

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 REDON ET DU PAMPHIOT

DONNEES 2006-2007



Laure VIGIER
Arnaud CAUDRON

(Réf rapport FDP74.07/04)

septembre 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.

Les stations suivies sont choisies 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).

Le présent rapport présente les résultats de la première campagne de l'étude thermique réalisée sur le bassin du sud-ouest lémanique. Cette campagne a eu lieu au cours des années 2006-2007 sur les bassins du Redon et du Pamphiot.

I) Protocole de suivi

Le suivi thermique a été réalisé sur 19 stations différentes, 11 sur le bassin du Redon et 8 sur celui du Pamphiot. Sur chaque station, le suivi a été réalisé sur un cycle annuel complet au pas de temps horaire à l'aide de 4 thermographes enregistreurs stowaway tidbit et de 15 enregistreurs Hobo. Les enregistreurs ont été posés par Chateaufieux Maxime (SYMASOL) et Cellier Florent (ONEMA) au mois de juin 2006 et récupérés par Chateaufieux Maxime (SYMASOL) et Catinaud Ludovic (FDP74) en juin 2007. La période choisie pour le traitement des données sur un cycle annuel est comprise entre le 01/07/2007 et le 30/06/2008.

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 Redon et le Pamphiot.

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 les bassins du Redon et du Pamphiot.

La localisation des 19 enregistreurs et les caractéristiques des stations étudiées sont présentées dans la figure 1 et le tableau 2 ci-dessous.

AVAL (Lac Léman)

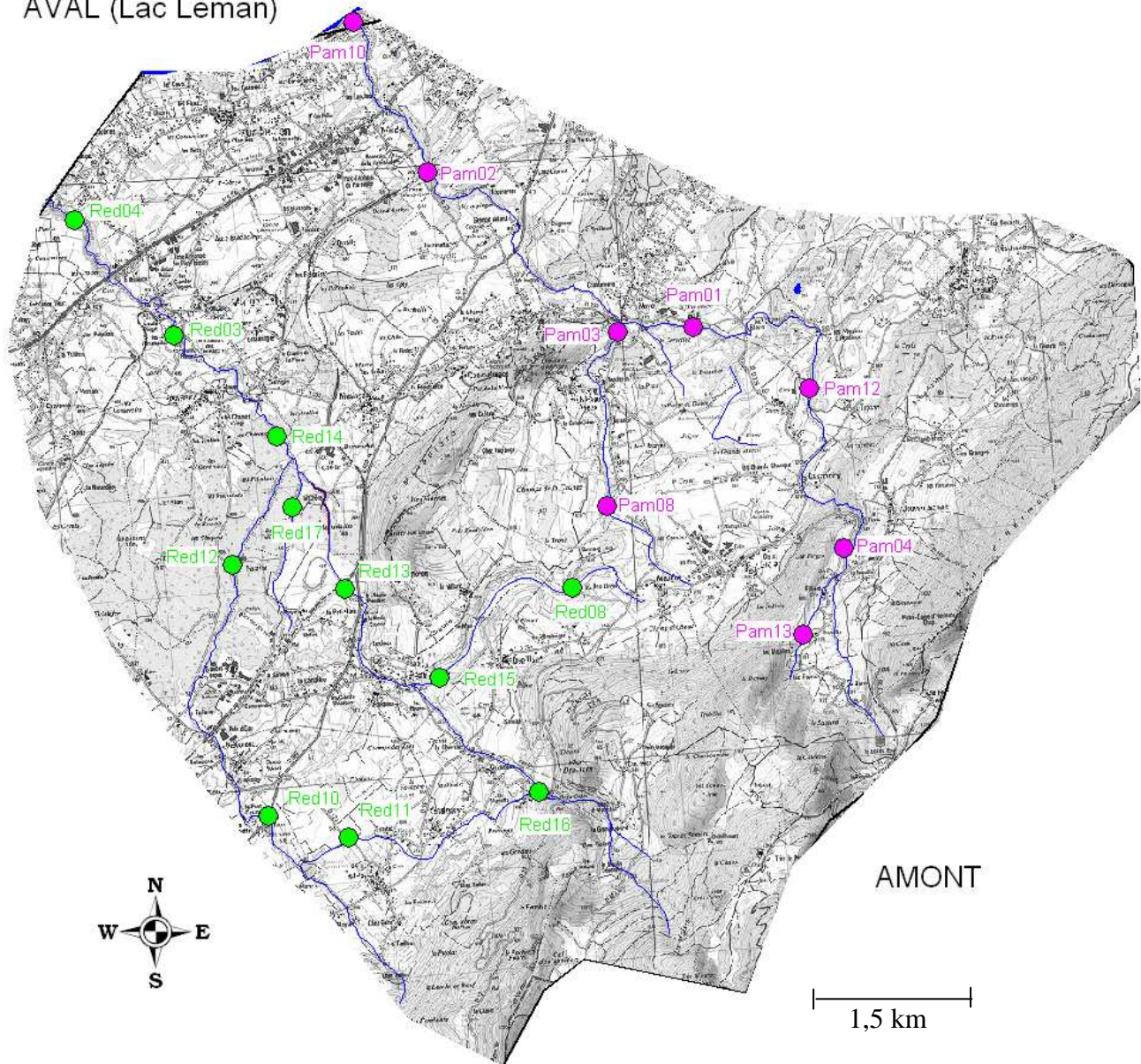


Figure 1 : Localisation géographique des 19 stations étudiées sur les bassins du Redon (vert) et du Pamphiot (violet) dans le cadre du suivi thermique entre 2006 et 2007.

Tableau 2 : Caractéristiques des stations étudiées sur les bassins du Redon et du Pamphiot dans le cadre du suivi thermique entre 2006 et 2007 et localisation précise des enregistreurs.

Bassin	Cours d'eau	Affluent de	Localisation station	code station	Distance à la source	Altitude
Redon	Ruisseau des Moises	Redon	chez Jordan-Creux de la croix	Red16	2,3	700
	Redon	Léman	le petit lieu - aval RD 903, amont chemin de fer	Red13	5,5	500
		Léman	Jouvernex - les chérassons	Red14	7,6	470
		Léman	Moulin Rieux aval-amont RD 233	Red03	9,3	430
		Léman	aval RN5 - Séchex	Red04	10,3	400
	Canal des Moises	La Gurnaz	D125 aval hameau de Terrotet	Red11	4,7	590
	la Gurnaz	Redon	Amont D 903- Château de la Rochette	Red10	2,4	570
		Redon	l'Apralis	Red12	5,6	500
	Ruisseau des Moillières	Redon	Amont pont Bonnant	Red08	1	600
		Redon	amont confluence avec le ru des Moises	Red15	2,9	560
Ruisseau des Vernes	Redon	le Chêne	Red17	1,3	480	
Pamphiot	Ruisseau des Mouilles	Pamphiot	aval hameau les Mouilles (Orcier)	Pam13	0,5	880
	Pamphiot	Léman	aval hameau de la Mouille (Orcier)- oratoire	Pam04	1,5	780
		Léman	entre Trossy et Chamoisy	Pam12	3,7	600
		Léman	la Genevrière (entre Noyer et les Blaves)	Pam01	5,8	560
		Léman	aval RD903-amont voie ferrée	Pam02	9,3	440
		Léman	aval (Corzent)	Pam10	11	380
		Léman	aval (Corzent)	Pam10	11	380
	Le Mâcheron	Pamphiot	amont du hameau de Lassy	Pam08	1,3	610
		Pamphiot	amont confluence avec Pamphiot (Noyer)	Pam03	3,3	560

III) Résultats

III.1) Validation des données

Sur les 19 sondes immergées, aucune n'a montré de données aberrantes. La totalité des enregistrements réalisée 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 sur les bassins du Redon et du Pamphiot, les moyennes journalières varient de 0°C à 20°C pour le premier (figure 2 et 3) et de 1°C à 18°C pour le second (figure 4). Globalement, la période de faible température se situe entre fin octobre et début mars. Les températures estivales, bien que relativement chaudes, notamment en ce qui concerne le Pamphiot ne semblent pas être limitantes pour le développement de la truite commune.

Sur l'ensemble des courbes présentées aux figures 2, 3, 5 et en annexe, deux phénomènes sont remarquables sur l'ensemble des stations étudiées : un réchauffement hivernal durant tout le mois de janvier ainsi que de fortes amplitudes thermiques journalières (de l'ordre de 3°C à 6°C) lors du réchauffement des eaux printanier. Ces observations sont à replacer dans le contexte climatique particulier de l'hiver 2006 et de l'année 2007, c'est-à-dire un hiver très doux et un mois d'avril très chaud, avec des températures presque estivales la journée et des nuits encore froides et des débits relativement faibles.

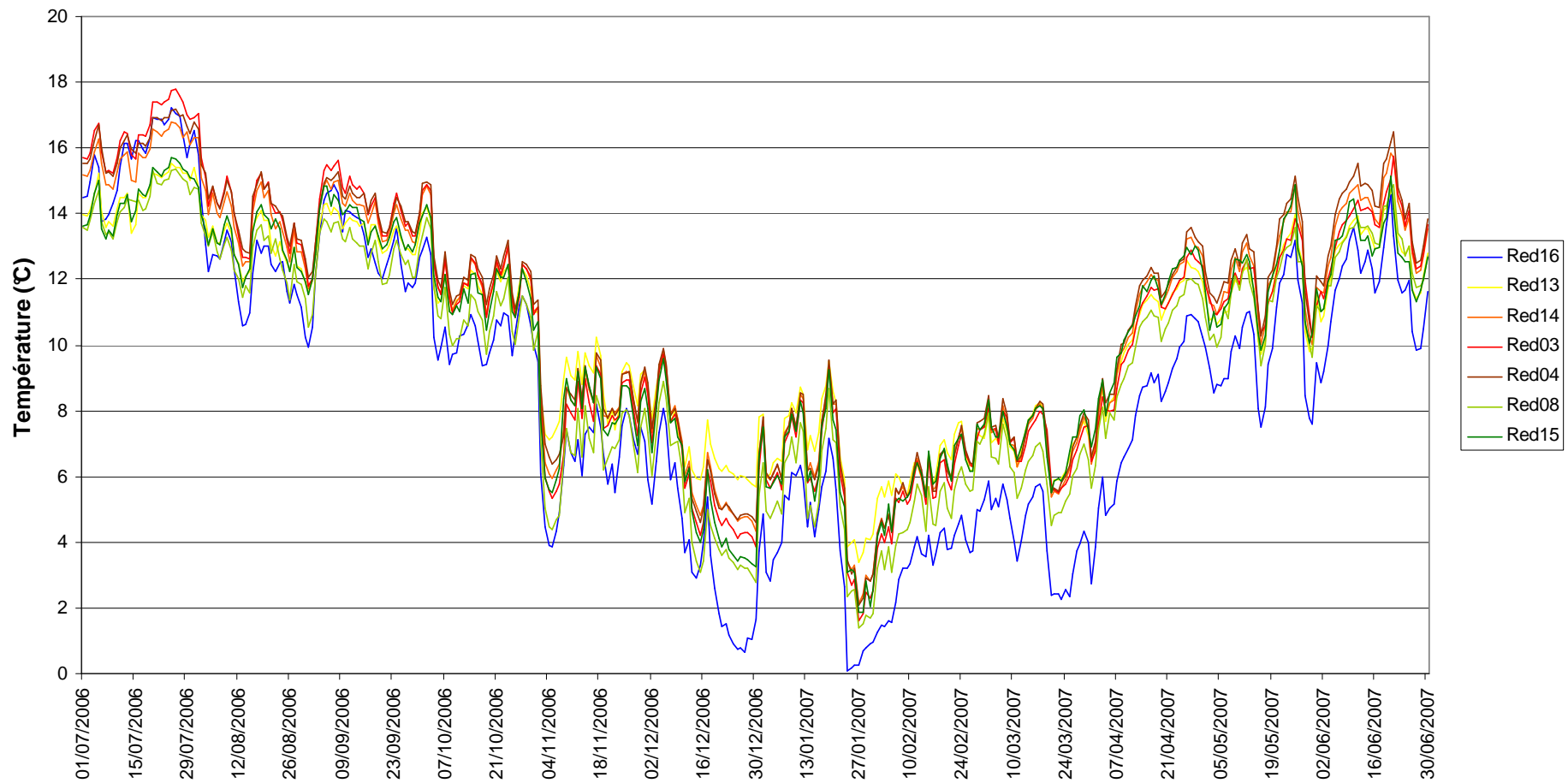


Figure 2 : Courbes des températures moyennes journalières calculées sur la période du 01/07/2006 au 30/06/2007 pour les 7 stations étudiées respectivement sur le ruisseau des Moises (1), le cours principal du Redon (4) et sur un de ses affluents rive droite le ruisseau des Moillières (2).

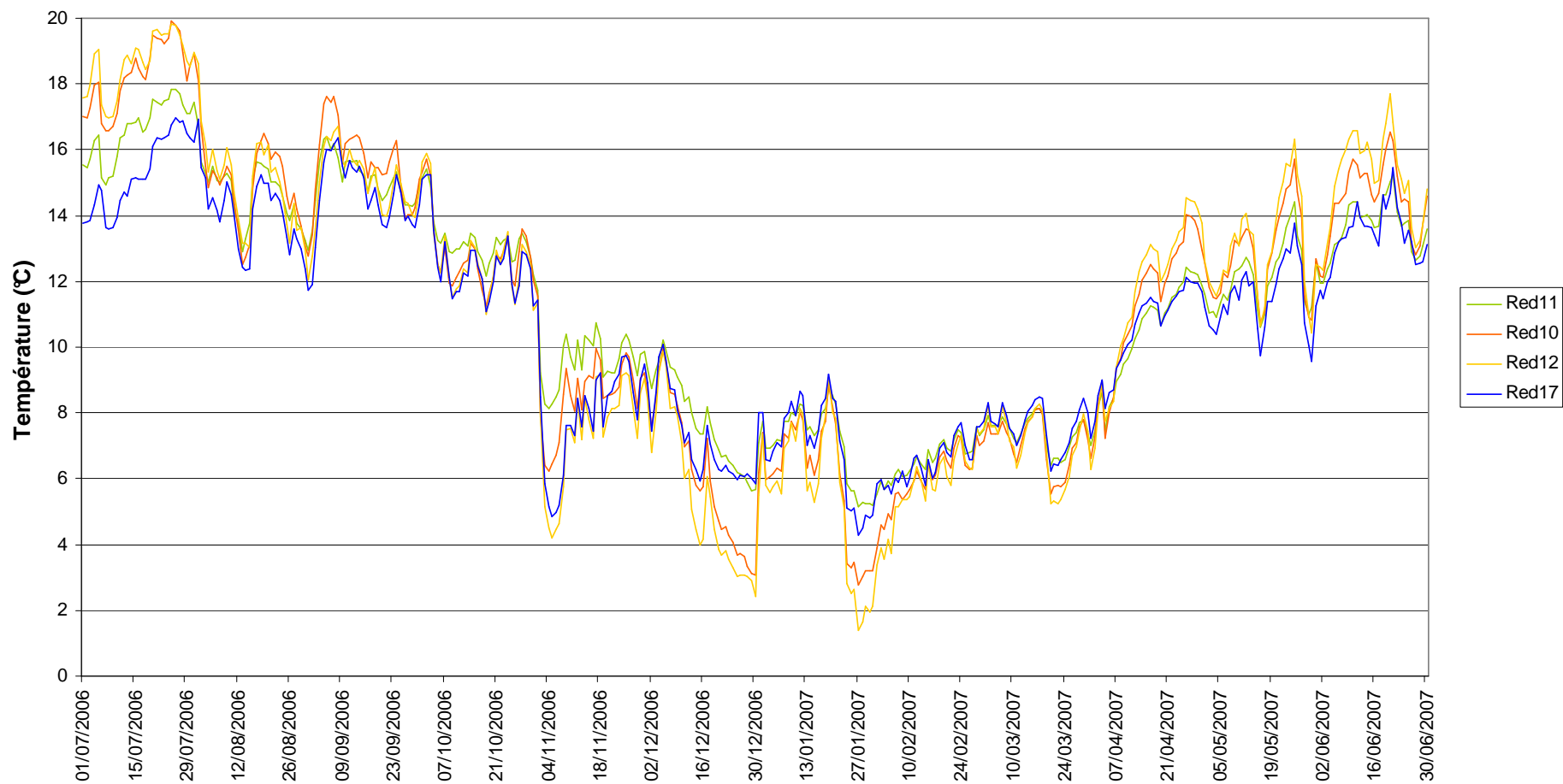


Figure 3 : Courbes des températures moyennes journalières calculées sur la période du 01/07/2006 au 30/06/2007 pour les 4 stations étudiées sur les « affluents » rive gauche du Redon, respectivement de l'amont vers l'aval : le canal des Moises (1), la Gurnaz (2) et le ruisseau des Vernes (1).

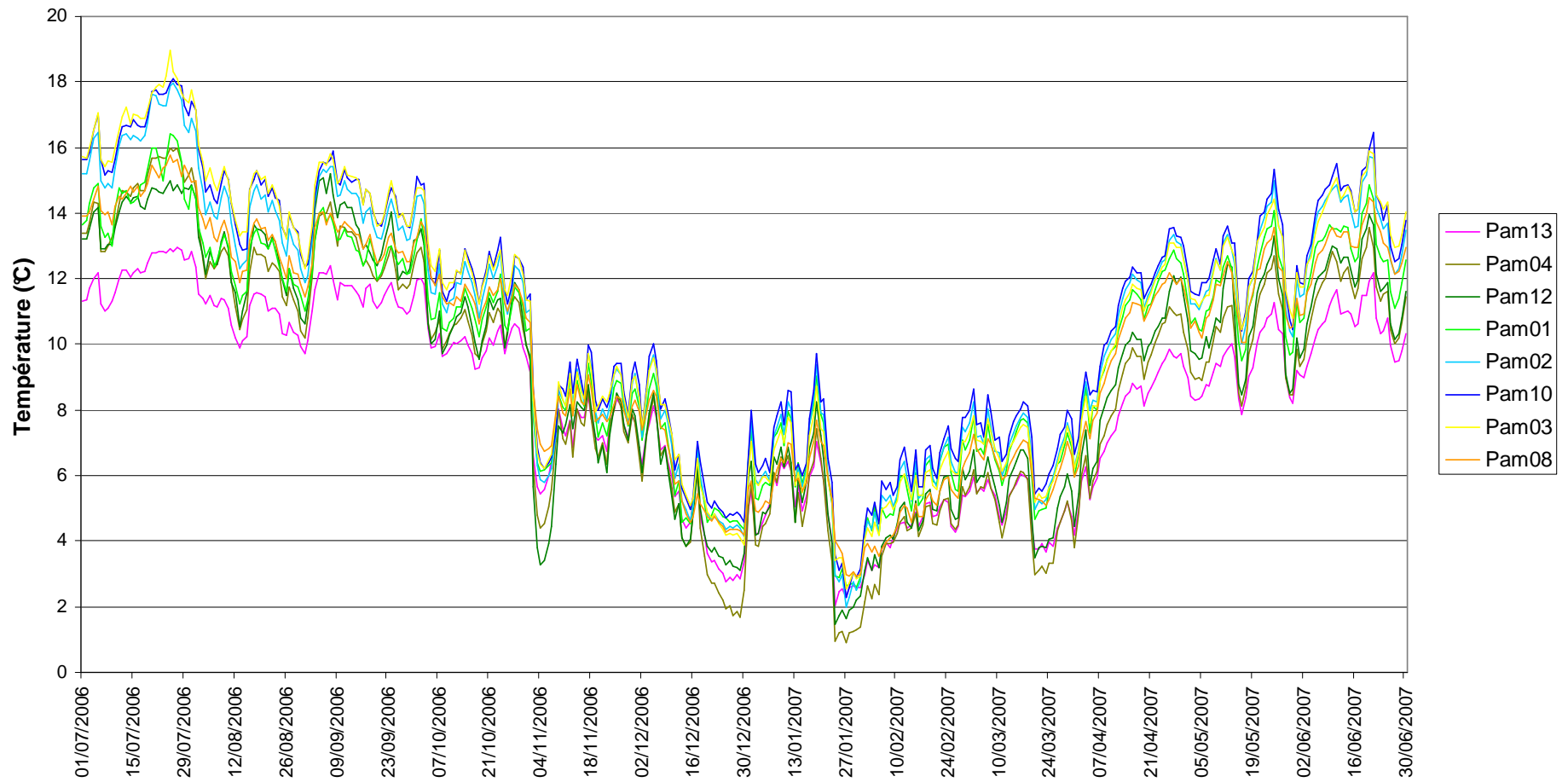


Figure 4 : Courbes des températures moyennes journalières calculées sur la période du 01/07/2006 au 30/06/2007 pour les 8 stations étudiées respectivement sur le ruisseau des Mouilles (1), sur le cours principal du Pamphiot (5) et sur son affluent le Mâcheron (2).

III.3) Température extrême, amplitude et moyenne estivale

a - Le Redon

Les valeurs d'amplitudes annuelles et de moyennes sur les trente jours les plus chauds montrent, des distributions globalement similaires (Figure 5-B et 5-C). La différence des distributions de l'histogramme représentant les températures maximales horaires (figure 5-A) tient à des pics isolés de forte température sur les stations Red 13 et Red04 durant l'été 2006 (annexes). Cependant, les valeurs sont non limitantes pour la vie salmonicole sur l'ensemble du bassin du Redon.

Les températures les plus élevées ainsi que les amplitudes thermiques journalières les plus fortes sont relevées sur les deux stations situées sur son affluent la Gurnaz (Red10 et Red12).

Sur le cours principal du Redon (ruisseau des Moises compris), les valeurs des températures maximales croissent globalement de l'amont vers l'aval (figure 5-A), les valeurs maximales d'amplitude thermiques annuelles des moyennes journalières (figure 5-B) suivent une distribution différentes et montre des différences plus marquées. Les valeurs de températures maximales sont relativement proches sur les 5 stations concernées (Red16, 13, 14, 03, 04), les variations d'amplitude thermique observées résultent principalement des différences de températures hivernales, en effet, les températures moyennes journalières minimales évoluent entre 0,1°C et 3,4°C pour ces 5 stations.

On remarque la forte sensibilité du ruisseau des Moises (Red16) aux températures extrêmes. La dérivation d'une partie du débit par l'intermédiaire du canal des Moises vers la Gurnaz peut, en fonction du débit restant au ruisseau, expliquer le fort réchauffement estival et le fort refroidissement hivernal observés et plutôt inhabituels pour un cours d'eau de tête de bassin.

D'autre part, une diminution de l'amplitude thermique annuelle de l'ordre de 1°C est observable entre les deux stations aval du Redon, Red03 et Red04.

La faible amplitude thermique observée sur la station située sur canal des Moises est principalement due aux températures hivernales relativement élevées (5,2°C).

Le ruisseau des Moillières et celui des Vernes, présentent des conditions thermiques favorables au développement de la truite. Ce dernier étant le plus favorable du fait des faibles amplitudes journalières (annexe Red17) et des températures hivernales relativement clémentes (Température moyenne journalière minimale : 4,3°C).

Les valeurs de la moyenne des températures des 30 jours consécutifs les plus chauds (Figure 5-C) montrent la même évolutions que celles des amplitudes thermiques annuelles des moyennes journalières. Ces valeurs varient entre 14,5 et 16,7 pour l'ensemble des points étudiés sur le bassin du Redon sauf pour la Gurnaz où elles sont de l'ordre de 18,5°C.

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.

b - Le Pamphiot

Les valeurs de température maximale, d'amplitudes annuelles et de moyennes sur les trente jours les plus chauds montrent, des distributions globalement similaires (Figure 5-A', B', C').

Malgré l'atteinte de température relativement élevée et particulièrement sur la partie aval du cours principal (22°C), les valeurs sont non limitantes pour la vie salmonicole sur l'ensemble du bassin du Pamphiot.

Une augmentation logique de ces trois paramètres de l'amont vers l'aval est observable depuis le ruisseau des Mouilles (Pam13) jusqu'à la confluence avec le lac (Pam03). De la même manière, les deux stations situées sur son affluent principal (le Mâcheron) marque cette même tendance.

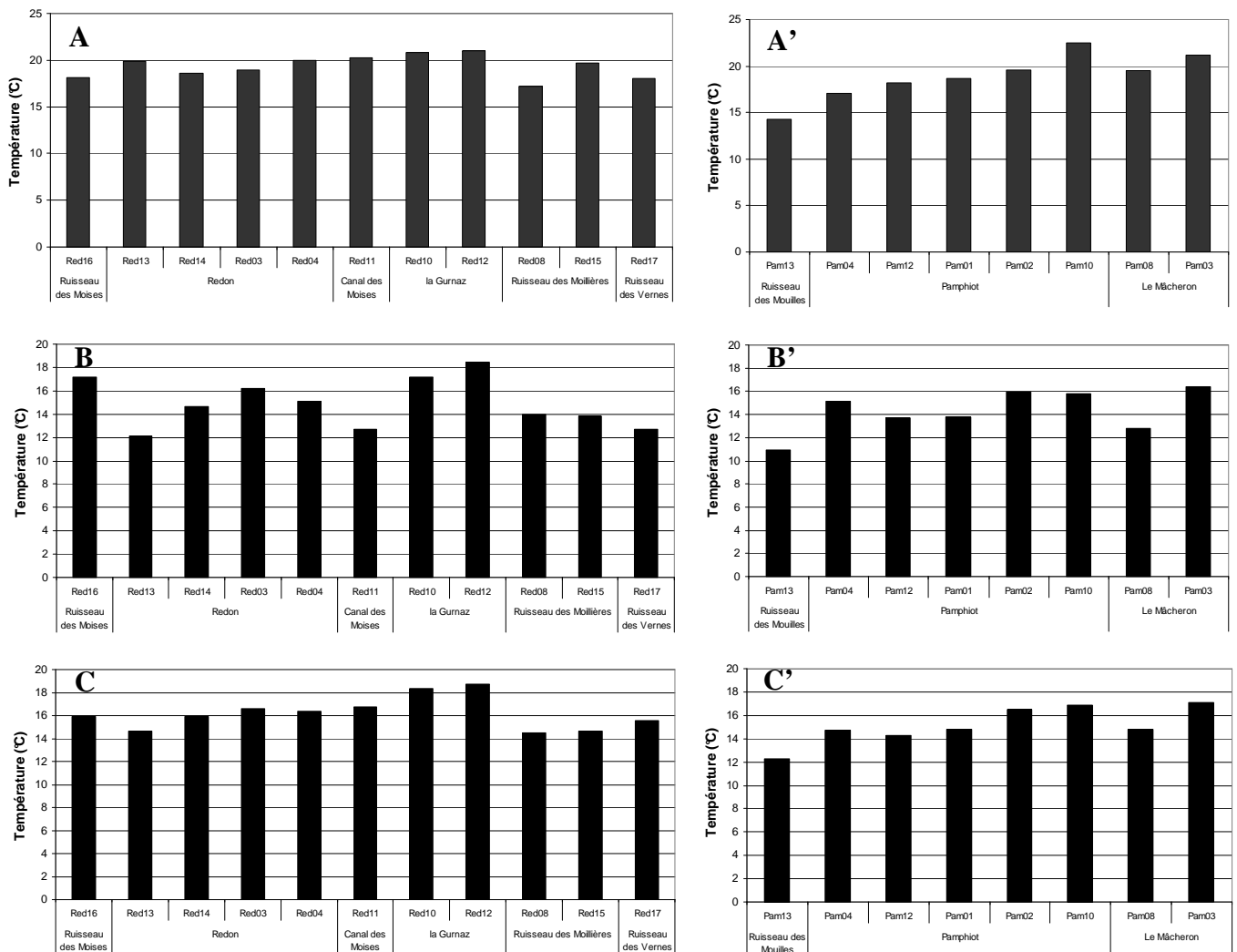


Figure 5 : Température maximale (A, A'), amplitude annuelle des moyennes journalières (B, B') et moyenne des trente jours les plus chauds (C, C') obtenues sur les 19 stations étudiées par le suivi thermique annuel sur les bassins du Redon (à gauche) et du Pamphiot (à droite).

III.3) 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 6-A, A' montre peu de différences de la durée du préférendum thermique entre les stations situées sur les bassins du Redon et du Pamphiot avec des valeurs comprises entre 297 et 365 jours par an. Ces durées d'optimum thermique sont plutôt élevées par rapports aux autres résultats obtenus sur le département (Caudron *et al.*, 2006).

D'autre part, les stations étudiées ont des maximales qui ne dépassent jamais les 25°C et rarement les 19°C (figure 6-B, B') à l'exception des deux stations situées sur la Gurnaz (Red10 et Red12) et de l'aval du Mâcheron (Pam03).

Sur la Gurnaz, affluent du Redon, les conditions se dégradent progressivement avec l'augmentation des températures observées qui dépassent parfois (respectivement 208 et 297 heures) et pendant des périodes de temps conséquentes (jusqu'à 18 et 25 heures consécutives) les 19°C (figure 6-C, C'). L'aval du Mâcheron, affluent du Pamphiot, présente également des épisodes (jusqu'à 15 heures consécutives) de dépassement des 19°C.

Cependant, ces durées peuvent être considérée comme moyenne par comparaison avec les autres résultats obtenus sur le département. Ainsi du point de vue de ces trois variables, ces deux bassins présentent des caractéristiques thermiques favorables à la vie salmonicole sur l'ensemble de leur linéaire.

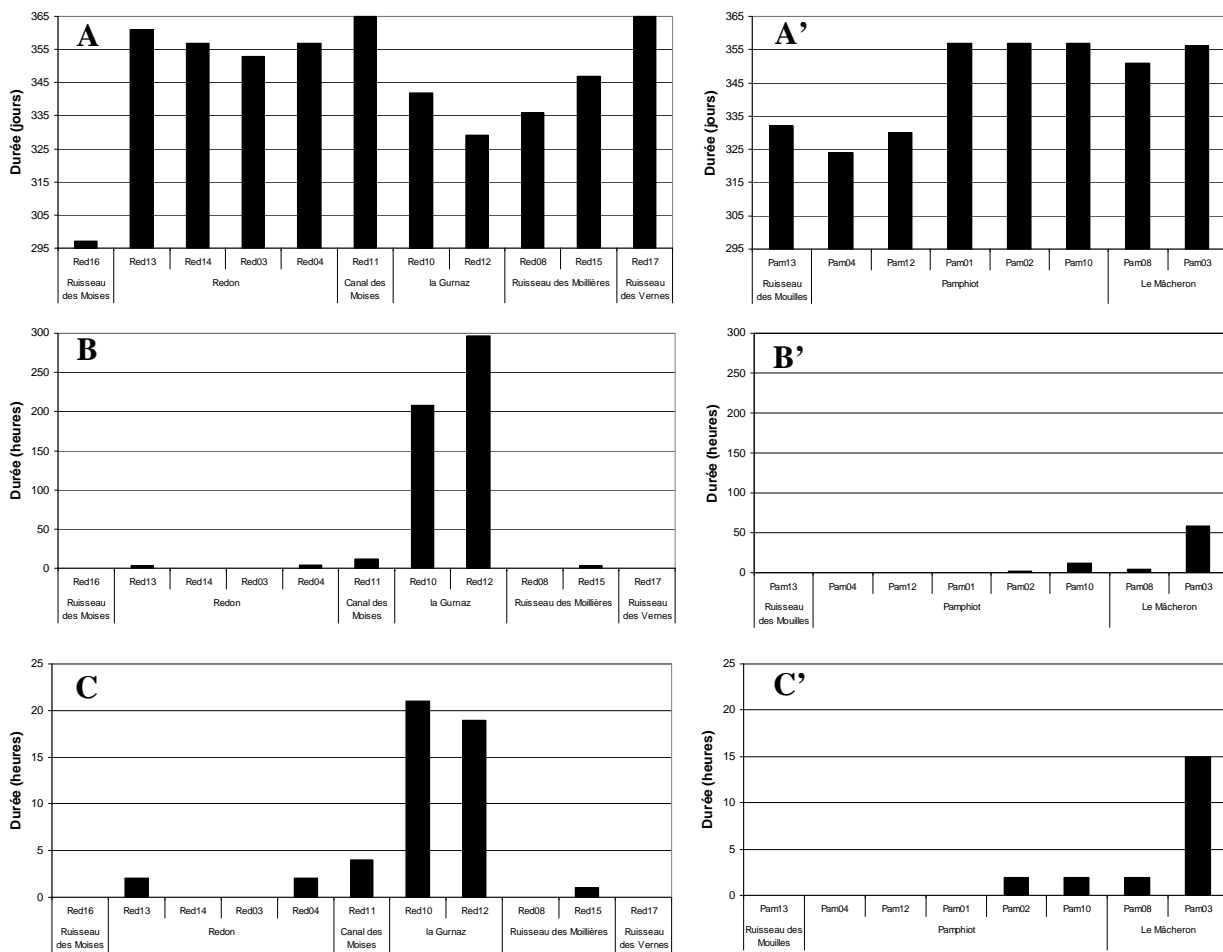


Figure 6 : Durée en jours du préférendum thermique de la truite commune (A, A') en heure de la durée totale où la température atteint ou dépasse 19°C (B, B') et de la séquence maximale durant laquelle la température est restée au dessus de 19°C (C, C') sur les 19 stations concernées par le suivi annuel sur les bassins du Redon (à gauche) et du Pamphiot (à droite).

III.4) Conditions favorables à l'infection par la PKD

La PKD (« Proliferative 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.

a - Le Redon

Pour la majorité des stations étudiées sur le Redon et ses affluents (Figure 7-A) le risque de développement de PKD est élevé. Trois situations peuvent être distinguées :

- un risque important de développement de la PKD sur les 2 stations aval du Redon (Red03 et Red04), la stations située sur le canal des Moises ainsi que sur la Gurnaz (Red10 et Red12) avec des durées de séquences maximales durant laquelle la température est supérieure à 15°C dépassant (comprise entre 426 et 818 heures) la limite des 15 jours consécutifs.

- un risque moyen pour le ruisseau des Moises (Red16), le secteur du Redon situé en aval de la confluence avec la Gurnaz (Red14), ainsi que sur le ruisseau des Vernes (Red17). Ces stations présentent des durées de la séquence maximale durant laquelle la température est supérieure à 15°C relativement élevée. Les durées observées s'approchent, avec des valeurs comprises entre 260 et 329 heures consécutives, de la limite favorable au développement de l'agent pathogène. Ce résultat permet de suspecter l'atteinte de la limite théorique, fixée à 360 heures consécutives, en fonction des variations thermiques inter-annuelles.

- un faible risque sur le ruisseau des Moillières (Red08 et Red15) et sur le Redon en aval de sa confluence (Red13). La forte influence du ruisseau des Moillières sur le Redon est particulièrement visible pour cette variable. En effet, en période d'étiage, ce dernier constitue souvent le seul apport de débit du Redon à ce niveau, le débit du ruisseau des Moises se perdant par infiltration quelques centaines de mètres en amont de la confluence.

b - Le Pamphiot

Les 3 situations distinguées pour le Redon sont également représentées sur le Pamphiot (figure 7-A').

- un risque important sur la station la plus aval du cours principal du Pamphiot ainsi que sur l'aval du Mâcheron.

- Un risque moyen et potentiellement fort selon les années, sur la station Pam02 situé sur le Pamphiot en aval de la confluence avec le Mâcheron.

- un faible risque sur la majorité des stations : ruisseau des Mouilles (Pam13), les 10km amont du Pamphiot (Pam04, Pam12, Pam01) et sur l'amont du Mâcheron.

Ainsi, les caractéristiques thermiques de l’aval du Pamphiot (Pam02 et Pam10) semblent fortement influencées par le Mâcheron.

Ces observations montrent l’importance de prendre en compte ces risques potentiels d’infection dans l’étude des populations de truites sur les bassins du Redon et du Pamphiot dans le cadre du contrat de rivière notamment au vu également 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 PKD sur des individus 0+ ont été observés sur plusieurs rivières dans le département de la Haute-Savoie (Caudron *et al.*, 2003 et 2004).

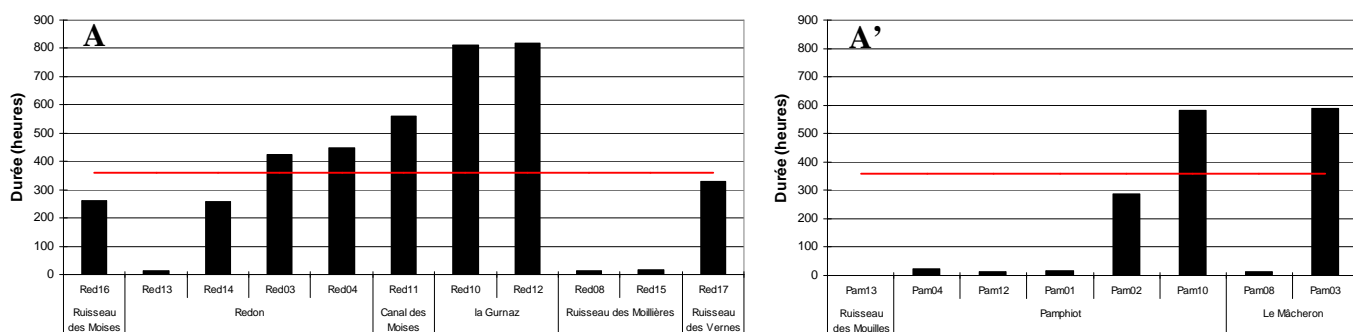


Figure 7: Durée en heures de la séquence maximale durant laquelle la température est restée au-dessus de 15°C sur les 19 stations concernées par le suivi annuel sur les bassins du Redon (à gauche) et du Pamphiot (à droite). La limite des 15 jours consécutifs est matérialisée par le trait rouge.

III.5) 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 inférieures à 1°C ou supérieures 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 114 et 148 jours pour le Redon (figure 8-A) et entre 119 et 142 jours sur le Pamphiot (figure 8-A’). Elles peuvent être considérées comme des durées d’incubation plutôt faibles par rapport aux autres résultats obtenus sur le département (Caudron *et al.*, 2006).

Une seule station, sur l’ensemble des stations étudiées sur les deux bassins présente des températures pouvant compromettre le bon développement embryo-larvaire (figure 8-B). En effet si toute les stations à l’exception du canal des Moises atteignent quelques fois et sur de courtes

durées ces valeurs limites, seule la station Red16 située sur le ruisseau des Moises atteint des températures inférieures à 1°C sur une durée importante (137 heures consécutives).

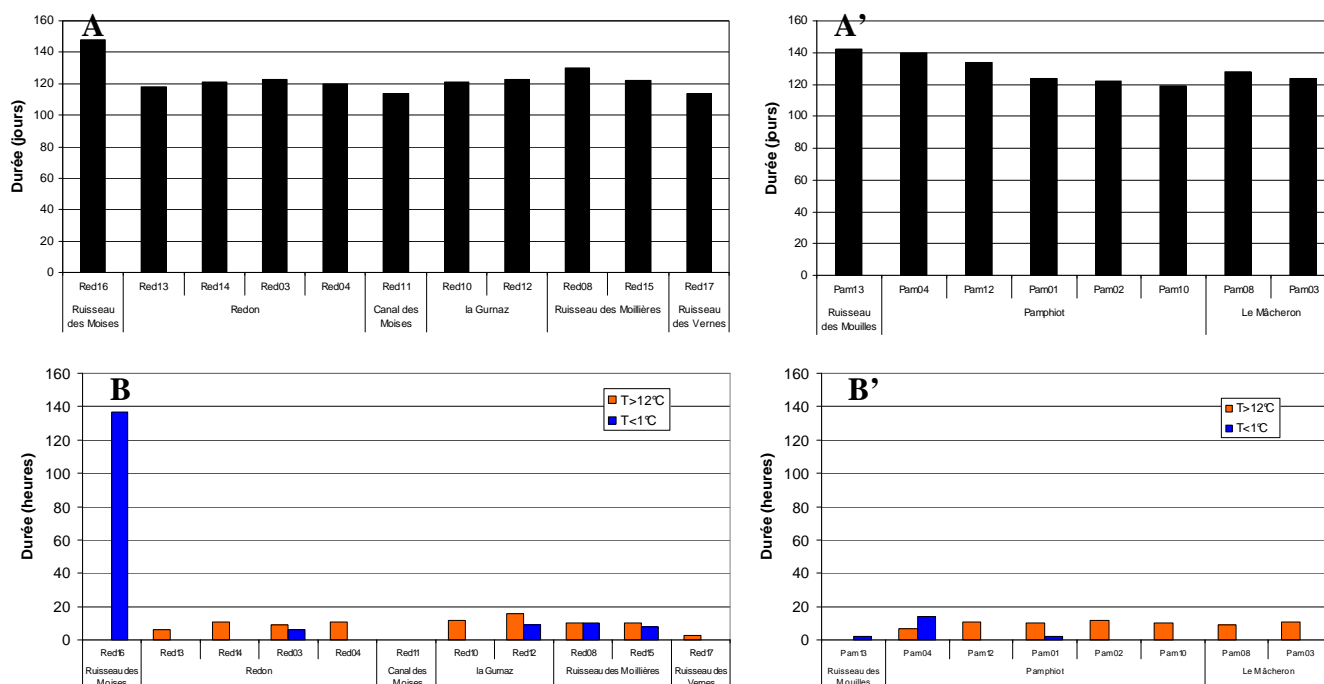


Figure 8 : Durée totale en jours de vie sous graviers (50% d'alevins émergents) (A, A') et durée en heures des séquences maximales durant lesquelles la température est restée au dessous de 1°C et au dessus de 12°C pendant la période du développement embryon-larvaire (B, B') sur les 19 stations concernées par le suivi annuel sur les bassins du Redon (à gauche) et du Pamphiot (à droite).

IV) Premières conclusions et perspectives

Cette première étude thermique réalisée sur les bassins du Redon et du Pamphiot a permis de mettre en évidence les points suivants :

- l'ensemble des stations étudiées sur ces deux bassins présente des conditions thermiques favorables et compatibles avec la vie salmonicole : amplitudes thermiques journalière et annuelle moyennes ainsi qu'une durée de préférendum thermique de la truite proche ou égal à l'année. Les stations les moins favorables étant celles situées sur la Gurnaz et l'aval du Mâcheron où les 19°C sont atteints sur des séquences d'une vingtaine d'heures consécutives.
- Les conditions thermiques sont très favorables au développement de la PKD sur l'ensemble du bassin du Redon à l'exception du ruisseau des Moillières et sur l'aval du Mâcheron et du Pamphiot.
- Les durées de période de vie sous gravier montrent des durées non limitantes pour la réussite du développement embryon-larvaire.
- Les conditions de températures hivernales pendant la période de vie sous gravier semblent pouvoir limiter la réussite du développement embryon-larvaire sur l'amont du Redon sur le ruisseau des Moises. Ces observations seraient à confirmer par la mise en place *in situ* d'incubateurs test pour évaluer le taux de survie pendant cette période critique.

La réalisation d'une recherche spécifique de la PKD sur les individus juvéniles de truites lors d'une année de suivi thermique permettrait de préciser la relation entre la variable étudiée et le développement de la pathologie, qui paraît être une problématique importante sur les bassins étudiés et particulièrement celui du Redon.

BIBLIOGRAPHIE

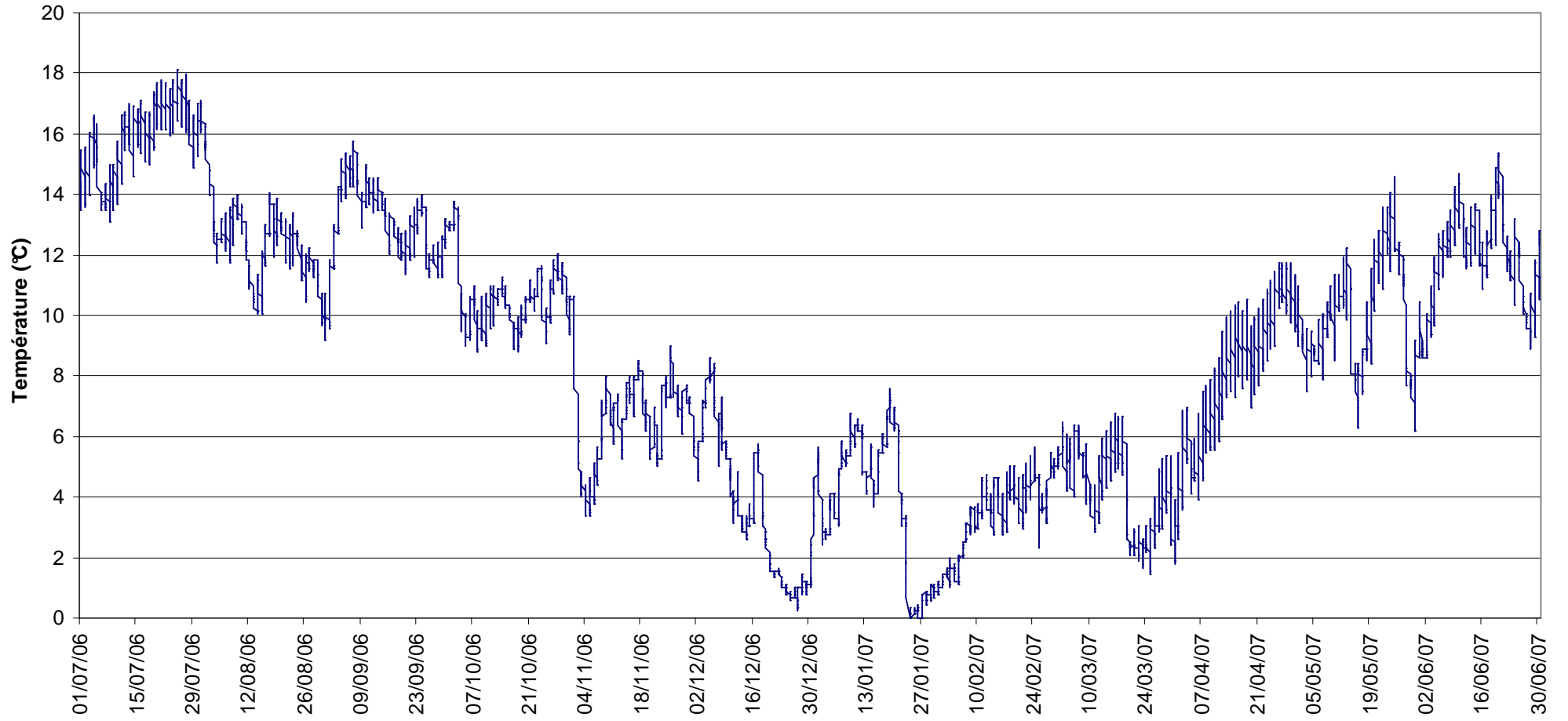
- Alabaster J.S., Llyod R., 1980. Water quality criteria for fresh water fish, Butter Worths Ed., London, 297p.
- Anderson C.L., Canning E.U., Okamura B., 1999. 18S rDNA sequences indicate that PKX organism parasites bryozoa. *Bulletin of the European association of fish pathologists*, 19, 94-97.
- Burkhardt-Holm 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., Champigneulle A., Large A., 2006. Etats et caractéristiques des populations autochtones de truite commune identifiées en Haute-Savoie et qualité globale du milieu. pp : 55-118 in programme INTERREG III A- Identification, sauvegarde et réhabilitation des populations de truites autochtones en vallée d'Aoste et en Haute-Savoie. Rapport final.
- 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., 1988. Prediction, from water temperature, of eyeing, hatching and "swim-up" times for salmonids embryos. *Freshwat. Biol.*, 19, 41-48.
- 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., 1984. Growth, size, biomass and production of young migratory trout *Salmo trutta* in a Lake District stream; 1966-83. *J.Anim.Ecol.* 53, 979-994.
- 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.
- Humpesch U.H., 1985. Inter-and intra-specific variation in hatching success and embryonic development of five species of salmonids and *Thymallus thymallus*. *Arch. Hydrobiol.* 104, 129-144.
- Jungwirth M. Winkler H., 1984. The temperature dependence 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.

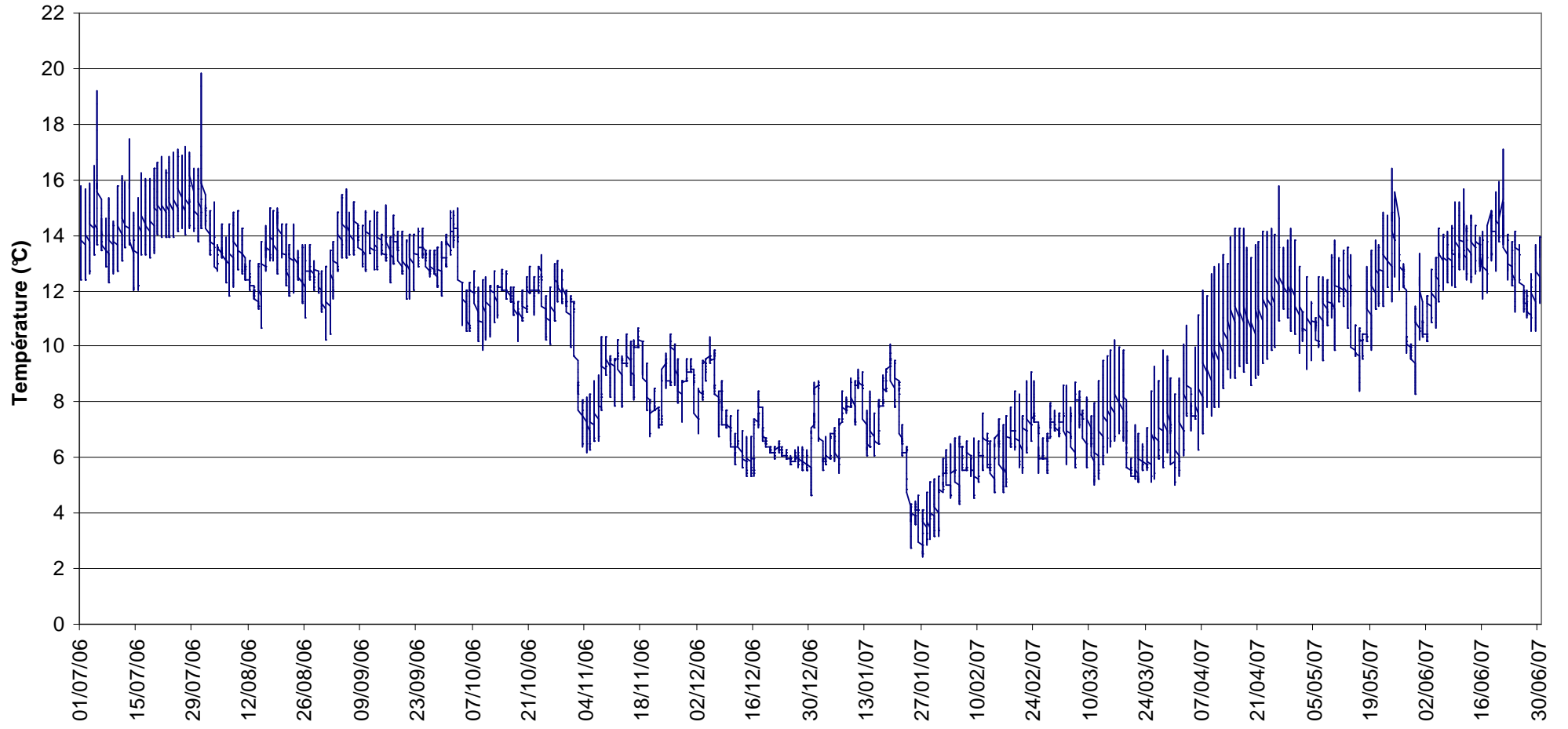
ANNEXES

- **Données thermiques brutes de chaque station des bassins du Redon et du Pamphiot** : graphiques des données horaires du 01/07/2006 au 30/06/2007.
- **Tableau des valeurs des paramètres thermiques interprétés sur les 19 stations étudiées sur les bassins du Redon et du Pamphiot.**

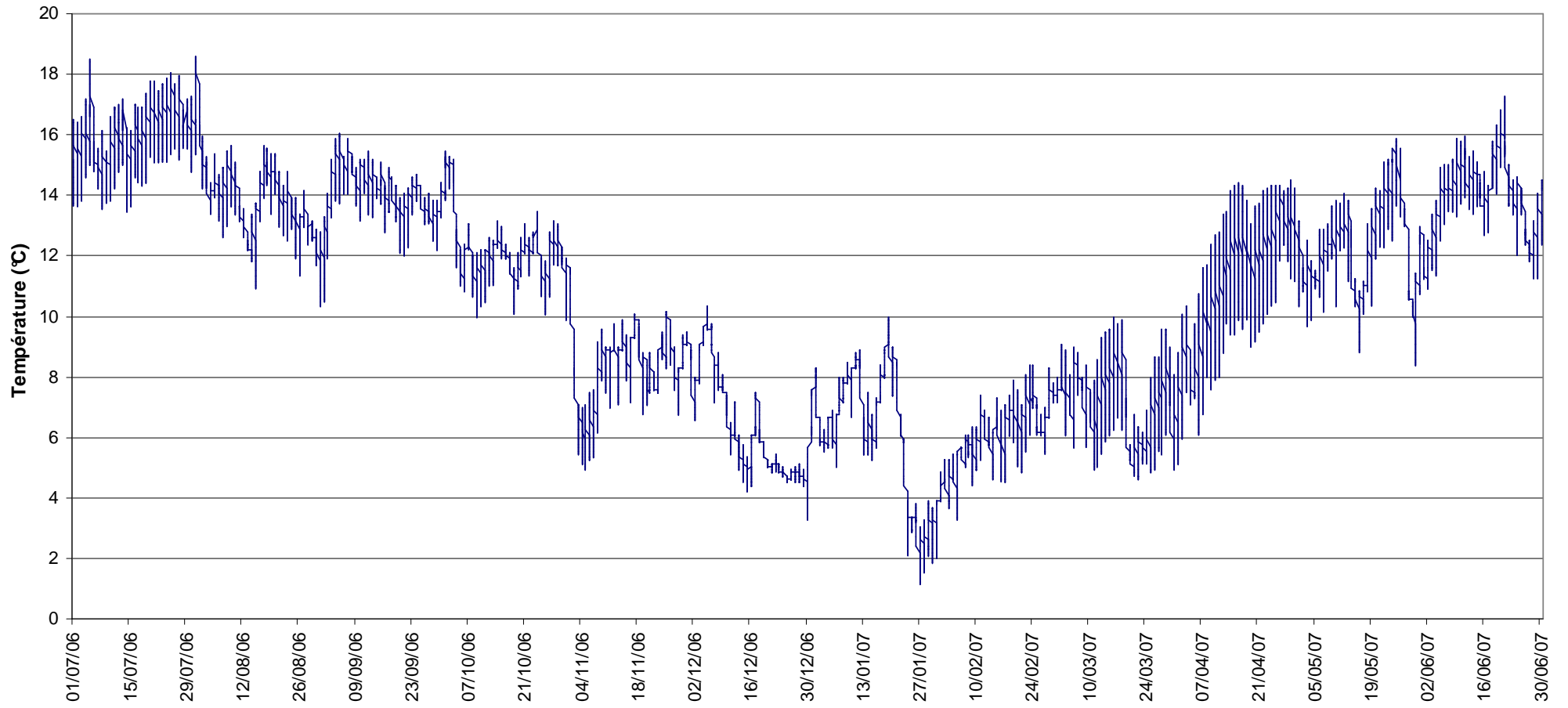
Rui Moises - Chez Jordan : Red16



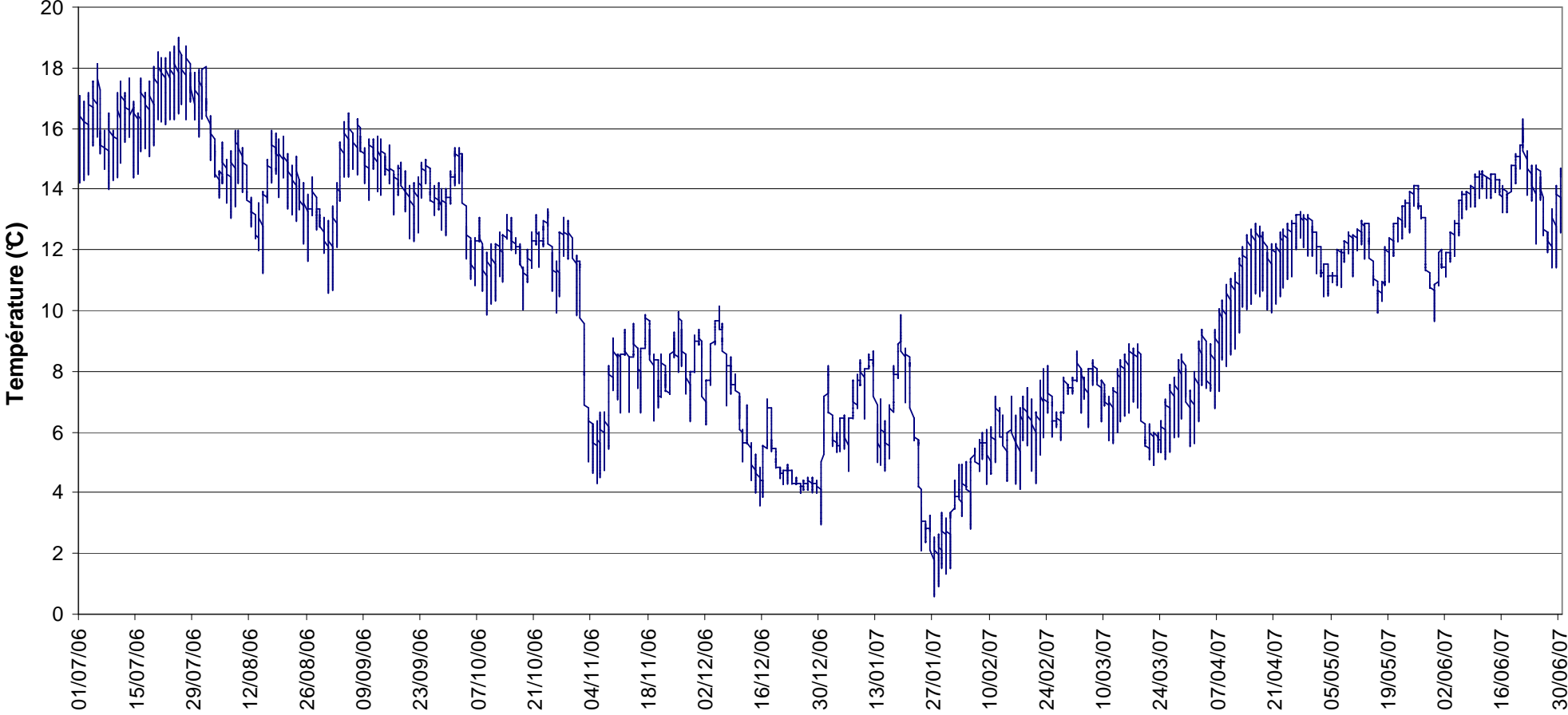
Redon - petit lieu : Red13



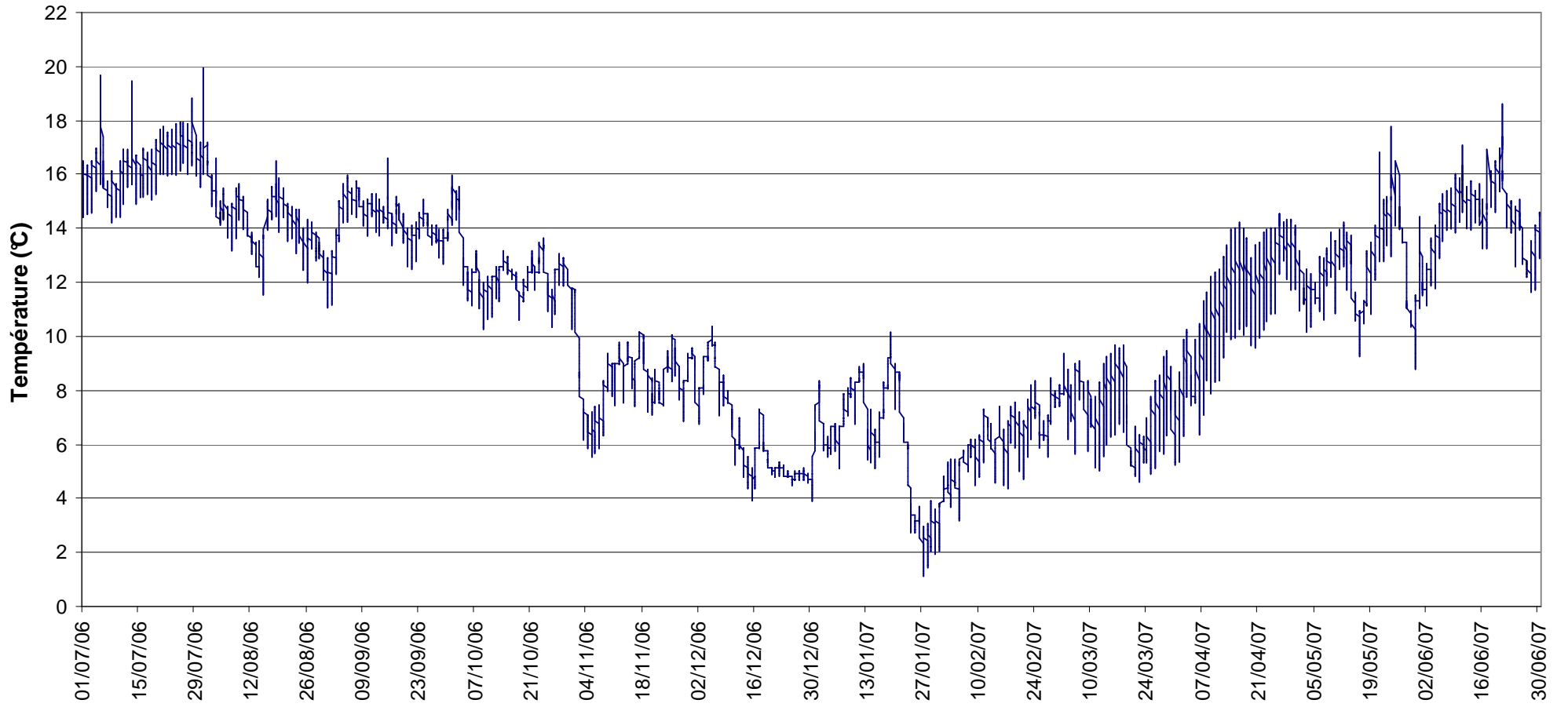
Redon - Jouvernex : Red14



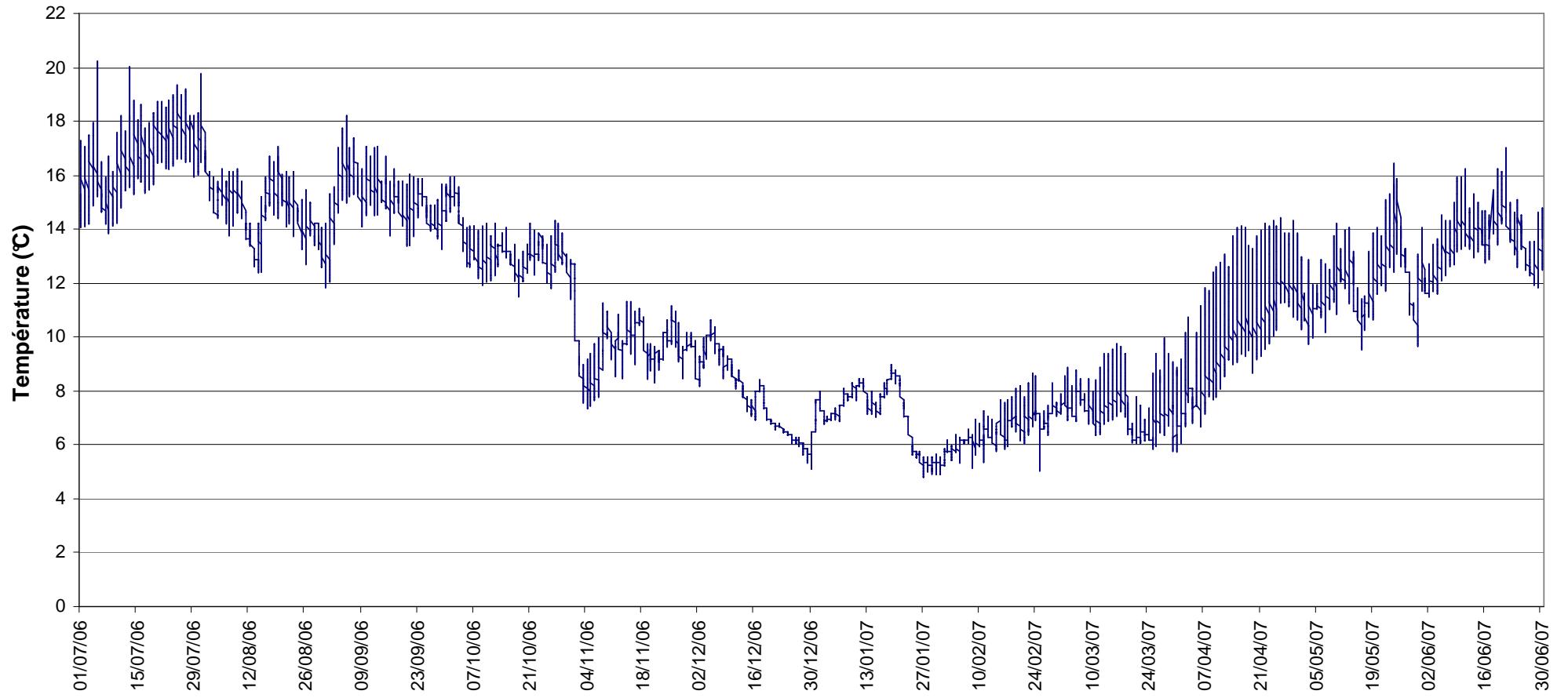
Redon - Moulin Rieux : Red03



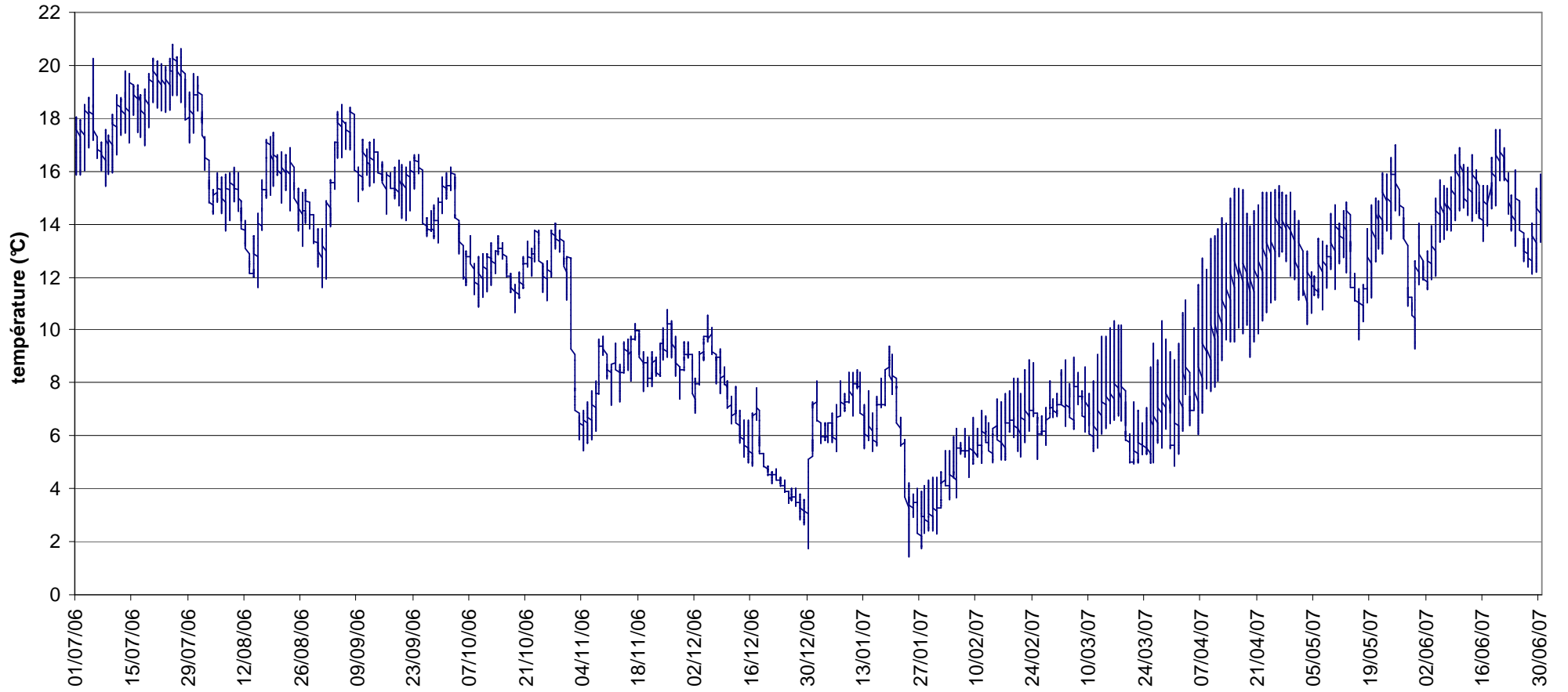
Redon - aval RN5 : Red04



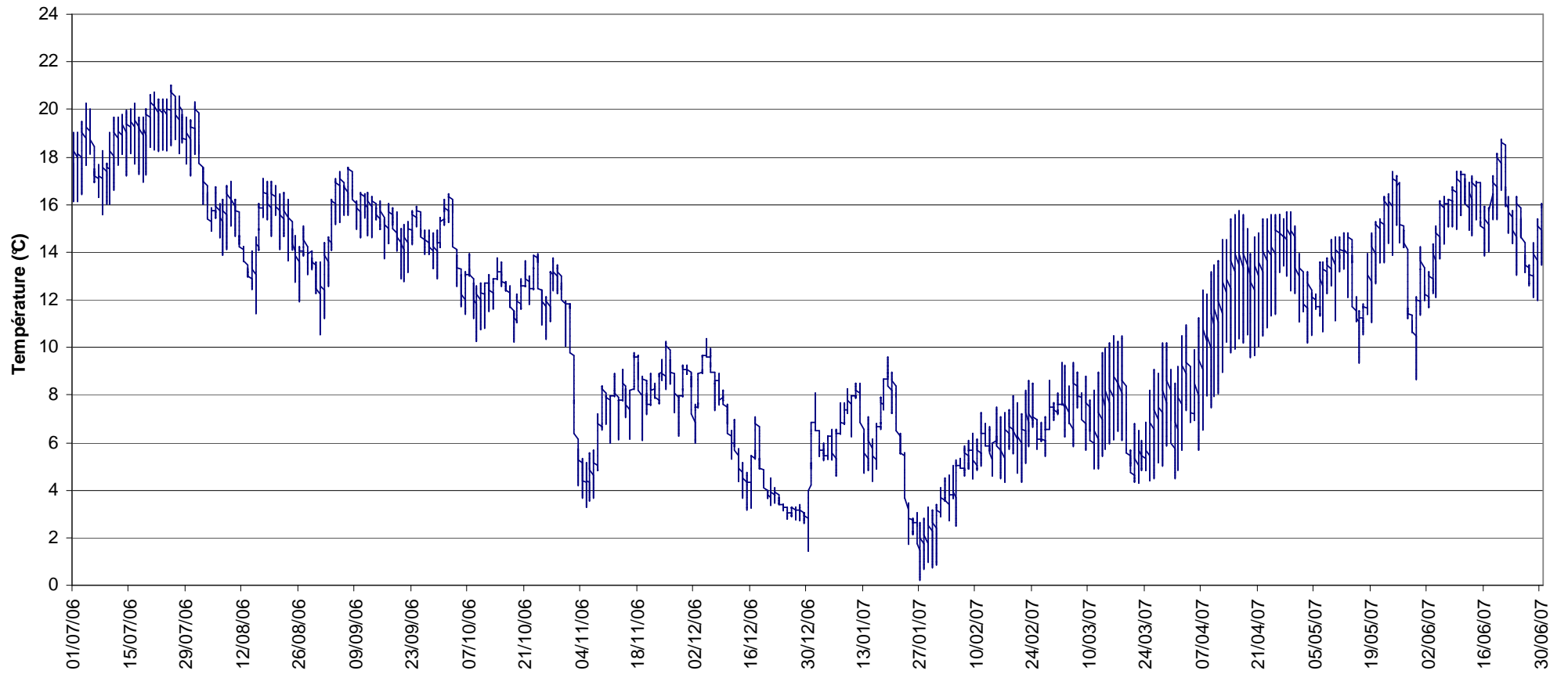
Canal de moises - D125 : Red11



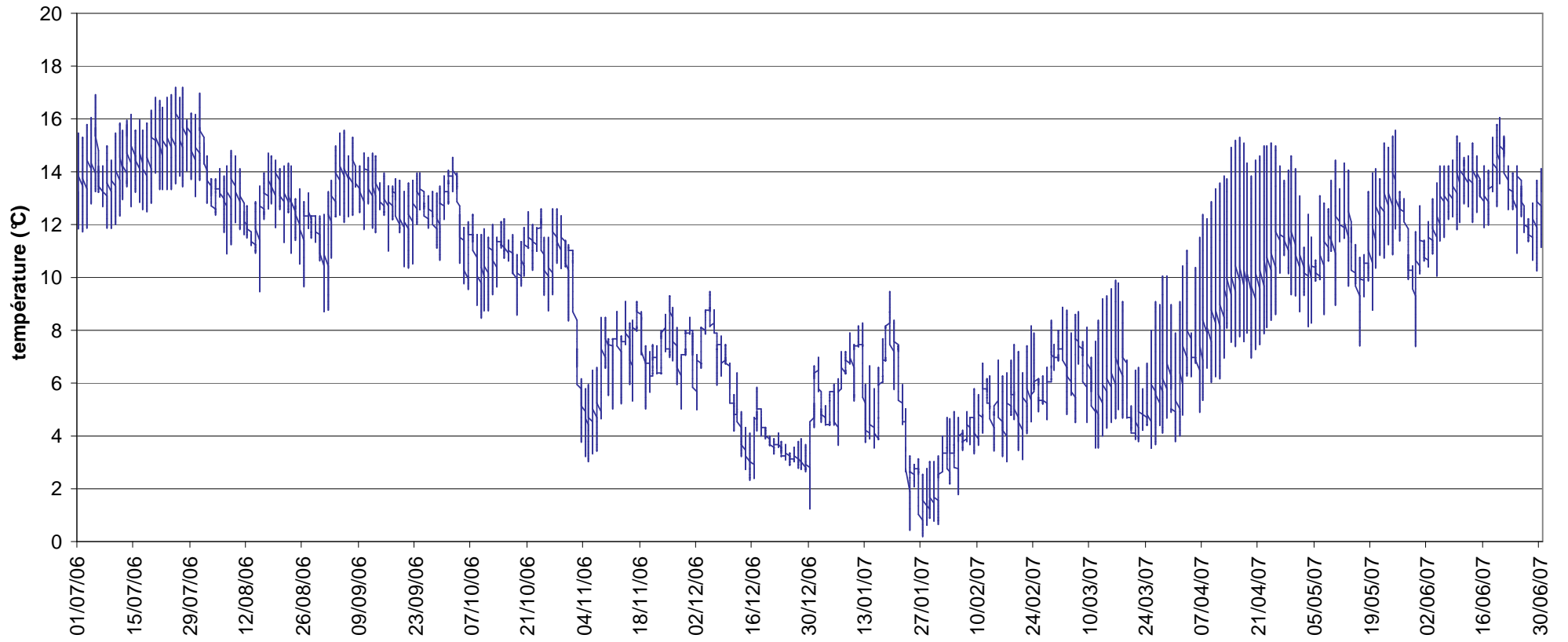
Gurnaz - Amont D903 : Red10



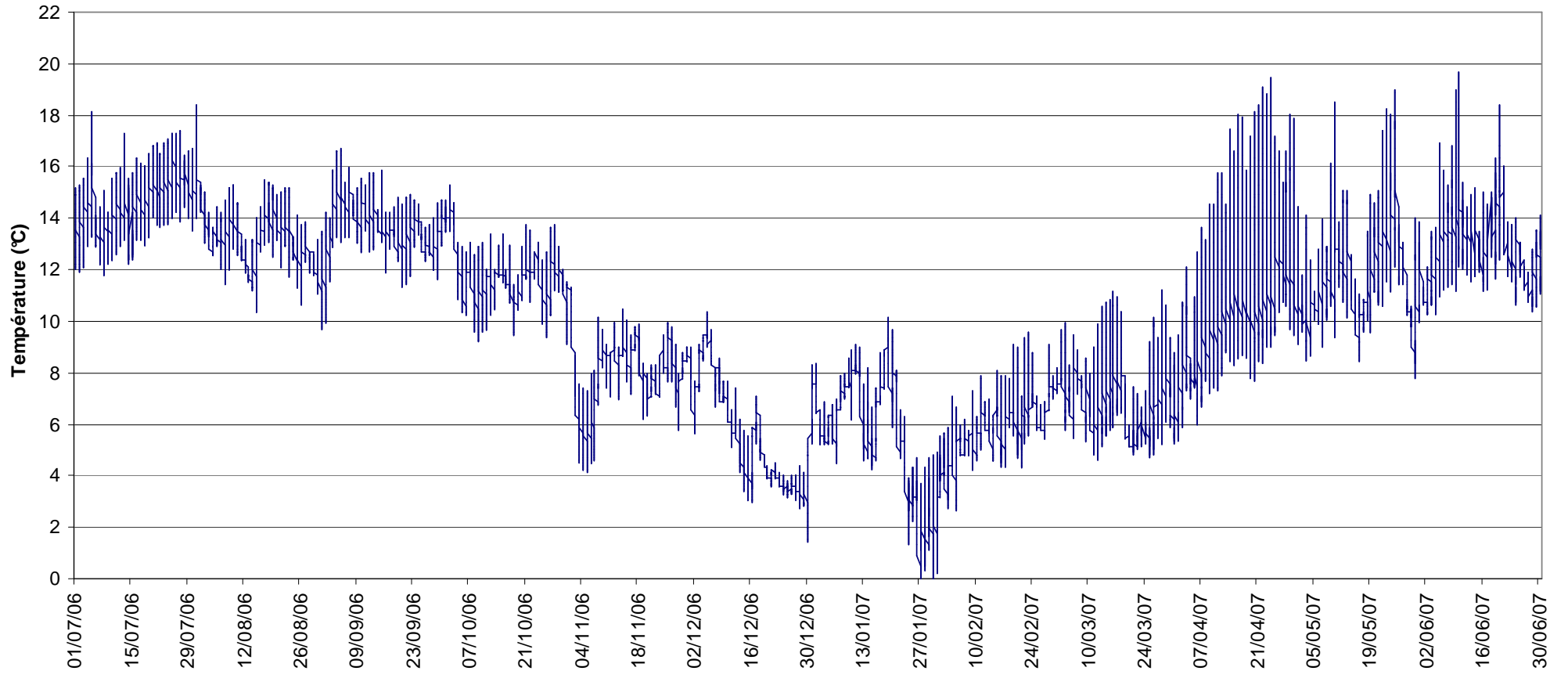
Gurnaz - Apralis : Red12



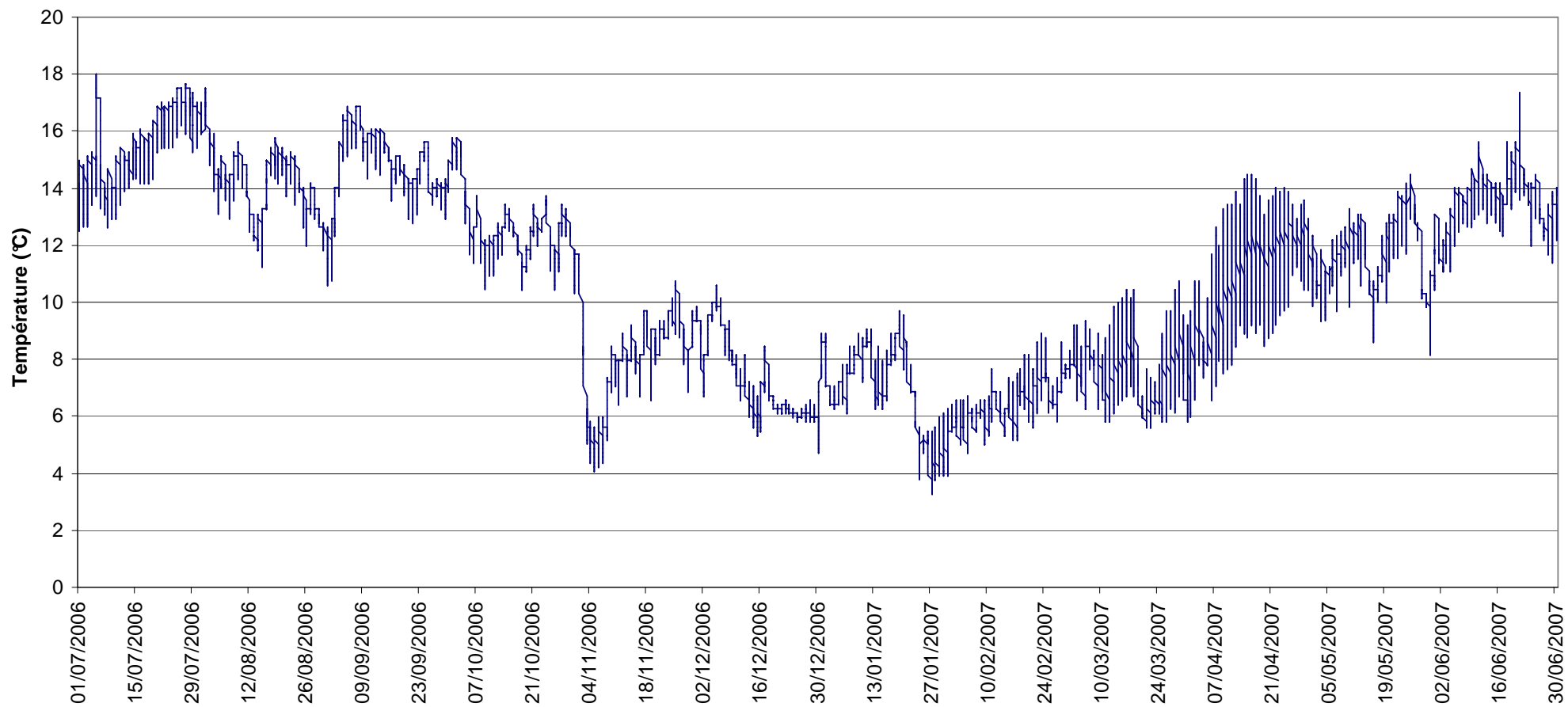
Rui des Moillères - amont pont Bonnant : Red08



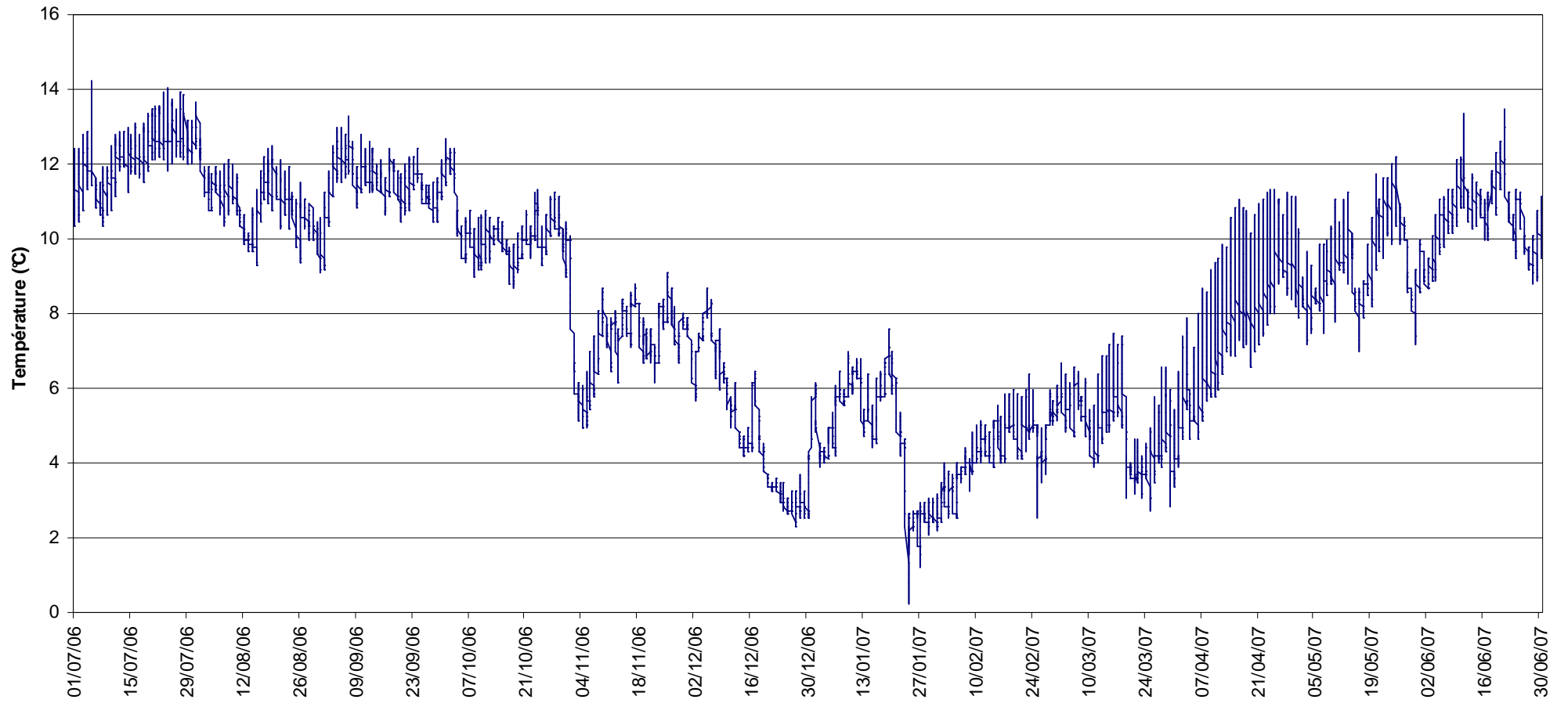
Ruisseau des Moillières - amont confluence avec ruis des Moises : Red15



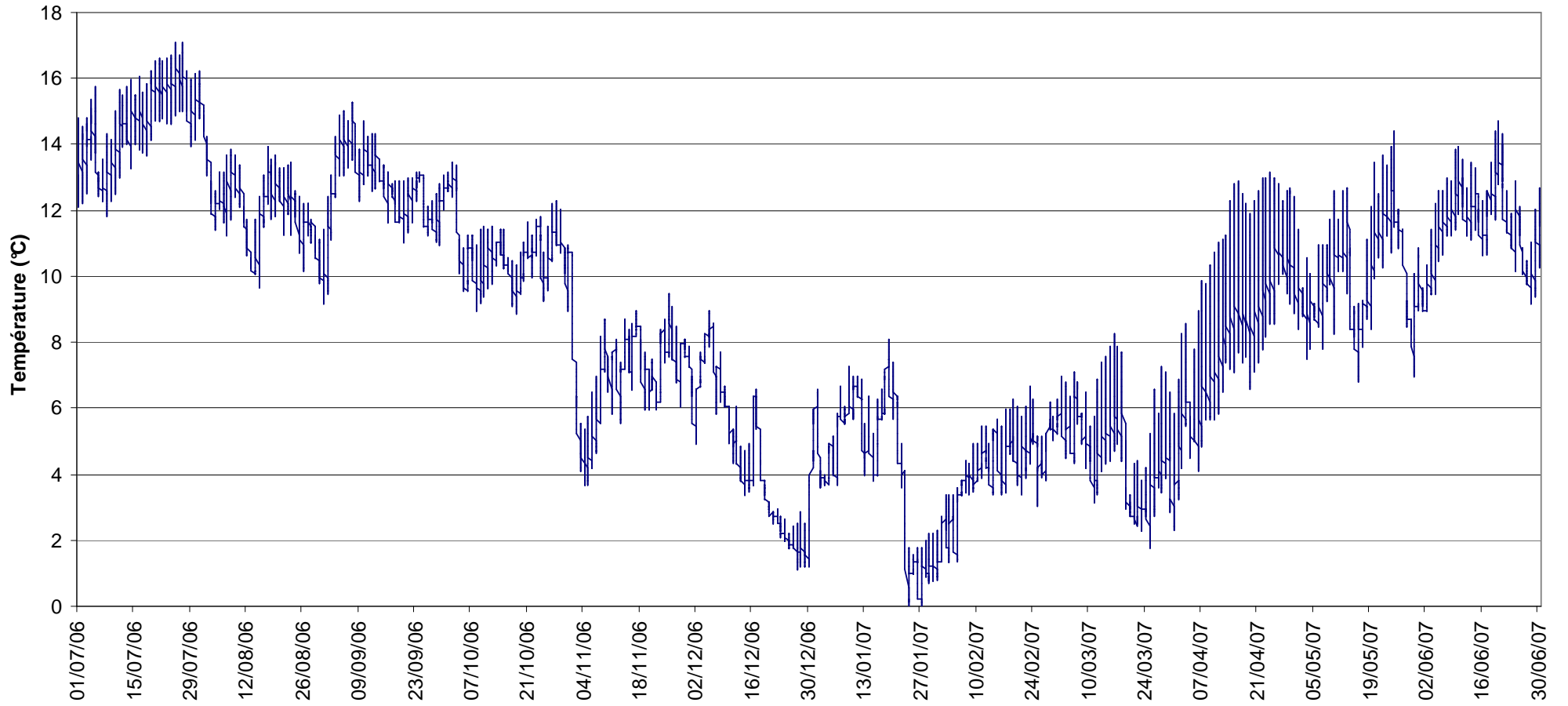
Rui des Vernes - le chêne : Red17



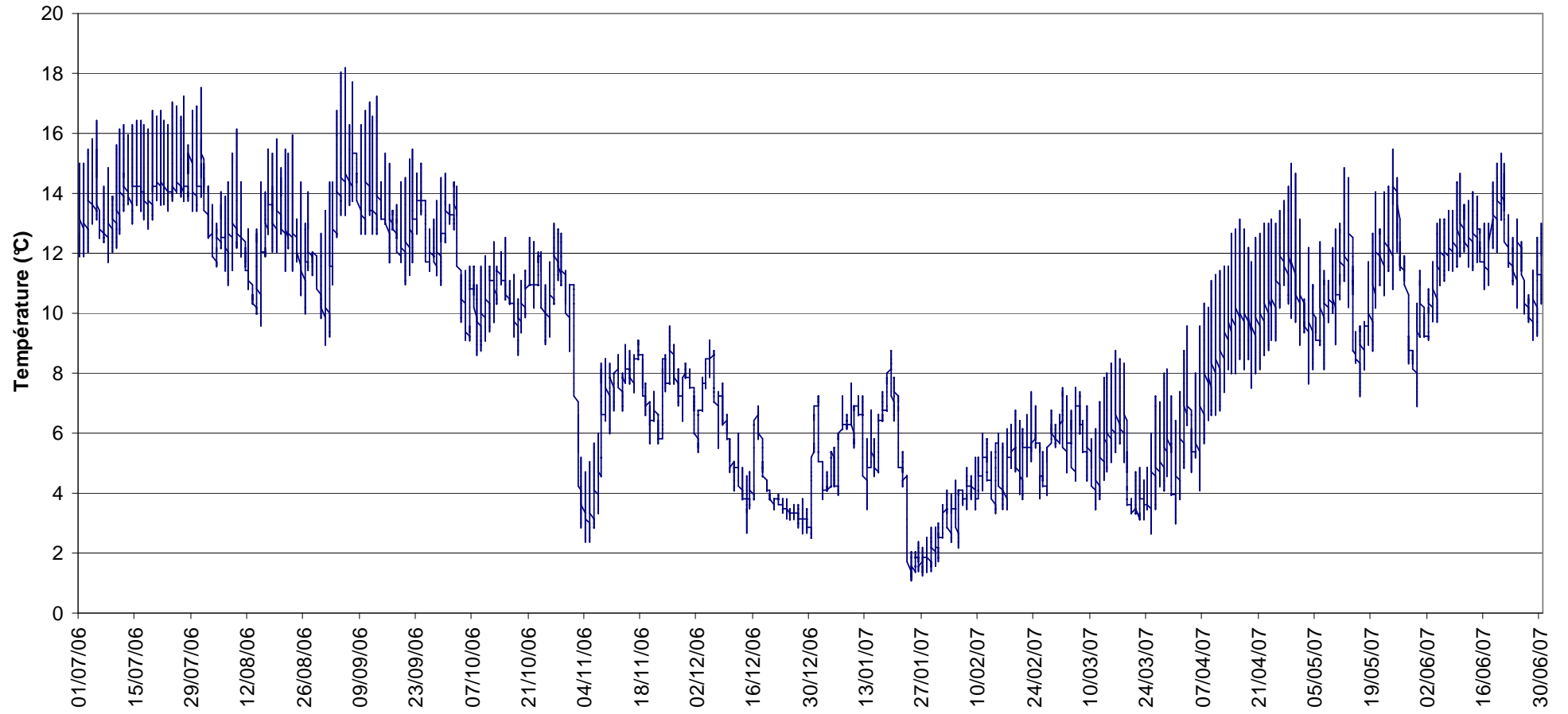
Rui des Mouilles - aval hameau Les Mouilles : Pam13



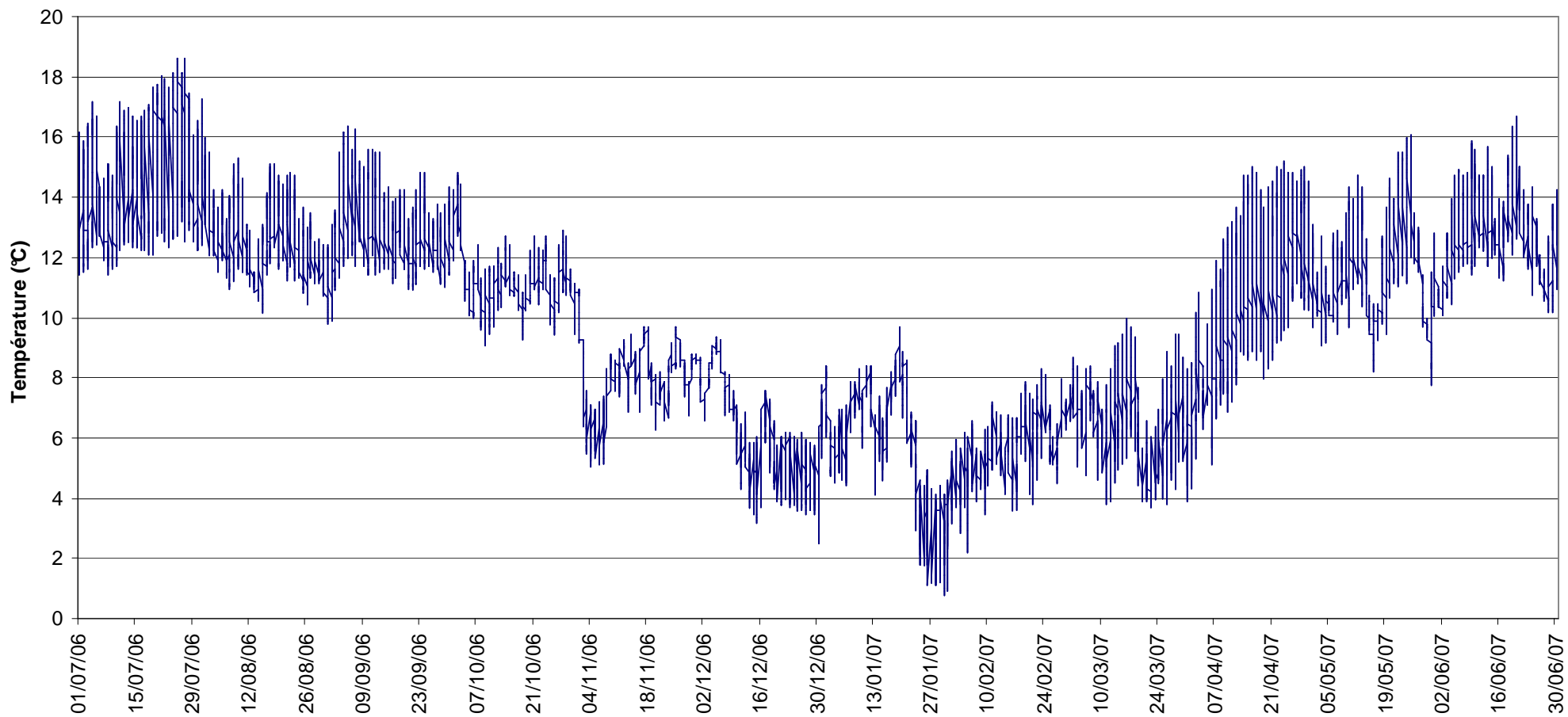
Pamphiot - aval hameau de la Mouille : Pam04



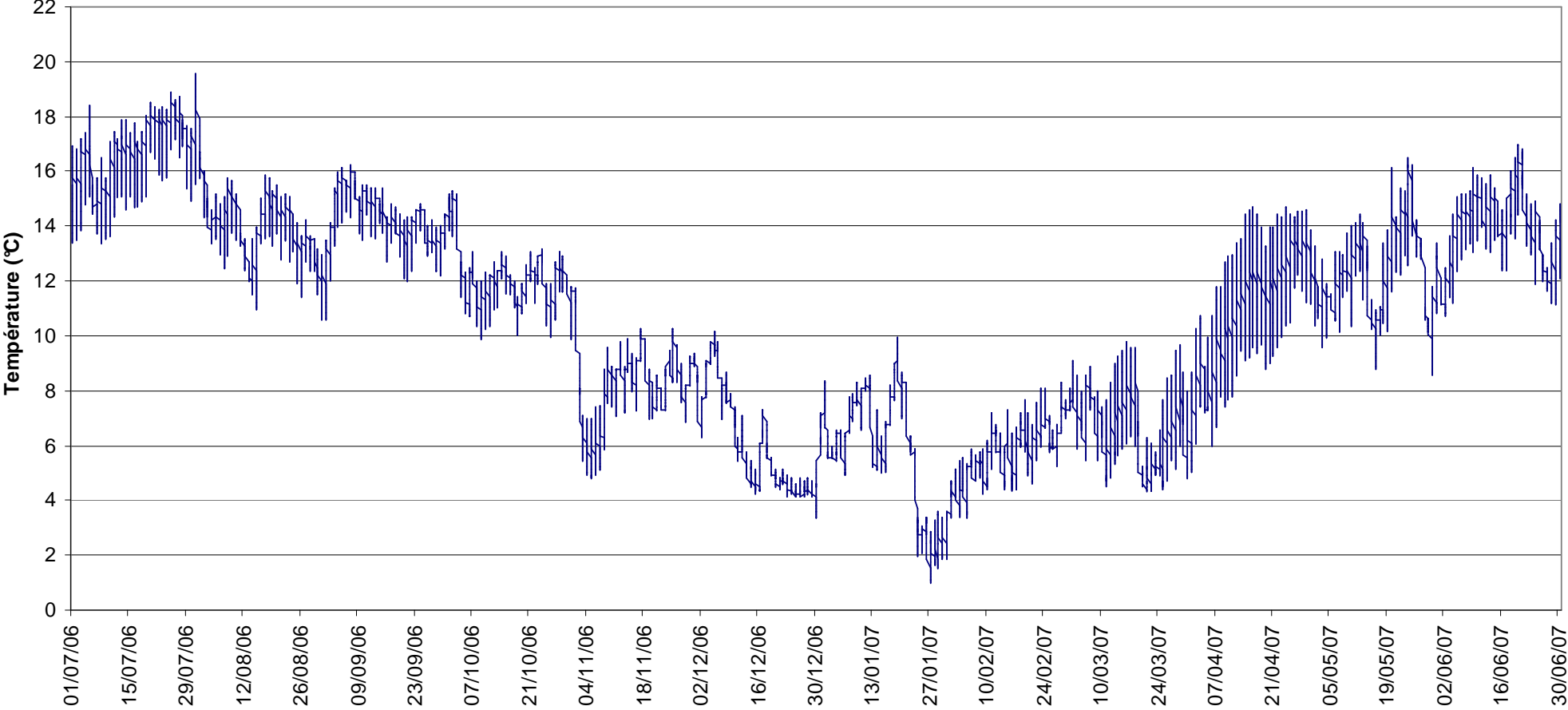
Pamphiot elevage Trossy : Pam12



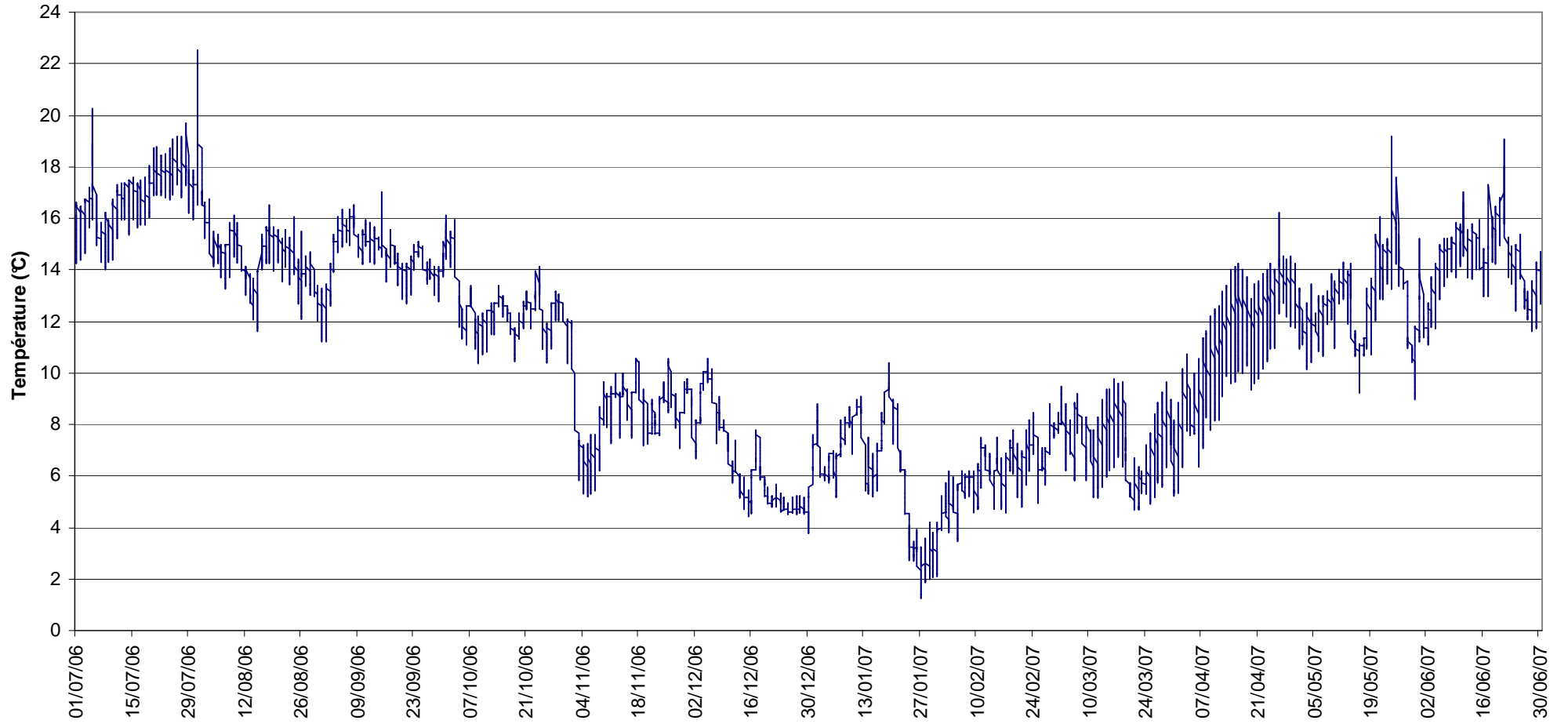
Pamphiot - la Genevrière : Pam01



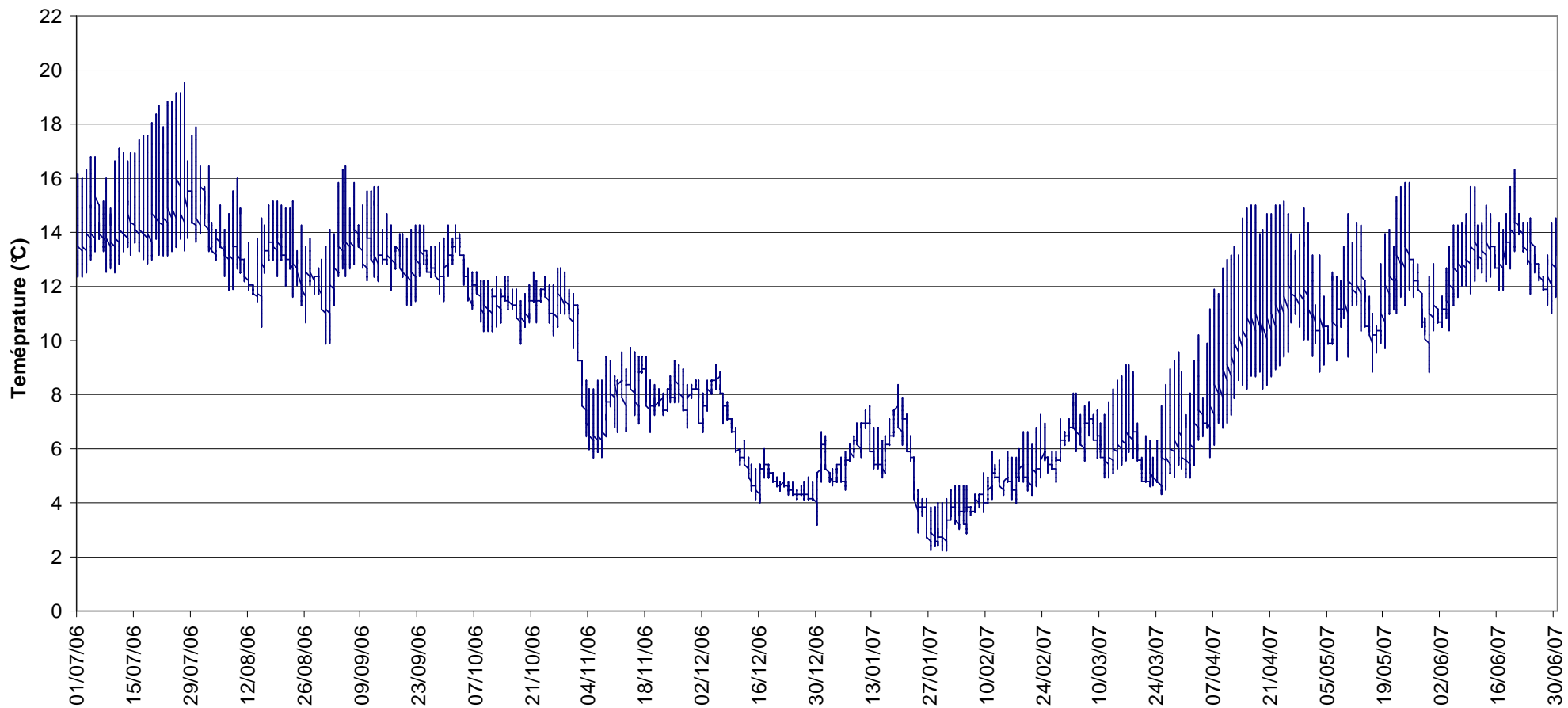
Pamphiot - aval D903 : Pam02



Pamplot aval - amont embouchure lac Léman : Pam10



Mâcheron amont Lassy : Pam08



Mâcheron aval : Pam03

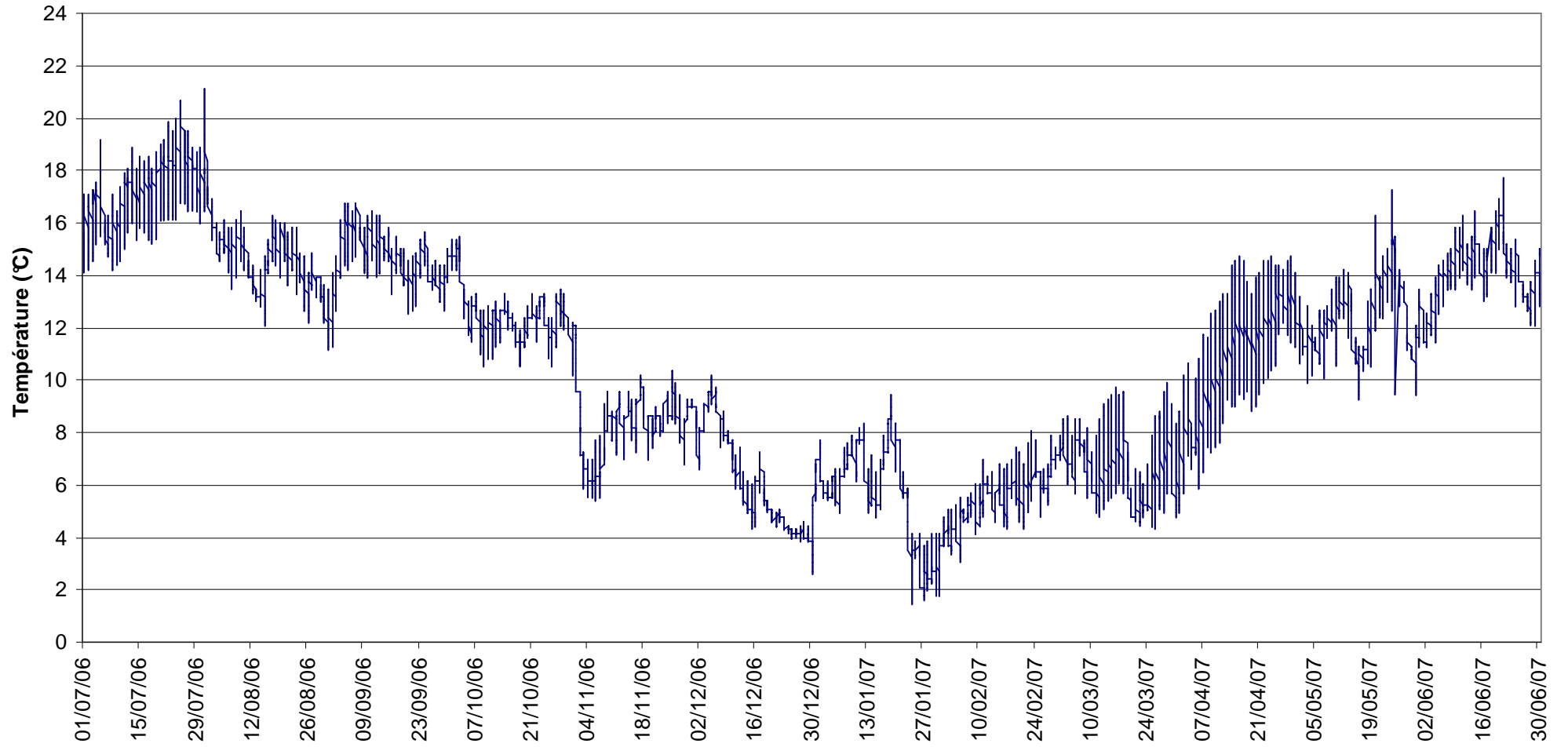


Tableau des valeurs des paramètres thermiques interprétés sur les 14 stations étudiées sur les bassins du Redon et du Pamphiot.

	cours d'eau	Station	T Maxi H	Amplitude An moyJ	T Moy 30 jours	Nbjours T 4 19	Nb Heures SupEg 19	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
Redon	Ruisseau des Moises	Red16	18,14	17,16	15,89	297	0	0	260	148	0	137
	Redon	Red13	19,85	12,11	14,67	361	3	2	15	118	6	0
		Red14	18,62	14,68	15,92	357	0	0	259	121	11	0
		Red03	19,00	16,21	16,61	353	0	0	426	123	9	6
		Red04	19,95	15,1	16,34	357	4	2	450	120	11	0
	Canal des Moises	Red11	20,23	12,68	16,72	365	12	4	562	114	0	0
	la Gurnaz	Red10	20,81	17,16	18,36	342	208	21	812	121	12	0
		Red12	21,00	18,46	18,7	329	297	19	818	123	16	9
	Ruisseau des Moillières	Red08	17,19	13,98	14,47	336	0	0	15	130	10	10
Red15		19,66	13,83	14,67	347	3	1	17	122	10	8	
Ruisseau des Vernes	Red17	17,99	12,68	15,56	365	0	0	329	114	3	0	
Pamphiot	Ruisseau des Mouilles	Pam13	14,23	10,9	12,27	332	0	0	0	142	0	2
	Pamphiot	Pam04	17,09	15,11	14,74	324	0	0	22	140	7	14
		Pam12	18,19	13,73	14,26	330	0	0	15	134	11	0
		Pam01	18,62	13,82	14,81	357	0	0	18	124	10	2
		Pam02	19,57	15,99	16,5	357	2	2	286	122	12	0
		Pam10	22,53	15,83	16,85	357	12	2	583	119	10	0
	Le Mâcheron	Pam08	19,51	12,81	14,82	351	4	2	15	128	9	0
		Pam03	21,14	16,4	17,08	356	59	15	588	124	11	0