



Internationale Kommission zum Schutz des Rheins
Commission Internationale pour la Protection du Rhin
Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn

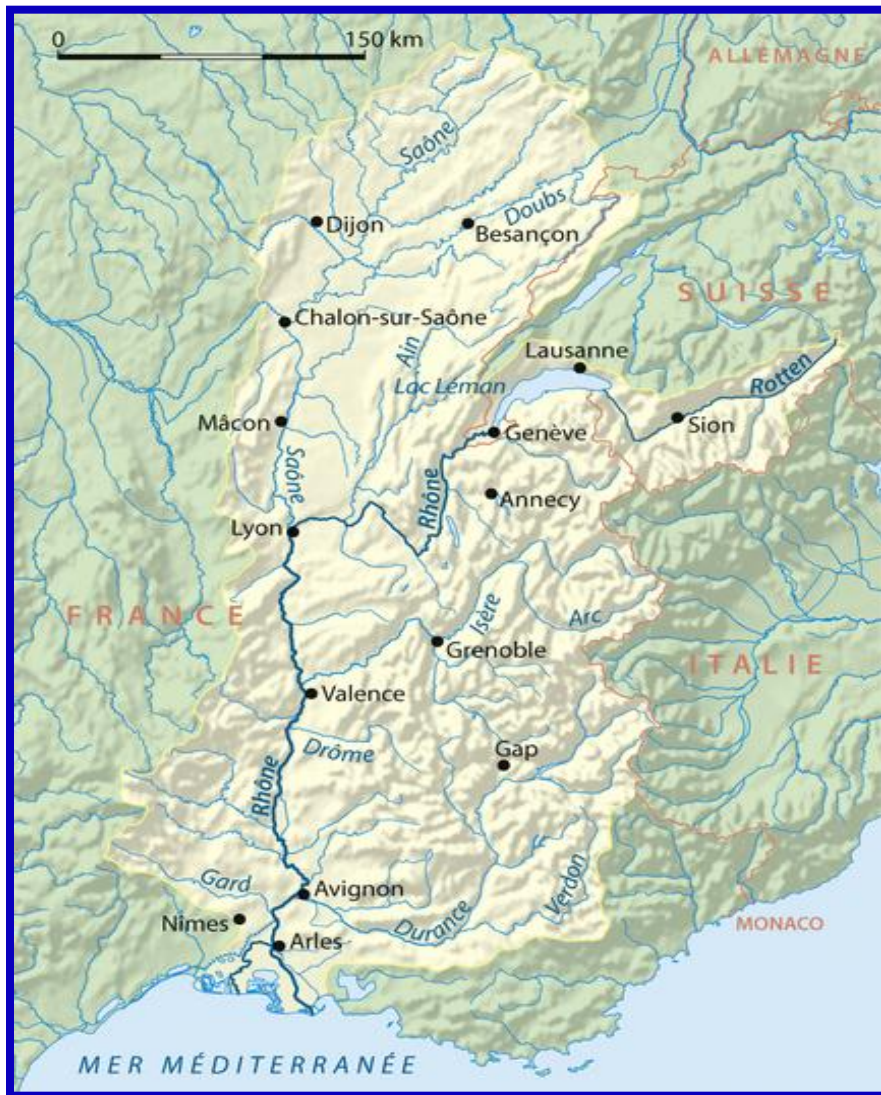
**Atelier « Impacts du changement climatique
sur le bassin du Rhin »**

30-31 janvier 2013, BMU, Bonn

**Hydrologie et Thermique du Rhône
Evolution actuelle et future**

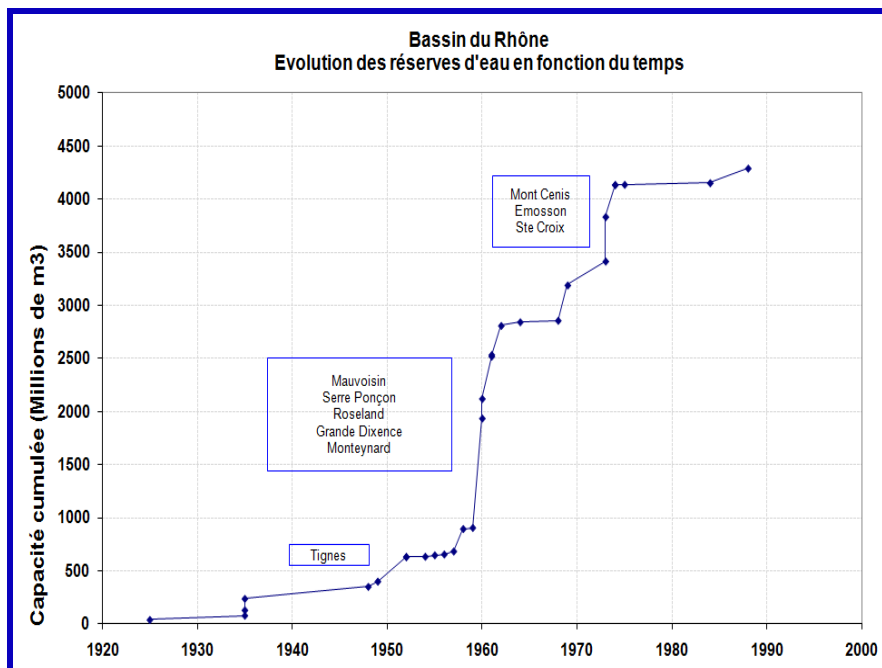
Patrick TOURASSE, EDF

LE BASSIN DU RHÔNE

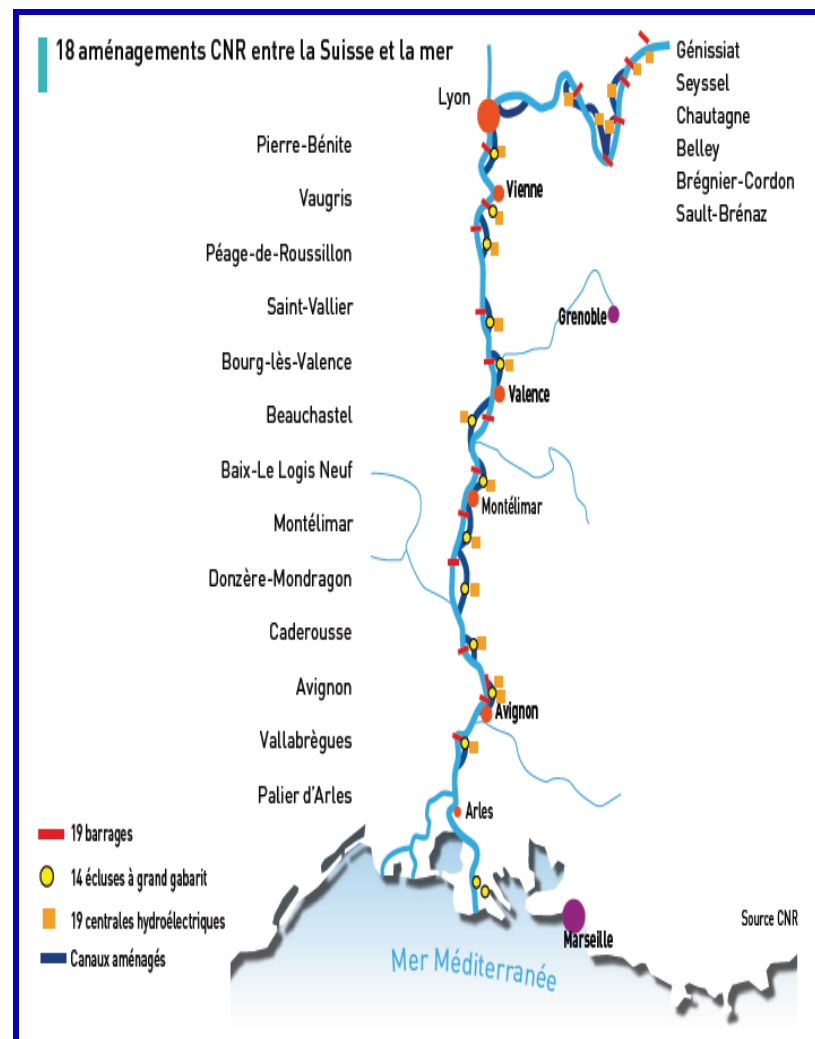


- ✿ **Longueur** : 765 km
- ✿ **Surface BV** : 96 500 km² dont 3560 km² en amont du Léman
- ✿ **Source du Rhône** : Glacier de la Furka (1753m) en Suisse
- ✿ **Affluents majeurs**: l'Ain, la Saône (draine à elle seule 30% du BV total), l'Isère et la Durance
- ✿ **Influences climatiques**: océaniques et méditerranéennes
- ✿ **Le Léman** : un puissant régulateur des débits et de la thermie du fleuve

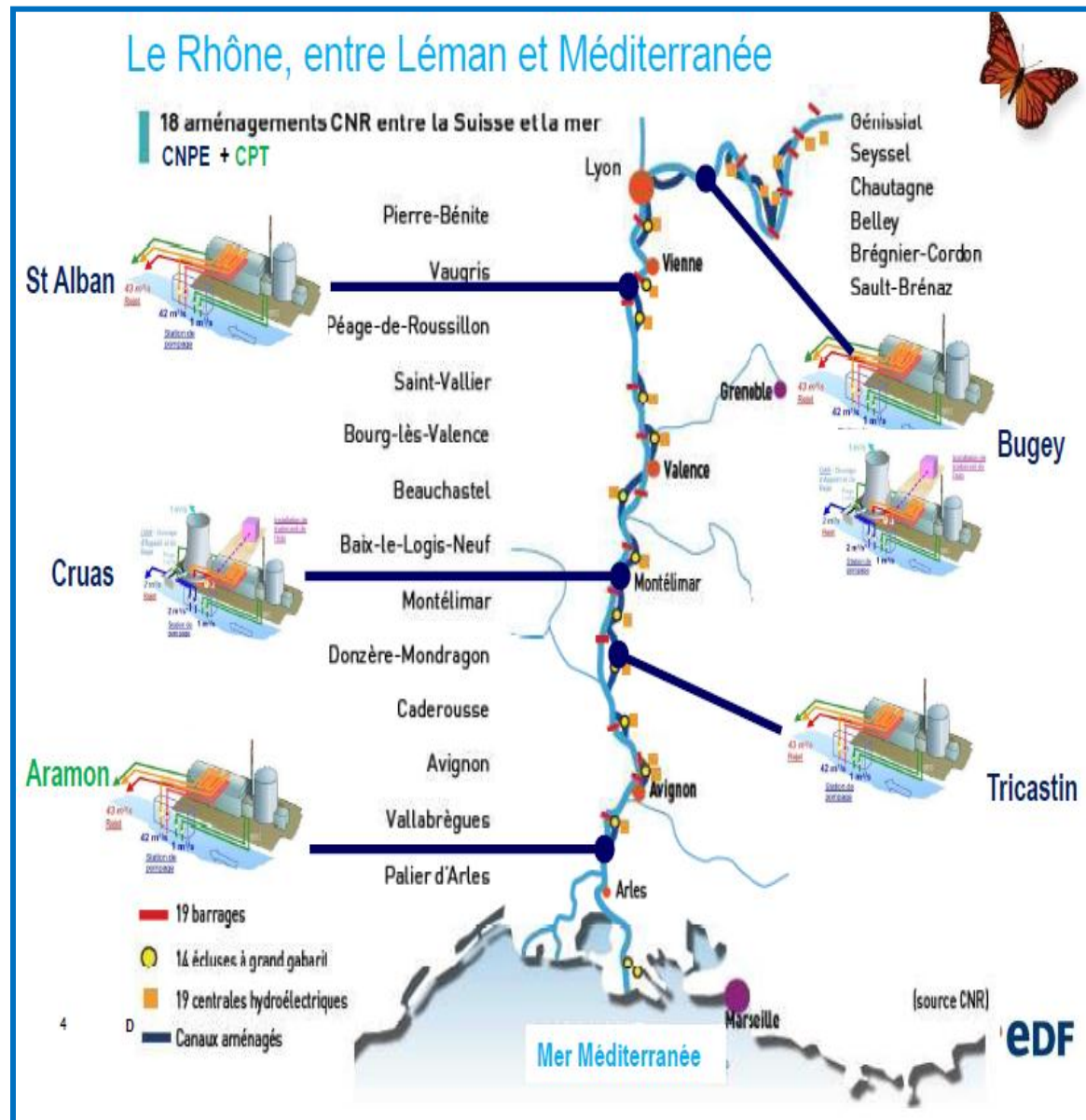
AMÉNAGEMENT HYDROÉLECTRIQUE DU FLEUVE



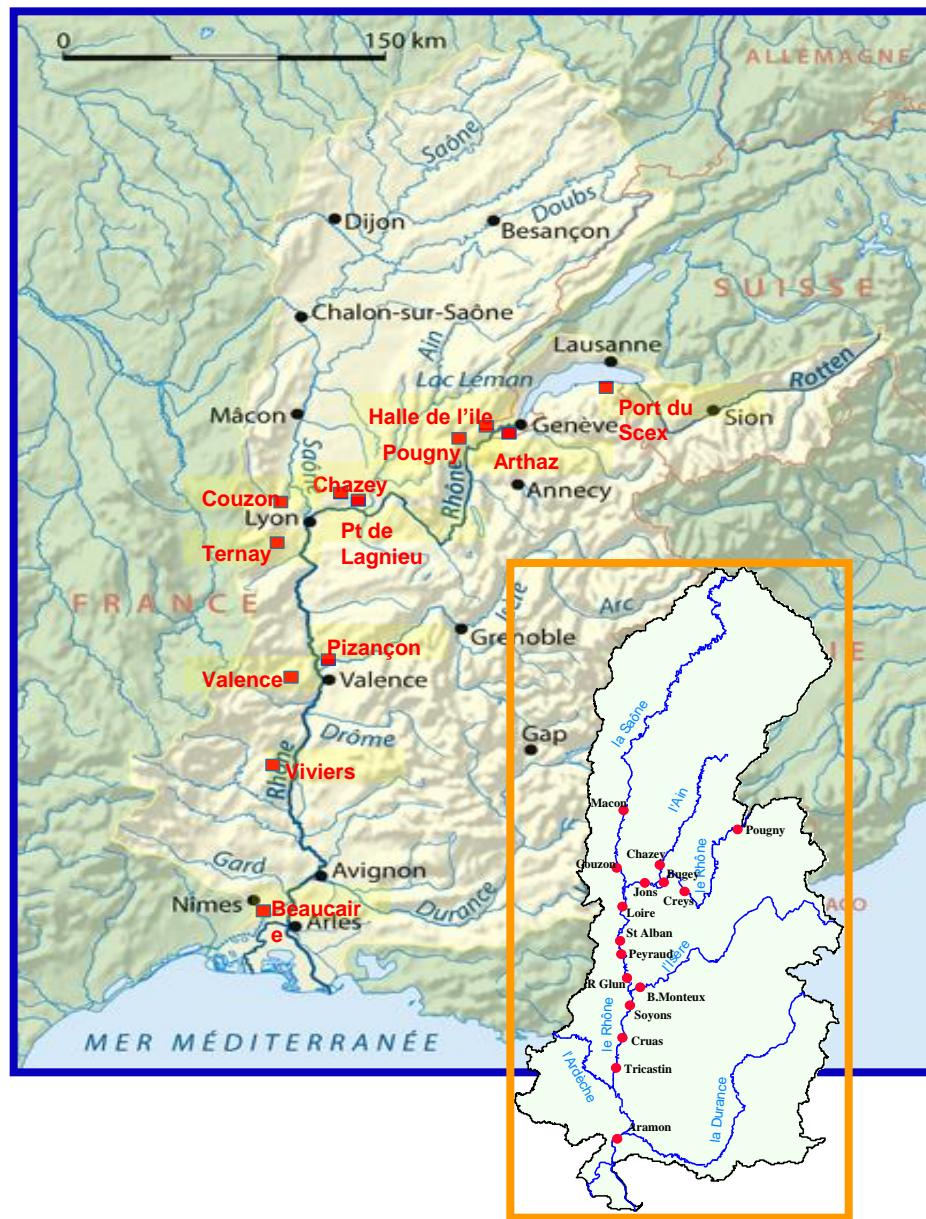
**Plus de 3 Mdm3 mis en service
entre 1958 et 1973**



PRODUCTION THERMIQUE D'ÉLECTRICITÉ



DONNÉES DISPONIBLES



Débits Journaliers depuis 1920

Station	Organisme gestionnaire	Portée
le Rhône à la Porte du Scex (en entrée du Grand Lac)	OFEV	1920-2011
le Rhône en sortie du lac Léman (Halle de l'île)	OFEV	1920-2011
l'Arve à Arthaz (amont confluence)	EDF	1961-2011
le Rhône à Pougny (aval de la confluence avec l'Arve)	OFEV/CNR	1920-2011
le Rhône à Bognes (aval de Génissiat)	CNR	1920-2011
le Rhône à Pont de Lagnieu (amont CNPE de Bugey)	CNR	1920-2011
l'Ain à Pont de Chazey (amont confluence)	DREAL	1959-2011
la Saône à Couzon (amont confluence)	DREAL	1952-1993 puis 2004-2011
le Rhône à Ternay (amont du CNPE de Saint Alban)	CNR	1920-2011
l'Isère à Pizançon (amont confluence)	EDF	1941-2004
le Rhône à Valence	CNR	1920-2011
le Rhône à Viviers (amont CNPE du Tricastin)	CNR	1920-2011
le Rhône à Beaucaire (aval de la confluence avec la Durance)	CNR	1920-2011

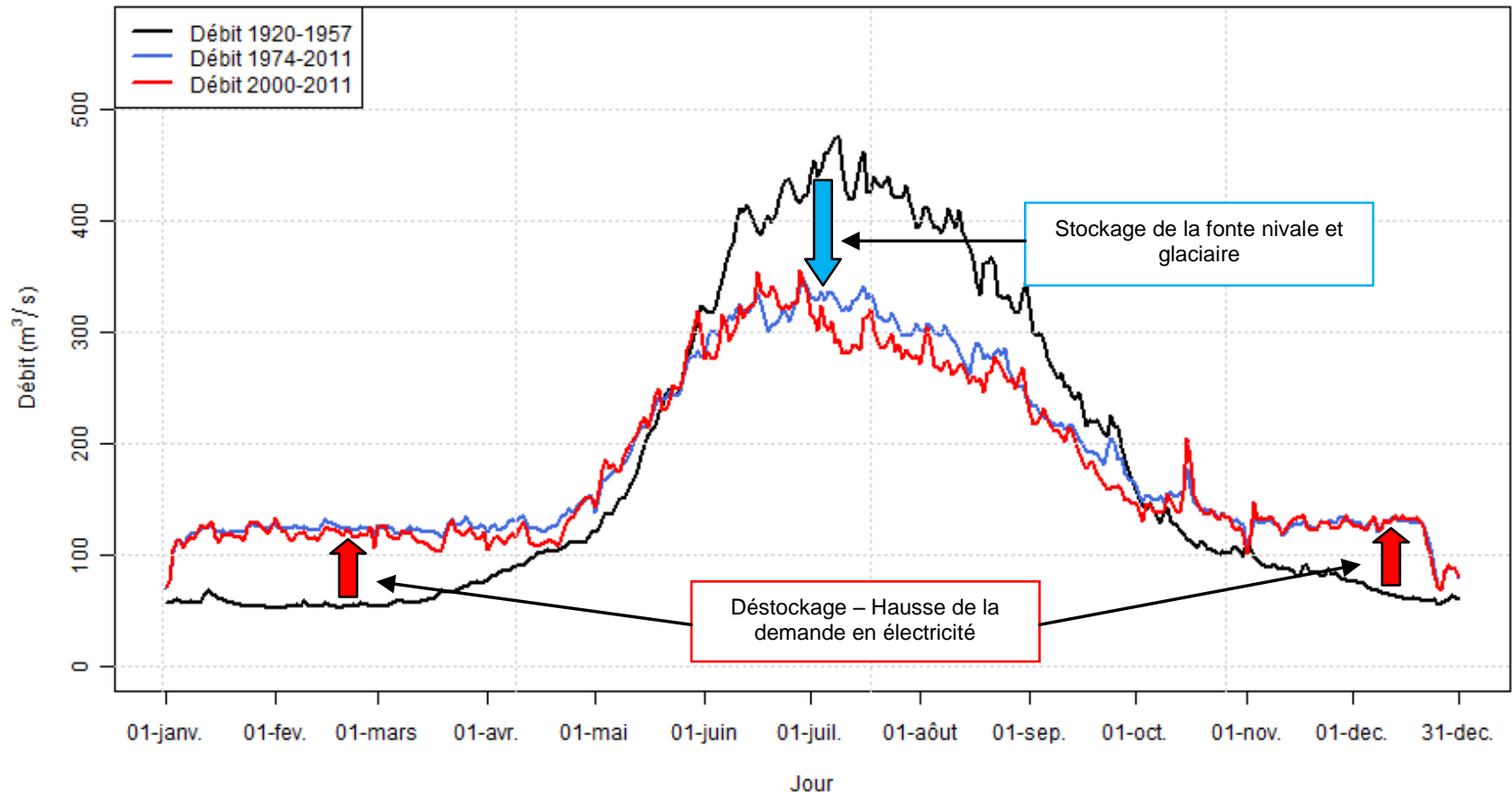
Débits horaires depuis 1991

T_{Eau} horaires depuis 1976

RÉGIME DES DÉBITS

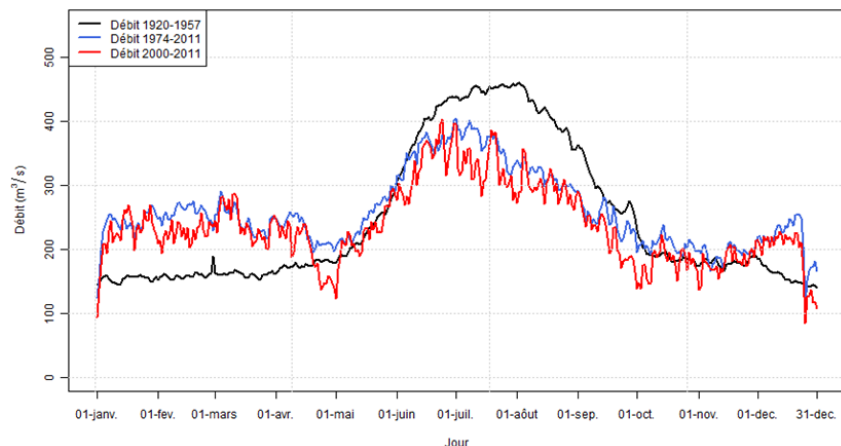
RÉGIME DES DÉBITS - GESTION AMONT LÉMAN

Porte du Scex – 1920 à 2011

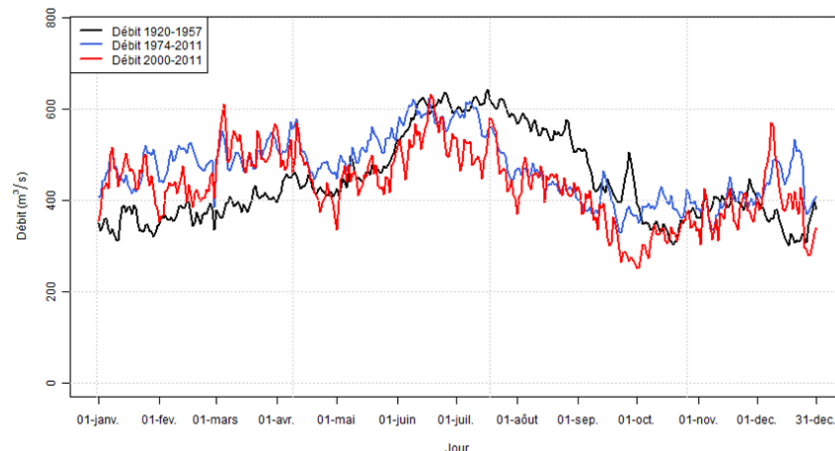


MODIFICATION DU RÉGIME AU COURS DU TEMPS

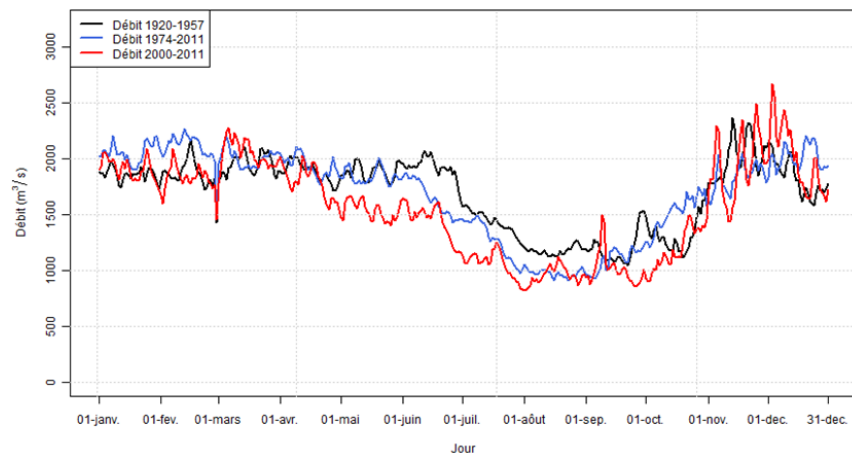
Sortie lac Léman - 1920 à 2011



Lagnieu - 1920 à 2011



Beaucaire - 1920 à 2011

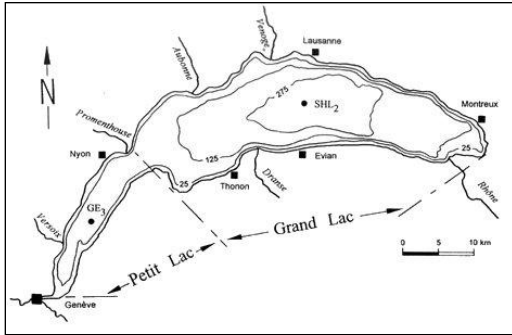


Résultats:

➔ Influence de moins en moins marquée d'amont en aval;

➔ Variabilité des débits plus forte à l'aval du lac après 2000 sur la fin d'année.

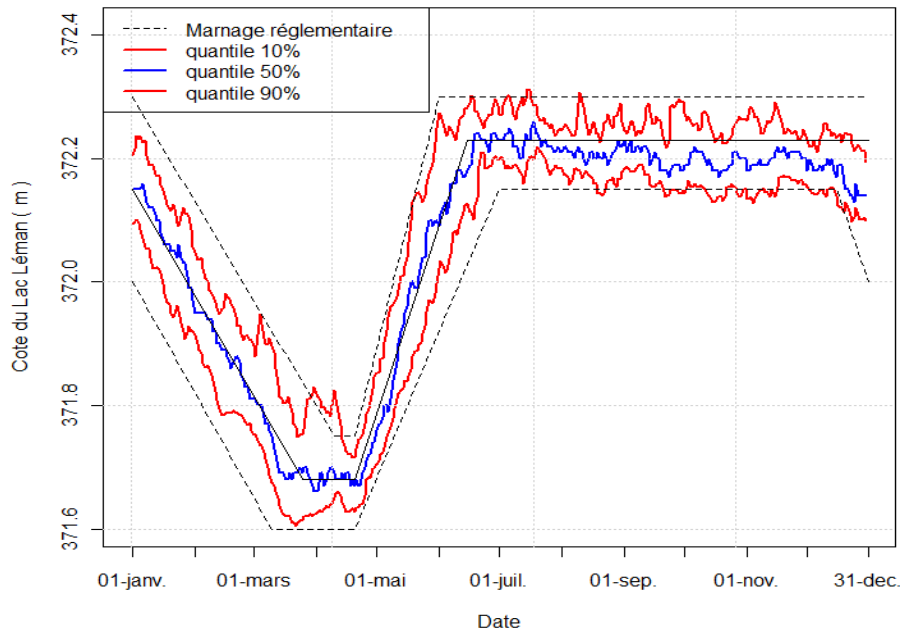
RÉGIME DES DÉBITS - GESTION DU LÉMAN



✿ Accord suisse inter cantonal:

- 100 m³/s du 1^{er} mai au 30 septembre
- 50m³/s du 1^{er} octobre au 30 avril

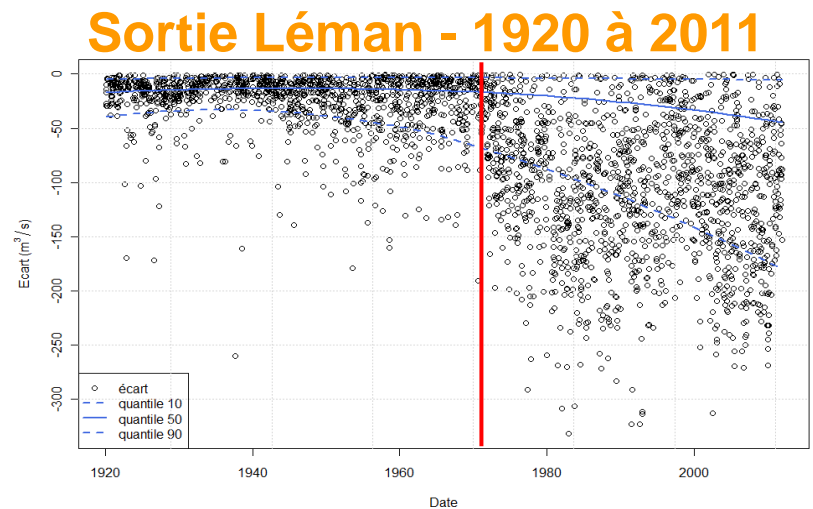
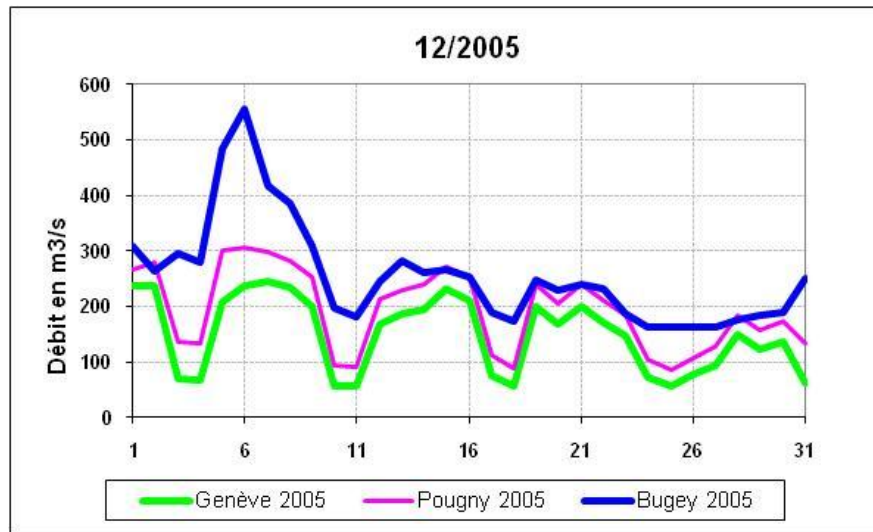
Évolution de la cote du Lac Léman de 1993 à 2011 sans les années bissextiles



✿ **Convention inter cantonale**
« d'Emosson » (23 août 1963)
Les débits de l'Arve (F) détournés vers l'aménagement suisse d'Emosson puis vers le lac Léman sont restitués à la France pour la navigation et surtout le refroidissement normal des centrales nucléaires.

GESTION ÉNERGÉTIQUE HEBDOMADAIRE DU LÉMAN

ÉCARTS NÉGATIFS DE DÉBITS ENTRE LE WEEK-END (S & D) ET LA SEMAINE (L, M, M, J, V) LIÉS À L'ARRÊT DES TURBINAGES LE WE



La production énergétique en amont et en sortie du lac Léman (Turbinage en semaine et arrêt des turbinages le week-end) modifie sensiblement le régime des débits journaliers du Rhône à la sortie du Léman

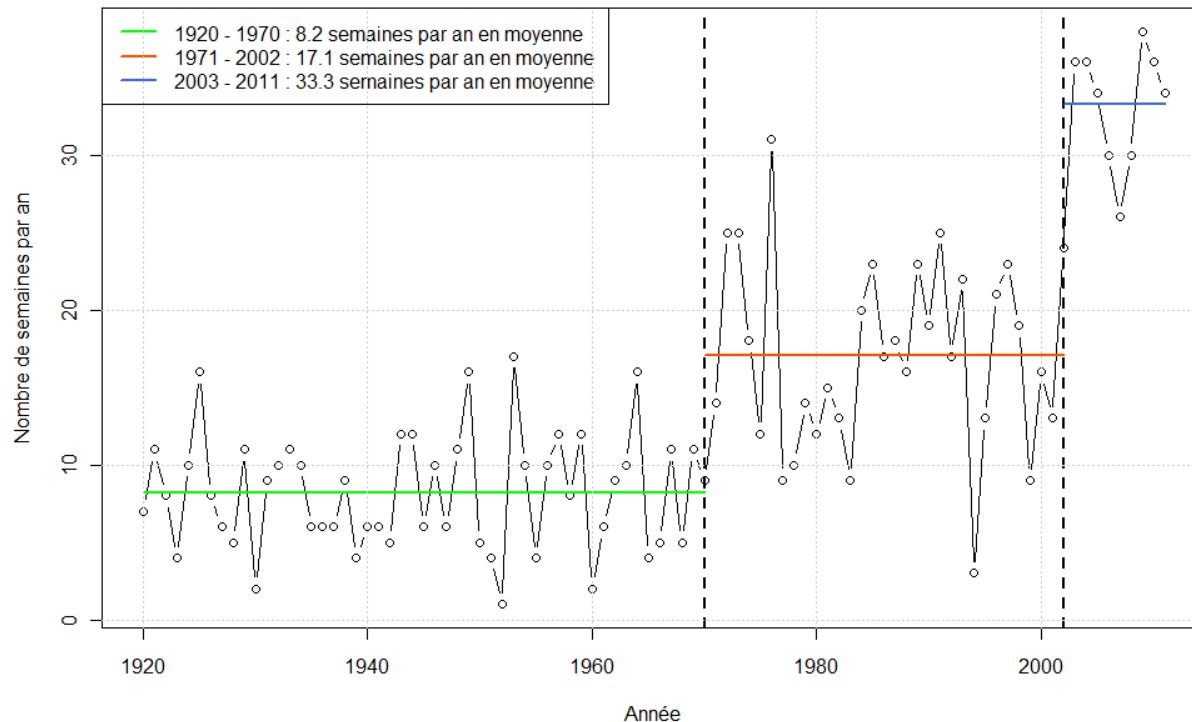
GESTION ÉNERGÉTIQUE HEBDOMADAIRE DU LÉMAN

Condition de sélection des semaines:

✱ $Q_{\min_S_D} \leq 300 \text{ m}^3/\text{s}$ (On élimine ainsi les périodes de moyennes et hautes eaux qui n'ont pas d'intérêt dans la présente analyse) ;

✱ $A = (Q_{\min_S_D}) - (Q_{\min_L_V}) < 0$

Sortie Léman - 1920 à 2011



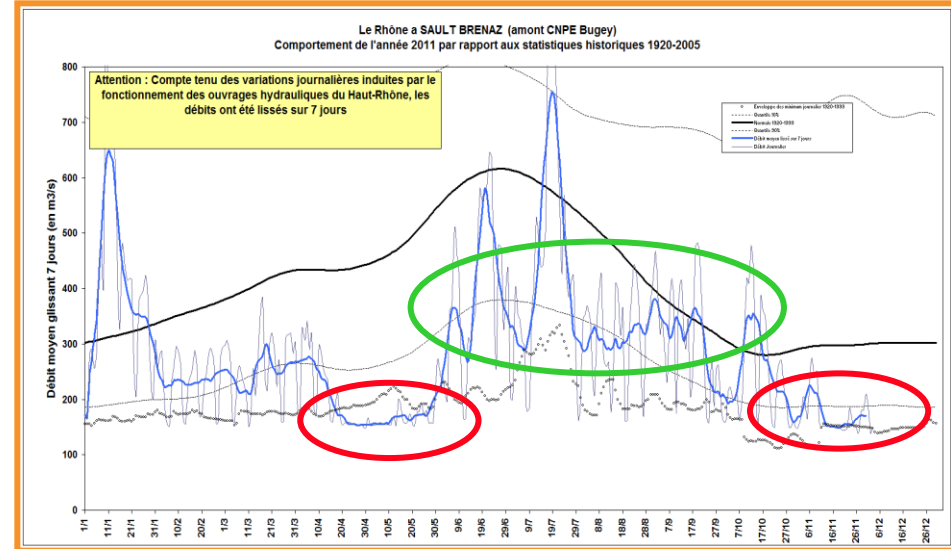
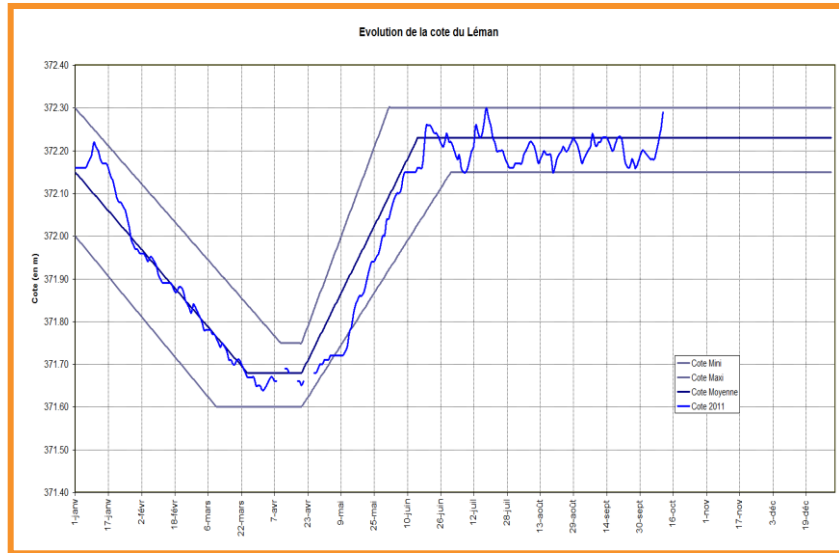
Résultats:

Deux ruptures identifiées:

➔ **début des années 70:** mise en service des barrages en amont du Léman.

➔ **2002:** modification significative de la gestion hebdomadaire du Léman.

Zoom 2011 : DÉBITS HISTORIQUEMENT BAS



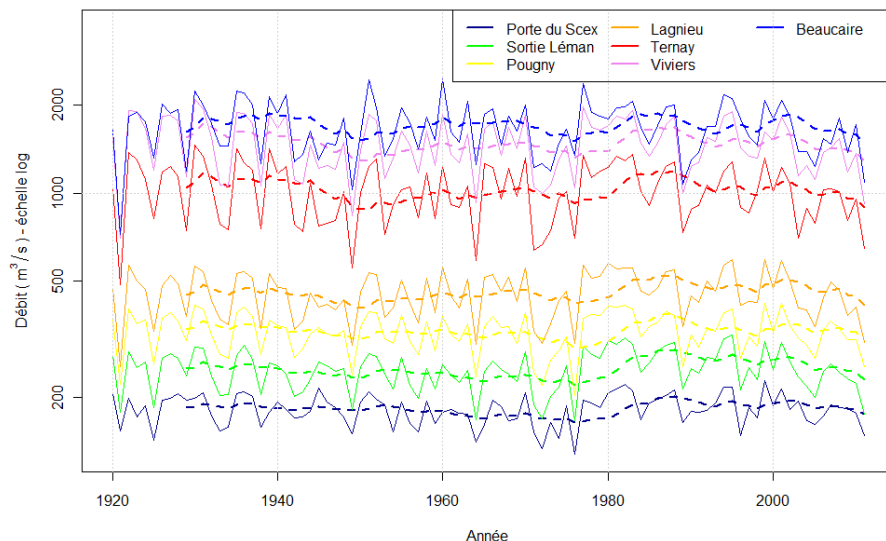
Caractère exceptionnel de l'étiage du Rhône amont lié au manque d'eau sur les Alpes suisses et le Jura (Amont Vouglans et Saône) et aux contraintes de gestion du Léman

Des accords entre la France et la Suisse (mesures d'exécution des eaux d'Arve) et entre EDF et CNR (Protocole opérationnel EDF-CNR) pour optimiser la coordination hydraulique du fleuve

Une bonne coordination opérationnelle des acteurs (SIG, CNR, EDF) avec l'appui, aux moments cruciaux, des services de l'Etat (DREAL)

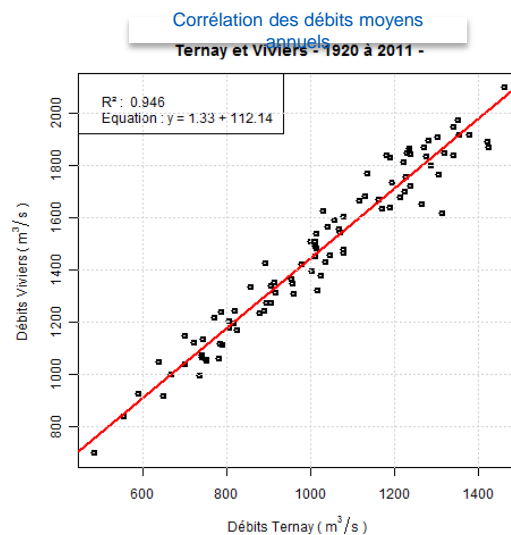
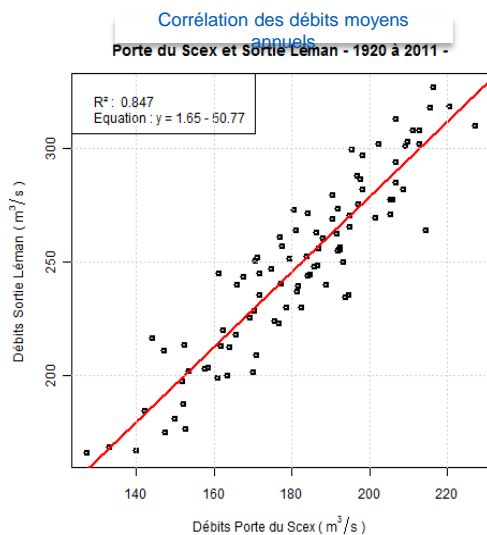
TENDANCES LONG-TERME

EVOLUTION AMONT-AVAL DU MODULE ANNUEL



Station de débit	Pente ($\text{m}^3/\text{s}/\text{an}$)	Mann-Kendall (pvalue)
Porte du Scex	0,01	0,85
Sortie Léman	0,10	0,81
Pougny	-0,06	0,59
Lagnieu	0,18	0,72
Ternay	-0,69	0,40
Viviers	-1,30	0,20
Beaucaire	-0,86	0,47

Corrélation des modules amont/aval

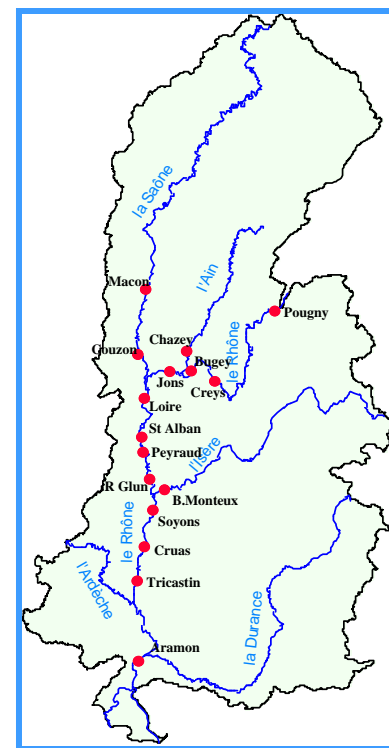
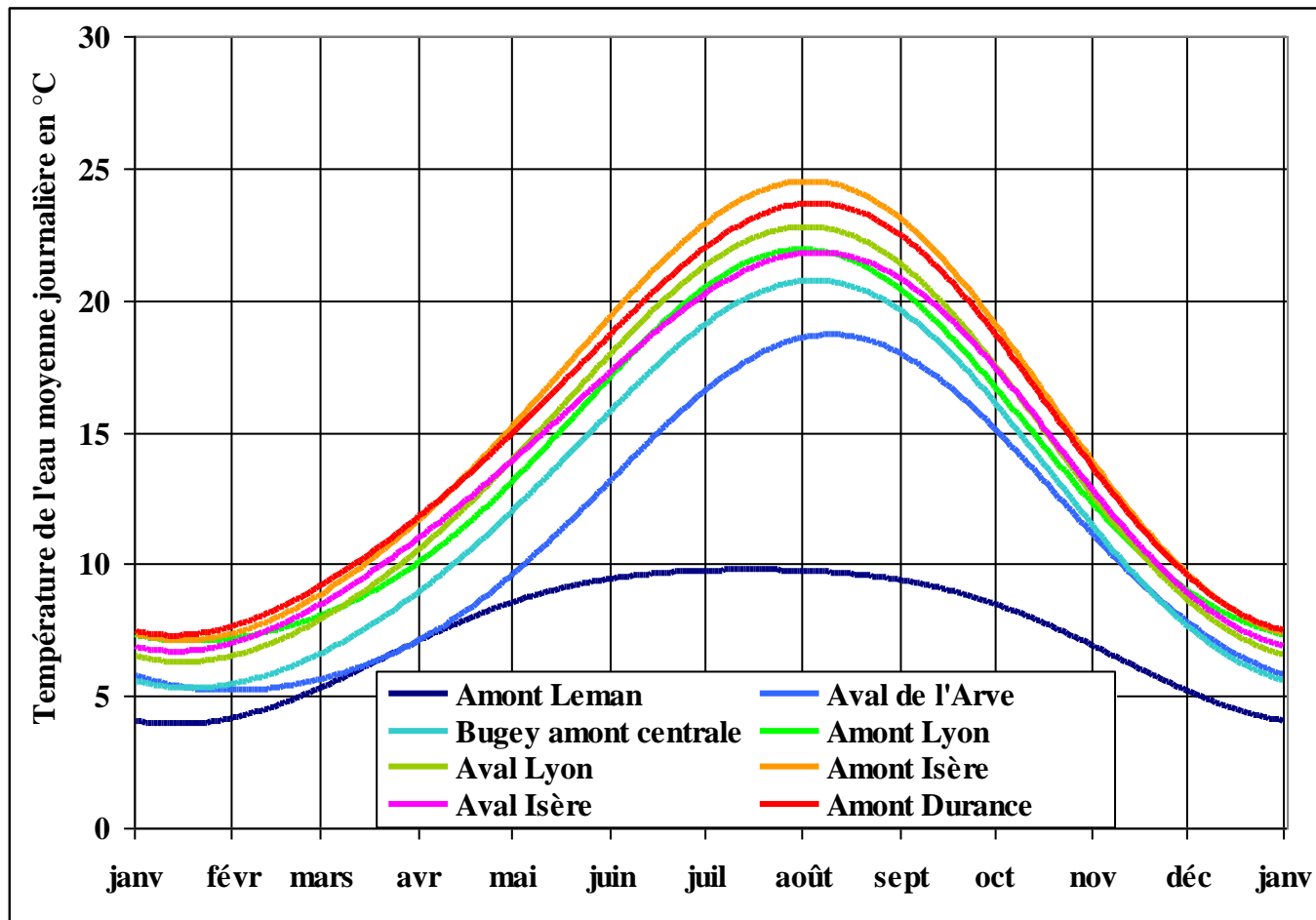


Résultats:

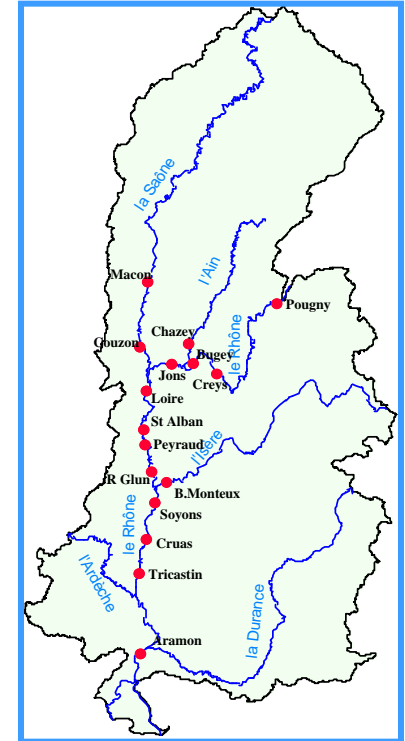
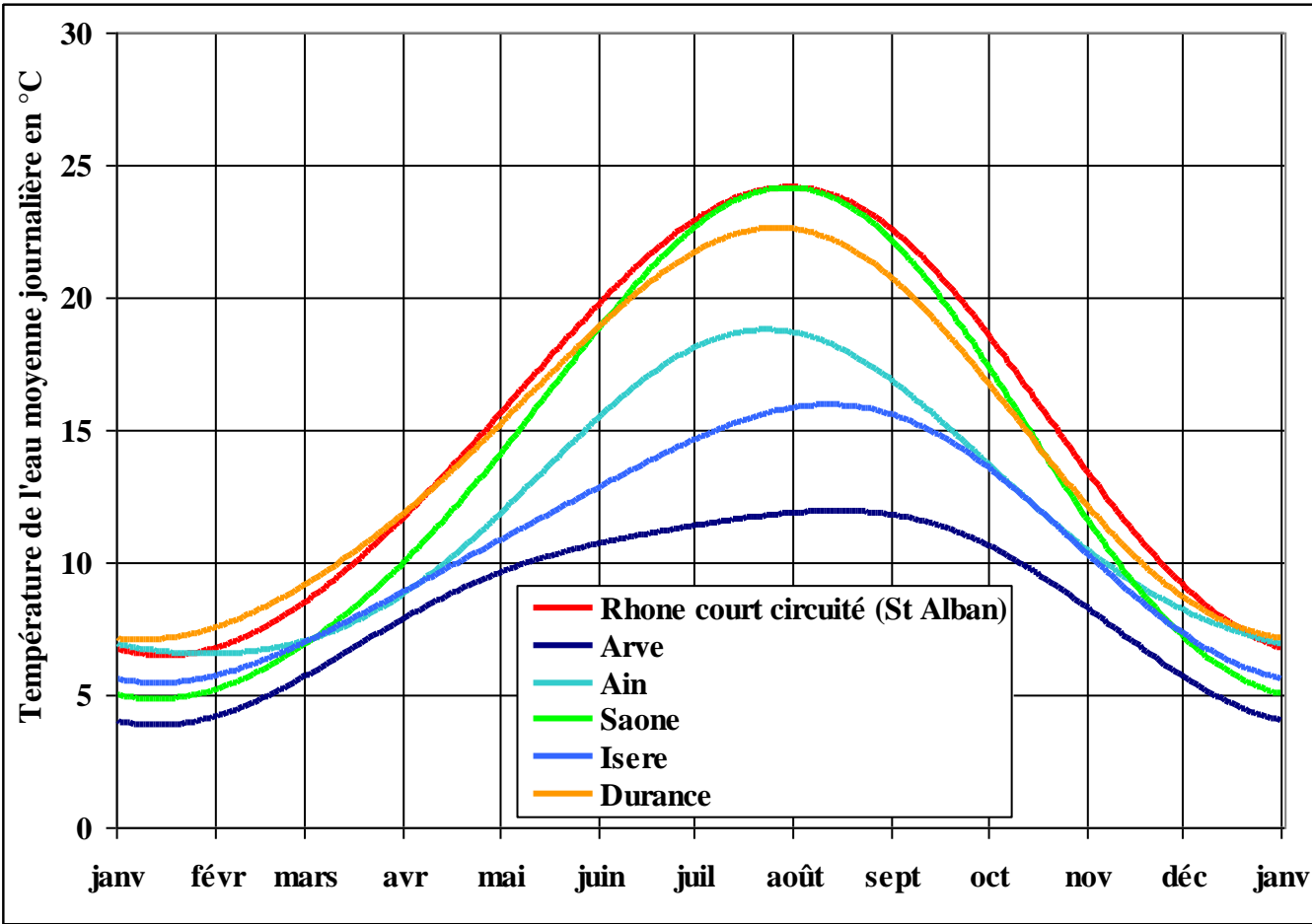
- ➔ cohérence du module d'amont en aval
- ➔ Pas d'évolution significative de 1920 à 2011

RÉGIME DES TEMPÉRATURES

RÉGIME MOYEN DES T_{EAU} DU LÉMAN À LA MER

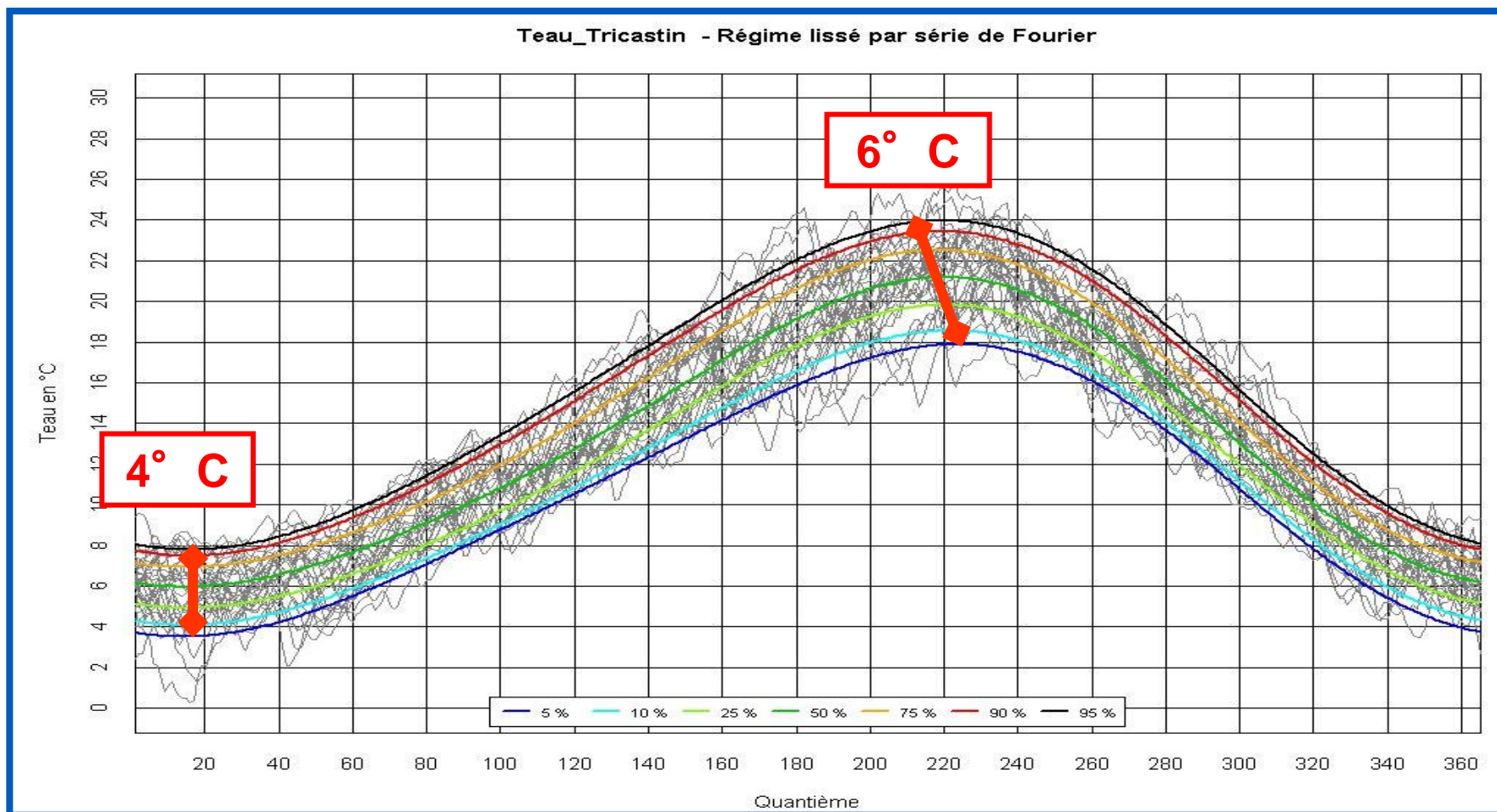


RÉGIME MOYEN DES T_{EAU} DES AFFLUENTS



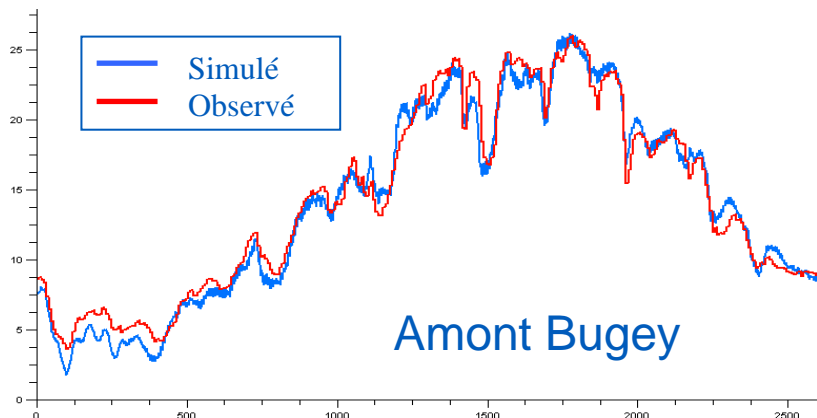
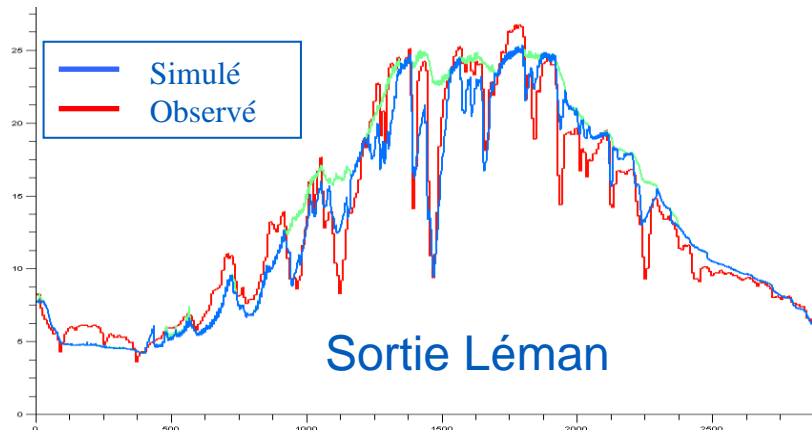
RÉGIME DES T_{EAU} À TRICASTIN (1976-2006)

Forte variabilité naturelle saisonnière - Faible variabilité interannuelle

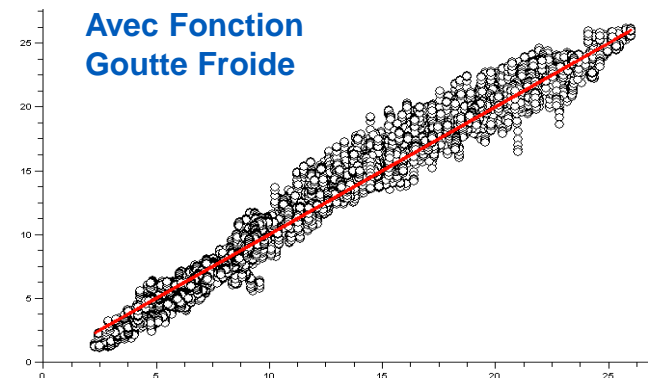
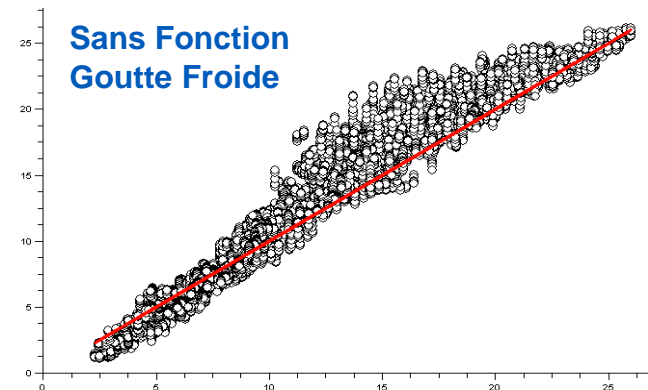


LES GOUTTES FROIDES DU LEMAN

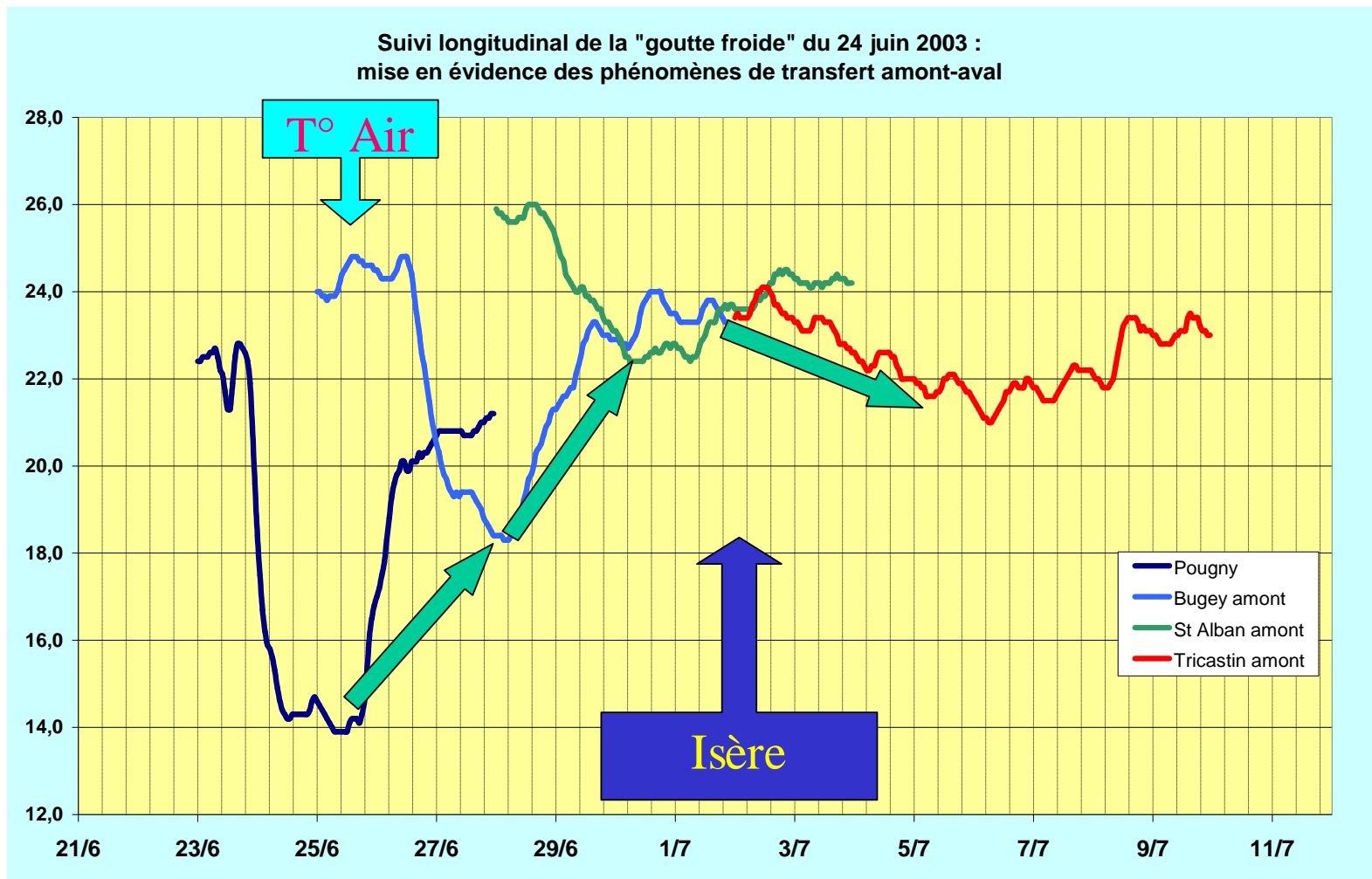
Un driver important de la température du Rhône piloté par le sens du vent au-dessus du Lac



Amont Bugey

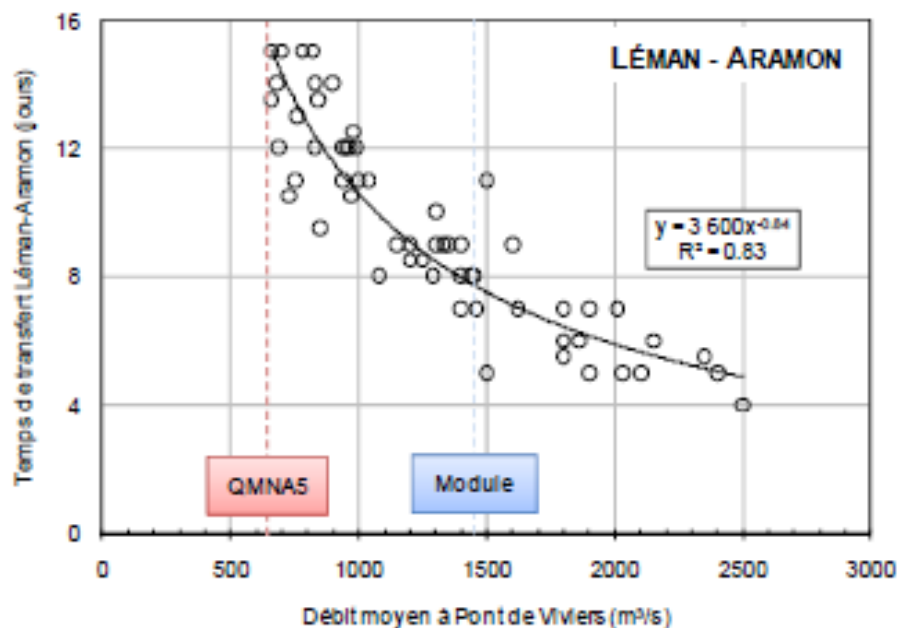


TRANSFERT AMONT-AVAL DE L'ONDE THERMIQUE



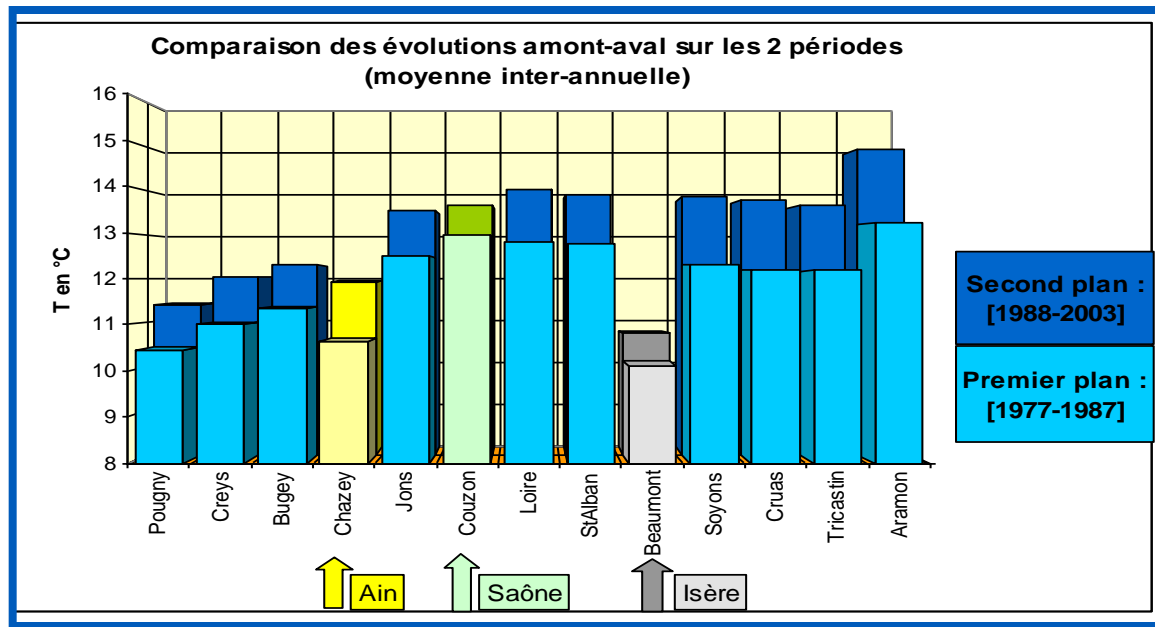
VITESSE DE PROPAGATION DE L'ONDE THERMIQUE

Vitesse thermique (transfert de masse) : entre 5 jours (hautes eaux) et 15 jours (étiage) évaluée à partir de 85 gouttes froides observées entre 1991 et 2010 entre le Léman et la mer (Aramon)



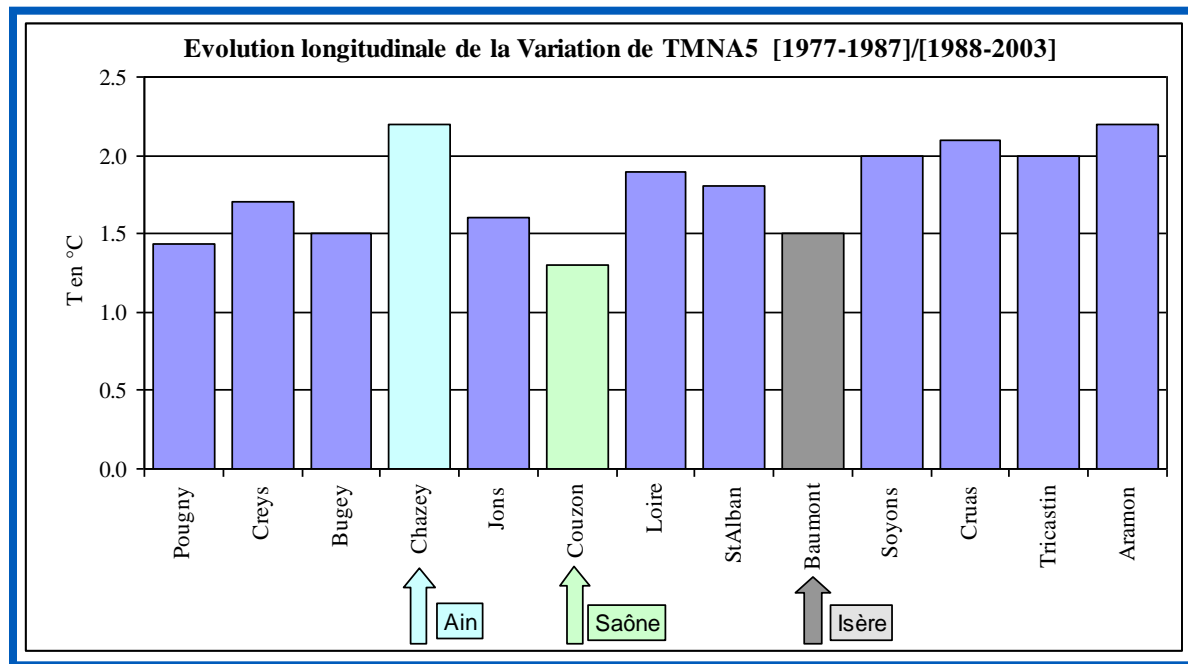
Vitesse hydraulique (célérité) : entre 1 et 2 jours du Léman à la mer

ETAT THERMIQUE DU FLEUVE DE 1977 À 2008



- La **température moyenne** passe, sur le Rhône, de **10.9° C** à l'amont du secteur d'étude (Pont de Pougny) à **14.1° C** à l'aval (Aramon).
- La Saône** est un affluent plutôt **chaud**, **l'Ain** un affluent plutôt **froid en hiver** et **chaud en été** et **l'Isère** un affluent très **froid (-1° C en été)**
- À l'échelle pluri-annuelle, **le Rhône et ses affluents ont vu leur température augmenter de +0.5 à +1.6° C** selon les points entre [1977-87] et [1988-2008].

ACCROISSEMENT DES T_{EAU} LES MOIS D'ÉTÉ

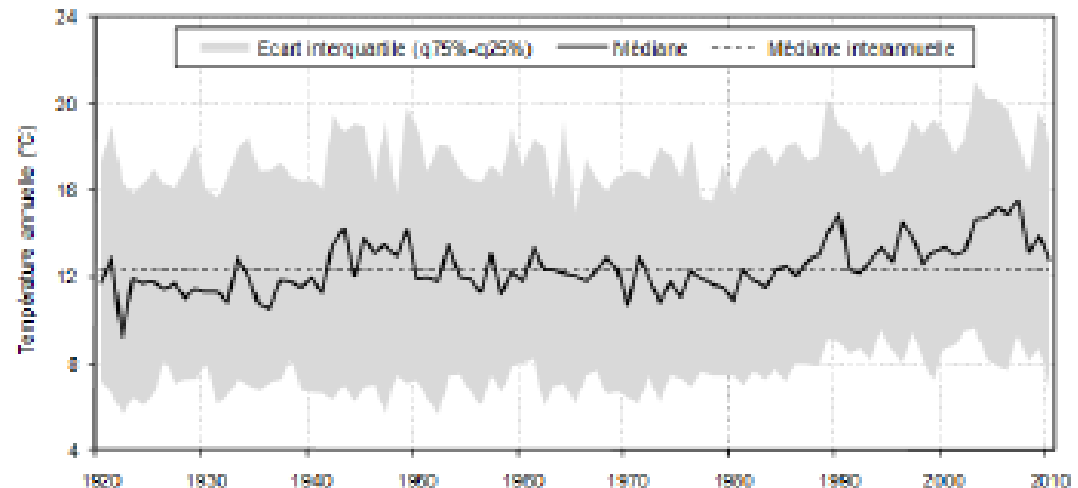
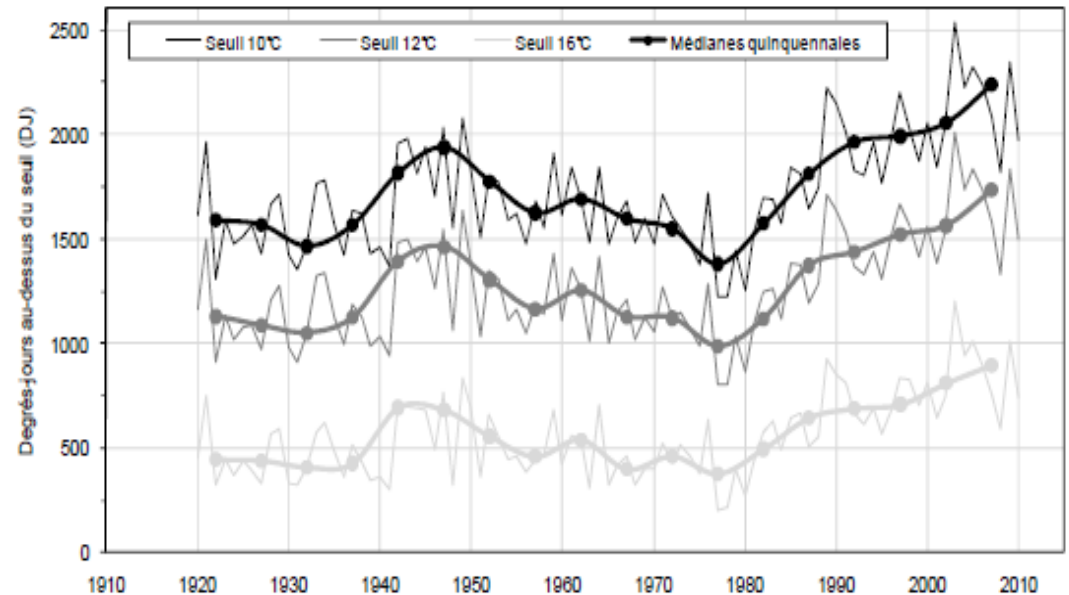


- Sur le Rhône, les **caractéristiques de températures chaudes** (mois le plus chaud par exemple) sont modifiées de **+1.5° C à +2° C** entre avant et après 1987
- **Sur les affluents** (Ain, Saône et Isère) l'augmentation de température est également de **+0.7° C en moyenne** et de **+1.7° C pour les températures caractéristiques des périodes chaudes**

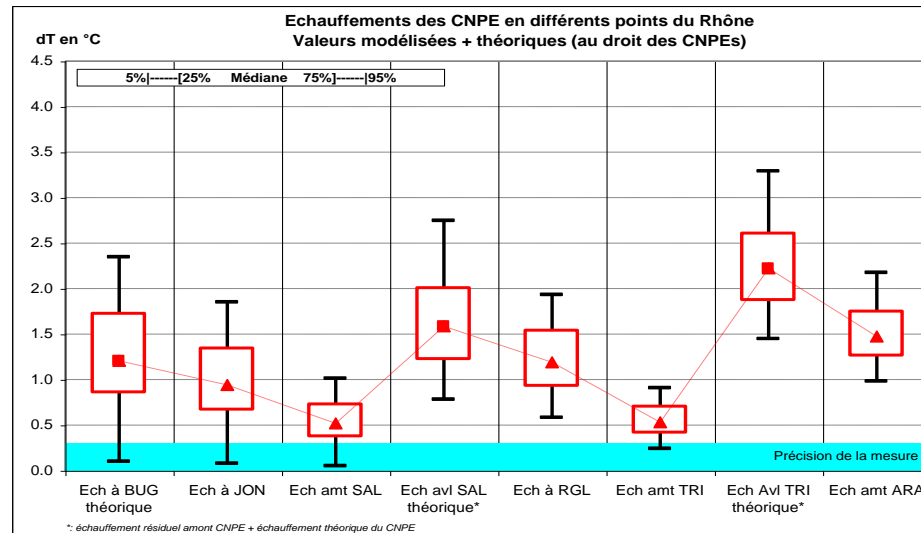
EVOLUTION THERMIQUE SUR LONGUE PÉRIODE

Evolution depuis 1920

- Grande cohérence avec les changements globaux (T_{air} notamment)
- Augmentation de la température annuelle de $0,5^{\circ}\text{C}$ (Rhône amont) à 2°C (Bas Rhône et Saône) avec tendance plus lourde depuis 1970-80



IMPACT RÉSIDUEL MOYEN DES SITES THERMIQUES

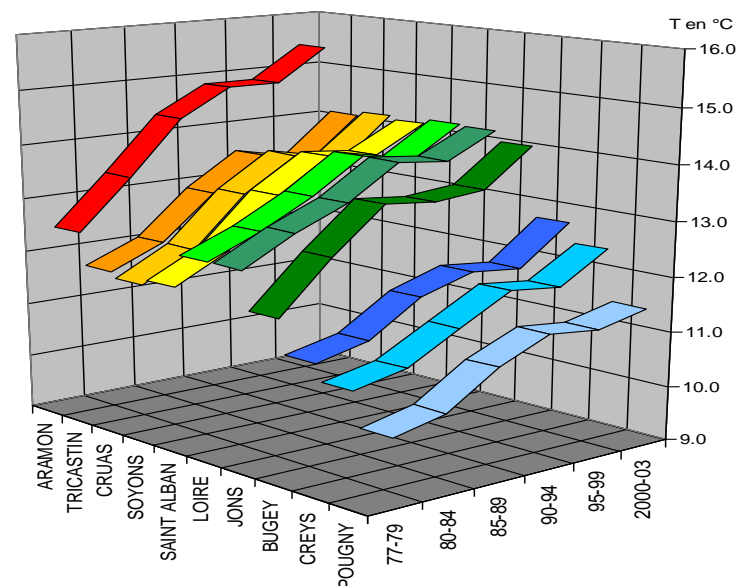


- **Les échauffements liés aux rejets thermiques ne s'additionnent pas d'amont en aval mais se conjuguent.**
- L'échauffement résiduel qui subsiste, de l'ordre de **0.5 ° C à Saint-Alban et Tricastin** en moyenne est un facteur de second ordre de l'échauffement moyen du fleuve
- En été, quand la **température du fleuve est plus élevée (> à 20° C dès l'amont de Bugey)**, **les échauffements conservés sont plus faibles qu'en moyenne et qu'en hiver**

QUELQUES CONCLUSIONS

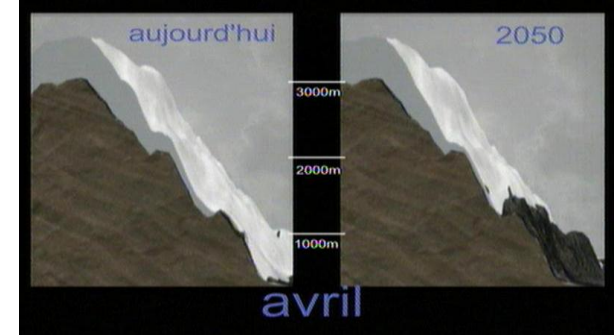
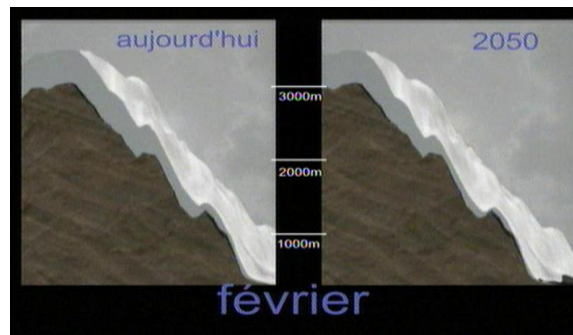
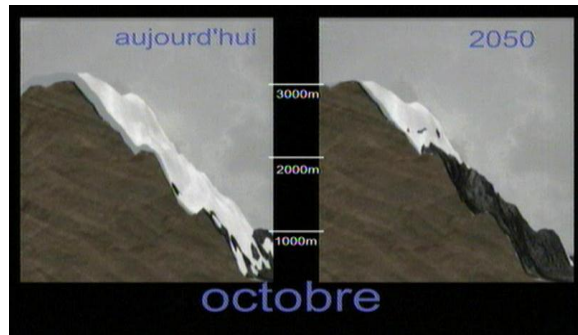
- Les principaux facteurs d'élévation de la température du fleuve sont la climatologie des températures de l'air, la propagation vers l'aval des températures sortant du Léman et le débit.
- Les échauffements consécutifs aux besoins de refroidissement des centrales de production d'électricité n'interviennent qu'au second ordre dans l'échauffement global du fleuve
- L'augmentation significative des températures de l'eau depuis 1920 a comme driver principal l'évolution des températures de l'air

Evolution de la moyenne par période de 5 années

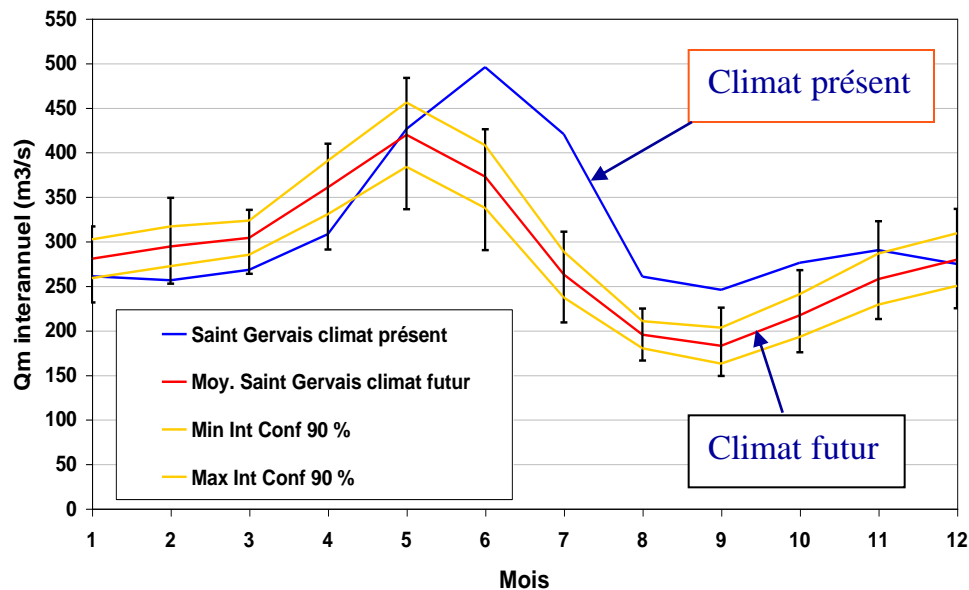


IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE (CC)

IMPACT DU CC SUR L'ÉVOLUTION DES DÉBITS



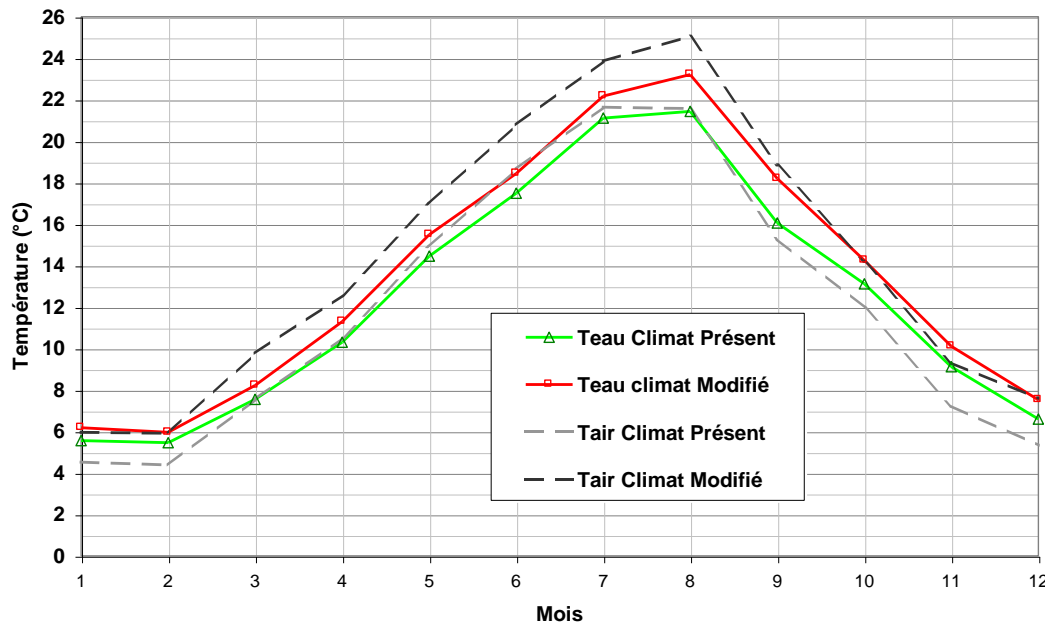
Evolution des débits de l'Isère à Saint Gervais le Port



- Moins de stock hydrique sous forme de neige
- Une fonte plus tôt dans l'année (1 mois) et plus faible en intensité (- 2 à - 32%)
- Un soutien d'étiage affaibli : - 26 % en moyenne (- 8 à - 39 % selon simulation)
- Une lame d'eau annuelle en moyenne diminuée de 9 % (de + 4 % à - 26 %)

IMPACT DU CC SUR LES T_{EAU} LE LONG DU FLEUVE

Température du Rhône à Saint Alban (simulation CNRM HR)



- 30 à 60 % de l'anomalie de température de l'air se retrouve dans l'anomalie de température de l'eau
- En août : +1.8 ° C dans l'eau pour +3.5 ° C dans l'air.