



Date de diffusion :

Département Surveillance Eau & Ouvrages
Branche Environnement

F.Lauters

A.Poirel

**DESCRIPTION STATISTIQUE DES LONGUES SERIES
DE MESURE DE TEMPERATURE DE L'EAU
SUR LE RHÔNE ET SES GRANDS AFFLUENTS
(Période 1977-1999)**

D4161/RAP/2000-00680-A/FL

Documents Associés :

Annexes

Résumé :

L'objectif principal de cette étude est de préciser les caractéristiques statistiques et le régime des températures de l'eau du Rhône et de ses affluents majeurs sur 15 stations et 23 années de mesures.

La température moyenne sur le Rhône évolue de 10.9 °C à la sortie du Léman à 14.1 à l'aval de la Durance. Cette augmentation n'est pas régulière, elle est importante du Léman à Lyon et à l'aval de la Durance.

Les différentes caractéristiques statistiques des périodes chaudes se situent à moins de 20°C sur le Rhône amont. Elles évoluent vers 20-22°C dans le secteur Creys-Bugey puis passent à 23-24°C de l'amont de Lyon jusqu'à l'Isère, retombent vers 22-23°C jusqu'à la Durance et enfin dépassent 24°C à l'aval de la Durance.

Les statistiques indiquent une augmentation notable des températures de l'eau du Rhône entre les périodes [1977-1987] et [1988-1999] : échauffement moyen de 0.5 à plus de 2 °C selon les stations de mesure et les statistiques étudiées. Sur les affluents (Ain, Saône et Isère) l'augmentation de température est également sensible (de 0.7°C et de 1.7°C) pour les températures caractéristiques des périodes chaudes.

Accessibilité : Restreinte



© EDF-DTG 2001



**DESCRIPTION STATISTIQUE DES LONGUES SERIES
DE MESURE DE TEMPERATURE DE L'EAU
SUR LE RHÔNE ET SES GRANDS AFFLUENTS
(Période 1977-1999)**

AUTEURS F.Lauters A.Poirel

TYPE DE DOCUMENT Rapport NOMBRE DE PAGES : 28
 ACCESSIBILITÉ Restreinte
 MOTS CLÉS RHÔNE, RÉGIME THERMIQUE
 NUMÉRO DE VI 8AAJQ/60
 DOCUMENT CONCERNANT LA SÛRETÉ OUI NON DOCUMENT À QUALITÉ SURVEILLÉE OUI NON

INDICE	RÉDACTEUR NOM / VISA / DATE	CHARGÉ D'AFFAIRE NOM / VISA / DATE	VÉRIFICATEUR NOM / VISA / DATE	APPROBATEUR NOM / VISA / DATE
A	F.Lauters	F.LAUTERS	C.MAS	A.POIREL

SUIVI DES INDICES ET DES VERSIONS

DESTINATAIRES EXTERNES	NBRE	DESTINATAIRES INTERNES	NBRE
Mrs les Membres du Groupe de Travail : Impacts cumulés des CNPEs sur le Rhône	-	EDF INTERNE DTG :	
- DRIRE : MM CAFFE & PIGNOL	2	- A.Poirel	1
- DIREN : MM ALEXIS & DUMEZ	2	- Archives ENV	1
- Sce de la Navigation : Mr SOLENTE	1	-----	-----
- Agence de l'Eau : Mr POUSSARD	1	EDF EXTERNE DTG :	-
- Conseil scientifique : M OBERLIN	1	- CNPE Creys : Mr ZWALD	1
-----	.	- DIS : Mr BORDET	1
- DSIN : Mr GOELNER	1	- CNPE St Alban : MM ROLLINGER & COATLEVEN	2
		- Délégation Régionale : MM FLUCHERE & CHAMBON	2



SYNTHESE

L'objectif principal de cette étude est de faire un point actualisé sur le régime thermique du Rhône. Elle doit fournir un état descriptif des données mesurées sur les longues séries (> 20 ans) du Rhône et de ses grands affluents.

Elle s'attache à préciser la variabilité des températures de l'eau et à définir quelques températures caractéristiques à l'instar de ce qui se pratique pour les débits d'étiage.

Quinze séries de mesure sur le Rhône et ses affluents majeurs ont été retenues pour cette étude, et ce, sur la période de référence 1977-1999 (à l'exception de 2 séries plus récentes).

Après une présentation des stations, des chaînes de mesures et de la critique des données, les informations sur les principaux paramètres statistiques sont fournies sous formes de graphes de synthèse. Deux périodes au comportement statistique assez différencié sont distinguées : 1977-1987 et 1988-1999

Les résultats détaillés par station sont fournis dans le document d'annexes.

Le bilan de cette étude indique que l'on possède sur la période 1977-1999 un jeu de données de bonne qualité pour décrire les principales caractéristiques des températures du Rhône. Bien que n'étant pas l'objectif premier de cette étude, quelques constatations peuvent être tirées de cette phase de description des régimes thermiques :

- La température moyenne sur la période [1977-1999] passe, sur le Rhône, de 10.9 °C à la sortie du Léman à 14.1 à l'aval de la Durance. Cette augmentation n'est pas régulière, elle est importante de Pougny à Jons (+2.4°C) et de Tricastin à Aramon (+2.0°C).
- Les trois affluents pris en compte ont des caractéristiques différentes. La Saône est un affluent plutôt chaud, l'Ain un affluent plutôt froid et l'Isère un affluent très froid. Ce dernier cours d'eau abaisse les températures du Rhône d'environ 1°C en période chaude.
- L'évolution des températures dans l'année suit un régime d'allure assez semblable sur toutes les stations. Le mois le plus chaud est août et le plus froid est janvier.
- Le Rhône est un fleuve qui n'est pas à l'équilibre avec le milieu extérieur : une baisse de température de l'eau à la sortie du Léman peut se répercuter jusqu'à la Méditerranée, même si elle est atténuée par l'influence de l'air et des affluents.
- Le Rhône et ses grands affluents ont vu leur température de l'eau augmenter notablement entre les périodes [1977-1987] et [1988-1999] : échauffement moyen de 0.5 à plus de 2 °C selon les stations de mesure et les statistiques étudiées. Sur les affluents (Ain, Saône et Isère) l'augmentation de température est également sensible (de 0.7°C et de 1.7°C) pour les températures caractéristiques des périodes chaudes.
- Les amplitudes journalières sont de 0.5 à 1.2°C à l'exception de l'Ain. Elles n'ont pas été modifiées sensiblement au cours de la période d'étude.

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	6
2. PRESENTATION DES STATIONS DE MESURE	7
2.1. Présentation géographique	7
2.2. Description technique des chaînes de mesure	8
2.3. Entretien des stations	9
2.4. Vérification de la qualité des mesures	9
2.5. Présentation du mode de gestion et de stockage des données	10
2.6. Les données disponibles	10
3. CONTROLE ET CRITIQUE DES DONNEES	11
3.1. Moyens mis en oeuvre	11
3.2. Principaux problèmes rencontrés et corrections apportées	12
4. ANALYSE STATISTIQUE DES TEMPERATURES DE L'EAU PAR STATION	13
4.1. Statistiques globales sur le période d'étude	13
4.1.1. Statistiques globales sur toute la période d'étude	13
4.1.2. Statistiques de périodes chaudes sur toute la période d'étude	15
4.1.3. Evolution de la moyenne par période [1977-1987]/[1988-1999]	16
4.1.4. Evolution des TMNA5 par période [1977-1987]/[1988-1999]	18
4.2. Analyse des moyennes annuelles et inter-annuelles	19
4.3. Analyse des moyennes mensuelles et hebdomadaires	22
4.4. Analyse des fréquences expérimentales	23
4.5. Analyse des amplitudes journalières	26
5. EVOLUTION DES TEMPERATURES A L'ECHELLE DU RHÔNE	28

SOMMAIRES DES TABLEAUX ET DES FIGURES

<i>Tableau 1 : critique des données</i>	12
<i>Tableau 2 : moyennes inter-annuelles</i>	21
<i>Tableau 3 : températures moyennes des mois chauds et froids sur la période 1977-1999 (stations du Rhône sauf Roche de Glun et Seuil de Peyraud)</i>	22
<i>Figure 1 : Bilan des données disponibles</i>	10
<i>Figure 2 : évolution longitudinale de la médiane - [1977-1999]</i>	13
<i>Figure 3 : évolution longitudinale de la moyenne - [1977-1999]</i>	14
<i>Figure 4 : évolution longitudinale de la TMNA5 - [1977-1999]</i>	15
<i>Figure 5 : évolution longitudinale de la TCN30 (5 ans) - [1977-1999]</i>	16
<i>Figure 6 : évolution longitudinale de la TCN7 (5 ans) - [1977-1999]</i>	16
<i>Figure 7 : évolution longitudinale de la variation de moyenne [1977-1987]/[1988-1999]</i>	17
<i>Figure 8 : comparaison des évolutions amont-aval de moyenne inter-annuelle [1977-1987]/[1988-1999]</i>	17
<i>Figure 9 : évolution longitudinale de la variation de TMNA5 [1977-1987]/[1988-1999]</i>	18
<i>Figure 10 : comparaison des évolutions amont-aval de TMNA5 [1977-1987]/[1988-1999]</i>	19
<i>Figure 11 : représentation cartographique des températures moyennes annuelles</i>	20
<i>Figure 12 : régime annuel à Saint Alban (1977-1999)</i>	22
<i>Figure 13 : régime lissé pour les périodes [77-87] et [88-99] (station de Saint Alban)</i>	23
<i>Figure 14 : répartition par classe de valeur des moyennes journalières en °C (Saint Alban)</i>	24
<i>Figure 15 : évolution de la fréquence 90 % [1977 - 1999]</i>	25
<i>Figure 16 : évolution de la fréquence 99 % [1977 - 1999]</i>	25
<i>Figure 17 : évolution longitudinale de l'amplitude journalière moyenne journalière</i>	27



1. INTRODUCTION

L'objectif principal de cette étude est de faire un point actualisé sur le régime thermique du Rhône. Elle doit fournir un état descriptif des données mesurées sur les longues séries (> 20 ans) du Rhône et de ses grands affluents.

Elle s'attache à préciser la variabilité des températures de l'eau et à définir quelques températures caractéristiques à l'instar de ce qui se pratique pour les débits d'étiage.

L'étude s'appuie sur les 15 stations principales du Rhône et de ses affluents, stations connues au pas de temps horaire sur une vingtaine d'années. Elle est basée sur des températures moyennes journalières mais précise les caractéristiques de l'amplitude journalière.

Le régime thermique annuel est établi à des échelles allant de la semaine au mois. Des différenciations par périodes pluriannuelles sont faites pour tenir compte des évolutions récentes observées sur les températures de l'air.

Le rapport se divise en quatre chapitres distincts.

Le premier concerne la présentation des stations de mesure. Elle inclut la description des stations, leur positionnement cartographique, la description des chaînes de mesure successivement utilisées et leurs capacités métrologiques, la description de la nature des données disponibles.

Le second concerne la validation des données. Les moyens mis en oeuvre pour contrôler la cohérence des séries chronologiques sont présentés ainsi que les problèmes détectés et les corrections apportées.

Le troisième correspond à l'analyse des données. Il inclut :

- la représentation des moyennes annuelles et inter-annuelles,
- La représentation des évolutions de température dans l'année (à l'échelle mensuelle et hebdomadaire),
- L'analyse des fréquences expérimentales des températures (à l'échelle mensuelle et hebdomadaire), le régime lissé et le calcul de quelques températures caractéristiques,
- La représentation et l'analyse des fréquences expérimentales des amplitudes journalières des températures,

En conclusion, les principaux points qui se dégagent de l'étude sont repris.



2. PRÉSENTATION DES STATIONS DE MESURE

2.1. Présentation géographique

Quinze stations de mesure de la température de l'eau sont prises en compte dans cette étude. Ces stations couvrent le bassin du Rhône, depuis l'aval proche du Léman jusqu'à la proximité de la Méditerranée. Douze de ces stations sont directement sur le Rhône, trois sont sur des affluents importants à proximité de leur confluence.

Une carte en annexe présente la localisation de ces stations sur le bassin de Rhône (Annexe 0 page 1). La localisation plus précise des stations est présentée sur des cartes par région au 1/200 000 (annexe 0 pages 2 à 7) et sur des cartes au 1/25 000 (annexe 0 pages 8 à 23). Un schéma de l'implantation des stations est donnée sur des fiches de description des stations (annexe 1 pages 1 à 16).

La liste des stations ainsi qu'une courte description de leur localisation est donnée ci-dessous. Les 12 stations localisées sur le Rhône sont :

- Pougny : Première station en aval du Léman (25 km environ). La station est située à l'aval immédiat du pont de Pougny qui marque la frontière Franco-Suisse.
- Creys-Malville : Station située au niveau du CNPE de Creys-Malville. La station est à l'intérieur du site, sur un ponton flottant qui est situé à la prise d'eau de la centrale (en amont du rejet).
- Bugey : Station située au niveau du CNPE de Bugey. La station est dans l'enceinte du CNPE, au niveau de la prise d'eau de la centrale.
- Jons : Station située en aval de la confluence Ain-Rhône, au niveau du barrage de Jons (amont de Lyon). La station est située côté Rhône court-circuité (canal de Jonage).
- Loire sur Rhône : Station située en aval de Lyon et de la confluence Rhône-Saône, en amont immédiat de Vienne
- Saint Alban : Station située en aval de Vienne (aval immédiat du pont de Chavanay). La station est en entrée du canal de prise d'eau depuis 1997. Une autre station (Pont de Chavanay) était en place sur l'autre rive jusqu'en 1998.
- Seuil de Peyraud : Station située en aval du CNPE de Saint Alban, dans le tronçon court-circuité de l'usine hydroélectrique de Sablons (à proximité de Péage de Roussillon).
- Roche de Glun : Station située entre Tournon et Valence en amont proche de la confluence Rhône-Isère (aval du pont de Roche de Glun).



- Soyons : Station située en aval proche de Valence, environ 500m en aval du port de Valence.
- Cruas : Station située en aval de la confluence Rhône-Drôme et en amont de Montélimar. La station est placée en aval immédiat du barrage de Logis Neuf sur le canal.
- Tricastin : Station située au niveau de Pierrelatte. La station est sur le canal de Donzère en amont immédiat du CNPE de Tricastin.
- Aramon : Station située en aval d'Avignon et de la confluence Durance-Rhône, au niveau du CPT d'Aramon (amont rejet).

Trois stations sont sur les principaux affluents :

- Pont de Chazey : Station située entre le barrage d'Allement et la confluence Ain-Rhône. La station est immédiatement en aval du pont de Chazey.
- Couzon : Station située entre Villefranche et la confluence Saône-Rhône en aval de Neuville/Saône. La station est placée en aval immédiat du barrage écluse de Couzon. Cette station a été déplacée à Macon en 1998.
- Beaumont Monteux : La station est située en amont de la confluence Isère/Rhône, à l'aval immédiat du barrage de Beaumont Monteux.

2.2. Description technique des chaînes de mesure

Les chaînes de mesure température de l'eau utilisées par DTG sur le Rhône peuvent être décomposées en quatre parties ou « modules » : un capteur, un convertisseur thermomètre, un enregistreur et une alimentation.

Quatre générations de chaîne de température de l'eau ont existé. Chacune de ces générations est composée avec des modules différents (ou en partie différents).

Une présentation plus détaillée des chaînes de mesure et de l'implantation des stations est faite en annexe 2.

L'implantation des chaînes de mesure est variable d'une station à l'autre même si l'on retrouve toujours un schéma type d'implantation :

- Boîtier ou armoire en rive contenant le convertisseur thermomètre, l'enregistreur et l'alimentation.
- Gaine de protection puis, tube inox avec crépine contenant le câble de sonde et le capteur. La gaine de protection avec le câble chemine en rive puis au fond de la rivière ou sur un support artificiel (mur...). Le tube inox avec crépine est fixé sur le support (fond de rivière ou support artificiel comme un mur, une bouée...).



On retrouve en annexe 1 dans les fiches station une description du matériel et de l'implantation pour chacune des stations.

2.3. Entretien des stations

La gestion des chaînes de mesure de température a évolué en même temps que l'évolution du matériel de mesure. Notamment, le passage à la télétransmission des données a permis une diminution des déplacements sur site pour la collecte des données ainsi qu'une diminution de la perte de données sur les incidents (détection plus précoce des pannes).

Les entretiens à effectuer sur les chaînes températures sont très limités dans la mesure où la dérive des capteurs est généralement très faible (notamment par rapport à des sondes pour la mesure de paramètres tels que l'oxygène dissous ou le pH).

Ils se limitent donc essentiellement, lors de visite sur site, à une vérification de l'absence de pannes des modules de la chaîne de mesure et aux changements de piles pour l'alimentation des stations. Sur les stations sujettes à l'envasement, des injections d'eau par pompe dans le tube permettent d'entretenir le lien rivière/capteur.

2.4. Vérification de la qualité des mesures

Les vérifications du bon fonctionnement des stations et de la qualité de la mesure se font lors de la validation des données (voir gestion des données) et lors de mesures de contrôle sur site.

Ces mesures sur site consistent en la réalisation de profils en travers au droit de la station. Elles permettent de vérifier la représentativité du point de mesure en comparant la température de la station à la température du profil. D'autre part elles indiquent la précision du capteur en comparant les données manuelles faites au plus près du capteur aux données fournies par la station.

Si les profils en travers ont été réalisés systématiquement dans un premier temps sur toutes les stations, ils ont été ensuite réduits voir abandonnés. Il n'y a en effet plus de nécessité de réaliser des profils lorsque l'objectif de caractériser l'homogénéité du profil est atteint (ce qui est le cas après quelques années de mesures).

La fréquence de comparaison des mesures manuelles à proximité du capteur et des données de la station a également nettement diminuée dans le temps, notamment avec l'amélioration des chaînes de température.

Le bilan de la qualité de la mesure pour chaque station apparaît en annexe 1 dans les fiches stations.

2.5. Présentation du mode de gestion et de stockage des données

La gestion des données issues des mesures de température sur les quinze stations est à peu près identique depuis 1977 (et même avant). Les données sont collectées soit automatiquement (télétransmission des données) soit par intervention d'un opérateur sur le terrain et dépouillement du support d'enregistrement (papier, K7...) au bureau.

Les données d'origine collectées (données au pas de temps horaire) alimentent une base de données centralisée à DTG (la même que pour la gestion des débits).

Les données subissent ensuite une validation (avec éventuellement reconstitution de données absentes ou douteuses) par les équipes chargées de la gestion de chaque station.

Les données en moyennes journalières sont alors créées avec les données validées puis sont stockées en base de données.

Cette gestion des données est un élément favorable à la qualité des données pour plusieurs raisons :

- stockage sur un système centralisé et pérenne qui évite (ou limite au maximum) les pertes de données et les manipulations de fichiers de données
- validation obligatoire des données horaires avant calcul des moyennes journalières.

2.6. Les données disponibles

Le bilan par station des données disponibles entre 1977 et 1999 est présenté Figure 1.

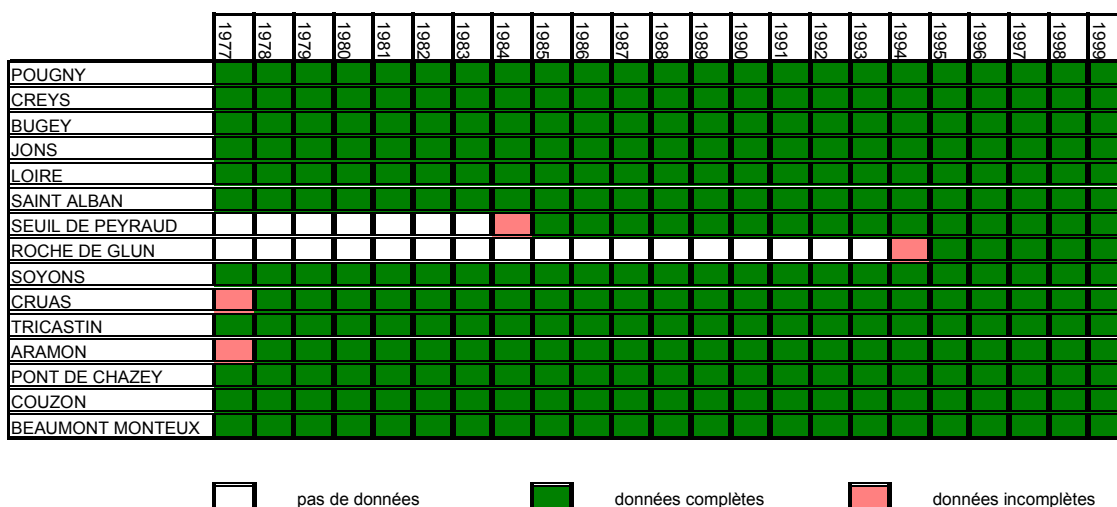


Figure 1 : Bilan des données disponibles



Les stations de Seuil de Peyraud et de Roche de Glun ont été exclues d'un certain nombre d'analyses statistiques (moyennes inter-annuelles...) car leur mise en place plus tardive aurait induit un biais dans l'analyse (périodes non comparables).

3. CONTROLE ET CRITIQUE DES DONNÉES

3.1. Moyens mis en oeuvre

La première phase consiste en une recherche du maximum d'informations disponibles sur les stations. Ces informations sont tirées des dossiers qui sont constitués pour chaque station depuis son origine et des annuaires de données températures DTG. Elles concernent :

- les interventions diverses et notamment les changements de matériel,
- les mesures de contrôle (profils, mesures manuelles ponctuelles de contrôle..),
- les périodes d'absence de données,
- les périodes de reconstitution (suite à des problèmes sur les stations)

La seconde phase est la critique proprement dite des données. Elle consiste en l'utilisation systématique d'outils (de calcul et graphiques) qui permettent de détecter des anomalies dans les données sans préjuger de la cause de ces anomalies. Les outils suivants sont utilisés :

- outil graphique de visualisation des chroniques au pas de temps journalier pour une détection de données douteuses (hors norme, variations très rapides...),
- outils d'analyses des chroniques de stations combinées deux par deux. Ces analyses sont faites pour des stations qui doivent a priori avoir des évolutions comparables (généralement une station avec ses plus proches voisines en amont et en aval) :
 - analyse et visualisation des moyennes mensuelles et des écarts (cumulés ou non) des moyennes mensuelles. On détecte principalement les mois avec des données "suspectes" .
 - analyse et visualisation des résidus cumulés issus des régressions linéaires entre deux stations. On détecte principalement des changements de comportement entre les deux stations dont certains sont liés à des problèmes de mesure (dérive du fait de problèmes de capteurs, de changement de matériel...).

Cette phase de critique permet a priori de détecter les données douteuses. Lorsque de telles données sont détectées, on recherche des explications à partir des informations sur les stations mais aussi des données sur les débits, sur les températures de l'air et sur d'autres stations de température de l'eau.

La troisième phase consiste en une éventuelle correction des données. Les données douteuses sont corrigées si une explication sur l'origine du problème est trouvée et si on a une idée de la correction à effectuer.

Les corrections sont apportées en tenant compte des données sur d'autres stations et en fonction d'informations sur des erreurs de mesures détectées. Les périodes pendant lesquelles les données sont absentes ont été reconstituées à partir des autres stations.

3.2. Principaux problèmes rencontrés et corrections apportées

La phase de critique des données montre globalement une bonne qualité des données de température sur les stations retenues. Il y a peu de données aberrantes ou qui apparaissent douteuses avec les analyses réalisées. Les principaux types de problèmes rencontrés et de corrections apportées figurent dans le Tableau 1.

Type de problème rencontré	Corrections apportées
Absence de données. Elles sont globalement peu nombreuses (1440 jours sur 126 000 soit 1.1 % des données)	Reconstitution de la donnée à partir des stations proches
Reconstitution de données douteuses (manque de recul statistique nécessaire sur les données). Ces problèmes sont les plus fréquemment rencontrés même s'ils restent globalement peu nombreux. Ils occasionnent des erreurs parfois non négligeables à l'échelle d'une courte période comme le mois. (250 jours)	Nouvelle reconstitution des données à partir des stations proches
Écarts constants pendant une période entre la donnée restituée et la température de l'eau. Ils sont essentiellement expliqués par un biais produit par le transmetteur . Ces écarts sont toujours très faibles (< 0.4 °C et souvent moins de 0.1 à 0.2°C) mais plus fréquents (15 000 jours soit 12% des valeurs).	Décalage constant des données vers les + ou les - pendant une période
Écarts entre les données restituées par la station et la température de l'eau augmentant dans le temps pendant une période. Ces écarts sont expliqués par des dérives de capteur conduisant à des écarts entre la donnée de la station et la température de l'eau. Ces écarts sont rarement importants et sont rares (moins de 500 jours).	Décalage variable des données vers les + ou les - pendant une période.

Tableau 1 : critique des données réalisée sur chaque série

Une liste des corrections apportées est donnée pour chaque station en annexe 3. On donne aussi dans cette annexe des exemples détaillés de détections d'anomalies dans les données avec les corrections réalisées.

4. ANALYSE STATISTIQUE DES TEMPERATURES DE L'EAU PAR STATION



4.1. Statistiques globales sur la période d'étude

Ces statistiques concernent les principales grandeurs caractérisant les données sur l'ensemble de la période d'étude. Il s'agit notamment des moyennes inter-annuelles, des médianes inter-annuelles, des T.M.N.A 5 (température du mois le plus chaud de période de retour 5 années), des T.C.N.k : (température quinquennale forte = plus forte température dépassée sur k jours consécutifs, de période de retour 5 ans pour $k = 7$ et 30 jours).

Ces statistiques sont présentées sous la forme d'un tableau de synthèse (alinéas 1 des annexes 4 par station).

Ces statistiques sont également calculées pour les périodes 77-87 et 88-99. Elles sont présentées sous formes de tableaux et de graphes (alinéas 9 et 10 des annexes 4 par station).

Une représentation synthétique de ces statistiques (évolution longitudinale par paramètre) est donnée ci-dessous.

4.1.1. Statistiques globales sur toute la période d'étude

Le bilan de l'évolution longitudinale de la médiane et de la moyenne des températures sur la période d'étude est présenté Figure 2 et Figure 3.

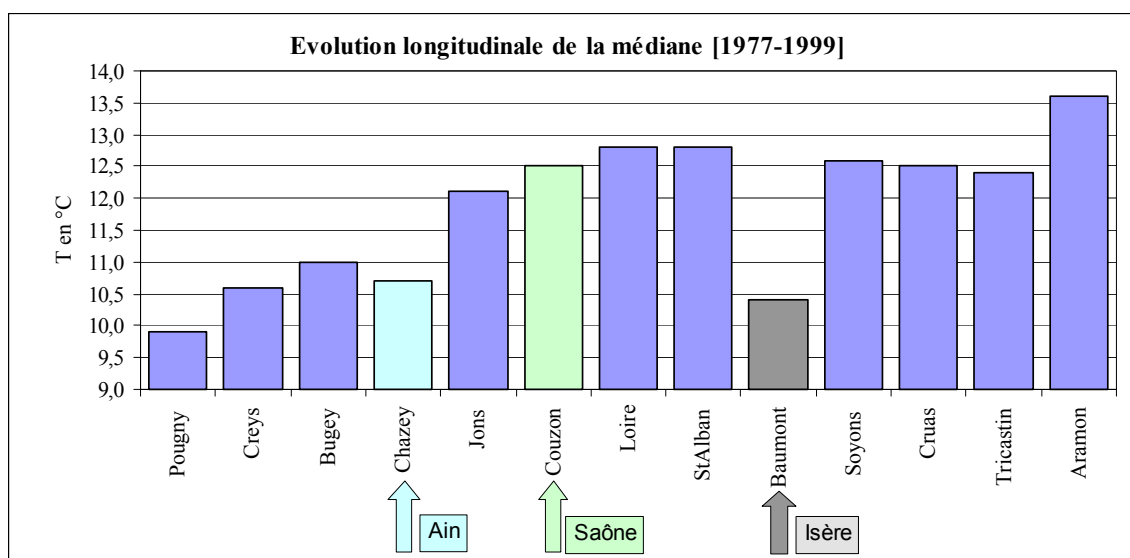


Figure 2 : évolution longitudinale de la médiane - [1977-1999]

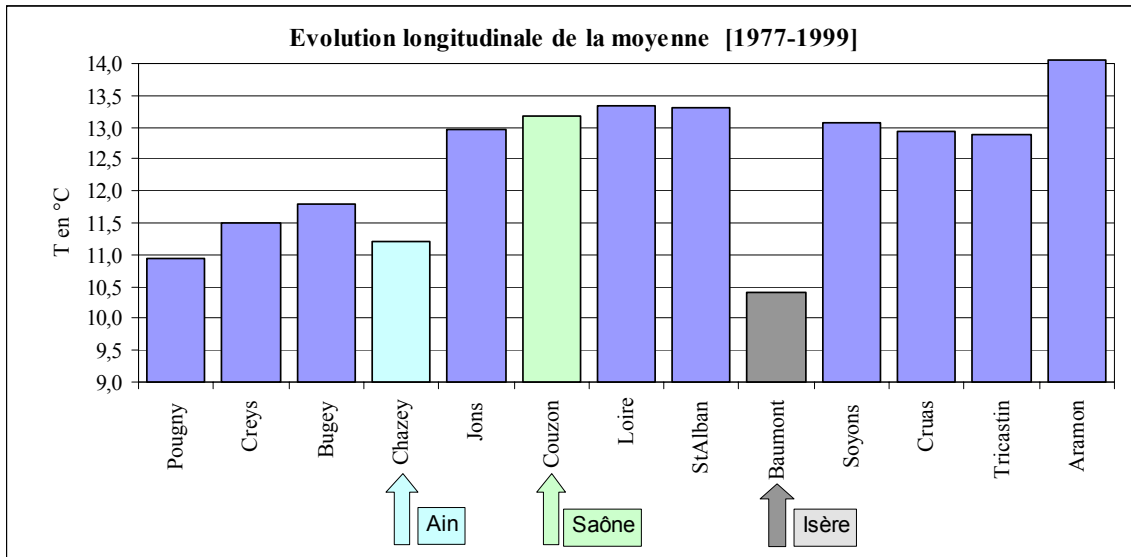


Figure 3 : évolution longitudinale de la moyenne - [1977-1999]

On observe une évolution très comparable de ces deux paramètres décrivant les conditions "moyennes" de température.

On note une augmentation des températures moyennes entre Pougny et Loire sur Rhône (de 10.9 à 13.3°C). Cette augmentation importante (+ 2.4 °C) est irrégulière sur le linéaire. On mesure par exemple + 0.6°C entre Pougny et Creys contre + 1.2°C entre Bugey et Jons pour une distance pourtant 6 fois moindre. La situation est stable entre Loire et Saint Alban puis on note une légère baisse des températures jusqu'à Tricastin (- 0.4°C). Il est intéressant de constater que la moyenne inter-annuelle est très proche de Jons à Tricastin (écart <0.4°C pour tous les points de mesure) et quasiment identique à ces deux points (13°C). Entre Tricastin et Aramon, la température s'élève nettement (+ 1.2 °C). L'écart de température moyenne inter-annuelle des stations du Rhône français est faible (3.2°C), avec 10.9°C à Pougny et 14.1°C à Aramon.

Concernant les affluents, la situation est contrastée avec, par rapport au Rhône, :

- un affluent très froid, l'Isère, avec -2.9 °C par rapport au point de mesure amont sur le Rhône,
- un affluent plutôt froid, l'Ain, avec -0.6 °C par rapport au point de mesure amont sur le Rhône,
- un affluent plutôt chaud, la Saône, avec +0.2°C par rapport au point de mesure amont sur le Rhône.

L'influence de l'Isère apparaît nettement, car une baisse des températures est observée en aval de la confluence (- 0.2°C).

4.1.2. Statistiques de périodes chaudes sur toute la période d'étude

Le bilan de l'évolution longitudinale du TMNA5, du TCN7 et du TCN30 sont présentées Figure 4, Figure 5 et Figure 6.

On observe pour ces grandeurs caractérisant les périodes chaudes une évolution du profil longitudinal assez proche de celle décrite pour les moyennes :

- une évolution à la hausse entre Pougny et Loire (TMNA 5 passant de 19.5°C à 23.1°C),
- une stabilisation entre Loire sur Rhône et Saint Alban puis une baisse légère plus en aval (-1.1°C entre Saint Alban et Soyons pour le TMNA 5).
- une nette augmentation entre Tricastin et Aramon (TMNA 5 passant de 22.4°C à 24.1°C).

Le TMNA5 passe finalement de l'amont à l'aval du secteur d'étude de 19.5 à 24.1°C. On retrouve une forte homogénéité de Jons à Tricastin (écart de TMNA5 < 1.1°C pour tous les points de mesure), les TMNA5 de Jons et Tricastin étant très proches (respectivement 22.6 et 22.4°C).

On retrouve également la situation contrastée des affluents. L'Isère est un affluent très froid et l'Ain est un affluent assez froid (TMNA inférieur respectivement de -6.6 °C et de -1.6 à celui du point de mesure amont sur le Rhône). La Saône est au contraire un affluent chaud (TMNA de +2.1 °C supérieur à celui du point de mesure amont sur le Rhône). Le caractère "chaud" de la Saône est d'ailleurs plus net pour les paramètres décrivant les périodes chaudes que pour ceux donnant une caractéristique moyenne des températures.

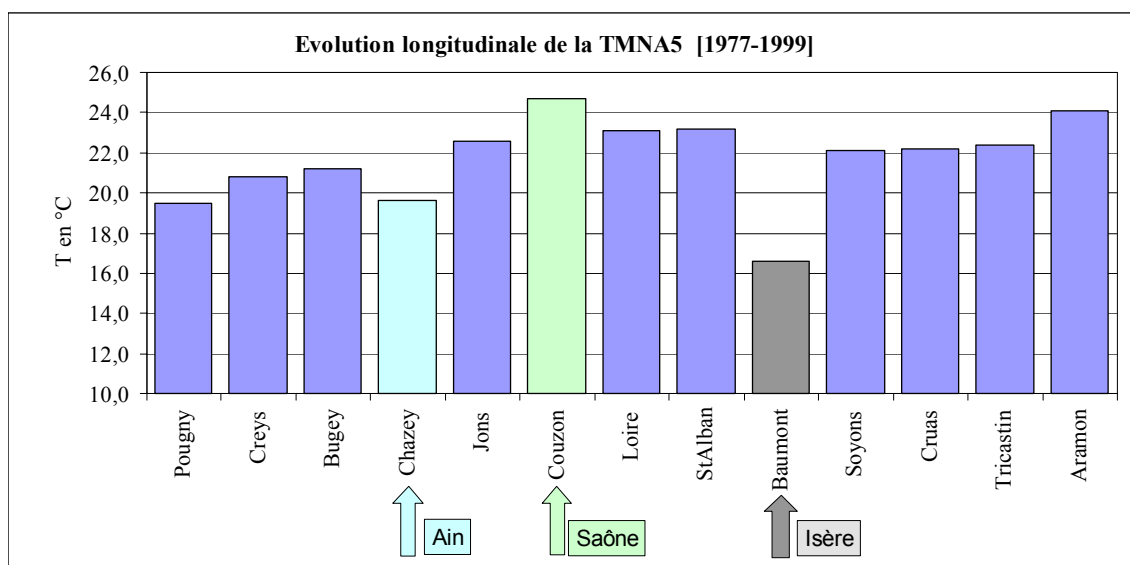


Figure 4 : évolution longitudinale de la TMNA5 - [1977-1999]

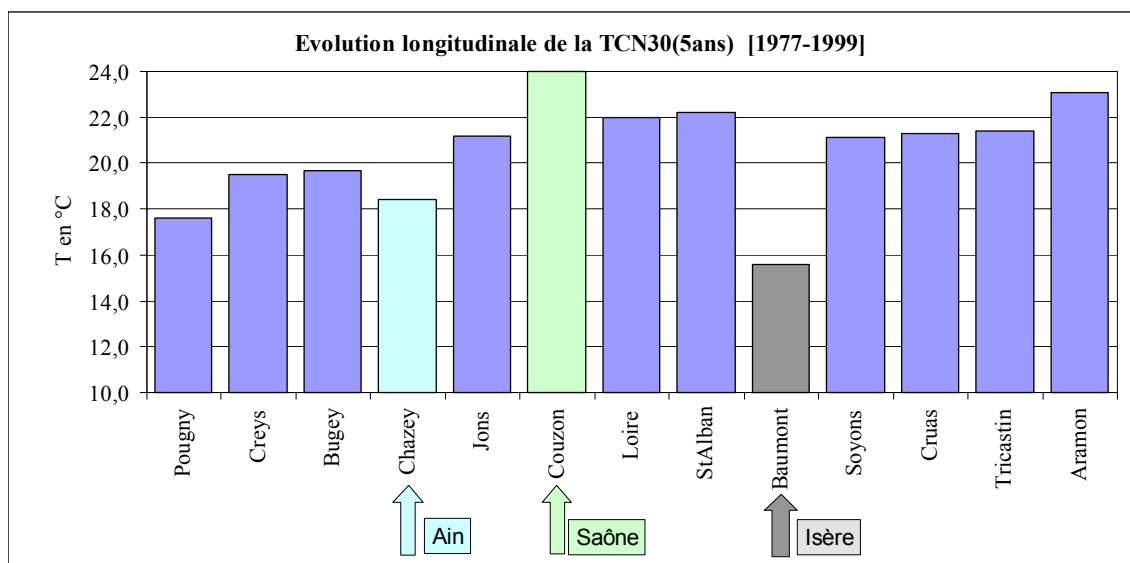


Figure 5 : évolution longitudinale de la TCN30 (5 ans) - [1977-1999]

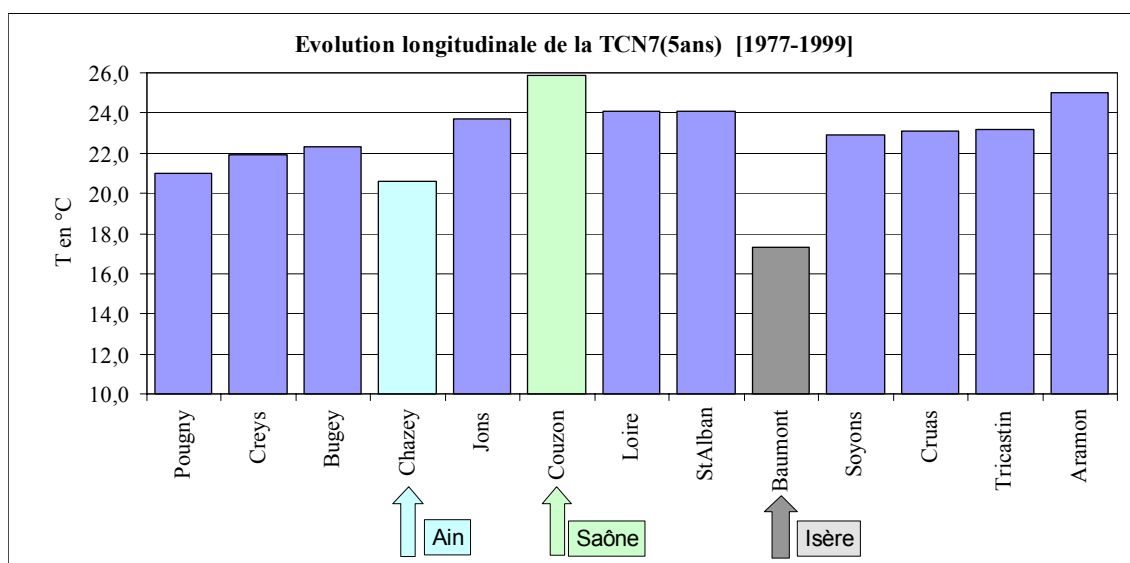


Figure 6 : évolution longitudinale de la TCN7 (5 ans) - [1977-1999]

4.1.3. Evolution de la moyenne par période [1977-1987]/[1988-1999]

On constate la nette évolution à la hausse des températures depuis la fin des années 80 sur l'ensemble des points de mesure (Figure 7). Cette augmentation s'accroît vers l'aval. Elle est proche de 1°C de l'amont du secteur d'étude jusqu'à l'Isère (entre 0.8°C à Bugey et 1.1°C à Saint Alban). En aval, elle est proche de 1.5 °C et dépasse même légèrement cette valeur à Aramon.

Cet échauffement fait que la situation observée entre Tricastin et Aramon sur la période 77-87 correspond à celle observée entre Bugey et Jons sur la période 88-99 (Figure 8).

La situation 88-99 de Pougny correspond, elle, à celle de Bugey sur la période 77-87. Sur les affluents, on retrouve cette évolution qui est particulièrement marquée sur l'Ain (+1.1°C) mais moindre sur la Saône et l'Isère (environ +0.5°C).

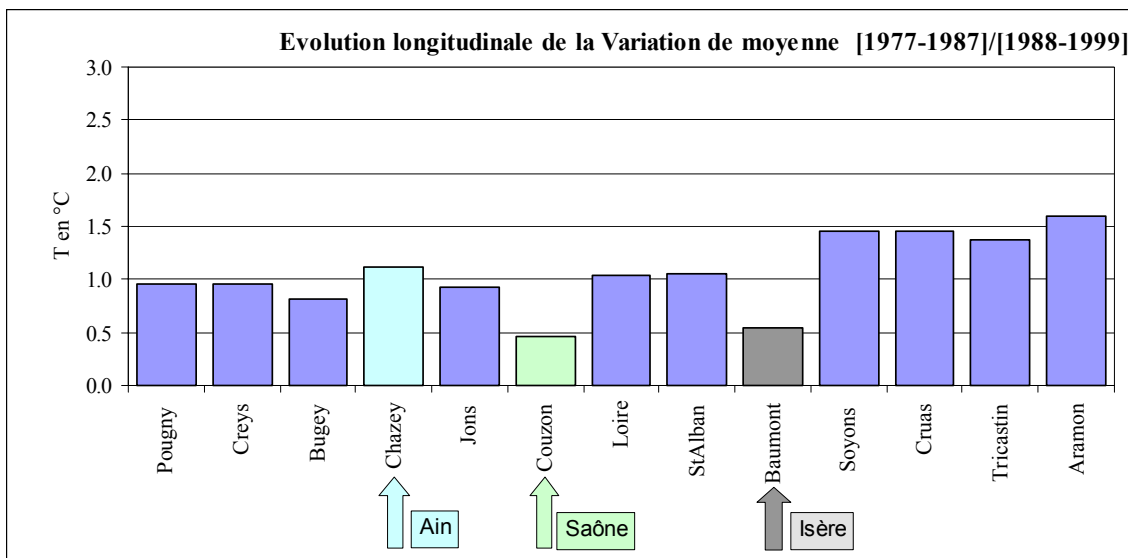


Figure 7 : évolution longitudinale de la variation de moyenne [1977-1987]/[1988-1999]

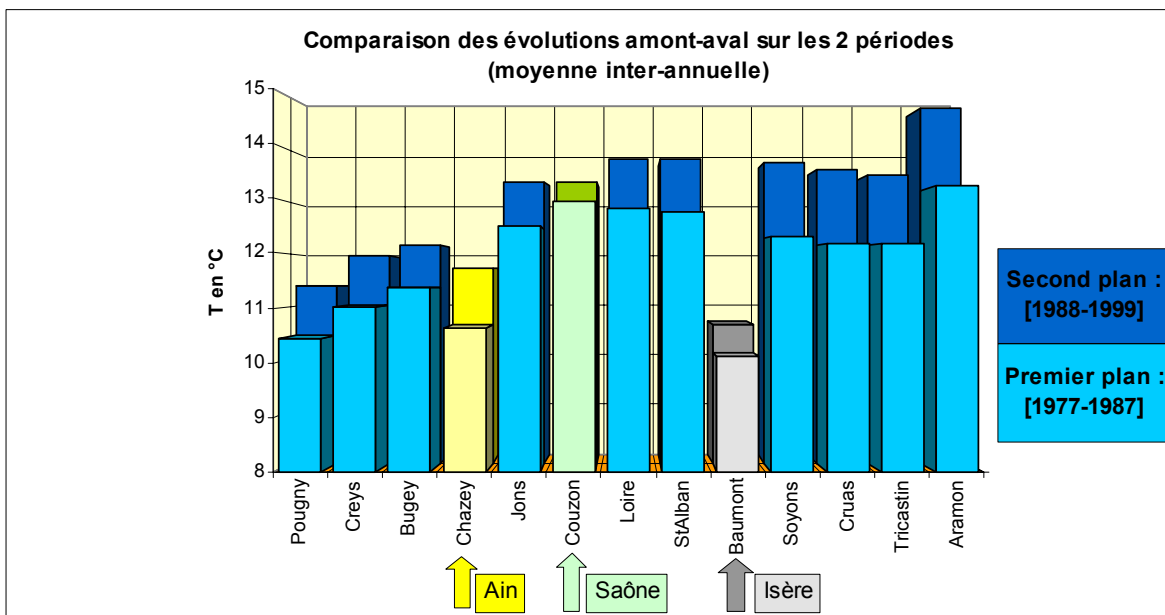


Figure 8 : comparaison des évolutions de moyenne inter-annuelle [1977-1987]/[1988-1999]

Ce réchauffement d'ampleur différente selon les secteurs ne modifie pas nettement la forme du profil d'évolution longitudinale des températures moyennes avant et après 1988 (Figure 8). Cependant, ce réchauffement accentue les écarts amont/aval de part et d'autre de l'Isère. La différence Pougny/Aramon passe par exemple de +2.8 à +3.4°C.

4.1.4. Evolution des TMNA5 par période [1977-1987]/[1988-1999]

La hausse des températures observée sur les moyennes inter-annuelles depuis la fin des années 80 se confirme sur les paramètres caractéristiques des périodes chaudes et notamment le TMNA5 (Figure 9).

Cette hausse semble même amplifiée dans les périodes chaudes (+1.1°C d'augmentation de la moyenne inter-annuelle pour l'ensemble des points contre +1.8°C pour le TMNA5). On retrouve une ampleur du réchauffement qui s'accroît vers l'aval. Le TMNA5 augmente d'environ 1.5 °C jusqu'à la confluence avec la Saône, d'environ 1.8 °C jusqu'à la confluence avec l'Isère et d'environ 2.1°C plus en aval. C'est à Aramon que l'augmentation de TMNA5 est la plus forte (+2.2 °C).

Pour les affluents, on constate que l'Ain est particulièrement sensible à cette augmentation des températures en période chaude avec un TMNA5 en augmentation de +2.2 °C (la plus forte des augmentations observées sur les points de mesure avec Aramon).

Sur la Saône et l'Isère, l'évolution des températures depuis la fin des années 80 est également plus marquée pour les périodes chaudes que pour la moyenne inter-annuelle ; elle est assez proche de ce qui est observé sur le Rhône (respectivement +1.3 et +1.5 °C).

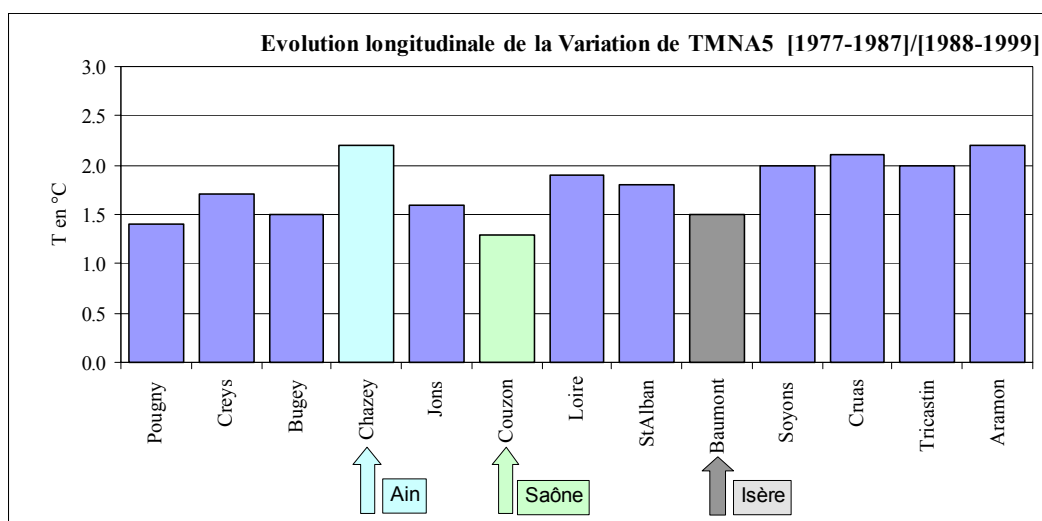


Figure 9 : évolution longitudinale de la variation de TMNA5 [1977-1987]/[1988-1999]

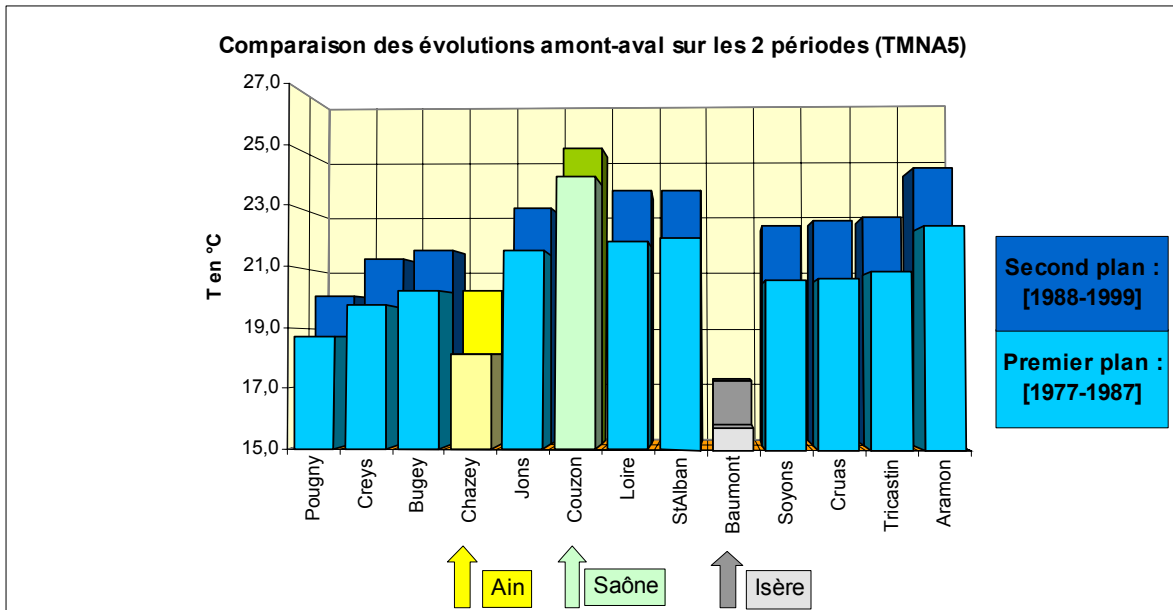


Figure 10 : comparaison des évolutions amont-aval de TMNA5 [1977-1987]/[1988-1999]

Comme pour les moyennes inter-annuelles, le réchauffement d'ampleur différente selon les secteurs ne modifie pas nettement la forme du profil de l'évolution longitudinale des TMNA5 avant et après 1988 (Figure 10). Cependant, ce réchauffement accentue les écarts amont/aval. La différence Pouigny/Loire sur Rhône passe de +3.1 à +3.6°C et la différence Pouigny/Aramon passe de +3.6 à +4.4°C.

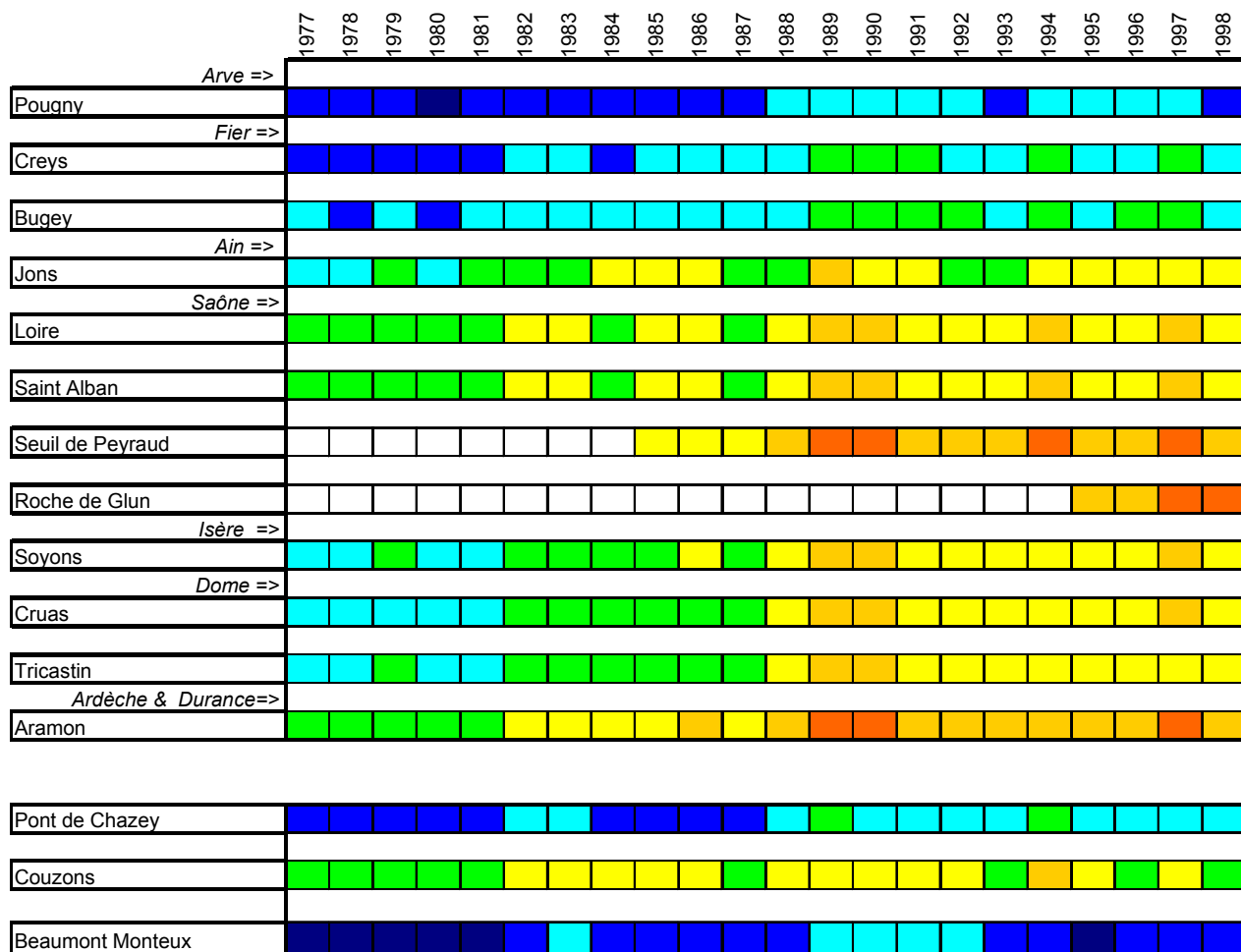
Cet échauffement fait que, là encore, la situation observée en période chaude entre Tricastin et Aramon sur la période 77-87 correspond environ à celle observée entre Bugey et Jons sur la période 88-99. De même, la situation 88-99 de Pouigny correspond à celle de Bugey sur la période 77-87.

4.2. Analyse des moyennes annuelles et inter-annuelles

Les moyennes annuelles et inter-annuelles par périodes de cinq années consécutives sont présentées sous forme de graphes (alinéas 2 des annexes 4 par station).

Une restitution globale des moyennes annuelles sur toutes les stations et pour toutes les années est présentée sous forme d'une carte colorisée (Annexe 6 et Figure 11)

On constate sur les moyennes annuelles et inter-annuelles que le réchauffement temporel observé entre 1977 et 1999 n'est pas négligeable par rapport au réchauffement spatial amont/aval (Tableau 2 et Figure 11). Le réchauffement spatial entre Pouigny et Aramon est de +3.2°C sur toute la période, à comparer à un réchauffement temporel à Pouigny et Aramon entre les périodes 77-79 et 95-99 qui est de respectivement +1.1°C et +2.4°C.



Légende

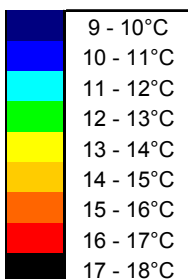


Figure 11 : représentation cartographique des températures moyennes annuelles par année et par station.

Cela implique, qu'avec le réchauffement temporel, la situation observée entre Tricastin et Aramon dans la période en début de période d'étude [77-79] correspond à la situation entre Bugey et Jons en fin de période d'étude [95-99] !



Ce constat se vérifie pour les moyennes annuelles mais aussi pour les périodes chaudes qui sont connues pour être très structurantes dans les écosystèmes (températures des mois chauds et centiles 90% présentés en 4.3 et 4.4).

Le réchauffement observé dans le temps est assez régulier depuis le début de la période d'étude jusqu'au milieu des années 1990. L'évolution semble s'atténuer voir même s'inverser ces dernières années, la période la plus chaude étant 90-94.

Moyennes des années (en °C)	POUGNY	CREYS	BUGEY	JONS	LOIRE	SAINT ALBAN	SEUIL DE PEYRAUD	ROCHE DE GLUN	SOYONS	CRUAS	TRICASTIN	ARAMON	CHAZEY	COUZON	BEAUMONT MONTEUX
77-79	10.2	10.8	11.1	11.7	12.4	12.4			11.8	11.7	11.8	12.4	10.6	12.7	9.7
80-84	10.4	11.0	11.3	12.6	12.9	12.8			12.3	12.2	12.2	13.3	10.8	13.0	10.3
85-89	11.0	11.5	11.9	13.4	13.3	13.3	14.0		13.2	13.1	13.0	14.3	11.1	13.3	10.5
90-94	11.4	12.0	12.2	13.3	13.9	13.9	14.8		13.8	13.7	13.6	14.8	11.7	13.6	11.1
95-99	11.3	11.9	12.1	13.4	13.8	13.7	14.7	14.9	13.7	13.5	13.4	14.8	11.7	13.1	10.2

Tableau 2 : moyennes inter-annuelles par périodes de 5 années (sauf 1977-1979)



4.3. Analyse des moyennes mensuelles et hebdomadaires

Les moyennes mensuelles inter-annuelles sont présentées sous forme de tableaux et de graphes des régimes annuels. Les moyennes hebdomadaires inter-annuelles sont également présentées sous ce format (alinéas 4 à 6 des annexes 4 par station). Une restitution globale sur l'ensemble des stations et pour toutes les années est présentée sous la forme d'une carte colorisée (annexe 6) pour les mois de juillet et août.

	janvier	février	juillet	août	décembre
moyenne	5,9	6,3	19,6	20,7	7,1
minimum	5,1	5,15	17,3	18,15	6,26
maximum	6,83	7,43	21,1	22,53	7,94

Tableau 3 : températures moyennes des mois chauds et froids sur la période 1977-1999 (moyennes de toutes les stations du Rhône sauf Roche de Glun et Seuil de Peyraud)

Le régime annuel est caractérisé par des minima de température en janvier, février et décembre et des maxima en juillet et août (Tableau 3). Janvier est le mois le plus froid en moyenne des stations du Rhône pour la période 1977-1999 avec 5.9 °C alors qu'août est le plus chaud (20.7 °C). L'évolution des températures dans l'année suit un régime d'allure assez semblable sur toutes les stations (voir exemple de Saint Alban - Figure 12 -). Cependant, les températures moyennes et les amplitudes annuelles varient nettement selon les stations. L'écart entre le mois le plus froid et le mois le plus chaud varie par exemple de 13°C (Pouigny) à 16°C (Saint Alban) ; il est de 9.8°C sur l'Isère et de 18.6°C sur la Saône !

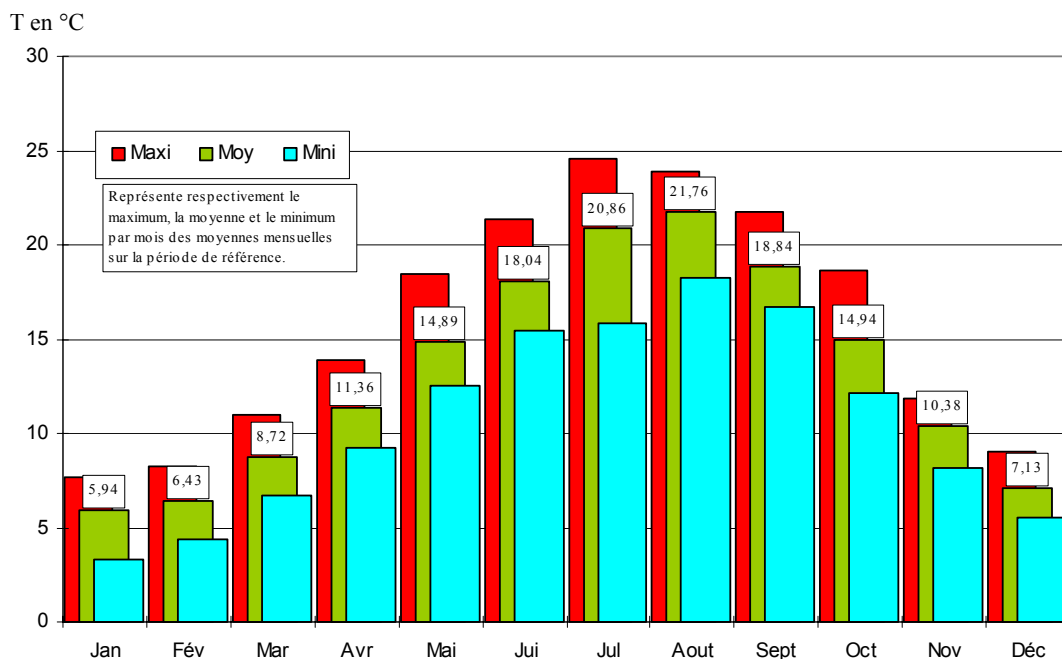


Figure 12 : régime annuel à Saint Alban (1977-1999)

4.4. Analyse des fréquences expérimentales

Les régimes lissés des températures de l'eau sont présentés sous forme de graphes pour les fréquences au dépassement de 10, 25, 50, 75, 90 et 99% du temps. Les analyses sont faites sur l'ensemble de la période d'étude et sur les périodes 77-87 et 88-99 (alinéas 7 et 8 des annexes 4 par station). Une restitution globale sur l'ensemble des stations et pour toutes les années est présentée sous la forme d'une carte colorisée (annexe 6).

La comparaison des régimes lissés pour les périodes 77-87 et 88-99 montre que l'évolution à la hausse des températures déjà décrite précédemment connaît une répartition différente suivant les périodes de l'année (voir exemple de Saint Alban Figure 13).

Cette hausse est faible, voire négligeable, de septembre/octobre à décembre/janvier. Elle augmente ensuite de février à août où elle atteint son maximum. La différence d'augmentation de température est très importante entre la mi-août et la fin septembre. Ce phénomène est vrai sur l'ensemble des stations.

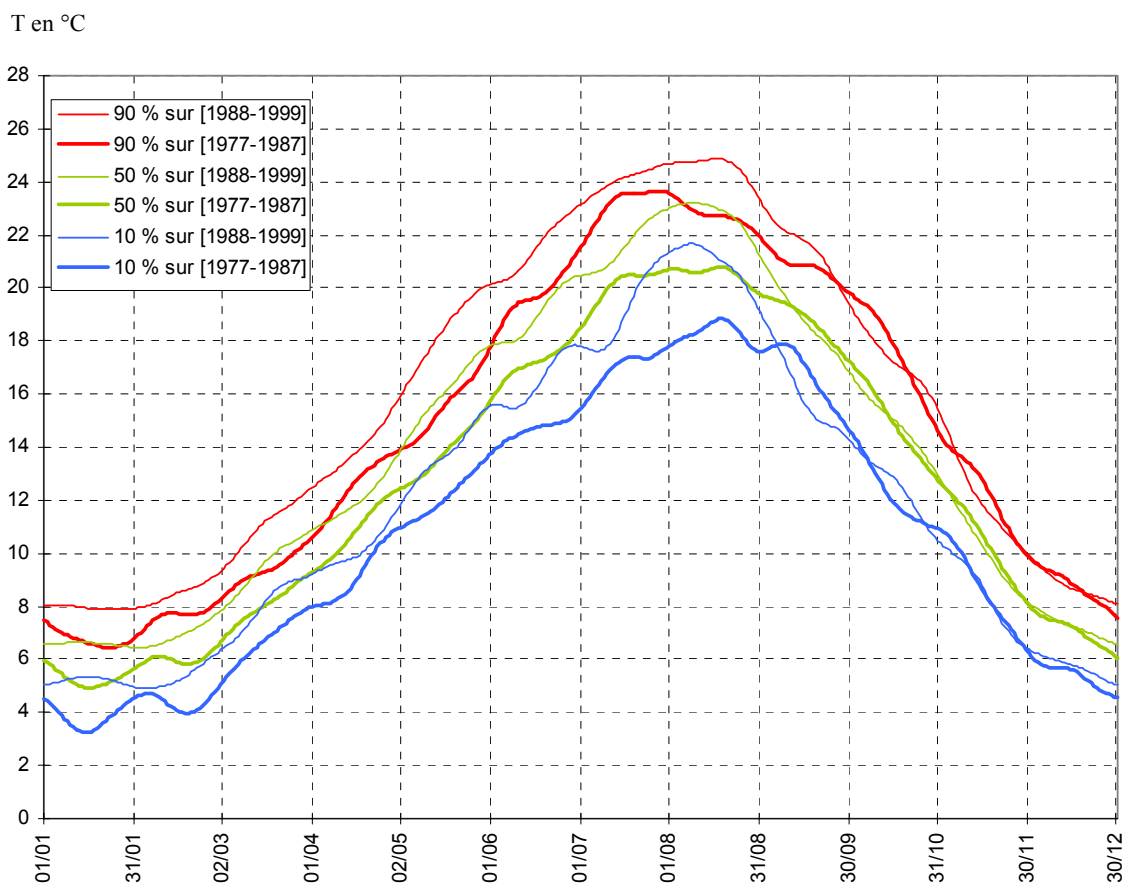


Figure 13 : régime lissé pour les périodes [77-87] et [88-99] (station de Saint Alban)

Les fonctions de répartition des températures de l'eau sont présentées sous forme de graphe des fréquences d'apparition cumulées et des fréquences d'apparition par classes de valeurs (en % du temps).

Ces analyses sont faites sur toute la période d'étude pour les données de toute l'année et pour celles des 3 mois les plus chauds. Les fréquences d'apparition cumulées sont aussi présentées sous forme de graphes pour les périodes 77-87 et 88-99 (alinéas 11 à 13 des annexes 4 par station).

La répartition par classes de valeur des températures moyennes journalières présente pour toutes les stations (sauf sur l'Isère) une structure bi-modale (Figure 14). Les températures les plus représentées sont liés aux 2 modes de la courbes : le mode froid se situe vers 7°C et le mode chaud vers 19°C dans l'exemple de St Alban.

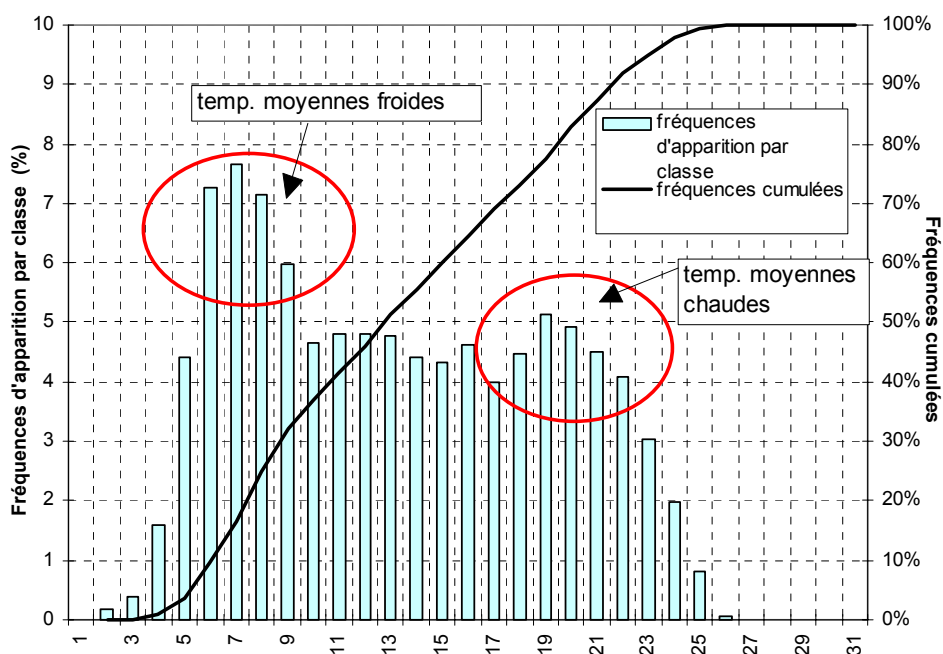


Figure 14 : répartition par classe de valeur des moyennes journalières en °C (Saint Alban)

Un bilan pour les fréquences 90 et 99% est présenté Figure 15 et Figure 16. On retrouve sur ces graphes les mêmes évolutions que pour le QMNA5 et le TCN7 et TCN30 (5ans), tous ces paramètres traduisant les caractéristiques des périodes chaudes.

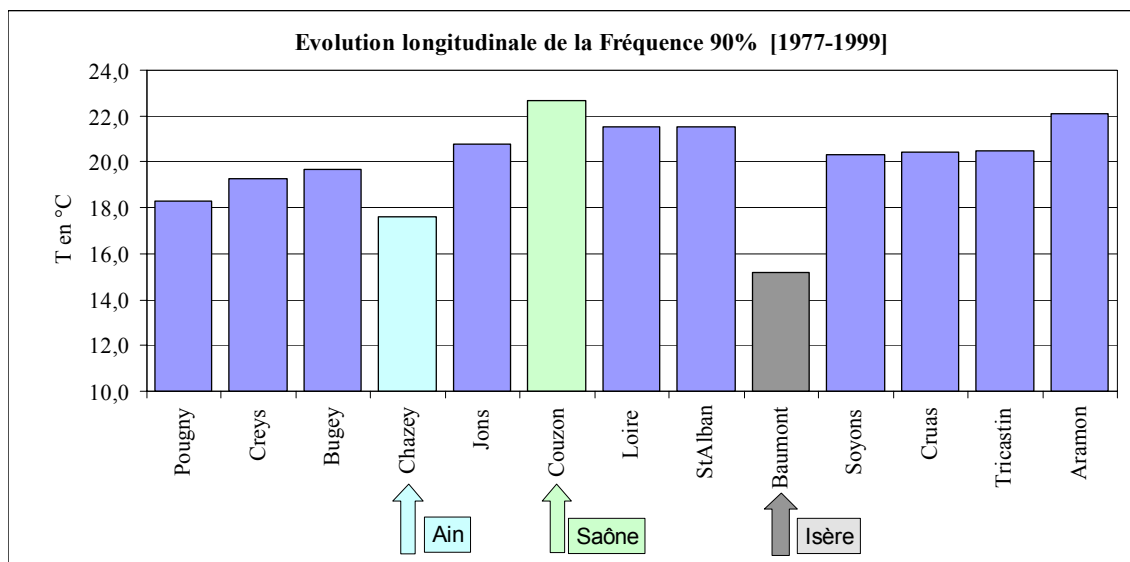


Figure 15 : évolution de la fréquence 90 % [1977 - 1999]

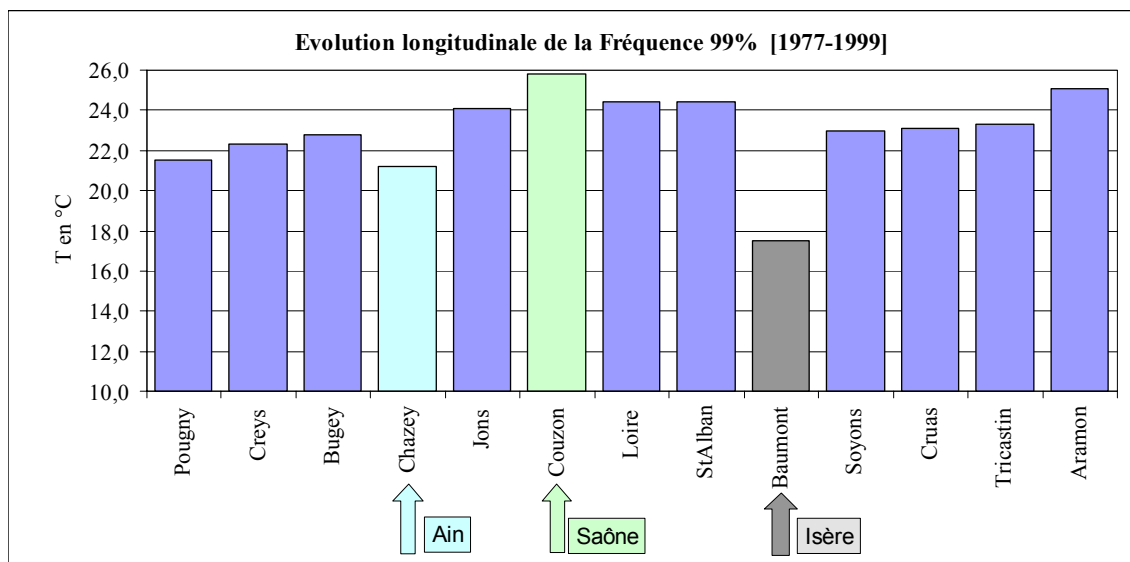


Figure 16 : évolution de la fréquence 99 % [1977 - 1999]



4.5. Analyse des amplitudes journalières

Le travail sur les amplitudes journalières a nécessité de revenir aux données horaires. Compte tenu du volume de données et des objectifs de l'étude, la critique a été effectuée de manière plus sommaire : remplacement des valeurs par la station la plus proche.

Les amplitudes sont définies comme étant la différence entre le maximum mesuré et le minimum mesuré entre 0h et 24h.

Elles ne représentent donc pas forcément les cycles nycthémeraux comme on l'entend généralement. Lors des fortes crues par exemple, les baisses de température de l'eau peuvent être très rapides à l'échelle de la journée, masquant complètement le cycle habituel. Les amplitudes journalières maximales représentent souvent cette situation au demeurant peu fréquente. L'étude des maxima n'a donc que peu de signification environnementale.

Par contre, les moyennes d'amplitude ou les fréquences au dépassement d'un seuil d'amplitude représentent plutôt l'effet des cycles notamment pendant les mois chauds où les crues sont rares.

Les principales grandeurs caractérisants les données sur l'ensemble de la période d'étude sont présentées en alinéas 1 des annexes 5 par station. Il s'agit notamment des moyennes inter-annuelles, des médianes inter-annuelles, des A.M.N.A 5 (amplitude moyenne du mois de plus forte amplitude de période de retour 5 années).

Les amplitudes journalières moyennes annuelles sont présentées sous forme de graphes (alinéas 2 des annexes 5 par station).

Les amplitudes journalières moyennes mensuelles inter-annuelles sont présentées sous forme de tableaux et de graphes des régimes annuels (alinéas 3 et 4 des annexes 5 par station).

Les fonctions de répartition des amplitudes journalières sont présentées sous forme de graphes des fréquences d'apparition cumulées et des fréquences d'apparition par classes de valeurs (alinéas 5 des annexes 5 par station).

Une restitution globale des amplitudes moyennes annuelles (et des mois de juillet, août et septembre) sur l'ensemble des stations et pour toutes les années est présentée sous la forme d'une carte colorisée (annexe 6).

Les amplitudes journalières sont en moyenne plus élevées dans un secteur amont jusqu'à la Saône (Figure 17). Elles sont aussi plus hétérogènes sur ce secteur (0.6 °C à Creys contre 1.1 °C à Jons). En aval de la Saône, l'hétérogénéité est moins importante (0.5 à 0.7 °C) et les valeurs sont en moyenne de 0.6 °C.

Pour les affluents, on retiendra que l'Ain à Chazey connaît les plus fortes amplitudes de toutes les stations de mesure (1.6 °C en moyenne). Cela est assez logique dans la

mesure où, compte tenu des débits, cette station est celle qui s'équilibre le plus vite avec les températures de l'air.

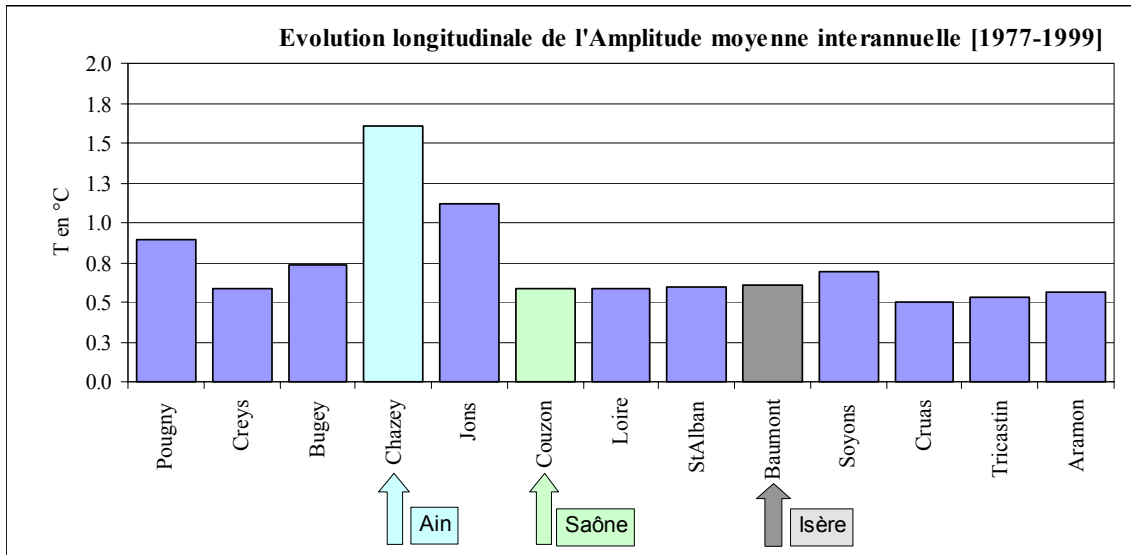


Figure 17 : évolution longitudinale de l'amplitude journalière moyenne journalière

5. EVOLUTION DES TEMPERATURES A L'ECHELLE DU RHÔNE

Le premier bilan de cette étude réside dans la richesse des informations à pas de temps fin sur 15 stations sur la période 1977-1999. Ce jeu de données de bonne qualité, permet de bien décrire les principales caractéristiques statistiques des températures du Rhône.

Bien que n'étant pas l'objectif premier de cette étude, quelques constatations peuvent être tirées de cette phase de description des régimes thermiques :

- La température moyenne sur toute la période 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). Cette augmentation n'est pas régulière sur le linéaire. Elle est importante de Pougny à Jons (+2.4°C) et de Tricastin à Aramon (1.2°C). De Jons à Tricastin, il y a par contre peu d'évolution. On observe une évolution encore plus accentuée pour les paramètres caractéristiques des périodes chaudes.
- Les trois affluents pris en compte ont des caractéristiques différentes. La Saône est un affluent plutôt chaud, l'Ain un affluent plutôt froid sauf en été et l'Isère un affluent très froid. Ce dernier cours d'eau, avec son régime hydrologique nival, abaisse les températures du Rhône en aval de sa confluence de 0.2 °C en moyenne et de -1°C en période chaude.
- L'évolution des températures dans l'année suit un régime d'allure assez semblable sur toutes les stations, même si les températures moyennes et les amplitudes annuelles varient nettement selon les stations. Le mois le plus chaud est août et le plus froid est janvier. Les fonctions de répartition des températures par classes ont sur toutes les stations (sauf sur l'Isère) une structure bi-modale très nette.
- Le Rhône est un fleuve qui n'est pas à l'équilibre avec le milieu extérieur : une baisse de température de l'eau à la sortie du Léman peut se répercuter jusqu'à la Méditerranée, même si elle est atténuée par la température de l'air et celle des affluents proches de l'équilibre comme l'Ain et la Saône.
- Le Rhône et ses grands affluents ont vu leur température de l'eau augmenter notablement sur la période d'étude. On note par exemple un échauffement moyen de 0.5 à 1.6°C selon les stations de mesure entre les périodes [77-87] et [88-99]. Ce réchauffement est plus important vers l'aval et lors des périodes chaudes. La modification de la zonation thermique est très importante : la situation [88-99] vers Lyon correspondant à la situation [77-87] vers Orange. Le niveau du réchauffement est en effet du même ordre de grandeur que l'évolution spatiale Léman - Méditerranée pour une année donnée.
- Sur les affluents (moyenne Ain, Saône et Isère) l'augmentation de température est de 0.7°C en moyenne et de 1.7°C pour les températures caractéristiques des périodes chaudes.
- Ce réchauffement est net depuis le début de la période d'étude jusqu'en 1995, mais il s'atténue (et semble même s'inverser) depuis.
- Les amplitudes journalières n'ont pas été modifiées sensiblement au cours de la période d'étude. Elles sont globalement faibles, à l'exception de l'Ain.