

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



**PHASE 1 - CARACTERISATION DU TERRITOIRE DU FLEUVE RHONE
ET BILAN DES INFLUENCES ANTHROPIQUES PASSEES, ACTUELLES
ET FUTURES POSSIBLES**

*Document E - Fiche de synthèse sur l'hydrologie du Rhône
alpestre et l'influence des ouvrages hydrauliques suisses*



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 | décembre 2012 |
| Contact | Sébastien Chazot <u>sebastien.chazot@brl.fr</u> |

| | |
|-------------------------|---|
| Titre du document | Phase 1 – Document E : Fiche de synthèse sur « Hydrologie du Rhône alpestre à l'étiage et influence de la gestion du Lac Léman » |
| Référence du document : | 800420_Ph1_E_Fiche_Rhone_Alpestre |
| Indice : | VF |

| Date émission | Indice | Observation | Dressé par | Vérifié et Validé par |
|---------------|--------|-------------|--|-----------------------|
| 11 déc 2012 | 1.0 | | Marion Mahé, Mathilde Chauveau, Sébastien Chazot | S. Chazot |
| 05 févr 2013 | 2.0 | | | |
| 12 avril 2013 | 3.0 | | | |
| Octobre 2014 | VFb | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

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

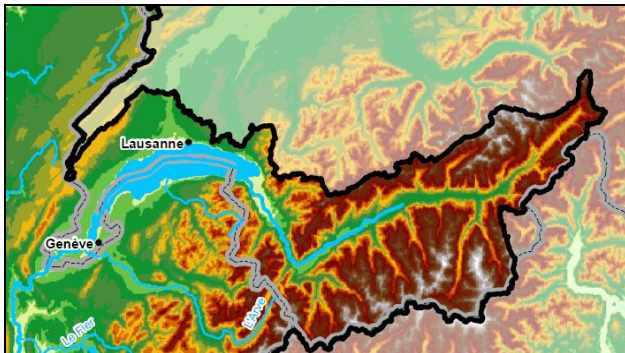
Phase 1 – Document E : Fiche de synthèse sur l’Hydrologie du Rhône alpestre à l’été et l’influence de la gestion du Lac Léman

Le Rhône à Pougny, à la frontière franco-suisse, est un fleuve de régime nival-glaciaire, drainant un bassin versant de 10 300 km², soit 10 % du bassin versant total du Rhône. Sa contribution au débit à Beaucaire (station hydrométrique la plus aval du Rhône) est de 20 % en moyenne annuelle, mais de 43 % en août. **Le Rhône alpestre constitue donc un apport quantitatif majeur aux débits estivaux du Rhône.**

Le Rhône alpestre, de sa source au Léman, est un torrent qui parcourt 165 km dans une vallée encaissée entre les Alpes Bernoises au Nord et les Alpes Pennines du Valais. Son bassin versant par son relief élevé est accidenté. Plus de la moitié de la surface drainée se situe au-dessus de 2 100 m d’altitude. La pente moyenne du cours d’eau est forte (0,9 %).

Figure 1 : Géographie du Rhône alpestre

a/ Carte physique du bassin du Rhône alpestre



b/ Stations hydrométriques sur le Rhône à l’aval du Léman



L’hydrologie du Rhône alpestre est notablement influencée :

- ▶ par les ouvrages hydroélectriques situés à l’amont du Léman ;
- ▶ par le lac Léman lui-même, régulé par le barrage du Seujet.

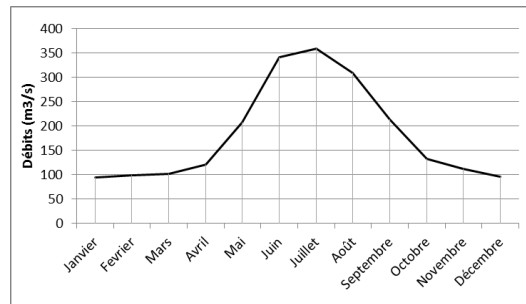
La suite du document explicite l’hydrologie du Rhône alpestre à l’amont et à l’aval du Léman ainsi que les principales influences anthropiques qui s’exercent sur ces débits. La question de la coordination amont-aval des débits est également discutée.

1. L'HYDROLOGIE INFLUENCEE DU RHONE ALPESTRE

1.1 LE RHONE A L'AMONT DU LEMAN

Le Rhône à l'amont du Léman, fortement marqué par les glaciers alpins, présente un régime glaciaire avec des apports maximaux pendant les mois de juin, juillet et août.

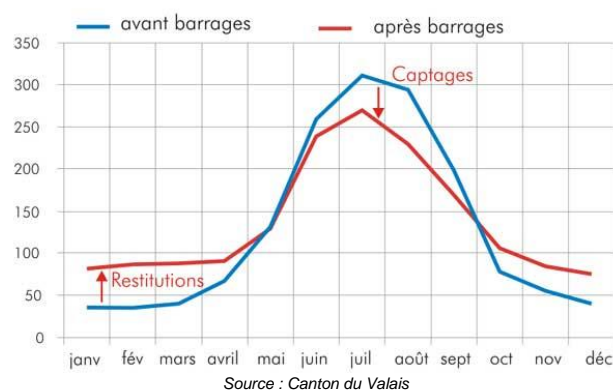
Figure 2 : Débits moyens mesurés à Porte de Scex (Amont Léman) m^3/s [1935-2008] (Source : Annuaire hydrologique de la Suisse ; OFEV ; mise en forme BRLi).



A l'amont du Léman, le bassin est **fortement aménagé par les ouvrages hydroélectriques** : quelques ouvrages hydroélectriques au fil de l'eau sont présents sur le Rhône amont (Ernen, Mörel, Massaboden, Chippis, Lavey), et surtout de **nombreux ouvrages de stockage** sont présents sur les affluents du Rhône alpestre (notamment Grande Dixence, Emosson, Mauvoisin, etc.).

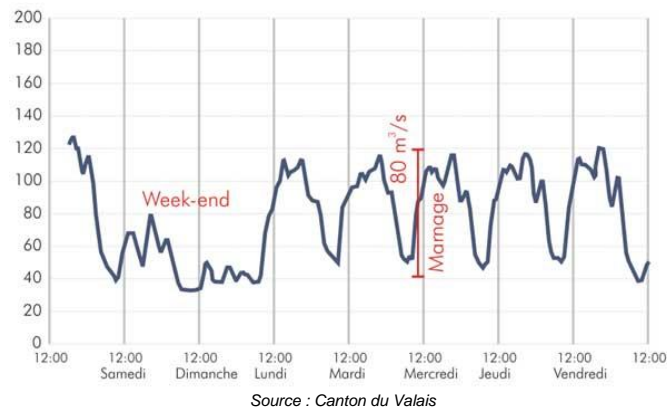
Ces retenues hydroélectriques, situées dans le Valais principalement, **stockent une part des débits de fontes des cours d'eau en été**. La somme de ces stockages représente de l'ordre d'un milliard de mètres cubes sur l'été. Le mois de plus fort stockage est le mois de **juillet**, pendant lequel l'équivalent de **100-120 m^3/s** environ sont stockés. Ces volumes sont déstockés le reste de l'année. **Ainsi, ces ouvrages de stockage ont pour effet de diminuer les débits mensuels estivaux du Rhône alpestre et de soutenir les débits hivernaux.**

Figure 3 : Débits mensuels du Rhône à Branson (Suisse, 30 km à l'amont du Léman)



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

Figure 4 : Débits horaires du Rhône à Branson en hiver (Suisse, 30 km à l'amont du Léman)



1.2 LE LAC LEMAN ET LE RHONE A GENEVE

Le Lac Léman est alimenté par le Rhône amont et par de nombreux affluents. Parmi les autres affluents du lac, les plus importants sont la Dranse, la Venoge et l'Aubonne. Ils n'ont pas de surface glaciaire et leurs apports maximaux ont lieu en hiver ou au printemps. **Les apports cumulés de ces trois affluents et du Rhône amont représentent 85 % des apports d'eau du Léman. Les précipitations directes à la surface du lac contribuent à environ 8 % des apports annuels. Notons que lors de certaines journées estivales particulièrement chaudes, l'évaporation à la surface du lac peut atteindre plusieurs dizaines de mètres cubes par seconde pendant plusieurs heures¹.**

Les débits du Rhône à Genève, à l'aval immédiat du Lac Léman, sont la résultantes de ces différents apports et de la gestion du barrage du Seujet, qui régule le niveau du lac Léman.

-LA REGULATION DU LAC LEMAN

Le lac Léman, d'une superficie de 582 km² et d'un volume de 89 milliards de m³, est régularisé depuis 1884, d'abord avec la construction du Pont de Machine, puis avec la mise en service, en 1994, du barrage de Seujet situé à Genève. **L'objectif premier est de diminuer les risques de crues. Il s'agit d'abaisser la cote du Léman au début du printemps afin de stocker sans dommage la crue de fonte estivale**, dont les débits dépassent souvent la capacité d'évacuation du Rhône à Genève égale à 560 m³/s au niveau du barrage du Seujet.

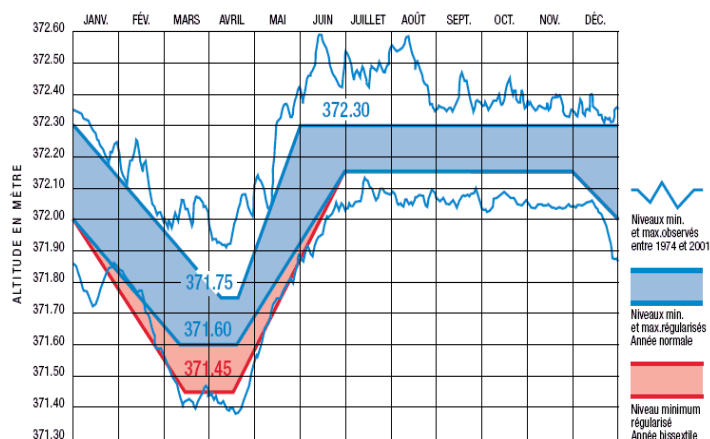
Le processus de régulation du lac est encadré essentiellement par des textes suisses (dont la France n'est donc pas signataire) :

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

¹ Une évaporation de 5mm/j à la surface du lac représente un débit fictif continu de 34 m³/s sur 24h.

Ce règlement et ces modalités aboutissent à la courbe de consigne de régularisation du Léman, représentée ci-après. Le marnage maximal annuel du lac représente un volume de 500 millions de m³.

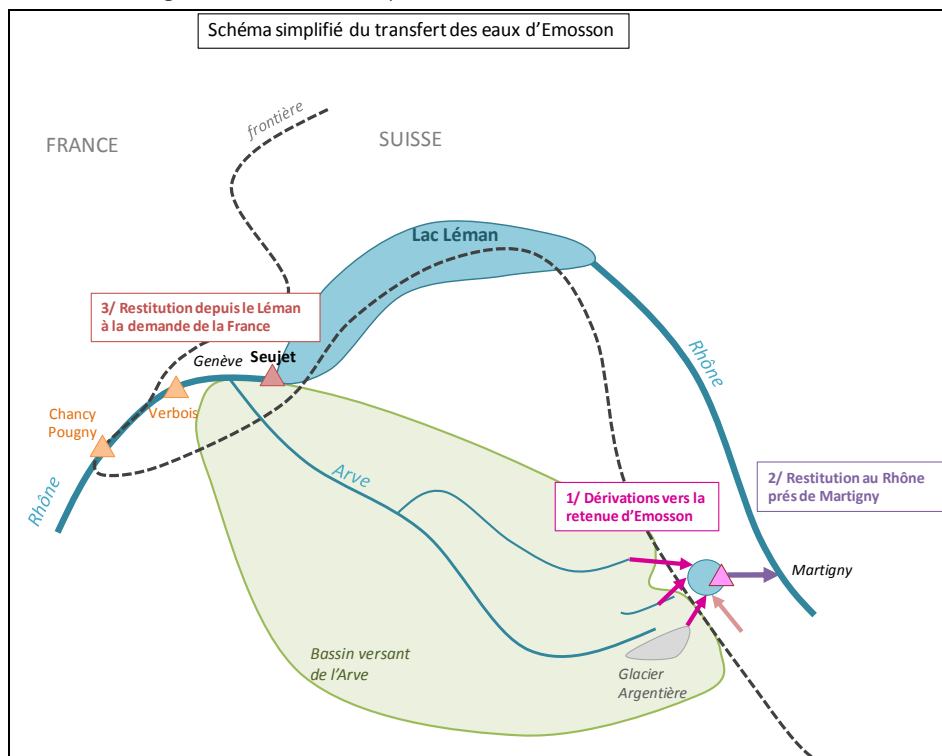
Figure 5 : Régularisation du Lac Léman. Années normale et bissextile



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

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

Figure 6 : Schéma simplifié du transfert des eaux d'Emosson



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

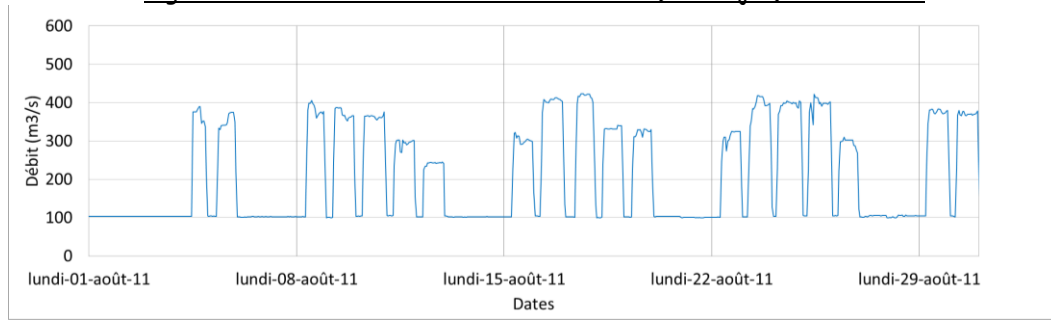
Compte tenu des règles de régularisation du lac, le volume sur lequel les SIG peuvent jouer pour la gestion du Seujet peut être estimé à 30 à 45 millions de m³ selon la période de l'année.

LES EFFETS DU LAC SUR L'HYDROLOGIE DU RHONE

Le régularisation de lac Léman par le barrage du Seujet influence l'hydrologie du Rhône à Genève, à différentes échelles de temps.

A l'échelle horaire : Le barrage du Seujet permet de réguler la hauteur du Léman à l'échelle de l'heure, afin d'optimiser la production hydroélectrique. En diminuant la hauteur du Lac d'1 cm en 4 heures, on augmente les débits sortants de 200 m³/s. La figure ci-après représente les débits horaires à Pougny et met en évidence cette modulation. Les fluctuations dépendent des débits et des jours de la semaine ; on rencontre fréquemment des fluctuations de l'ordre de 300-350 m³/s.

Figure 7 : Débits horaires du Rhône à Genève (au Seujet) - Aout 2011.



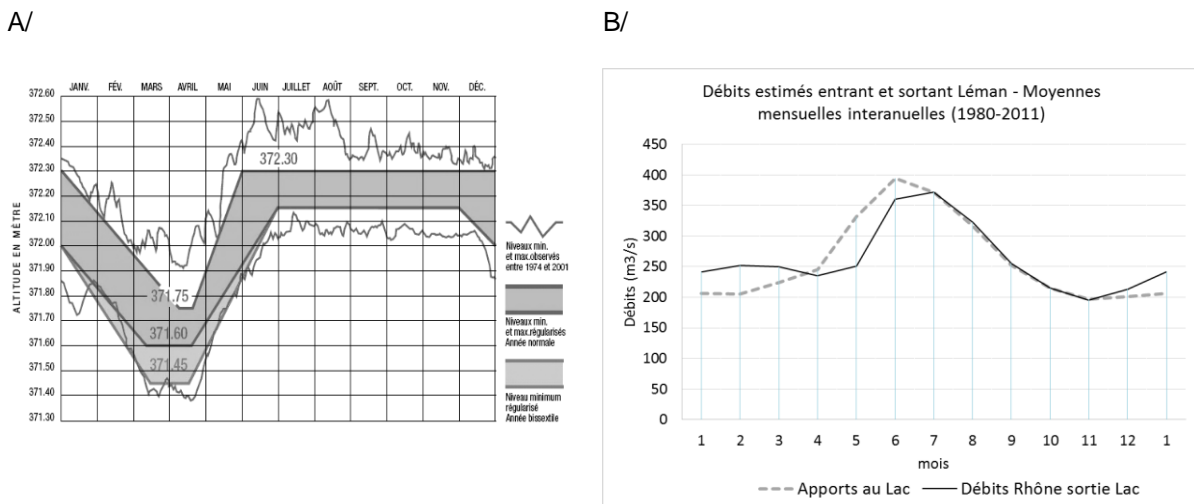
A l'échelle hebdomadaire : Comme le montre l'hydrogramme précédent, les débits du Rhône à Genève sont plus faibles le week-end que le reste de la semaine. Ceci est la résultante de la gestion des ouvrages de stockage du Valais et du Léman, qui suit la consommation électrique.

A l'échelle mensuelle : En application des textes présentés précédemment, à l'échelle des mois, 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 et les débits sortants du lac (voir Figure 8-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 8 : A/ Rappel de la consigne de la cote du Léman ; B/ Estimation des débits mensuels entrants et sortants du Léman (moyenne 1980-2011)



En outre, on montre que **l'effet des ouvrages valaisans se combine avec l'effet du Lac Léman** : les débits du Rhône à Genève sont la résultante de ces deux influences combinées.

En conclusion, le **Rhône à Genève** est marqué par un **régime hydrologique glacio-nival plus lissé** que le Rhône à l'amont du lac, avec **des débits moyens mensuels maximum en juin-juillet, de l'ordre de 350-360 m³/s, et un module de l'ordre de 245 m³/s.**

- ▶ A l'échelle mensuelle, les débits du Rhône à Genève sont influencés par les ouvrages valaisans (stockage de juin à septembre ; déstockage l'hiver) et le Léman (stockage en mai-juin ; déstockage l'hiver).
- ▶ En outre, les débits horaires, journaliers et hebdomadaires du Rhône à Genève sont fortement modulés par le barrage du lac Léman (Seujet).

1.3 LE RHONE A POUAGNY

A l'aval immédiat de Genève, le Rhône reçoit les **apports de l'Arve**. Cet affluent est soumis à un régime nival-glaciaire, avec des **apports annuels moyens proches de 80 m³/s** et des apports maximaux qui ont lieu aux mois de mai, juin et juillet, **avec un débit moyen de 130 m³/s au mois de juin**. Bien que n'alimentant pas le lac Léman, **l'Arve influence d'une façon importante la régularisation en créant à sa jonction avec le Rhône un barrage hydraulique qui limite, lors de crues, les débits évacuables du Léman**.

Entre la confluence avec l'Arve et la station hydrométrique de Pougny, le Rhône ne reçoit pas d'apport hydrologique complémentaire important. Deux barrages sur le Rhône sont présents à l'aval du Seujet :

- ▶ **Le barrage de Verbois** (21 m de chute), exploité par les SIG, qui assure la plus grande part de la production électrique de Genève ; il constitue à la fois l'aménagement clef en terme de production et l'ouvrage auquel les autres sont subordonnés ;
- ▶ **Le barrage de Chancy-Pougny** (10 m de chute), exploité par la Société des forces motrices de Chancy-Pougny (SFMCP), dont les parts du capital-actions sont partagées entre les SIG (72 %) et la CNR, pour la production électrique.

Les SIG gèrent les ouvrages afin de respecter les réglementations relatives à leurs concessions cantonales, lesquelles fixent notamment les débits résiduels, et afin d'optimiser la production hydroélectrique. Pour le Verbois, le débit minimum est de 60 m³/s.

Les ouvrages de Verbois et de Chancy Pougny sont des ouvrages au fil de l'eau : ils n'ont **pas de volume de stockage** et il n'y a pas de modulation amont. La gestion des ouvrages de Verbois et de Chancy-Pougny fonctionne de manière quasi-identique, avec quelques minutes de décalage entre les deux ouvrages. Ces barrages n'ont pas de contrainte d'exploitation forte ; ils peuvent s'adapter à quasiment tous les débits supérieurs à 60 m³/s.

Le futur barrage de Conflan, actuellement en projet, constituera un troisième ouvrage au fil de l'eau d'une hauteur de chute de 6 m. Il aura une gestion équivalente à celle de Verbois et Chancy-Pougny. Son seul impact sera donc d'ordre environnemental.

Figure 9 : Stations hydrométriques et barrages à l'aval du Léman



En conséquence, les débits mesurés à Pougny sont la somme des débits à Genève et des apports de l'Arve. Les hydrogrammes ci-après représentent les débits horaires en août 2011 et les débits moyens mensuels interannuels du Rhône à Pougny. Les plus hauts débits moyens mensuels sont atteints en juin-juillet, et sont l'ordre de 450 m³/s ; le module à Pougny est de 340 m³/s.

Figure 10 : Débits horaires du Rhône à Genève (Seujet) et à Pougny - Aout 2011

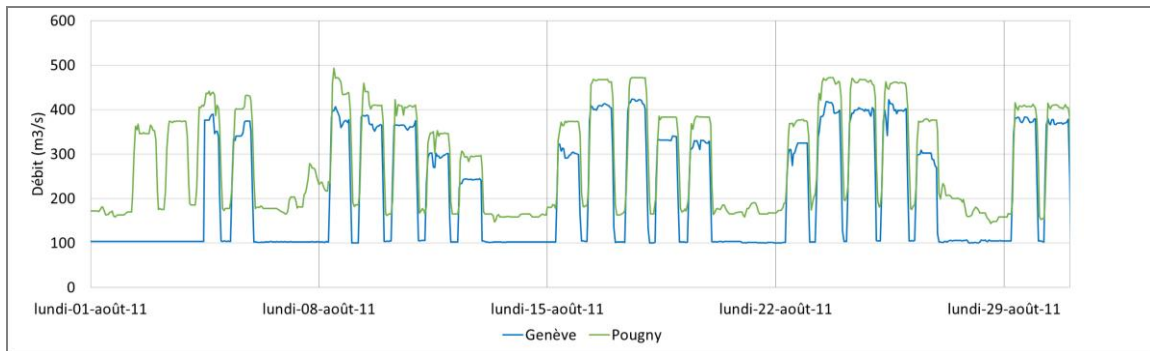
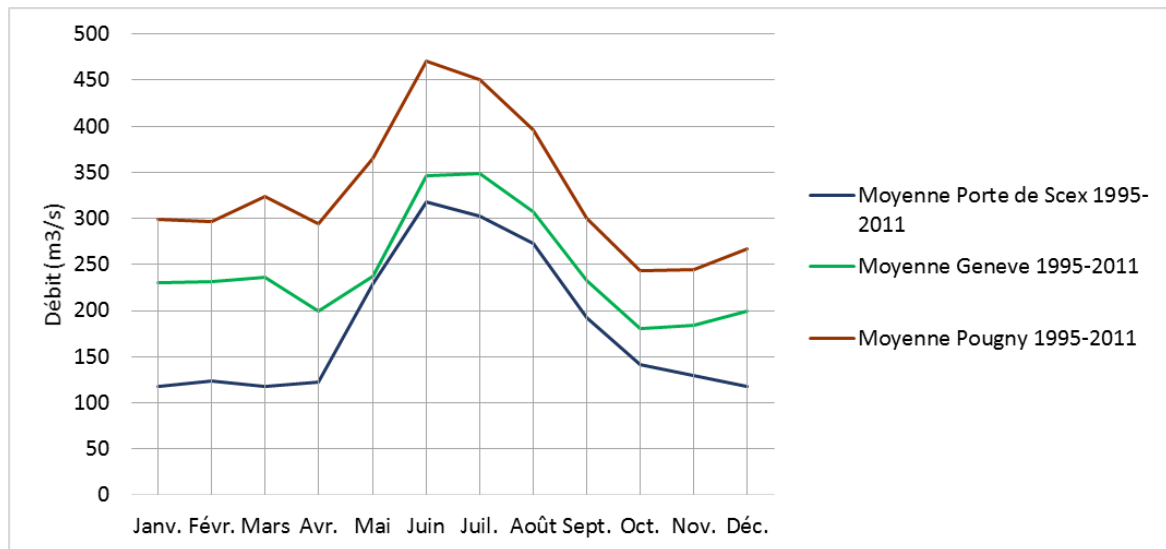


Figure 11 : Débits moyens mensuels interannuels [1995-2011] des débits à Porte de Scex (amont Léman) ; à Genève (aval Léman) et à Pougny (aval confluence Arve).



2. QUELLE COORDINATION AMONT-AVAL DES DEBITS ?

DU VALAIS A GENEVE

Il n'y a pas de coordination identifiée entre les gestionnaires des retenues valaisannes sur le bassin du Rhône d'une part, et le canton de Genève et les SIG d'autre part. Genève et les SIG sont tenus de gérer le Léman et le Rhône genevois et d'anticiper les crues, compte tenu des débits reçus de l'amont, sans solliciter les gestionnaires valaisans.

DE GENEVE (GENEVE, SIG) A LA FRANCE (EDF, CNR, DREAL)

- ▶ Les SIG transmettent leurs programmes de production à la CNR qui assure le relais d'information vis-à-vis d'EDF et de l'Etat, ce qui permet aux gestionnaires français de mieux anticiper les apports d'eau et de faire les demandes éventuelles de restitutions des eaux de l'Arve ;
- ▶ La CNR est substituée à EDF comme interlocuteur des SIG pour exprimer la demande française et suivre le stock disponible. L'utilisation des eaux de l'Arve demeure toutefois actuellement prioritaire pour le fonctionnement des CNPE d'EDF, sous le contrôle des autorités françaises compétentes qui pourront y faire appel en cas d'urgence pour des besoins autres que ceux relatifs aux CNPE ;
- ▶ Si la CNR dispose d'assez d'eau, elle peut décider de différer la demande d'EDF et de l'approvisionner directement ;
- ▶ La seule procédure formalisée entre les gestionnaires français et les SIG est la restitution des eaux de l'Arve, à travers la convention d'Emosson et les « mesures d'exécution 2000 ».

En dehors de ces échanges, il n'y a pas de gouvernance transfrontalière formalisée. En particulier, aucun cadre institutionnel n'existe pour une coordination transfrontalière entre les acteurs publics.

QUELS SONT LES LEVIERS SUR LA RESSOURCE EN EAU ?

Actuellement, l'unique levier formalisé à travers la régulation du Léman, pour la gestion de la ressource en eau en France, est la restitution des eaux de l'Arve déviées dans Emosson, prévue par la convention dite d'Emosson et les « modalités d'application 2000 ».

L'expérience de 2011 (voir ci-dessous) a montré qu'il avait été possible, de façon informelle et réactive, de mettre en œuvre une coopération franco-suisse ponctuelle impliquant une modification du programme du Léman, afin d'assurer la sûreté de la centrale de Bugey.

Aucun cadre de coordination n'est cependant prévu et la France n'est pas signataire de la convention intercantonale du Léman. On peut donc questionner les capacités d'adaptation d'arrangements transfrontaliers en l'absence de coordination existante, dans des conditions où les tensions sur la ressource en eau pourraient s'accroître.

L'EPISODE DE 2011

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

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

Lors de cet épisode de tension on a pu constater que la coopération franco-suisse peut être suffisamment réactive en cas de crise, bien qu'il n'existe pas, à l'exception de l'accord d'Emosson, de cadre formel qui établisse les accords ou les procédures internationales pour la gestion des eaux du Léman.

Figure 12 : Débits horaires à Genève et Pougny en 2011. Baisse momentanée des débits sortant du Léman à 50m³/s en mai 2011 suite à la dérogation du canton de Genève, puis remontée à 100m³/s suite à l'accord avec la France.

