

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



**PHASE 2 - ETUDE DES ETIAGES HISTORIQUES, RECONSTITUTION
DES DEBITS DESINFLUENCES ET EVALUATION DE L'EMPREINTE DES
INFLUENCES ANTHROPIQUES SUR LES DEBITS DU RHONE**

Document E - Résumé



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.

Synthèse de l'étude	
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
Phase 1 - Caractérisation du territoire du fleuve Rhône et Bilan des influences anthropiques passées, actuelles et futures possibles	
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
Phase 2 - Etude des étiages historiques ; Reconstitution des débits désinfluencés et Evaluation de l'empreinte des influences anthropiques sur les débits du Rhône	
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
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	
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
Phase 4 - Détermination des conditions limites de débits pour les espèces	
A	Rapport principal de phase 4
B	Résumé de la phase 4
Phase 5 - Synthèse des débits limites pouvant être définis dans le Rhône et Approche des volumes prélevables	
A	Rapport principal de phase 5
B	Résumé de la phase 5
Phase 6 - Etude de la sensibilité des étiages du Rhône à des scénarios prospectifs	
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

Date de création du document	Novembre 2013
Contact	Sébastien Chazot sebastien.chazot@brl.fr

Titre du document	Etude de la gestion quantitative des débits du Rhône en période de « basses eaux ». Phase 2 – Document E : Résumé de la phase 2
Référence du document :	800420_ Ph2_E_Résumé
Indice :	VFb

Date émission	Indice	Observation	Dressé par	Vérifié et Validé par
Novembre 2013	V1.0		M.Chauveau et S.Chazot	S.Chazot
Octobre 2014	VFb		M.Chauveau et S.Chazot	S.Chazot

ETUDE DE LA GESTION QUANTITATIVE DES DEBITS DU RHONE EN PERIODE DE BASSES EAUX

Phase 2 – Document E : Résumé

PREAMBULE.....	1
1. LES DONNEES UTILISEES ET LEUR PRECISION	3
2. LES REGIMES HYDROLOGIQUES DU RHONE	5
3. CARACTERISATION DES ETIAGES HISTORIQUES DU RHONE	9
3.1 les années de plus basses eaux depuis 1920	9
3.2 Quatre exemples d'épisodes d'étiage sévères du Rhône	11
3.3 Il n'y a pas d'étiage type du Rhône	12
3.4 depuis 1920, des étiages sévères du Rhône ont été observés en toutes saisons, mais le plus souvent à l'automne	13
4. DETERMINATION DES DEBITS DESINFLUENCES DU RHONE ET DE SES PRINCIPAUX AFFLUENTS	15
4.1 Rappel méthodologique	15
4.2 Etude hydrogéologique de l'impact des prélèvements souterrains sur les débits du Rhône	15
4.3 Les débits désinfluencés des usages français - comparaison avec les débits mesurés	17
5. MISE EN PERSPECTIVE DES USAGES ET DE LA RESSOURCE	19
6. REMARQUES SUR LES INFLUENCES SUISSES	27

PREAMBULE

L'Agence de l'Eau RMC a confié à BRLingénierie, 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 ;
- ▶ l'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 centres nucléaires de production d'électricité (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 est un résumé des résultats obtenus dans le cadre de la Phase 2.

Notion de débit fictif continu

On présentera dans le présent document les prélèvements sous la forme de **volumes prélevés mensuels** ou **annuels**. L'unité utilisée sera le million de mètres cubes par mois ou par an, noté respectivement Mm^3/mois et Mm^3/an . On ramènera également les volumes prélevés à des débits **afin, à terme, 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^3/s , se définit comme suit :

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

Un prélèvement de 30 Mm^3 sur une année peut ainsi être ramené à un débit de $30\,000\,000 / (365 \times 24 \times 60 \times 60) =$ environ $1 \text{ m}^3/\text{s}$. Cela signifie que, si le volume de 30 Mm^3 était prélevé de façon continue sur toute l'année, le débit prélevé instantané serait de $1 \text{ m}^3/\text{s}$ (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 $2,5 \text{ Mm}^3$ sur un mois est équivalent à un DFC de environ $1 \text{ m}^3/\text{s}$.

1. LES DONNEES UTILISEES ET LEUR PRECISION

Les **données hydrométriques** mesurées utilisées sont les débits journaliers fournis par les gestionnaires des stations de mesure (DREAL, EDF, CNR) au droit des 13 points d'étude.

Les **données météorologiques** utilisées sont les données de précipitations liquides et solides, de température, et les évapotranspirations potentielles (ETP) journalières de la base SAFRAN fournie par Météo-France. Elles couvrent la période 1958-2011 sur un maillage de 8 km par 8 km, **uniquement sur la partie française** du bassin versant. Aucune donnée météorologique suisse n'a été récupérée dans le cadre de l'étude.

2. LES REGIMES HYDROLOGIQUES DU RHONE

Le bassin du Rhône présente une grande diversité physique et climatique qui lui confère des apports glaciaire, nival et pluvial contribuant à une hydrologie complexe, mais un régime saisonnier régulier.

Les figures suivantes donnent un aperçu des régimes hydrologiques influencés au droit des six points nodaux du Rhône. Sont représentés les débits mensuels statistiques¹ à chaque station, calculés sur la période 1980-2011.

Le Rhône à Pougny, d'un module de 342 m³/s, est caractérisé par un régime nival, avec de hauts débits liés à la fonte en juin et juillet et des étiages hivernaux, soutenus par la régulation du Léman.

Après la confluence avec l'Ain et la Saône, **le Rhône à Ternay présente un régime pluvial océanique**, avec de hautes eaux hivernales et de bas débits estivaux, dus notamment aux apports de l'Ain et de la Saône. Le module du Rhône à Ternay est de **1 054 m³/s**.

Le Rhône à Beaucaire présente également un régime pluvial, avec un module de 1 700 m³/s et une période de basses eaux qui s'étend de l'été au début de l'automne.

Au mois d'août, le Rhône alpestre en amont de Pougny et le sous-bassin de l'Isère apportent environ 60 % des débits du Rhône à Beaucaire.

Il est notable que le Rhône alpestre, dont la surface contributive représente seulement **8 % de la surface du bassin total**, constitue un apport majeur des débits du Rhône en période estivale : en moyenne, il apporte **40 % des débits du Rhône au mois d'août à Beaucaire**.

¹ Les débits statistiques (débits mensuels quinquennaux et décennaux, QMNA_T) ont été calculés à partir d'un ajustement sur la loi log-normale, sur la période 1980-2010.

- Ville principale
- Réseau hydrographique
- Limite de sous bassin versant
- Gestionnaire :**
 - EDF
 - △ CNR
 - Autres gestionnaires
- Catégorie :**
 - ▲ ● Nodal
 - ▲ ● Référence
- Indicateur**
 - Module
 - QMNA5
 - Qmoyen
 - Q_decennal_sec
 - Q_quinquenal_sec
 - Q_quinquennal_humide
 - Q_decennal_humide

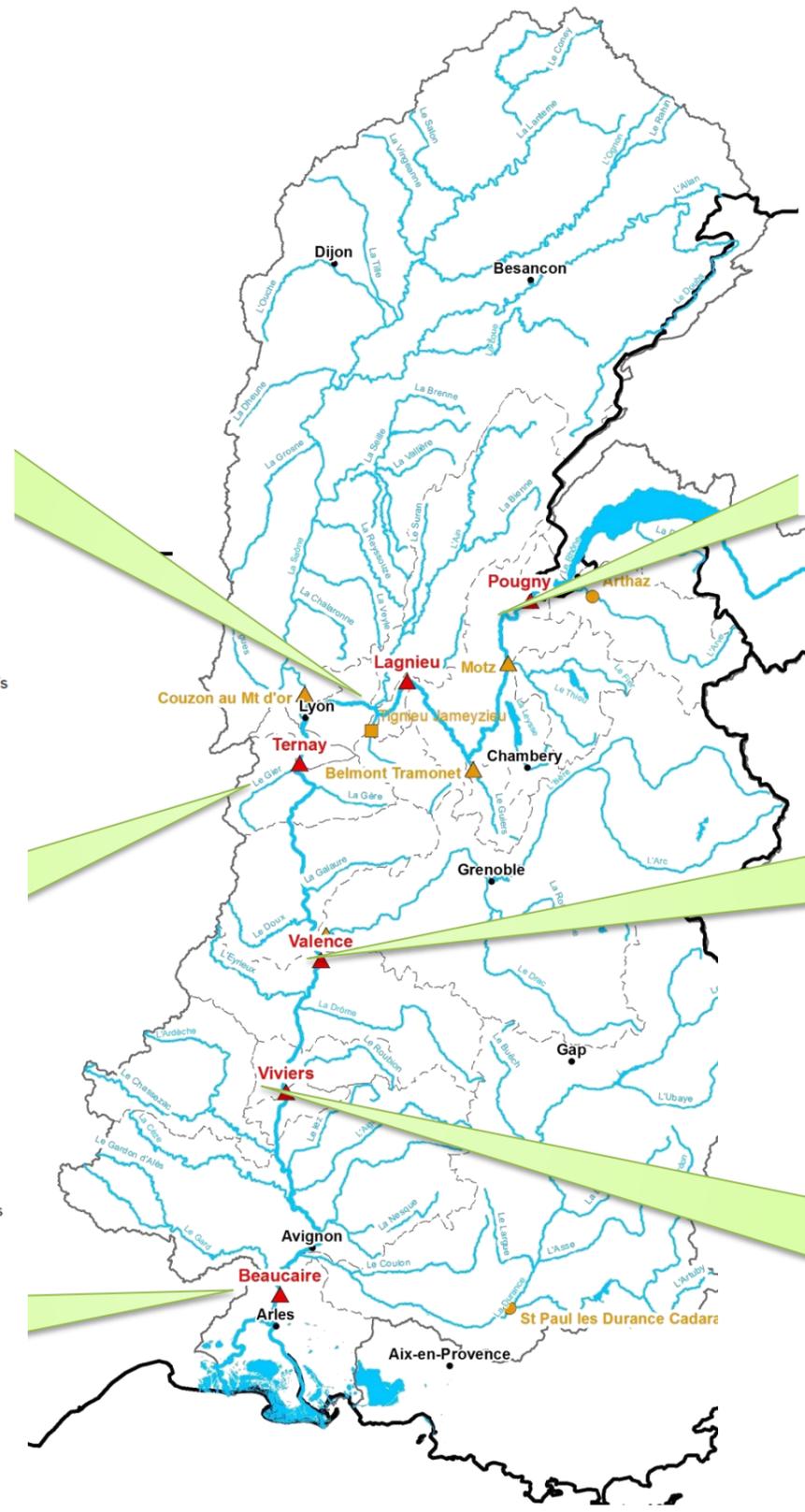
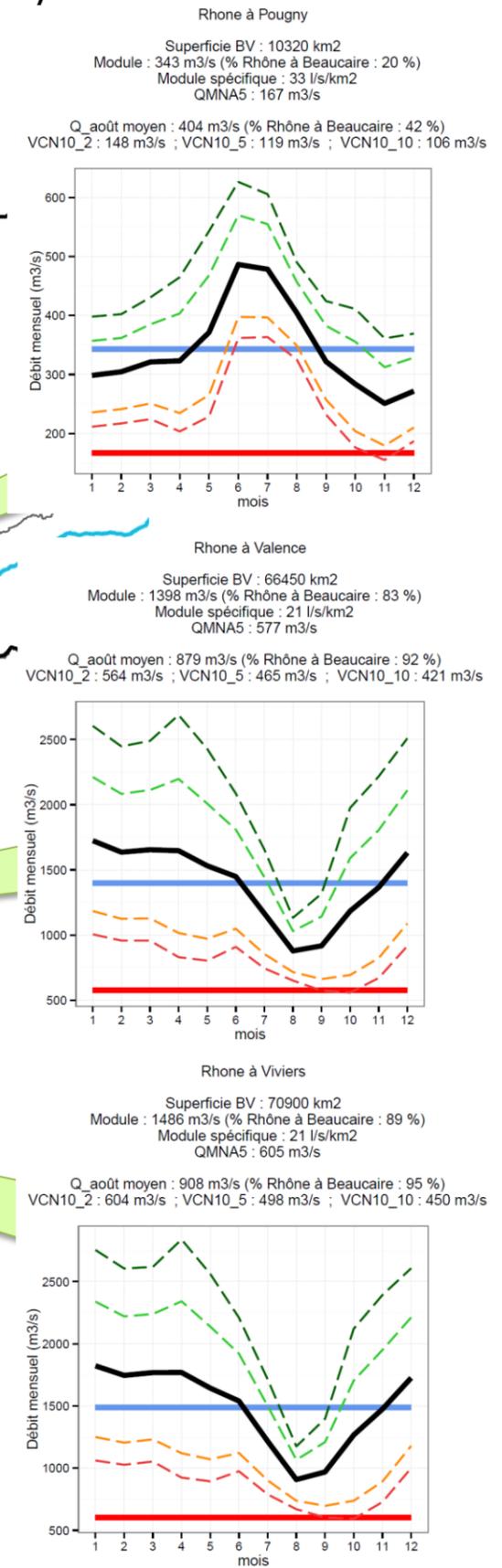
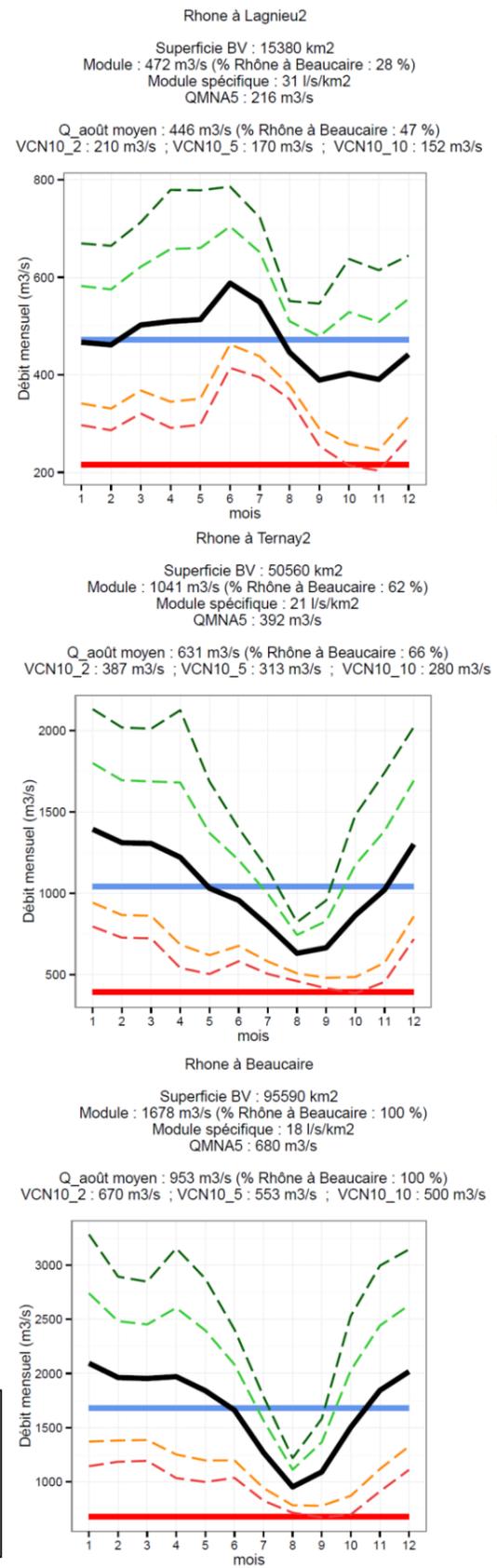
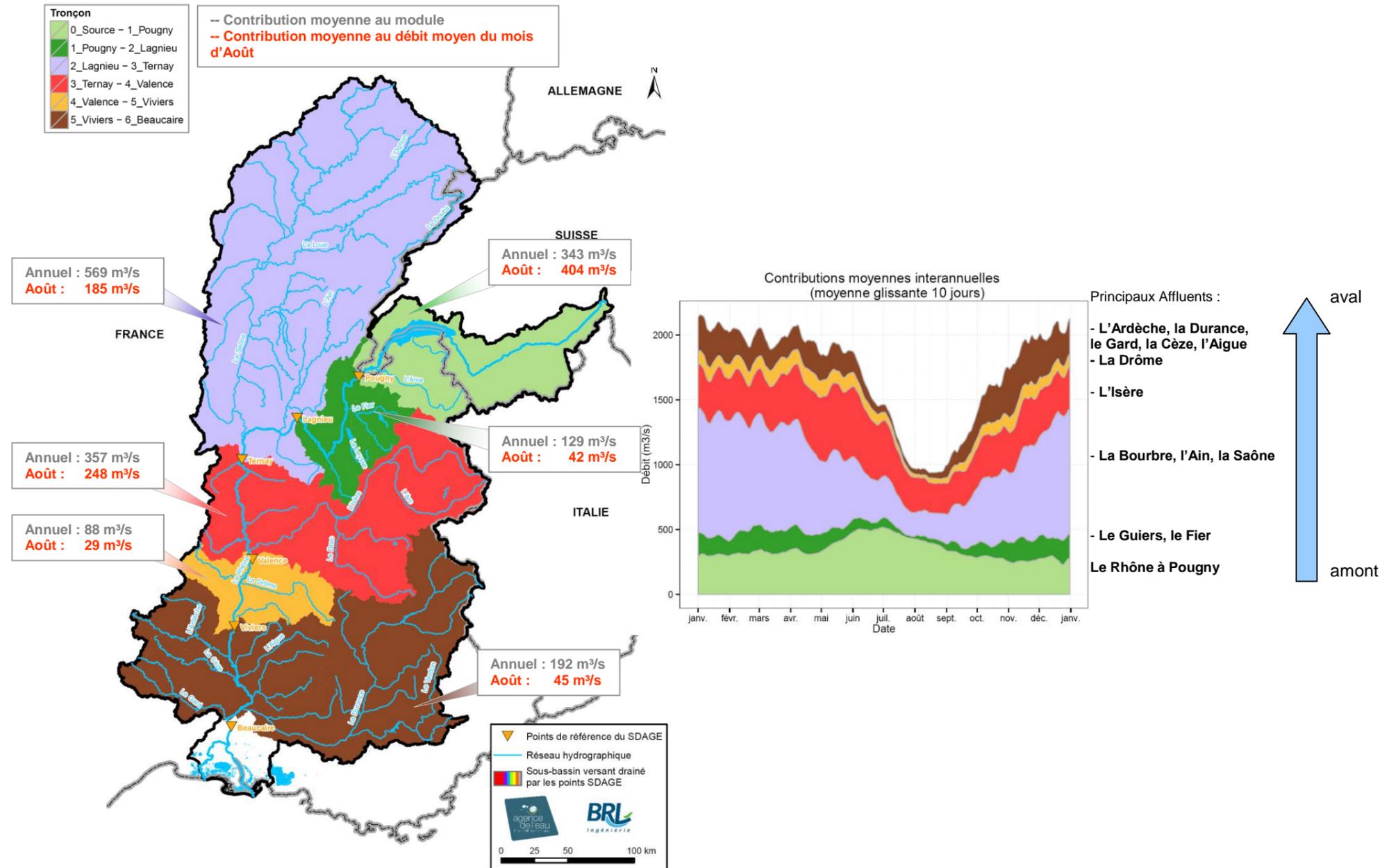


Figure 1 : Les régimes hydrologiques du Rhône. Hydrologie influencée sur la période 1980-2010 (Données : Banque Hydro et CNR ; cartes et graphes BRLi)

Figure 2 : Apports intermédiaires contributifs aux débits du Rhône. De Pougny à Beaucaire. Hydrologie influencée 1980-2010 (Données : Banque Hydro et CNR ; cartes et graphes BRLi)



3. CARACTERISATION DES ETIAGES HISTORIQUES DU RHONE

3.1 LES ANNEES DE PLUS BASSES EAUX DEPUIS 1920

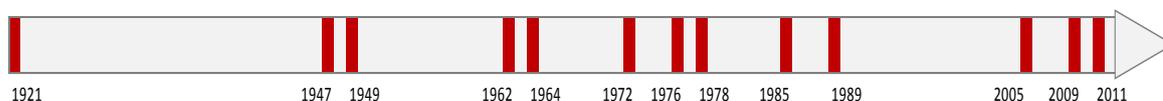
On parle d'étiage du Rhône lorsque l'on rencontre des bas débits sur **une large période de temps, de plusieurs jours à plusieurs mois**.

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

Par exemple, le VCN10_5ans à Beaucaire est de 553 m³/s : statistiquement, pour quatre années sur cinq, le plus petit débit moyen sur 10 jours est supérieur à 553 m³/s; une année sur cinq, il est inférieur à 553 m³/s.

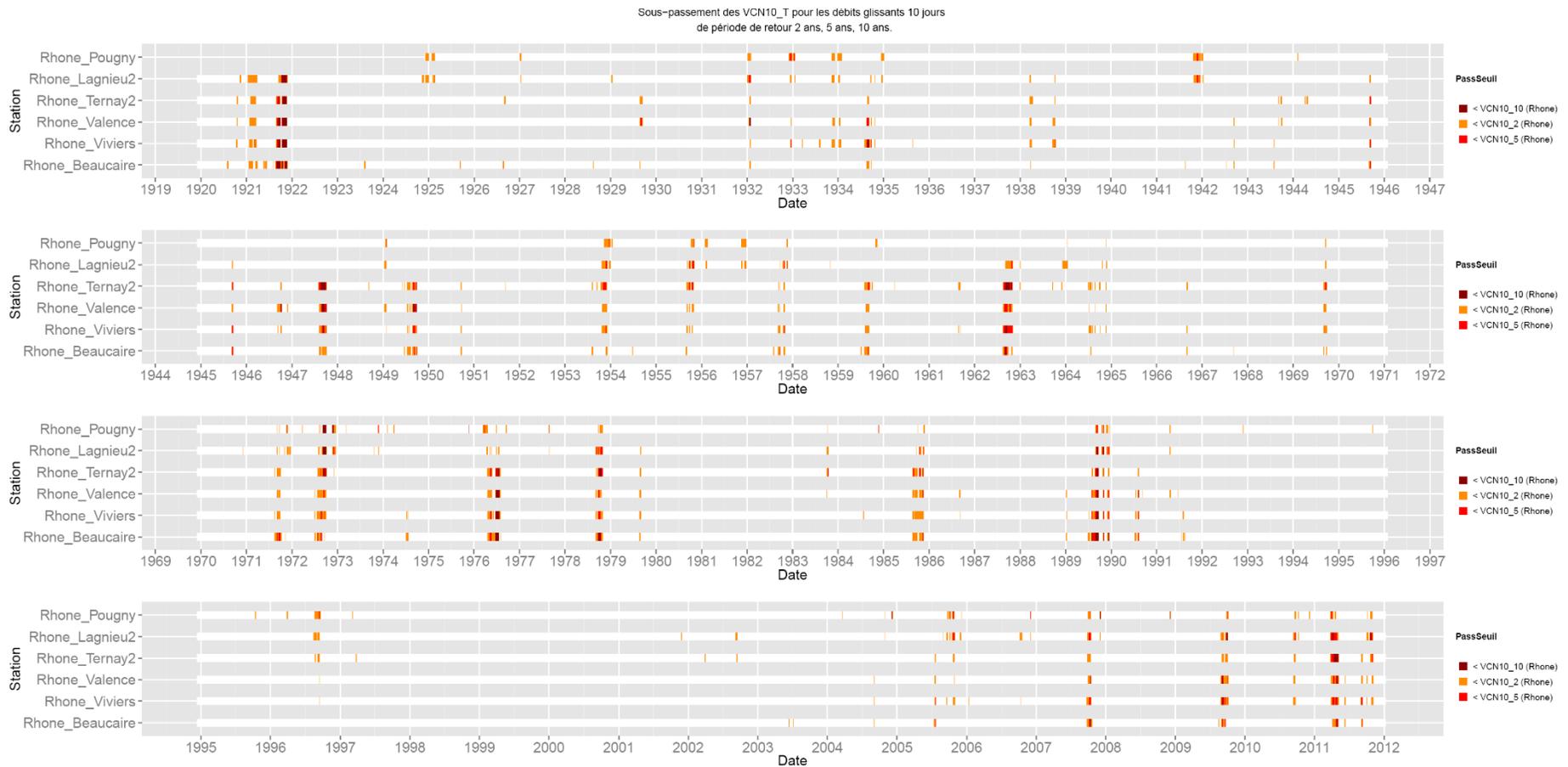
La figure de la page suivante identifie les épisodes de bas et très bas débits sur le Rhône, inférieurs à ces VCN10, depuis 1920. La couleur rend compte de l'intensité des étiages tandis que la largeur rend compte de leur durée.

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



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

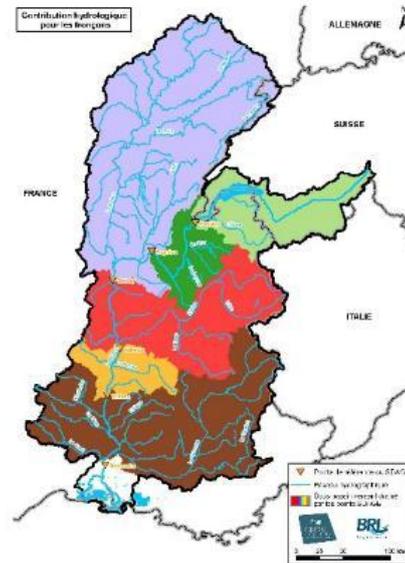
Figure 3 : Episodes de basses eaux au droit des 6 stations de référence du Rhône (passage du débit moyen sur 10 jours sous des valeurs de temps de retour 2 ans, 5 ans et 10 ans)



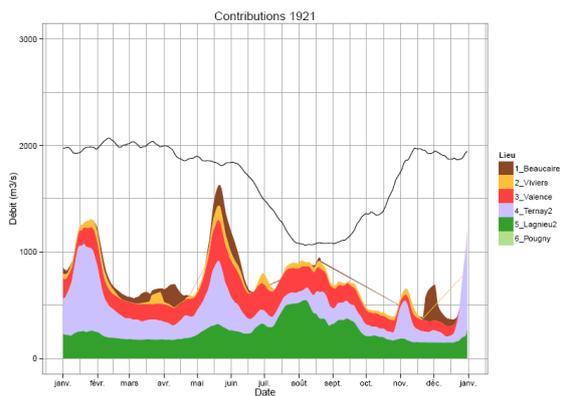
3.2 QUATRE EXEMPLES D'ÉPISODES D'ÉTIAGE SEVERES DU RHONE

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

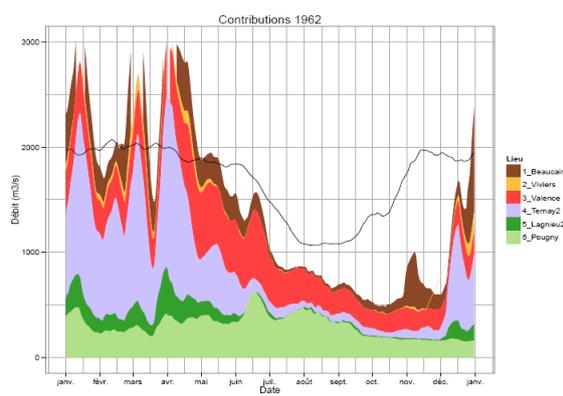
Les graphes présentent par ailleurs (courbe noire) le débit moyen mensuel interannuel à Beaucaire sur la période 1980-2011.



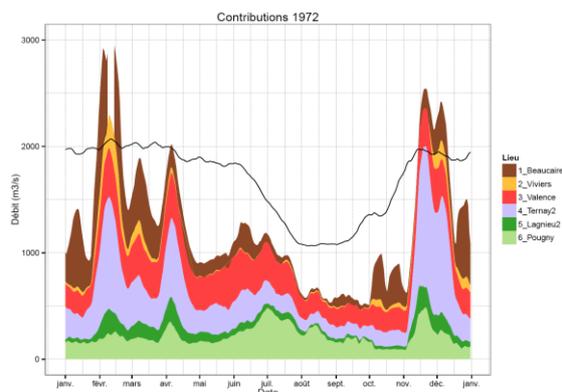
> 1921



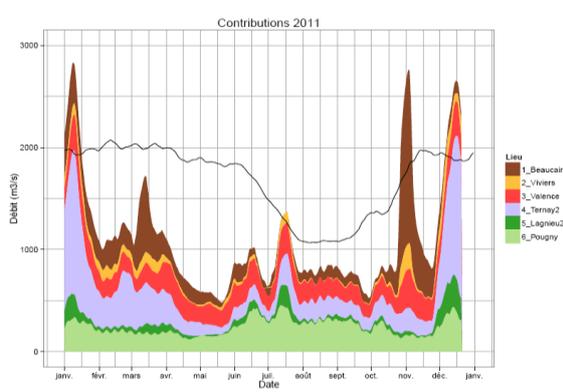
> 1962



> 1972



> 2011



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Ainsi, **les étiages du Rhône n'ont pas toujours lieu en été. Des étiages du Rhône ont pu avoir lieu à toute période de l'année.** La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** illustre des étiages historiques du Rhône en toutes saisons : l'hiver 1921, le printemps 2011, l'été 1976 et l'automne 1989.

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

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

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

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

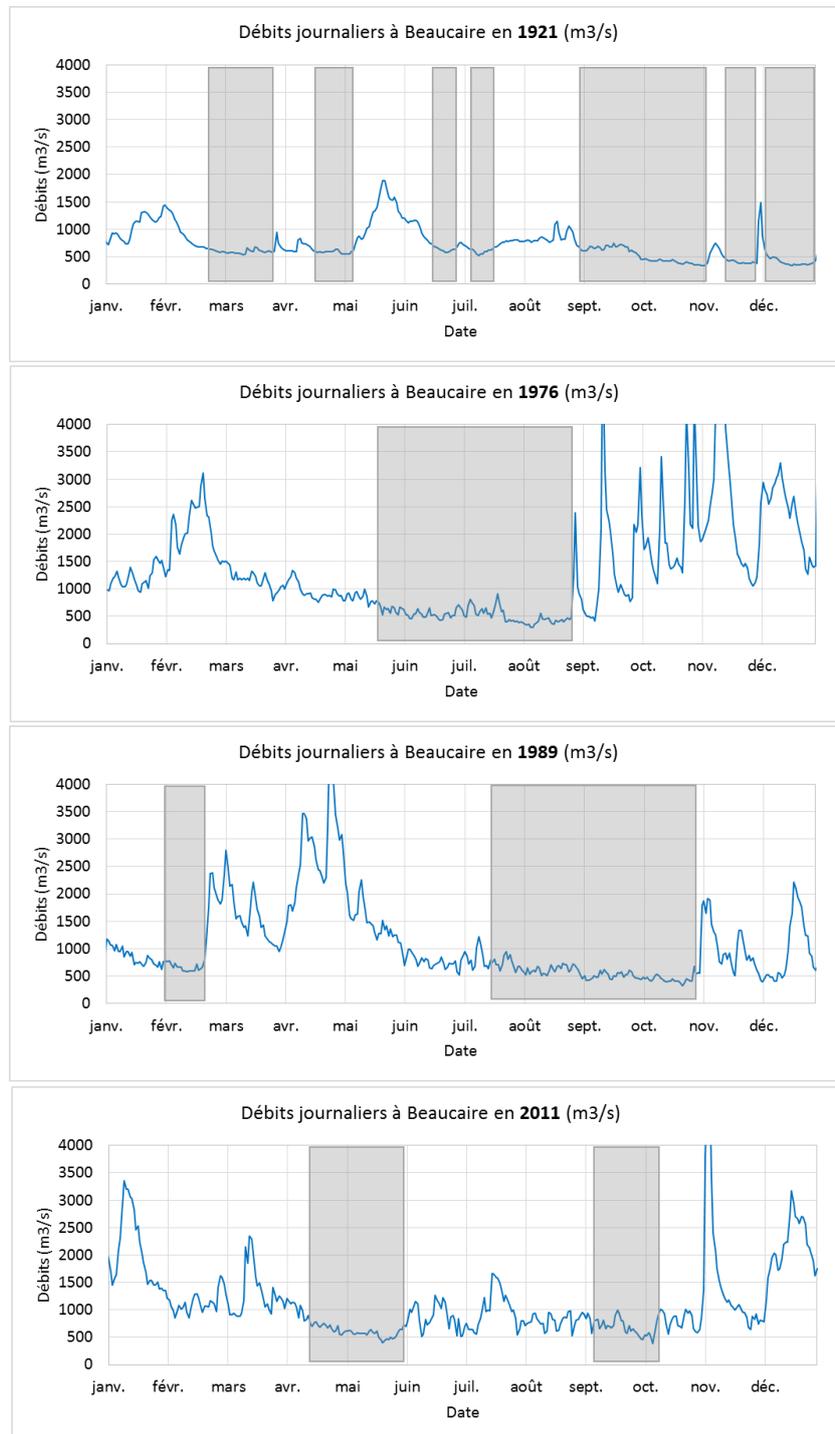
Comme déjà évoqué, la plupart des étiages du Rhône résultent de la combinaison de déficits sur plusieurs bassins affluents du Rhône. Aussi, on retrouve pour la plupart des étiages historiques depuis 1920 deux situations climatiques prépondérantes :

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

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

Figure 4 : Des étiages historiques du Rhône à Beaucaire, à toutes les périodes de l'année (1921, 1976, 1989, 2011).

(Rq. : le débit moyen à Beaucaire est de 1 700 m³/s)



4. DETERMINATION DES DEBITS DESINFLUENCES DU RHONE ET DE SES PRINCIPAUX AFFLUENTS

4.1 RAPPEL METHODOLOGIQUE

La détermination des débits désinfluencés a été menée au droit de six points SDAGE du Rhône, de Pougny à Beaucaire, au droit des quatre centrales nucléaires et au droit des sept points de référence sur les affluents.

- ▶ **Pas de temps** : Le désinfluencement des débits a été réalisé **au pas de temps mensuel**.
- ▶ **Période de calcul** : Le travail de désinfluencement a été conduit sur la période **1980-2011**. Les débits historiques et les usages historiques, estimés sur la période 1980-2011, sont pris en compte.
- ▶ **Influences suisses** : L'influence des prélèvements et des ouvrages suisses sur le Rhône n'est pas incluse dans la présente étude, malgré l'influence de ces usages sur les débits du Rhône en France.
En conséquence, le calcul de désinfluencement des débits mesurés en France prendra en compte uniquement les influences anthropiques françaises. Les débits « désinfluencés » calculés représentent ainsi, dans la présente approche, la variabilité de la ressource en eau disponible en France. Elles sont notamment la résultante :
 - des conditions climatiques sur l'ensemble du bassin versant ;
 - des usages suisses historiques.

- ▶ **Méthode de désinfluencement**

Le désinfluencement des débits au droit des stations de référence sur le Rhône et ses affluents a été mené par la **méthode arithmétique** au pas de temps mensuel, sur la période 1980-2011. Elle se traduit par :

$$\text{Débit désinfluencé reconstitué} = \text{Débit mesuré} + \text{Somme des influences anthropiques françaises sur le bassin drainé par le point de référence}^2$$

Le modèle pluie-débit GR2M a été utilisé pour prolonger les chroniques de débits du Fier. En outre, les débits au droit des CNPE ont été estimés par extrapolation des débits reconstitués aux stations de Valence et Viviers.

Pour la Durance à Cadarache, nous intégrons les résultats du projet R²D² 2050 (Risque, Ressource en eau et gestion Durable de la Durance en 2050. APR 2010 GICC, 12/2010-12/2013).

Nous intégrons également les débits désinfluencés de l'Ain à Bolozon, issus de l'étude volumes prélevables de l'Ain.

4.2 ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE L'IMPACT DES PRELEVEMENTS SOUTERRAINS SUR LES DEBITS DU RHONE

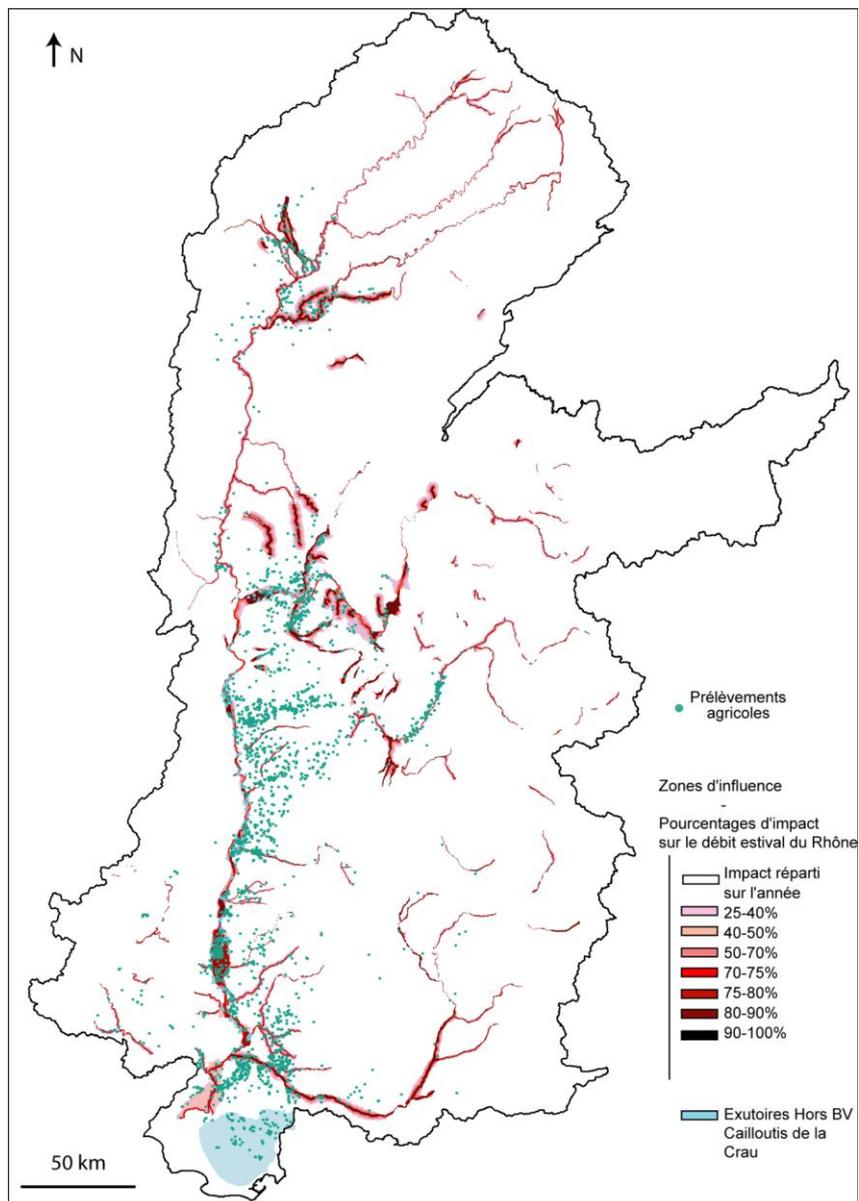
L'impact des prélèvements dans les hydro systèmes souterrains, à l'échelle du bassin versant, sur les débits du fleuve Rhône, en période de basses eaux, a fait l'objet d'une analyse hydrogéologique spécifique afin de cerner l'éventuel "effet retard" lié de ce type de prélèvement.

Pour les différentes nappes, **cette analyse a permis d'estimer comment les prélèvements agricoles de mai à juin peuvent impacter le débit Rhône pendant cette même période.**

La figure suivante permet de visualiser des résultats à l'échelle du bassin versant du Rhône.

² Les influences anthropiques sont comptées positivement pour les prélèvements, pertes d'eau, stockage, et comptées négativement pour les apports, retours au milieu, et déstockage des ouvrages

Figure 5 : Ensemble des zones pouvant impacter le débit du Rhône et matrices associées (extrait du SIG)



L'application de la méthode définie permet d'estimer la part des prélèvements agricoles qui est soustraite effectivement au fleuve Rhône de juin à septembre. Elle est de 53 Mm^3 (soit 44 % du volume souterrain agricole prélevé pendant cette période à l'échelle du bassin versant).

Plus généralement, la méthode a permis de transformer le signal « prélèvement souterrain » (à l'échelle mensuelle) en un signal de pression effective sur le débit du Rhône (à la même échelle mensuelle).

Au final, l'enjeu de la transformation de ce signal apparaît réduit dans le cas du bassin du Rhône vu globalement, au regard du faible volume de prélèvement concerné par rapport au prélèvement agricole total.

Le travail de modélisation détaillée qui a été réalisé représente cependant un apport de connaissance remarquable sur cette question souvent évoquée mais rarement quantifiée précisément, de l'impact des prélèvements souterrains sur les débits des cours d'eau et pourra être réutilisé dans d'autres contextes.

4.3 LES DEBITS DESINFLUENCES DES USAGES FRANÇAIS - COMPARAISON AVEC LES DEBITS MESURES

Des fiches par stations ont été produites. Elles présentent pour chaque point d'étude les débits mesurés et désinfluencés, et plusieurs indicateurs hydrologiques (débits mensuels, QMNA_T, etc.) Le Tableau 1 présente les modules, QMNA2 et QMNA5 calculés à chaque point d'étude.

Tableau 1: Indicateurs hydrologiques au droit des stations de référence, en régime mesuré et désinfluencé, calculés sur la période 1980-2011

		Module (m ³ /s)		QMNA2 (m ³ /s)		QMNA5 (m ³ /s)	
		mesuré	désinfluencé	mesuré	désinfluencé	mesuré	désinfluencé
POUGNY	Rhône	343	345	200	201	167	168
LAGNIEU	Rhône	472	475	272	274	216	218
TERNAY	Rhône	1041	1055	492	482	392	380
VALENCE	Rhône	1398	1417	709	682	577	542
VIVIERS	Rhône	1486	1509	743	729	605	580
BEAUCAIRE	Rhône	1678	1811	823	855	680	689
MOTZ	Fier	36	34	7	8	4	5
BELMONT	Guiers	19	19	4	5	3	3
TIGNIEU	Bourbre	7	8	3	3	2	3
COUZON	Saône	434	440	91	98	63	70
BEAUMONT	Isère	328	331	198	159	164	133
CADARACHE	Durance	153	158	69	51	50	40
DURANCE CONFL.	Durance	-	159	-	51	-	40
CNPE BUGEY	Rhône	-	475	-	274	-	218
CNPE ST-ALBAN	Rhône	-	1086	-	496	-	392
CNPE CRUAS	Rhône	-	1494	-	721	-	574
CNPE TRICASTIN	Rhône	-	1524	-	736	-	585

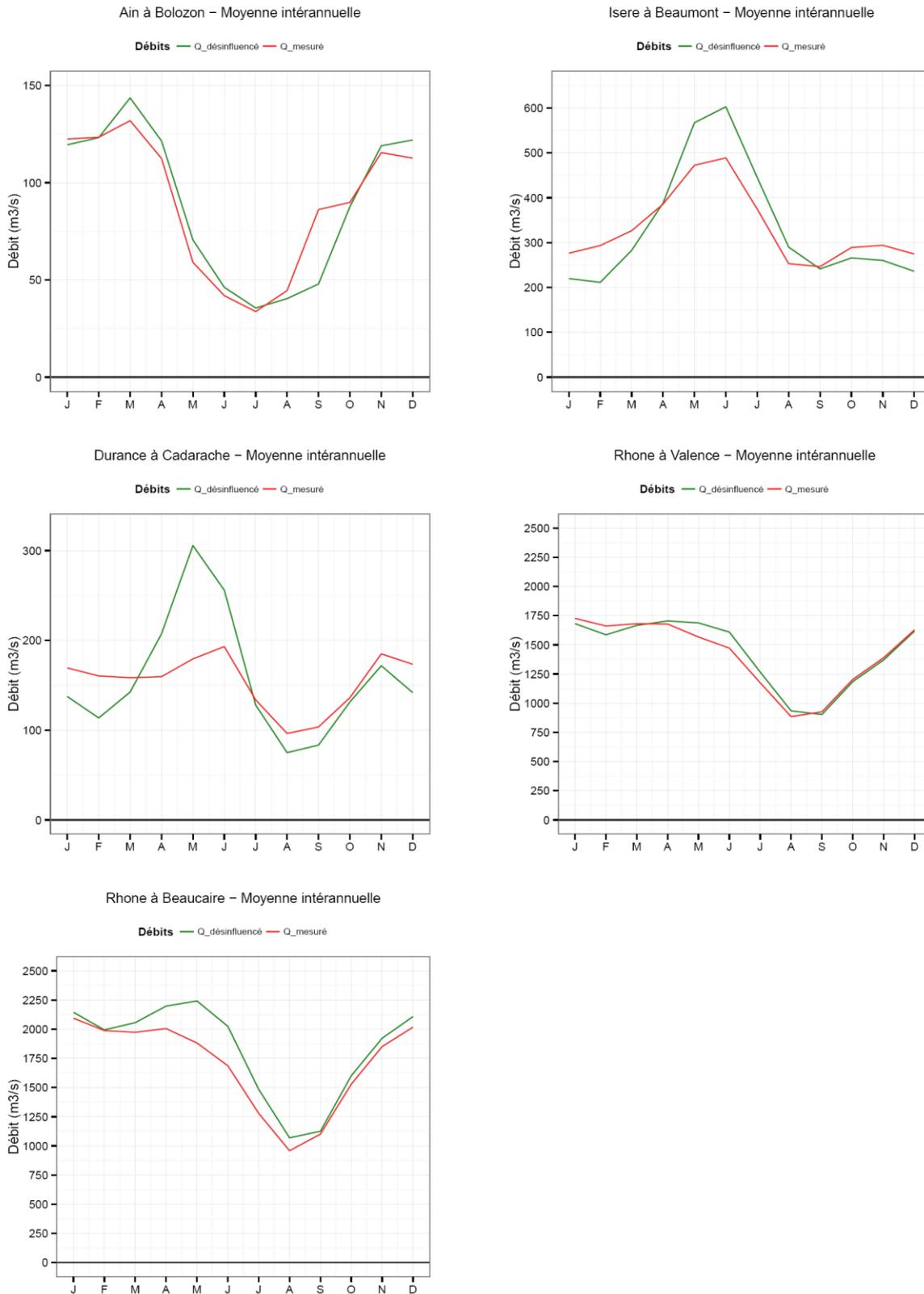
NB : Pour le Guiers et le Fier les indicateurs sont calculés sur les périodes 1986-2011 et 1995-2011 respectivement (périodes pour lesquelles des débits mesurés sont disponibles).

COMMENT LES REGIMES HYDROLOGIQUES DU RHONE ET DE SES PRINCIPAUX AFFLUENTS SONT-ILS MODIFIES PAR LES USAGES FRANÇAIS ?

- ▶ Les régimes hydrologiques **des affluents du Fiers, du Guiers, de la Bourbre et de la Saône**, près de la confluence, sont peu modifiés par les influences anthropiques.
- ▶ Les régimes hydrologiques de **l'Ain, de l'Isère et de la Durance** sont modifiés par les usages anthropiques, et notamment la gestion des barrages hydroélectriques. Ils sont présentés sur la Figure 6.
- ▶ **Sur le Rhône, de Pougny à Viviers**, les usages français modifient relativement peu le régime hydrologique du Rhône.
- ▶ **Au niveau de Beaucaire**, le régime hydrologique du Rhône désinfluencé est marqué notamment par des débits de printemps nettement plus élevés que les débits influencés et des basses eaux estivales également plus soutenues (Figure 6).

Le paragraphe suivant détaille les influences anthropiques.

Figure 6 : Régimes hydrologiques influencés et désinfluencés (usages français) sur l'Ain (Bolozon), l'Isère (Beaumont), la Durance (Cadarache) et le Rhône (Valence et Beaucaire). Période 1980-2011 (excepté l'Ain ; 1998-2011).



5. MISE EN PERSPECTIVE DES USAGES ET DE LA RESSOURCE

METHODE

Au droit de chacun des points d'étude, une mise en perspective de la ressource et des usages historiques a été réalisée.

Ont été mis en regard :

- ▶ **Les débits historiques** désinfluencés des usages historiques (ex : somme des débits mesurés en 2005 et prélèvements de 2005 ; ce sont les débits qui auraient coulé en 2005 s'il n'y avait pas eu d'usages sur la partie française du bassin) ;
- ▶ **Les usages historiques** (ex : pour 2005, les usages de 2005).

Les bilans présentés ici ne mettent donc pas en regard la variabilité des débits désinfluencés et les usages actuels. Cette question, importante, sera discutée en Phase 6 de la présente étude.

On désignera par « **empreinte** des usages sur les débits au point A » :

$$\text{Empreinte (point A)} = (\text{Usages amont du point A}) / (\text{débit désinfluencé au droit du point A})$$

Pour les moyennes interannuelles, la moyenne des empreintes sur 1980-2011 est calculée.

Les moyennes interannuelles des débits historiques, des usages historiques et de leur empreinte sont présentées sur la Figure 7 et la Figure 8, au droit des 13 points de référence sur le Rhône et ses affluents.

COMMENT LES USAGES MODIFIENT-ILS LES DEBITS DES PRINCIPAUX AFFLUENTS DU RHONE ?

Sur les affluents français du Rhône, les influences anthropiques les plus importantes sont les influences des barrages de stockage, et plus à l'aval, les prélèvements agricoles et les transferts hydroélectriques.

Ces usages modifient principalement les débits de l'Ain, de l'Isère et de la Durance.

Les débits du Fier, du Guiers, de la Bourbre et de la Saône sont faiblement influencés par les usages anthropiques.

SUR LE LINEAIRE DU RHONE, COMMENT LES USAGES FRANÇAIS MODIFIENT-ILS LES DEBITS ?

De Pougny à Ternay, l'empreinte des usages français représente rarement plus de 10 % des débits du Rhône.

Au niveau de Valence et Viviers, les débits du Rhône sont principalement modifiés par les barrages hydroélectriques de stockage du bassin de l'Isère. Ces usages constituent principalement :

- ▶ Une baisse des débits disponibles, pour les mois de mai-juin-juillet (stockage des barrages) ;
- ▶ Un apport d'eau, notamment de septembre à novembre et en février (stockage des barrages) ;
- ▶ Une empreinte de l'ordre de 10 % en moyenne, pouvant atteindre 15 % lors d'épisodes d'étiages particuliers.

A Beaucaire, les débits du Rhône sont plus fortement modifiés pendant les mois d'avril à août. Les usages modifiant les débits du Rhône à Beaucaire sont principalement l'hydroélectricité et l'irrigation. D'avril à août, les prélèvements liés à l'irrigation se cumulent avec le stockage des principaux barrages de stockage et les transferts d'eau, entraînant une diminution des débits du Rhône. **L'empreinte des usages sur les débits du Rhône est de l'ordre de 10 à 20 % pendant cette période** (selon les années considérées). En mai 2011, l'empreinte des usages a atteint 33 % à Beaucaire (plus forte empreinte calculée sur la série étudiée).

LES INFLUENCES SUR LE RHONE, PAR PERIODE DE L'ANNEE

De mai à août, les influences françaises induisent une perte d'eau pour le Rhône, croissante de l'amont vers l'aval.

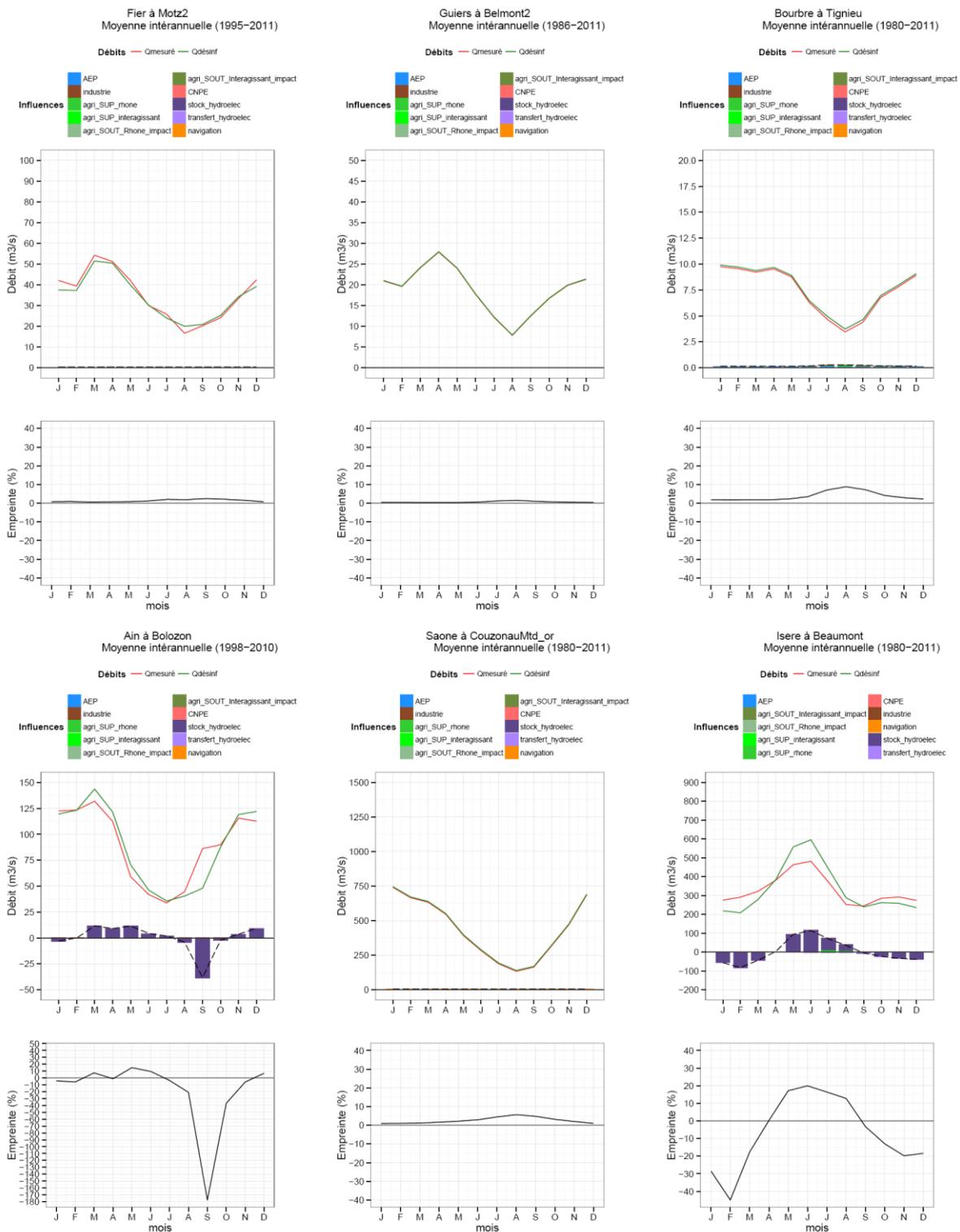
Les mois de plus forte empreinte sont les mois de mai et juin la plupart du temps ; ces mois enregistrent une empreinte de l'ordre de 10 % à Valence et 20 % à Beaucaire en moyenne.

Ces pertes pour le Rhône résultent principalement du stockage des grands barrages hydroélectriques, et plus en aval (Beaucaire), des prélèvements agricoles et transferts hydroélectriques sur le bassin de la Durance notamment.

De septembre à novembre, les influences françaises induisent un apport d'eau, de Ternay à Viviers, résultant du déstockage des barrages.

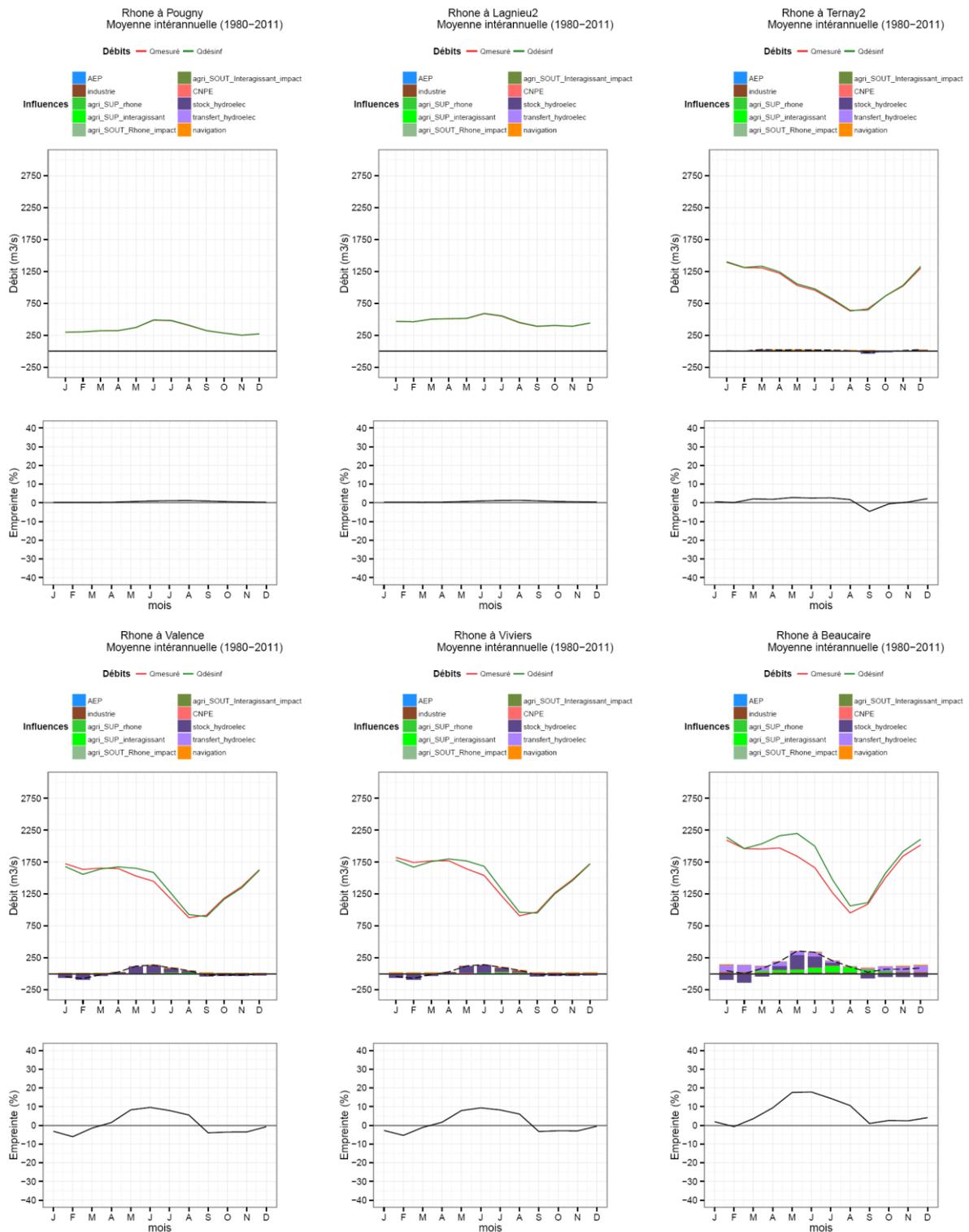
Les mois de décembre à avril sont en général moins influencés par les usages français. Ils enregistrent des empreintes rarement supérieures à 10 %.

Figure 7 : Comparaison Ressource / Usage en moyenne interannuelle (1980-2011)³ pour plusieurs affluents du Rhône



³ Pour l'Ain à Bolozon, il s'agit de la période 1998-2011.

Figure 8 : Comparaison Ressource / Usage en moyenne interannuelle (1980-2011) sur le Rhône en France



EMPREINTES DES USAGES FRANÇAIS SUR LES DÉBITS DU RHONE A TERNAVY, VALENCE ET BEAUCAIRE, SUR LA PERIODE 1980-2011.

On présente ci-après les résultats des calculs d’empreinte (chronique historique) pour trois des six points SDAGE.

Empreintes des usages français sur les débits désinfluencés à Ternay (1980-2011) (%)

	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
1980	0	-1	2	2	4	2	0	2	-2	1	-3	5
1981	-1	-3	6	-1	4	1	2	1	1	1	-4	3
1982	-1	-3	3	2	4	5	1	2	-3	2	1	1
1983	0	-3	4	1	0	0	2	2	-1	-10	8	5
1984	3	-2	2	4	4	2	2	3	2	-3	0	3
1985	1	3	-1	4	1	1	2	-1	2	-6	-4	8
1986	6	-8	4	3	0	1	2	2	-10	0	4	4
1987	-1	4	2	2	2	1	1	1	-3	2	0	1
1988	3	-1	2	0	2	0	2	1	-10	2	-12	3
1989	0	4	5	3	1	4	2	2	-13	-1	-3	3
1990	3	6	-4	2	2	6	2	2	-1	-2	4	-7
1991	2	-4	5	0	6	5	4	0	0	-2	5	1
1992	-9	4	5	1	1	3	2	1	-6	4	2	-1
1993	1	-2	0	5	5	2	2	3	1	0	-8	5
1994	0	-2	2	2	2	2	2	0	1	-1	2	4
1995	1	0	0	1	1	1	3	2	0	-4	1	2
1996	2	0	2	3	7	2	2	-2	-22	3	6	1
1997	-2	3	1	2	4	2	2	0	-4	-9	4	4
1998	1	-4	2	3	1	4	3	2	2	1	0	0
1999	3	-1	0	2	1	1	3	0	-3	3	-5	4
2000	-1	2	0	3	3	2	3	1	-4	1	3	-1
2001	1	-1	1	1	1	1	2	2	-2	-2	1	0
2002	1	6	1	-1	5	2	3	1	-8	2	2	1
2003	-2	-2	4	3	5	4	6	6	-13	8	4	4
2004	1	0	2	1	5	3	4	3	-8	4	-1	2
2005	2	-1	2	2	2	4	4	3	-15	-3	1	7
2006	3	4	3	0	2	3	4	3	0	0	1	0
2007	2	2	1	0	4	1	1	0	-1	-8	5	2
2008	-1	1	3	1	3	2	3	1	0	2	-1	0
2009	0	1	3	2	2	5	5	3	-16	-1	8	3
2010	-2	2	2	2	3	4	4	3	-5	-1	2	1
2011	0	1	5	3	4	5	5	4	-1	0	-9	5

Empreintes des usages français sur les débits désinfluencés à Valence (1980-2011) (%)

	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
1980	-4	-4	-3	-2	5	9	6	7	-2	0	-7	2
1981	-4	-11	4	0	6	8	6	4	2	-1	-8	2
1982	-3	-13	-4	2	12	11	8	5	-2	1	-1	0
1983	-4	-12	0	2	2	5	9	7	-1	-14	-5	3
1984	1	-7	-4	3	5	10	11	12	3	-4	-1	1
1985	-7	-2	-8	5	5	8	8	3	-4	-22	-20	6
1986	4	-18	4	3	6	6	7	7	-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	12	8	10	-12	-18	-16	2
1990	-4	7	-7	-2	14	12	8	10	2	1	0	-18
1991	0	-16	6	-8	8	18	14	8	3	-2	3	-4
1992	-18	0	1	2	8	9	6	3	-4	4	1	-4
1993	-4	-15	-17	6	10	9	5	5	3	0	-13	3
1994	-2	-6	-2	-1	7	9	7	4	4	-4	1	1
1995	-2	-2	-4	1	4	4	8	5	-1	-8	-4	-1
1996	-2	-10	0	1	12	10	7	6	-24	-4	5	0
1997	-7	-3	-2	2	11	11	4	2	-6	-15	0	1
1998	1	-13	-3	1	9	11	11	10	5	-1	-4	-7
1999	1	-3	-1	2	7	6	7	4	-3	1	-6	2
2000	-3	1	-3	5	10	11	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	-11	0	2	12	15	12	6	-13	2	7	3
2004	1	-6	-7	2	10	13	13	7	-10	4	-1	-1
2005	-2	-9	1	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	3	10	5	3	2	-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 des usages français sur les débits désinfluencés à Beaucaire (1980-2011) (%)

	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
1980	4	3	7	9	17	21	13	13	2	4	1	6
1981	-1	-6	9	9	16	17	13	10	8	3	-4	6
1982	4	-4	1	11	22	20	13	8	3	6	7	4
1983	0	-7	8	7	10	14	19	14	3	-7	3	10
1984	5	-3	7	14	17	24	22	20	7	4	6	18
1985	3	5	5	12	14	19	16	10	0	-14	-7	12
1986	8	-5	11	10	16	17	16	13	1	3	4	4
1987	0	7	3	13	9	9	10	8	2	10	7	8
1988	5	1	3	7	16	16	17	10	-6	8	-15	2
1989	3	6	9	11	18	23	15	14	-5	-9	-8	7
1990	1	9	-3	5	24	18	12	14	5	13	6	-7
1991	5	-4	12	5	18	26	18	12	11	13	13	3
1992	-6	4	6	9	17	19	16	9	5	14	7	3
1993	3	-7	-7	13	26	21	12	9	6	4	1	8
1994	5	3	4	4	12	15	14	8	9	6	2	1
1995	3	4	3	7	9	9	14	11	2	0	1	6
1996	4	-4	2	14	20	20	14	12	-16	3	10	6
1997	0	-4	-2	16	21	21	9	9	-6	-8	7	5
1998	6	-7	2	9	19	18	16	13	8	5	-1	-3
1999	5	0	3	8	12	9	10	8	3	7	3	6
2000	2	4	2	15	18	20	13	8	0	8	4	0
2001	-2	-4	4	3	12	14	11	8	-1	0	-2	-2
2002	-1	7	3	6	17	20	14	10	5	3	4	2
2003	-2	-4	3	13	28	25	18	11	-7	6	9	7
2004	5	2	0	8	21	24	20	10	-6	8	3	4
2005	2	-5	4	7	14	20	17	10	-2	-1	-2	2
2006	5	1	6	7	16	19	15	11	7	3	-1	-1
2007	0	2	0	11	16	8	6	3	-2	-8	6	3
2008	1	2	4	6	17	5	9	8	-1	3	1	3
2009	4	-3	-4	4	21	20	20	14	-6	-3	6	3
2010	-6	-1	3	7	13	12	11	9	-4	-2	3	1
2011	-1	-14	6	17	33	26	17	9	3	0	3	4

On ne note pas d'évolution remarquable à l'échelle de la période étudiée.

EMPREINTES DES USAGES FRANÇAIS SUR LES DEBITS DESINFLUENCES AUX SIX POINTS SDAGE, EN MOYENNE INTERANNUELLES ET POUR LES ANNEES D'ETIAGE 1989, 2005, 2009 ET 2011

Dans le tableau suivant on présente, au droit des six points SDAGE, les résultats pour des étages remarquables.

Empreintes aux 6 points SDAGE, en moyenne et pour les années 1989, 2005, 2009, 2011

Moyenne	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Pougny	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0
Lagnieu2	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0
Ternay2	1	0	2	2	3	3	3	2	-5	-1	0	2
Valence	-3	-6	-1	2	8	10	8	5	-4	-4	-4	-1
Viviers	-3	-5	-1	2	8	9	8	6	-3	-3	-3	0
Beaucaire	2	-1	4	9	18	18	14	11	1	3	2	4

1989	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Pougny	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0
Lagnieu2	1	1	0	0	1	1	2	1	2	1	1	1
Ternay2	0	4	5	3	1	4	2	2	-13	-1	-3	3
Valence	-5	-1	4	3	8	12	8	10	-12	-18	-16	2
Viviers	-4	0	4	3	8	13	9	10	-10	-16	-14	2
Beaucaire	3	6	9	11	18	23	15	14	-5	-9	-8	7

2005	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Pougny	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0
Lagnieu2	0	0	0	0	1	2	2	1	1	1	1	1
Ternay2	2	-1	2	2	2	4	4	3	-15	-3	1	7
Valence	-2	-9	1	2	7	13	11	6	-12	-6	-9	0
Viviers	-1	-8	1	2	7	13	12	7	-11	-5	-8	0
Beaucaire	2	-5	4	7	14	20	17	10	-2	-1	-2	2

2009	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Pougny	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
Lagnieu2	0	0	0	0	1	1	1	2	1	1	0	0
Ternay2	0	1	3	2	2	5	5	3	-16	-1	8	3
Valence	-4	-4	-1	2	10	13	12	8	-13	-5	3	0
Viviers	-3	-3	0	2	10	13	13	9	-11	-4	4	0
Beaucaire	4	-3	-4	4	21	20	20	14	-6	-3	6	3

2011	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Pougny	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	1	0
Lagnieu2	0	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	0
Ternay2	0	1	5	3	4	5	5	4	-1	0	-9	5
Valence	-4	-14	1	5	19	17	10	3	-1	-3	-9	2
Viviers	-3	-12	1	5	19	17	10	4	0	-2	-7	2
Beaucaire	-1	-14	6	17	33	26	17	9	3	0	3	4

On commente ci-après le cas des deux étages 2009 et 2011.

Etiage de 2009

L'étiage de 2009 se concentre principalement sur les mois de septembre et d'octobre (sous-passement du VCN10_5 et 10ans), avec une situation évoluant de l'amont vers l'aval.

- ▶ Au mois de septembre, le déstockage du barrage de Vouglans induit un soutien de l'étiage (empreinte de 16 % à Ternay). A l'aval du bassin, les prélèvements (irrigations, transferts hydroélectriques) viennent contrebalancer cet apport.
- ▶ Au mois d'octobre, l'ensemble des usages modifient très peu les débits du Rhône (empreinte inférieure à 5 %).

Etiage de 2011

L'année 2011 est marquée par un étiage centré autour du mois de mai principalement, avec également des bas débits aux mois de septembre et octobre.

- ▶ Jusqu'à Ternay, l'empreinte des usages sur les débits du Rhône reste inférieure à 4 % pendant le printemps 2011. Les débits sont faiblement influencés par les usages français.
- ▶ Les mois de mai et juin sont marqués par le stockage des barrages des bassins de l'Isère et de la Durance ainsi que par des prélèvements agricoles à l'aval du bassin, occasionnant une empreinte pour le Rhône de l'ordre de 19 % au niveau de Valence et de 33 % à Beaucaire, en mai 2011. Ainsi, à partir de Valence, les usages causent une accentuation de l'étiage, notamment pour les mois de mai et juin.
- ▶ En septembre et octobre, l'empreinte des usages sur les débits du Rhône est très faible.

EMPREINTE DES USAGES SUR LES DEBITS DES AFFLUENTS, EN MOYENNE INTERANNUELLE

On présente enfin dans le tableau suivant le résultat des calculs d'empreinte (en moyenne interannuelle) pour les principaux affluents (point de référence situé à l'aval). Il ressort la très forte empreinte sur la Durance.

N.B. : La période de référence varie d'un affluent à l'autre selon la disponibilité des données hydrométriques.

Moyenne		Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Fier	Motz2	0.9	1.0	0.7	0.7	0.8	1.0	1.6	1.7	1.8	1.6	1.2	0.8
Guiers	Belmont2	0.5	0.5	0.3	0.3	0.4	0.6	1.1	1.3	0.9	0.7	0.5	0.4
Bourbre	Tignieu	1.9	1.8	1.9	1.8	2.2	3.4	7.0	8.8	7.2	4.1	2.9	2.2
Isère	Beaumont	-28	-45	-18	0	17	20	16	13	-3	-13	-20	-18
Ain	Bolozon	-4	-6	7	-1	15	9	-4	-21	-178	-37	-6	7
Saône	CouzonauMtd_or	0.9	1.0	1.2	1.6	2.2	2.9	4.4	5.6	4.8	3.2	2.0	1.0
Durance	Durance_confluence	88	82	75	83	84	82	88	84	68	75	70	83

6. REMARQUES SUR LES INFLUENCES SUISSES

Cette étude n'inclut pas la quantification des influences anthropiques suisses sur l'hydrologie du Rhône. Si les prélèvements agricoles, industriels et pour l'eau potable représentent une empreinte relativement faible sur le régime du Rhône aval, **les ouvrages hydrauliques suisses modifient en revanche nettement les débits du Rhône**. Ils constituent ainsi un facteur impactant des débits du Rhône en France et un potentiel levier sur la disponibilité en eau. Il est donc intéressant de connaître une estimation de l'influence de ces ouvrages sur le Rhône.

Ces ouvrages hydrauliques sont :

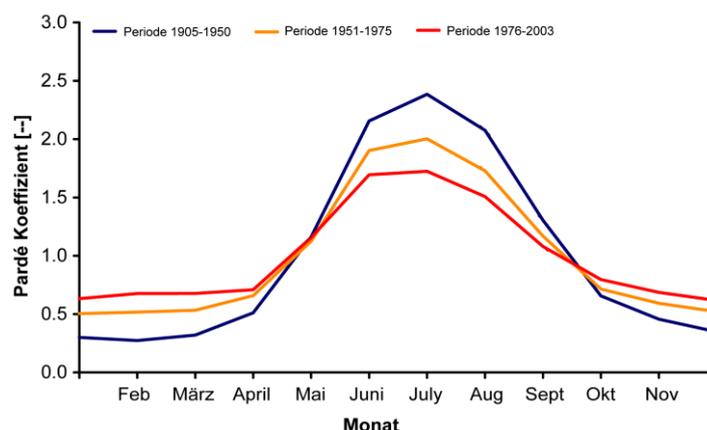
LES OUVRAGES HYDROELECTRIQUES A L'AMONT DU LEMAN

Les ouvrages hydroélectriques suisses sur le bassin du Rhône en amont du Léman sont notamment des barrages avec un mode de gestion annuel, effectuant un stockage des eaux en été et un déstockage en hiver. Le volume utile de ces barrages est de l'ordre de 1,2 milliards de m³. Ces barrages ont été mis en place principalement entre 1950 et 1975.

Le graphique ci-après présente le régime hydrologique du Rhône à l'amont du Léman sur différentes périodes historiques, rendant ainsi compte de l'impact des barrages amont (Valais) sur les débits du Rhône à l'amont du Léman. Il montre que **l'influence des barrages amont sur les débits du Rhône à Porte de Scex (amont Léman) se traduit par :**

- ▶ un déstockage d'octobre à avril ;
- ▶ un stockage de juin à septembre, avec une pointe en juillet ;
- ▶ un volume effectivement stocké⁴ chaque été en moyenne de l'ordre de 0,9 à 1 milliard de m³ ;
- ▶ un stockage en juillet équivalent à un débit fictif de 100 à 125 m³/s.⁵

Figure 9 : Moyennes mensuelles interannuelles des débits Porte de Scex (Amont Léman) pour les périodes 1905-1950 (avant expansion des barrages) [bleu], 1951-1975 [orange], 1973-2003 (après installation des centrales) [rouge]. Source : Rhône-Thur Projekt, Eawag, 2005.



*N.B. : Le coefficient moyen de Pardé du mois *i* est égal au rapport du débit mensuel moyen du mois *i* au débit annuel moyen (module).*

⁴ Source : Canton de Genève

⁵ idem

Il est à noter cependant que cette moyenne ne traduit pas la variabilité interannuelle de l'influence des retenues suisses. En effet, la gestion des barrages suisses a évolué ces dernières années, en lien avec les économies énergétiques et l'apparition de nouvelles sources d'énergie renouvelables notamment⁶.

LE LAC LÉMAN RÉGULÉ PAR LE SEUJET

Le **barrage du Seujet assure la régulation du Lac Léman**. Sa régulation annuelle répond avant tout à un objectif d'écrêtement de l'onde nivale et donc de d'évitement des crues. A l'échelle horaire, les débits sortants du barrage du Seujet sont régulés dans un objectif de production hydroélectrique.

La régulation du Léman a débuté en 1884, grâce au Pont de Machine. Le barrage de Seujet a remplacé cet ouvrage en 1994, permettant notamment une régulation plus fine du lac.

Comme déjà décrit en phase 1 (voir la fiche sur le Rhône alpestre), le lac Léman tel qu'il est régulé actuellement induit des fluctuations des débits du Rhône à l'échelle horaire, journalière, hebdomadaire et mensuelle.

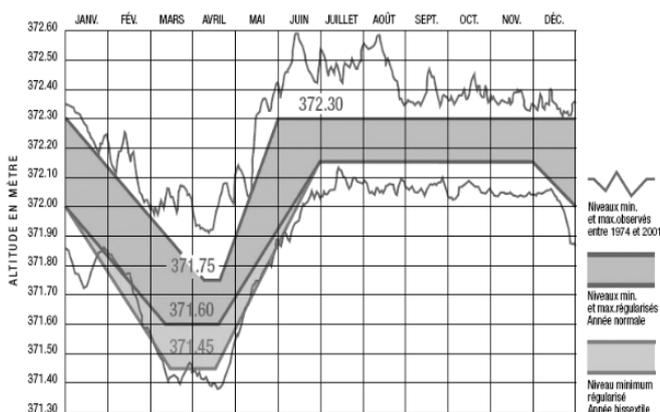
A l'échelle mensuelle, selon la courbe de consigne, le niveau du lac Léman est abaissé progressivement de janvier à avril d'environ 70 cm, afin de préparer le stockage printanier de l'onde de fonte et d'écrêter les crues. La cote du lac est rehaussée au cours de mai-juin et reste relativement stable de juillet à décembre. La variation de volume à l'échelle annuelle du lac est de l'ordre de 350 à 500 Mm³/an.

En conséquence, si l'on compare le total des apports au lac (Rhône et autres apports) et les débits sortants du lac (voir Figure 10-B), on peut considérer que le lac Léman, tel qu'il est régulé actuellement :

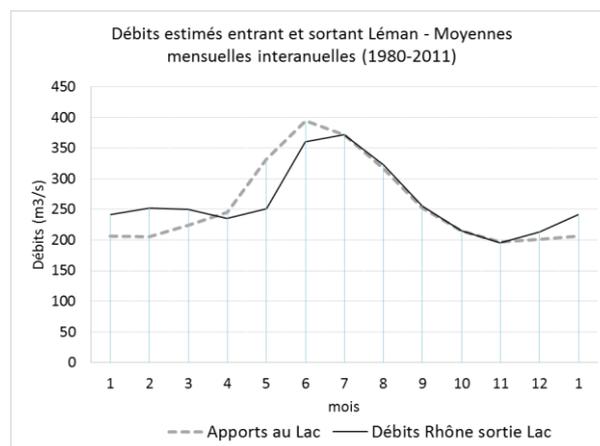
- ▶ soutient des débits de novembre à mars (apport net moyen de 10 à 50 m³/s selon les mois) ;
- ▶ abaisse les débits de avril à juin (stockage assimilable à un abaissement moyen des débits de 10 à 75 m³/s selon les mois) ;
- ▶ est relativement neutre de juillet à novembre.

Figure 10 : A/ Rappel de la consigne de la cote du Léman ; B/ Estimation des débits mensuels entrants et sortants du Léman (moyenne 1980-2011)

A/



B/



Il est à noter que cette « influence » décrit l'écart entre débits entrants et sortants, autrement dit, c'est l'effet du lac régulé par rapport à une situation fictive sans lac ou d'un lac de niveau constant.

⁶ Source : OFEV, Division hydrologie, entretien.

Il ne s'agit pas de l'influence de l'anthropisation du Léman sur les débits du Rhône. En effet, pour connaître l'influence anthropique seule, il faudrait pouvoir comparer cette régulation actuelle du niveau du lac avec l'état « naturel » du lac, c'est-à-dire la variation du niveau du lac telle qu'elle serait sans aménagement anthropique et sans barrage. Cet état « naturel » n'est cependant pas connu ni estimé à ce jour.

En effet, l'anthropisation du lac et la modification du débit évacuable en sortie du Léman est très ancienne, et débute au XVIII^e siècle. A noter notamment, au XIX^e siècle, l'obturation de la sortie du Léman par les travaux genevois ayant conduit à une remontée du niveau du Lac et au procès de 1880. En outre, cet état « naturel » n'est pas nécessairement stationnaire : d'autres causes peuvent venir le modifier (transport solide de l'Arve, conditions climatiques changeantes, etc.).

En conséquence, l'influence de la régulation du Léman sur les débits du Rhône reste difficile à appréhender actuellement, dans l'état des travaux existants.

PRISE EN COMPTE DANS LA SUITE DE L'ETUDE

Le cadre de la présente étude ne permet pas de construire des séries chronologiques de l'influence anthropique associée aux ouvrages suisses ; aussi ces influences ne seront pas intégrées dans le « désinfluencement des débits » de la phase 2. En revanche, la question du levier associé à ces ouvrages sera abordée plus avant en phase 6 de l'étude.

