Rhône (référence). (Débit Fictif Continu, m <sup>3</sup> /s) Somme des prélèvements à l'amont de chaque point SDAGE.							
mois	Pougny	Lagnieu	Ternay	Valence	Viviers	Beaucaire	Mer
J	0.6	1.4	7	10	11	26	29
F	0.6	1.4	7	11	11	28	30
M	0.6	1.4	7	11	11	37	37
A	0.6	1.4	7	11	11	51	59
M	0.6	1.4	7	11	12	60	70
J	0.6	1.5	8	16	18	87	106
J	0.6	1.9	11	27	32	122	147
A	0.6	1.8	10	21	25	97	114
S	0.6	1.4	7	12	13	57	62
O	0.6	1.4	7	11	12	36	37
N	0.6	1.4	7	11	11	30	32
D	0.6	1.4	7	11	11	27	30

Prélèvements moyens sur les mois de juin-juillet-août

	Pougny	Lagnieu	Ternay	Valence	Viviers	Beaucaire	Delta
Prélèvements moyens par tronçons (m <sup>3</sup> /s)	4.3	1.2	14	80	7	80	29
Prélèvements moyens cumulés de l'amont vers l'aval	4.3	5.5	20	100	107	187	216



## 5. SYNTHÈSE : LES GRANDES IDEES À RETENIR

### SUR LA MÉTHODOLOGIE DE DÉTERMINATION DES DOE ET VP :

L'absence de condition limite définie pour les milieux aquatiques à l'échelle mensuelle sur le Rhône aménagé (hors Vieux Rhône) ne permet pas de définir des DOE suivant la méthode classique.

On propose par conséquent des analyses qui constituent des outils d'aide à la décision pour la détermination de DOE sur le Rhône et de volumes prélevables.

### SUR LES DÉBITS SATISFAITS 8 ANNÉES SUR 10 SUR LE RHÔNE, EN SITUATION ACTUELLE :

Dans la situation actuelle (de référence), les débits satisfaits 8 années sur 10 aux 6 points SDAGE sont les suivants :

Tableau 9 : Débits mensuels satisfaits 8 années sur 10 aux six points SDAGE du Rhône, en situation de référence.

	Pouigny	Lagnieu	Ternay	Valence	Viviers	Beaucaire
Q8/10 (m <sup>3</sup> /s)	150	190	420	600	630	690

Les étiages historiques les plus sévères du Rhône en France, à l'échelle mensuelle, ont eu lieu majoritairement à l'automne (cela est vrai statistiquement sur 1920-2011, et spécifiquement sur la période d'étude 1980-2011). En conséquence **les Q8/10 sur le Rhône sont définis principalement à partir de quelques épisodes d'étiage d'automne passés** (1985, 1989, 2009, etc.). Au niveau de **Beaucaire**, la situation est à nuancer : les Q8/10 sont définis à partir des épisodes d'étiage passés **d'automne et d'été**.

Cependant, l'automne est une période de faibles prélèvements à l'échelle du bassin du Rhône. Par conséquent, **le Q8/10 est particulièrement peu sensible à une variation des usages**. A **Beaucaire** en revanche, compte tenu de l'occurrence de certain étiages historiques estivaux et de prélèvements plus importants, **la sensibilité est plus élevée**.

L'effet cumulé des prélèvements actuels et des déstockages des ouvrages a la conséquence suivante : **en l'absence d'influence anthropique française, les Q8/10 du Rhône ne seraient pas plus élevés qu'en situation actuelle**.

### SUR LA SENSIBILITÉ DE CES Q8/10 À UNE AUGMENTATION DES PRÉLÈVEMENTS. OU QUELS VOLUMES PRÉLEVABLES PERMETTENT DE SATISFAIRE QUEL DÉBIT CIBLE ?

A Beaucaire, on montre que l'on peut s'appuyer sur **des relations presque linéaires entre l'augmentation des prélèvements estivaux et la baisse du Q8/10**.

Cette relation s'observe aussi à Ternay, Valence et Viviers si l'on augmente les prélèvements de plus de 50 m<sup>3</sup>/s. Pour des augmentations de prélèvement de l'ordre de 10 m<sup>3</sup>/s, le Q8/10 reste inchangé.

De Pouigny à Lagnieu, la modification des usages n'a pas d'impact visible sur l'indicateur hydrologique « Q8/10 ».

Tableau 10 : Effets d'une hausse des prélèvements sur le Q8/10 à Beaucaire - Exemples

Scénario	Comparaison aux prélèvements actuels	Effet absolu sur le Q8/10 à Beaucaire (m3/s)	Effet relatif sur le Q8/10 à Beaucaire (%)
Hausse des prélèvements en été de 50m3/s	Equivaut à +40% des prélèvements estivaux	-50 m3/s	-7%
	Equivaut à +25% des influences totales estivales (stockages inclus)		
Hausse des prélèvements annuels de 25m3/s	Equivaut à +30% des prélèvements <u>moyens</u> annuels	-25 m3/s	-4%

On a construit des outils qui permettent :

- ▶ d'avoir des idées sur les combinaisons de volumes prélevables qui permettent de satisfaire différentes valeurs de débits cibles à Beaucaire ;
- ▶ de déterminer une répartition amont-aval de ces volumes prélevables sur le bassin du Rhône.

Par ailleurs, le modèle mis en place permet de calculer, pour un scénario précis de prélèvements sur chaque sous-bassin, quels sont les Q8/10 résultant en chaque point SDAGE du Rhône.

# ANNEXES



# Annexe 1 : Précisions sur le modèle

On présente ci-après les détails relatifs à la construction et l'utilisation du modèle mis en place pour l'étude de la sensibilité des étiages du Rhône, utilisé dans le présent rapport.

## 1. PRÉCISIONS SUR LES DONNÉES D'ENTRÉE

### A. INFLUENCES FRANÇAISES (SITUATION DE RÉFÉRENCE)

Les influences françaises considérées dans le modèle, dans la situation de référence, sont les **prélèvements nets sur l'ensemble de la partie française du bassin du Rhône, à l'échelle de chacune des 7 surfaces contributives**, définies comme suit.

- ▶ **Pour l'eau potable, l'industrie, les centrales nucléaires et la navigation**, nous considérons les prélèvements nets calculés pour 2010, issus de la phase 1 de l'étude.
- ▶ **Pour l'agriculture**, nous utilisons les chroniques sur 30 ans des prélèvements nets calculées en phase 1, résultantes de :
  - La climatologie de 1980-2011 sur le bassin du Rhône ;
  - Les surfaces agricoles irriguées actuelles.

Ainsi, cette chronique de prélèvements rend compte des usages et pratiques agricoles actuels, avec une prise en compte de la variabilité climatique dont dépendent ces prélèvements.

**Pour les prélèvements agricoles souterrains**, nous appliquons à ces chroniques le travail réalisé en phase 2 sur l'impact des prélèvements souterrains sur les débits du Rhône. Cela consiste à modifier la répartition mensuelle des prélèvements souterrains, afin de rendre compte de l'inertie des systèmes « nappes / cours d'eau ».

- ▶ **Pour les stockages et déstockages des ouvrages hydroélectriques**, nous utilisons la chronique passée des influences des barrages sur la période 1980-2011. En effet, la gestion des barrages et les stockages et déstockages des ouvrages étant fortement dépendants de l'hydrologie et de la climatologie des cours d'eau concernés, et par conséquent variables d'une année sur l'autre, il n'est pas judicieux de proposer des influences sur une année type.
- ▶ **Les transferts d'eau des ouvrages hydroélectriques** sont également dépendants de l'hydrologie des cours d'eau concernés.

On choisit donc de conserver les chroniques historiques de transfert sur les bassins de l'Arve, l'Isère et l'Ardèche.

Pour le bassin de la Durance, **les volumes d'eau transférés de la Durance vers l'étang de Berre, via le barrage de St Chamas**, ont fortement diminué en 1993 puis en 2007, en application du **plan Barnier**. Une simulation des transferts a donc été ici utilisée, décrite ci-dessous.

### Prise en compte de la régulation actuelle de St Chamas

Afin de répondre aux demandes de l'étude, EDF a **simulé** (par un modèle EDF) **une chronique, sur 1980-2006, de débits transférés vers l'étang de Berre, respectant les contraintes actuelles** (1200 Mm<sup>3</sup> d'eau et 60 kilotonnes de sédiments transférés au maximum chaque année), avec une prise en compte des problématiques de salinité de l'étang et des historiques de production. On dispose ainsi d'une chronique simulée sur les 30 ans utilisés par le modèle Rhône de débits transférés vers St Chamas, respectant les contraintes actuelles, et l'hydrologie historique.

Sur la période 2007-2011, les volumes réels transférés sont pris en compte, puisqu'ils respectent la législation actuelle.

Ainsi, en entrée du modèle du Rhône de la présente étude, nous intégrons :

- ▶ Sur la période 1980-2006, une chronique simulée des transferts d'eau de la Durance vers l'étang de Berre ;
- ▶ Sur la période 2007-2011, la chronique réelle des transferts d'eau vers l'étang de Berre.

Les graphiques ci-après permettent de visualiser, au pas de temps mensuel, les débits historiques et les débits utilisés pour le modèle, de transfert d'eau vers St Chamas.

Figure 18 : Moyenne mensuelle interannuelle (1980-2011) des débits transférés vers St Chamas. Historique et Simulation en conditions actuelles.

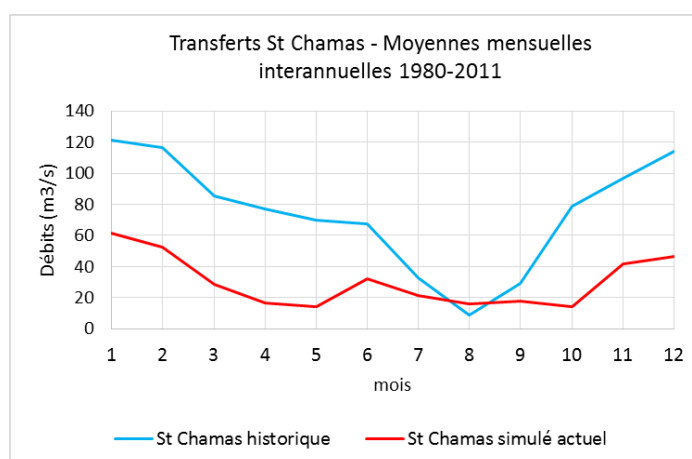
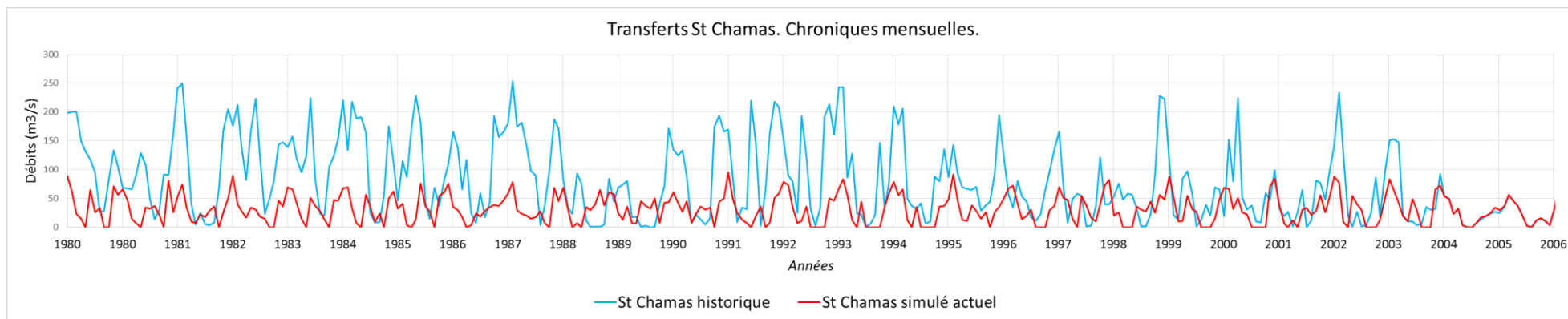


Figure 19 : Chroniques mensuelles des débits transférés vers l'étang de Berre. Historique et Simulation en conditions actuelles.



En conséquence, la situation de référence considère des prélèvements « actuels », mais qui varient sur la chronique de 30 ans du fait de l'hydrologie (pour les ouvrages de stockage) et du fait de la climatologie (pour les prélèvements agricoles et hydroélectricité).

Par conséquent, un scénario du type « multiplication des prélèvements agricoles de référence par un facteur 2 » par exemple, n'aura pas les mêmes conséquences en termes de prélèvements d'une année sur l'autre : cela peut induire :

- ▶ pour 2003 (année chaude, forts prélèvements agricoles), une hausse des prélèvements à Beaucaire en juillet de 116 m<sup>3</sup>/s ;
- ▶ pour 1992, une hausse des prélèvements à Beaucaire en juillet de 67 m<sup>3</sup>/s.

### PRISE EN COMPTE DES INFLUENCES DANS LE MODÈLE

Comme déjà évoqué plus haut, les influences seront prises en compte en tant que **prélèvements nets à l'échelle des 7 surfaces contributives**. C'est sur ces bilans à l'échelle des sept surfaces contributives que le modélisateur pourra jouer.

Cela signifie que **le modèle n'est sensible qu'à des changements dans les prélèvements qui induisent une modification du volume total net prélevé à l'échelle d'une surface contributive**. Par exemple, le modèle n'est pas sensible aux changements suivants :

- ▶ création d'un transfert d'eau à l'intérieur d'une « surface contributive » (sous-bassin) ;
- ▶ projet de substitution à l'intérieur d'une même « surface contributive » (sous-bassin) : par exemple, le report d'un prélèvement de la Cèze vers le Rhône entre Viviers et Beaucaire. En effet, l'impact sur le débit du Rhône à Beaucaire reste le même si le prélèvement est effectué sur la Cèze ou sur le Rhône, à l'échelle mensuelle. Le bilan des prélèvements nets vu du Rhône est inchangé.

Le modèle s'intéresse uniquement aux débits du Rhône au droit des 7 points nodaux. Il ne simule donc pas la sensibilité aux variables d'entrée :

- ▶ des débits des affluents ;
- ▶ des débits du Rhône en d'autres points.

## **B. INFLUENCES SUISSES**

**Les éléments de connaissance disponibles n'ont pas permis d'intégrer à l'étude la quantification des usages sur la partie suisse du bassin du Rhône, et en particulier l'influence des ouvrages de stockage à l'amont du Léman et en sortie du Léman.**

- ▶ Pour les ouvrages à l'amont du Léman, nous disposons de l'ordre de grandeur des influences moyennes mensuelles uniquement ;
- ▶ Concernant le barrage du Léman, la régulation actuelle des niveaux du lac est connue mais ne nous permet pas de quantifier quelles sont les influences de cette régulation, par rapport à un état hydrologique « naturel ».

En conséquence, les débits entrant du modèle, pour la situation de référence, sont les débits historiques mesurés à Pougny pour 1980-2011, influencés par les usages suisses.

**Autre conséquence, on ne dispose pas d'une entrée « usages suisses / influences des ouvrages suisses » dans le modèle, au même titre que les usages français.**

On sait pourtant que les stockages et déstockages du Léman et des ouvrages amont influencent notablement les débits du Rhône en France, avec des volumes moyens stockés et déstockés dans l'année de l'ordre de 1,4 milliards de m<sup>3</sup> par an.



Dans l'état des connaissances disponibles, et afin de prendre en compte la gestion du Léman et des ouvrages amont dans le modèle et dans des scénarios possibles, **il est proposé de jouer, en différentiel, sur les débits à Pougny (sortant Léman), sur la base des scénarios issus d'autres études.** Ainsi, dans la mesure des données disponibles auprès d'EDF et des gestionnaires et universitaires suisses, il sera possible d'utiliser des scénarios de débits à Pougny, liés à des modifications éventuelles de la gestion des ouvrages suisses.

## 2. SUR QUOI PEUT-ON JOUER DANS LE MODÈLE ? L'INTERFACE UTILISATEUR

Dans ce chapitre, on présente les données d'entrée sur lesquelles l'utilisateur du modèle peut jouer afin de construire des scénarios sur les usages et/ou sur la ressource.

### A. MODIFICATION DES PRÉLÈVEMENTS NETS SUR CHACUNE DES 7 SURFACES CONTRIBUTIVES

L'utilisateur a la possibilité de jouer sur **les prélèvements nets français** sur chacune des 7 surfaces contributives, **en modifiant en relatif ou en absolu les prélèvements.**

- ▶ D'une part, il peut augmenter ou diminuer les prélèvements nets de référence pour chacun des usages (hors stockage/déstockage hydroélectrique) sur le Rhône ou ses affluents, en **affectant un facteur multiplicatif aux prélèvements de référence.**
- ▶ D'autre part, il peut modifier le bilan des prélèvements nets de chaque surface contributive au pas de temps mensuel, en ajoutant ou en soustrayant des valeurs de prélèvements nets (en m<sup>3</sup>/s). Ici il s'agit **d'une modification en absolu des prélèvements nets, dont la valeur est fixée par l'utilisateur.**

Dans l'exemple illustré ci-après, l'utilisateur a choisi de simuler :

- ▶ Une multiplication par 2 de tous les prélèvements agricoles à partir du fleuve Rhône ;
- ▶ Un nouveau transfert d'eau ou prélèvement net valant 20 m<sup>3</sup>/s de mai à septembre, impliquant une perte net en eau pour le Rhône entre Viviers et Beaucaire.

Figure 20 : Extrait de l'interface utilisateur du modèle - modifications des prélèvements nets - Exemple.

LEVIER 1 : Modification des usages en relatif : Choix de facteurs multiplicatifs (%)							
Usages	Amont Pougny	Pougny Lagnieu	Lagnieu Ternay	Ternay Valence	Valence Viviers	Viviers Beaucaire	Aval Beaucaire
	X0	X1	X2	X3	X4	X5	X6
AEP_rhone	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
AEP_affluents	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Agricole_rhone_superficiel	200%	200%	200%	200%	200%	200%	200%
Agricole_affluents_superficiel	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Agricole_rhone_souterrain	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Agricole_affluents_souterrain	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Industrie_rhone	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Industrie_affluents	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
CNPE_rhone	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Navigation_rhone	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Navigation_affluents	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Transfert_hydroelec_affluents	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
LEVIER 2 : Ajout de nouveaux prélèvements nets mensuels (m3/s)							
mois	Amont Pougny	Pougny Lagnieu	Lagnieu Ternay	Ternay Valence	Valence Viviers	Viviers Beaucaire	Aval Beaucaire
	X0	X1	X2	X3	X4	X5	X6
janv	0	0	0	0	0	0	0
févr	0	0	0	0	0	0	0
mars	0	0	0	0	0	0	0
avr	0	0	0	0	0	0	0
mai	0	0	0	0	0	20	0
juin	0	0	0	0	0	20	0
juil	0	0	0	0	0	20	0
août	0	0	0	0	0	20	0
sept	0	0	0	0	0	20	0
oct	0	0	0	0	0	0	0
nov	0	0	0	0	0	0	0
déc	0	0	0	0	0	0	0

## B. MODIFICATION DE LA RESSOURCE

L'utilisateur a également la possibilité de modifier les débits désinfluencés apportés par chacune des surfaces contributives<sup>4</sup>, en appliquant aux débits mensuels un facteur multiplicatif mensuel (désigné sous le terme de « anomalie mensuelle »). Il s'agit d'une modification en relatif des débits mensuels.

Dans l'exemple simpliste ci-dessous, l'utilisateur a choisi de simuler une baisse de 40% des apports hydrologiques entre Ternay et Valence (principalement les débits de l'Isère) pour tous les mois de juin et juillet et une baisse de 50% pour les mois d'août.

<sup>4</sup> Les débits à Pougny sont désinfluencés des usages français, mais sont influencés par les usages suisses, et notamment les ouvrages de stockage et la gestion du Léman en Suisse.

Figure 21 : Extrait de l'interface utilisateur du modèle - modifications de la ressource - Exemple.

LEVIER 4 : Modification de la ressource							
LEVIER 4 : Modification de la ressource : Facteurs multiplicatifs pour chaque mois (%)	Amont Pougny	Pougny Lagnieu	Lagnieu Ternay	Ternay Valence	Valence Viviers	Viviers Beaucaire	
	X0	X1	X2	X3	X4	X5	
mois							
janv	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
févr	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
mars	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
avr	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
mai	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
juin	100%	100%	100%	60%	100%	100%	100%
juil	100%	100%	100%	60%	100%	100%	100%
août	100%	100%	100%	50%	100%	100%	100%
sept	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
oct	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
nov	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
déc	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

La modification des stockages et déstockage des ouvrages hydroélectriques sur le bassin du Rhône pourra également être intégrée au modèle. Cela est en cours de discussion avec les gestionnaires.

### C. AUTRES CHOIX DE L'UTILISATEUR POUR L'ANALYSE DES RÉSULTATS

L'utilisateur a également d'autres paramètres à définir, qui interviennent uniquement dans la visualisation des résultats.

- ▶ Il peut définir des débits cibles à tester au droit des six points SDAGE. Le modèle fournit une analyse des fréquences de satisfaction de ces débits cibles, en situation de référence et sous scénario (voir plus bas).
- ▶ Il peut choisir des années pour lesquelles il pourra visualiser, pour chaque point de calcul, le détail des débits, des usages et des empreintes, en situation de référence et sous scénario.

Figure 22 : Extrait de l'interface utilisateur du modèle - Choix pour la visualisation des résultats.

Station	Débit à tester (m3/s)
Pougny	167
Lagnieu	216
Ternay	392
Valence	577
Viviers	605
Beaucaire	680
Liste des années pour laquelle on souhaite visualiser les résultats détaillés (3 années max)	
	1989
	2009
	2011

## D. MESSAGE D'ALERTE POUR LES SCÉNARIOS SUR LES AFFLUENTS

Un message d'alerte est mis en place, afin d'éviter la création de scénario conduisant à des bilans négatifs sur les affluents (prélèvements > ressource disponible).

**Ce message d'alerte ne permet pas de prévoir tous les cas de scénarios incorrects, il est important de rester vigilant dans la construction des scénarios.**

Le modèle calcule, pour un scénario donné :

1. La ressource disponible sur un tronçon intermédiaire :

par exemple :  $Ressource\_tronçon [Viviers-Beaucaire] = Q_{désinf} (Beaucaire) - Q_{désinf} (Viviers)$ .

Cette ressource représente, chaque mois, l'eau disponible sur l'ensemble des affluents du tronçon, et les apports sur le Rhône lui-même (précipitations).

2. La somme des prélèvements, transferts, stockages et déstockages sur le système interagissant.
3. Il vérifie alors, pour chaque mois de la chronique, que :

$Ressource\_tronçons > Prélèvements\_interagissant$ .

Les mois pour lesquels cette condition n'est pas vérifiée sont comptabilisés, et le total apparaît en message d'alerte.

Le modèle ne permet pas de distinguer entre eux explicitement les affluents d'un même tronçon (par exemple, la Durance et l'Ardèche font partie d'un même tronçon, à l'échelle duquel sont comptabilisés les prélèvements et la ressource).

### CAS DU TRANSFERTS D'EAU DE ST CHAMAS

En complément à ce message d'alerte, on introduit dans le calcul du transfert de St Chammas une fonction permettant d'adapter les volumes transférés à l'eau effectivement disponible, sous influence des scénarios de prélèvements et de stockage.

Cela permet une plus grande flexibilité dans les scénarios.

Par exemple, si un scénario induit, pour un mois donné, sur le bassin de la Durance, un volume déstocké plus faible que dans la situation de référence, alors le volume transféré vers l'étang de Berre sera adapté à la quantité d'eau disponible ce mois-là, et diminué si nécessaire.

Un message d'alerte complémentaire indique le nombre de mois – et les volumes associés - pour lesquels les transferts de St Chammas ont dû être abaissés afin de s'adapter aux volumes disponibles.

### 3. QUELS TYPES DE RÉSULTATS SONT DONNÉS PAR LE MODÈLE ?

Dans les paragraphes qui suivent, on présente les types de résultats et les graphiques produits par le modèle.

#### A. LES DÉBITS DU RHÔNE, LES USAGES, LES EMPREINTES SUR 30 ANS

Comme évoqué plus haut, le modèle calcule **des chroniques sur 30 ans de débits influencés en situation de référence et sous scénario**. Le modèle permet la visualisation de ces chroniques sous différentes formes.

On présente ces résultats pour un **exemple** : les débits à Valence, avec un scénario de doublement des prélèvements nets pour l'AEP, l'agriculture et l'industrie, sur le bassin du Rhône en France à l'amont de Valence.

LEVIER 1 : Modification des usages en relatif : Choix de facteurs multiplicatifs (%)	Amont Pougny	Pougny Lagnieu	Lagnieu Ternay	Ternay Valence
Usages	X0	X1	X2	X3
AEP_rhone	200%	200%	200%	200%
AEP_affluents	200%	200%	200%	200%
Agricole_rhone_superficiel	200%	200%	200%	200%
Agricole_affluents_superficiel	200%	200%	200%	200%
Agricole_rhone_souterrain	200%	200%	200%	200%
Agricole_affluents_souterrain	200%	200%	200%	200%
Industrie_rhone	200%	200%	200%	200%
Industrie_affluents	200%	200%	200%	200%
CNPE_rhone	100%	100%	100%	100%
Navigation_rhone	100%	100%	100%	100%
Navigation_affluents	100%	100%	100%	100%
Transfert_hydroelec_affluents	100%	100%	100%	100%

Pour la présentation des résultats, le code couleur est *vert* pour la situation de référence ; *violet* pour le scénario.

Les résultats fournis par le modèle sont les suivants :

### 1. La matrice des débits mensuels à Valence en situation de référence et sous scénario (1980-2011).

Débits influencés REF												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
1980	1 836	2 783	1 679	1 439	1 373	1 817	2 305	1 297	1 064	1 577	1 137	1 561
1981	2 138	1 445	2 520	1 833	1 378	1 515	1 445	989	1 178	2 151	1 351	3 179
1982	3 113	1 355	1 310	1 197	1 123	1 569	1 232	1 174	1 009	1 955	1 955	3 454
1983	1 860	1 861	1 925	3 438	4 229	2 466	1 275	791	1 059	866	790	1 288
1984	1 804	2 377	1 125	1 421	1 389	1 619	998	642	1 101	1 496	1 063	1 207
1985	1 426	1 818	1 563	1 761	2 272	1 781	1 220	853	687	510	518	548
1986	1 662	1 159	1 441	2 826	2 811	1 668	1 000	855	718	726	855	1 169
1987	1 627	1 491	1 734	1 943	1 619	2 833	1 935	1 161	1 055	1 540	1 355	1 547
1988	1 843	2 520	2 511	2 384	2 186	1 729	1 398	850	863	1 830	935	1 798
1989	759	814	1 493	2 160	1 537	755	763	594	477	404	834	851
1990	603	2 235	1 412	1 049	968	1 333	1 137	591	562	750	1 855	1 394
1991	2 072	903	1 675	883	687	1 086	751	651	745	1 272	1 699	1 443
1992	971	1 314	1 212	1 737	1 114	1 419	1 246	752	791	1 471	3 172	2 324
1993	1 071	856	676	1 186	1 009	1 380	1 354	900	1 852	3 627	1 104	2 117
1994	3 575	1 868	1 576	1 979	1 854	1 400	1 106	825	1 543	1 128	1 524	1 388
1995	2 695	3 384	2 599	1 986	2 251	2 055	1 483	891	1 318	900	873	1 250
1996	1 753	1 309	984	769	1 198	1 114	1 261	948	608	757	2 149	2 703
1997	1 746	1 445	1 113	737	1 337	1 233	1 602	937	853	774	1 114	1 998
1998	1 946	1 006	1 025	1 901	1 143	1 076	754	657	1 029	1 345	2 019	1 208
1999	1 490	2 515	2 653	2 085	2 436	1 649	1 108	979	890	1 767	1 482	2 065
2000	1 489	2 266	1 675	1 374	1 383	1 095	990	764	696	1 406	2 378	1 656
2001	1 988	1 409	3 943	2 832	2 215	1 795	1 438	981	1 124	1 216	850	1 016
2002	1 152	1 465	1 817	686	1 463	1 156	913	935	823	1 226	3 886	2 249
2003	2 172	1 662	1 065	831	994	933	703	730	643	985	992	1 257
2004	2 280	1 421	1 320	947	969	983	676	1 001	682	1 193	1 252	1 181
2005	1 323	1 491	1 171	2 318	1 321	876	712	689	686	656	605	765
2006	965	1 228	2 377	2 676	1 707	1 080	805	992	898	1 104	853	1 236
2007	1 506	1 678	2 105	918	1 221	1 855	1 763	1 401	807	624	916	1 586
2008	1 680	1 015	1 530	2 135	1 298	1 860	1 185	937	1 653	988	1 405	1 407
2009	1 388	1 788	1 469	1 269	975	987	892	678	556	469	868	1 415
2010	1 603	1 631	1 433	1 328	1 127	1 520	883	920	737	610	1 297	2 228
2011	1 643	775	825	686	437	736	879	684	649	589	643	1 742
moyenne	1 724	1 634	1 655	1 647	1 532	1 449	1 163	877	917	1 185	1 366	1 632

Débits influencés TEST												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
1980	1 826	2 774	1 669	1 429	1 363	1 807	2 290	1 279	1 053	1 567	1 127	1 552
1981	2 129	1 436	2 510	1 824	1 369	1 504	1 432	971	1 168	2 141	1 342	3 170
1982	3 104	1 345	1 300	1 187	1 112	1 558	1 210	1 160	998	1 945	1 945	3 444
1983	1 849	1 850	1 914	3 427	4 218	2 454	1 234	768	1 046	853	778	1 276
1984	1 793	2 366	1 114	1 409	1 378	1 606	958	622	1 089	1 484	1 051	1 195
1985	1 416	1 808	1 553	1 750	2 262	1 770	1 197	833	673	499	507	538
1986	1 651	1 148	1 430	2 815	2 800	1 649	967	834	705	714	843	1 158
1987	1 618	1 481	1 724	1 933	1 609	2 823	1 923	1 143	1 045	1 531	1 346	1 538
1988	1 834	2 510	2 501	2 374	2 176	1 718	1 378	830	851	1 820	925	1 788
1989	747	802	1 481	2 148	1 526	731	731	565	462	392	822	839
1990	592	2 224	1 400	1 037	956	1 321	1 103	563	548	738	1 843	1 383
1991	2 061	891	1 663	871	672	1 070	718	619	730	1 260	1 687	1 431
1992	961	1 304	1 202	1 727	1 103	1 408	1 227	730	779	1 461	3 162	2 314
1993	1 062	846	666	1 176	999	1 369	1 338	878	1 841	3 617	1 094	2 107
1994	3 564	1 857	1 565	1 968	1 843	1 386	1 074	801	1 531	1 117	1 513	1 377
1995	2 684	3 374	2 588	1 975	2 240	2 040	1 452	870	1 306	888	861	1 240
1996	1 743	1 299	974	758	1 187	1 101	1 238	933	596	747	2 139	2 693
1997	1 736	1 436	1 103	725	1 326	1 221	1 586	918	842	764	1 104	1 988
1998	1 935	995	1 014	1 890	1 131	1 062	725	632	1 017	1 334	2 008	1 197
1999	1 480	2 505	2 643	2 075	2 425	1 636	1 080	962	878	1 756	1 472	2 055
2000	1 479	2 256	1 664	1 364	1 373	1 076	970	743	684	1 396	2 368	1 646
2001	1 977	1 399	3 933	2 822	2 204	1 778	1 413	960	1 112	1 205	840	1 006
2002	1 142	1 455	1 807	675	1 453	1 139	892	920	812	1 216	3 876	2 239
2003	2 160	1 649	1 053	818	980	900	662	698	627	971	978	1 244
2004	2 269	1 410	1 309	935	957	956	642	987	668	1 182	1 240	1 170
2005	1 312	1 479	1 159	2 306	1 308	852	677	665	673	644	593	753
2006	954	1 216	2 366	2 665	1 695	1 053	772	972	885	1 092	841	1 225
2007	1 496	1 668	2 095	907	1 211	1 844	1 741	1 386	795	613	906	1 576
2008	1 670	1 005	1 520	2 125	1 288	1 845	1 164	918	1 642	978	1 395	1 397
2009	1 376	1 776	1 458	1 257	962	967	857	650	542	457	856	1 403
2010	1 592	1 620	1 422	1 317	1 116	1 504	847	898	724	598	1 286	2 217
2011	1 633	764	815	675	422	718	859	665	637	578	632	1 732
moyenne	1 714	1 623	1 644	1 636	1 521	1 433	1 136	855	905	1 174	1 356	1 622

## 2. La matrice des empreintes à Valence en situation de référence et sous scénario (1980-2011).

On rappelle que les « empreintes » désignent, dans le cadre de la présente étude, le rapport des prélèvements nets sur les débits désinfluencés. C'est la part de la ressource qui est prélevée ou stockée pour un mois donné.

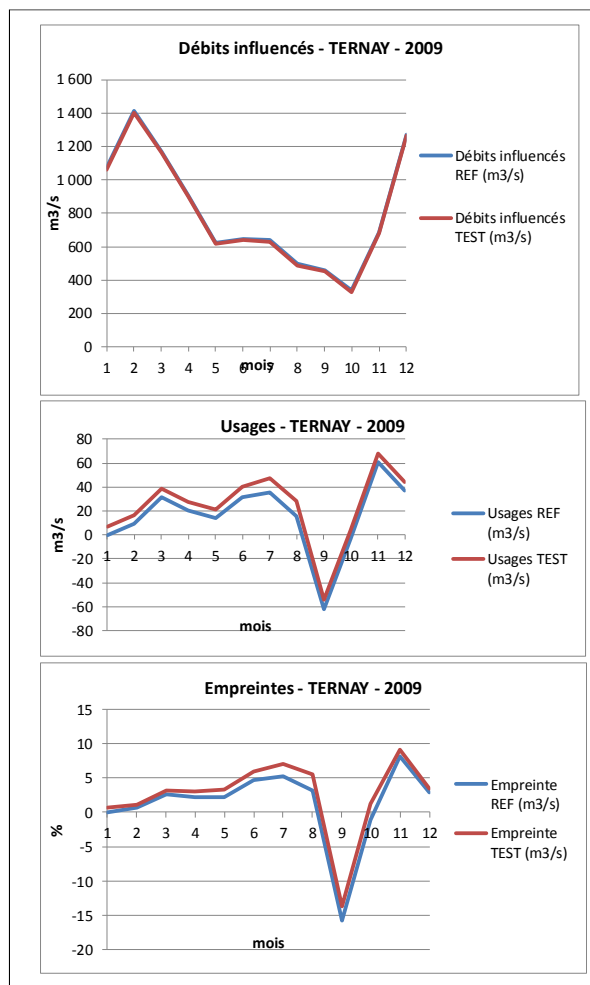
Chronique des empreintes (%)												
Empreintes REF												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
1980	-4	-4	-3	-2	5	9	6	8	-2	0	-7	2
1981	-4	-11	4	0	6	8	6	4	2	-1	-8	2
1982	-3	-13	-4	2	12	11	9	5	-2	1	-1	0
1983	-4	-12	0	2	2	5	10	7	-1	-14	-5	3
1984	1	-7	-4	3	5	10	12	13	3	-4	-1	1
1985	-7	-2	-8	5	5	8	9	3	-4	-22	-20	6
1986	4	-18	4	3	6	7	8	8	-8	-2	0	1
1987	-3	1	-1	4	2	3	3	2	-3	2	0	1
1988	-1	-5	-1	-1	6	6	9	5	-11	2	-29	-3
1989	-5	-1	4	3	8	13	9	10	-11	-18	-16	2
1990	-4	7	-7	-2	14	12	9	10	2	1	0	-18
1991	0	-16	6	-8	9	18	15	9	3	-1	3	-4
1992	-18	0	1	2	9	9	6	3	-3	4	1	-4
1993	-4	-15	-17	6	10	9	5	5	3	0	-13	3
1994	-2	-6	-2	-1	7	9	8	5	4	-4	1	1
1995	-2	-2	-4	1	4	4	8	6	-1	-8	-4	-1
1996	-2	-10	0	1	12	10	7	6	-24	-4	5	0
1997	-7	-3	-2	3	11	11	4	3	-6	-15	0	1
1998	1	-13	-3	1	9	11	12	11	6	-1	-4	-7
1999	1	-3	-1	2	7	6	7	4	-3	1	-6	2
2000	-3	1	-3	5	10	10	8	3	-6	2	2	-3
2001	-1	-7	2	-1	6	5	4	2	-3	-3	-7	-6
2002	-5	4	-2	-1	8	12	9	6	-5	-3	3	-1
2003	-6	-12	0	2	12	14	11	5	-13	2	7	3
2004	1	-6	-7	2	10	13	13	7	-10	4	-1	-1
2005	-2	-9	0	2	7	13	11	6	-12	-6	-9	0
2006	-1	-4	2	2	8	12	9	7	0	0	-2	-3
2007	-1	-1	-3	4	10	5	3	1	-3	-10	3	2
2008	-3	-5	0	1	11	4	3	4	-1	0	-2	-2
2009	-4	-4	-1	2	10	13	12	8	-13	-5	3	0
2010	-10	-5	-1	3	8	8	5	4	-4	-11	1	-2
2011	-4	-14	1	5	19	17	10	3	-1	-3	-9	2

Empreintes TEST												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
1980	-4	-4	-2	-2	5	9	6	9	-1	0	-6	3
1981	-4	-10	4	0	6	9	7	6	3	0	-8	2
1982	-3	-12	-4	3	13	11	10	6	-1	2	0	0
1983	-3	-12	1	2	3	5	13	10	0	-12	-3	4
1984	2	-7	-3	4	6	11	16	16	4	-3	0	2
1985	-6	-1	-7	6	5	8	11	6	-2	-19	-17	7
1986	4	-17	4	4	6	8	11	10	-6	-1	1	2
1987	-2	2	0	4	2	3	3	4	-2	3	1	1
1988	-1	-5	-1	0	6	7	10	7	-10	2	-28	-2
1989	-3	1	5	3	9	16	12	15	-8	-14	-14	3
1990	-2	7	-7	-1	15	13	11	15	5	2	1	-17
1991	1	-15	6	-7	11	19	19	14	5	0	4	-3
1992	-16	1	2	2	9	10	8	6	-2	5	2	-3
1993	-4	-14	-15	7	11	10	7	7	3	0	-12	4
1994	-1	-5	-1	0	7	10	11	8	5	-3	2	2
1995	-2	-2	-3	2	5	5	10	8	0	-7	-3	0
1996	-1	-9	1	3	13	11	9	8	-22	-3	6	0
1997	-6	-2	-1	4	11	12	5	5	-4	-13	1	1
1998	1	-12	-2	2	10	12	15	14	7	0	-4	-6
1999	1	-3	-1	2	8	7	10	6	-1	2	-5	2
2000	-3	2	-2	6	11	12	10	5	-4	3	3	-3
2001	-1	-7	2	0	6	6	6	4	-2	-2	-6	-5
2002	-4	5	-1	0	8	13	11	7	-4	-3	3	0
2003	-6	-11	1	3	13	17	16	9	-11	3	8	4
2004	1	-5	-6	3	11	15	17	8	-8	5	0	-1
2005	-1	-8	1	3	8	15	15	9	-10	-4	-7	1
2006	0	-3	2	2	8	14	13	9	2	1	-1	-2
2007	-1	0	-2	5	10	5	4	3	-2	-9	4	3
2008	-2	-4	1	2	12	5	4	6	0	2	-1	-1
2009	-3	-4	0	3	11	15	15	12	-10	-3	5	1
2010	-9	-5	0	4	9	9	9	6	-2	-9	2	-2
2011	-3	-13	2	6	21	19	12	6	1	-1	-7	3

### 3. Les graphiques des débits, des usages et des empreintes, au droit des 7 points de calcul, en référence et sous scénario, pour les années choisies par l'utilisateur.

Exemple pour l'année 2009 à Valence.





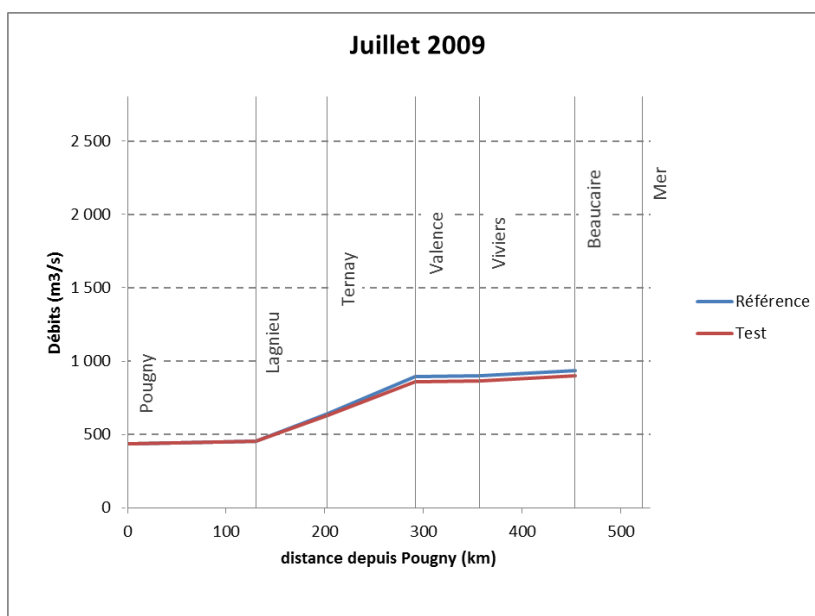
#### 4. Visualisation des débits sous la forme de transects, du Léman à la mer :

La représentation des débits mensuels en situation de référence et en situation test, et des empreintes associées, est disponible, en sortie du modèle :

- ▶ Sous la forme d'hydrogrammes en chaque point ;
- ▶ Sous la forme de transect par mois : Pour un mois donné, on représente sur un même graphique les débits au droit des 6 points SDAGE, de l'amont vers l'aval.

Les graphiques représentent soit une année fictive particulière, entre 1980 et 2011, soit la moyenne interannuelle sur 1980-2011. La figure ci-après illustre un exemple, pour le mois de juillet et l'année 2009.

Figure 23 : Exemple de transect sur les débits.



Ces quatre formes de résultats (chroniques de débits, empreintes, et graphiques bilans) donnent une première vision du bilan usages/ressource, et de la sensibilité de ce bilan au scénario étudié.

### 5. La matrice permettant d'identifier la non satisfaction des débits cibles, pour toute la chronique

En complément, le modèle permet de visualiser rapidement, pour toute la chronique de débit, les mois pour lesquels un débit cible choisi par l'utilisateur n'a pas été satisfait.

Exemple pour le débit cible 600 m<sup>3</sup>/s à Valence.

Passages sous le débit cible : 600 m <sup>3</sup> /s													
Débits influencés REF													
	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre	Année satisfaite ?
1980	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1981	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1982	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1983	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1984	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1985	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1986	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1987	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1988	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1989	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1990	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1991	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1992	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1993	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1994	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1995	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1996	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1997	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1998	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1999	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fréquence de satisfaction du débit cible mensuel	100%	100%	100%	100%	97%	100%	100%	94%	91%	88%	97%	97%	
Débits influencés TEST													
	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre	Année satisfaite ?
1980	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1981	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1982	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1983	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1984	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1985	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1986	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1987	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1988	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1989	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1990	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1991	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1992	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1993	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1994	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1995	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1996	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1997	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1998	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1999	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fréquence de satisfaction du débit cible mensuel	97%	100%	100%	100%	97%	100%	100%	94%	88%	84%	94%	97%	

## B. L'ANALYSE FRÉQUENTIELLE DE SATISFACTION DE DÉBITS CIBLES

### RECHERCHE DES FRÉQUENCES DE SATISFACTION POUR DES DÉBITS CIBLES DONNÉS

A la lecture du tableau précédent, on voit que le débit de 600 m<sup>3</sup>/s n'a pas été satisfait pour 5 années sur 32 en période de référence, et pour 8 années sur 32 dans le scénario de doublement des prélèvements. Le modèle affiche également directement les fréquences de satisfaction pour des débits cibles donnés, sous la forme des tableaux ci-dessous.

#### 1. Fréquence de satisfaction pour les débits cibles choisis par l'utilisateur

Comme évoqué plus haut, l'utilisateur a la possibilité de définir des débits cible à tester pour les six points SDAGE. Pour ces 6 points, le modèle calcule :

- ▶ La fréquence des **mois** pour lesquels le débit cible a été satisfait ;
- ▶ La fréquence des **années** pour lesquelles le débit cible a été satisfait chaque mois.

Le tableau ci-après présente ces résultats pour des valeurs de débits cibles arbitraires.

Etude du passage sous les débits cibles - Bilan en Fréquences												
	POUGNY	POUGNY	LAGNIEU	LAGNIEU	TERNAY	TERNAY	VALENCE	VALENCE	VIVIERS	VIVIERS	BEAUCAIRE	BEAUCAIRE
Qcible =	150	150	200	200	420	420	600	600	630	630	690	690
	Débits influencé REF	Débits influencés TEST	Débits influencé REF	Débits influencés TEST	Débits influencé REF	Débits influencés TEST	Débits influencé REF	Débits influencés TEST	Débits influencé REF	Débits influencés TEST	Débits influencé REF	Débits influencés TEST
Fréquence des mois pour lesquels le débit cible a été satisfait (%)	99%	99%	98%	97%	97%	97%	97%	96%	97%	96%	97%	97%
Fréquence des années pour lesquelles le débit cible a été satisfait tous les mois (%)	91%	91%	78%	75%	81%	78%	84%	75%	81%	75%	81%	78%

#### 2. Fréquence de satisfaction pour une liste de débits

De façon plus générale, le modèle calcule ces mêmes fréquences pour un ensemble de valeurs de débits comprises entre 100 et 1000 m<sup>3</sup>/s, comme présenté dans le tableau ci-après.

On lit par exemple, dans le tableau ci-après, que :

- ▶ A Valence, en situation de référence, le débit mensuel de 600 m<sup>3</sup>/s est satisfait huit années sur 10 (fréquence de 84%).
- ▶ Sous scénario de doublement des prélèvements, ce débit de 600 m<sup>3</sup>/s n'est plus satisfait que 7 années sur 10 (fréquence de 75%).

Fréquence des mois pour lesquels les débits seuils ont été satisfaits (%)																												
Débits seuils	2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15	
	POUGNY				LAGNIEU				TERNAY				VALENCE				VIVIERS				BEAUCAIRE				EXUTOIRE			
	Débits influencé	Débits influencés	REF	TEST	Débits influencé	Débits influencés	REF	TEST	Débits influencé	Débits influencés	REF	TEST	Débits influencé	Débits influencés	REF	TEST	Débits influencé	Débits influencés	REF	TEST	Débits influencé	Débits influencés	REF	TEST	Débits influencé	Débits influencés	REF	TEST
100	100%	100%			100%	100%			100%	100%			100%	100%			100%	100%			100%	100%						
120	100%	100%			100%	100%			100%	100%			100%	100%			100%	100%			100%	100%						
150	99%	99%			100%	100%			100%	100%			100%	100%			100%	100%			100%	100%						
180	95%	95%			99%	99%			100%	100%			100%	100%			100%	100%			100%	100%						
200	90%	90%			98%	97%			100%	100%			100%	100%			100%	100%			100%	100%						
230	84%	84%			96%	96%			100%	100%			100%	100%			100%	100%			100%	100%						
250	79%	79%			95%	95%			100%	100%			100%	100%			100%	100%			100%	100%						
280	67%	67%			89%	88%			99%	99%			100%	100%			100%	100%			100%	100%						
300	60%	60%			86%	86%			99%	99%			100%	100%			100%	100%			100%	100%						
350	42%	42%			76%	75%			99%	98%			100%	100%			100%	100%			100%	100%						
400	28%	28%			65%	64%			98%	97%			100%	100%			100%	100%			100%	100%						
450	17%	17%			49%	49%			96%	94%			99%	99%			100%	99%			100%	99%						
500	10%	10%			37%	36%			90%	89%			99%	99%			99%	99%			99%	99%						
550	6%	6%			27%	27%			86%	85%			98%	98%			99%	99%			99%	99%						
600	3%	3%			20%	20%			80%	79%			97%	96%			98%	97%			98%	97%						
650	2%	2%			14%	14%			74%	72%			95%	93%			96%	94%			98%	98%						
700	0%	0%			9%	9%			70%	69%			91%	90%			93%	92%			97%	96%						
750	0%	0%			6%	6%			64%	64%			88%	86%			91%	89%			95%	94%						
800	0%	0%			4%	4%			61%	60%			84%	84%			88%	87%			92%	92%						
850	0%	0%			3%	3%			56%	55%			82%	79%			85%	84%			90%	90%						
900	0%	0%			2%	2%			52%	52%			76%	75%			81%	80%			88%	88%						
950	0%	0%			2%	2%			48%	47%			73%	73%			77%	76%			83%	83%						
1000	0%	0%			1%	1%			44%	43%			68%	67%			74%	72%			81%	79%						

Fréquence des années pour lesquelles les débits seuils ont été satisfaits chaque mois (%)														
Débits seuils	POUGNY		LAGNIEU		TERNAY		VALENCE		VIVIERS		BEAUCAIRE		EXUTOIRE	
	Débits influencé	Débits influencés	Débits influencé	Débits influencés	Débits influencé	Débits influencés	Débits influencé	Débits influencés	Débits influencé	Débits influencés	Débits influencé	Débits influencés	Débits influencé	Débits influencés
	REF	TEST	REF	TEST	REF	TEST	REF	TEST	REF	TEST	REF	TEST	REF	TEST
100	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
120	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
150	91%	91%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
180	59%	59%	91%	91%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
200	47%	47%	78%	75%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
230	22%	22%	75%	72%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
250	9%	9%	66%	66%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
280	3%	3%	41%	34%	94%	94%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
300	3%	3%	34%	34%	94%	94%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
350	0%	0%	19%	16%	88%	88%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
400	0%	0%	3%	3%	81%	81%	100%	97%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
450	0%	0%	3%	3%	72%	59%	94%	94%	97%	94%	97%	94%	97%	97%
500	0%	0%	0%	0%	53%	50%	91%	88%	91%	91%	97%	97%	97%	97%
550	0%	0%	0%	0%	34%	34%	88%	84%	91%	88%	94%	94%	94%	94%
600	0%	0%	0%	0%	19%	19%	84%	75%	84%	84%	94%	91%	91%	91%
650	0%	0%	0%	0%	16%	16%	66%	56%	72%	59%	88%	81%	81%	81%
700	0%	0%	0%	0%	9%	9%	47%	47%	59%	56%	78%	72%	72%	72%
750	0%	0%	0%	0%	3%	3%	41%	38%	50%	47%	63%	63%	63%	63%
800	0%	0%	0%	0%	0%	0%	34%	31%	47%	38%	59%	59%	59%	59%
850	0%	0%	0%	0%	0%	0%	28%	22%	31%	31%	44%	44%	44%	44%
900	0%	0%	0%	0%	0%	0%	16%	16%	19%	19%	41%	38%	38%	38%
950	0%	0%	0%	0%	0%	0%	13%	13%	19%	19%	25%	22%	22%	22%
1000	0%	0%	0%	0%	0%	0%	9%	6%	13%	9%	19%	16%	16%	16%

### RECHERCHE DES VALEURS DE DÉBITS POUR DES FRÉQUENCES DE SATISFACTIONS DONNÉES

Enfin, le modèle permet également d'effectuer la démarche inverse : **il calcule, pour des fréquences de satisfaction données, les débits cibles correspondants**. Les débits sont donnés à 10 m<sup>3</sup>/s près.

Cela est présenté dans le tableau ci-dessous. **Il indique les débits atteints à des fréquences de 90% (9 années sur 10), 80%, 70%, 60% et 50%, pour les six points SDAGE, en situation de référence et sous scénario**. Il s'agit ici de fréquence de satisfaction pour les années.

Débits satisfaits X années sur 100 (m3/s)												
Fréquence de satisfaction	POUGNY		LAGNIEU		TERNAY		VALENCE		VIVIERS		BEAUCAIRE	
	Débits influencé	Débits influencés	Débits influencé	Débits influencés	Débits influencé	Débits influencés	Débits influencé	Débits influencés	Débits influencé	Débits influencés	Débits influencé	Débits influencés
	REF	TEST	REF	TEST	REF	TEST	REF	TEST	REF	TEST	REF	TEST
90%	150	150	180	180	330	320	500	490	550	540	630	610
80%	150	150	190	190	420	410	600	590	630	620	690	650
70%	160	160	240	240	450	430	640	610	650	630	740	720
60%	170	170	250	250	450	440	650	630	660	640	760	750
50%	180	180	260	260	500	490	680	670	720	710	830	820

Dans cet exemple, on retrouve les résultats évoqués précédemment, avec plus de précision ici :

- ▶ En situation de référence à Valence, les débits mensuels de 600 m<sup>3</sup>/s sont satisfaits 8 années sur 10.
- ▶ Avec le scénario de doublement des prélèvements, les débits satisfaits 8 années sur 10 à Valence sont de 590 m<sup>3</sup>/s.

