

Fédération de Haute-Savoie pour la Pêche
et la Protection du Milieu Aquatique
2092, route des Diacquenods
Le Villaret
74 370 St Martin Bellevue
Tél. 04 50 46 87 55
www.pechehautesavoie.com

ETUDE DE LA QUALITE THERMIQUE DU FORON DE GAILLARD -Etude de l'impact du lac de Machilly-



DONNEES 2006-2007

Syndicat Intercommunal d'Aménagement et d'Entretien du Foron du Chablais Genevois

Contrat de rivière transfrontalier du Foron du Chablais Genevois



RÉPUBLIQUE ET CANTON DE GENÈVE
Département du territoire

POST TENEBRAS LUX

Laure VIGIER
Arnaud CAUDRON
(Réf rapport FDP74.07/03)

Août 2007

Préambule

La température de l'eau est un facteur déterminant de la qualité du milieu aquatique vis-à-vis du poisson et en particulier de la truite commune qui est une espèce très exigeante pour ce paramètre.

Aussi, dans le cadre du programme INTERREG III intitulé « Identification, sauvegarde et réhabilitation des populations de truites autochtones dans la Vallée d'Aoste et en Haute-Savoie », des premières études thermiques sur des cours d'eau de Haute-Savoie ont été entreprises à partir de 2003. Les premiers résultats obtenus ont permis d'apporter des éléments de réponse concernant la qualité du peuplement piscicole observé et le statut démographique de certaines populations autochtones identifiées. Au vu de ces résultats, il s'est avéré pertinent d'étendre le suivi entrepris à un maximum de cours d'eau du département. Ainsi, des partenariats ont été développés entre la Fédération de Pêche de Haute-Savoie et certaines structures porteuses de contrat de rivières en phase de réalisation. Actuellement, trois territoires sont concernés à savoir le bassin du Chéran (SMIAC), le Foron de Gaillard (SIFOR) et tout récemment les affluents du Sud Ouest Lémanique (SYMASOL). Le partenariat mis en place est le suivant : les sondes sont acquises par le maître d'ouvrage du contrat de rivières et sont donc la propriété de ce dernier mais leur gestion (pose/dépose, programmation des sondes et traitements des données) est déléguée à la Fédération de Pêche 74. Les stations suivies sont choisies en concertation en fonction des données déjà disponibles (inventaire piscicole, étude scalimétrique, étude de la qualité de l'eau) et des impacts potentiels pouvant influencer la qualité thermique du cours d'eau (présence de plan d'eau, tronçon court circuité,...).

L'étude a cherché avant tout à évaluer les potentialités piscicoles ainsi que les conséquences biologiques potentielles en particulier pour la truite commune des caractéristiques thermiques des eaux de surface. Dans le cas de la truite commune qui affectionne préférentiellement les eaux froides, les dangers sont liés essentiellement à une élévation des températures durant la période estivale. Cependant, des valeurs froides extrêmes en période hivernale peuvent compromettre la réussite de la reproduction naturelle (maturation, déroulement du frai, développement des œufs). Ainsi, la température agit directement sur le métabolisme des poissons et influence positivement ou négativement la croissance et le développement. Elle a également des effets indirects sur les autres paramètres physico-chimiques (oxygénation, pollution), sur les biocénoses dont les invertébrés benthiques (faune nourricière) et sur les agents pathogènes (infection, prolifération).

La première campagne de mesure réalisée en 2004-2005 (Caudron, 2006a) a porté sur 7 stations réparties sur l'ensemble du linéaire du Foron de Gaillard. Cette première étude thermique, avait permis de mettre en évidence un impact du Lac de Machilly sur le Foron en période printannière et estivale. Favorable à la vie salmonicole en amont du lac (ruisseau de Coudray) l'apparente élévation de la température relevée de l'eau dans le lac rend le Foron

Le présent rapport présente les résultats de l'étude thermique réalisée sur le bassin du Foron de Gaillard lors de la première campagne de suivi qui a eu lieu au cours des années 2004-2005.

I) Protocole de suivi

Le suivi thermique a été réalisé sur 7 stations différentes. Sur chaque station, le suivi a été réalisé sur un cycle annuel complet au pas de temps horaire à l'aide de thermographes enregistreurs stowaway tidbit. Les enregistreurs ont été posés par Mélanie Barber-Laigle (SIFOR) et Emmanuel Mollard (AAPPMA du Chablais-Genevois) le 12/07/2006 et récupérées par Mélanie Barber-Laigle et Ludovic Catinaud (FDP 74) le 31/07/2007. La période choisie pour le traitement des données sur un cycle annuel est comprise entre le 13/07/2006 et le 12/07/2007.

Une fois récoltées, les données ont été vérifiées pour s'affranchir d'éventuelles valeurs incorrectes causées par un dysfonctionnement ou une mise hors d'eau de l'enregistreur. Après la phase de validation, les données brutes ont permis de caractériser sur chaque station 30 variables thermiques différentes (Tableau 1).

Tableau 1 : Présentation et description des 30 variables thermiques calculées à partir des données de température récoltées sur le Foron de Gaillard.

Nom variable	Description
T Mini H	Valeur de la température instantanée minimale relevée pendant le cycle annuel
T Maxi H	Valeur de la température instantanée maximale relevée pendant le cycle annuel
T Moy An	Moyenne sur l'année des températures instantanées relevées pendant le suivi
Amplitude An H	Différence entre les températures instantanées minimale et maximale relevées pendant le suivi
T An Min moyJ	Valeur de la température moyenne journalière la plus basse pendant le suivi annuel
T An Max moyJ	Valeur de la température moyenne journalière la plus élevée pendant le suivi annuel
Amplitude An moyJ	Différence entre les températures moyennes journalières minimale et maximale calculées
Date T Max moyJ	Date du jour présentant la température moyenne la plus élevée
T Moy 30 J	Valeur de la température moyenne calculée sur les 30 jours les plus chauds (Verneaux, 1973)
NbJ T4-19	Nombre de jours où la température est comprise entre 4 et 19°C (préférendum thermique de la truite fario selon Elliott, 1975 et Crisp, 1996)
Date T<4 moyJ	Date à laquelle la température moyenne journalière passe sous 4°C pendant le suivi annuel
Date T>4 moyJ	Date à laquelle la température moyenne journalière passe au dessus de 4°C pendant le suivi annuel
NbH ≥ 25	Nombre d'heure totale calculée pendant le suivi annuel où la température instantanée est supérieure ou égale à 25°C (valeurs pouvant être considérées comme létales pour les juvéniles ou les adultes d'après Varlet, 1967; Alabaster et Lloyd, 1980; Elliott, 1981; Crisp, 1996)
Nb Seq ≥ 25	Nombre de séquence où la température reste supérieure ou égale à 25°C pendant le suivi annuel
NbH Max Seq ≥ 25	Nombre d'heure de la séquence maximale où la température reste supérieure ou égale à 25°C pendant le suivi annuel
NbH ≥ 19	Nombre d'heure totale calculée pendant le suivi annuel où la température instantanée est supérieure ou égale à 19°C (maximum du préférendum de la truite fario)
Nb Seq ≥ 19	Nombre de séquence où la température reste supérieure ou égale à 19°C pendant le suivi annuel
NbH Max Seq ≥ 19	Nombre d'heure de la séquence maximale où la température reste supérieure ou égale à 19°C pendant le suivi annuel
NbH ≥ 15	Nombre d'heure totale calculée pendant le suivi annuel où la température instantanée est supérieure ou égale à 15°C (valeur de température favorable à l'infection des truites fario par la PKD)
Nb Seq ≥ 15	Nombre de séquence où la température reste supérieure ou égale à 15°C pendant le suivi annuel
NbH Max Seq ≥ 15	Nombre d'heure de la séquence maximale où la température reste supérieure ou égale à 15°C pendant le suivi annuel
NbJ D2	Durée en jours de la période d'incubation des œufs (de la fécondation à l'éclosion) calculée à partir d'une date de ponte médiane fixée au 15 décembre en utilisant l'équation de Crisp (1989)
NbJ Résorp	Durée en jours de la période de résorption de la vésicule vitelline calculée par D3-D2
NbJ D3	Durée en jours de la période totale de développement embryo-larvaire sous graviers (de la fécondation à l'émergence) calculée à partir d'une date de ponte médiane fixée au 15 décembre en utilisant l'équation de Crisp (1992)
NbH > 12 (D3)	Nombre d'heure totale calculée pendant la période de vie sous graviers (D3) où la température instantanée est inférieure à 12°C (température max pouvant être considérée comme létale au cours du développement embryo-larvaire)
Nb Seq > 12 (D3)	Nombre de séquence pendant la période de vie sous graviers (D3) où la température reste supérieure à 12°C
NbH Max Seq > 12 (D3)	Nombre d'heure de la séquence maximale pendant la période de vie sous graviers (D3) où la température reste supérieure à 12°C
NbH < 1 (D3)	Nombre d'heure totale calculée pendant la période de vie sous graviers (D3) où la température instantanée est inférieure à 1°C (température min pouvant être considérée comme létale au cours du développement embryo-larvaire)
Nb Seq < 1 (D3)	Nombre de séquence pendant la période de vie sous graviers (D3) où la température reste inférieure à 1°C
NbH Max Seq < 1 (D3)	Nombre d'heure de la séquence maximale pendant la période de vie sous graviers (D3) où la température reste inférieure à 1°C

II) Localisation des enregistreurs thermiques sur le Foron de Gaillard

La localisation des 7 enregistreurs et les caractéristiques des stations étudiées sur la période 2006-2007 sont présentées dans la figure 1 et le tableau 2 ci-dessous. A titre indicatif, les stations étudiées lors de la campagne 2004-2005 sont également présentées dans la figure 1 (points rouges).

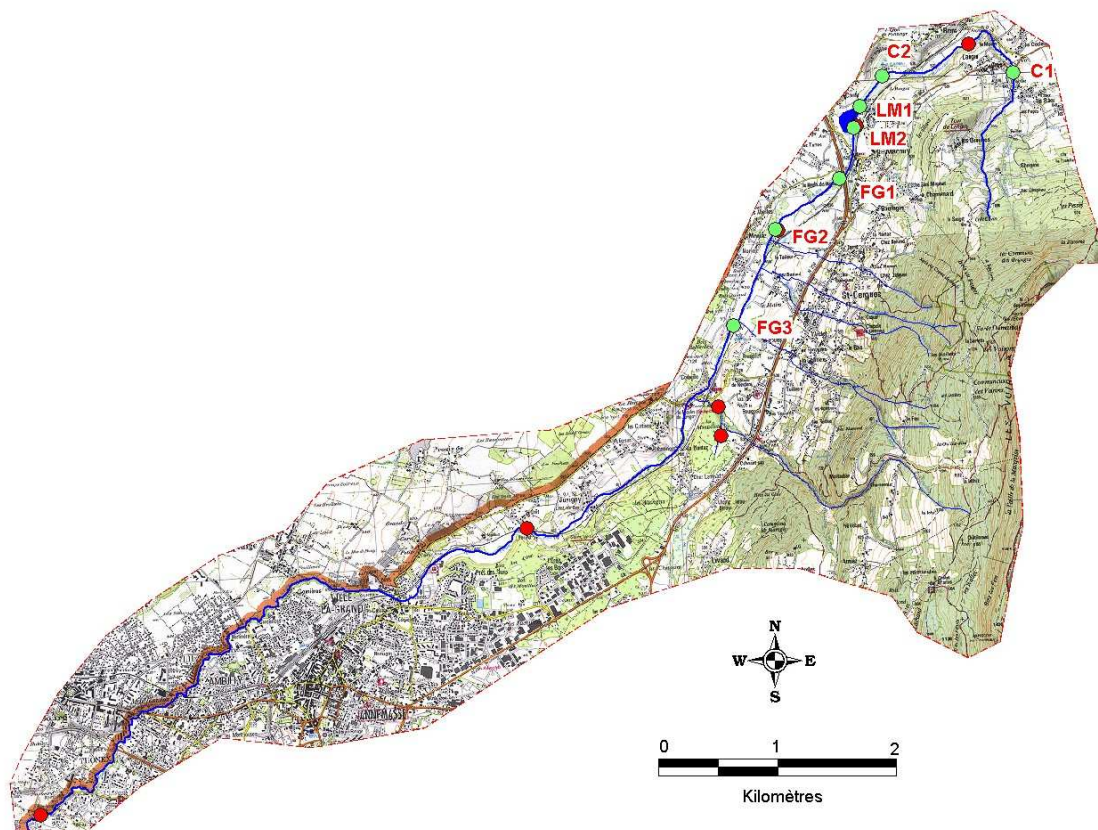


Figure 1 : Localisation géographique des 7 stations étudiées sur le bassin du Foron dans le cadre du suivi thermique entre 2006-2007 et à titre indicatif 2004-2005

Tableau 2 : Caractéristiques des stations étudiées sur le bassin du Foron dans le cadre du suivi thermique entre 2006 et 2007 et localisation précise des enregistreurs.

Cours d'eau	Stations	Localisation	Distance à la source (km)	Altitude (m)	Commune
Rui de Coudray	C1	Amont Lanzin vers Graizier	2,1	590	St-Cergues
Rui de Coudray	C2	Amont lac dans le marais des dames	4,3	525	St-Cergues
Lac de Machilly	LM1	vers entrée du lac	4,8	525	St-Cergues
Lac de Machilly	LM2	vers la sortie du lac (au sud du lac en rive gauche)	5,1	525	St-Cergues
Foron	FG1	Aval N206	5,8	520	St-Cergues
Foron	FG2	Vers Moniaz, à l'amont du rui du Dard	6,9	510	St-Cergues
Foron	FG3	Vers les poules, à l'aval du ruisseau	8,2	500	St-Cergues

III) Résultats

III.1) Validation des données

Sur les 7 sondes immergées, aucune n'a montrée de valeurs aberrantes. La totalité des enregistrements réalisés pendant la période choisie a donc été utilisée dans le traitement et l'analyse des données.

III.2) conditions thermiques générales

Sur l'ensemble des stations étudiées les moyennes journalières varient de 0 à 22°C (figure 2) sur le Foron de Gaillard, mais peuvent atteindre 28°C dans le lac de Machilly. D'une manière générale la période de faibles températures se situe de novembre à mars. Sur le Foron, en période estivale, les conditions thermiques peuvent être considérées comme relativement chaudes et donc peu favorables à la vie salmonicole hormis à l'amont du lac de Machilly sur le ruisseau de Coudray (C1 et C2) et vers l'entrée du lac (LM1).

L'évolution des températures montre clairement l'influence du lac de Machilly sur la thermie du Foron notamment pendant les périodes printanière et estivale avec une augmentation importante des valeurs en aval du lac (FG1, FG2 et FG3). Malgré une décroissance progressive des températures estivales observées sur ces trois stations en fonction de l'éloignement du lac, elles restent relativement élevées.

En dehors du secteur occupé par le lac de Machilly, les températures estivales, bien que relativement chaudes, ne semblent pas être limitantes pour le développement de la truite commune.

Aucune ne présente les caractéristiques d'un milieu tamponné (faibles amplitudes journalières et annuelle) considérées comme très favorables à la vie salmonicole. En effet, les stations situées sur le Ruisseau de Coudray et à l'entrée du lac présentent des amplitudes thermiques journalières fortes (annexe 1) durant la période pré-estivale principalement (de 4 à 6°C). A proximité de l'exutoire du lac, les amplitudes journalières sont plus faibles mais l'amplitude thermique annuelle atteint les 30°C. A l'aval du lac nous observons une diminution progressive des amplitudes annuelles (2-22°C, 2-21°C, 2-20°C ; figure 2) parallèlement à une augmentation des amplitudes journalières (2°C, 4°C et 6°C) de FG1 vers FG3 (annexes 1) durant la période pré-estivale.

Par contre aucun impact positif ou négatif n'a été observé pendant la période hivernale.

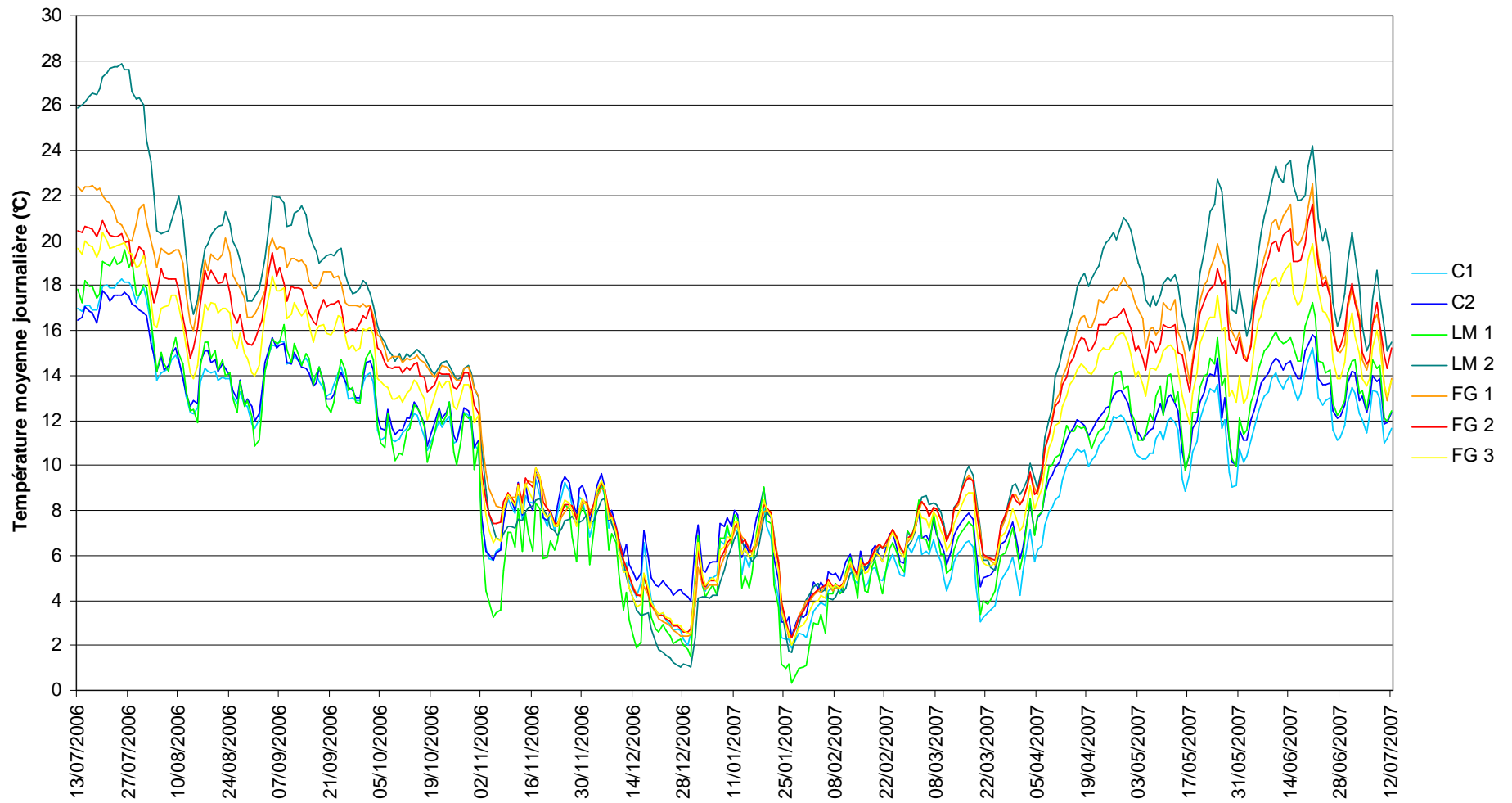


Figure 2 : Courbes des températures moyennes journalières calculées sur la période du 13/07/2006 au 12/07/2007 pour les 7 stations étudiées sur le Foron de Gaillard.

III.3) Température extrême, amplitude et moyenne estivale

Les valeurs de températures maximales, d'amplitudes annuelles et de moyennes sur les trente jours les plus chauds montrent des distributions similaires (Figure 3). Les valeurs sont globalement élevées sur l'ensemble du Foron et en particulier à partir de la station LM2 située à proximité de l'exutoire du lac de Machilly. Sur les trois graphiques, une augmentation nette des valeurs est observée entre la station LM1 et LM2, suivi d'une baisse progressive sur les trois stations situées sur le Foron (FG1, FG2 et FG3). L'influence thermique du passage du cours d'eau dans le lac de Machilly suggérée suite aux résultats de la première campagne (2004-2005) se vérifie. En effet, une augmentation significative de la température de l'eau à l'intérieur du lac durant l'été et se répercutant à l'aval de celui-ci est observable.

Sur la station FG1 située en aval du lac, les températures sont élevées et peuvent même approcher le seuil de 25°C, considérée comme valeur critique pour la survie (létale ou sub-létale) de la truite commune en rivière.

La valeur moyenne obtenue sur les 30 jours les plus chauds pourra être couplée avec les données de minéralisation (Ca^{2+} et Mg^{2+}) pour calculer ultérieurement le niveau typologique théorique des stations selon la méthode définie par Verneaux (1973). Ce calcul permettra de connaître en fonction des paramètres mésologiques le potentiel piscicole réel attendu sur les différentes stations étudiées. Cependant, la figure 3.C montre la différence de valeur obtenue en amont du lac et en aval du lac pour la moyenne des trente jours les plus chauds. Les moyennes autour de 16,5 °C observées en amont du lac sont compatibles avec une typologie salmonicole alors que sur le linéaire en aval du lac, elles augmentent de 2 à 4°C pour atteignent des valeurs comprises entre 18 et 20°C. Cette forte augmentation entraîne une modification de la typologie du cours d'eau en aval du lac qui ne correspond plus à la zonation salmonicole.

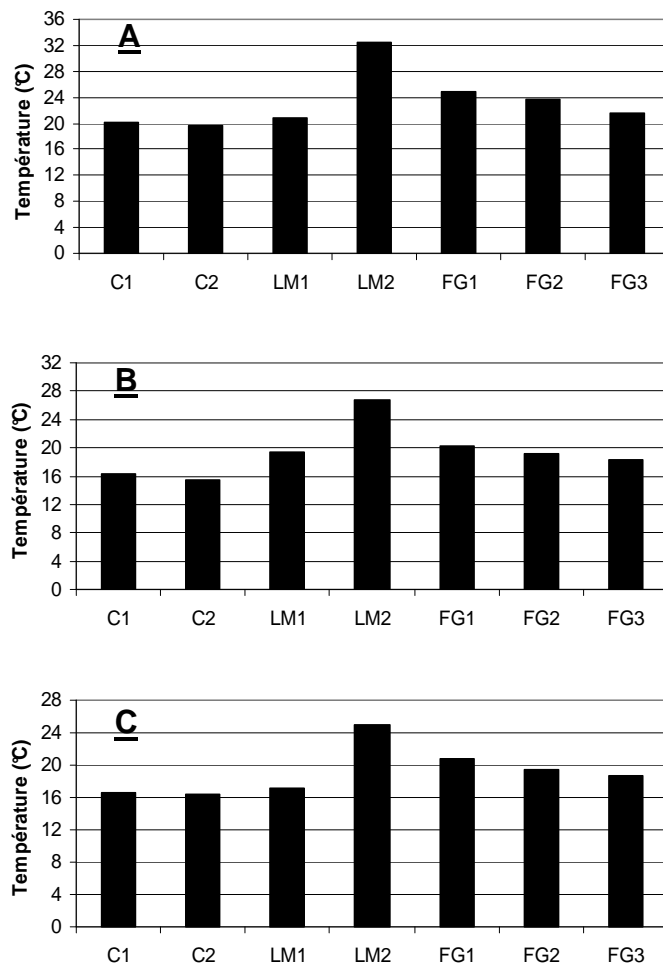


Figure 3 : Température maximale (A), amplitude journalière moyenne annuelle (B) et moyenne des trente jours les plus chauds (C) obtenues sur les 6 stations concernées par le suivi thermique annuel sur le Foron.

III.4) Période de croissance et préférendum thermique

Les données thermiques disponibles ont permis de calculer le temps (nombre de jours par an) où la température de l'eau était comprise dans le préférendum thermique de la truite commune. Ce préférendum peut être défini comme la plage de températures d'eau permettant une activité métabolique de la truite c'est-à-dire favorable à son alimentation et à sa croissance. En accord avec de nombreux auteurs (Varley, 1967 ; Elliott, 1975 ; Alabaster et Lloyd, 1980 ; Elliot, 1981 ; Crisp, 1996 ; Elliott et Hurley, 2001), les valeurs limites basse et haute de ce préférendum ont été fixées respectivement à 4°C et 19°C.

La figure 4.A montre des différences de la durée du préférendum thermique entre les stations situées sur le ruisseau de Coudray, le lac de Machilly et le Foron à l'aval du lac avec des valeurs respectivement comprises entre 336 et 356, 237, 280 et 320 jours. Le Foron à l'amont du lac (stations du ruisseau de Coudray et à l'entrée du lac) montre les conditions les plus favorables. Les stations LM2, FG1 et FG2 sont les moins favorables en raison des températures élevées observées qui dépassent souvent 19°C (figure 4.B et 4.C), et même 25°C pour LM2.

On perçoit encore ici nettement l'influence décroissante du lac de Machilly sur la thermie de l'eau des stations FG1, FG2 et FG3.

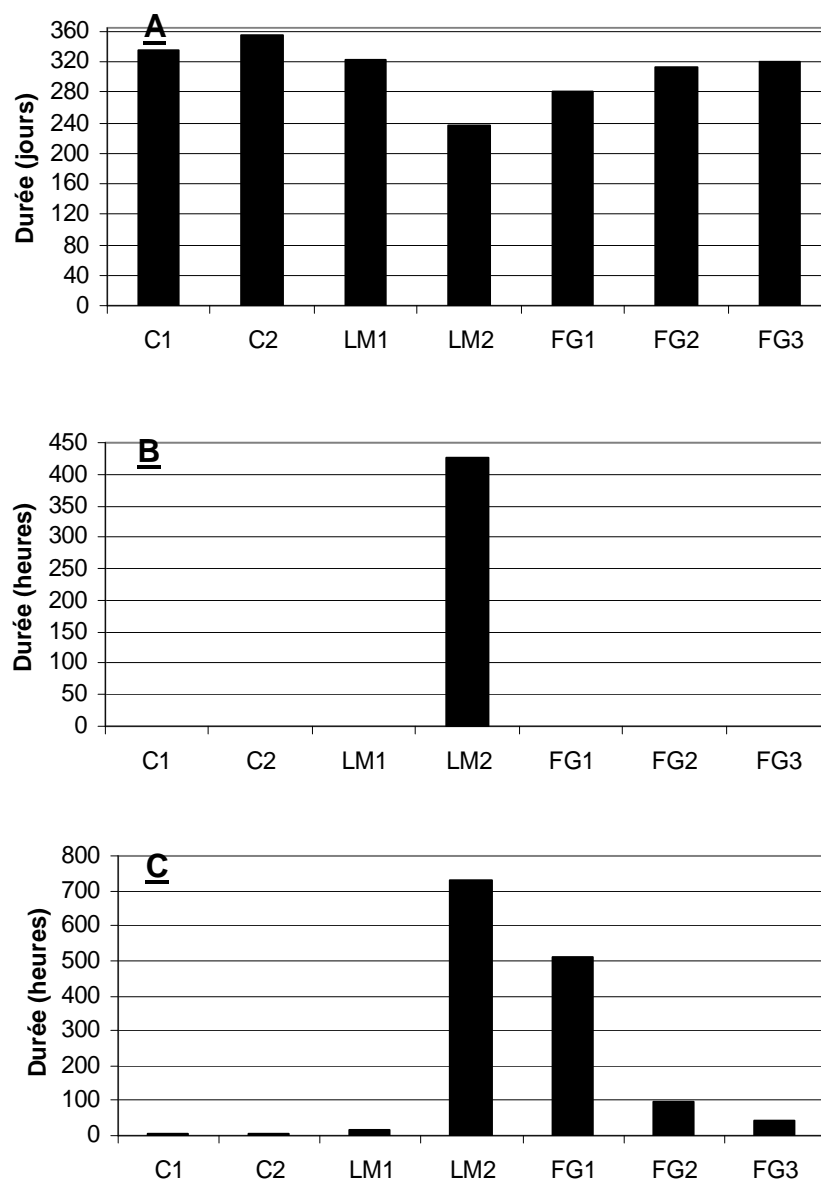


Figure 4 : Durée en jours du préférendum thermique de la truite commune (A), en heure de la durée en heures de la séquence maximale durant laquelle la température est restée au dessus de 25°C (B) et de 19°C (C) sur les 7 stations conçues par le suivi annuel sur le Foron.

III.5) Conditions favorables à l'infection par la PKD

La PKD (« Proliférative Kidney Disease » = maladie rénale proliférative), est une maladie infectieuse touchant préférentiellement les truites, les ombres et les saumons. Elle provoque, chez les sujets atteints, une importante hypertrophie des reins et éventuellement du foie et de la rate qui peut entraîner dans les populations des taux de mortalité relativement importants notamment chez les juvéniles. L'agent infectieux est un parasite nommé *Tetracapsula bryosalmonae* (Canning *et al.*, 1999) qui utilise comme hôte intermédiaire des bryozoaires* (Anderson *et al.*, 1999). La température de l'eau joue un rôle important dans le cycle de développement de ce parasite qui se propage dans le milieu naturel lorsque celle-ci atteint 9°C (Gay *et al.*, 2001). L'apparition de la maladie chez la truite arc en ciel nécessite une température d'au moins 15°C pendant 2 semaines.

Sur les stations étudiées, une première étude a été menée afin d'identifier les sites présentant des conditions thermiques favorables au développement de la PKD. Ainsi, le nombre d'heures consécutives où la température de l'eau est supérieure ou égale à 15°C a été calculé sur chaque site. Ceux pour lesquels la durée dépasse 360 heures consécutives (soit 15 jours) sont considérés comme pouvant présenter un risque potentiel important de développement de la PKD.

Le Foron de Gaillard avait été identifié comme un cours d'eau présentant un risque potentiel important de développer la PKD, après la campagne de suivis thermique 2004-2005. Le constat reste le même en 2006-2007. En effet, sur l'ensemble des stations étudiées (sauf celle située dans le marais des dames C2) les conditions thermiques sont favorables au développement de cette maladie puisque la durée de 15 jours consécutifs au dessus de 15°C est largement dépassée, les valeurs variant entre 510 et 2050 heures consécutives. L'impact négatif du lac de Machilly est ici de nouveau perceptible puisque le Foron passe d'une situation sans risque pour la PKD sur la station C2 (260 heures) à une situation très risquée sur les stations FG1 (900 heures) et FG2 (750 heures).

Cependant, si la situation vis-à-vis de ce paramètre s'améliore au niveau du marais des Dames, la station la plus amont (C1), située au niveau de Graizier, présente des conditions thermiques favorables au développement de la PKD.

Ces observations montrent l'importance de prendre en compte ces risques potentiels d'infection dans l'étude des populations de truites sur le bassin du Foron dans le cadre du contrat de rivière notamment au vu de la mise en évidence récente de sites infectés en Grande Bretagne (Feist *et al.*, 2002) et en Suisse (Wahli *et al.*, 2002) où la PKD est considérée sur certains secteurs comme responsable du déclin piscicole (Burkhardt-Holm *et al.*, 2002). En outre, des symptômes de la PKD sur des individus 0+ ont été observés sur plusieurs rivières dans le département de la Haute-Savoie (Caudron *et al.*, 2003 et 2004)

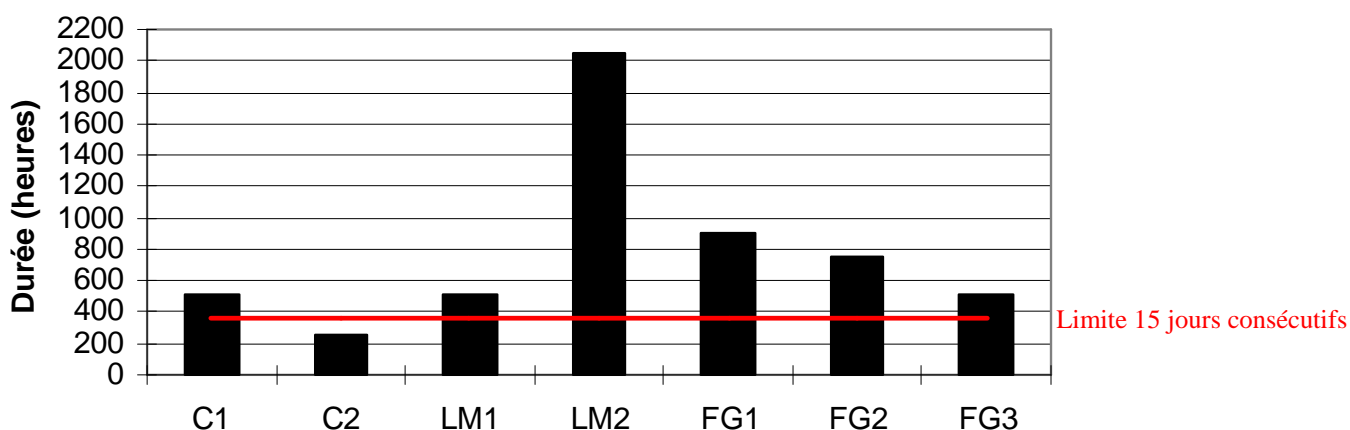


Figure 5 : Durée en heures de la séquence maximale durant laquelle la température est restée au dessus de 15°C sur les 6 stations concernées par le suivi annuel sur le Foron.

III.6) Durée et conditions thermiques du développement embryo-larvaires

Une estimation de la durée totale (50% d'alevins émergents) de vie sous graviers des œufs et alevins vésiculés a été calculée selon la méthode proposée par Crisp (1992). La date médiane de ponte a été fixée au 15 décembre en accord avec les observations actuellement disponibles sur différents cours d'eau de Haute-Savoie (Champigneulle *et al.*, 1988 sur le Redon, Champigneulle *et al.*, 2003 sur le ruisseau de Chevenne ; Caudron, données non publiées sur le Fier).

Une fois la durée de la phase de développement embryo-larvaire évaluée, les conditions thermiques pendant cette phase ont été plus précisément étudiées. Ainsi, les séquences de temps où la température présentait des valeurs inférieure à 1°C ou supérieure à 12°C ont été recherchées. Ces valeurs peuvent être considérées comme les limites de la plage de développement optimale pour les œufs et les embryons (Jungwirth et Winkler, 1984 ; Crisp, 1996).

L'estimation de durée de vie sous graviers est peu variable d'un site à l'autre avec des valeurs comprises entre 120 et 133 jours (figure 6). Elles peuvent être considérées comme des durées d'incubation plutôt faibles par rapport aux autres résultats obtenus sur le département. Par contre tous les sites suivis montrent pendant les périodes de vie sous graviers identifiées des températures pouvant compromettre le bon développement embryo-larvaire. En effet, les durées pendant lesquelles les températures sont inférieures à 1°C et supérieures à 12°C sont relativement importantes en particulier pour les stations LM1 concernant les faibles températures (<1°C) et LM2, FG1 et FG1 concernant les température > 12°C.

Ces observations sont certainement imputables à l'influence du lac de Machilly. En effet, s'il n'a pas d'influence sur le Foron pendant l'hiver, dès le début du mois d'avril, le lac permet un réchauffement des eaux du Foron qui se répercute sur les stations aval FG1 et FG2 principalement. Ce réchauffement induit l'atteinte des températures supérieures à 12°C durant la fin de période vie sous graviers. Cette température, considérée comme létale durant le développement embryo-larvaire, pourrait limiter la réussite du recrutement naturel.

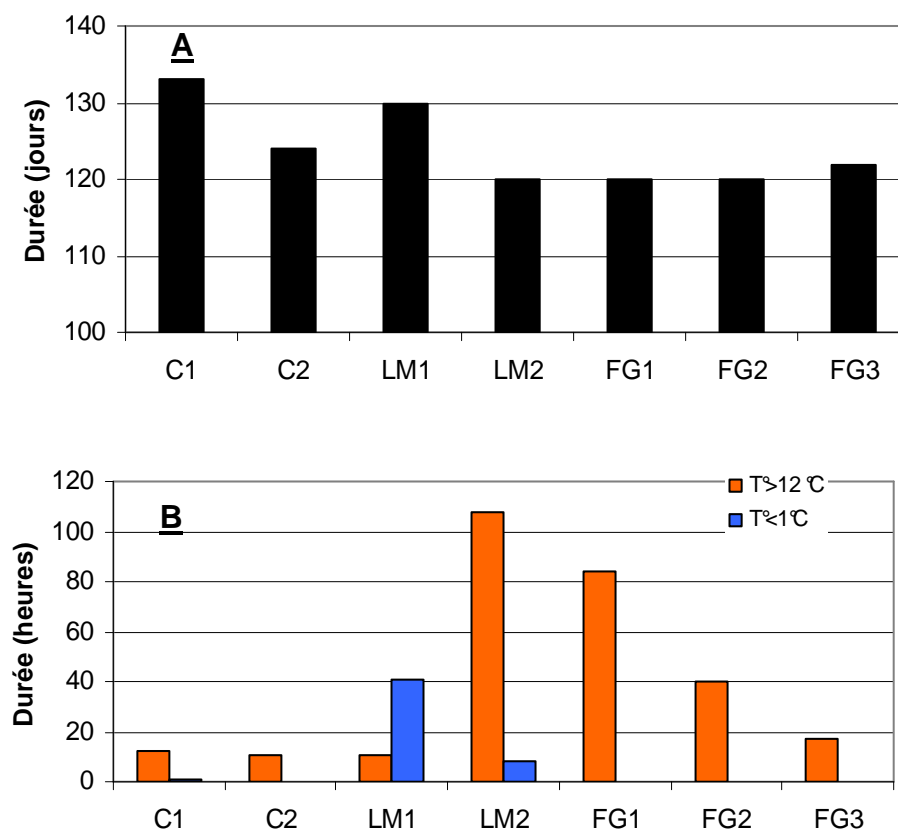


Figure 6 : Durée totale en jours de vie sous graviers (50% d'alevins émergents) (A) et durée en heures des séquences maximales durant lesquelles la température est restée au dessous de 1°C et au dessus de 12°C pendant la période du développement embryo-larvaire (B) sur les 6 stations concernées par le suivi annuel sur le Foron.

IV) Premières conclusions et perspectives

Cette seconde étude thermique réalisée sur le Foron de Gaillard a permis de mettre en évidence les points suivants :

- L'amont du lac de Machilly (ruisseau du Coudray) ne montre pas de conditions thermiques défavorables pour la vie salmonicole.
- Le lac de Machilly entraîne en aval des impacts négatifs sur la température de l'eau du Foron en période printanière et estivale. Les effets négatifs sur le Foron de l'augmentation de température provoquée par le lac sont de quatre ordres :
 - Les conditions ne deviennent plus favorables pour la vie salmonicole avec des valeurs dépassant souvent les 19°C.
 - Les conditions thermiques estivales induisent un changement de la biotypologie qui fait évoluer le Foron dans une zonation de type cyprinicole et non plus salmonicole.
 - Les conditions thermiques deviennent très favorables au développement de la maladie PKD.
 - Le réchauffement prématuré de l'eau au printemps pourrait limiter la réussite du développement embryo-larvaire, avec l'atteinte de températures supérieures à 12°C en fin de période de développement.

D'après ces résultats, on peut considérer que le lac a une influence certaine sur tous les paramètres thermiques jusqu'à la station FG2, et sur quelques paramètres jusqu'à la station FG3. Les conditions thermiques générale au niveau de la station FG3 ne semblent pas défavorables au développement salmonicole, mais les valeurs de températures estivales observées influencent artificiellement la typologie du cours d'eau vers un peuplement cyprinicoles.

- Le lac de Machilly ne montre aucun effet positif ou négatif sur le Foron pendant la période hivernale.
- Les conditions de températures hivernales pendant la période de vie sous graviers semblent pouvoir limiter la réussite du développement embryo-larvaire principalement en aval du lac. Ces observations seraient à confirmer par la mise en place *in situ* d'incubateurs tests pour évaluer les taux de survie pendant cette période critique.

La prochaine campagne de suivi thermique sur le Foron de Gaillard pourrait se focaliser sur les affluents situés entre les stations FG2 et FG3.

Une étude de recherche spécifique de la PKD chez les juvéniles de truites pourrait également être entreprise.

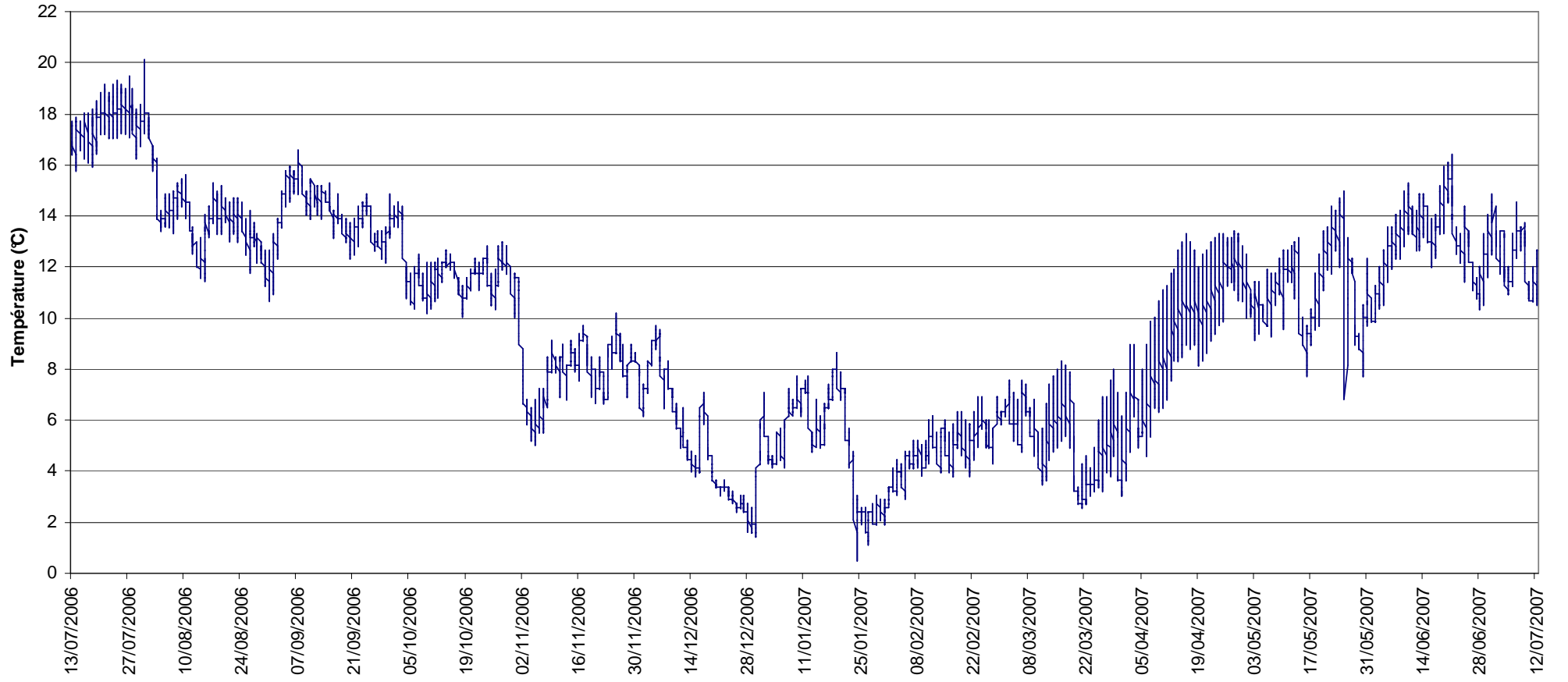
BIBLIOGRAPHIE

- Alabaster J.S., Llyod R., 1980. Water quality criteria for fresh water fish, Butter Worths Ed., London, 297p.
- Anderson C.L., Canning E.U., Okamura B., 1999. 18S rDNA sequences indicate that PKX organism parasites bryozoa. *Bulletin of the European association of fish pathologists*, 19, 94-97.
- Burkhardt-Holm P., Peter A., Segner H., 2002. Decline of fish catch in Switzerland. Project fishnet : a balance between analysis and Synthesis. *Aquatic sciences* 64, 36-54.
- Canning E.U., Curry A., Feist S.W., Longshaw M. Okamura B., 1999. *Tetracapsula bryosalmonae* n. sp. for PKX organism the cause of PKD in salmonid fish. *Bulletin of the European association of fish pathologists*, 19, 203-206.
- Caudron A., Champigneulle A., Vulliet J.P., 2003. Evaluation de l'efficacité du repeuplement et comparaison des caractéristiques des truites (*Salmo trutta* L.) sauvages et introduites dans les rivières de Haute-savoie. Campagne 2002. Rapport SHL 237 et FDP74.03/06
- Caudron A., Champigneulle A., Large A., 2004. Evaluation de l'efficacité du repeuplement et comparaison des caractéristiques des truites (*Salmo trutta* L.) sauvages et introduites dans les rivières de Haute-savoie. Campagne 2003. Rapport SHL 248 et FDP74.04/02.
- Caudron A., 2006. Etude de la qualité thermique du Foron de Gaillard, données 2004-2005, ref : FDP74.06/02, 12p.+annexes.
- Champigneulle A. Melhaoui M., Maisse G., Baglinière J.-L., Gillet C., Gerdeaux D., 1988. Premières observations sur la truite (*Salmo trutta* L.) dans le Redon, un petit affluent frayère du Lac Léman. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 310, 59-76.
- Champigneulle A., Largiader C.R., Caudron A., 2003. Reproduction de la truite (*Salmo trutta* L.) dans le torrent de chevenne, Haute-Savoie. Un fonctionnement original ? *Bulletin Français de Pêche et Pisciculture*, 369, 41-70.
- Crisp D.T., 1989. Use of artificial eggs in studies of washout depth and drift distance for salmonid eggs. *Hydrobiologia* ,178, 155-163.
- Crisp D.T., 1992. Measurement of stream water temperature and biological applications to salmonid fishes, grayling and dace. Freshwater biological association, occasional publication N°29, 72p.
- Crisp D.T., 1996. Environmental requirements of common riverine European salmonid fish species in fresh water with particular reference to physical and chemical aspects. *Hydrobiologia*, 323, 201-221.
- Elliott J.M., 1975. The growth rate of brown trout (*Salmo trutta* L.) fed on maximum rations. *Journal of Animal Ecology*, 44, 805-821.
- Elliott J.M., 1981. Some aspects of thermal stress on freshwater teleosts. pp 209-245 In *Stress and fish*, Pickering A.D (ed), Academic Press London.
- Elliott J.M., 1994. Quantitative ecology and the brown trout. Oxford University Press, Oxford, 286 pp.
- Elliott J.M., Hurley M.A., 2001. Modelling growth of brown trout, *Salmo trutta*, in terms of weight and energy units. *Freshwater Biology*, 46, 679-692.
- Feist S.W., Peeler E.J., Gardiner R., Smith E., Longshaw M., 2002. Proliferative kidney disease and renal myxosporidiosis in juvenile salmonids from rivers in England and Wales. *Journal of Fish Diseases*, 25, 451-458.
- Gay M., Okamura B., De Kinkelin P., 2001. Evidence that infectious stages of *Tetracapsula bryosalmonae* for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* are present throughout the year. *Diseases of Aquatic Organisms*, 46, 31-40.
- Jungwirth M. Winkler H., 1984. The temperature dependance of embryonic-development of grayling (*Thymallus thymallus*), Danube salmon (*Hucho hucho*) artic char (*Salvelinus alpinus*) and brown trout (*Salmo trutta*). *Aquaculture*, 38, 315-327.
- Varley M.E., 1967. Water temperature and dissolved oxygen as environmental factors affecting fishes. pp 29-52 In *British freshwater fishes*, Fishing News, London.
- Verneaux, 1973. Cours d'eau de Franche-Comté (Massif du Jura). recherches écologiques sur le réseau hydrographique du Doubs. Thèse d'Etat. Université de Franche-Comté, Besançon, 257p.
- Wahli T., Knuesel R., Bernet D. Segner H. Pugovkin D., Burkhardt-Holm P. Escher M., Schmidt-Posthaus H., 2002. Proliferative kidney diseases in Switzerland: current state of knowledge. *Journal of Fish Diseases*, 25, 491-500.

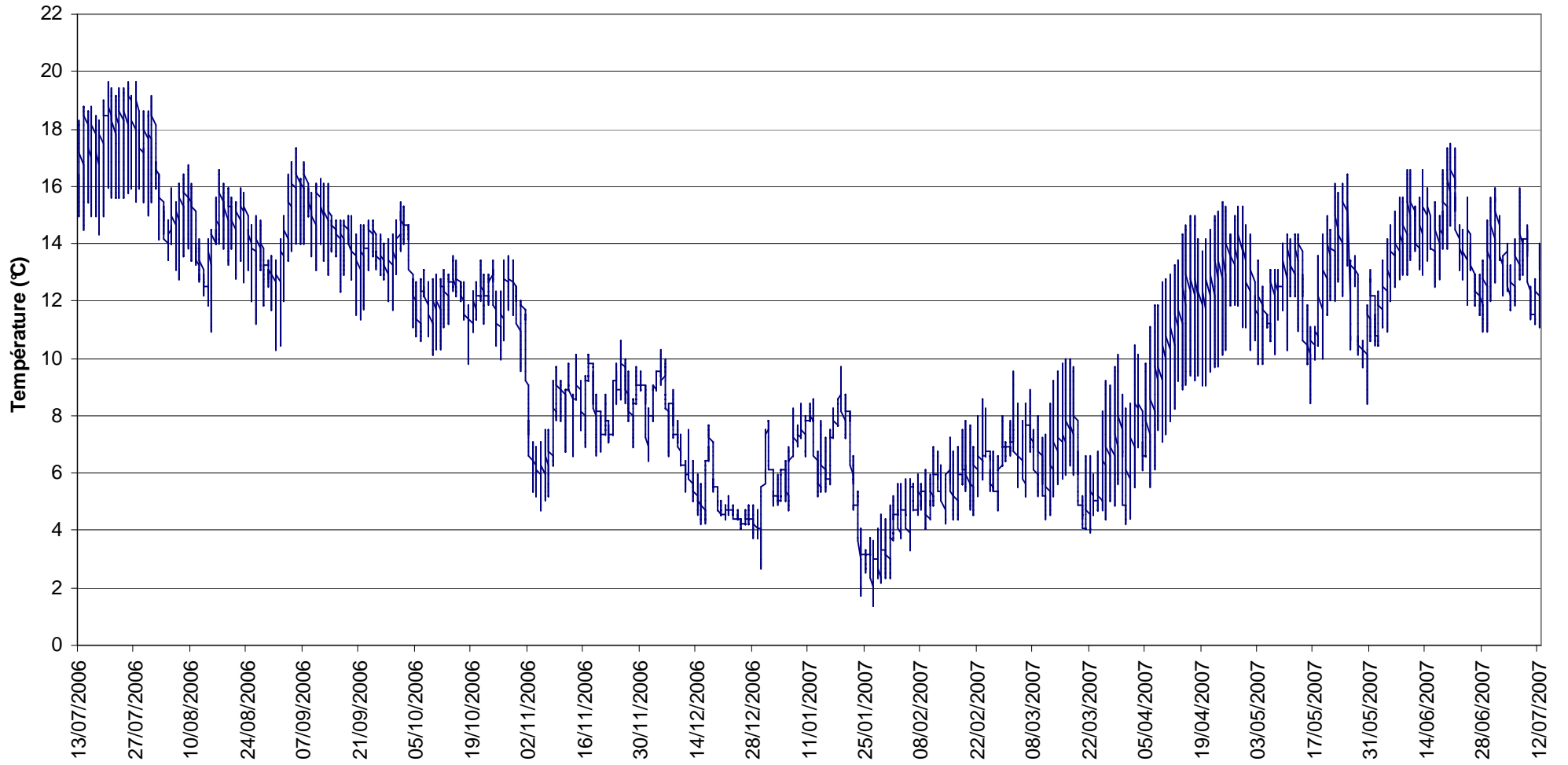
ANNEXES

- **Données thermiques brutes de chaque stations étudiées sur le bassin versant du Foron de Gaillard** : graphiques des données horaires du 13/07/2006 au 08/06/2006.
- **Tableau des valeurs des paramètres thermiques interprétés sur les 7 stations étudiées sur le bassin du Foron de Gaillard.**

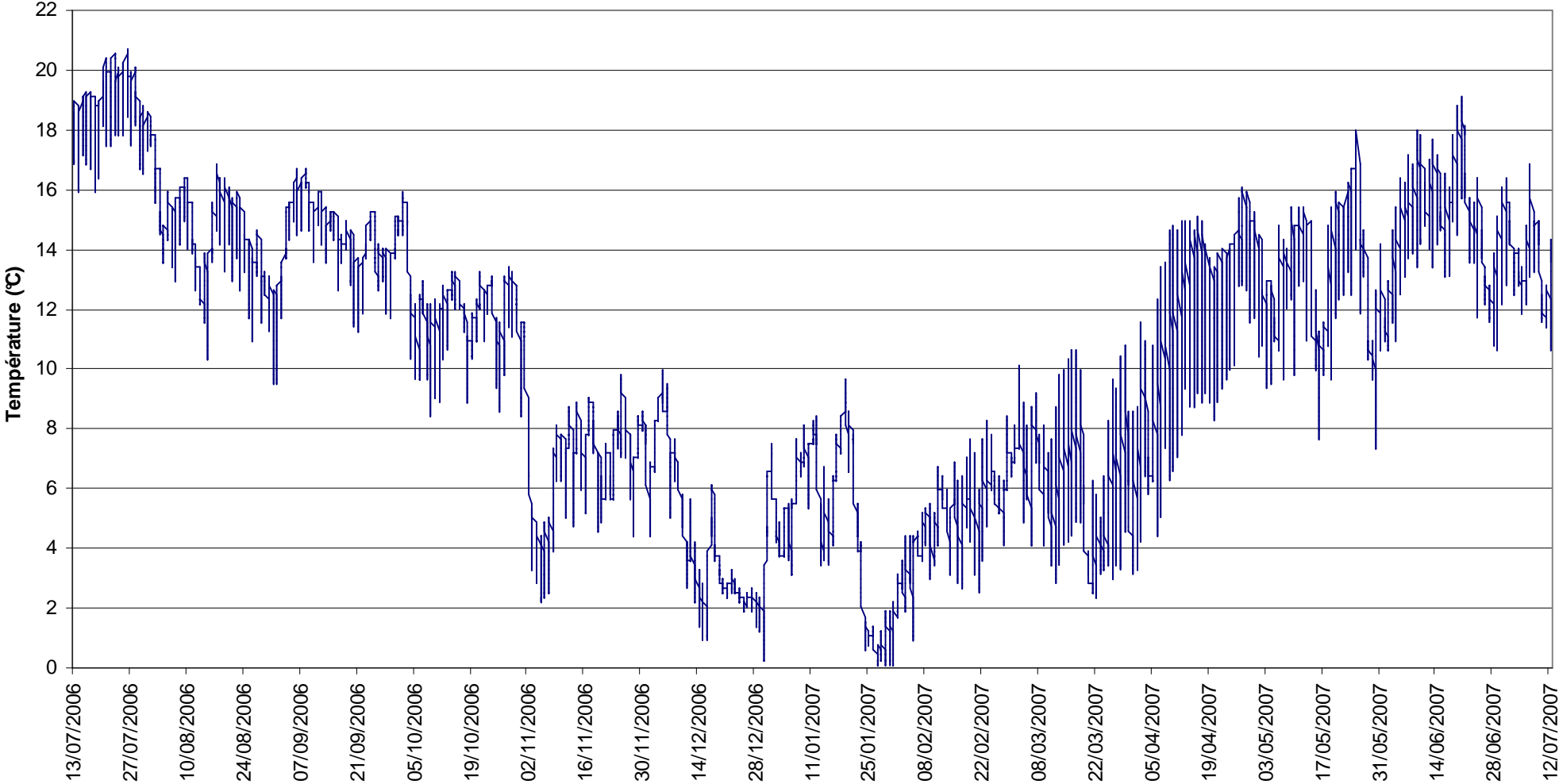
Rui de Coudray_Graizier (C1)



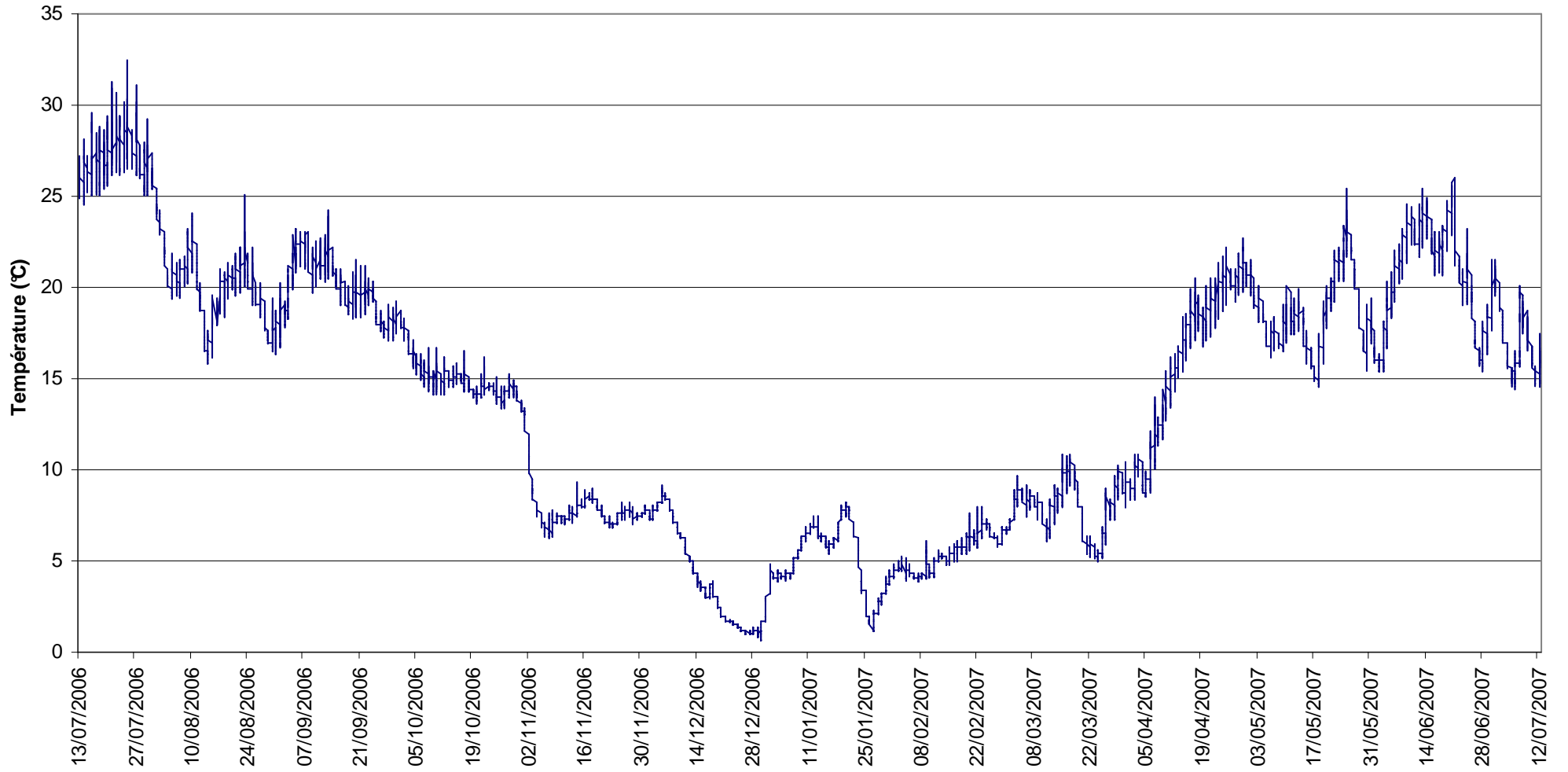
Rui de Coudray_amont lac (Marais des Dames) (C2)



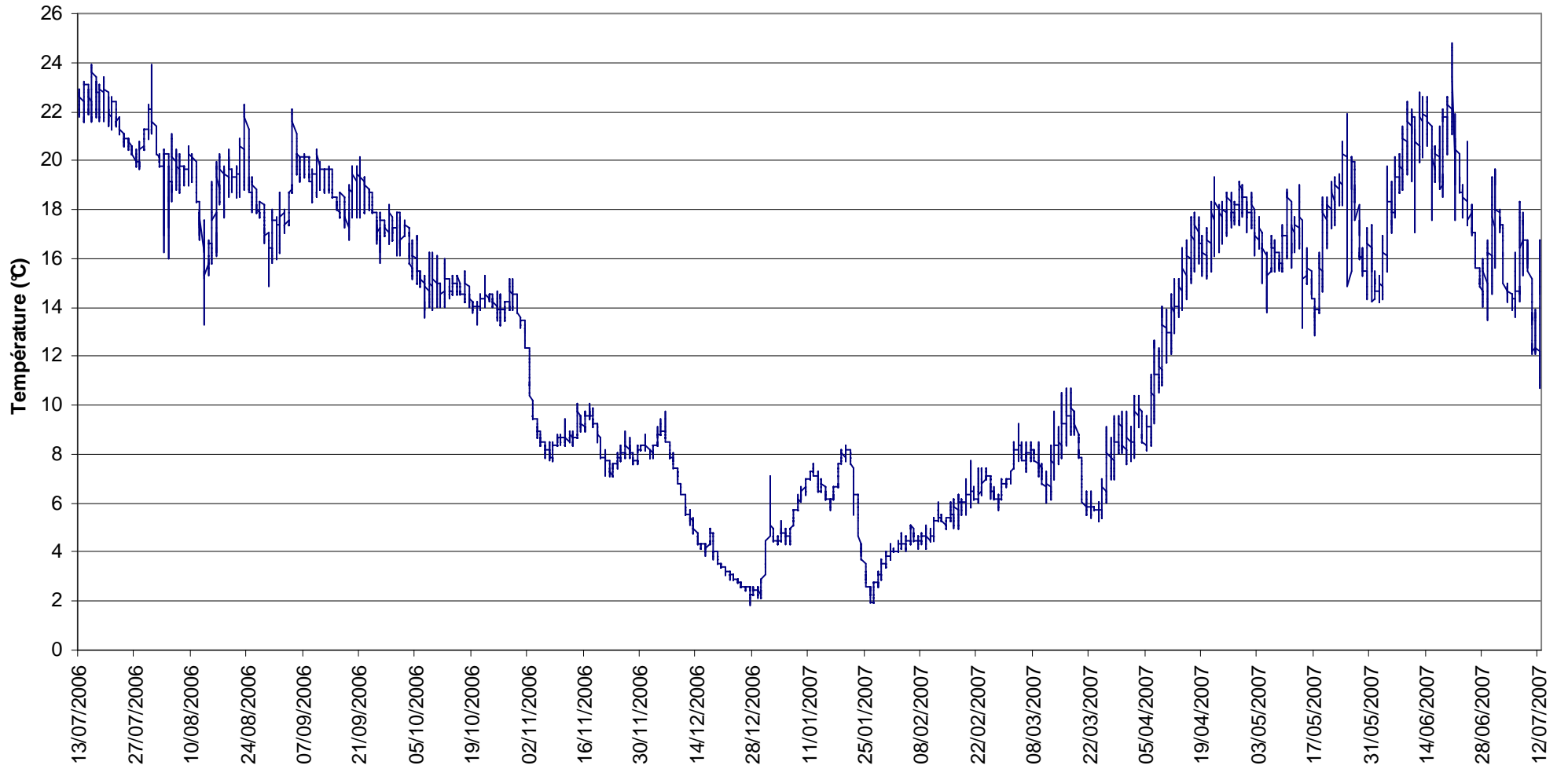
Lac de Machilly amont (LM1)



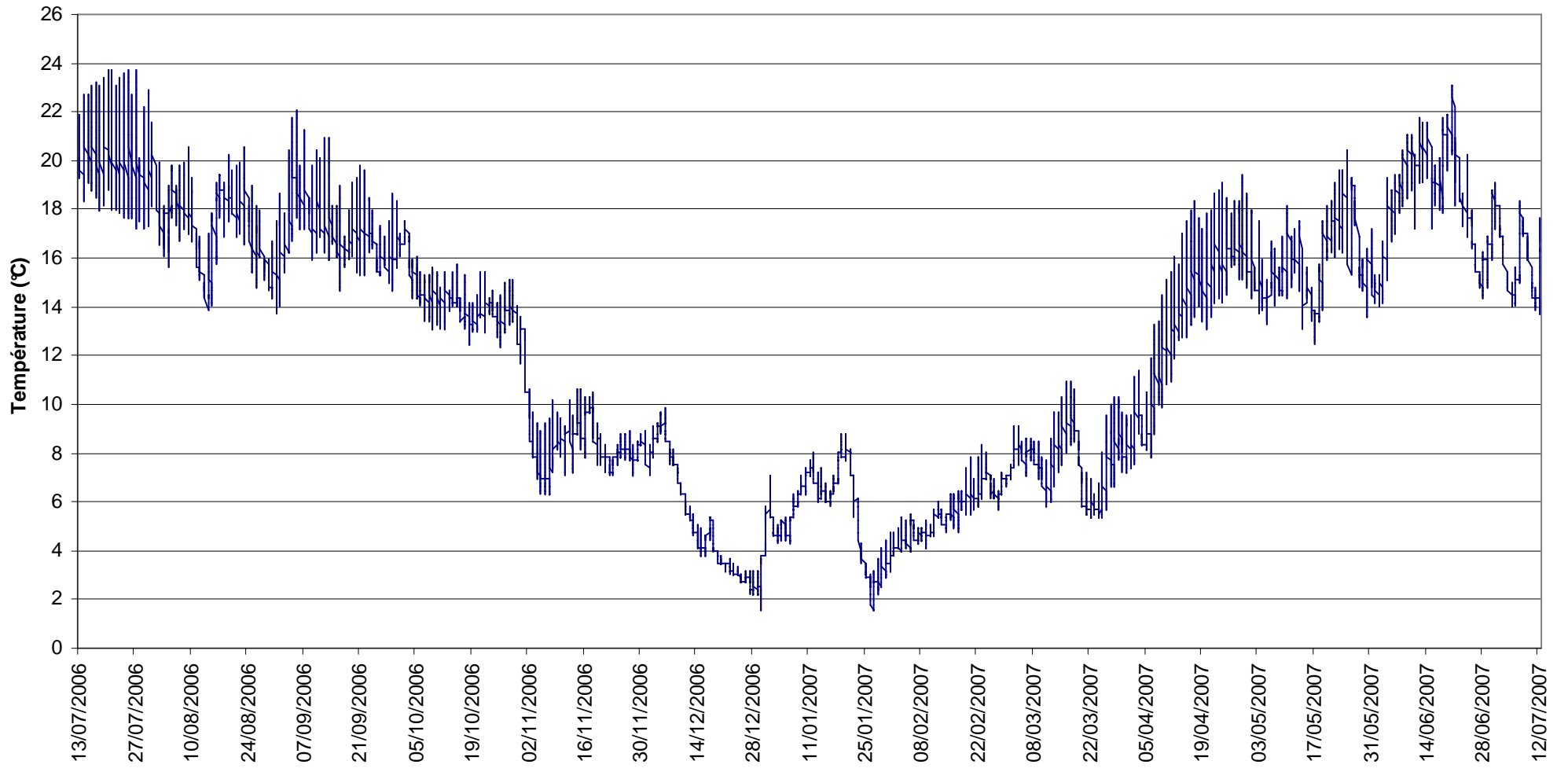
Lac de Machilly amont exutoire (LM2)



Foron de Gaillard aval Lac (FG1)



Foron de Gaillard_Moniaz (FG2)



Foron de Gaillard_vers les poules (FG3)

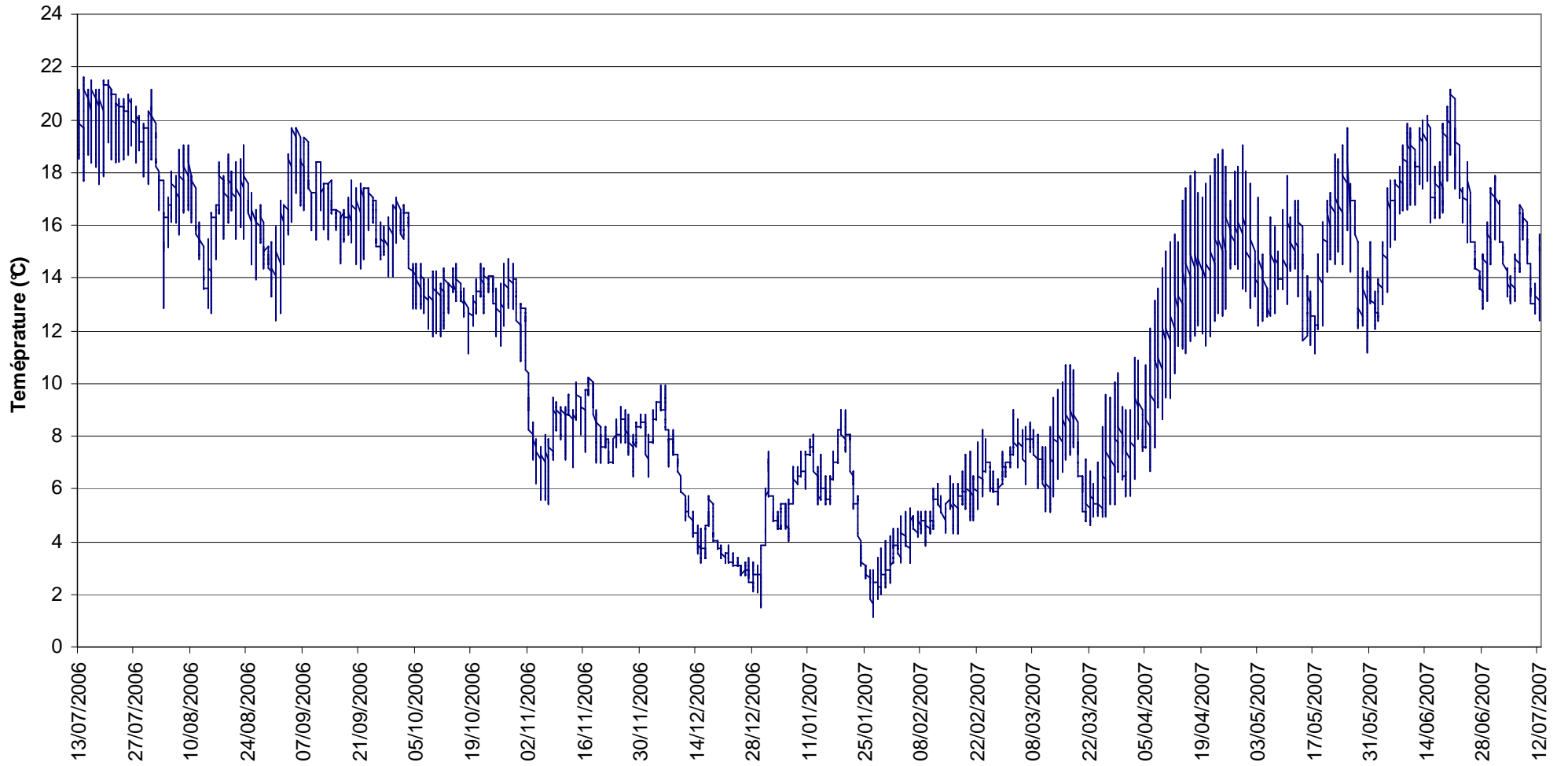


Tableau des valeurs des paramètres thermiques interprétés sur les 7 stations étudiées sur le bassin du Foron de Gaillard.

Stations 2006- 2007	T Maxi H	Amplitude An moyJ	T Moy 30 jours	Nbjours T 4 19	Nb Heures Max Seq SupEg 25	Nb Heures Max Seq SupEg 19	Nb Heures Max Seq SupEg 15	Nb Jours D3	Nb Heures Max Seq Sup 12 sur D3	Nb Heures Max Seq Inf 1 sur D3
C1	20,12	16,37	16,59	336	0	3	510	133	12	1
C2	19,62	15,36	16,3	356	0	7	262	124	11	0
LM1	20,74	19,32	17,23	322	0	16	512	130	11	41
LM2	32,44	26,77	24,91	237	426	729	2050	120	108	8
FG1	24,81	20,16	20,8	281	0	508	899	120	84	0
FG2	23,74	19,25	19,35	312	0	94	746	120	40	0
FG3	21,63	18,35	18,68	321	0	42	519	122	17	0