



**HAL**  
open science

## Influence des barrages-réservoirs sur la température de l'eau : exemple d'application au bassin versant de l'Ain

J. Poirel, J. Gailhard, Hervé Capra

### ► To cite this version:

J. Poirel, J. Gailhard, Hervé Capra. Influence des barrages-réservoirs sur la température de l'eau : exemple d'application au bassin versant de l'Ain. *La Houille Blanche - Revue internationale de l'eau*, 2010, 4, p. 72 - p. 79. 10.1051/lhb/2010044 . hal-00590890

**HAL Id: hal-00590890**

**<https://hal.science/hal-00590890>**

Submitted on 5 May 2011

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Influence des barrages-réservoirs sur la température de l'eau : exemple d'application au bassin versant de l'Ain

*Effects of dams on water temperature : example of the Ain River (France)*

ALAIN POIREL, JOËL GAILHARD,

EDF/DTG

21 Av de l'Europe - BP 41- 38040 Grenoble cedex 9 ; e-mail : alain.poirel@edf.fr

HERVÉ CAPRA

CEMAGREF/DYNAM

3 bis Quai Chauveau 69336 Lyon cedex 09

**L'**objectif de cette communication est d'illustrer, au travers d'un jeu de données important sur l'Ain, les évolutions constatées sur les températures de l'eau et l'influence de la gestion des retenues, notamment en situation estivale. Des modèles sont calés et utilisés pour simuler ces températures selon différentes hypothèses de gestion des débits pour identifier l'effet des retenues. Des projections sur la période 1950-2099 sont faites sur la base d'un scénario climatique, d'un modèle hydrologique et de modèles de température de l'eau. Cette simulation confirme une possible et inquiétante hausse de la température de l'eau estivale liée à la hausse des températures de l'air et d'une baisse marquée des débits.

**T**he aim of this paper is to illustrate with a lot of data series on the Ain river, the changes observed on water temperatures, especially for summer values. Models are calibrated and used to simulate water temperatures under different assumptions of flow management to deduct effects of dams. Projections on the period 1950-2099 were made on the basis of a climate scenario, a hydrological model and models of water temperature. This simulation confirms the risk of a sharp rise in water temperatures in summer related to rising air temperatures and lower low flows.

### I ■ LA TEMPÉRATURE DE L'EAU ET L'EFFET DES RETENUES

La température de l'eau est un des plus importants facteurs physiques dans les fleuves et rivières. Elle a une influence directe ou indirecte sur de nombreux autres paramètres qu'ils soient physiques, chimiques [20] ou biologiques [6]. Elle constitue un facteur écologique majeur pour de nombreux compartiments biologiques, au travers des niveaux thermiques atteints [9], [5], mais aussi au travers d'hétérogénéités locales [7].

L'influence des retenues et lacs sur la température de l'eau des rivières a été étudiée par de nombreux auteurs qui ont mis en évidence un effet de lissage des cycles journaliers et/ou annuels en aval [10]. Les décalages temporels de la thermie sont à l'origine de perturbations des cycles biologiques [4], les organismes ne retrouvant plus les signaux thermiques rythmant une phase de leur cycle de vie [11]. Les apports d'eaux hypolimniques très froides en été peuvent aussi être source de perturbations biologiques [16]. Ce phénomène particulier n'est pas propre aux retenues puisqu'on l'observe en aval du lac Léman, par exemple, sous forme de variations brutales en été appelées « gouttes froides » ou ladières [15].

À ce jour, en France, les suivis thermiques en continu en aval et en amont de retenues sont rares et portent souvent sur de courtes chroniques. La vallée de l'Ain constitue, à ce titre, un exemple intéressant d'un bassin fortement aménagé sur lequel les enjeux thermiques sont forts en relation avec des écosystèmes d'eaux suffisamment fraîches pour permettre le maintien de populations de Salmonidés en aval des aménagements. Dans le cadre des suivis environnementaux et écologiques associés au fonctionnement de cette chaîne d'usines hydroélectriques, via une Cellule d'Alerte activée chaque été depuis 15ans, ainsi que pour le suivi des températures du Rhône (source froide des centrales thermiques), EDF mesure depuis de nombreuses années la température de l'eau de l'Ain à pas de temps horaire. De plus, un ensemble de mesures thermiques coordonnées, en rivière et sur la profondeur dans les retenues, a été mis en place ces dernières années pour différentes études sur la vallée. Enfin, l'étude des rejets thermiques de la centrale du Bugey a conduit le Cemagref à instrumenter l'Ain à sa confluence avec le Rhône. On dispose de ce fait d'un jeu de données thermiques sans précédent, associé à une bonne connaissance des débits et des températures de l'air.

## II ■ LES SUIVIS THERMIQUES DE LA VALLÉE D'AIN

### ● II.1 DESCRIPTION DU JEU DE DONNÉES DISPONIBLES

Le bassin versant de l'Ain (*Figure 1*) draine une superficie de 4200 km<sup>2</sup> de terrains sédimentaires, sous influence nivolumpluviale avec une composante karstique localement forte sur le haut du bassin. Les débits sont fortement anthropisés depuis la création de la retenue de Vouglans sous l'effet de la gestion hydroélectrique (éclusées énergétiques), de la gestion touristique (maintien de cote touristique) et d'objectifs environnementaux (soutien d'étiage et débits support en période de frai des Salmonidés).

Outre Vouglans, quatre barrages-usines forment une succession de « marches » d'escalier jusqu'à la restitution d'Allement, point de départ de la Basse Vallée d'Ain (*Figure 2*). Quelques seuils (usines au fil de l'eau ou de soutien de ligne d'eau) constituent les seuls secteurs ralentis de la Basse Vallée par ailleurs assez préservée sur le plan morphodynamique.

Les chaînes de mesure de la température de l'eau utilisées sur la rivière d'Ain sont constituées de quatre composants : un capteur, un convertisseur analogique, un enregistreur et une alimentation. Cinq générations différentes de chaînes de mesure se sont succédées sur la longue série de Pont de Chazey. Elles se différencient soit par des améliorations métrologiques, soit par des améliorations sur la fiabilité et la maintenance notamment avec l'apparition des systèmes d'acquisition en temps réel.

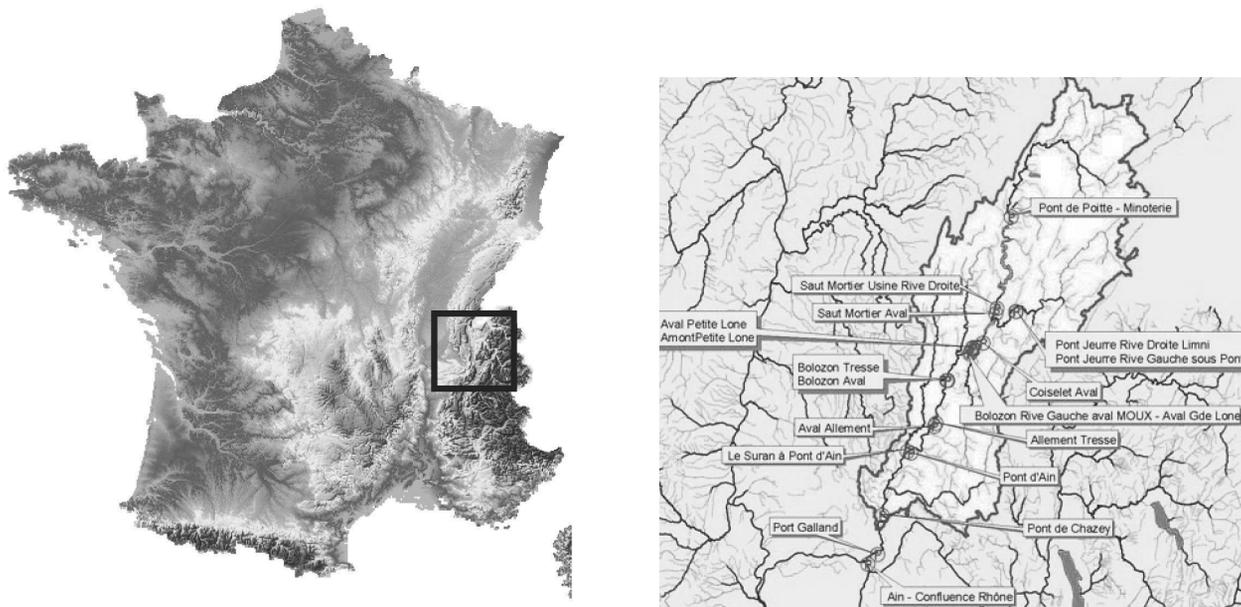


Figure 1 : Le bassin versant de l'Ain et les points de mesure de température de l'eau

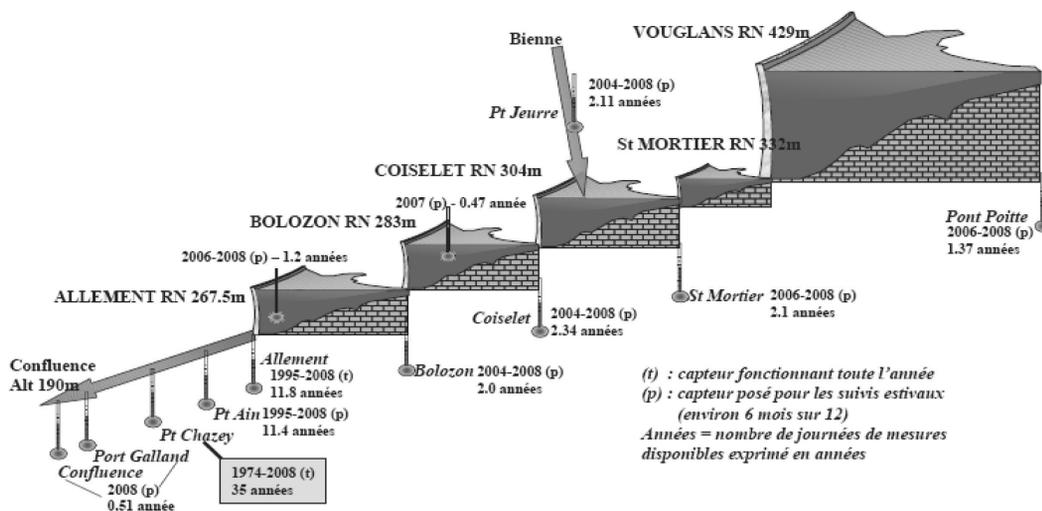


Figure 2 : Schéma hydraulique de la Vallée d'Ain ; positionnement des capteurs et données disponibles

D'une précision initiale de 0.5°C à 1°C approximativement, ces chaînes de mesures ont progressivement gagné en qualité. Depuis 2003, des étalonnages sur site avec un four thermostaté de précision sont réalisés selon une procédure mise au point avec le Laboratoire National d'Étalonnage : bien que les capteurs soient vendus pour 0.1°C, la précision vérifiable in situ, sur de la mesure en continu, est de 0.3°C environ.

Depuis quelques années, de petits enregistreurs autonomes sont également apparus sur le marché. Ils autorisent une installation simplifiée surtout sur des campagnes d'étiage pour une précision raisonnable de 0.5°C. Enfin, pour les retenues, on dispose de chaînes de thermistances montées tous les mètres sur une tresse de grande longueur (15m). Le système est maintenu verticalement dans le plan d'eau ce qui permet d'acquérir, en continu, la température mètre par mètre. Dans tous les cas, la sensibilité des capteurs est nettement supérieure à la précision, proche de 0.1°C environ.

## ● II.2 VARIABILITÉ DES TEMPÉRATURES DE L'EAU MESURÉES

### II.2.1 Variabilité temporelle de la température de l'eau à Pont de Chazey

Des évolutions temporelles significatives sont constatées sur la longue série patrimoniale de Pont de Chazey (Figure 3.a) où l'on dispose de données horaires depuis 1974. Toutes les statistiques confirment la tendance à la hausse des températures, surtout des températures élevées (Figure 3.b). Ces évolutions thermiques sont en relation avec celles de la température de l'air et des débits [12].

### II.2.2 Variabilité longitudinale de l'amont Vouglans à la confluence avec le Rhône

L'Ain présente une forte variabilité longitudinale illustrée par la campagne de mesures 2008 (Figure 4.a).

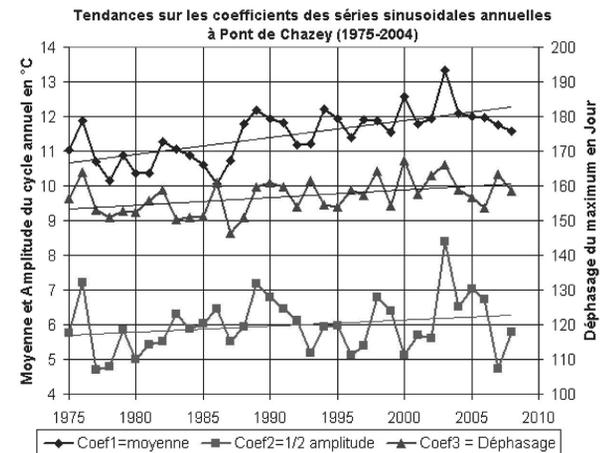
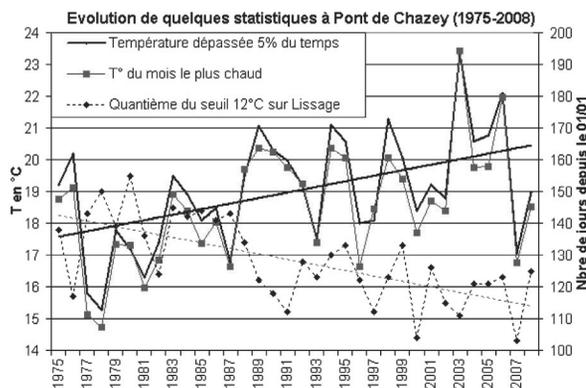


Figure 3a et 3b : évolution de quelques statistiques annuelles sur série de Pont de Chazey (1975-2008)

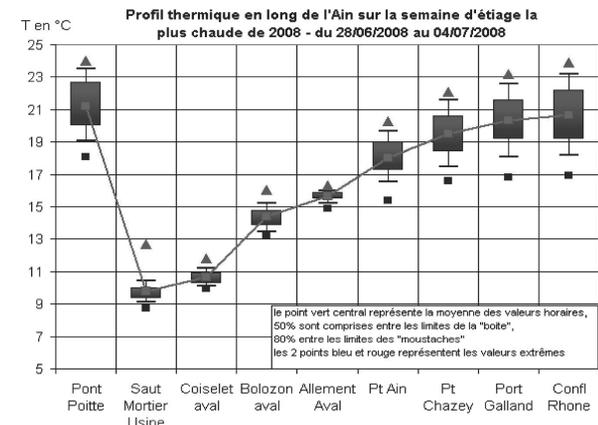
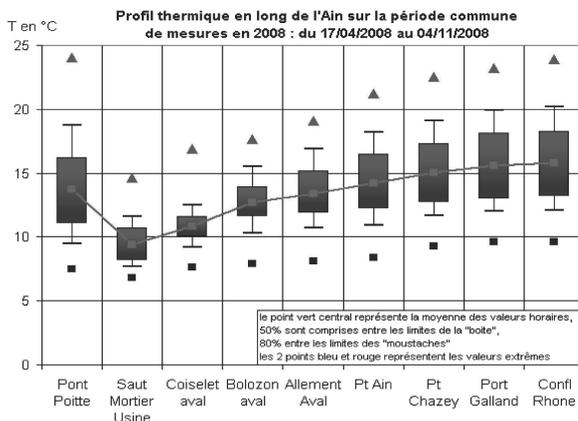


Figure 4a. et 4.b : Profil thermique en long de l'Ain de l'amont de Vouglans à la confluence avec le Rhône

Les processus sont connus : l'eau sortant de Vouglans est, en été et en automne, issue des couches d'eau froides situées en profondeur sous la thermocline. Elle se réchauffe ensuite au travers des retenues aval tout en gardant une faible variabilité temporelle car le réchauffement affecte surtout les premiers mètres. En rivière, à l'aval d'Allement, le réchauffement s'accélère et les cycles journaliers augmentent. En situation chaude, ces processus s'amplifient avec la stratification des retenues (Figure 4.b), et on retrouve, en période chaude, une situation thermique très comparable entre la confluence avec le Rhône et l'amont de Vouglans.

### II.2.3 Variabilité thermique dans les retenues

L'effet thermique lié aux retenues et à l'hydrologie est illustré par les mesures horaires dans la colonne d'eau de la retenue d'Allement (Figure 5). L'écart entre la température de surface et de fond atteint 10°C en période d'été notamment. Cette stratification se met progressivement en place dès que la température de l'air est nettement supérieure à celle de l'eau et que le débit reste modéré.

## III ■ SENSIBILITÉ DE LA THERMIQUE À L'HYDROLOGIE

### ● III.1 EXTENSION TEMPORELLE DES SÉRIES DE DONNÉES

La modélisation des températures de l'eau à partir du débit et de la température de l'air, connus sur de longues séries, est possible si l'on dispose de quelques années de mesures fiables en température de l'eau. L'approche par des modèles de type réseau de neurone (RN) à une couche cachée, calés sur un tiers de la série et testés sur les deux tiers restants s'avère souvent performante [1], [19]. L'expérience acquise

dans le cadre d'une étude en cours sur la thermique de l'Ain montre que deux séries de températures de l'air à Vouglans et à Lyon et des débits au droit des points de mesures suffisent à établir des modèles dont l'erreur quadratique moyenne est de 0.65 à 0.75°C, ce qui semble compatible avec les exigences des biologistes.

Sur l'Ain, la limite de reconstitution des données est fixée par la plus longue série de débits connue qui débute en 1933 sur Bolozon. Pour les températures de l'air, les données homogénéisées de Lyon, connues depuis 1920 servent à compléter par régression sur la période 1933-1952, la série plus récente de Vouglans.

À Vouglans, une série de débit entrant a été reconstituée par les hydrologues sur la base des données de Bolozon dans le passé puis de mesures plus récemment. Le rôle de la gestion de la retenue de Vouglans sur les débits a été estimé à partir des données d'exploitation (débit entrant, débit des affluents, cote de la retenue et jour de la semaine) depuis 1970 et appliqué aux données naturelles entre 1933 et 1970. Les débits des bassins versants intermédiaires ont été calculés soit sur la base des mesures disponibles sur la période récente (depuis 1970 à Chazey par exemple), soit par proportionnalité en module du bassin versant intermédiaire Vouglans-Bolozon ou Bolozon-Chazey selon le cas.

### ● III.2 PRINCIPES DE MODÉLISATION ET DE CALAGE DES MODÈLES

Sur la base des températures de l'air à Vouglans ou à Lyon et des débits réels avec aménagements, plusieurs modèles RN ont été calés et testés (tableau 2).

Ces modèles ont été utilisés en simulation dans trois configurations de débits sur la période 1933-2008 :

- AM : les débits à l'aval de Vouglans sont influencés par la gestion classique des aménagements

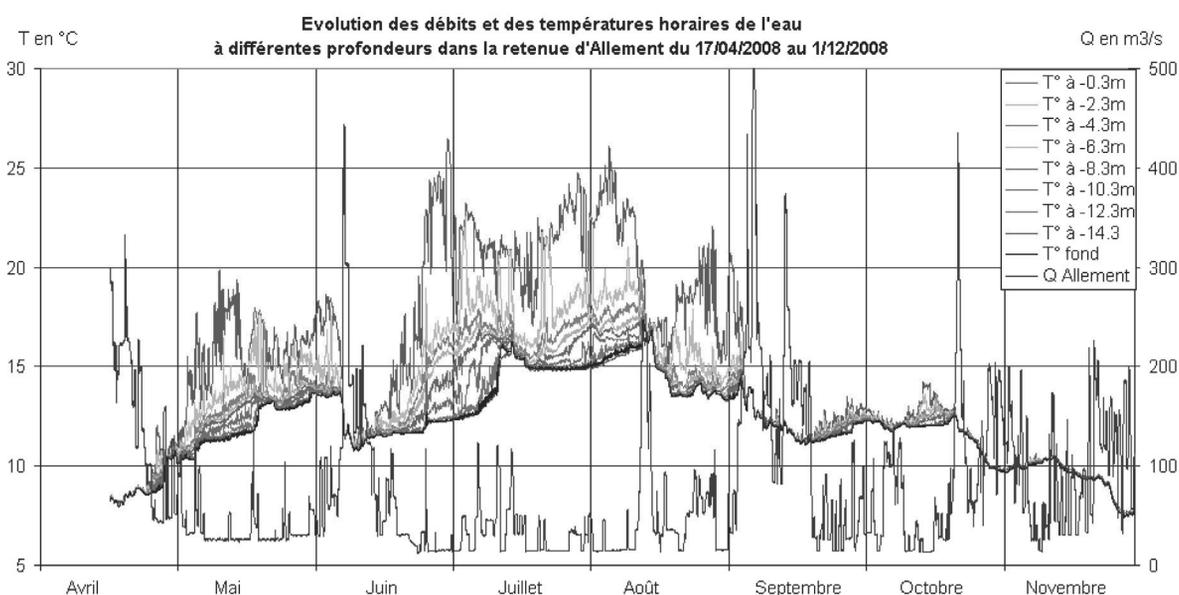


Figure 5 : Débit et Températures de l'eau à différentes profondeurs dans la retenue d'Allement en 2008

Tableau 2 : Modèles de température de l'eau calés, variables d'entrée et qualité des modèles

Modèle	Variables utilisées	Période utile	RMSE en test	coef. corrélation en T°Eau et en variations de j à j+1
Teau amont Vouglans*	Qamont Vouglans ; Tair Vouglans	2006-2008	0.77°C	0.979 / 0.85
Teau aval Allement	Q réel aval Allement ; Tair Lyon	1996-2008	0.64°C	0.987 / 0.73
Teau à Chazey**	Q réel Chazey ; Tair Lyon ; Teau Allement	1975-2008	0.74°C	0.987 / 0.68

\* pseudo-naturel si on néglige l'influence de Chalain \*\* à noter l'introduction de la T°eau à Allement en donnée d'entrée

- ANR : les aménagements sont présents mais laissent transiter les débits « naturels » reconstitués
- NAT : la série de température de l'eau de Vouglans est reportée à Allement afin de déterminer une température de l'eau à Chazey « comme si » les aménagements n'existaient pas. Cette approximation grossière a peu de conséquence sur la température à Chazey car les processus de mise à l'équilibre avec les conditions atmosphériques sont prédominants à l'aval d'Allement.

### III.3 EFFETS THERMIQUES DE LA GESTION DES DÉBITS SUR LA RIVIÈRE D'AIN

Sur la base des extensions de séries à la période 1933-2008, on peut calculer, jour par jour la valeur médiane de la température de l'eau pour chaque série que l'on ajuste ensuite par une fonction sinusoidale à 2 harmoniques. La comparaison de ces régimes (Figure 6.a) montre l'effet des retenues sur la rivière d'Ain : les deux séries « naturelles » de Vouglans et de Chazey-NAT ont une forme très comparable décalée d'environ 1°C, à comparer à l'écart de 2.5°C entre la température moyenne de l'air à Vouglans et à Lyon. La différence entre la situation avec aménagements mais avec ou sans gestion des débits se traduit par quelques dif-

férences mineures en phase d'accumulation ou de restitution à Vouglans.

C'est donc avant tout la présence des retenues, par le biais notamment de la stratification thermique qu'elles induisent (Figure 4), qui entraîne la plus grande modification de régime thermique (différence entre Chazey ANR et Chazey NAT), et ce, quel que soit le mode de gestion (Chazey AM ou Chazey ANR). Cet effet des retenues est contrasté selon les saisons (Figure 6.b) avec un refroidissement faible au printemps, important en été, un effet plutôt neutre en automne et un réchauffement des eaux en hiver.

Sur la basse Vallée d'Ain, l'effet des retenues sur la thermie correspond donc à un « facteur de changement » tel que défini par l'Évaluation des Écosystèmes pour le Millénaire [18] avec des effets jugés positifs (refroidissement estival) mais aussi une réduction de la variabilité thermique et un échauffement hivernal qui peut également favoriser certaines espèces et diminuer la biodiversité en supprimant un facteur limitant.

Enfin le soutien d'étiage estival via un débit qui, sauf situation exceptionnelle comme en 2003, est artificiellement maintenu à 12m<sup>3</sup>/s à l'aval d'Allement ne montre pas d'effet très significatif sur la thermie : à Chazey, dans plus de 90 % des situations de soutien d'étiage, le gain thermique est inférieur à 0.55°C.

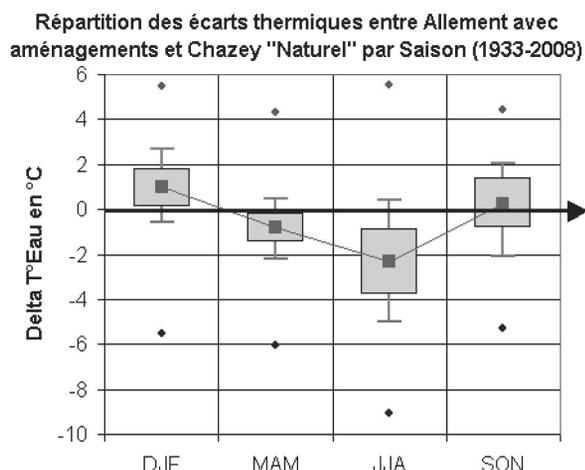
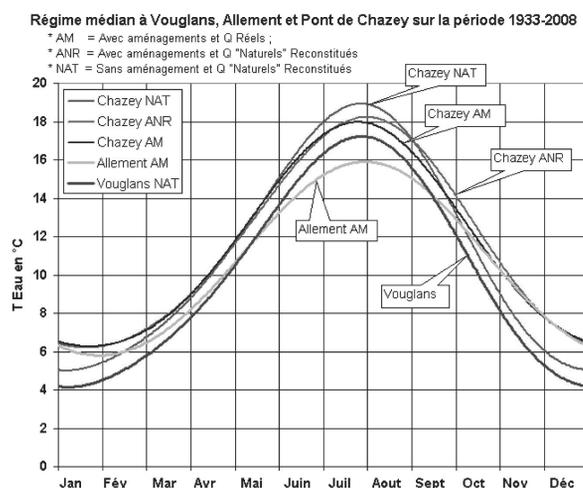


Figure 6a et 6b : Effets des retenues sur le régime thermique de la Basse Vallée d'Ain.

### III.4 EFFETS DES DÉBITS SUR LA TEMPÉRATURE RESTITUÉE PAR LA RETENUE D'ALLEMENT

De manière plus fine, l'analyse de la relation entre les débits et la stratification de la retenue d'Allement est intéressante car c'est un levier imaginé à ce jour pour améliorer la qualité d'eau restituée en période de crise (déficit en oxygène dissous avec des risques sur le relargage des nutriments et sur l'eutrophisation du tronçon situé à l'aval d'Allement). Pour améliorer le niveau d'oxygène dissous en fond de retenue, il faudrait déstratifier le plan d'eau et les conditions nécessaires à ce processus peuvent être approchées par l'analyse des écarts thermiques entre l'eau restituée par la retenue d'Allement et les valeurs naturelles. Le débit nécessaire à la déstratification s'avère cependant très élevé et les volumes correspondants sont rarement disponibles en période de sécheresse/canicule : à Allement on constate toujours un écart thermique marqué avec les conditions naturelles pour des débits moyens journaliers de 12 à 100m<sup>3</sup>/s (*Figure 7.a*).

Au-delà de 200m<sup>3</sup>/s, l'effet du débit est plus net, puisque cet écart n'excède guère 2°C. À noter qu'en Juin 2008 par exemple, la stratification se met en place dans des débits de 30 à 40m<sup>3</sup>/s et s'intensifie pour 15 à 20 m<sup>3</sup>/s. Ensuite, un débit moyen journalier de 43m<sup>3</sup>/s le 25/06 soit 20 % du volume de la retenue d'Allement renouvelé dans la journée, n'a aucun effet visible sur la stratification (*Figure 7.b*).

## IV ■ EFFETS POTENTIELS DES ÉVOLUTIONS CLIMATIQUES

### IV.1 PRINCIPES DE SIMULATION

Les effets potentiels des évolutions climatiques pressenties sur les températures de l'eau sont complexes à étudier. En effet, d'un modèle de circulation générale atmosphérique forcé par un scénario d'évolution des concentrations de gaz à

effet de serre (GES), il faut passer à des températures de l'air, des précipitations et des débits locaux si on veut accéder aux températures de l'eau. Ce travail reprend les séries produites par le travail de thèse de J.Boé [3], [13], notamment le scénario issu du modèle climatique régional ARPEGE-VR forcé par le scénario A1B d'évolution de GES et désagrégé au pas de temps journalier. Il s'agit d'un scénario qui se situe dans la moyenne des simulations climatiques, et qui a l'avantage de proposer une séquence continue sur la période 1950-2099. La méthode de désagrégation basée sur une décomposition en type de temps permet de relier les changements de circulation atmosphérique à grande échelle aux climats locaux, la température d'air étant utilisée comme prédicteur secondaire afin de prendre en compte les effets non-dynamiques du changement climatique (effets non liés à la seule circulation atmosphérique) [2]. Cette méthode de désagrégation est utilisée afin de simuler une série journalière de température de l'air à Vouglans et à Lyon ainsi que la précipitation spatiale sur le bassin de l'Ain sur la période 1950-2099. La température de l'air et les précipitations sont introduites dans deux modèles hydrologiques MORDOR [14] calés sur l'amont de Vouglans et sur le bassin versant intermédiaire entre Vouglans et Bolozon afin de simuler les débits résultants. Enfin, la température de l'air et le débit sont introduits dans les modèles de température de l'eau précédents pour simuler, avec ou sans aménagements, les températures de l'eau dans l'Ain.

### IV.2 RÉSULTATS SUR LA PÉRIODE 1950-2099

Pour chaque paramètre, l'analyse des valeurs, en moyenne ou cumul par décennie et par saison confirme les évolutions contenues dans le scénario de changement climatique utilisé avec des conséquences en cascade (*Figure 8*). L'augmentation des températures de l'air de +4°C sur la période 1950-2099 se fait surtout sentir en été avec +5°C de hausse. Pour les précipitations, seul l'été présente une forte baisse (-50 % dans le scénario considéré). La baisse du débit est donc extrêmement sensible en été, marquée en automne, atténuée au printemps et nulle en hiver.

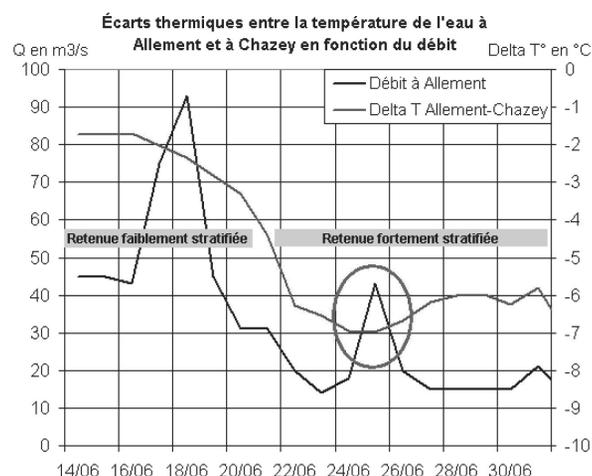
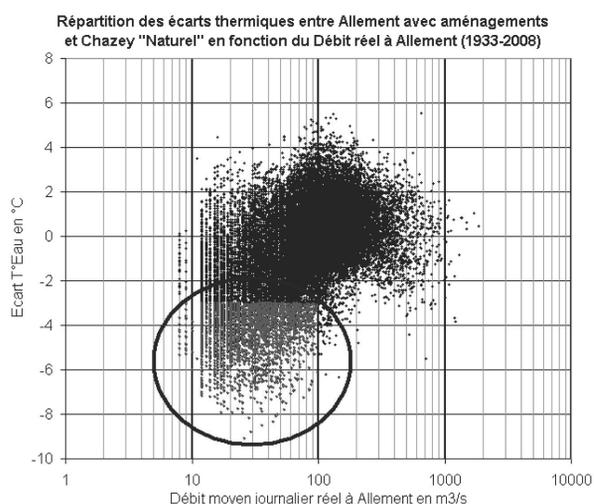
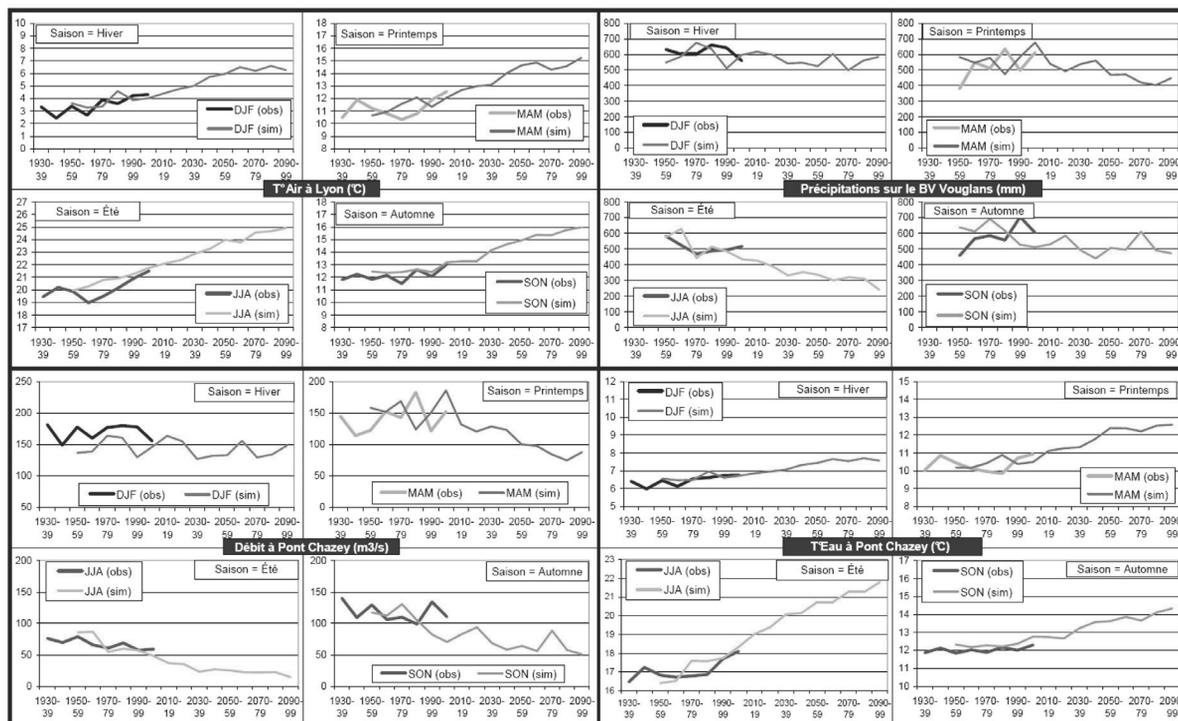


Figure 7.a et 7.b : Effet des débits sur l'écart à la température « naturelle » de l'eau en sortie d'Allement



**Figure 8 : moyennes par décennie, des observations + modèles de reconstitution (OBS) et des simulations climatiques (SIM) 1950-2099 : Hiver = (Décembre, Janvier, Février) ; Printemps = (Mars, Avril, Mai) ; Été = (Juin, Juillet, Août) ; Automne = (Septembre, Octobre, Novembre)**

Pour la température de l'eau, la hausse est visible en toutes saisons tout en étant moins forte que celle de la température de l'air. Elle rejoint pratiquement celle de la température de l'air en été du fait de la baisse conjointe de l'hydrologie. Les incertitudes liées à un tel scénario sont bien sûr très élevées. Outre celles décrites pour les modèles de circulation atmosphérique [17], il faut y rajouter, toutes celles inhérentes au passage du modèle climatique à l'échelle locale pour les températures de l'air et les précipitations [3].

Pour les débits, de nouvelles incertitudes se rajoutent tant sur la ressource en eau elle-même (modification de l'évapotranspiration sur le bassin versant liée aux évolutions des forêts ou de l'agriculture de plaine...) que dans son usage (besoins en eau potable ou d'irrigation, besoins énergétiques globaux et estivaux,...).

Pour les températures de l'eau, l'incertitude tient également aux changements possibles dans des paramètres tels que le vent, l'humidité ou les apports de nappe [8]. Mais, si on accepte le scénario en débit et température de l'air, cette incertitude reste faible devant la variabilité inter-annuelle mesurée depuis 30 ans.

## V ■ CONCLUSIONS

Le rôle du forçage atmosphérique dans la détermination des températures de l'eau apparaît comme le premier processus à prendre en compte, mais, dans le cas d'une vallée aménagée comme la Vallée d'Ain, l'effet des retenues sur la thermique

est mis en évidence au travers de deux processus : 1/ la restitution à l'aval des eaux situées au fond des retenues crée un déséquilibre de la température de l'eau avec les conditions atmosphériques (refroidissement marqué en été, réchauffement faible en hiver), 2/ la gestion du débit en période estivale est une composante identifiable mais secondaire par rapport aux deux précédentes. En contre partie, la stratification thermique a des effets sur la qualité d'eau et l'arbitrage entre la thermique d'une part et l'oxygène dissous d'autre part peut s'avérer délicat. L'analyse du comportement de la retenue d'Allement montre également qu'il faut des débits très importants pour déstratifier la retenue, débits évidemment difficiles à mobiliser dans des situations d'étiage prononcé.

La projection climatique des températures de l'eau à l'horizon 2100 réalisée en injectant un scénario de GES médian dans des modèles locaux, montre que des répercussions inquiétantes sont possibles tant sur le débit que sur la température de l'eau, surtout en été. Pour les écosystèmes, il sera également fondamental de prendre en compte deux éventualités : l'évolution en oueds des affluents comme c'est déjà le cas pour certains secteurs de l'Albarine, et l'évolution morphodynamique qui autorisera ou non le maintien d'hétérogénéités thermiques spatiales. En effet, même si la température de l'eau augmente, l'existence de zones refuges joue, déjà aujourd'hui, un rôle majeur dans la survie d'espèces d'eau froide. La dynamique des échanges latéraux aura donc un rôle fondamental sur la biodiversité, probablement plus que la gestion des débits restitués. En parallèle, la diminution des débits estivaux risque d'augmenter la tension sur la res-

source en eau via ses usages et donc de diminuer les marges d'actions sur la gestion des retenues et des débits.

Malheureusement, les actions permettant la maîtrise des niveaux et de la qualité d'eau des nappes ainsi que leur connectivité à la rivière sont très complexes à mettre en œuvre : elles touchent de nombreux acteurs et elles ont souvent des temps de latence très longs entre l'action décidée et l'effet escompté.

En termes de connaissances, les processus permettant le maintien de zones d'eau plus fraîche avec une qualité acceptable sont conceptuellement connus mais ils sont rarement quantifiés si ce n'est au travers de quelques cartographies instantanées. Il serait aujourd'hui nécessaire de développer ce champ de recherche grâce aux possibilités offertes par de nouvelles méthodes ou de nouveaux capteurs plus faciles à mettre en œuvre à large échelle spatiale (LIDAR, Doppler, fibre optique, thermographie infra-rouge...).

## VI ■ RÉFÉRENCES ET CITATIONS

- [1] BELANGER M., EL-JABI N., CAISSIE D., ASHKAR F., RIBI J. M. (2005) — Estimation de la température de l'eau en rivière en utilisant les réseaux de neurones et la régression linéaire multiple. *Rev. Sc. de l'eau*. **18(3)** 403-421
- [2] BOE J., TERRAY L. (2008) — Régimes de temps et désagrégation d'échelle. *La Houille Blanche*. **2**
- [3] BOE J. (2007) — *Changement global et cycle hydrologique : Une étude de régionalisation sur la France. Thèse de l'Université de Toulouse (Toulouse III - Paul Sabatier)*.
- [4] CARREL G., OLIVIER J.M., POIREL A., BREIL P. (2003) — *Variabilité interannuelle de la reproduction des poissons cyprinidae dans le Rhône à l'aval de Lyon : rôle de la température, Conséquences potentielles du changement climatique sur les biocénoses aquatiques et riveraines françaises, Ministère de l'Environnement, Paris*.
- [5] DAUFRESNE M., BOET P. (2007) — Climate change impacts on structure and diversity of fish communities in rivers. *Global Change Biology*. **13(12)**
- [6] EATON J.G., MCCORMICK J.H., GOODNO B.E., O'BRIEN D.G., STEFANY H.G., HONDZO M., SCHELLER R. M. (1995) — A Field Information-based System for Estimating Fish Temperature Tolerances. *Fisheries*. **20(4)**
- [7] EBERSOLE J., LISS W., FRISSEL C. (2003) — Thermal heterogeneity, stream channel morphology, and salmonid abundance in northeastern Oregon streams. *Can. Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. **60**
- [8] GOSSE PH.J., GAILHARD F., HENDRICKX (2008) — Analyse de la température de la Loire moyenne en été sur la période 1949 à 2003. *Hydroécologie Appliquée*. **16** 233-274
- [9] GRENOUILLET G., HUGUENY B., CARREL G.A., OLIVIER J.M., PONT D. (2001) — Large-scale synchrony and inter-annual variability in roach recruitment in the Rhone River : the relative role of climatic factors and density-dependent processes. *Freshwater Biology*. **46(1)**
- [10] LIU B., YANG D., YE B., BEREZOVSKAYA S. (2005) — Long-term open-water season stream temperature variations and changes over Lena River Basin in Siberia. *Global and Planetary Change*. **48(1-3)**
- [11] LOWNY C.L. (2000) — Stream temperature variation in regulated rivers : Evidence for a spatial pattern in daily minimum and maximum magnitudes. *Water Resources Research*. **36(10)**
- [12] MOATAR F., GAILHARD J. (2006) — Water temperature behaviour in the River Loire since 1976 and 1881, *Comptes Rendus. Geosciences*. **338(5)** 319-328
- [13] PAGE C., TERRAY L., BOE J. (2008) — *Projections climatiques à échelle fine sur la France pour le 21<sup>e</sup> siècle : les scénarii SCRATCH08 - Technical Report TR/CMGC/08/64, CERFACS, Toulouse, France*.
- [14] PAQUET E. (2004) — Evolution du modèle hydrologique MORDOR : modélisation du stock nival à différentes altitudes. *La Houille Blanche*. **2** 75-82
- [15] PLANTAMOUR E. (1863) — *Du Climat de Geneve, Editeur : Henri GEORG, Genève*.
- [16] PREECE R.M., JONES H.A. (2002) — The effect of Keepit Dam on the temperature regime of the Namoi River, Australia. *River Research and Applications*. **18(4)**
- [17] RAISANEN J. (2007) — How reliable are climate models ?. *Tellus A*. **59(1)** 2-29
- [18] REID W.V., SARUKHAN J. (2005) — *Ecosystems and human well-being : synthesis : a report of the Millennium Ecosystem Assessment, Island Press, Washington, DC*.
- [19] SHARMA S., WALKER S.C., JACKSON D.A. (2008) — Empirical modelling of lake water-temperature relationships : a comparison of approaches. *Freshwater Biology*. **53(5)**
- [20] STEVENS H., FICKE J., SMOOT G. (1975) — Water temperature, influential factors, field measurement and data presentation. *Techniques of water-resources investigations of the US Geological Survey*. **Book 1 - Chap D1**