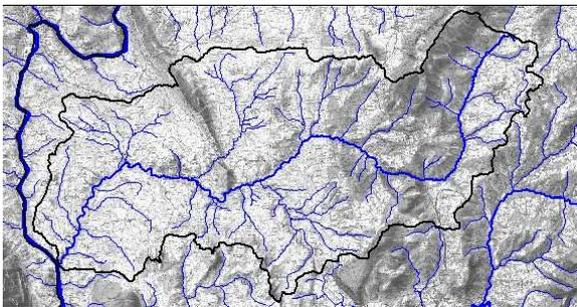




Fédération de Haute-Savoie pour la Pêche et
la Protection du Milieu Aquatique
2092, route des Diacquenods
Le Villaret
74 370 St Martin Bellevue
Tél. 04 50 46 87 55
www.pechehautesavoie.com

ETUDE DE LA QUALITE THERMIQUE DES USSES ET DE SES AFFLUENTS

DONNEES 2006-2007



Laure VIGIER

(Réf rapport FDP74.08/02)

Août 2008

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 des Usses qui a eu lieu sur 2006-2007.

I) Protocole de suivi

Le suivi thermique a été réalisé sur 29 stations différentes. Sur chaque station, le suivi a été réalisé sur un cycle annuel complet au pas de temps horaire à l'aide de 2 types de thermographes enregistreurs Stoaway tidbit et HOBO, selon les stations. Les enregistreurs ont été posés par Arnaud Caudron au mois de juin 2006 et récupérées par Ludovic Catinaud et Guillaume Bini en juillet et août 2007. La période choisie pour le traitement des données sur un cycle annuel est comprise entre le 14/07/2006 et le 13/07/2007.

Une station étudiée dans le cadre du plan de conservation des populations d'écrevisses à pieds blancs du bassin des Usses (Huchet, 2007) a été utilisée dans ce rapport. Pour cette station située sur le ruisseau de Croasse la période choisie pour le traitement des données est un peu différente (du 20/04/2006 au 19/04/2007).

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 les Usses et ses affluents.

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 embryon-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 embryon-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 embryon-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 Bassin des Usse

La localisation des 29 enregistreurs et les caractéristiques des stations étudiées sont présentées dans la figure 1 et le tableau 2 ci-dessous.

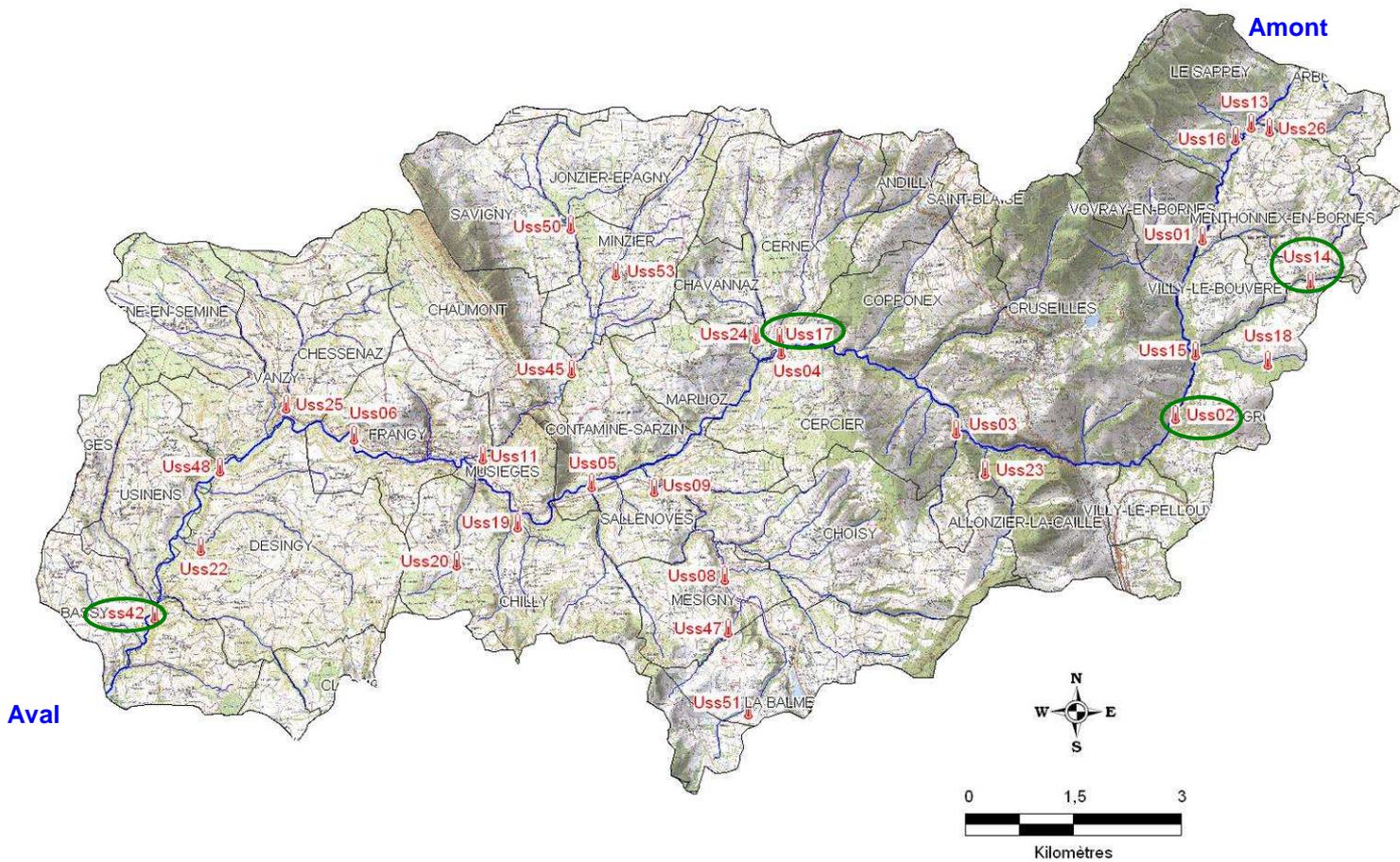


Figure 1 : Localisation géographique des 29 stations étudiées sur le bassin des Usse dans le cadre du suivi thermique 2006-2007. Les enregistrements des 4 stations entourées en vert n'ont pas pu être étudiés.

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

cours d'eau	Station	Localisation	Distance à la source (Km)	Altitude (m)
Les Usses	Uss13	les Chavannes	2,4	745
Les Usses	Uss01	Falconnet	5,5	680
Les Usses	Uss02	Pont D23 Chez Duret	10,1	590
Les Usses	Uss03	Les Goths	16,4	460
Les Usses	Uss04	Pont Drillot	21,6	410
Les Usses	Uss05	Pont Sarzin	27,5	360
Les Usses	Uss06	Aval STEP Frangy	35,1	305
Les Usses	Uss48	Pont Rouge	39,2	290
Les Usses	Uss42	300 m aval ruisseau de la Godette	43,6	270
Rui des Lanches	Uss26	aval	2,5	755
Le Clarnant	Uss16	aval	1,2	740
Le Grand Verray	Uss14	amont	4,2	820
Le Grand Verray	Uss15	aval	7,4	640
Le Petit Verray	Uss18	amont	0,9	775
Rui de Mallabranches	Uss23	aval	3,0	545
Le Nant Trouble	Uss17	aval	6,3	420
Rui de Mostan	Uss24	Les Longerets	4,0	430
Ruisseau des Vengeurs	Uss47	aval	2,2	520
Les Petites Usses	Uss51	amont STEP Balme	1,6	540
Les Petites Usses	Uss08	les Balmettes	5,9	430
Les Petites Usses	Uss09	Bonlieu	9,4	375
Rui de Chaudes Fontaines	Uss19	Serrasson	2,8	350
Ruisseau de Botilly	Uss20	les Granges	1,5	470
Le Flon	Uss53	Minzier - la fruitière	4,8	510
Le Fornant	Uss50	le Moulin	3,4	510
Le Fornant	Uss45	la Garde	7,2	440
Le Fornant	Uss11	amont N508	10,8	330
Ruisseau de St Pierre	Uss25	Mons	3,6	290
Ruisseau de Croasse	Uss22	amont D992	5,2	280

III) Résultats

III.1) Validation des données

Sur les 29 sondes placées, 4 ont été perdues : sur le linéaire des Usses au niveau de pont Duret (Uss02) ainsi qu'en fermeture de bassin (Uss42), sur le Nant trouble (Uss17) et le Grand Verray amont (Uss14) en ce qui concerne les affluents.

Sur les 25 sondes restantes, aucune n'a montré 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 sur le cours principal des Usses et sur ses affluents, les moyennes journalières varient sur l'année de 20 et 0°C pour la majorité des stations étudiées (Figures 2 à 6) et peuvent atteindre jusqu'à 23°C en aval de Frangy (Uss06). Globalement, la période de faibles températures (entre 0 et 10°C) se situe entre la fin octobre et le début du mois d'avril.

Les conditions thermiques hivernales semblent peu contraignantes sur l'ensemble du bassin des Usses avec des températures qui ne passent que ponctuellement sous la barre des 5°C à l'exception du Clarnant, visiblement plus sensible aux faibles températures.

Les températures estivales, quant à elles, peuvent être considérées comme relativement chaudes et atteignent dans certains cas des températures potentiellement limitantes pour le développement de la truite. En effet, l'atteinte de moyennes journalières supérieures à 20°C à partir du pont Drillot (Uss04) sur le cours principal des Usses, laisse présager de conditions thermiques estivales contraignantes pour la population de truite présente sur le bassin des Usses.

Peu de stations présentent les caractéristiques d'un milieu tamponné (faibles amplitudes thermiques journalière et annuelle) considéré comme très favorables à la vie salmonicole. Le ruisseau de Saint-Pierre, malgré des amplitudes journalières ponctuellement élevées (de l'ordre de 5°C) durant le réchauffement printanier des eaux, présente une amplitude thermique annuelle des moyennes journalières de l'ordre de 14°C (de 2 à 16°C), ce qui peut être considéré comme relativement faible. En outre, le secteur aval des Petites Usses (Uss09) présente les caractéristiques thermiques les plus favorables de ce point de vu avec des amplitudes annuelle de 11°C (entre 3,5 et 14,5°C) et journalière de l'ordre de 2°C.

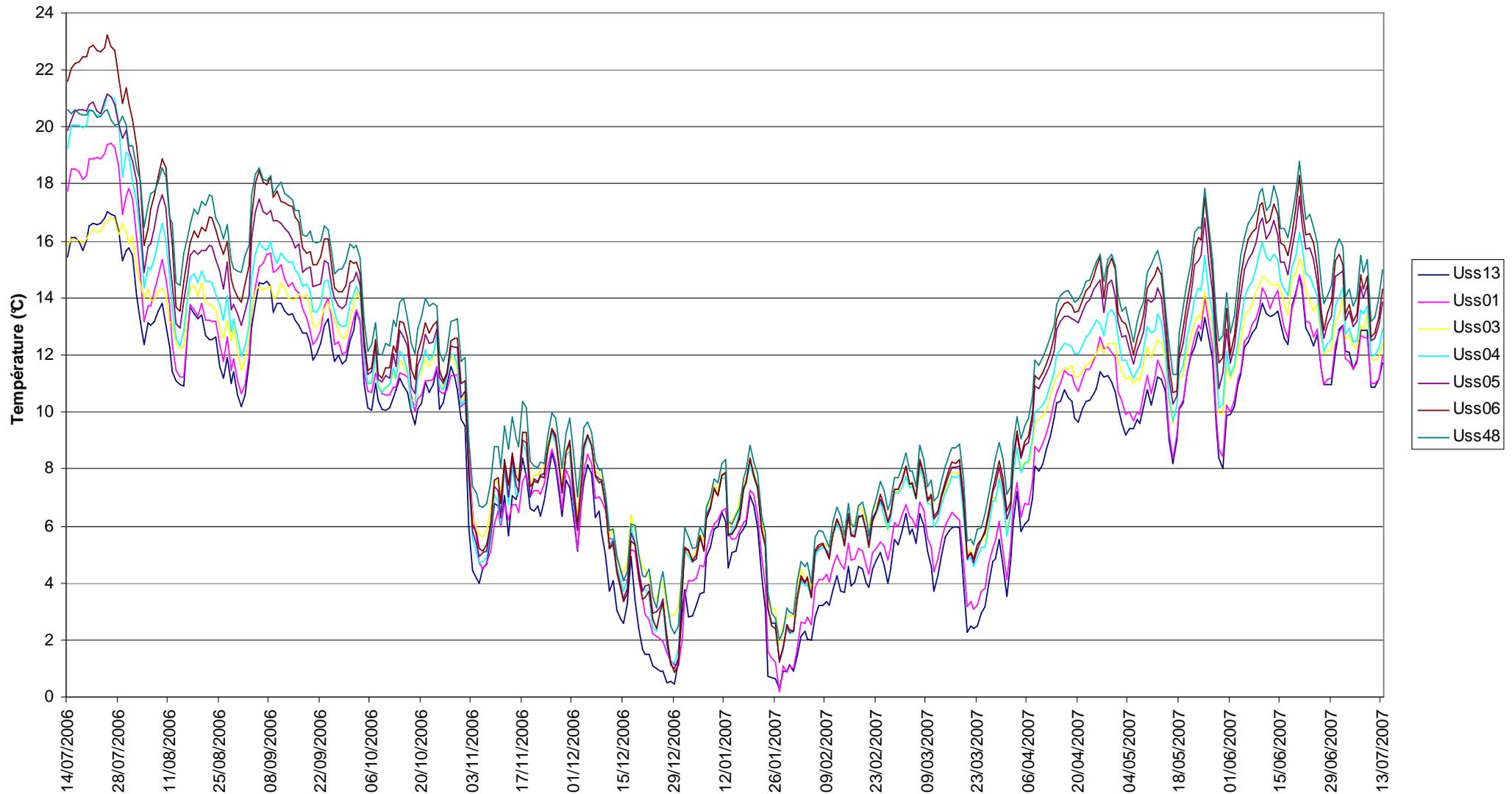


Figure 2 : Courbes des températures moyennes journalières calculées sur la période du 14/07/2006 au 13/07/2007 pour les 7 stations étudiées sur le cours principal des Usses.

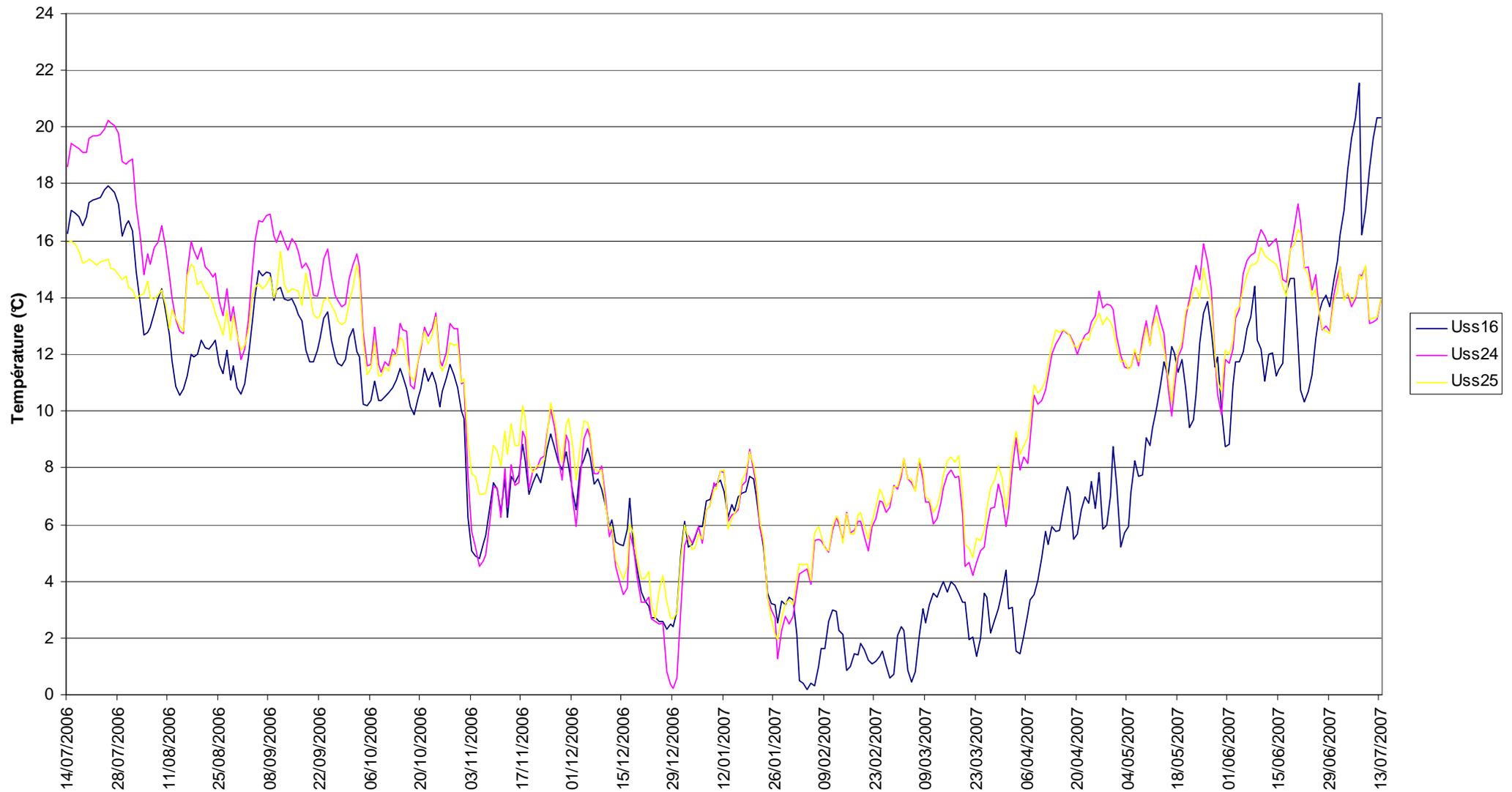


Figure 3: Courbes des températures moyennes journalières calculées sur la période du 14/07/2006 au 13/07/2007 pour les 3 stations étudiées sur le Clarnant, le rui de Mostan et le ruisseau de Saint Pierre, 3 affluents rive droite des Usses.

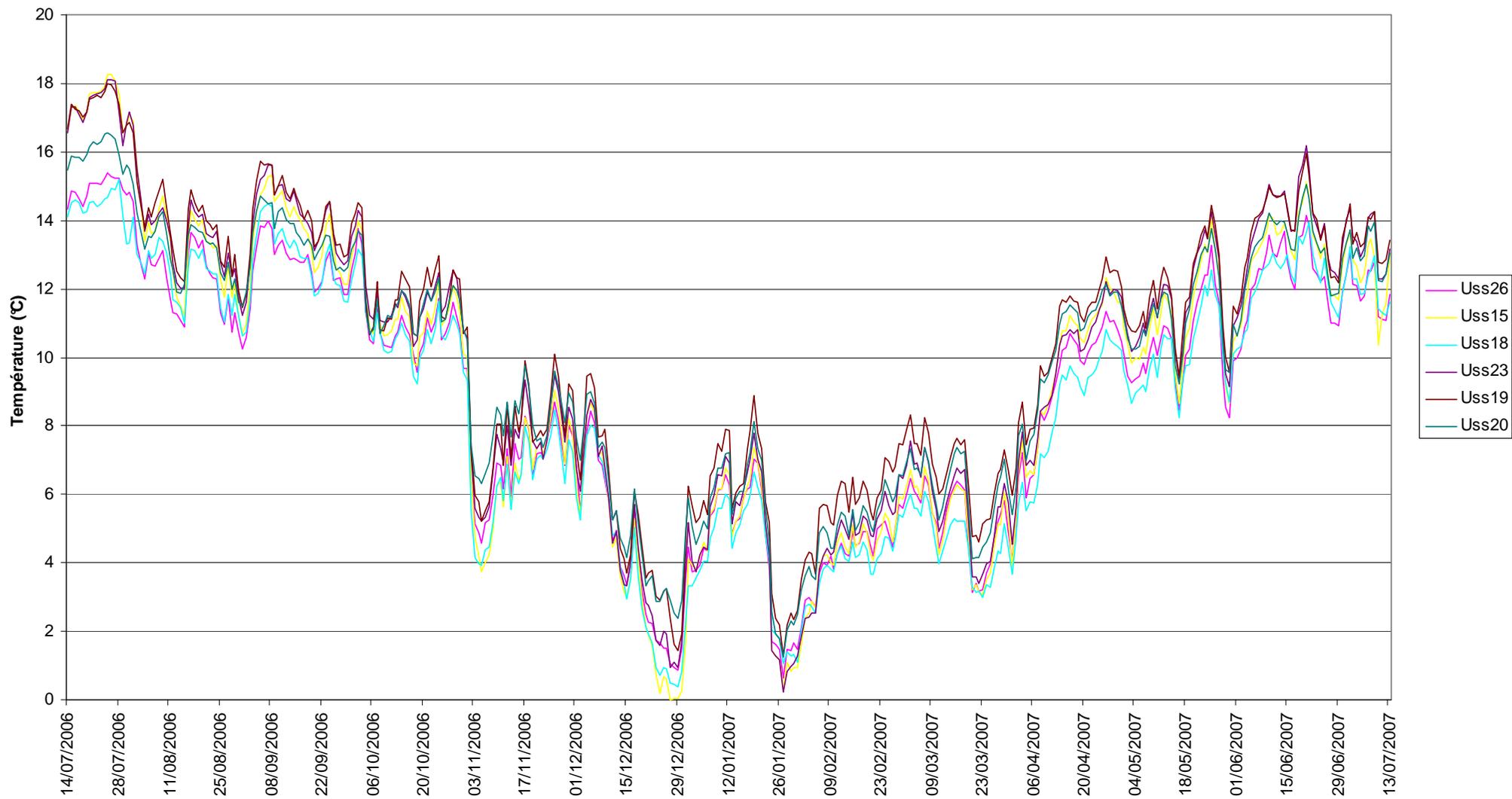


Figure 4: Courbes des températures moyennes journalières calculées sur la période du 14/07/2006 au 13/07/2007 pour les 6 stations étudiées sur le rui des Lanches, le grand Verray, le petit Verray, le rui de Malbranches, le rui de Chaudfontaine et le rui de Botilly, 6 affluents rive gauche des Usses.

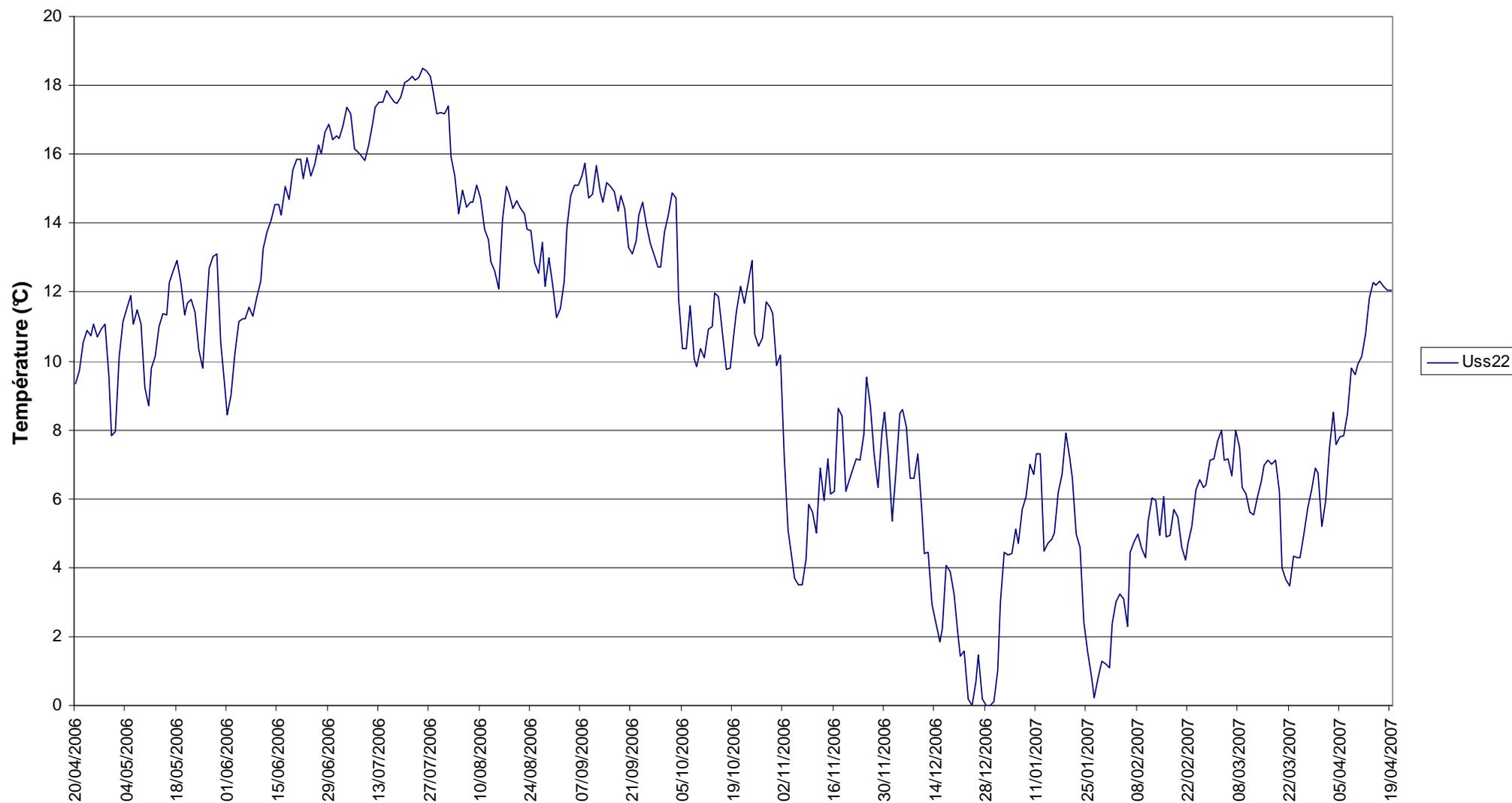


Figure 5 : Courbes des températures moyennes journalières calculées sur la période du 20/04/2006 au 19/04/2007 pour la station étudiée ruisseau de Croasse, affluents rive gauche des Usse.

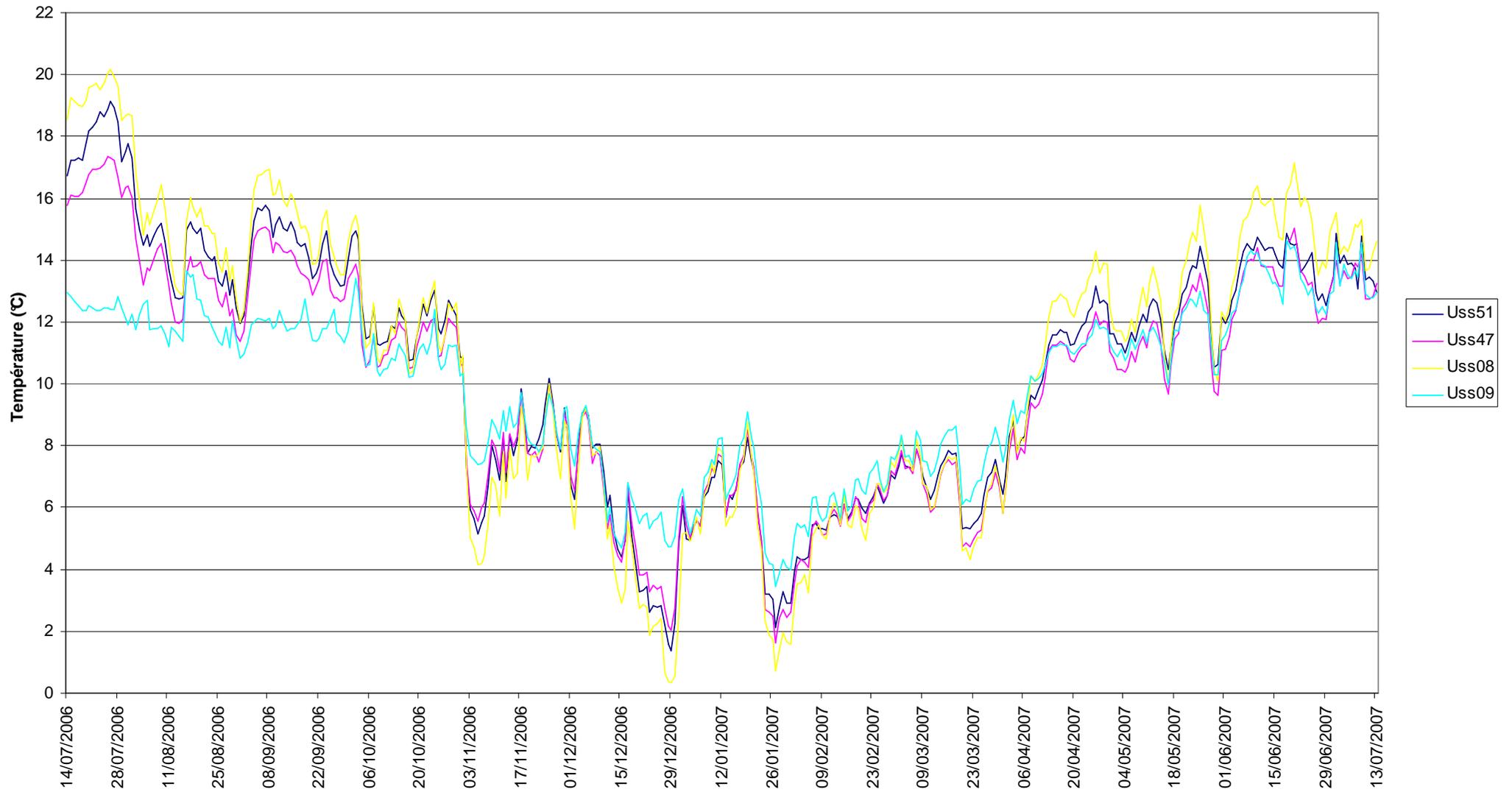


Figure 6 : Courbes des températures moyennes journalières calculées sur la période du 14/07/2006 au 13/07/2007 pour les 4 stations étudiées sur les petites Usses, un important affluent rive gauche des Usses.



Figure 7 : Courbes des températures moyennes journalières calculées sur la période du 14/07/2006 au 13/07/2007 pour les 4 stations étudiées sur le Fornant, un important affluent rive droite des Usses.

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 globalement similaires (Figure 8). Les valeurs sont non limitantes pour la vie salmonicole sur l'ensemble du bassin des Usses à l'exception des deux stations intermédiaires de son cours principal (Uss05 et Uss06) où le seuil de 25°C, considéré comme valeur critique (létale ou sub-létale) pour la survie de la truite commune en rivière, est atteint. **Ainsi, du fait des fortes températures estivales atteintes, ce linéaire de 8 km entre la station Pont Sarzin jusqu'à l'aval de la station d'épuration de Frangy, est très défavorable à l'installation et au maintien d'une population de truite commune.**

En outre, ce seuil létal est également atteint sur la station Uss16 située sur le Clarnant mais de manière très ponctuelle. Sur ce petit cours d'eau de tête de bassin cette sensibilité aux températures extrêmes (estivales et hivernales) pourrait être due aux faibles débits d'étiages qui le rendent très sensible aux variations de température de l'air. Par contre, l'atteinte de ces fortes températures estivales sur le cours principal des Usses est le résultat d'un réchauffement estival progressif, plus constant et plus durable dans le temps, de l'ordre de plusieurs jours.

Les températures les plus élevées ainsi que les amplitudes thermiques journalières les plus fortes sont relevées sur ces 3 mêmes stations (Uss05, Uss06 et Uss16).

Les températures hivernales étant très faibles (égales ou proches de 0) sur la majorité des stations étudiées, les valeurs d'amplitudes thermiques annuelles sont fortement influencées par les valeurs des températures maximales instantanées. Les fortes similitudes entre les Figure 8.A et 8.B témoignent du faible pouvoir tampon des milieux considérés.

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.

D'un point de vue plus global, la figure 8 (A, B et C) met en évidence :

- sur le cours principal des Usses : un refroidissement entre Uss01 et Uss03, très vraisemblablement lié à l'ombrage offert par le long secteur en gorge au niveau de Cruseille. En effet les données thermiques dont nous disposons sur les affluents présents entre ces 2 stations (Uss15 et Uss23), ne permettent pas d'expliquer cette baisse significative de température (température moyenne journalière maximale, amplitude thermique, moyenne des 30 jours les plus chauds...).

Un second léger « refroidissement » est visible sur la station Uss48 située au niveau du pont rouge. Sur cette station, nous observons des températures maximales en baisse par rapport à l'amont ainsi qu'une amplitude thermique annuelle moindre. Ce phénomène semble être la conséquence d'apports de la nappe alluviale. En effet, l'observation de la carte géologique du secteur (SEYSSSEL 1/50000) montre une plaine alluviale récente bien développée.

- une différence marquée entre les caractéristiques thermiques des stations situées sur les affluents rive droite et rive gauche des Usses. En effet, les moyennes des trois variables décrites en figure 8 (température maximale instantanée, amplitude thermique annuelle des moyennes journalières et température moyenne des 30 jours consécutifs les plus chauds) calculées pour ces 2 ensembles (affluents rive droite et rive gauche) semble mettre en évidence un effet d'exposition. Les affluents rive droite, exposés plein sud présentent des valeurs moyennes supérieures (respectivement 21,8°C ; 18,83°C ; 17,24 °C) à celles

obtenues pour les affluents rive gauche exposés plein nord (respectivement 18,76°C ; 16,23°C ; 15,51°C).

- sur les affluents rive gauche : aucune stations ne présente de valeurs limitantes vis-à-vis des exigences de la truite commune pour les trois paramètres étudiés.

Concernant le bassin des Petites Ussets, nous remarquons la forte diminution de ces trois valeurs au niveau de la station Uss09. Cette amélioration des caractéristiques thermiques sur le secteur aval pourrait être le résultat d'apports intermédiaires superficiels plus frais. En effet, 4 affluents alimentent le cours principal des petites Ussets entre les stations Uss08 et Uss09. Cependant le passage d'un substrat géologique constitué de Moraines argileuses (GYa) en Uss08 à un substrat plus perméable peut également être à l'origine de ce léger refroidissement en permettant la présence d'une nappe alluviale (GYc, moraine caillouteuse) et donc d'apports d'eaux souterraines au niveau de Uss09. Quelque soit la part réelle de l'une ou l'autre des hypothèses, l'ensemble du bassin des Petites Ussets présente malgré tout des conditions thermiques favorables à la truite commune pour ces 3 variables.

- sur les affluents rive droite nous observons :
 - une situation toujours favorable à la truite commune sur l'ensemble des cours d'eau à l'exception du Clarnant (Uss16) ;
 - des valeurs très similaires, relativement chaudes mais non limitantes pour les 4 stations situées sur le Fornant et celle située sur le rui de Mostan.
 - Une situation plus favorable avec les valeurs plus faibles (respectivement 18,5°C ; 14,42°C et 14,72°C) sur le ruisseau de Saint-Pierre.

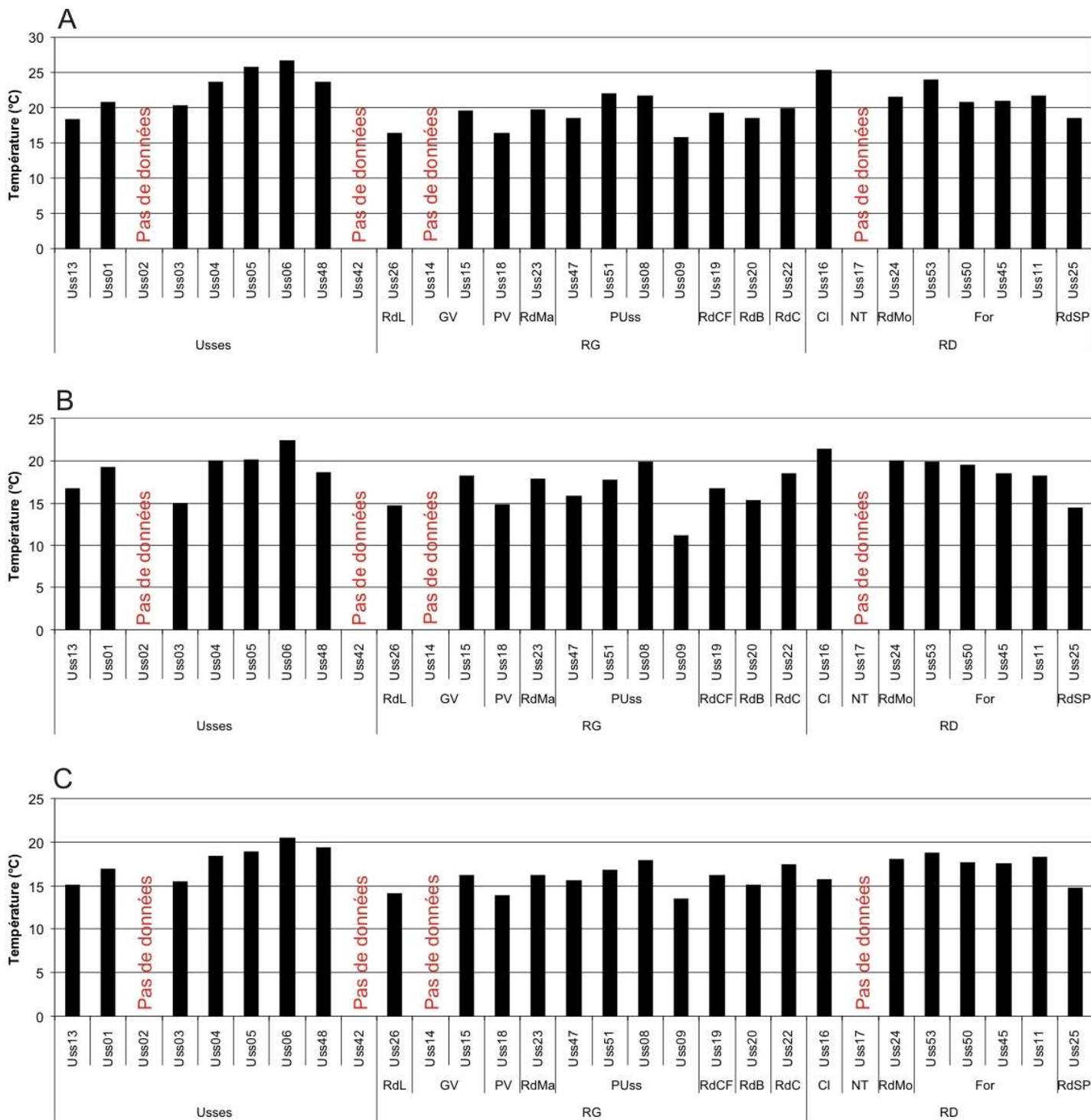


Figure 8 : Température maximale (A), amplitude annuelle (B) et moyenne des trente jours les plus chauds (C) obtenues sur les 25 stations étudiées par le suivi thermique annuel sur les Usses et ses affluents.

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 9.A montre peu de différences de la durée du préférendum thermique entre les stations situées sur les Usses et ses affluents avec des valeurs comprises entre 274 et 362 jours par an. Ces durées d'optimum thermique sont très fortes par rapports aux autres résultats obtenus sur le département (Caudron *et al.*, 2006 ; Caudron, 2006 ; Vigier *et al.*, 2006, 2007 a, b, c, d, e).

Cependant, la majorité des stations étudiées ont des maximales qui dépassent les 19°C à l'exception notamment des secteurs les plus tamponnés à l'aval des Petites Usses (Uss09) et le ruisseau de Saint-Pierre (Uss25) et de 5 autres stations situées en amont du cours principal des Usses (Uss13) et sur différents petits affluents : le rui des Lanches (Uss26), le Petit Verray (Uss18), le ruisseau des Vengeurs (Uss47) et le ruisseau de Botilly (Uss20).

La durée totale où la température dépasse 19°C augmente progressivement de l'amont vers l'aval, mise à part Uss03 qui fait figure d'exception. La station la plus critique vis-à-vis de cette variable thermique est comme précédemment la station située en aval de Frangy (Uss06) avec un total de 587 heures dont 286 heures consécutives (12 jours). Ce statut défavorable est confirmé par la figure 9.B qui traduit la durée d'atteinte de températures supérieures à 25°C sur un totale de 74 heures dont 8 heures consécutives pour cette station. Pour ces mêmes raisons mais dans une moindre mesure, la station Uss05 semble peu favorable au maintien d'une population de truite commune.

Les affluents rive gauches des Usses présentent les caractéristiques thermiques les plus favorables du bassin à la vie salmonicole avec des durées allant de 0 à un maximum de 250 heures et où la valeur de 19°C est dépassée sur des séquences maximales de 20 heures au maximum (Uss08).

A l'exception du ruisseau de Saint-Pierre (Uss25), les affluents rive droite confirment leur plus forte sensibilité aux températures estivales avec des durées totales où la température atteint ou dépasse les 19°C, comprises entre 176 et 399 heures. En revanche, les séquences continues les plus longues sont relativement courtes, de l'ordre de 40 heures, à l'exception du Flon qui atteint les 211 heures consécutives (environ 9 jours).

Enfin, seul le Clarnant atteint ponctuellement (3 heures dont 2 consécutives) les 25°C.

Ainsi nous observons une altération progressive des conditions thermiques de l'amont vers l'aval du cours principal des Usses à travers le dépassement fréquent des 19°C à partir de Pont Drillot (Uss04) et l'atteinte seuil létal ou sub-létal des 25°C au niveau des stations Uss05 et Uss06. **Ainsi, les Usses présentent des conditions thermiques limitantes dès la station de pont Drillot (linéaire de 24,6 km) et franchement limitantes pour la vie salmonicole sur un linéaire de 9 km sur le secteur Pont Sarzin-Aval Frangy.**

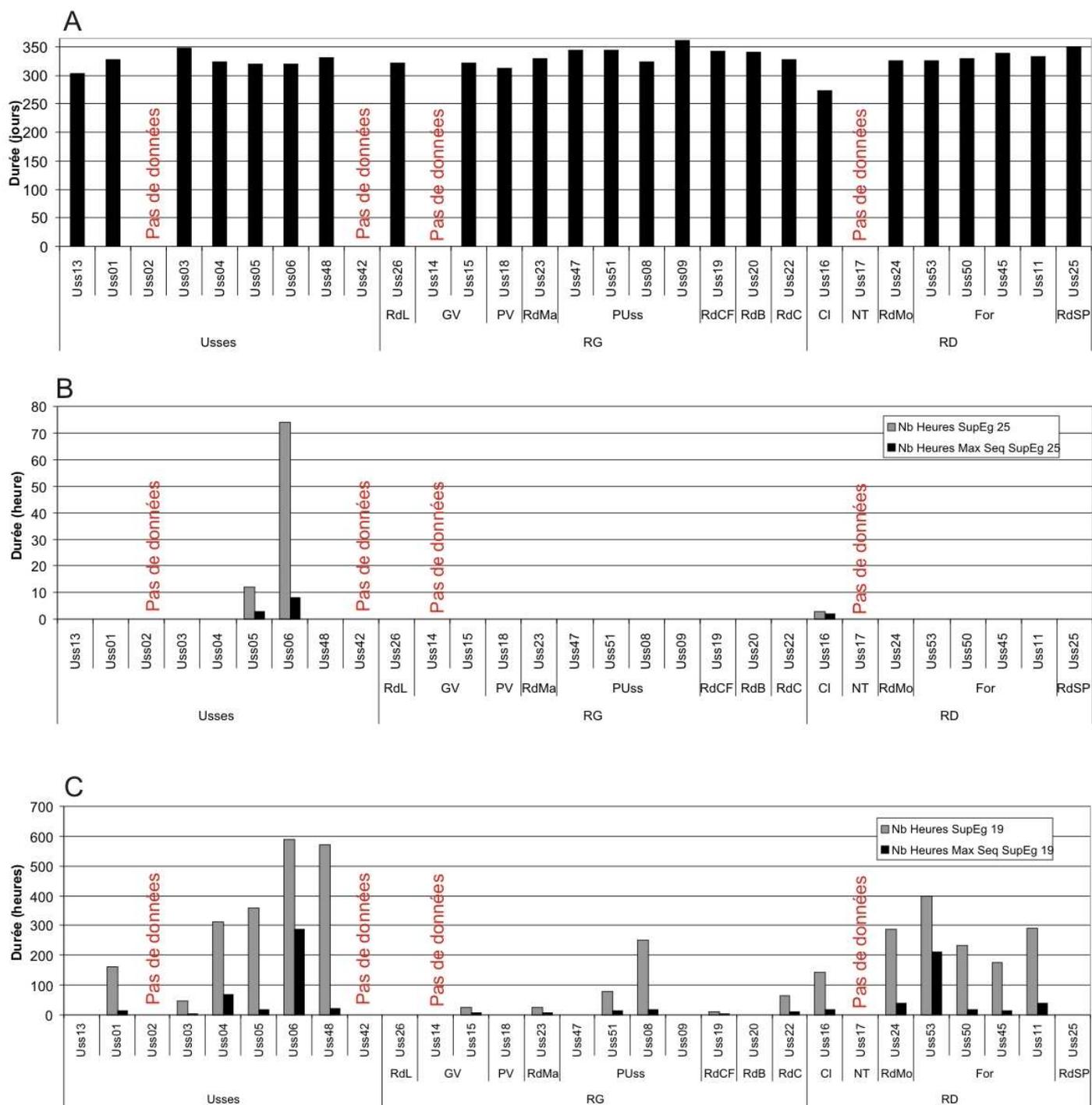


Figure 9 : Durée en jours du préférendum thermique de la truite commune (A), durée totale en heure (gris) et durée en heure de la séquence maximale (noir) durant laquelle la température est restée en dessus de 25°C (B) et en dessus de 19°C (C) sur les 25 stations concernées par le suivi annuel sur les Usses et ses affluents.

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.

Pour la majorité des stations étudiées sur les Usses et ses affluents (Figure 10) le risque de développement de PKD est important, avec 17 stations sur 25 présentant des durées de séquences maximales durant lesquelles la température est supérieure à 15°C dépasse ou est très proche du seuil des 360 heures consécutives.

Une recherche spécifique de la PKD chez les individus juvéniles de truites a été réalisée conjointement à l'évaluation de l'efficacité du repeuplement dans les rivières de Haute-Savoie. Ainsi, en 2003, 7 stations étaient concernées par les symptômes de PKD, 5 sur les affluents (Nant Trouble, Petites Usses à Bonlieu, le chamaloup aux Chenets, l'aval du Fornant et le rui de Saint Pierre à Mons) et 2 sur les Usses (Pont Drillot et Pont Sarzin) (Caudron *et al.*, 2003 ; 2004). D'après cette étude, la population de truite des Usses montre une sensibilité aux symptômes de PKD sur 30% des secteurs étudiés, ce qui est largement supérieur à la moyenne départementale qui est de l'ordre de 17% des secteurs (Caudron & Champigneulle, 2007).

Ainsi, nous pouvons dire que la maladie est présente sur le bassin, les variations inter-annuelles du cycle thermique pouvant expliquer les différences entre les sites à risque identifiés en 2008 et les sites infectés identifiés en 2002-2003.

Malgré la différence temporelle des observations, la correspondance entre l'évaluation d'un risque et la présence effective de l'agent pathogène sur le bassin des Usses, semble montrer la pertinence de la variable utilisée. En outre, ceci montre l'intérêt de prendre en compte ces risques potentiels d'infection dans l'étude des populations de truites 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).

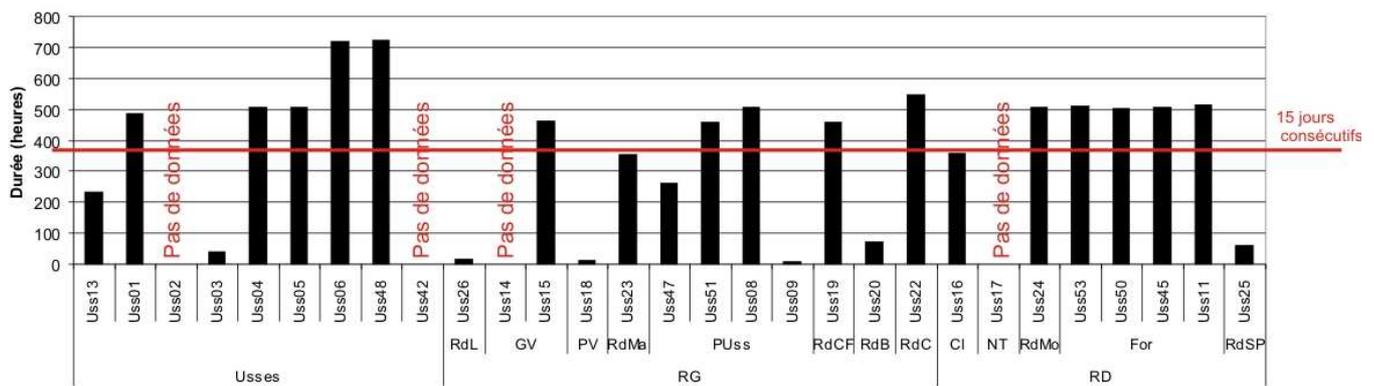


Figure 10 : Durée en heures de la séquence maximale durant laquelle la température est restée au dessus de 15°C sur les 25 stations concernées par le suivi annuel sur les Usses et ses affluents.

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 assez variable d’un site à l’autre avec des valeurs comprises entre 116 et 156 jours (figure 11.A). Malgré tout elles peuvent être considérées comme des durées d’incubation plutôt faibles par rapport aux autres résultats obtenus sur le département (Caudron *et al.*, 2006 ; Caudron, 2006 ; Vigier *et al.*, 2006 ; 2007 a, b, c, d, e). En outre, peu de stations montrent des températures pouvant compromettre le bon développement embryo-larvaire (figure 11.B) pendant les périodes de vie sous graviers identifiées. En effet, les durées pendant lesquelles les températures sont supérieures à 12°C n’excèdent pas les 19 heures consécutives pour l’ensemble des stations étudiées. En outre, l’atteinte de températures inférieures à 1°C semble être une menace plus importante au vue des durées observées mais n’excèdent pas dans la majorité des cas une durée continue supérieure à 24 heures. Pour les quelques stations plus sévèrement touchées (Uss13, Uss15, Uss18, Uss23, Uss08, Uss16, Uss24 et Uss50) ces durées varient entre 43 et 176 heures consécutives, ce qui correspond aux valeurs couramment observées sur le département.

Cette limite thermique de 1°C est considérée, durant la phase de vie sous graviers, comme létale par plusieurs auteurs (Elliot, 1984 ; Humpesch, 1985 ; Crisp, 1988 et 1996). Cependant, le bassin des Usses (affluents compris) présente des populations de truites naturellement fonctionnelles qui se reproduisent sur le cours principal et ses affluents. (Caudron *et al.*, 2003 ; 2004).

Cette contradiction ayant été observée sur l'ensemble des bassins versants étudiés jusqu'à présent, il semblerait que ce paramètre soit discutable du fait notamment de l'existence possible d'une différence d'environ 1°C entre la température de l'eau (mesurée dans notre cas) et celle intra-gravier (Crisp, 1992). Ainsi, il nous est difficile de juger de l'impact réel des faibles températures sur l'efficacité du recrutement naturel à partir de ce seul paramètre.

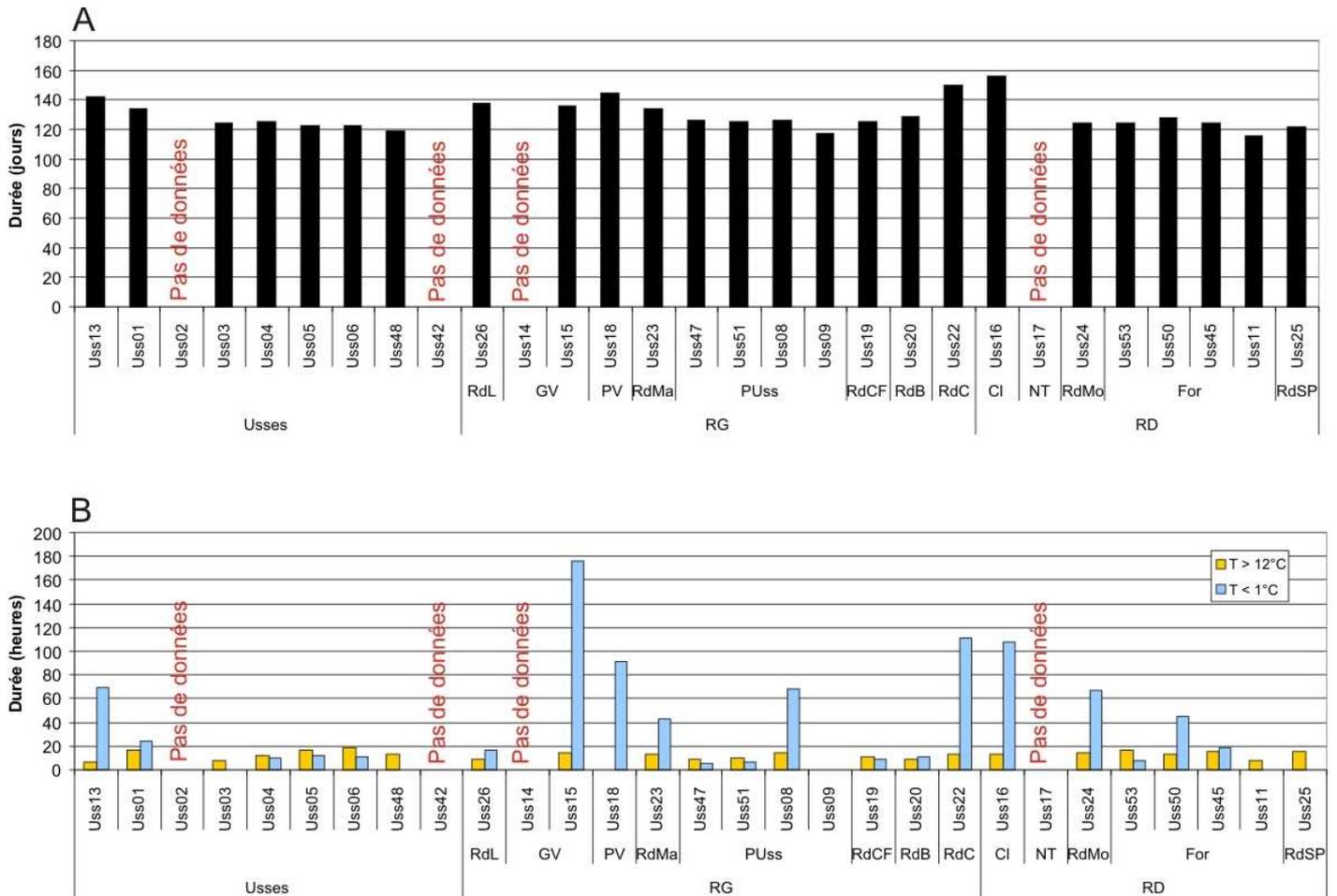


Figure 11 : Durée totale en jours de vie sous graviers (50% d'alevins émergents) (A) et durée en heures des séquences maximales durant lesquelles la température est restée au-dessous de 1°C et au-dessus de 12°C pendant la période du développement embryolaire (B) sur les 25 stations concernées par le suivi annuel sur les Usses et ses affluents.

IV) Premières conclusions et perspectives

Cette première étude thermique réalisée sur le bassin des Usses a permis de mettre en évidence les points suivants :

- l'ensemble des stations étudiées présente des valeurs de température qui peuvent être considérées comme élevées en période estivale et peuvent atteindre des températures minimales proches de zéro. Ces observations expriment le faible pouvoir tampon des milieux étudiés, qui sont sujets à de fortes variations thermiques annuelles. Ceci semble être la conséquence : d'une part, des faibles lames d'eau observées durant les étiages estivaux et hivernaux qui rendent ces cours d'eau très sensibles aux températures extrêmes et d'autre part de l'absence ou la faiblesse des échanges entre le cours d'eau et sa nappe souterraine d'accompagnement sur la majorité du linéaire.
- l'ensemble des stations étudiées présente des conditions thermiques favorables et compatibles avec la vie salmonicole, à l'exception du secteur intermédiaire du cours principal des Usses. En effet, les stations situées à partir de pont Sarzin montrent des conditions thermiques peu favorables au développement salmonicole avec des valeurs dépassant souvent les 19°C, parfois les 25°C et des conditions potentiellement favorables au développement de la PKD.
A partir des valeurs obtenues pour ces descripteurs nous pouvons dire que les conditions thermiques observées sur l'aval des Usses ne correspondent pas aux exigences de la truite commune sur un linéaire de 25 km à partir de la station pont Drillot et sont limitantes pour la vie salmonicole sur un linéaire de 9 km entre pont Sarzin et l'aval de Frangy (figure 12). Ces informations doivent inciter les gestionnaires à orienter la restauration des populations de truites autochtones uniquement sur les secteurs favorables situés sur l'amont du cours principal jusqu'à Pont Drillot (hors secteur de pont Duret). Sur l'ensemble du cours principal à partir de Pont Drillot, où les conditions thermiques sont limitantes pour la truite fario, une gestion non pas patrimoniale mais de type halieutique peut-être mise en place.
- Du fait de l'observation de nombreux résultats contradictoires, les descripteurs choisis pour évaluer les sites où le recrutement naturel pourrait être limité par les conditions thermiques hivernales (durée des séquences maximales où la température est inférieure à 1°C et supérieure à 12°C durant la période de vie sous gravier) ne semblent pas appropriées. La mise en place d'autre(s) descripteur(s) est à envisager. Par exemple, la pose de sonde et d'incubateurs test *in situ* sur de nombreux sites pourrait être envisagée afin de préciser les relations entre le taux de survie durant cette période et les températures enregistrées.
- Par contre, le descripteur hivernal concernant la période de vie sous gravier est fiable et montre des durées non limitantes pour la réussite du développement embryon-larvaire.

La perte de 2 sondes sur le cours principal des Usses au niveau de pont Duret (Uss02) et en clôture de bassin (Uss42) ne permet de statuer sur le caractère favorable ou non de ces secteurs vis-à-vis des exigences thermiques de la truite commune.

Sur la partie aval, malgré un léger rafraîchissement vraisemblablement dû aux apports potentiels de la nappe, nous pouvons penser que la situation thermique reste proche de celle observée au niveau de Pont Rouge (Uss48).

Par contre, la situation thermique de la station Uss02 est moins évidente. La pose d'une nouvelle sonde thermique s'impose si l'on veut préciser le statut de ce secteur pour lequel un faible taux de recrutement a été constaté en 2003 (Caudron & Chanpigneulle, 2003 ; 2007).

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.

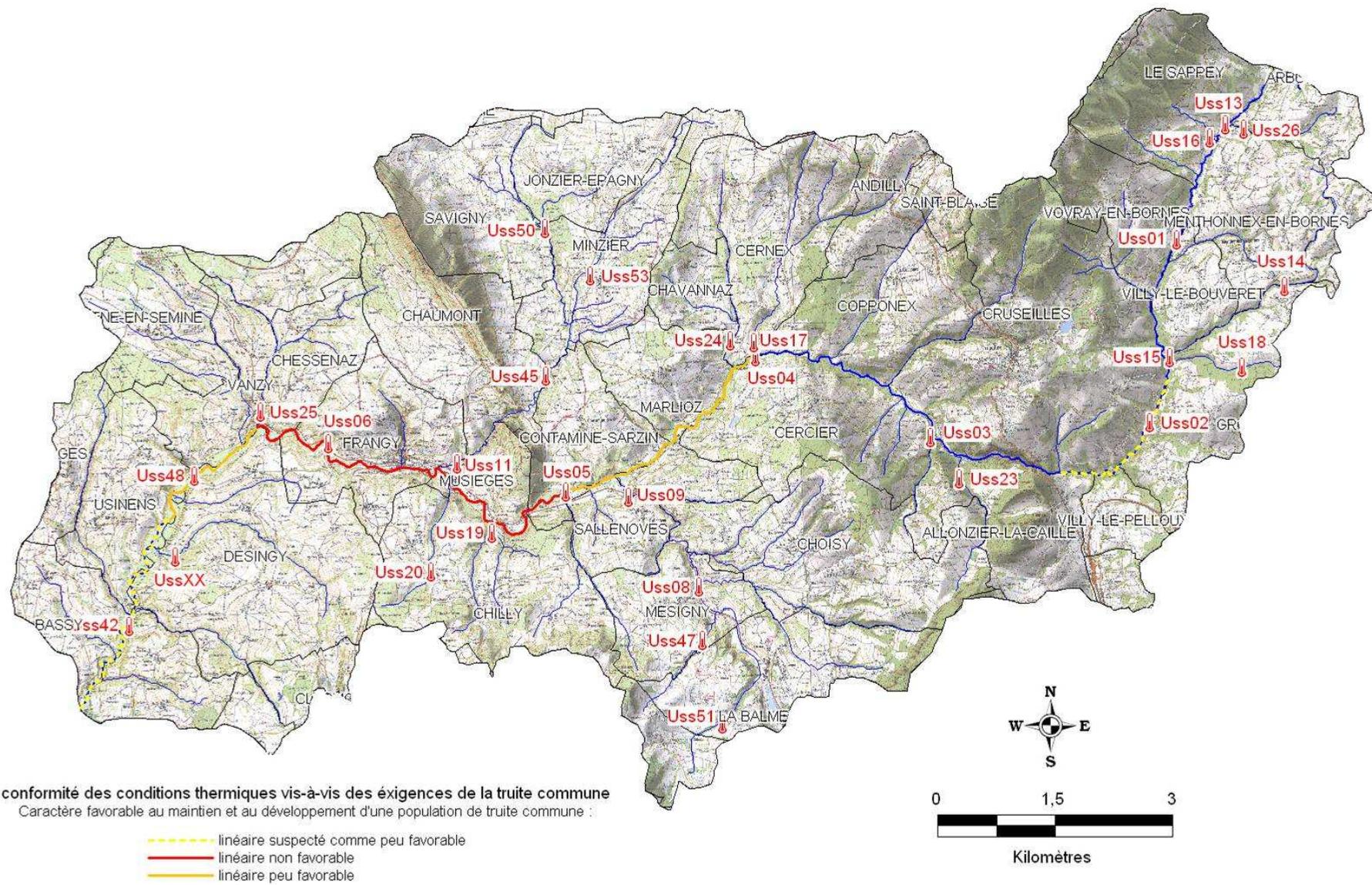


Figure12 : Carte des linéaires des Usses présentant des conditions thermiques ne permettant pas le maintien et le développement d'une population de truite commune.

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.
- Caudron A., 2006. Etude de la qualité thermique du Foron de Gaillard – Données 2004-2005. Rapport FDP74.06/02. 12p + annexes.
- Caudron A. & Champigneulle A., 2007. Evaluation à grande échelle de l'efficacité du repeuplement et comparaison des caractéristiques des truites (*Salmo trutta* L.) sauvages et introduites dans les rivières de Haute-Savoie. Rapport final 2002-2006. Rapport SHL 274-2007 et FDP74.07/06. 68p+annexes.
- Champigneulle A. Melhaoui M., Maise 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.

Huchet P., 2007. Plan de conservation des populations d'écrevisses à pieds blancs (*Austropotamobius pallipes*) du bassin versant des Usses (Haute-Savoie) – Diagnostic et propositions de gestion. Rapport FDP74.07/07. 102p + annexes.

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*) arctic 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.

Vigier L. & Caudron A., 2007a. Etude de la qualité thermique du Redon et du Pamphiot – Données 2006-2007. Rapport FDP74.07/04. 17p + annexes.

Vigier L., Catinaud L. & Caudron A., 2007b. Etude de la qualité thermique des affluents du Chéran Haut-Savoyard – Données 2005-2006. Rapport FDP74.03/07. 22p + annexes.

Vigier L. & Caudron A., 2007c. Etude de la qualité thermique du Foron de Gaillard – étude de l'impact du lac de Machilly Données 2006-2007. Rapport FDP74. 07/03. 11p + annexes.

Vigier L., Huchet P. & Caudron A., 2007d. Etude de la qualité thermique du Chéran Haut-Savoyard – Données 2004-2005. Rapport FDP74.07/01. 18p + annexes.

Vigier L. & Caudron A., 2007e. Etude de la qualité thermique de la Menoge – données 2005-2006. Rapport FDP74.07/02. 20p + annexes.

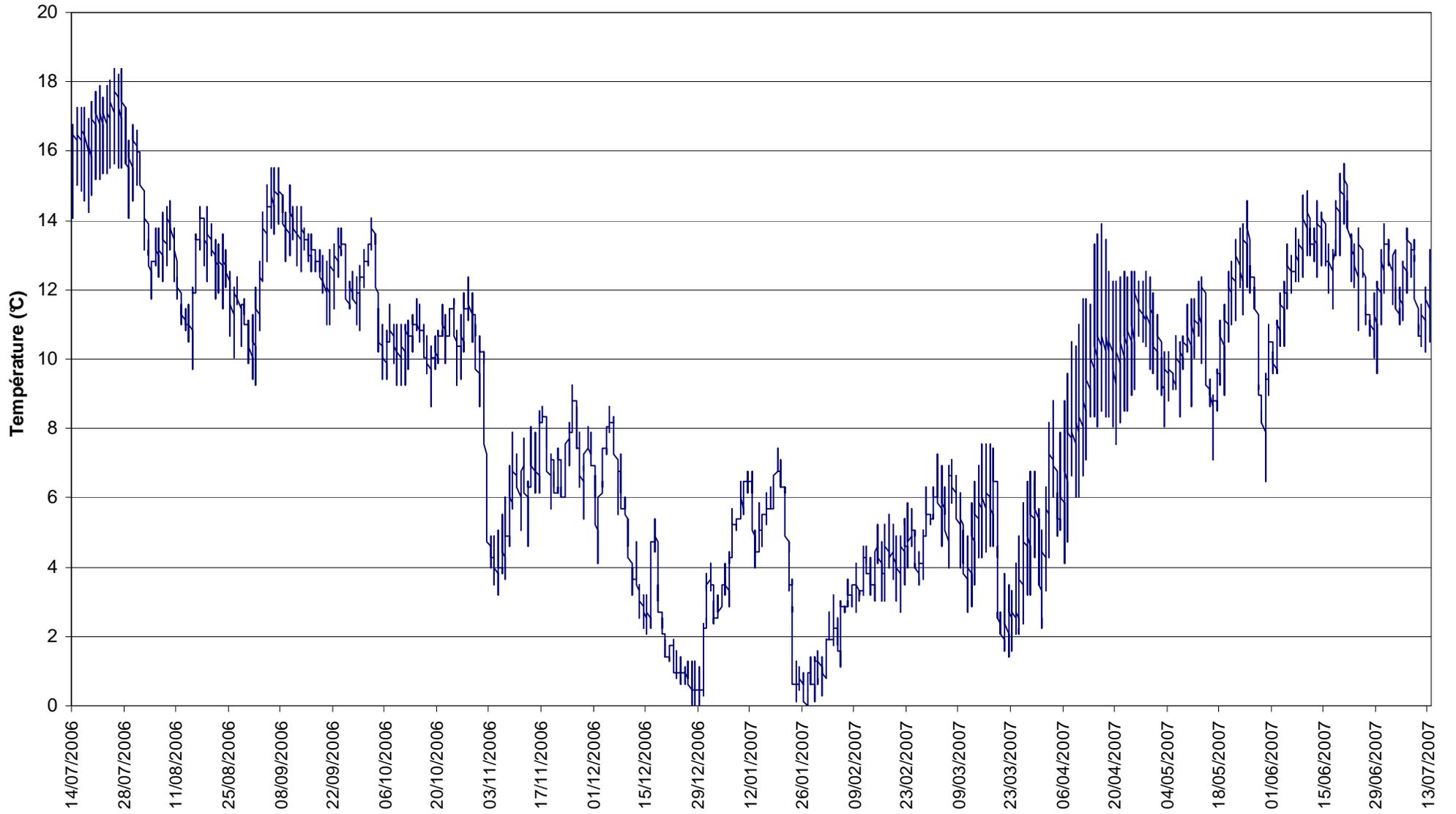
Vigier L., 2006. Diagnose écologique et recherche des causes de perturbation du peuplement piscicole du Foron de Reigneir. Rapport FDP74.06/04. 51p + annexes.

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.

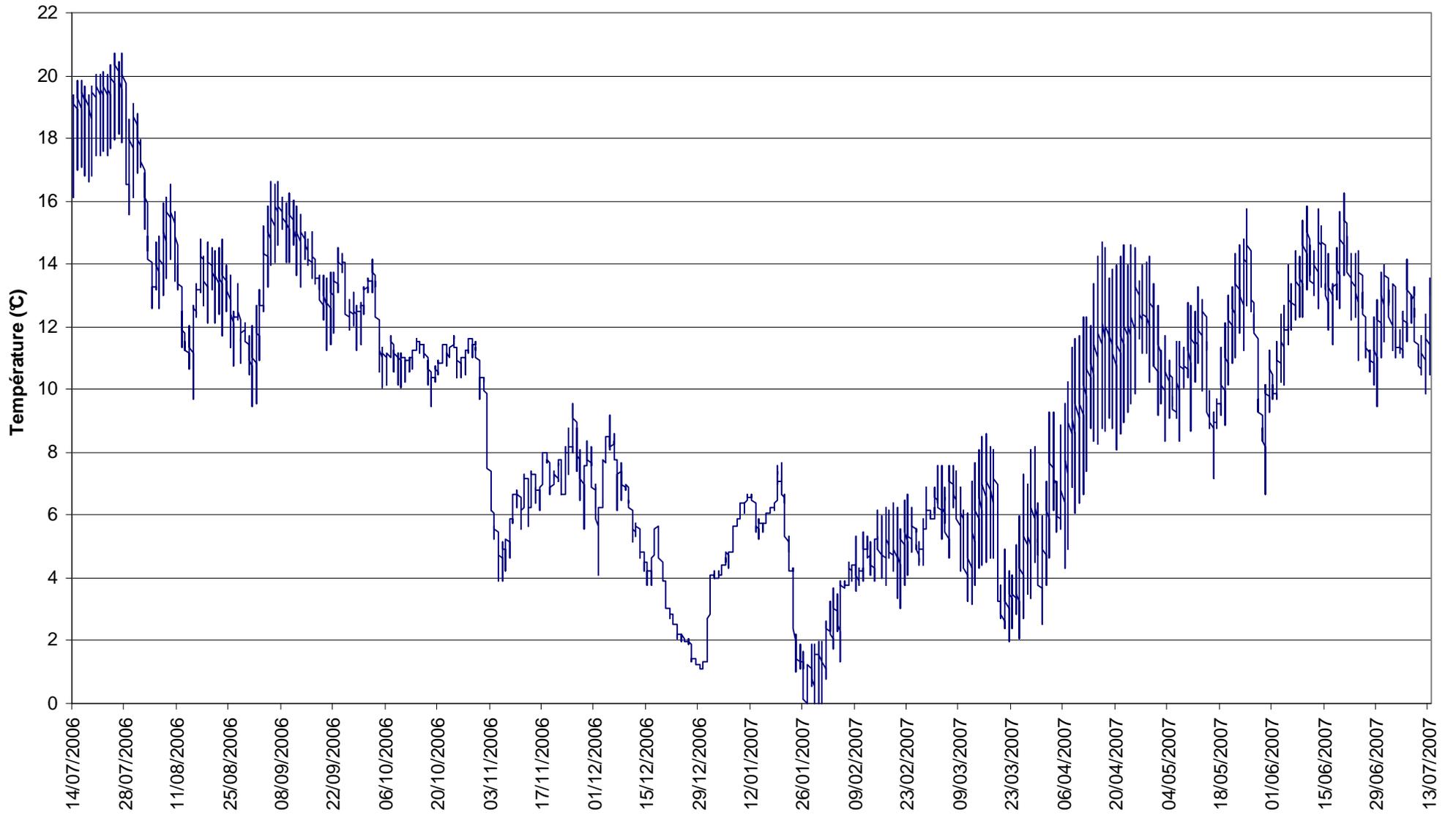
ANNEXES

- **Données thermiques brutes de chaque station du bassin des Usses :**
graphiques des données horaires du 14/07/2006 au 13/07/2007 (sauf précision)
- **Tableau des valeurs des paramètres thermiques interprétés sur les 28 stations étudiées sur le bassin des Usses.**

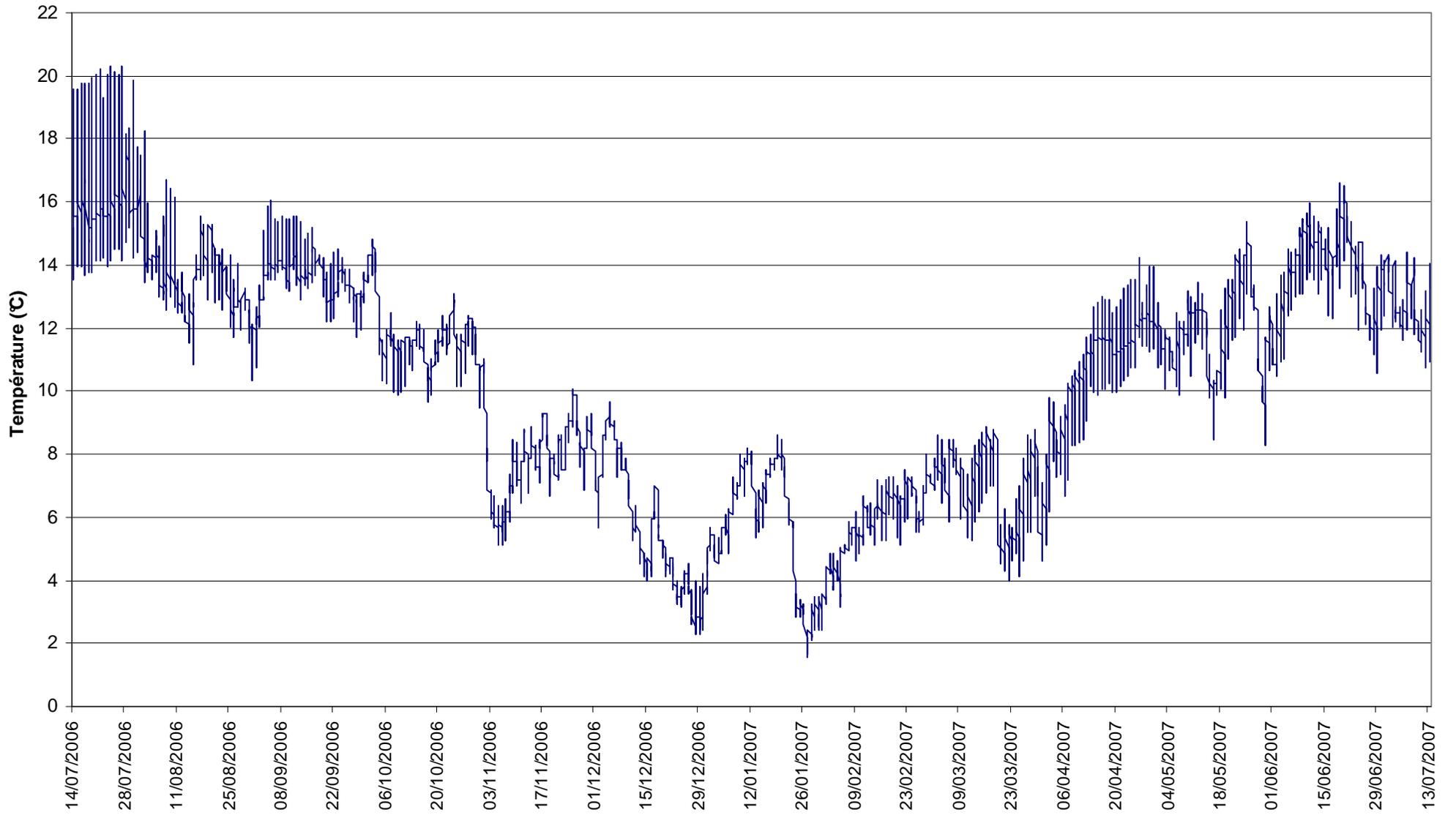
Uss13 : Usses_Les Chavannes



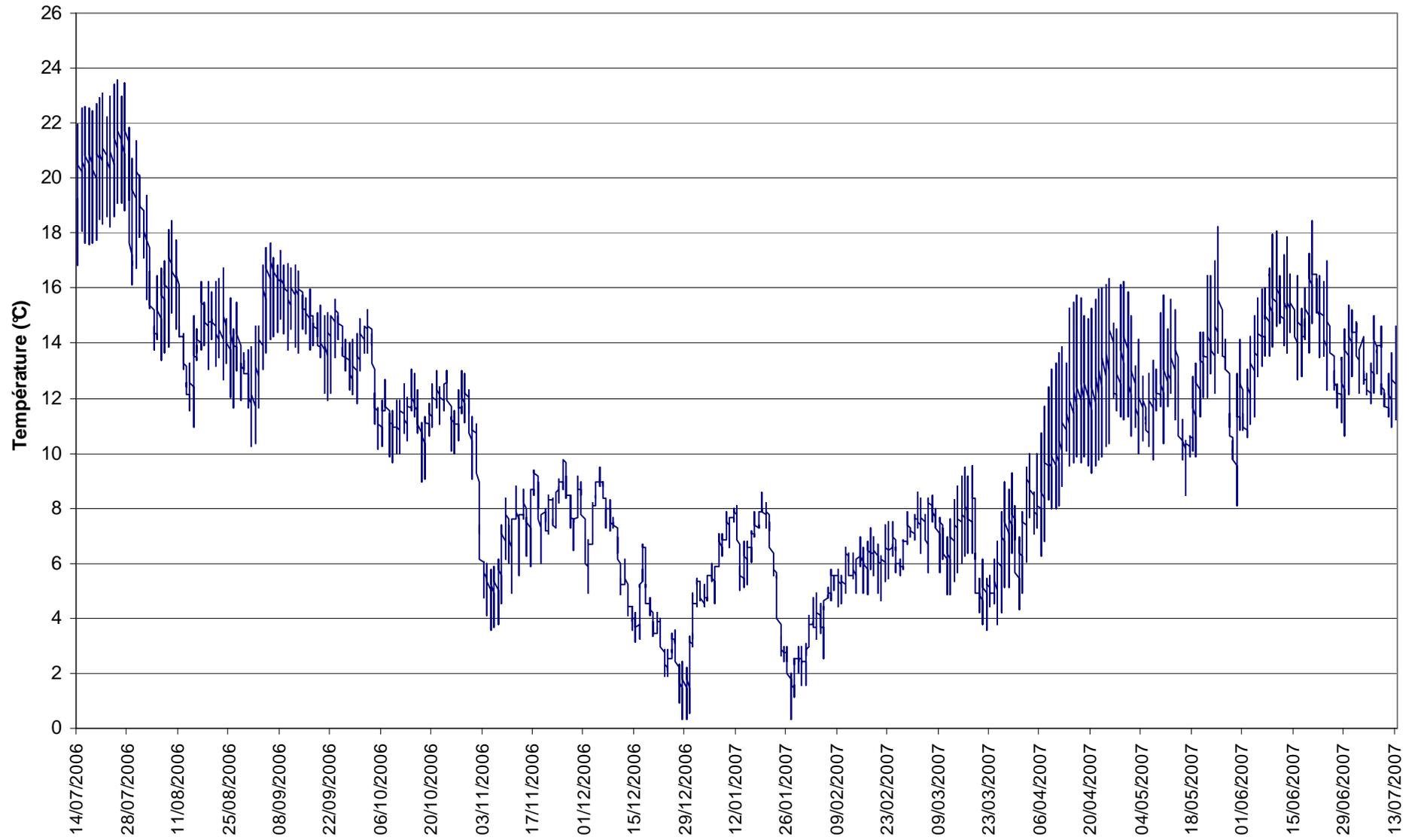
Uss01 : Usses_Falconnet



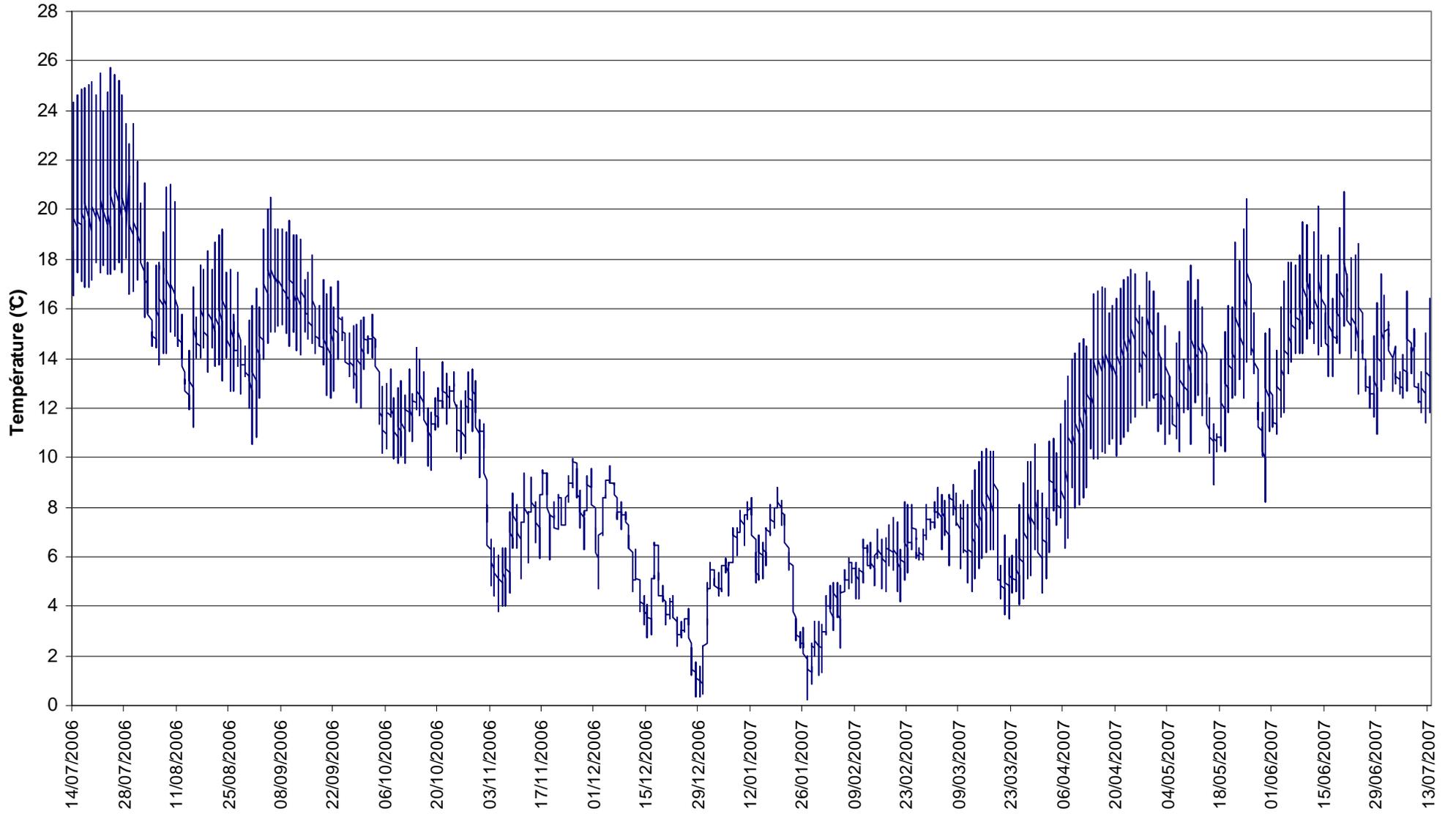
Uss03 : Usses_Les Goths



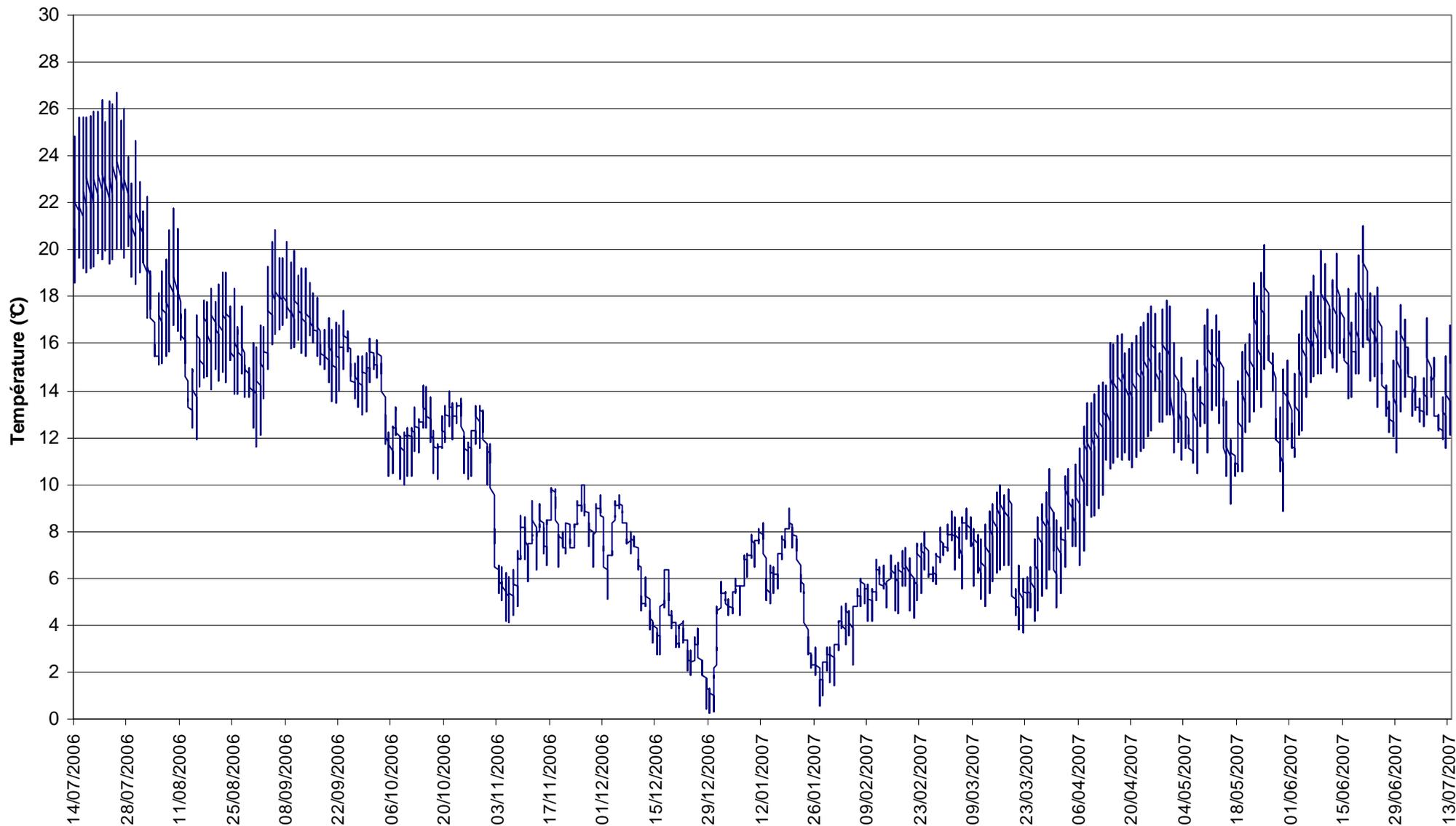
Uss04 : Les Ussees : Pont Drillot



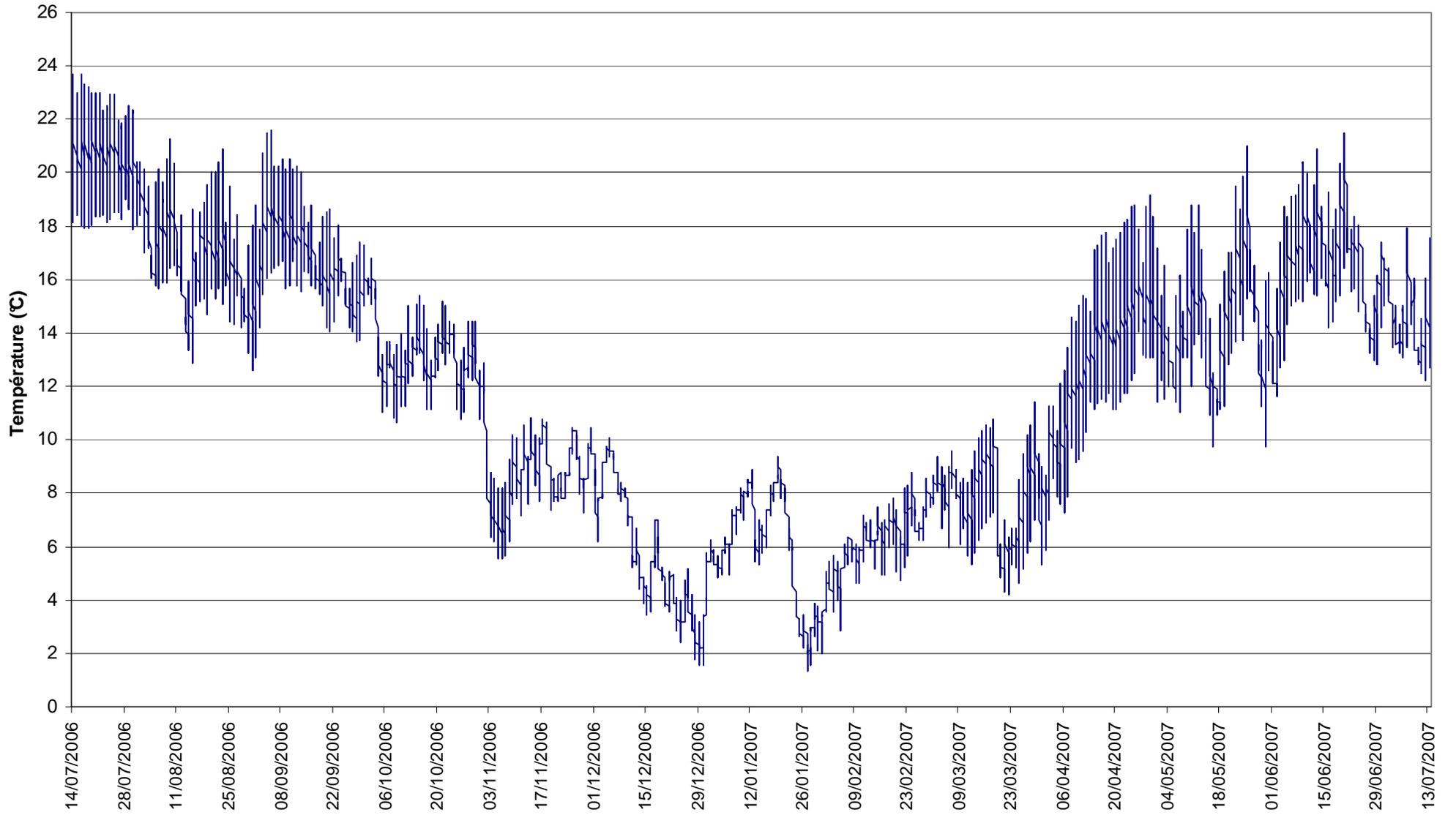
Uss05 : Usses_Pont Sarzin



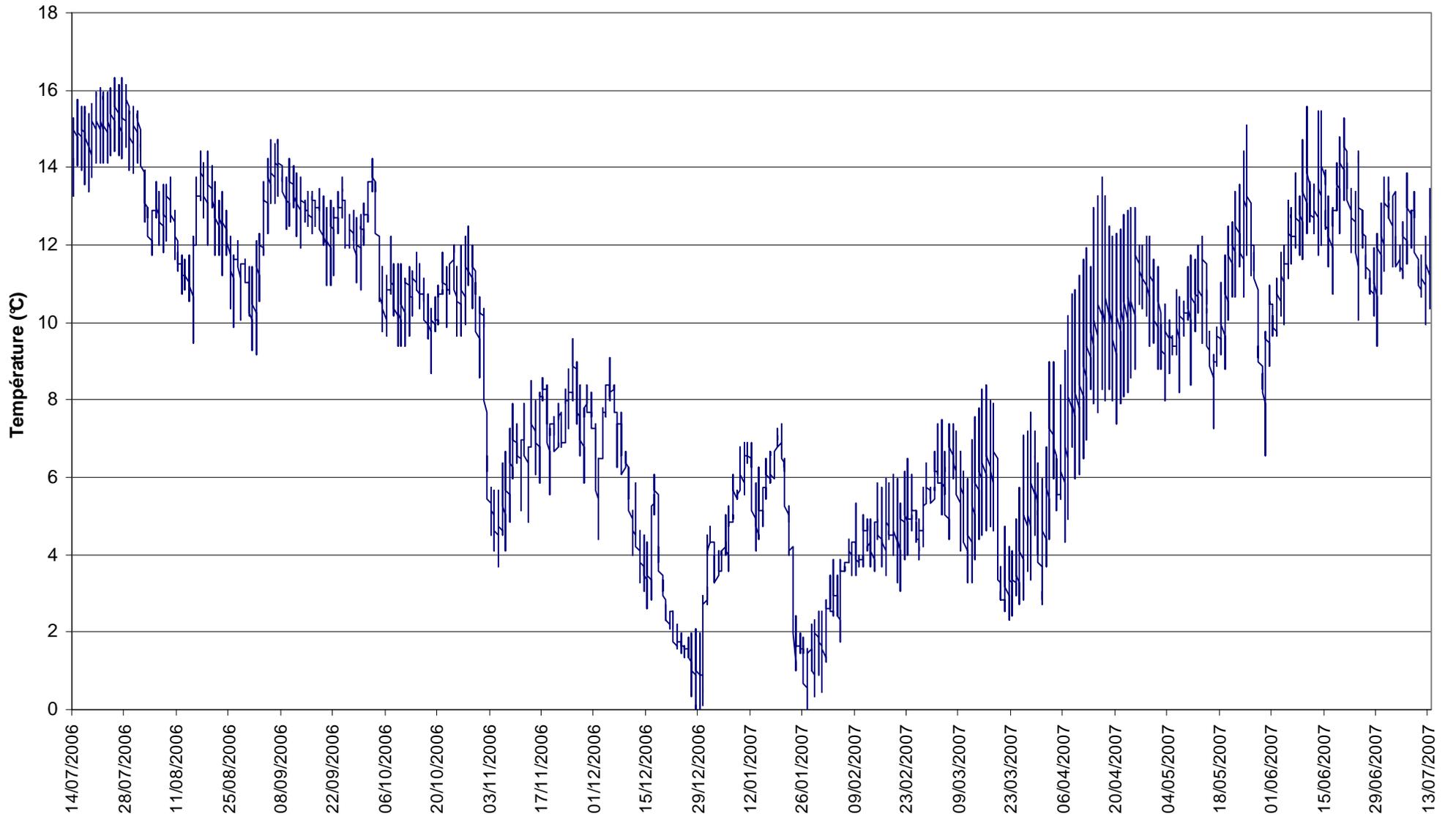
Uss06 : Usses_Aval STEP Frangy



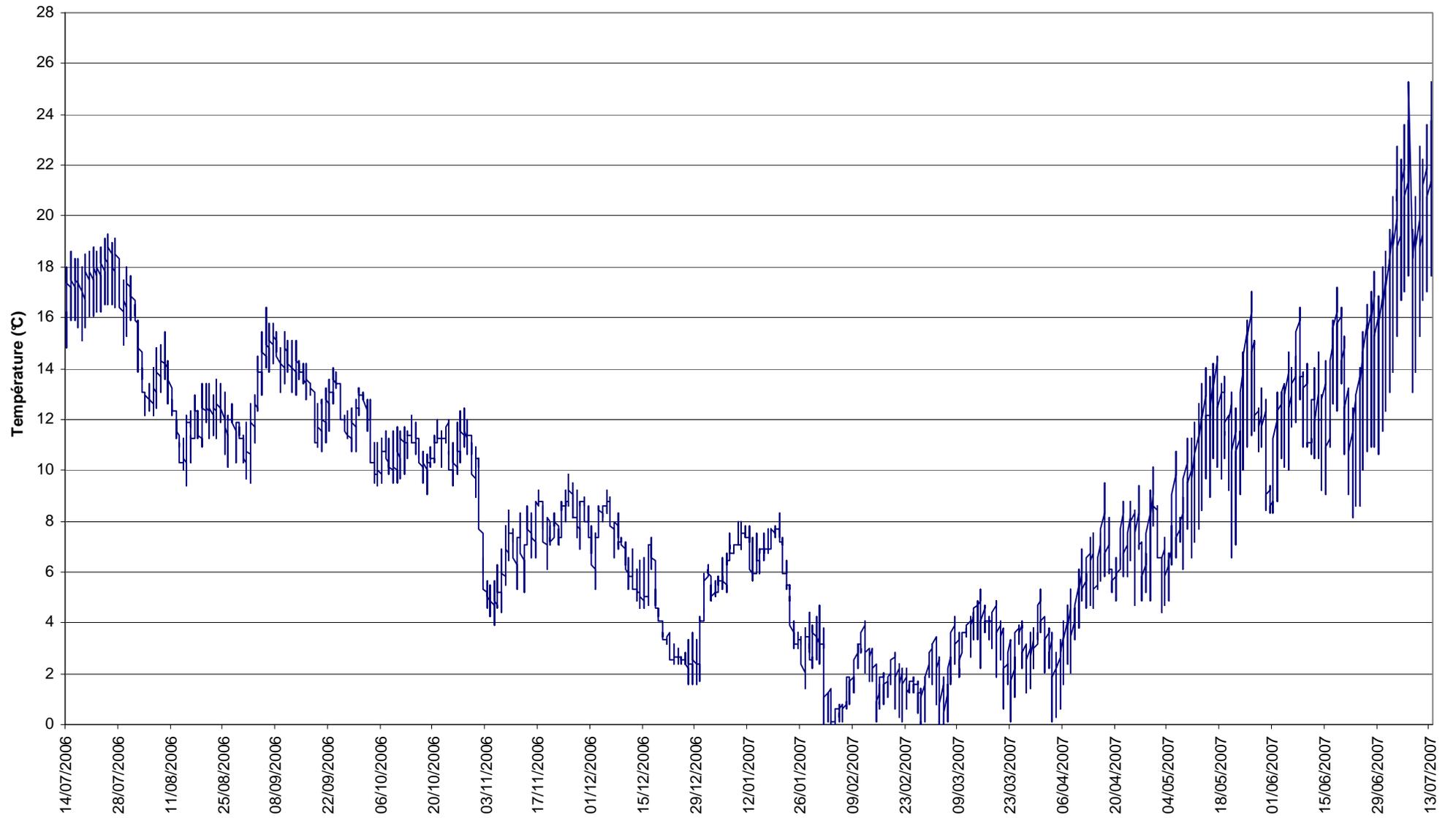
Uss48 : Usses_pont Rouge



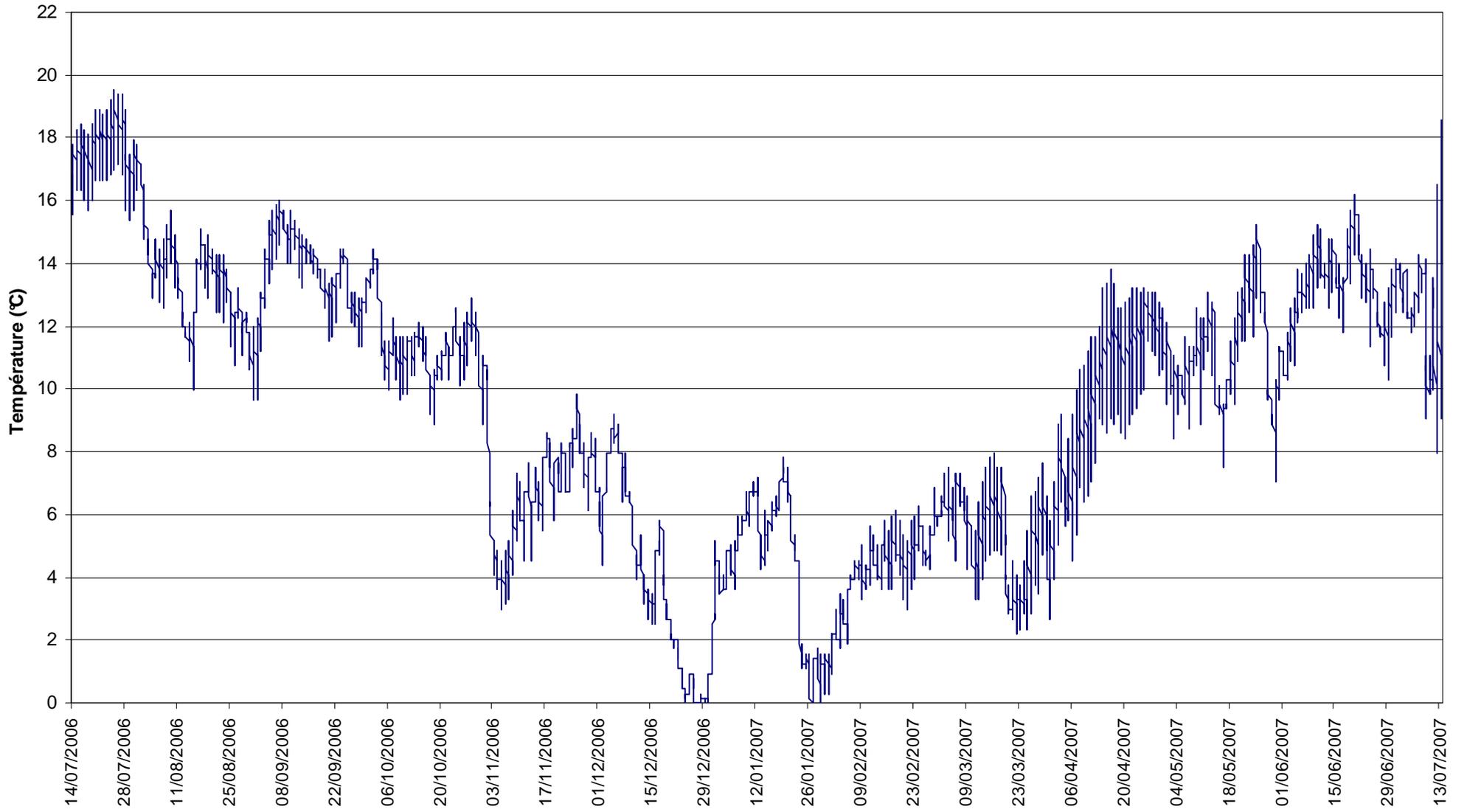
Uss26 : Rui des Lanches_Aval



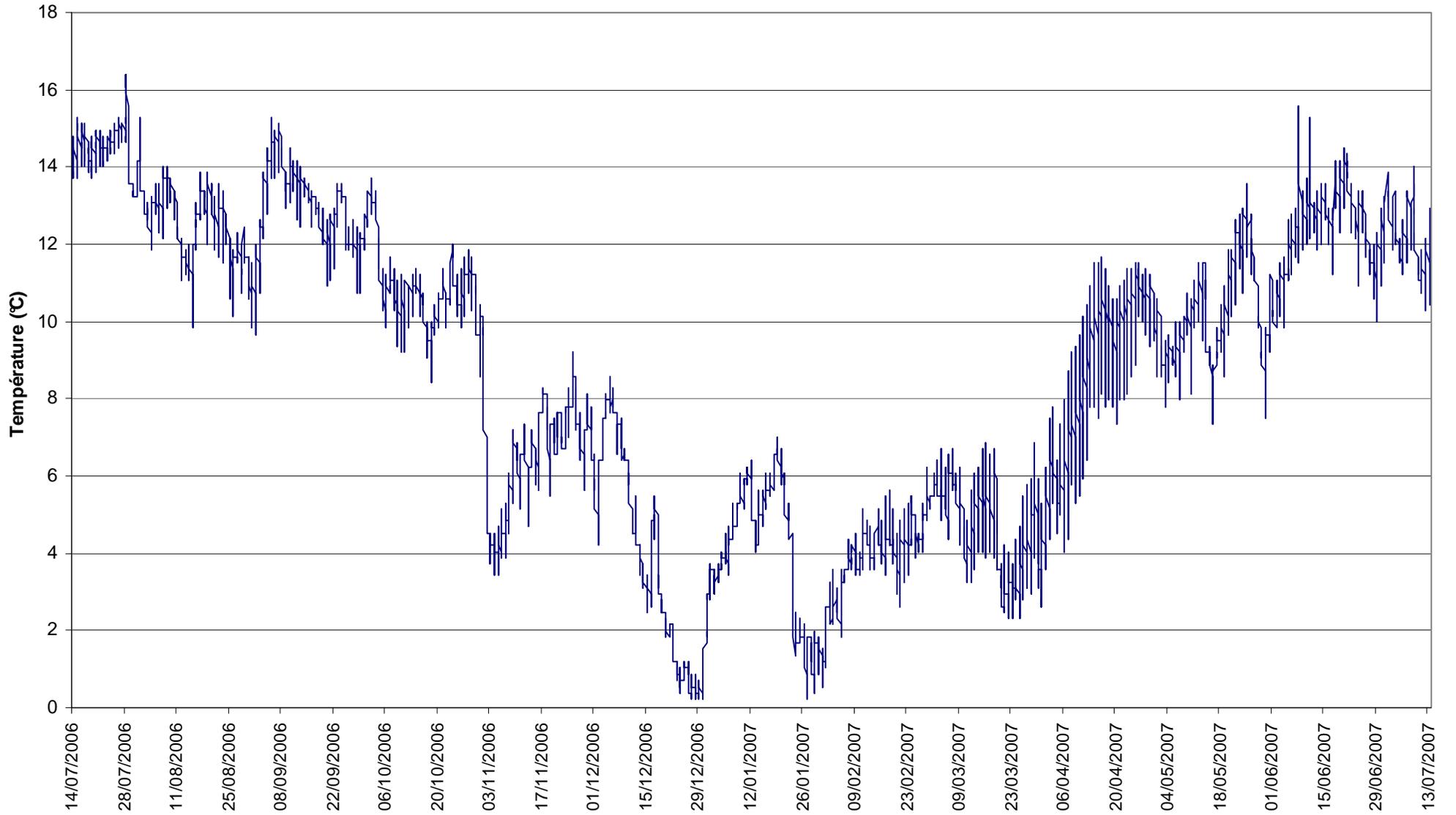
Uss16 : Le Clarnant



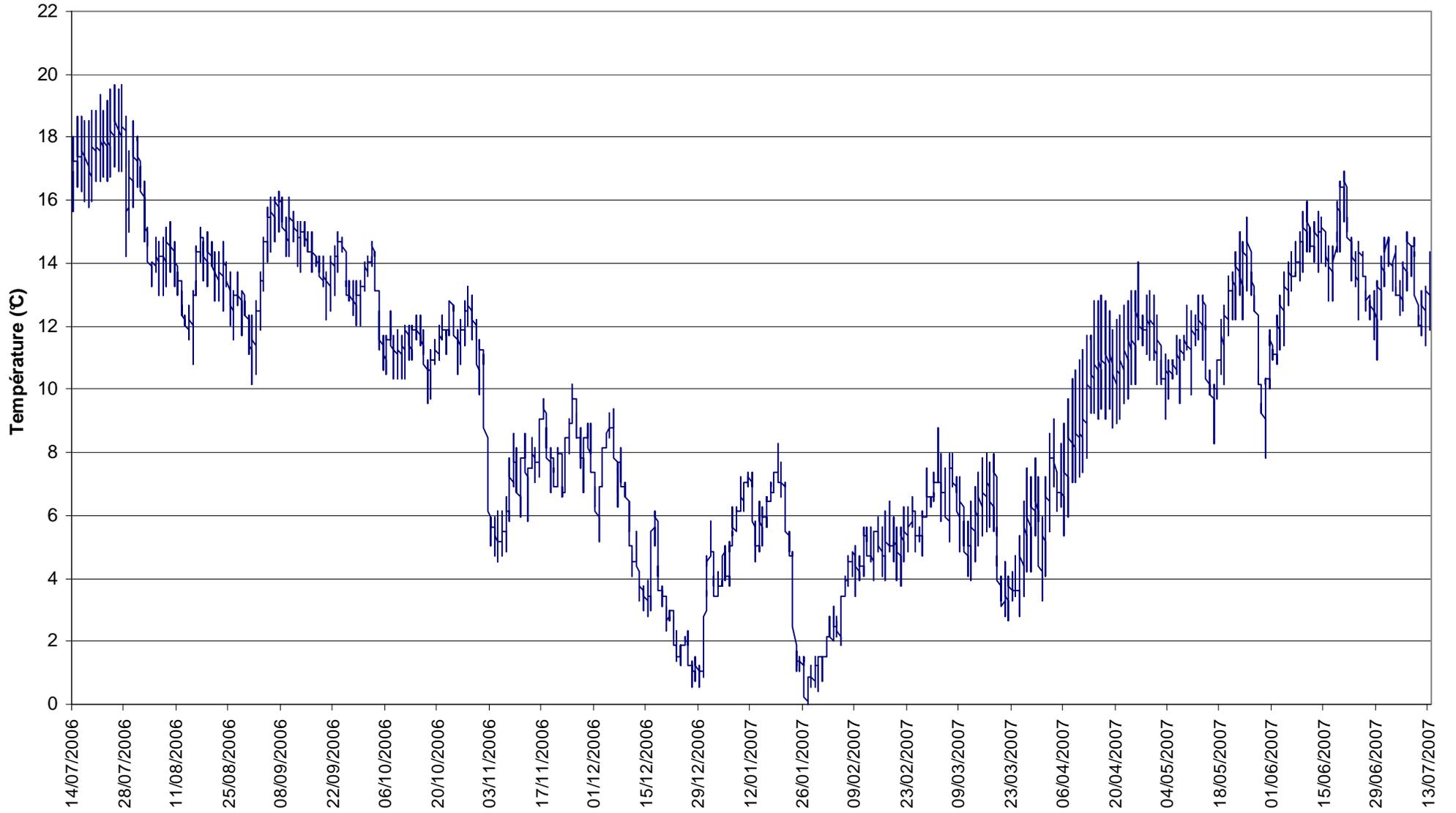
Uss15 : Le grand Verray_Aval



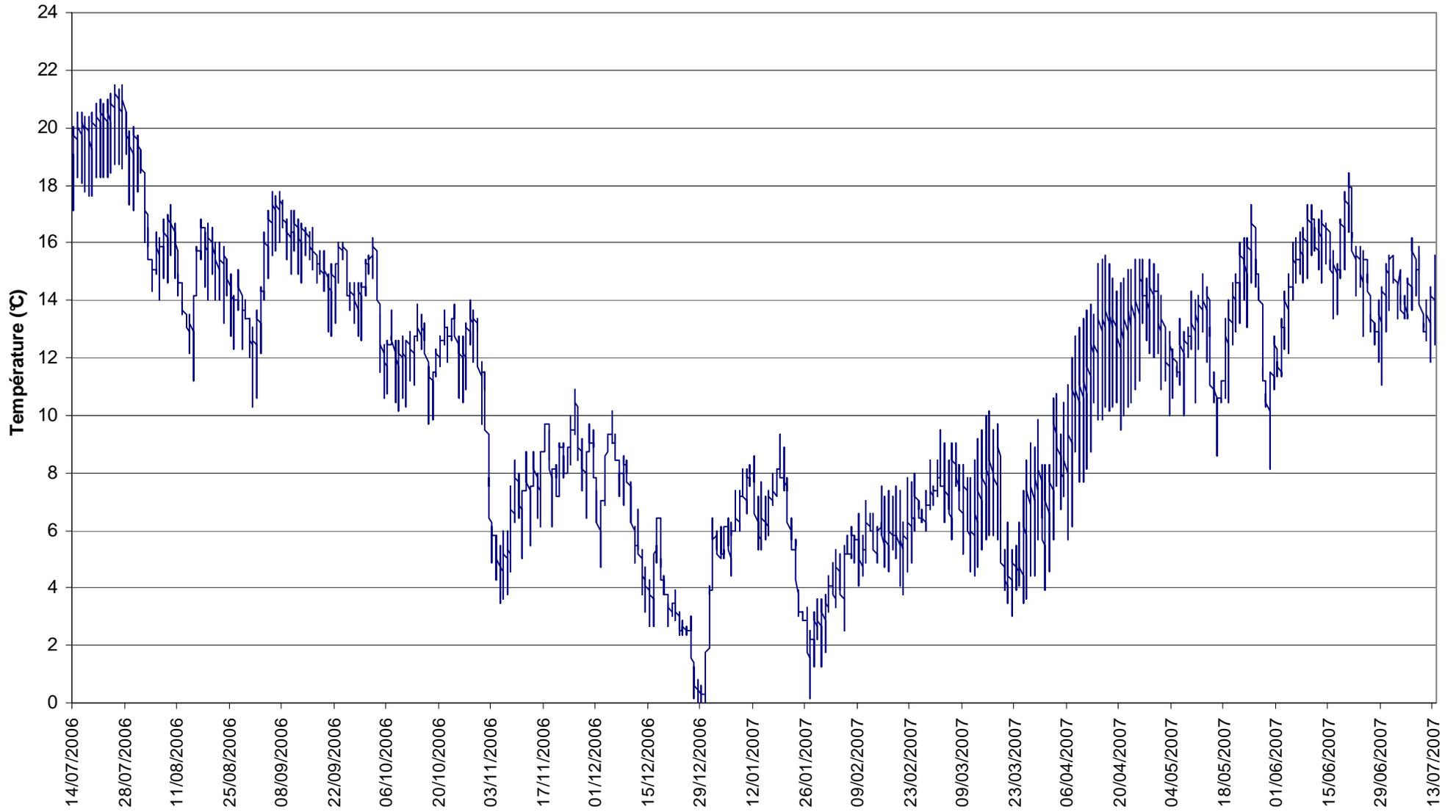
Uss18 : Le petit Verray - Amont



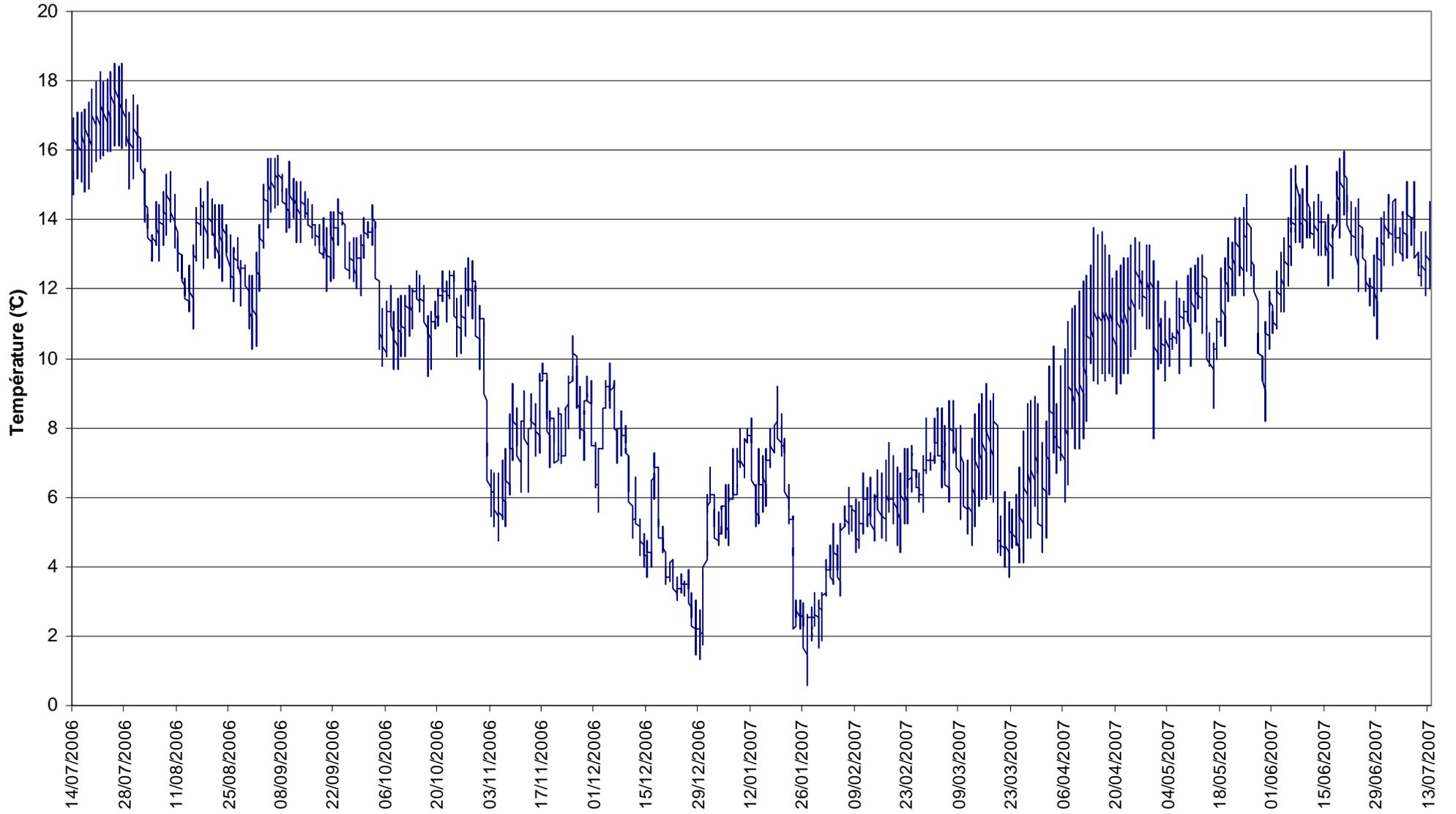
Uss23 : Rui de Malbranches_aval



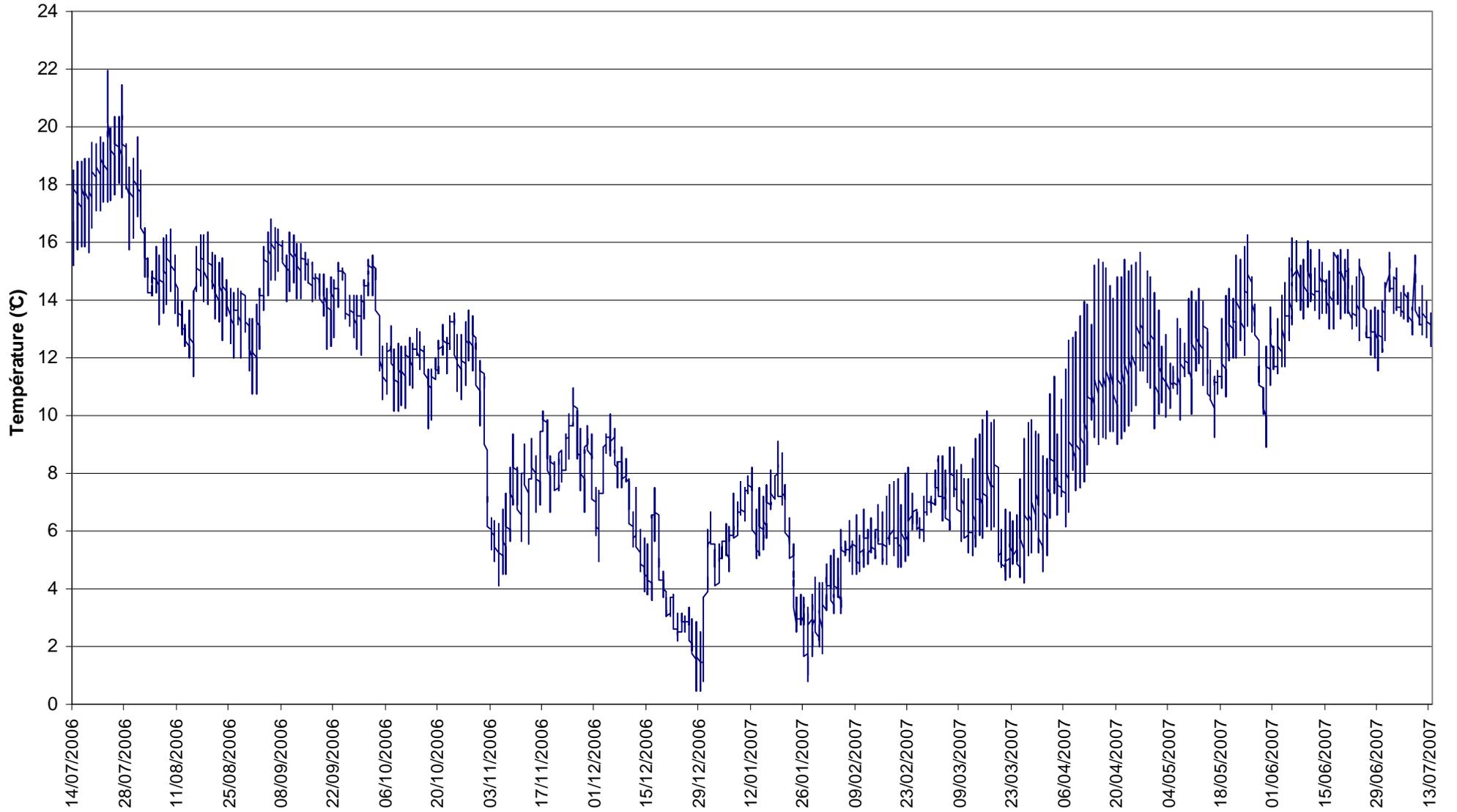
Uss24 : Rui de Mostan_Les Longerets



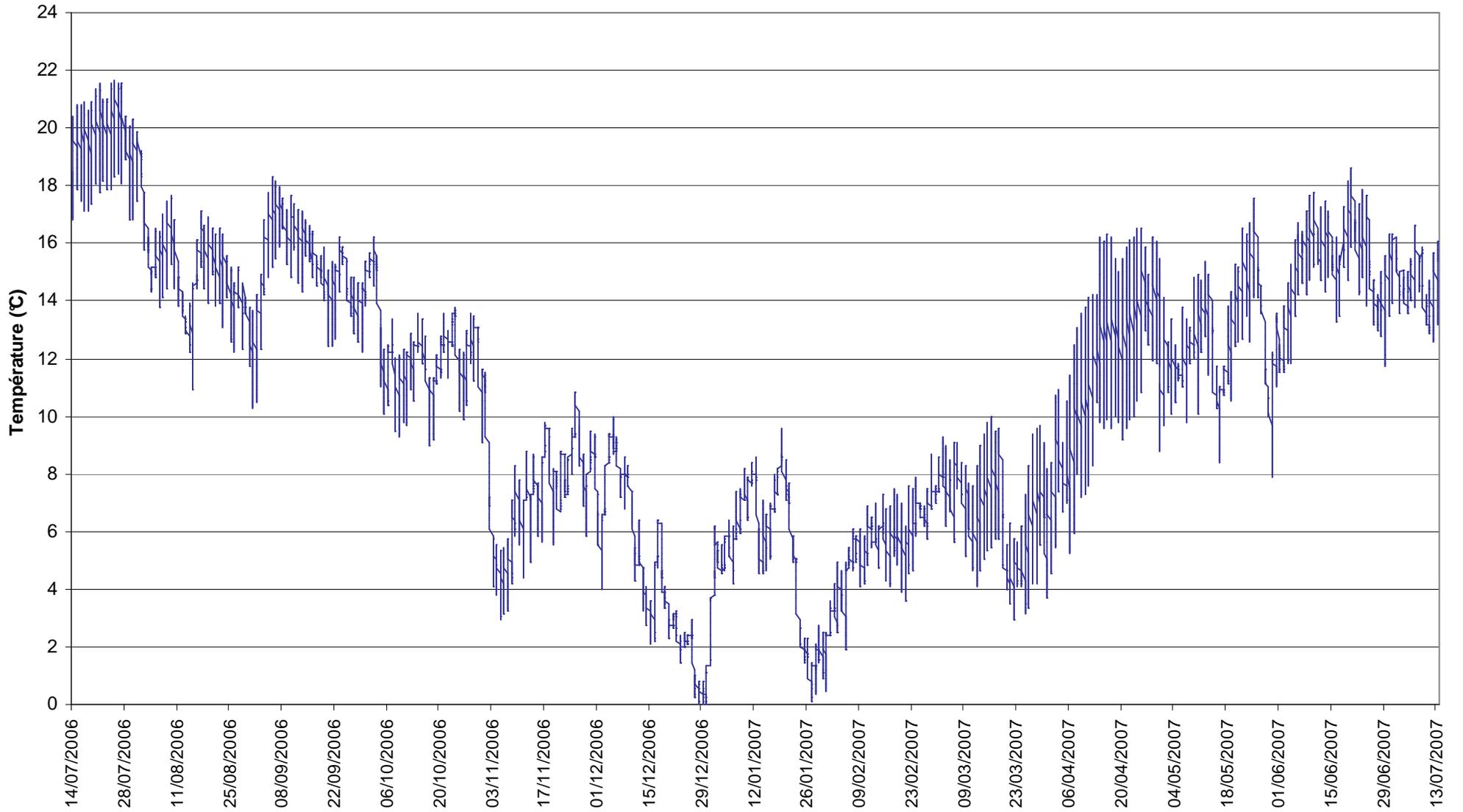
Uss47 : ruisseau des vengeurs_aval



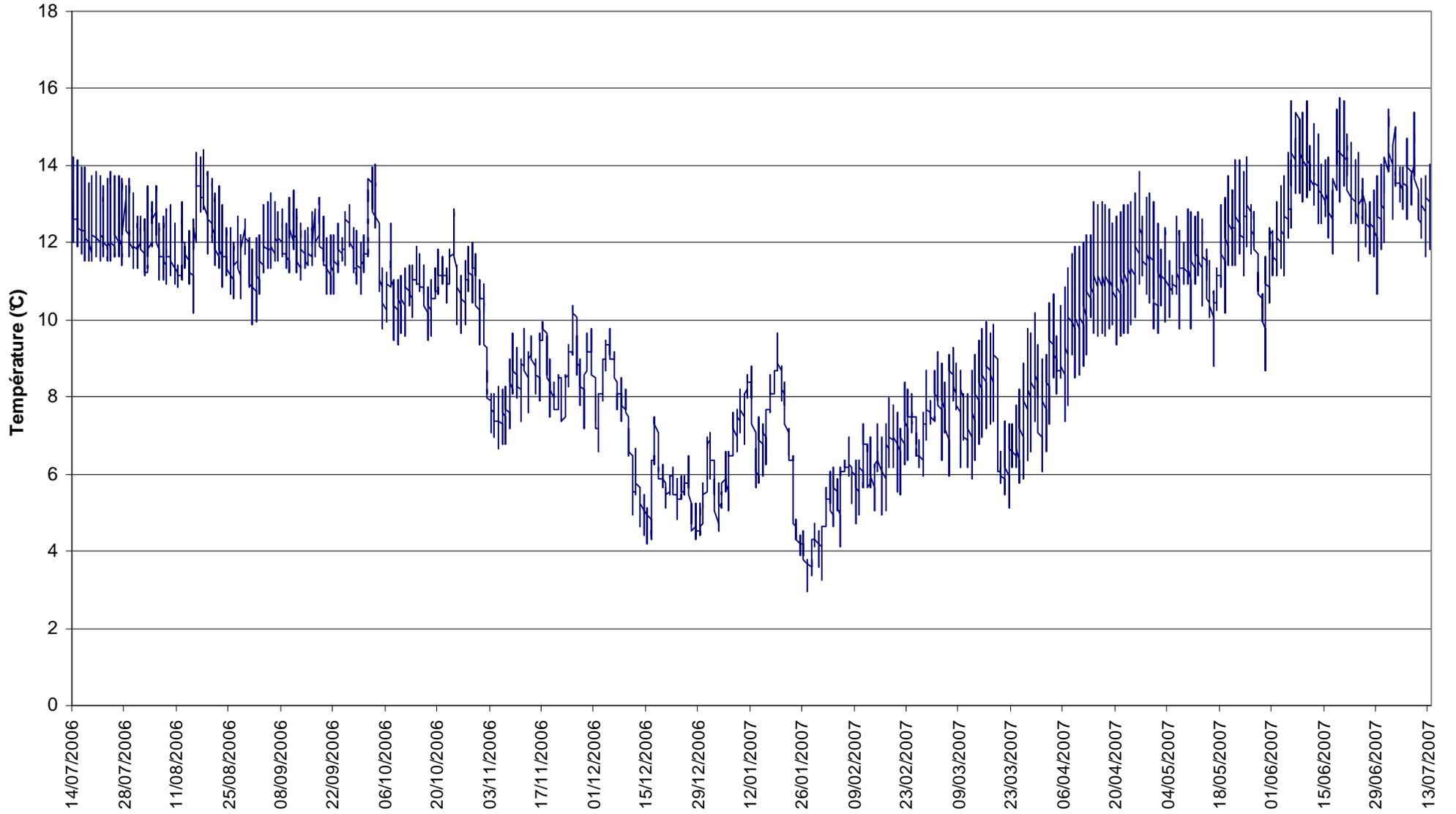
Uss51 : Les petites Usses_lieu-dit "La Bonasse"



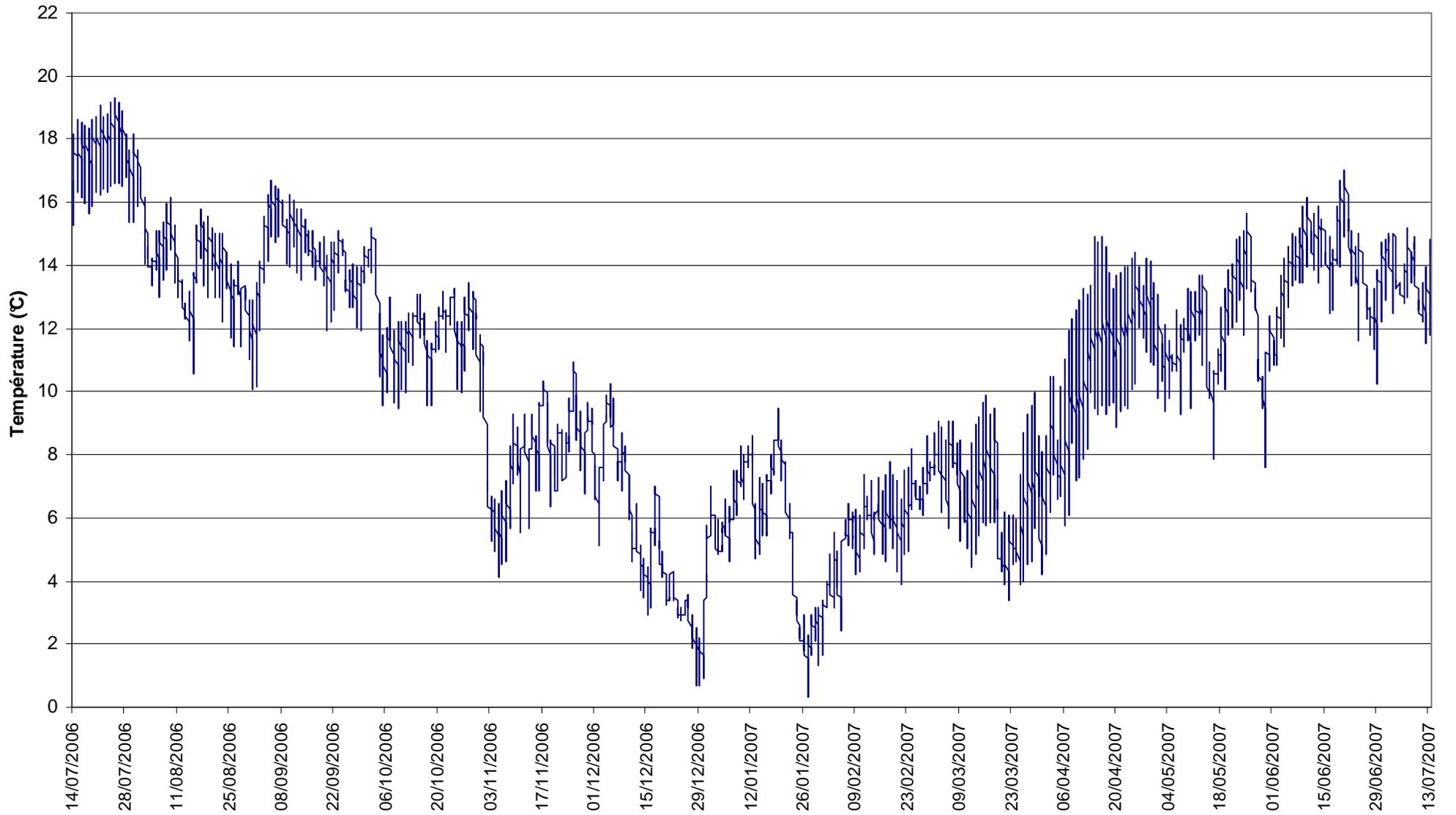
Uss08 : Petites Ussees_les Balmettes



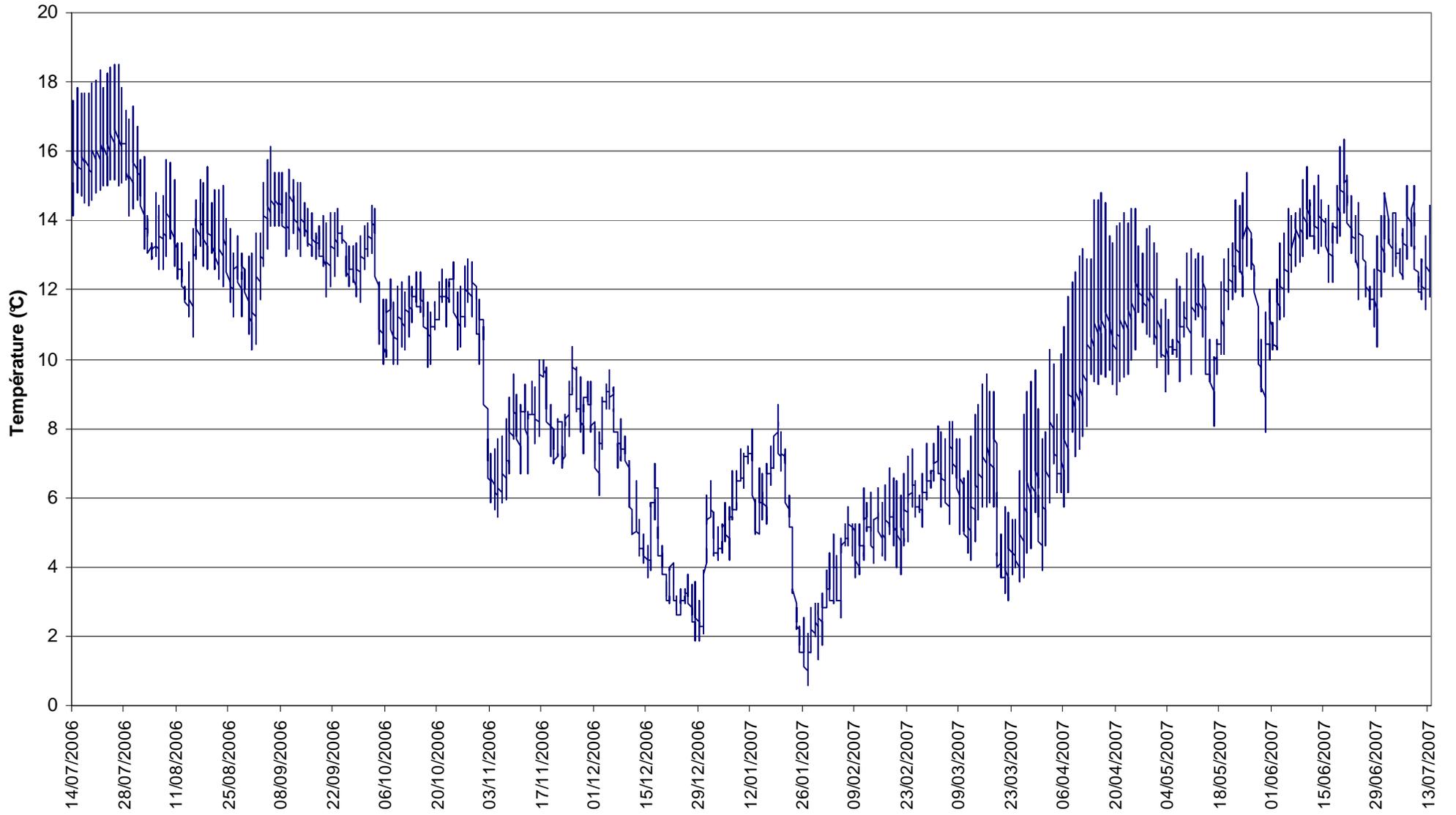
Uss09 : petites Usses_Bonlieu



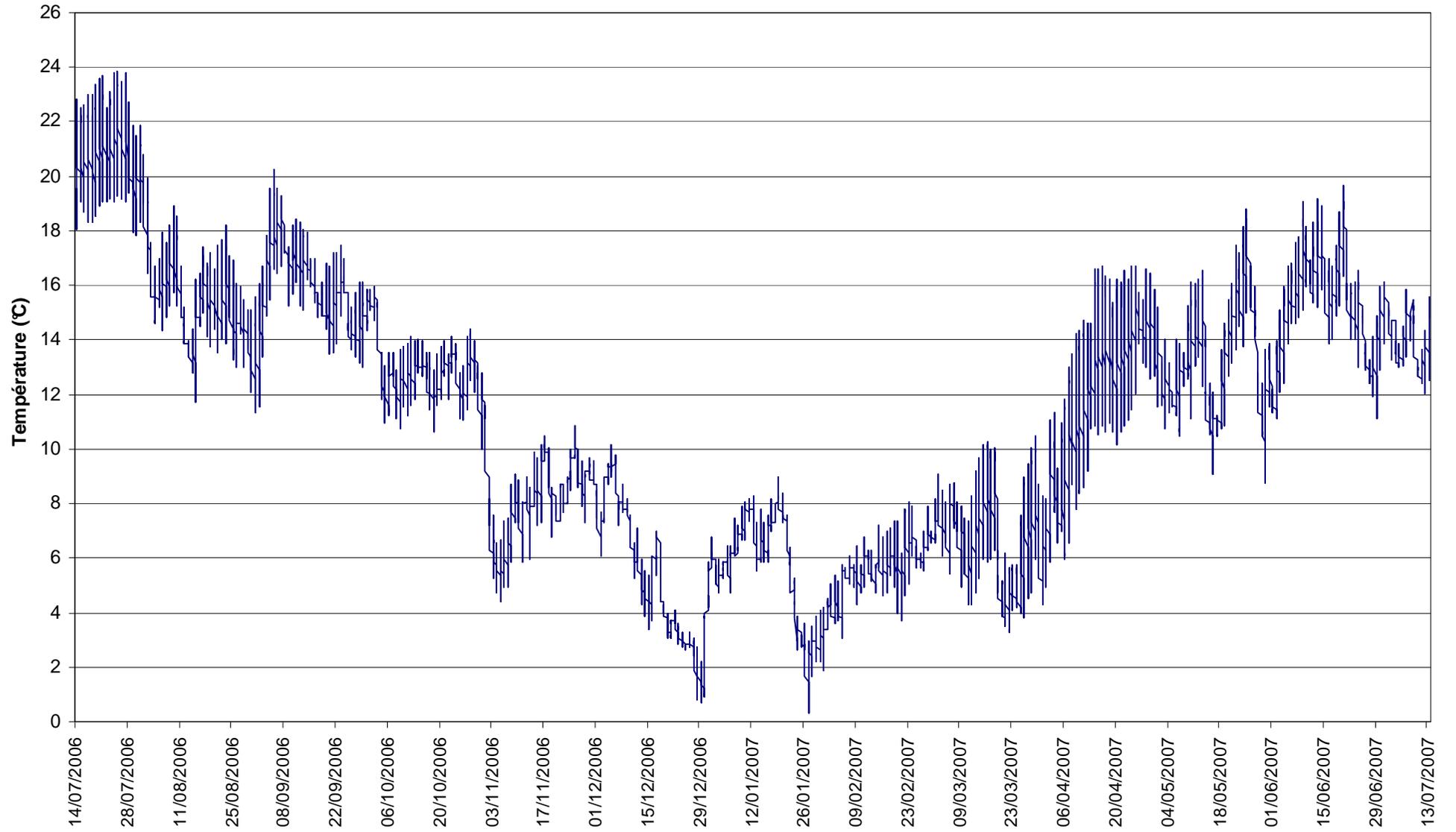
Uss19 : Rui de Chaudes Fontaines_Serrasson



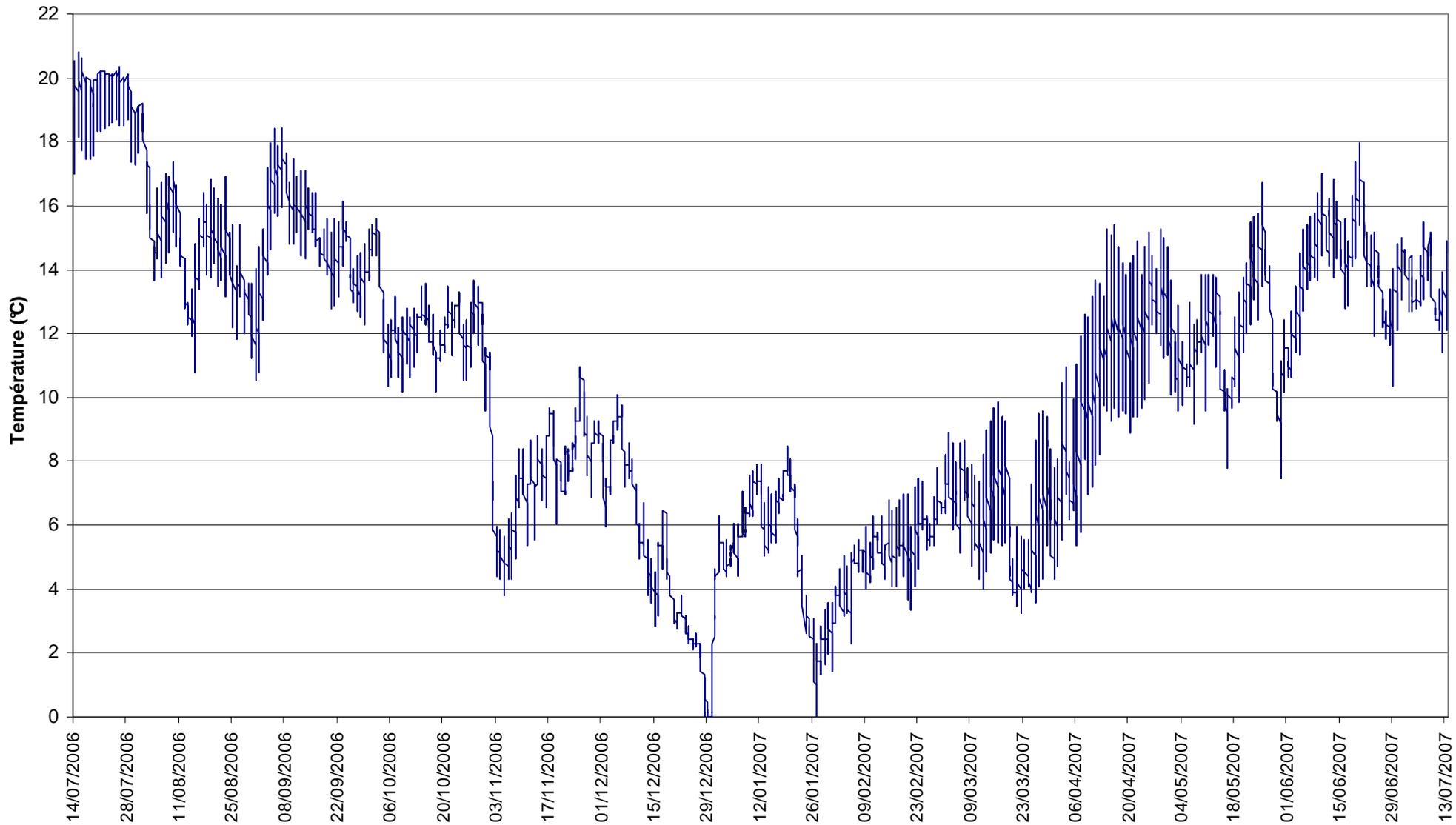
Uss20 : Rui de Botilly_les Granges



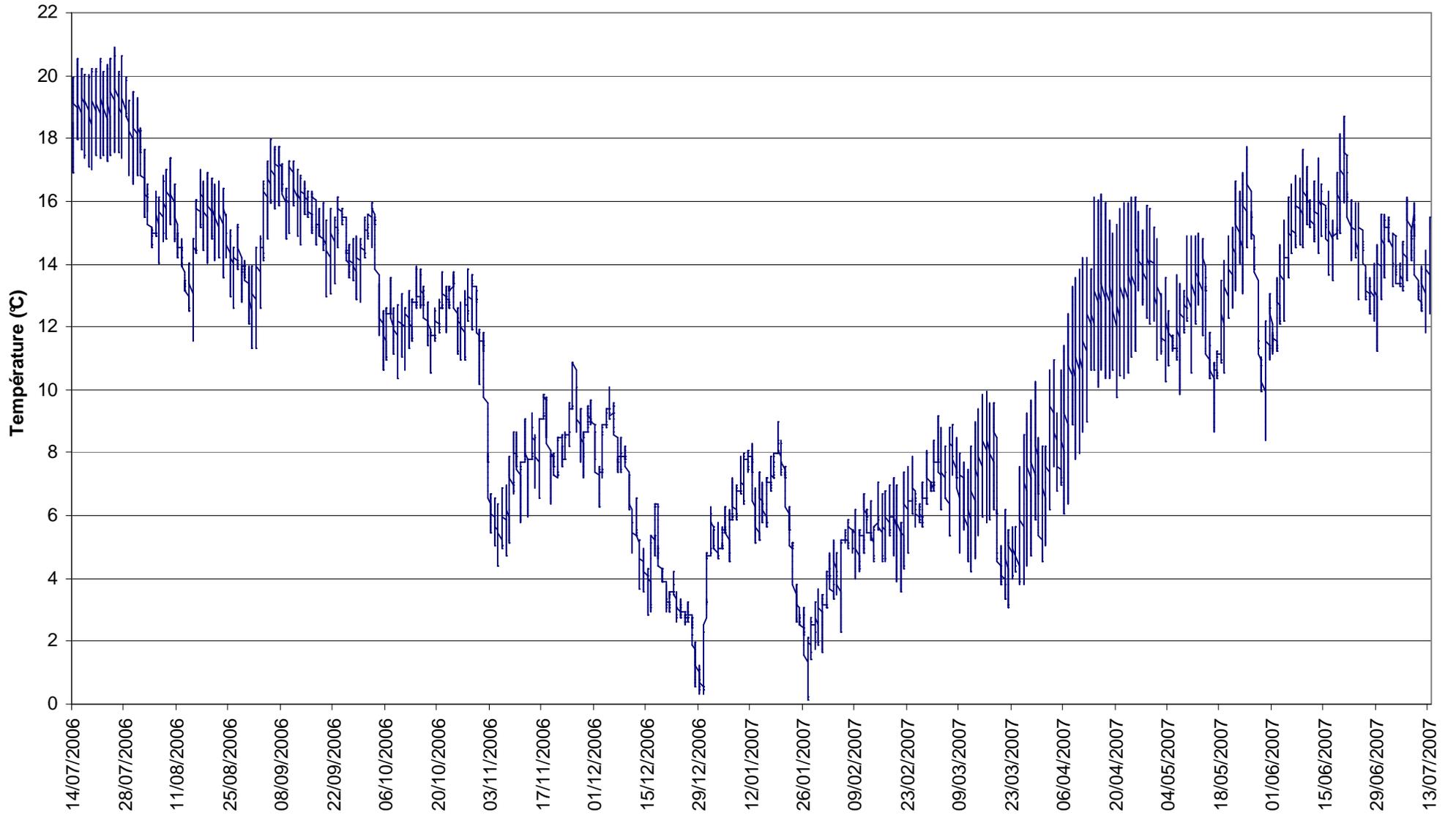
Uss53 : Le Flon_Minzier



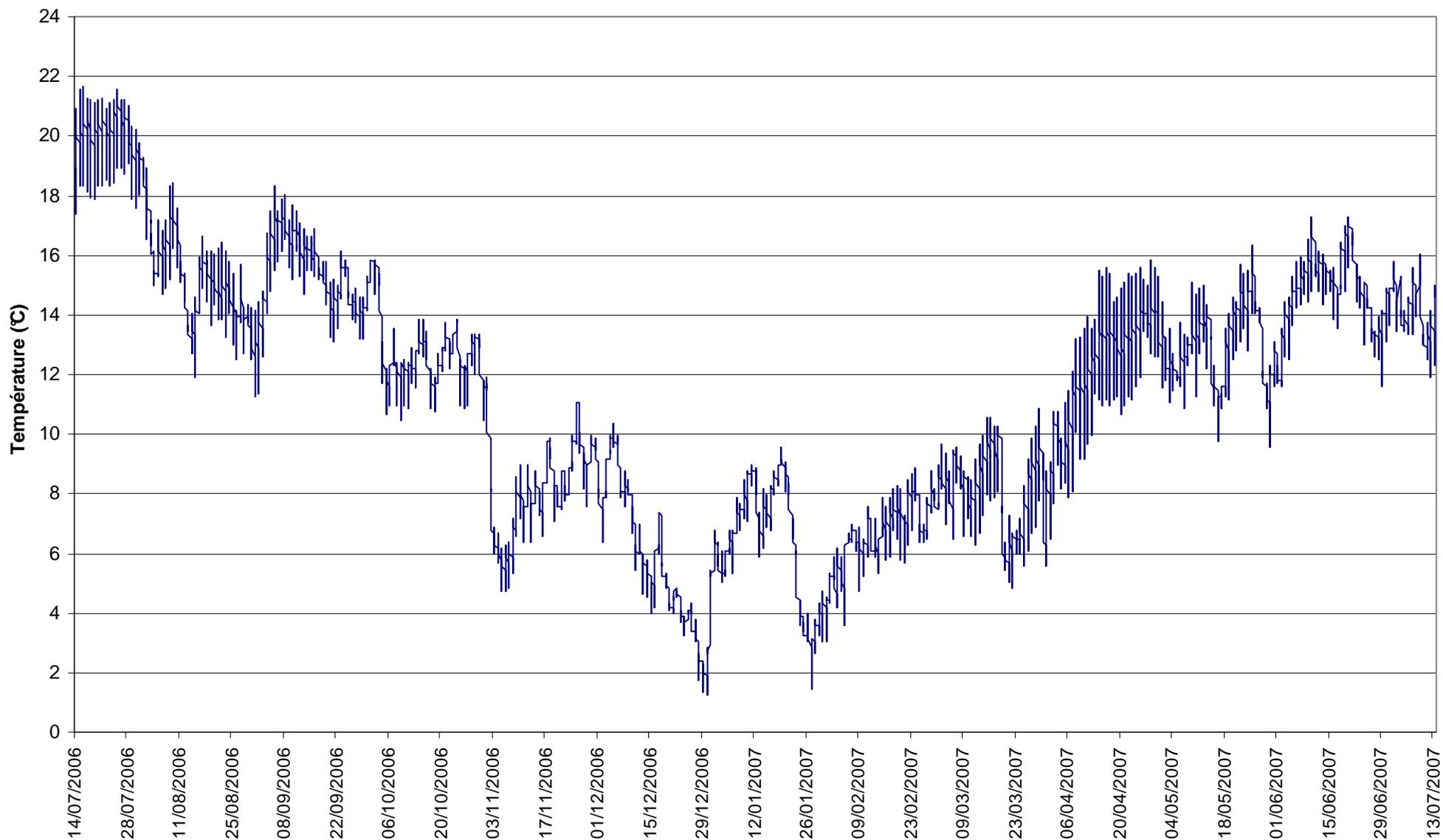
Uss50 : Le Fornant_Source des eaux chaudes



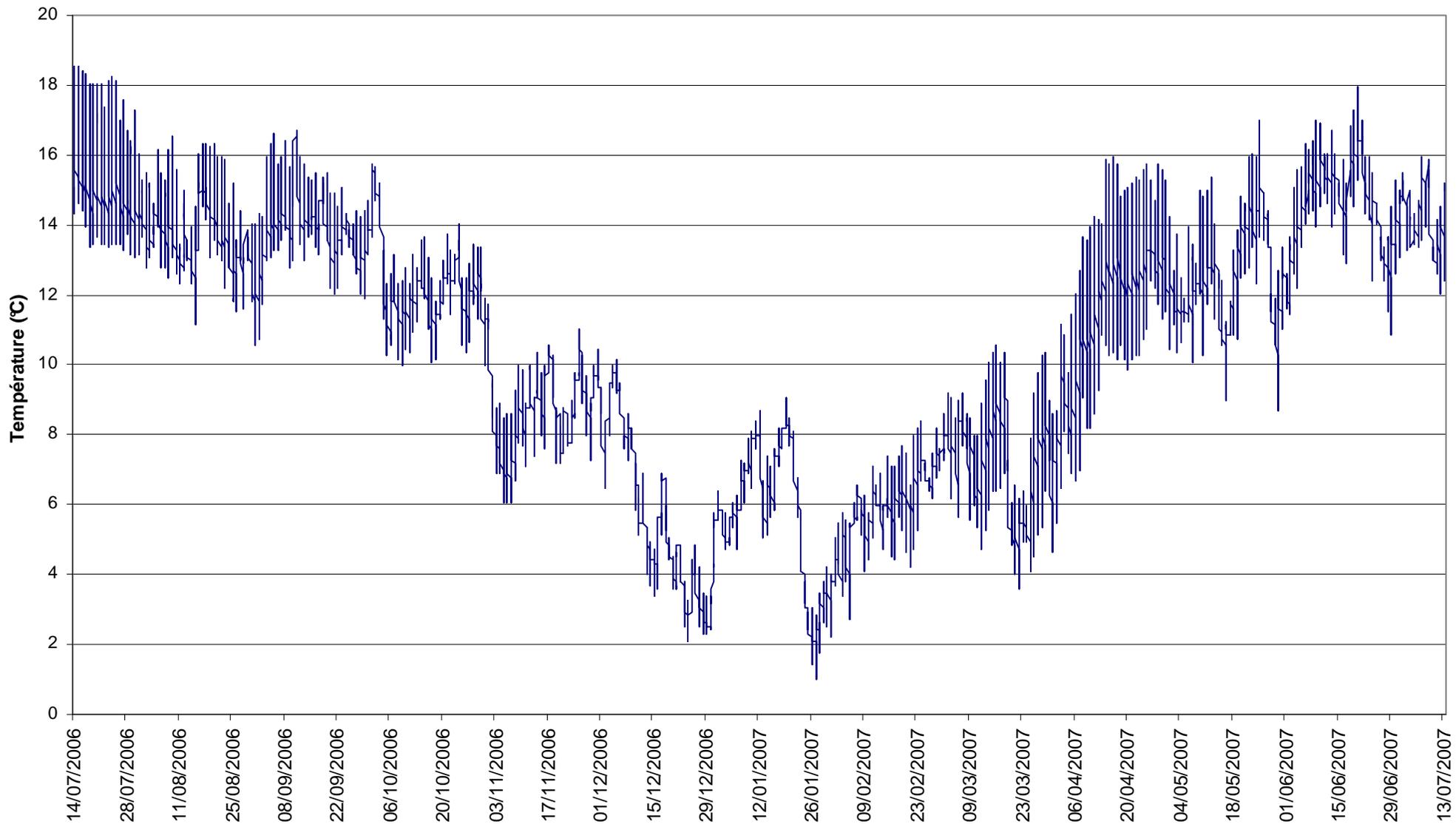
Uss45 : Fornant_La Garde



Uss11 : Fornant_Amont N508



Uss25 : Rui de St Pierre_Mons



Uss22 : ruisseau de Croasse du 14/04/2006 au 20/04/2007

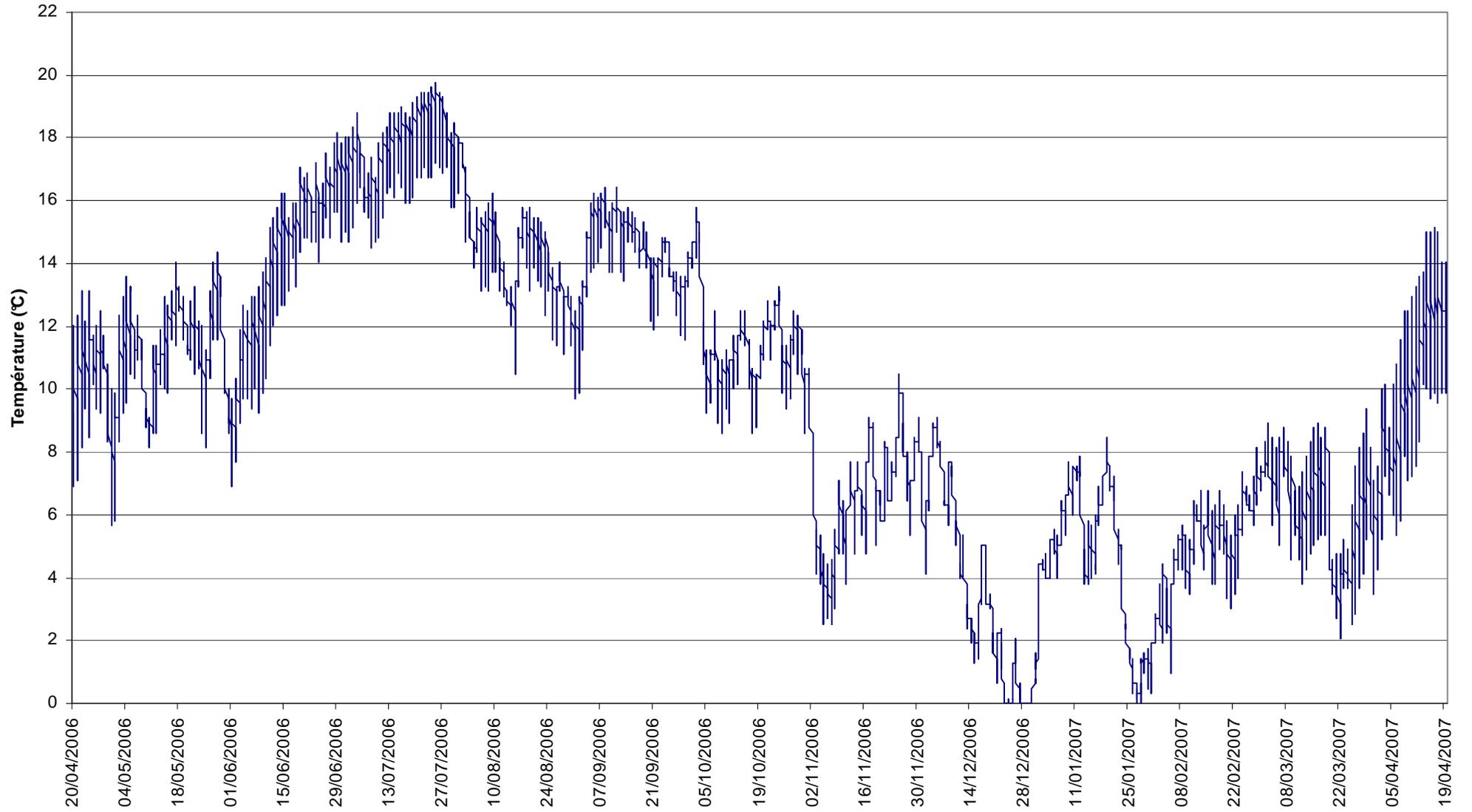


Tableau des valeurs des paramètres thermiques interprétés sur les 29 stations étudiées sur le bassin des Usses.

cours d'eau		Station	T Maxi H	Amplitude An moyJ	T Moy 30 jours	Nbjours T 4 19	Nb Heures SupEg 25	Nb Heures Max Seq SupEg 25	Nb Heures SupEg 19	Nb Heures Max Seq SupEg 19	Nb Heures Max Seq SupEg 15	Nb Jours D3	T > 12°C	T < 1°C	
Usses		Uss13	18,37	16,76	15,03	304	0	0	0	0	234	142	7	69	
		Uss01	20,71	19,24	16,92	327	0	0	161	16	486	134	17	24	
		Uss02													
		Uss03	20,329	14,94	15,46	348	0	0	48	5	41	124	8	0	
		Uss04	23,581	19,99	18,34	323	0	0	313	68	505	125	12	10	
		Uss05	25,708	20,12	18,87	321	12	3	358	17	508	123	16	12	
		Uss06	26,683	22,36	20,45	320	74	8	587	286	718	123	19	11	
		Uss48	23,677	18,62	19,32	331	0	0	569	21	722	119	13	0	
	Uss42														
RG	RdL	Uss26	16,332	14,74	14,05	322	0	0	0	0	16	138	9	16	
		Uss14													
	GV	Uss15	19,54	18,26	16,15	322	0	0	26	8	462	136	14	176	
	PV	Uss18	16,38	14,79	13,82	312	0	0	0	0	13	145	0	91	
	RdMa	Uss23	19,67	17,9	16,13	329	0	0	24	6	355	134	13	43	
	PUss	Uss47	18,521	15,77	15,56	345	0	0	0	0	261	126	9	5	
		Uss51	21,951	17,77	16,74	344	0	0	79	13	460	125	10	7	
		Uss08	21,664	19,85	17,9	323	0	0	251	19	505	126	14	68	
	RdCF	Uss09	15,76	11,21	13,48	362	0	0	0	0	7	117	0	0	
	RdB	Uss19	19,282	16,68	16,21	343	0	0	11	5	459	125	11	9	
RdC	Uss20	18,521	15,33	15,07	341	0	0	0	0	71	129	9	11		
	Uss22	19,78	18,51	17,4	327	0	0	63	10	546	150	13	111		
RD	CI	Uss16	25,31	21,37	15,71	274	3	2	143	17	357	156	13	108	
	NT	Uss17													
	RdMo	Uss24	21,51	19,99	18,02	326	0	0	287	39	508	124	14	67	
	For	Uss53	23,869	19,89	18,76	326	0	0	399	211	509	124	16	8	
		Uss50	20,805	19,48	17,66	330	0	0	232	19	503	128	13	45	
		Uss45	20,901	18,43	17,52	339	0	0	176	13	505	124	15	19	
	RdSP	Uss11	21,664	18,25	18,28	334	0	0	289	39	513	116	8	0	
	Uss25	18,521	14,42	14,72	350	0	0	0	0	62	122	15	0		

	T Maxi H	Amplitude An moyJ	T Moy 30 jours	Nbjours T 4 19	Nb Heures SupEg 25	Nb Heures Max Seq SupEg 25	Nb Heures SupEg 19	Nb Heures Max Seq SupEg 19	Nb Heures Max Seq SupEg 15	Nb Jours D3	T > 12°C	T < 1°C
Uss	22,72	18,86	17,77	324,86	12,29	1,57	290,86	59,00	459,14	127,14	13,14	18,00
RG	18,85	16,44	15,68	333,64	0,00	0,00	41,27	5,55	286,82	131,91	9,27	48,82
RD	21,80	18,83	17,24	325,57	0,43	0,29	218,00	48,29	422,43	127,71	13,43	35,29