



**HAL**  
open science

## Revue des données de température du bassin des Avenelles

Agnès Rivière, Nicolas Flipo, Patrick Ansart, Aurélien Baudin, Loïc Marlot

► **To cite this version:**

Agnès Rivière, Nicolas Flipo, Patrick Ansart, Aurélien Baudin, Loïc Marlot. Revue des données de température du bassin des Avenelles. 2018. hal-04357569

**HAL Id: hal-04357569**

**<https://hal.inrae.fr/hal-04357569>**

Submitted on 21 Dec 2023

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

## Revue des données de température du bassin des Avenelles

Agnès Rivière<sup>1\*</sup>, Nicolas Flipo<sup>1</sup>, Patrick Ansart<sup>2</sup>, Aurélien Baudin<sup>1</sup>, Loïc Marlot<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centre de Géosciences, Mines ParisTech, Université Paris Sciences & Lettres, Fontainebleau

<sup>2</sup> Irstea, UR HYCAR, Boissy-le-Chatel

\* agnes.riviere@mines-paristech.fr

### **Résumé**

*Une revue des données de température du bassin des Avenelles est présentée en détail. Une évaluation de l'évolution des variations à différentes échelles de temps pour chaque compartiment de l'hydrosystème (air, rivière, zone hyporhéique, berges, et aquifère) est faite.*

*Une augmentation de 0.05°C/an de la température de l'air et une augmentation du nombre de jours supérieurs à 20 °C sont observés. Dans les aquifères l'augmentation de température est plus marquée, atteignant 0.1 °C/an.*

*Tous les compartiments sont assujettis à des variations saisonnières. Le régime thermique annuel de la rivière est similaire à celui de l'air, avec des températures élevées en période estivale et faibles en période hivernale. La température de l'aquifère est plus faible en période estivale et plus élevée en période hivernale. La température des berges a un cycle entre ces deux régimes.*

*Les températures de l'air et de la rivière sont soumises à deux cycles liés à la variation du rayonnement solaire incident. Le premier cycle est lié aux saisons. Le second cycle correspond à la rotation de la terre sur elle-même et l'alternance entre le jour et la nuit. Ce second cycle dépend du premier, de la durée du jour et de la nuit évoluant selon la saison. Ceci est modulé par l'ombrage, l'humidité et le vent. Les variations diurnes des compartiments aquifères et berges sont nulles. Celles-ci semblent être non nulles dans les forages.*

### **Points clefs**

- ✓ *Tendance de l'augmentation de la température des différents compartiments de l'hydrosystème de l'ordre 0.1°C/an*
- ✓ *Deux tendances sinusoïdales se superposent à l'augmentation de température : saisonnière pour tous les compartiments et diurne pour la rivière et l'air*
- ✓ *Régime thermique annuel*

## Introduction

D'après le rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2018), le changement climatique à long terme fait référence à une modification des paramètres climatiques dans le temps et dans l'espace (local, régional et mondial) et dont l'impact peut inclure l'élévation du niveau de la mer, la désertification, la diminution des ressources, de la biodiversité et d'eau douce, et l'accentuation des phénomènes hydrologiques et thermiques extrêmes tels que les inondations, les sécheresses et les canicules. La variation de la température devient une variable essentielle de quantification des impacts des changements climatiques afin d'être capable de comprendre l'évolution de la qualité de l'eau dans les différents compartiments mais aussi de prédire leur état écologique futur.

Ce rapport présente l'évolution de la température dans les différents compartiments de l'hydrosystème des Avenelles c'est-à-dire l'air, la rivière, les berges, la zone hyporhéique (zone de mélange entre les eaux souterraines et les eaux de surface) et les aquifères de 2011 à aujourd'hui. Il met en lumière de manière qualitative les mécanismes d'amortissement et de diffusion de la température à différentes échelles de temps depuis l'air et son influence sur la rivière jusqu'aux aquifères de plateau en passant par l'interface nappe-rivière (Figure 1).

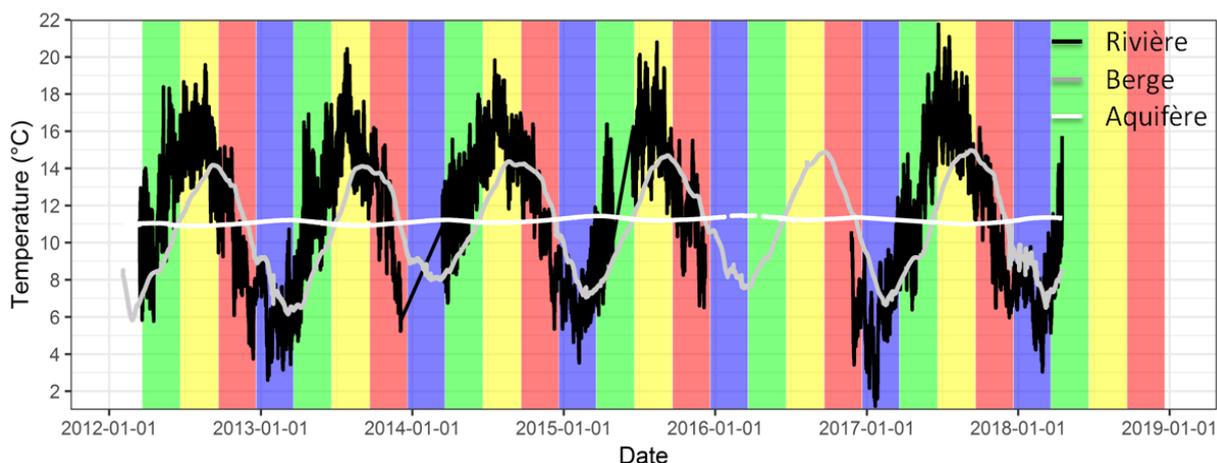


Figure 1. Evolution temporelle de la température dans les trois compartiments de l'hydrosystème : rivière, berge et aquifère. Les couleurs de fond marquent les saisons : printemps en vert, été en jaune, automne en rose, et hiver en violet

## 1. Présentation du bassin

Les travaux de recherche sur le bassin des Avenelles ont commencé, au début des années 60, par des études sur le drainage et les épisodes de crues par IRSTEA. Les variables hydrologiques sont suivies depuis 1962 et disponibles sur la BDOH (Tallec et al., 2015). Ce bassin a depuis également profité du programme PIREN-Seine et de l'équipex CRITEX (Plan d'Investissement d'Avenir) qui ont i) contribué à alimenter la BDOH en données thermiques et ii) implanté de nouveaux instruments de suivi des échanges d'eau nappe-rivière (Mouhri et al. 2013). Si la température de l'air comporte des séries plus longues (de 1962 à 1983 pour la station météorologique de Mélarchez, et de 1971 à aujourd'hui pour la station météorologique de Boissy-le-Chatel), l'ensemble des compartiments de l'hydrosystème a démarré en 2011.

Le bassin versant des Avenelles est un sous bassin du bassin de l'Orgeval situé à environ 70 km à l'est de Paris. Sa superficie est d'environ 46 km<sup>2</sup>. Le bassin versant est représentatif des têtes de bassin de l'hydrosystème Seine, caractérisés par une couverture agricole importante. Le réseau de mesure du bassin versant est constitué de stations météorologiques, de stations limnimétriques jaugées à l'exutoire de chaque

sous bassin, de stations pluviométriques réparties sur tout le bassin et de piézomètres (Figure 2). Le bassin des Avenelles dispose de longues séries de données hydrologiques dont les premières ont débuté en 1962.

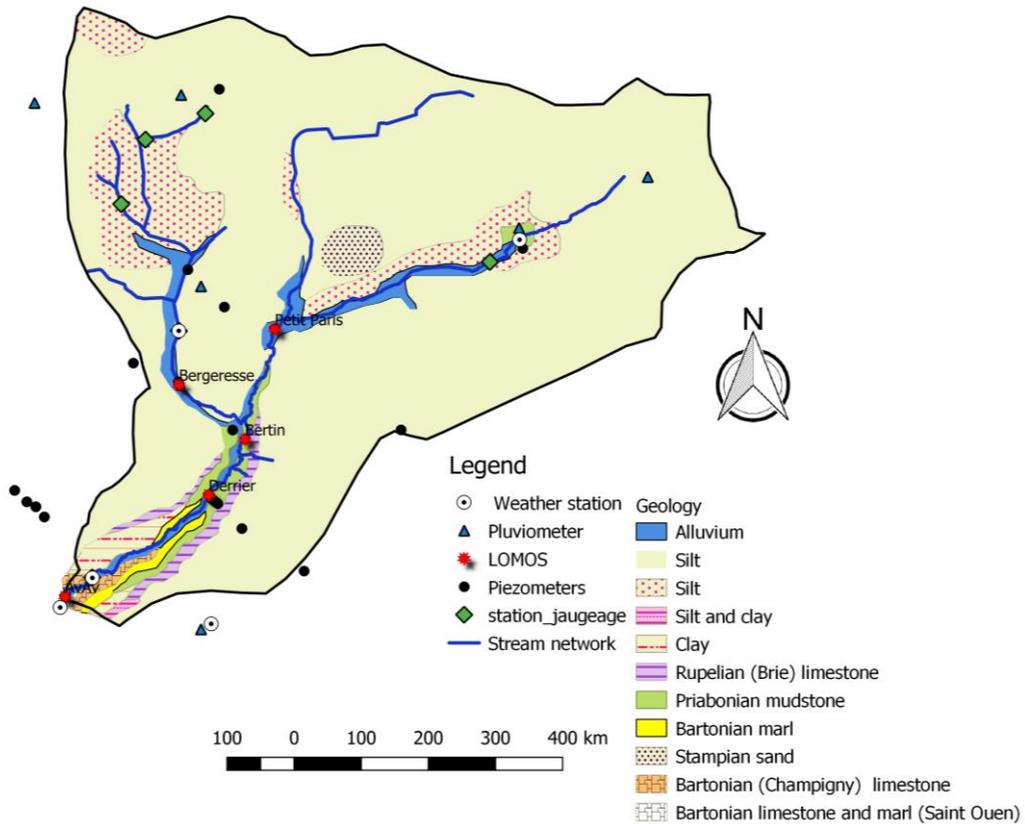


Figure 2. Instrumentation du bassin

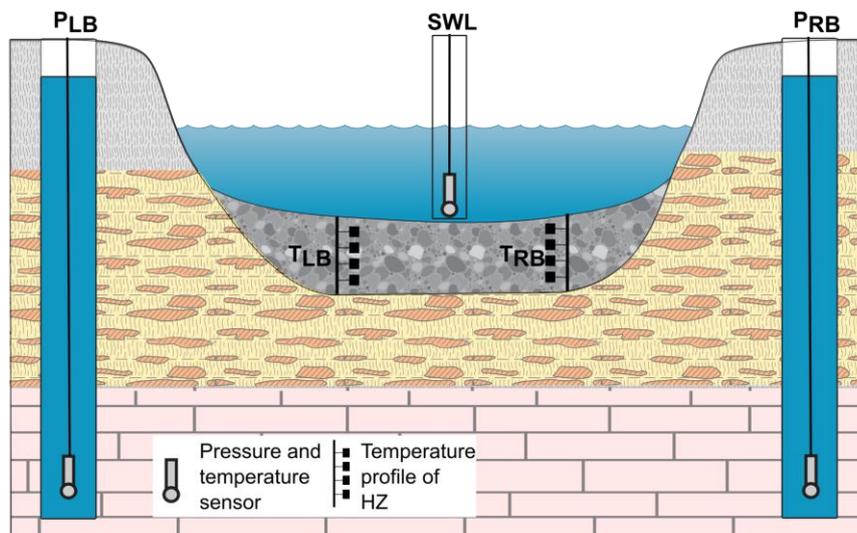


Figure 3. Station de mesures des échanges nappe-rivière (Station LOMOS)

Les altitudes du bassin des Avenelles varient entre 80 m et 186 m. Les altitudes sont décroissantes du nord au sud vers l'exutoire.

En ce qui concerne l'occupation du sol, le bassin des Avenelles présente 81% de sa surface en terres agricoles, 18% en forêts et 1% en zones urbaines (Rivière et al., 2015). Le bassin des Avenelles est un site expérimental privilégié tout d'abord parce qu'il est représentatif de l'hydrosystème Seine du point de vue des pratiques agricoles et de la morphologie des bassins versants et aussi parce qu'il dispose de longues séries de données météorologiques, hydrologiques et hydrogéologiques collectées dans la base de données BDOH-Oracle (Tallec et al., 2015). De plus, un réseau de mesures intégrant la multi-dimensionnalité des échanges d'eau nappe-rivière a été mis en place sur le bassin pendant la phase VI du PIREN-Seine (Mouhri et al., 2013) (Figure 3). Ce réseau de mesure se base sur le traçage de l'eau par la température.

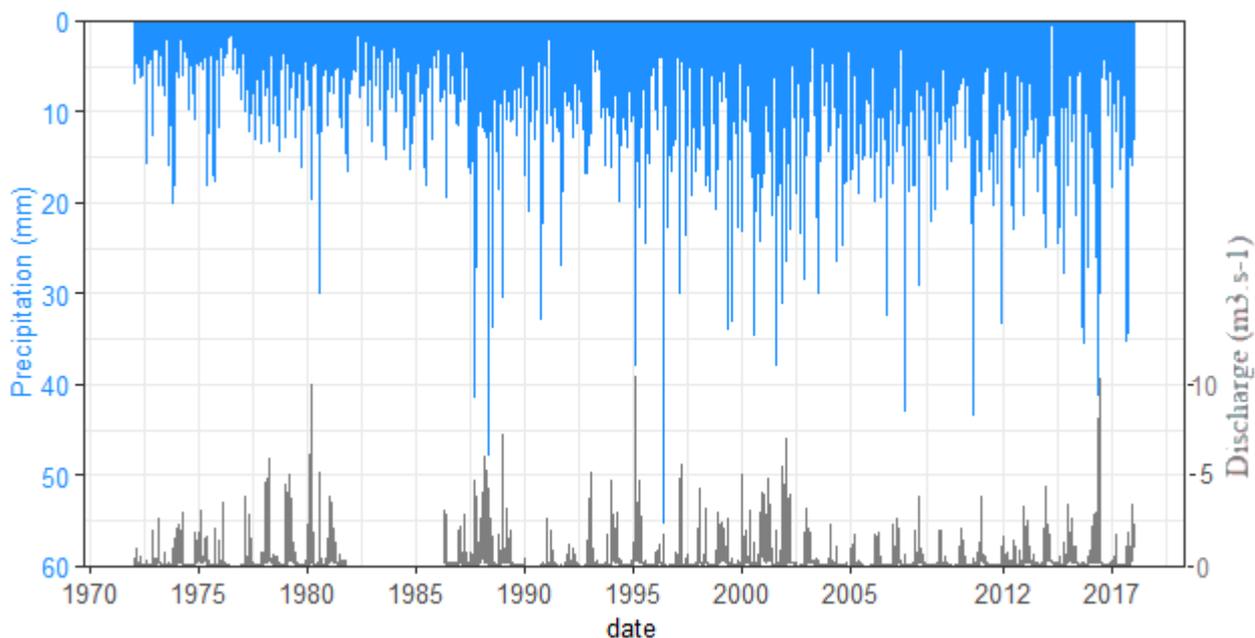


Figure 4. Chronique des précipitations totales journalière et débit à la station des Avenelles

Le bassin est soumis à un climat océanique tempéré. La pluviométrie annuelle est d'environ 658 mm. La température moyenne de l'air est d'environ 10°C avec des valeurs minimales de l'ordre de 4°C en hiver et maximale de l'ordre de 19°C en été. La Figure 4 présente les chroniques journalière de la pluie totale et du débit de la station des Avenelles. L'histogramme de la pluie totale mensuelle du bassin de 1972 à 2017 est présenté dans la Figure 5. La pluie mensuelle moyenne est très homogène toute l'année (40-50 mm/mois). Les valeurs extrêmes interviennent soit pendant les périodes hivernales de décembre à février soit à la fin du printemps (mi-juin).

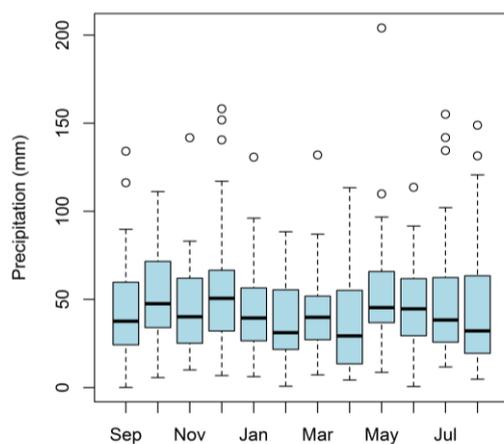


Figure 5. Précipitation mensuelle (1972-2017)

## 2. Variations de la température de l'air

Les stations de mesures de la température de l'air sont indiquées dans la Figure 6. Cinq stations mesurent la température proche de la surface du sol (5-10 cm) et deux stations mesurent la température à 150 cm. Le *Tableau 1* indique le nombre de données par station, le pas d'échantillonnage ainsi que les périodes de mesure.

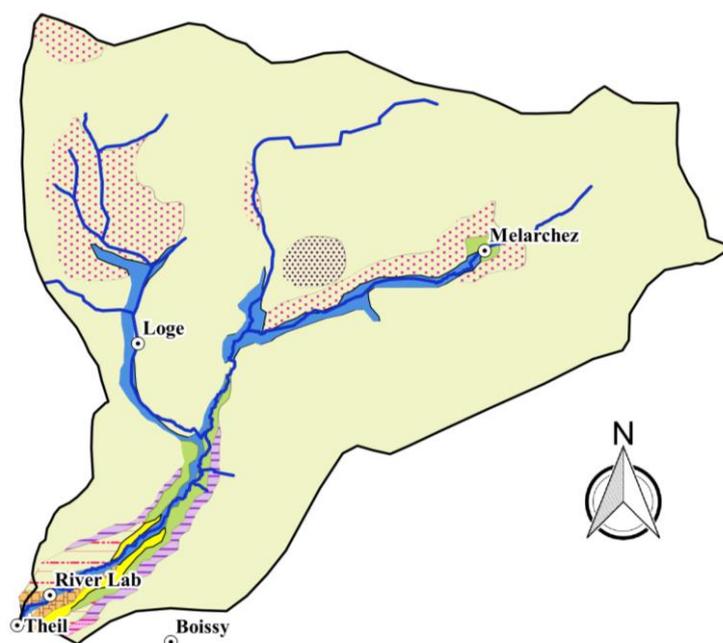


Figure 6. Position des mesures de la température de l'air. River Lab correspond à la station Avenelles

Tableau 1. Caractéristiques des stations de mesures de la température de l'air

Station	Variable	Début	Fin	Nb de données	Pas de temps
Avenelles et AvAv	T° air	2011	-	56296	horaire
Boissy	T° air (150 cm)	1994	-	184282	horaire
Boissy_0	T° air (10 cm)	2007	-	61881	horaire
Loge	T° air	2013	-	35311	horaire
Melarchez	T° air	2015	-	24476	horaire
Melarchez_old	T° air	1963	1982	7305	journalière
Theil	T° air	2013	-	43274	horaire

## 2.1 Variations annuelles

Les températures de l'air en moyennes annuelles sont tracées dans la *Figure 7*. Il est difficile de statuer sur un gradient entre les différentes zones du bassin, ce qui s'explique par le fait que le bassin est de petite taille et très plat. Les températures de Melarchez\_old et de Boissy sont mesurées à 150 cm du sol et les autres températures sont mesurées à la surface du sol. Les données récentes semblent indiquer que la température est plus faible sous la ripisylve à l'aval du bassin.

Les chroniques supérieures à 20 ans indiquent une tendance générale à l'augmentation de 0.05°C/an. Le nombre de jours inférieurs à 5°C diminue significativement entre les deux périodes 1962-1982 et 1994-2018 (*Figure 7 a et b*) ; celui-ci est en moyenne de 75 jours avant 1982 et seulement de 40 jours depuis 1994. Le même constat a été fait par Thomas (2018) sur le bassin de la Seine. Le nombre de jours avec une température moyenne supérieure à 20 °C a quant à lui augmenté entre les deux séries ; il était de 13 jours entre 1962 et 1983.

Figure 8 c et d) et de 20 jours entre 1994 et 2018. Sur la période d'étude de 2010 à 2017, le nombre de jours froids par année oscille régulièrement avec une période de 3 ans environ. Par contre, le nombre de jours chauds ( $T > 20^{\circ}\text{C}$ ) augmente sur les trois dernières années (2015, 2016 et 2017). Nous allons par la suite regarder comment les différents compartiments de l'hydrosystème transforment ce signal (surface du sol, rivière, berge et aquifère)

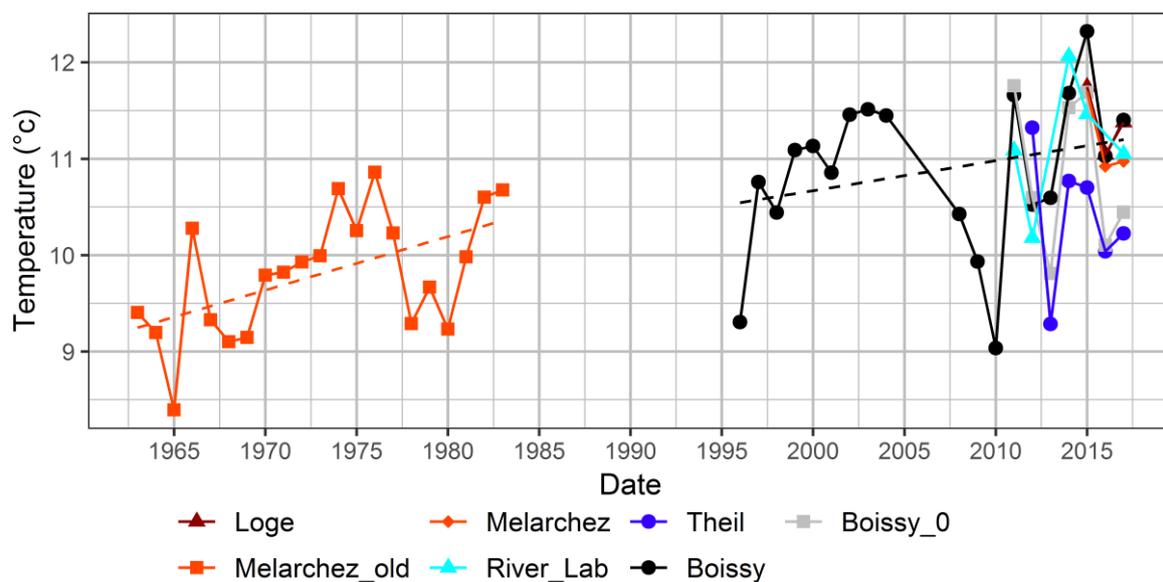


Figure 7. Température de l'air annuelle pour les différentes stations

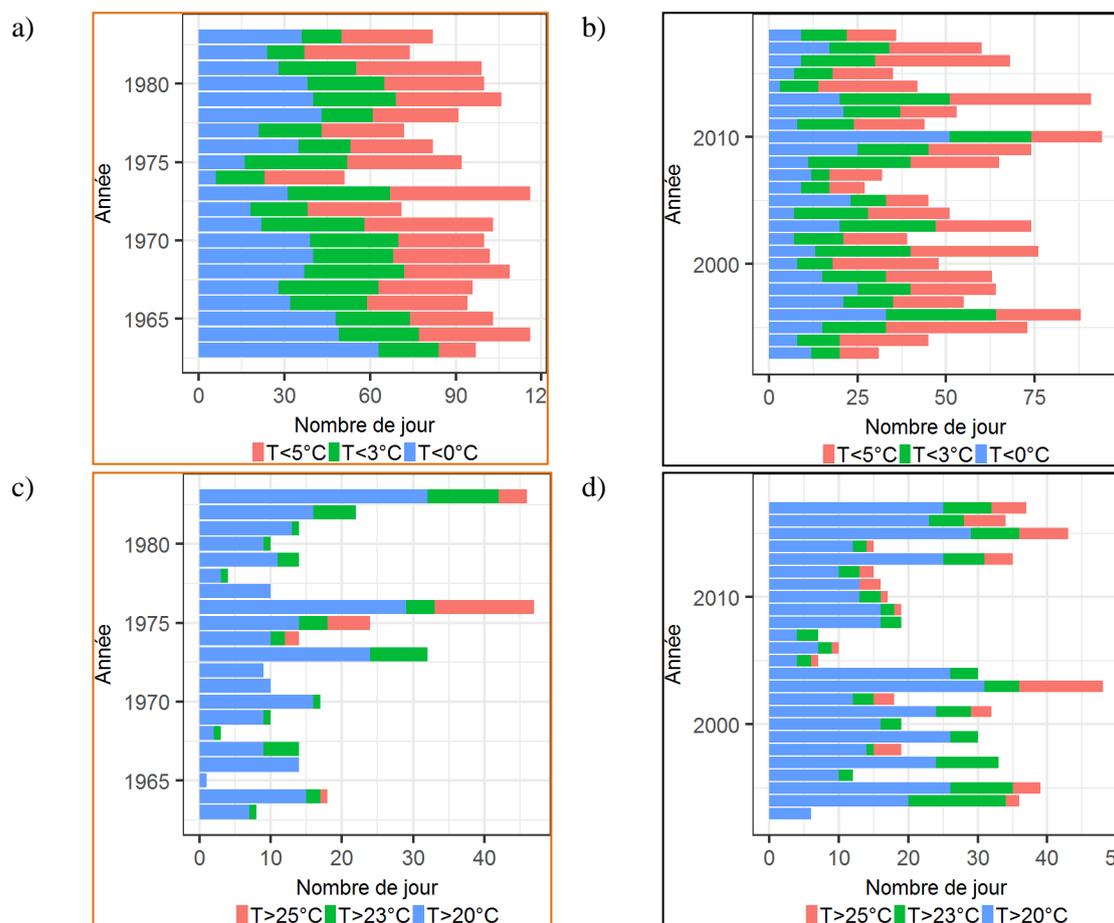


Figure 8. Nombre de jours froids par année : a) Melarchez\_Old (1962-1982) et b) Boissy (1994-2018) ;  
 Nombre de jours chauds par année : c) Melarchez\_Old (1962-1982) et d) Boissy (1994-2018) ;

## 2.2 Variations journalières annuelles

Cette partie rend compte de la variation journalière de température de l'air au cours de l'année. Les températures journalières moyennes calculées sur toute la chronique de mesure sont présentées sur la *Figure 9* et la *Figure 10*. *Régime des variations des températures journalières : d) Avenelles, e) Theil et f) Boissy (10cm) et g) Boissy (150 cm)* Y sont également reportés les températures maximum et minimum, ainsi que les quantiles 95 et 5. Le mois le plus froid est le mois de décembre, le plus chaud celui de juillet. Les valeurs fluctuent entre  $-5^{\circ}\text{C}$  et  $30^{\circ}\text{C}$ . Pour chaque station, les températures sont plus faibles entre décembre et mars avec des minimas en décembre et février. Les températures les plus élevées interviennent au mois de juillet et d'août. Les températures situées à la surface du sol varient plus fortement que celles mesurées à 150 cm au-dessus du sol. Les variations de l'humidité et de l'ombrage sont plus importantes à la surface du sol qu'à 150 cm. Les valeurs maximums sont de  $35^{\circ}\text{C}$  à la surface du sol alors qu'elles sont de  $28^{\circ}\text{C}$  à 150 cm. Les valeurs minimums sont plus faibles à la surface du sol. Les fluctuations observées sur les graphiques a), c), d) et e) de la *Figure 11* sont liées à l'altitude de mesure de la température. La température est mesurée pour ces stations à 5 cm du sol. Les températures varient donc sous l'influence des couverts végétaux qui modulent la température de l'air.

En comparant la chronique Melarchez\_old (*Figure 9 a*) et la chronique Melarchez (*Figure 9 b*), on observe que les différences entre les valeurs minimales et maximales sont environ de  $10^{\circ}\text{C}$  pour les deux périodes. Les températures journalières moyennes sont plus importantes pour la série actuelle que la série de 1962 à 1982. Un biais existe dans cette comparaison puisque les deux séries ne comportent pas le même nombre d'années. Les températures minimum sont plus élevées actuellement ( $-8^{\circ}\text{C}$ ) et les températures maximales extrêmes sont également plus élevées (atteignant  $40^{\circ}\text{C}$ ) que pendant la période de 1962 à 1982.

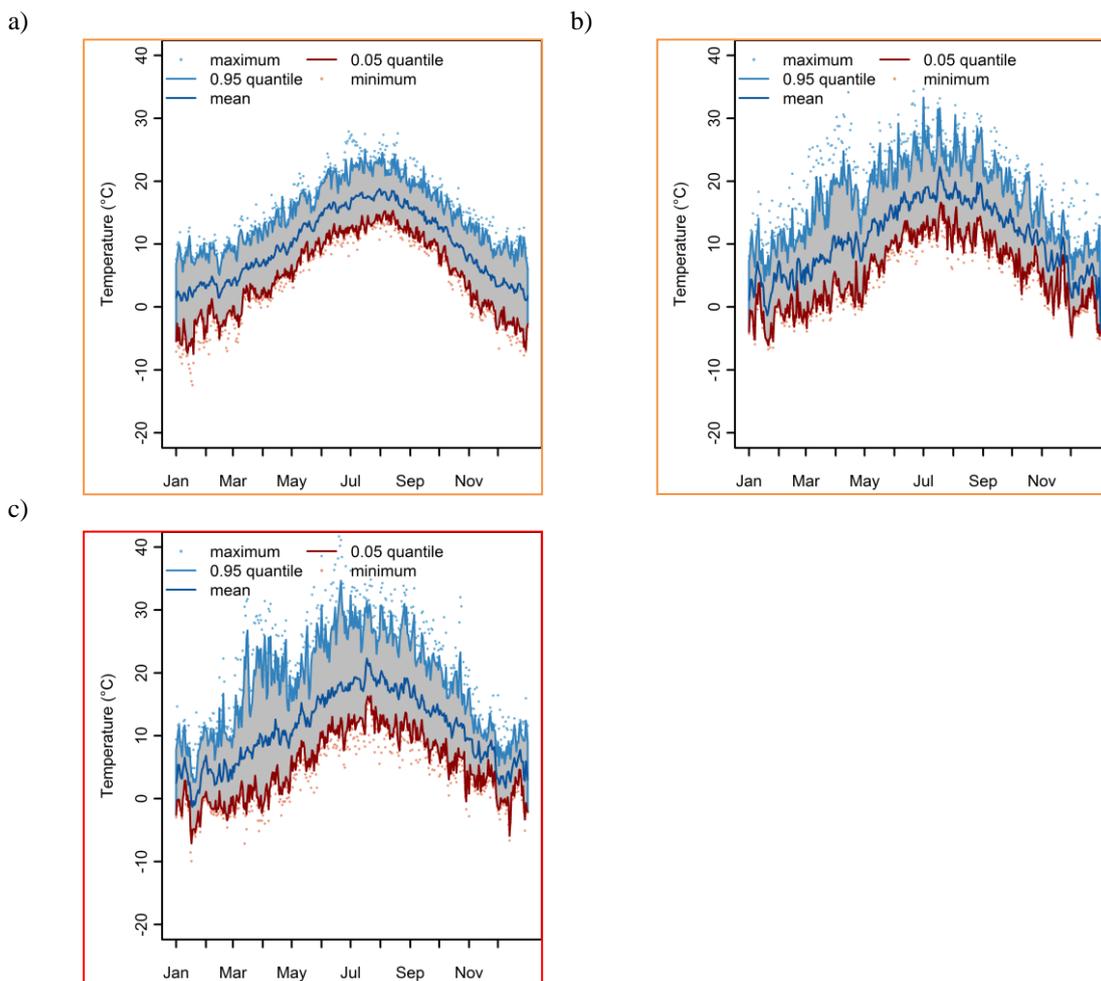
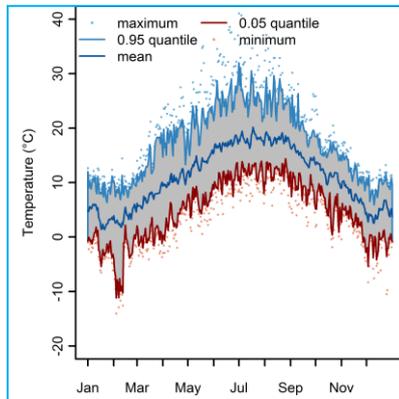
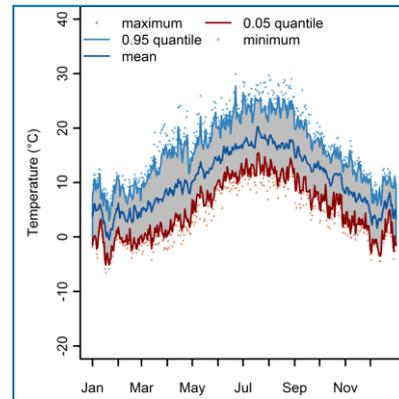


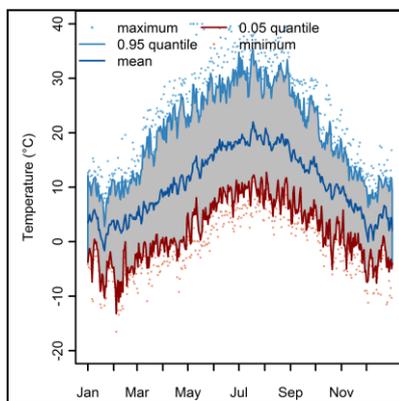
Figure 9. Régime des variations des températures journalières : a) Mèlarchez (1962-1983) et b) Mèlarchez (2010-2018), c) Loge



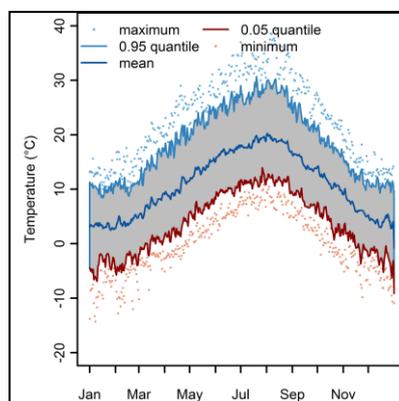
d)



e)



f)



g)

Figure 10. Régime des variations des températures journalières : d) Avenelles, e) Theil et f) Boissy (10cm) et g) Boissy (150 cm)

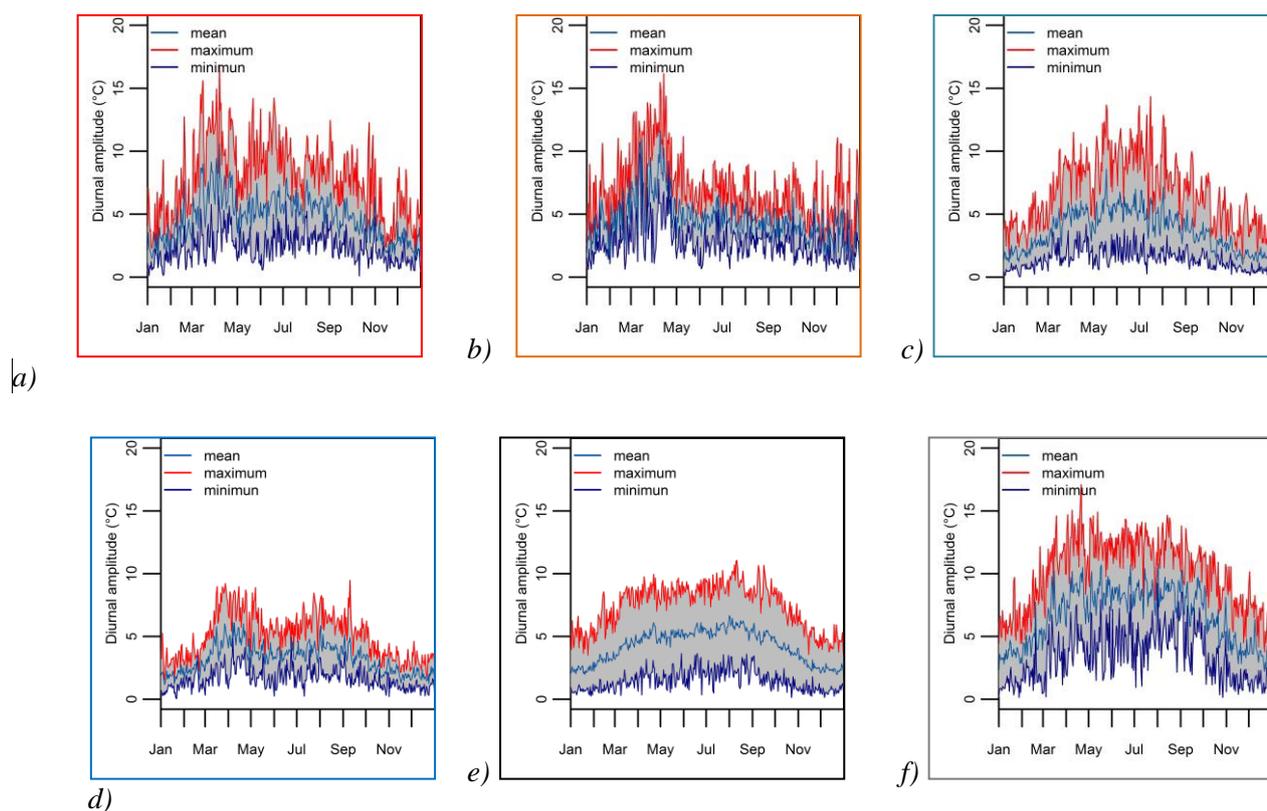


Figure 11. Amplitude diurne de la température a) Loge (2012-2018), b) Melarchez (2010-2018), c) Avenelles (2010-2018), d) Theil (2010-2018), e) Boissy (150 cm : 1994-2018) et f) Boissy (10 cm : 2007-2018)

### 2.3 Variations diurnes

La température de l'air est soumise à deux cycles liés à la variation du rayonnement solaire incident. Le premier cycle est lié aux saisons. Ce premier cycle a été présenté dans la partie précédente. Le second cycle correspond à la rotation de la terre sur elle-même et l'alternance entre le jour et la nuit. Ce second cycle dépend du premier, de la durée du jour et de la nuit évoluant selon la saison. De plus, ce second cycle dépend de l'altitude de la mesure et du couvert végétal. Cette partie est consacrée à la variation intra journalière de la température, c'est-à-dire à l'amplitude diurne. L'amplitude diurne correspond à la différence entre la température maximale et la température minimale divisée par 2.

Les moyennes, maxima et minima des amplitudes de chaque journée sur toutes les séries sont représentées Figure 11. Les amplitudes journalières moyennes varient entre 0.2°C et 16 °C. Les variations sont faibles pendant le mois de novembre, de décembre et de janvier. Les amplitudes de température augmentent à partir du printemps et diminuent pendant l'automne. Les fortes amplitudes de température se produisent le plus souvent au début du printemps. La durée des nuits est alors assez longue pour permettre un refroidissement conséquent, et l'ensoleillement diurne permet un réchauffement suffisant pour créer ces fortes amplitudes. Ceci est visible pour les stations de la loge, Mélarchez, Theil et Boissy à 10 cm. Ceci est moins visible pour la station des Avenelles. Cette station n'a pas fonctionné pendant deux printemps correctement. Ceci peut expliquer l'évolution obtenue.

La Figure 12 montre l'évolution temporelle de l'amplitude. Les amplitudes thermiques ont été les plus fortes durant l'année 1998, 2003, 2012, 2015 et 2018.

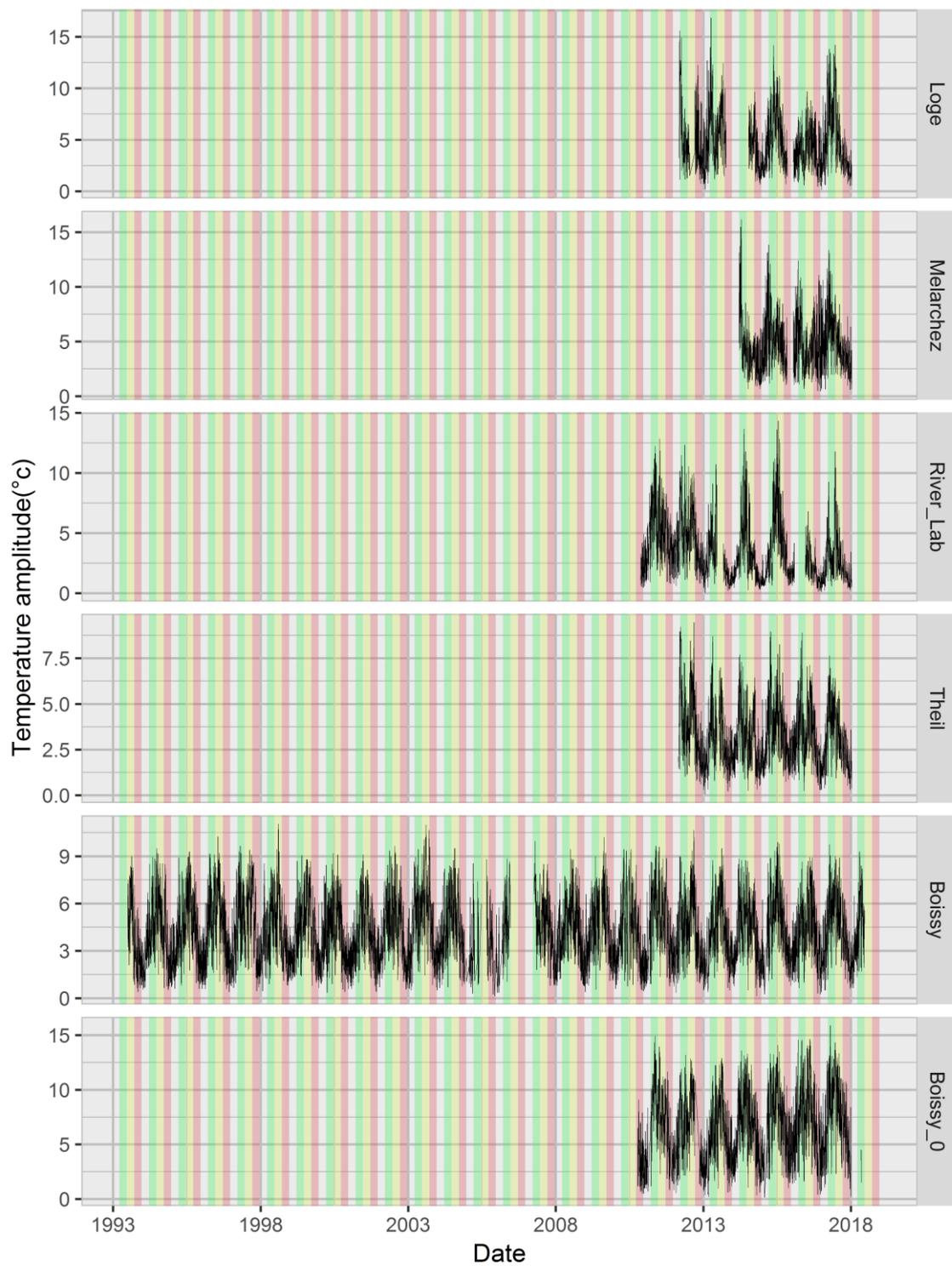


Figure 12. Amplitude diurnes de l'air en fonction du temps. River Lab correspond à la station Avenelles

### 3. Données dans les compartiments rivière, berge et aquifère

Sept stations de jaugeage sont présentes sur le bassin et cinq stations LOMOS (*Figure 13 et Tableau 2*). Quatre stations de jaugeage comportent une mesure de température en rivière (La loge, Mélarchez, Avenelles et Theil). Chacune des stations LOMOS possède une mesure de température en rivière. La *Figure 14* représente la position de tous les piézomètres sur le bassin. Les piézomètres donnant des réponses intermédiaires entre la température de berge et la température aquifère ne sont pas présentés dans ce rapport.

*Tableau 2. Caractéristiques des stations de mesures de la température des trois compartiments rivière, berge, aquifère*

<b>Station</b>	<b>Variable</b>	<b>Début</b>	<b>Fin</b>	<b>Nb de données</b>	<b>Pas de temps</b>
Loge	T° rivière	2012	-	33424	horaire
Melarchez	T° rivière	2014	-	218433	horaire
Bergeresse	T° rivière	2012	-	209544	15 minutes
Petit_Paris	T° rivière	2012	-	164705	15 minutes
Bertin	T° rivière	2012	-	210953	15 minutes
Derrier	T° rivière	2012	-	164705	15 minutes
Avenelles	T° rivière	2011	-	54891	horaire
AvAv	T° rivière	2013	-	180534	15 minutes
Theil	T° rivière	2012	-	48559	horaire
Bergeresse	T° berge	2012	-	198721	15 minutes
Petit_Paris	T° berge	2012	-	209718	15 minutes
Bertin	T° berge	2012	-	216197	15 minutes
Derrier	T° berge	2012	-	184838	15 minutes
AvAv	T° berge	2013	-	166780	15 minutes
Pzps1	T° aq	2012	-	190140	15 minutes
Pzps4	T° aq	2012	-	188136	15 minutes
Pzps6	T° aq	2012	-	190725	15 minutes
Chantemerle	T° aq	2011	-	107861	horaire
Granges	T° aq	2009	-	77682	horaire
Derrier	T° aq	2010	-	65065	horaire

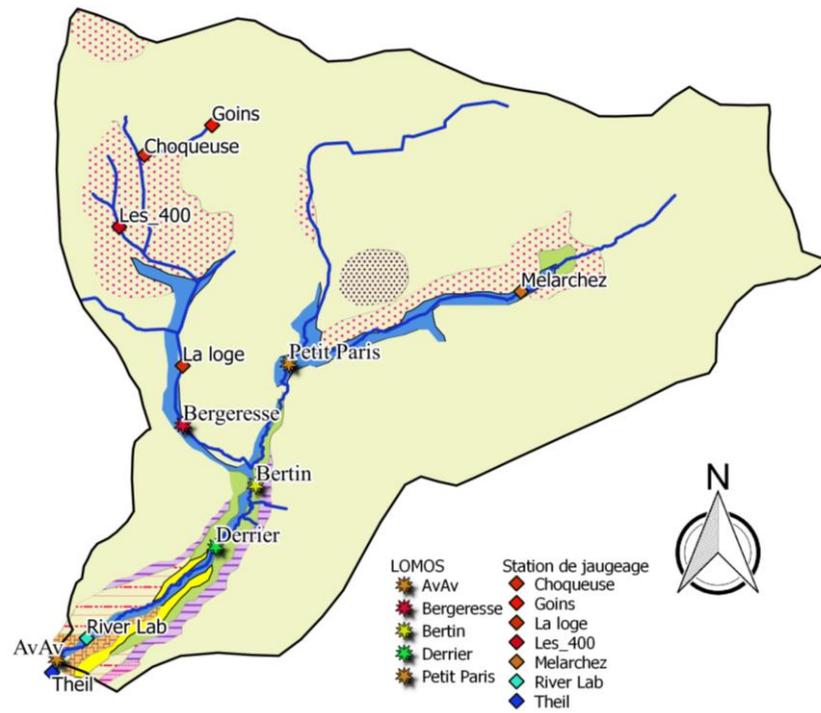


Figure 13. Position des stations de jaugeage. River Lab correspond à la station Avenelles

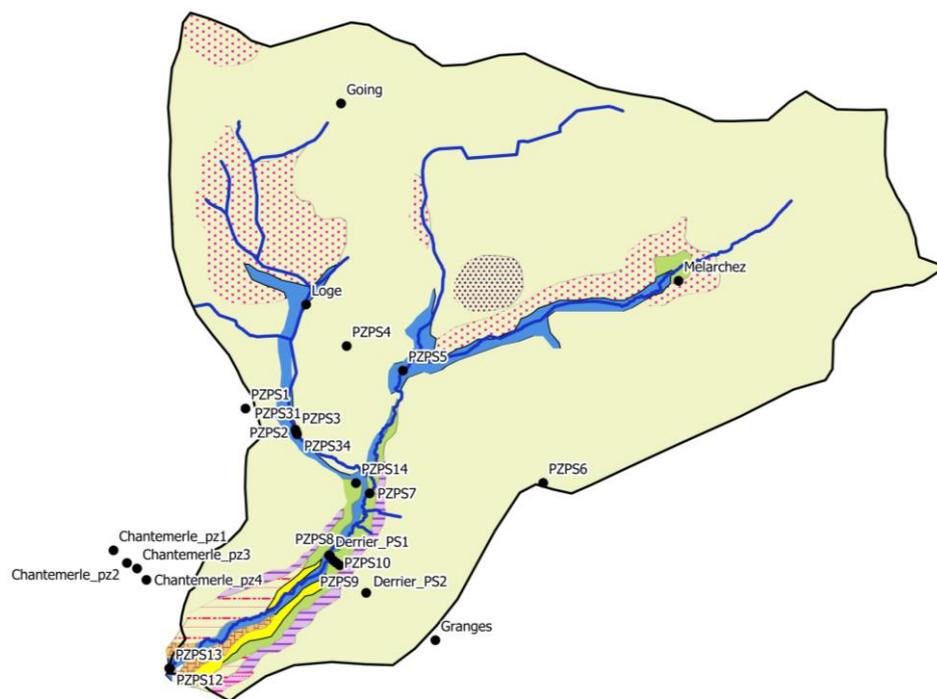
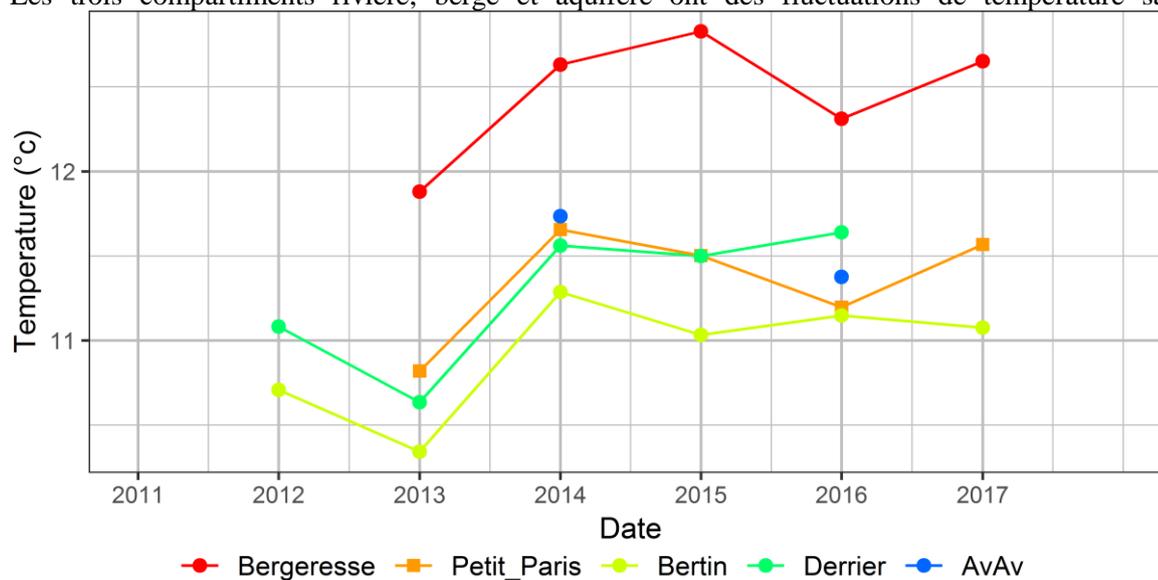


Figure 14 : Position des piézomètres

#### 4. Tendances inter annuelle

Les trois compartiments rivière, berge et aquifère ont des fluctuations de température saisonnière (



Figure,

Figure 15, Figure 16 et Figure 17). Cependant, les fluctuations n'interviennent pas aux mêmes périodes de l'année.

Ces tendances sont :

- (i) La tendance interannuelle de la rivière qui suit celle de la température de l'air. Les températures minimales sont enregistrées en hiver et les températures maximales en été (Figure et Figure 15).
- (ii) La température des berges est plus faible au mois de mars et plus élevée au cours des mois de septembre à octobre (Figure 16).
- (iii) La température de l'aquifère est maximale au cours des mois de décembre et janvier et minimale pendant les mois de juillet à Septembre (Figure 17).

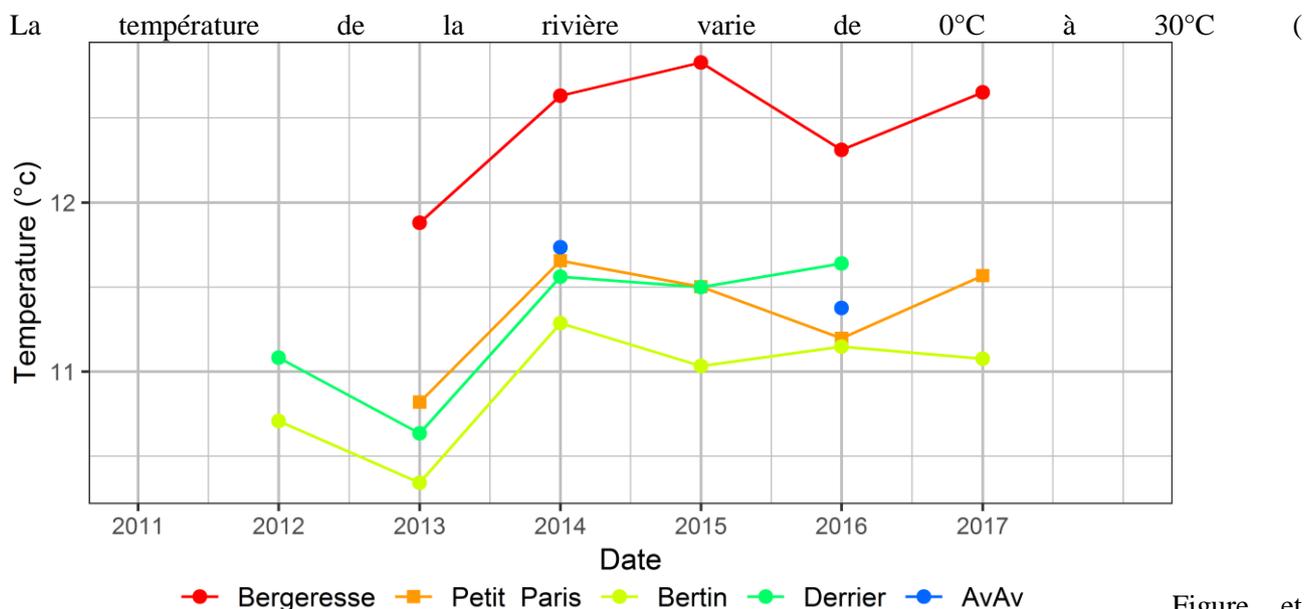


Figure 15). La hauteur d'eau, la largeur de la rivière et la densité de végétation est plus faible à l'amont du bassin. Le centre du bassin est caractérisé par une ripisylve dense et une fréquence de mouilles et seuils plus importante que sur le reste du bassin. Ceci induit des variations de hauteurs d'eau conséquentes le long du cours d'eau. La ripisylve de l'aval du bassin est sporadique, la rivière est plus large et la profondeur des mouilles est moins importante qu'au centre du bassin. Le nombre de valeurs extrêmes et les valeurs de ces extrêmes diminuent d'amont en aval du bassin. Les variations de températures sont plus importantes à l'aval qu'au centre du bassin, la ripisylve étant moins dense à l'aval et à l'amont. Ceci est principalement lié à la hauteur d'eau, la largeur de la rivière, et la ripisylve qui amortissent la diffusion de la température de l'air dans la rivière.

La température de la berge de Bergeresse est maximale au mois d'août, elle atteint sa valeur minimale au mois de mars comme les autres berges. Ceci présage une conduction importante de la température de rivière pendant la période estivale. Cette hypothèse est appuyée par les variations brutales des températures observables sur la Figure 16 a. La station de Petit Paris est influencée par le pompage d'où des variations brutales des températures (Figure 16 b) au moment des pompages non réguliers.

Les mesures de la température de l'aquifère sont perturbées par les prélèvements réalisés dans les piézomètres qui ont introduit des altitudes de mesure différentes pour le pzps1. Les données futures permettront de confirmer ou d'invalider le comportement différent enregistré. La température enregistrée au piézomètre pzps6 comporte des variations abruptes. La nappe est très proche de l'altitude de la surface du sol en période de hautes eaux, le transfert de chaleur s'intensifie pendant ces périodes.

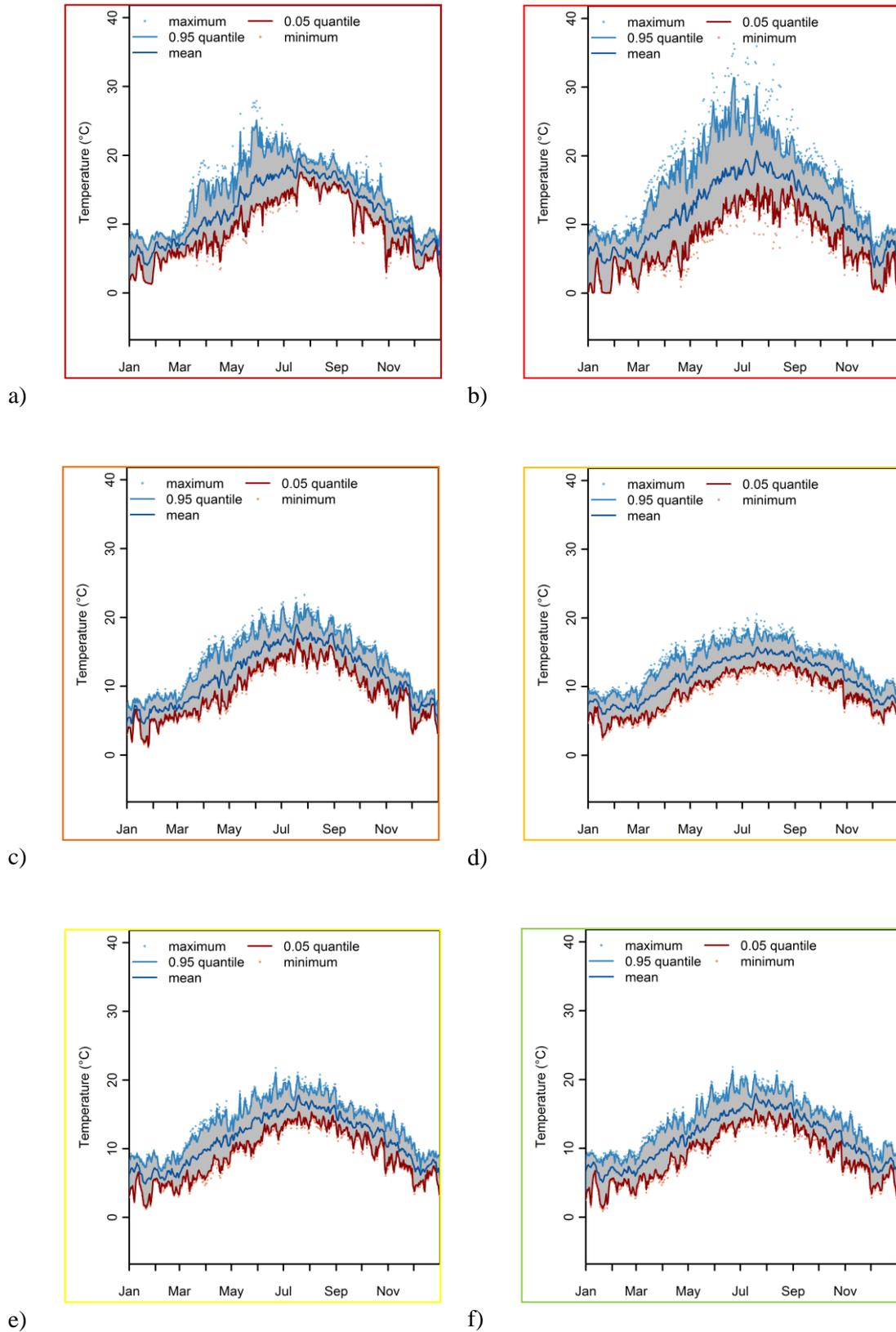


Figure 15. Températures journalières de rivière : a) Loge, b) Bergeresse, c) Mèlarchez, d) Petit Paris, e) Bertin et f) Derrier

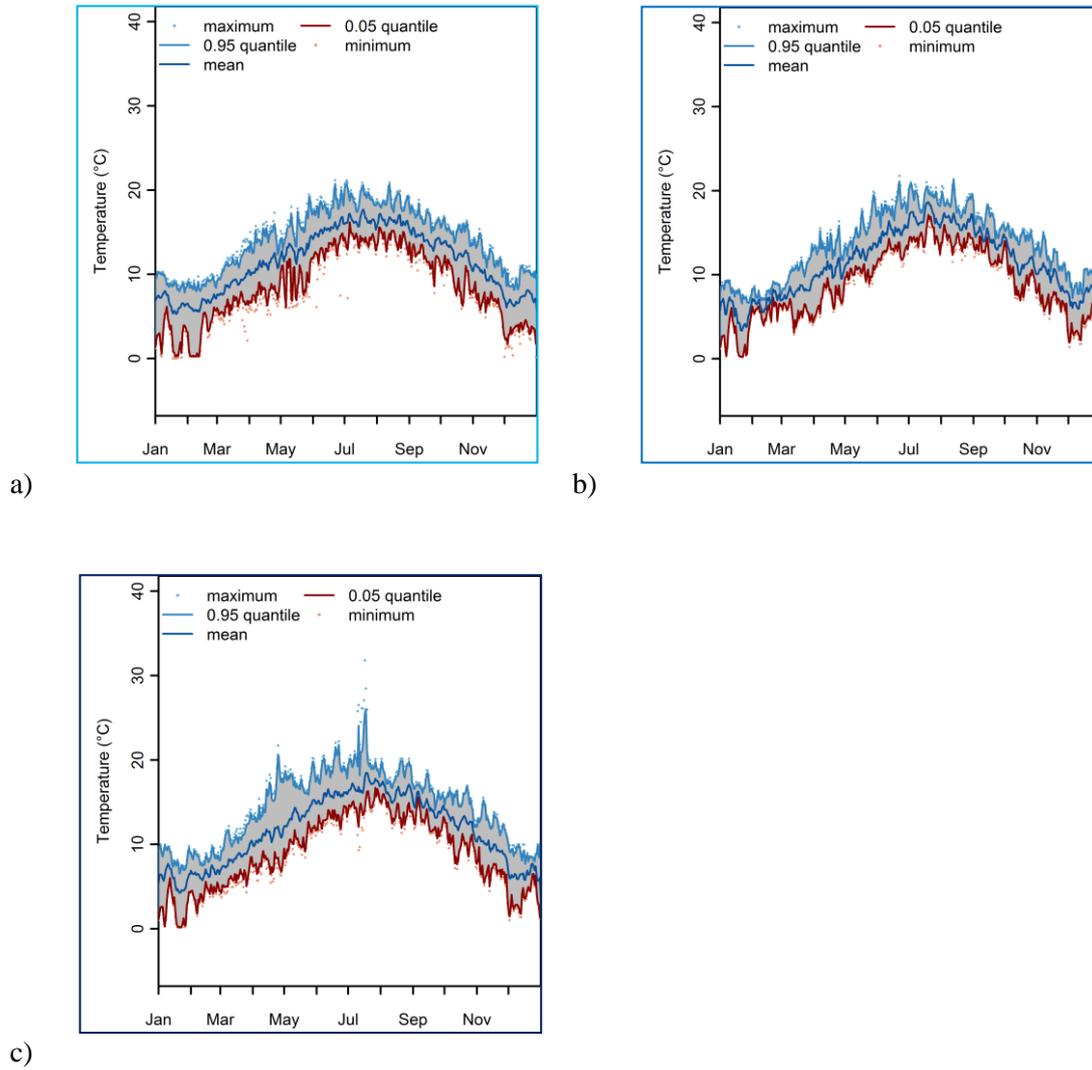


Figure 15. Températures journalières de rivière : a) Avenelles, b) AvAv et c) Theil

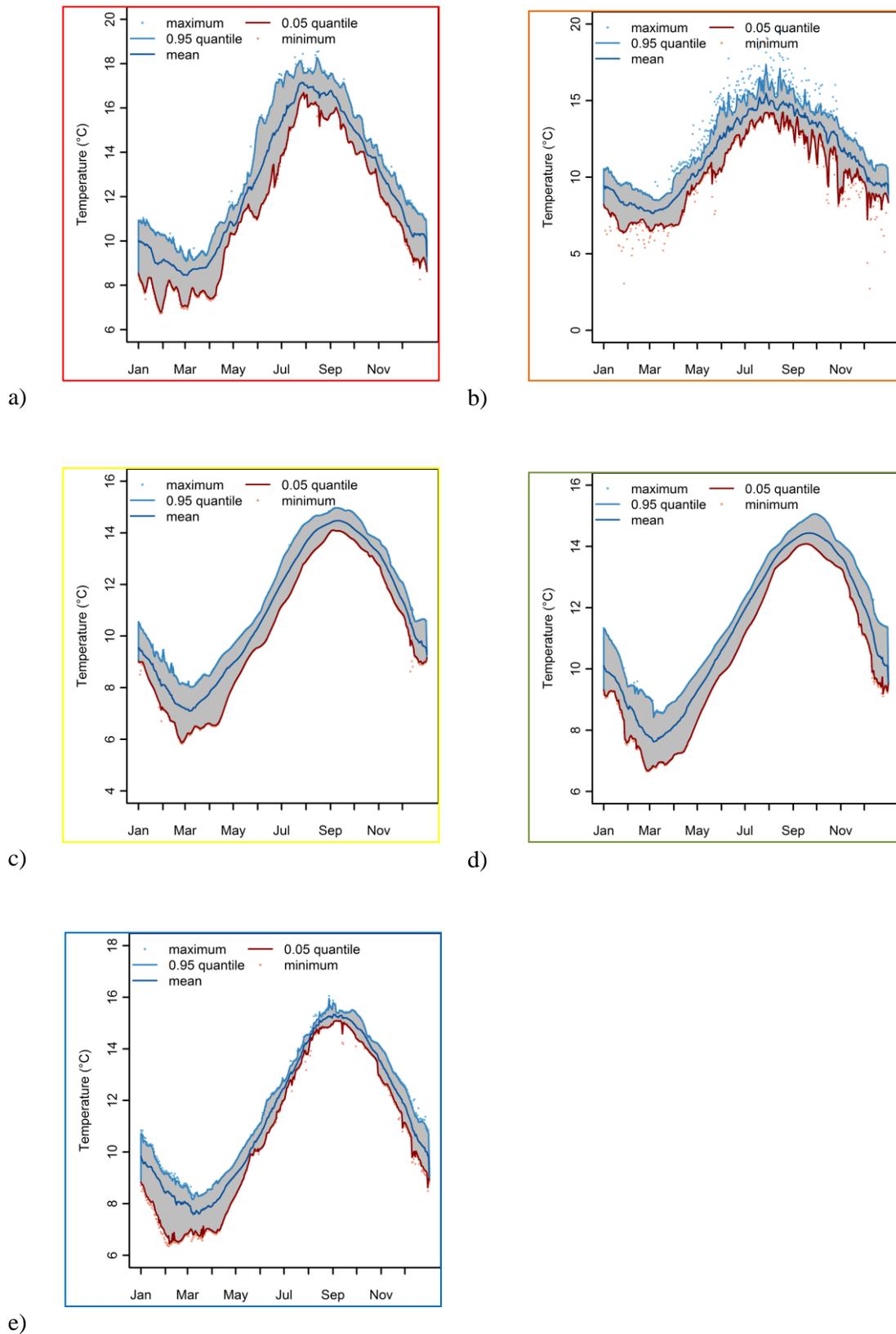


Figure 167. Températures journalières des piézomètres de berges : a) Bergeresse, b) Petit Paris, c) Bertin, d) Derrier, et e) AvAv

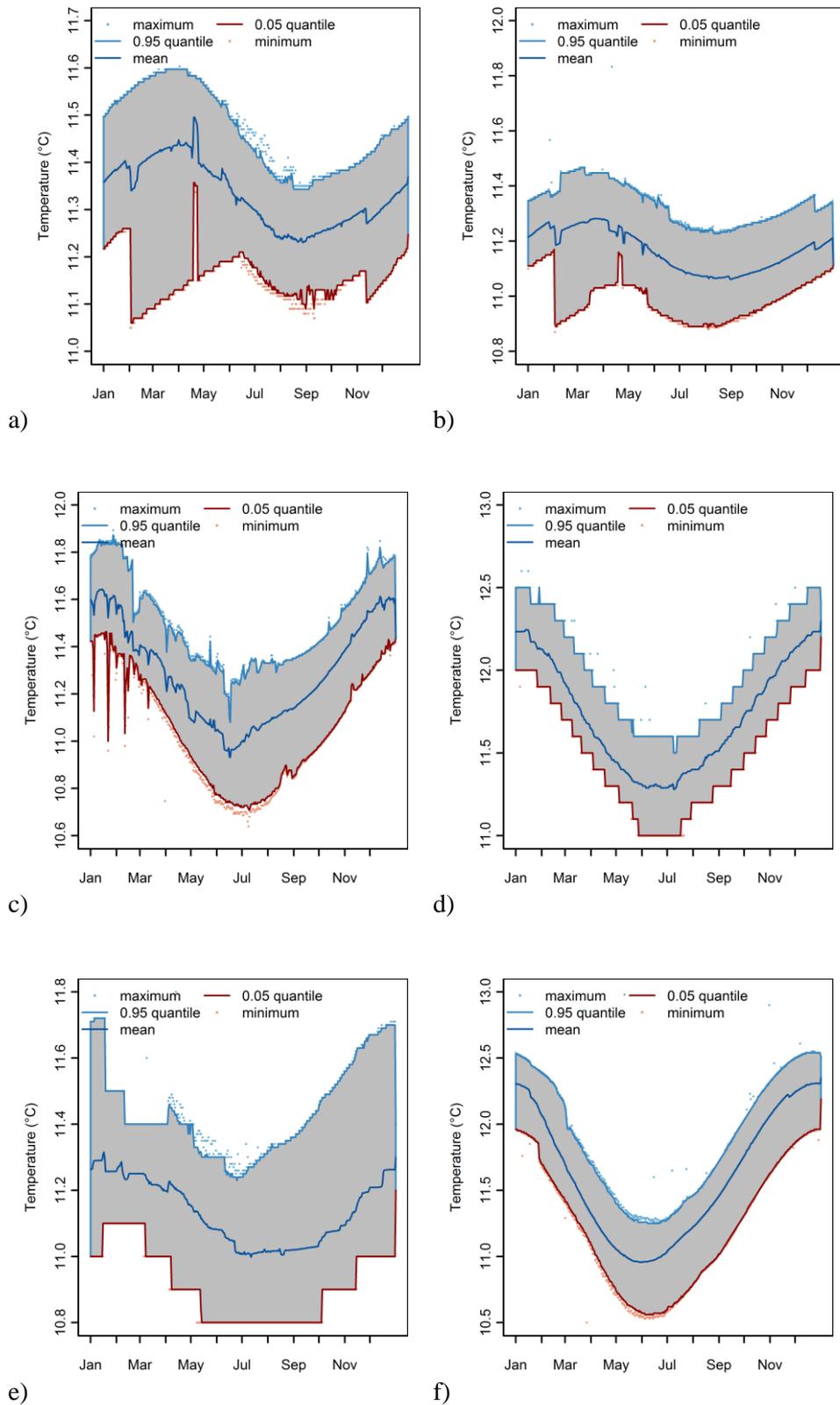


Figure 17. Températures des eaux souterraines : a) Pzps1, b) Pzps4, c) Pzps6, d) Granges, e) Derrier et f) Chantemerle

## 5. Tendance de l'augmentation de la température des différents compartiments

Les températures annuelles moyennes de la rivière sont comprises entre 10.5 °C et 13°C et celles des berges entre 10.9°C et 12 °C (Figure 18, Figure 19 et Figure 20). La température des rivières est très proche de 11°C. Les chroniques des températures des berges et des aquifères indiquent une tendance à l'augmentation de la température d'environ +0.1°C/an. Il est plus difficile d'établir une tendance sur les données des rivières.

Aux différentes stations de suivi, les températures varient de manière similaire à celle de la température de l'air. Les stations amont de rivière (Loge, Bergeresse, Melarchez) enregistrent des températures annuelles plus élevées que les stations situées au centre du bassin (Petit Paris, Bertin et Derrier). Les deux stations aval enregistrent des diminutions des températures annuelles alors que toutes les autres stations enregistrent une augmentation. La Figure 21 montre le même constat en été les températures amont et aval sont supérieures à celles enregistrées au centre du bassin. Cependant, en hiver, les températures montrent la même dynamique. Les stations centrales enregistrent des tendances similaires hormis pendant les périodes estivales (Figure 22). Les cours d'eau en amont du bassin sont situés dans des champs de cultures, leur ripisylve est peu dense contrairement à celle du centre du bassin. La diffusion de la chaleur de surface entre l'atmosphère et le sol n'est ainsi pas atténuée par la végétation. De plus, le cours d'eau est de faible largeur et le débit est faible, ce qui induit une diffusion rapide de la température de l'air dans la rivière. Les températures moyennes mensuelles sont, de ce fait, plus importantes à Bergeresse (Figure 22). La station de Petit Paris enregistre une température moyenne mensuelle plus importante au mois de juin. Ceci est lié au pompage plus intense pendant les mois de juillet et d'août. Ceci s'explique par l'évolution de la végétation, celle-ci va réduire la radiation solaire en été contrairement en période hivernale, où la végétation est dépourvue de feuilles. Les températures enregistrées à la station de Petit Paris sont inférieures aux températures enregistrées aux autres stations (Figure 18). Cette station est influencée par un pompage en rive gauche. Une hypothèse pour expliquer ce phénomène serait que les débits d'eau pompés induiraient une diminution de la température en rivière en favorisant des échanges nappe-rivière.

La température annuelle de piézomètres de berge est supérieure à celle de la rivière pour les stations Bergeresse et Petit Paris contrairement aux autres stations (Figure 18 et Figure 19). La température de la berge de Bergeresse est plus importante en hiver que celle de la rivière de 3°C. Ceci est lié à la diffusion de la température dans la berge.

Les maxima des températures moyennes mensuelles dans les aquifères ne sont pas tous synchrones. Ils interviennent à la fin de l'autonome pour Granges et Chantemerle, et pzps6 et à la fin de l'hiver pour pzps1, pzps4 et Derrier (Figure 23). Ceci est lié à différents processus : diffusion de la chaleur est modulée par la profondeur du point de mesure, par l'altitude du battement de la nappe, et par le phénomène d'advection.

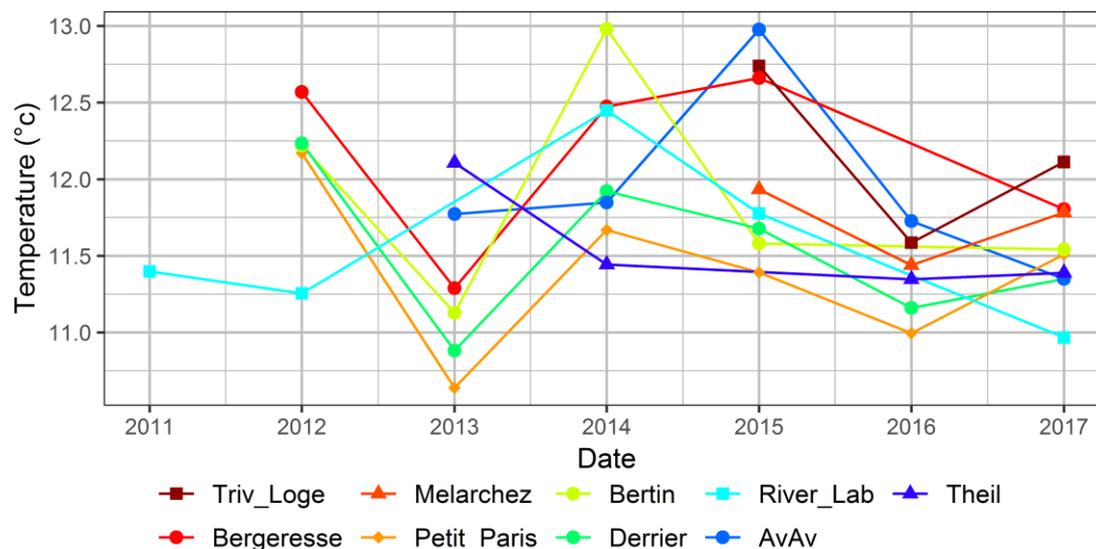


Figure 18. Température de la rivière annuelle

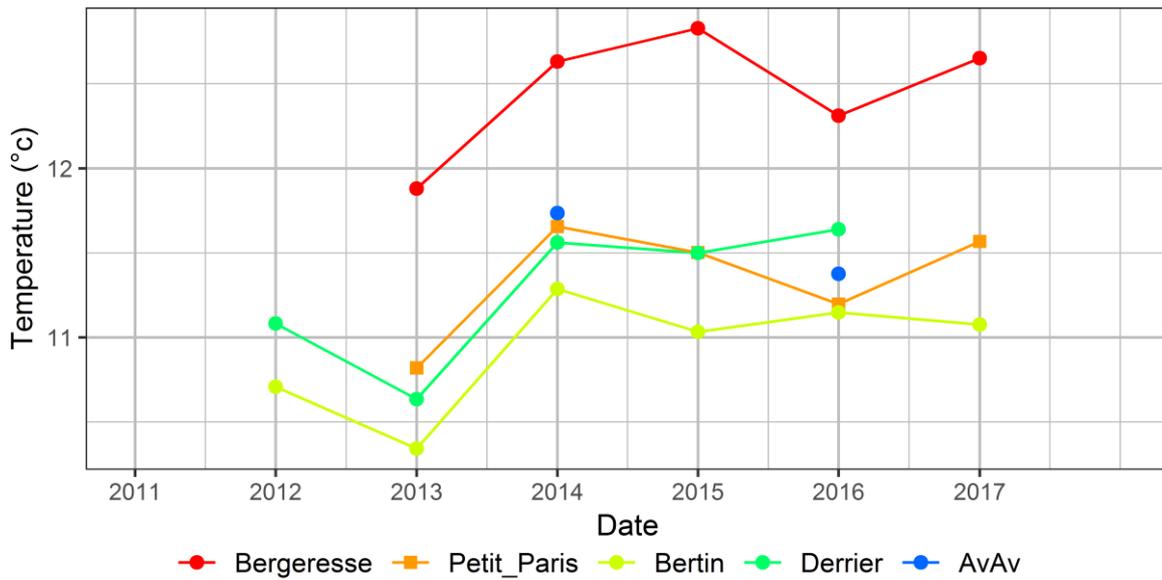


Figure 19. Température annuelle des berges

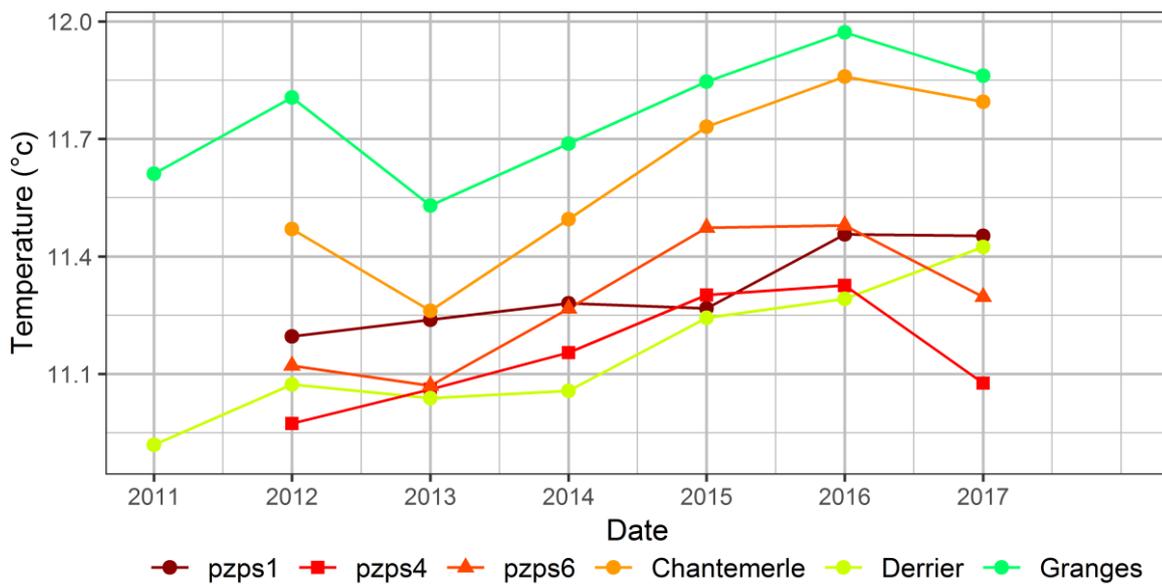


Figure 20. Température annuelle de l'aquifère

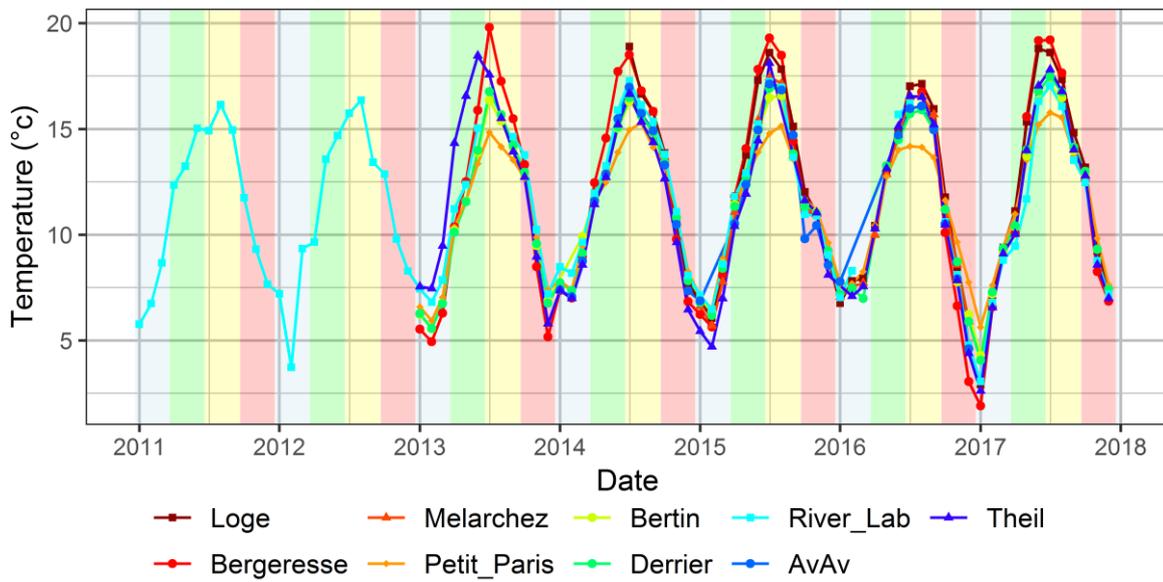


Figure 21. Température moyenne mensuelle de la rivière

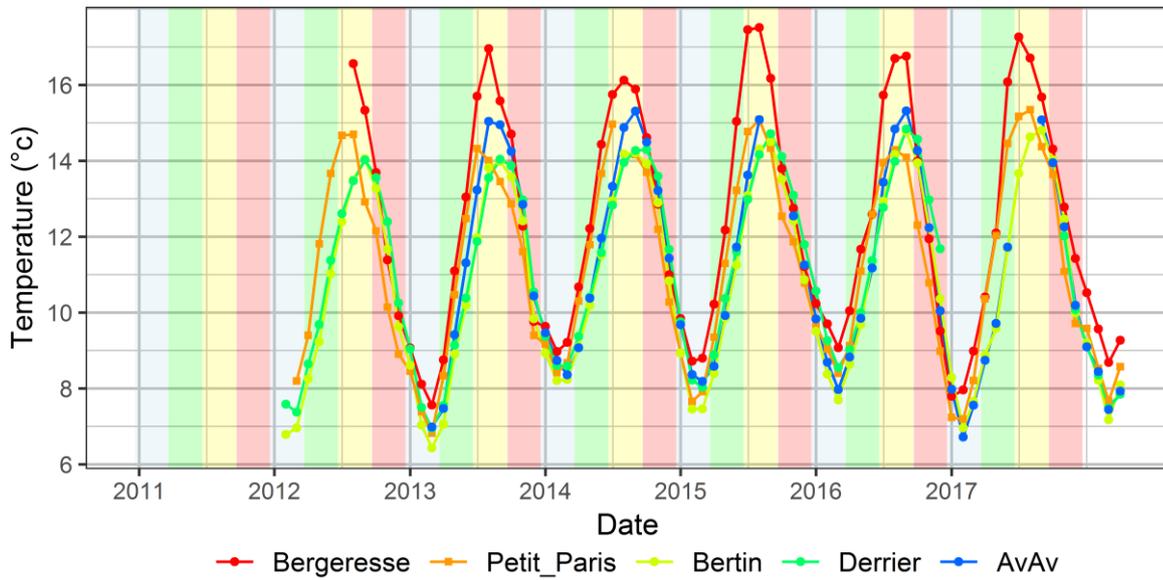


Figure 22. Température mensuelles des berges

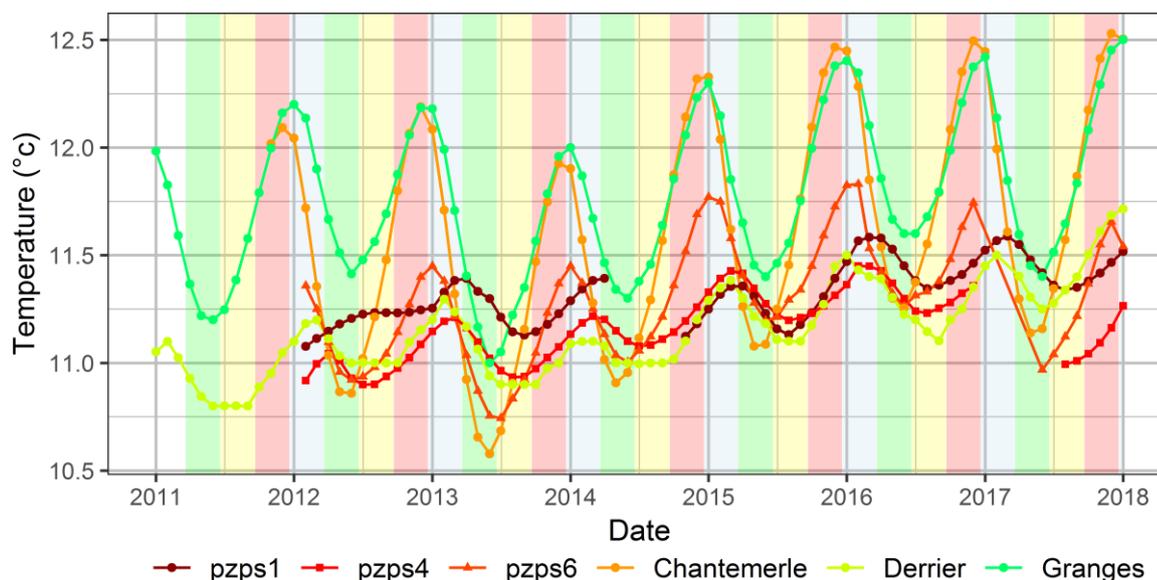


Figure 23. Température mensuelle de l'aquifère

## 6. Variations diurnes

La station la Loge et la station Avenelles ont connu de nombreuses défaillances, ce qui explique les faibles amplitudes en été de la station de la Loge et les fortes variations d'amplitude de la station Avenelles. La station Avenelles semble avoir été hors de l'eau pendant l'été 2017 car elle enregistre des amplitudes de températures similaires à celle de l'air (Figure 26).

L'amplitude diurne de la température en rivière suit la même évolution que celle de l'air (Figure 24 et Figure 26) avec des amplitudes thermiques plus importantes au printemps. Cependant, une atténuation des températures entre l'amont et l'aval est notable au printemps et en été. Les amplitudes sont divisées par 3 entre l'amont et l'aval. Ceci s'explique par la faible profondeur d'eau pendant la période estivale et par la faible densité de la ripisylve. La température mesurée en été dans les stations amont est très proche de l'air. L'amplitude de température mesurée dans l'air semble être amortie avec la hauteur d'eau dans la rivière.

Les Figure 25 et Figure 27 représentent la variation diurne des températures pour les différents piézomètres de berge. Ces variations sont très faibles en comparaison avec celles de la rivière hormis pour le piézomètre Petit Paris. Ceci est lié encore une fois aux pompages. Les amplitudes diurnes de la température des aquifères sont quasiment nulles (Figure 28). Pour deux piézomètres, elles se situent dans l'intervalle d'erreur de mesure du capteur.

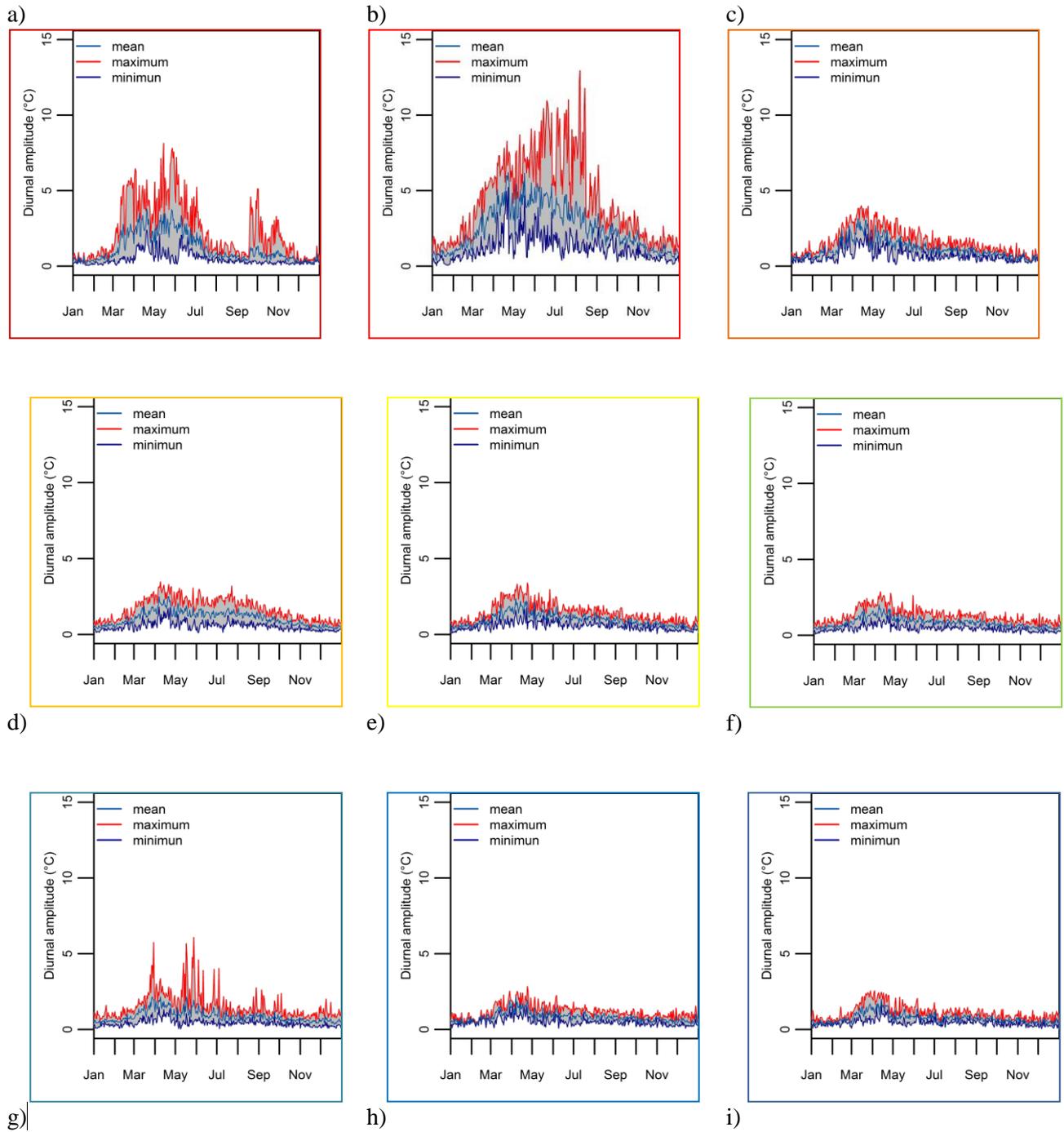


Figure 24. Régime des amplitudes de la température de rivière annuelle : a) Loge, b) Bergeresse, c) Melarchez, d) Petit Paris, e) Bertin, f) Derrier, g) Avenelles, h) AvAv et i) Theil

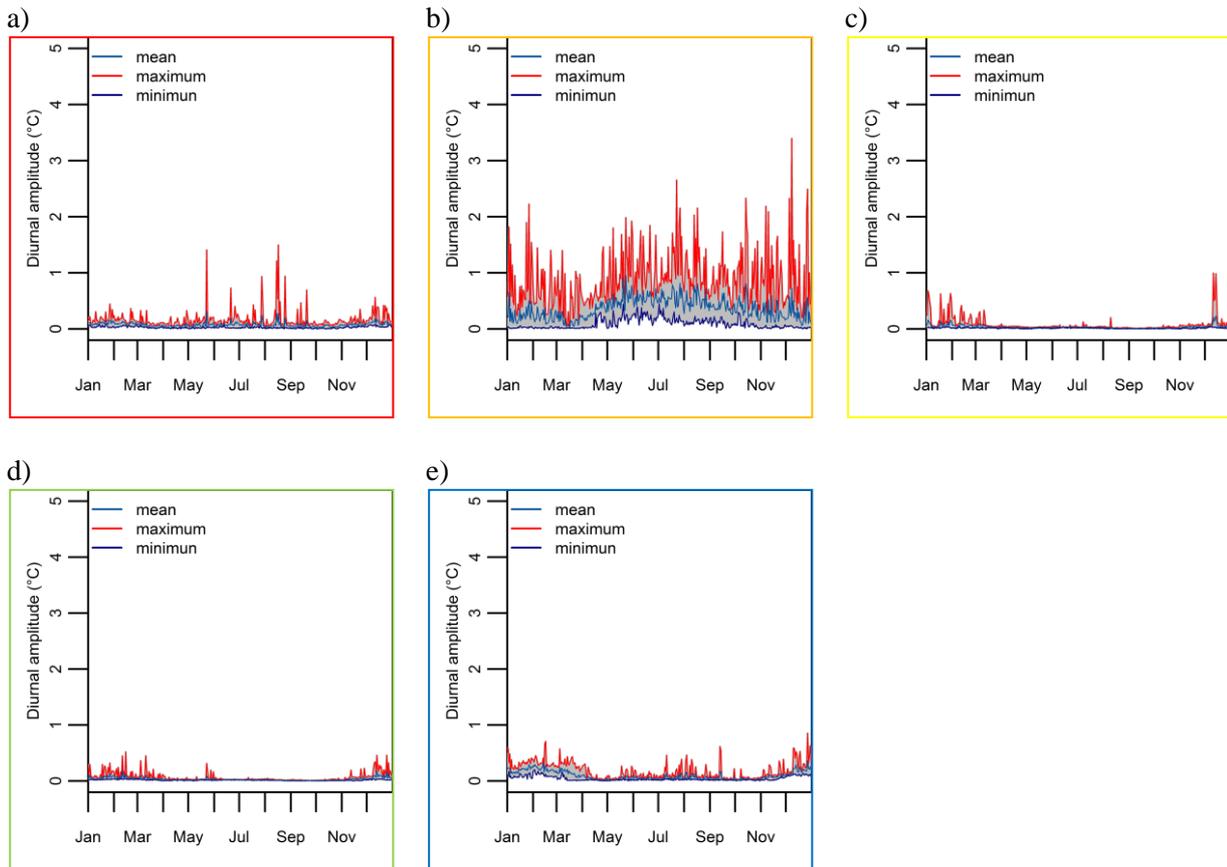


Figure 25. Régime des températures diurne des piézomètres de Berges : a) Bergeresse, b) Petit Paris, c) Bertin, d) Derrier, et e) AvAv

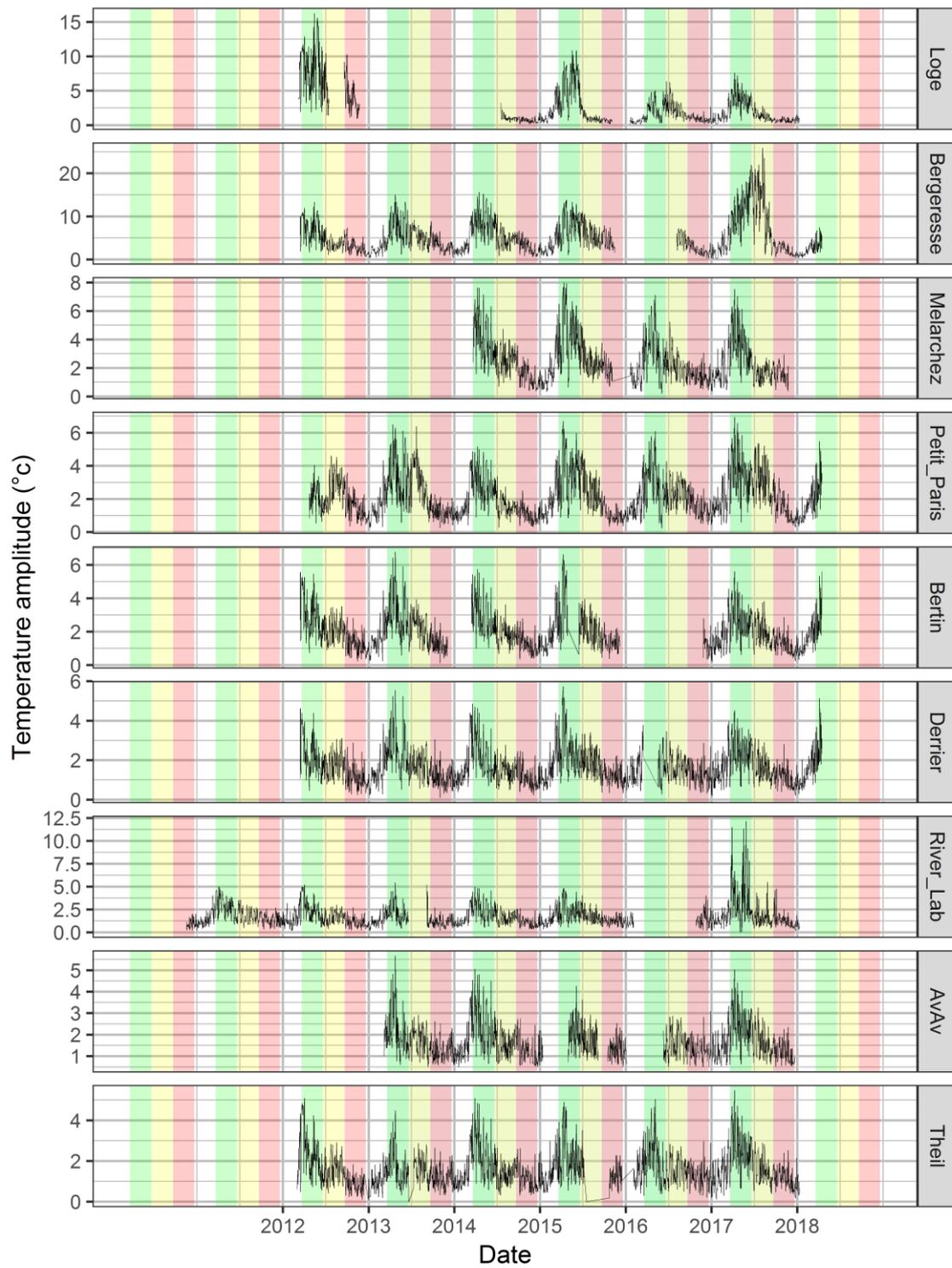


Figure 26. Amplitude diurnes de la rivière en fonction du temps

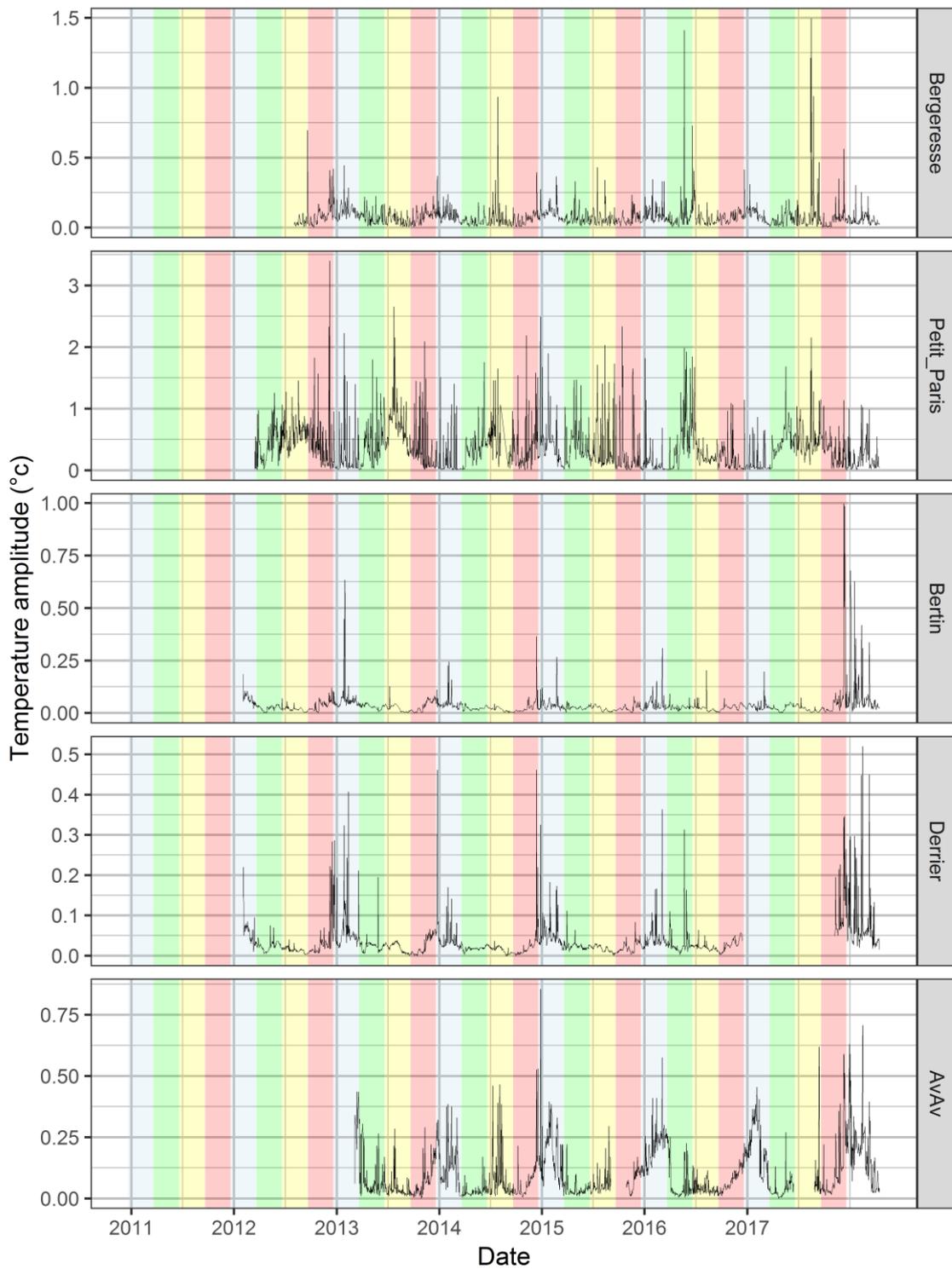


Figure 27. Amplitude diurne de température de berges

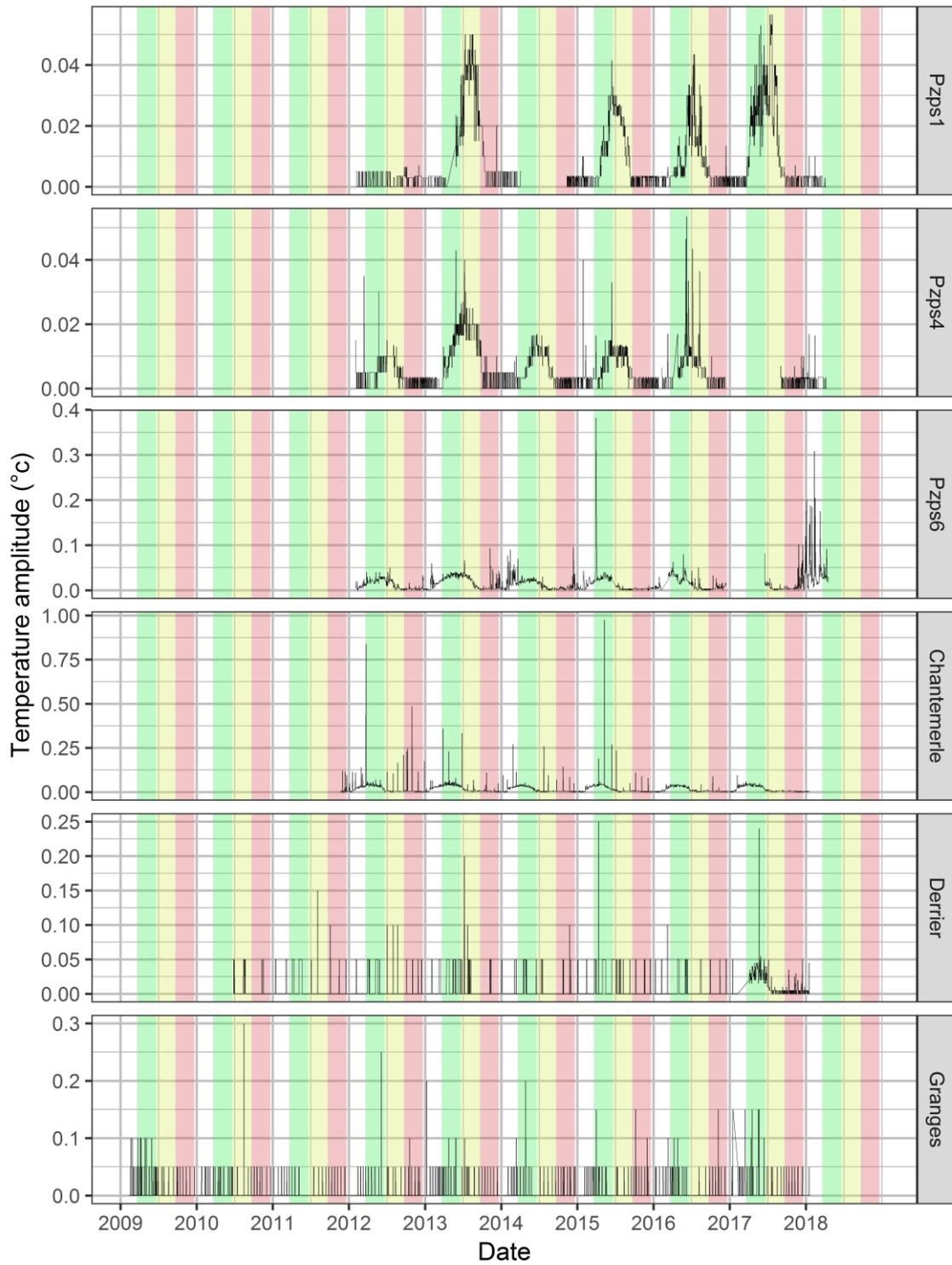


Figure 28. Amplitude diurne de température d'aquifère



## 7. Conclusion et perspectives

Cette étude montre qu'au cours des dernières années, une augmentation de 0.05°C/ an est observée dans l'air. De plus, le nombre de jours pour lesquels la température est supérieure à 20 °C augmente. Ces deux facteurs se traduisent, pour les eaux souterraines, par une augmentation des températures des berges et des aquifères.

Tous les compartiments sont assujettis à des variations saisonnières. Le régime thermique annuel de la rivière est similaire à celui de l'air, avec des températures élevées en période estivale et faibles en période hivernale. La température de l'aquifère est plus faible en période estivale et plus élevée en période hivernale. La température des berges correspond au mélange de ces deux régimes.

La température de l'air et de la rivière sont soumises à deux cycles liés à la variation du rayonnement solaire incident. Le premier cycle est lié aux saisons. Le second cycle correspond à la rotation de la terre sur elle-même et à l'alternance entre le jour et la nuit. L'influence de ces cycles sur la température des eaux de surface est essentiellement modulée par l'ombrage généré par la végétation. Les variations diurnes des compartiments aquifères et berge sont nulles. Celles-ci semblent être non nulles dans les forages.

Ce rapport montre l'intérêt de poursuivre le maintien de ce réseau de mesure afin d'obtenir suffisamment de données pour rendre compte de l'évolution de conditions thermiques des différents compartiments mais aussi afin de la conceptualisée en vue de prédire l'évolution de l'état écologique du bassin dans un contexte de changements globaux.

## 8. Bibliographie

Mouhri, A., Flipo, N., Rejiba, F., de Fouquet, C., Bodet, L., Kurtulus, B., Tallec, G., Durand, V., Jost, A., Ansart, P., Goblet, P., 2013. Designing a multi-scale sampling system of stream–aquifer interfaces in a sedimentary basin. *J. Hydrol.* 504, 194–206.

Rivière, A., Mouhri, A., Bodet, L., Ansart, P., Baudin, A., Berrhouma, A., Carrillo, N., Chauris, H., Cocher, E., Cucch, K., Cuisinier, E., Durand, V., de Fouquet, C., Goblet, P., Hovhannissian, G., Jost, A., Labarthe, B., Martineau, N., Pasquet, S., Rejiba, F., Rubin, Y., Tallec, G., Flipo, N., 2016. Quantifier les échanges nappe-rivière depuis l'échelle locale jusqu'à l'échelle du petit bassin-versant. Rapport PIREN Seine, Dans "Interfaces Nappe-Rivière", Rapport de Synthèse 2011-2015

Tallec, G., Ansart, P., Guérin, A., Delaigue, O., Blanchouin, A., 2015. Observatoire Oracle; Irstea.

Thomas, W., 2018. Température des axes fluviaux du bassin de la Seine au fil de l'eau, au fil du temps. DRIEE, police de l'eau.