



Projet de Master SIE 2012

Impacts de la station de pompage d'eau du lac de l'EPFL et de l'UNIL sur la Chamberonne



Jonathan Sidler

Laboratoire de technologie écologique (ECOL)

Supervisé par Luca Rossi

Professeur responsable : David Andrew Barry

Résumé

Plusieurs rejets d'eau pompée dans le lac Léman pour les besoins des hautes-écoles se font dans la Chamberonne, la Sorge et la Mèbre. Ils sont utilisés pour des besoins de refroidissement et de chauffage. Les rejets se font donc à différents débits et différentes températures, ce qui influence inévitablement les conditions des cours d'eau. Il est donc important d'évaluer les impacts potentiels que pourraient avoir ces variations thermiques et hydrauliques, principalement pour la faune aquatique. Les données de températures ont donc été comparées à des courbes maximales et minimales de référence définies sur la température de survie de la truite lacustre (*Salmo trutta fario*). On remarque que les rejets ont globalement des effets positifs sur les conditions de températures dans la rivière. Ils permettent même de garantir des conditions optimales pour la faune aquatique alors que dans l'état naturel celles-ci seraient considérées comme mauvaises. Les variations de débits se révèlent être relativement faible par rapport à un événement de pluie, et ne semblent pas poser de problème pour les poissons. En revanche elles ne sont pas forcément idéale pour les castors, mais permettent par contre de maintenir un certain niveau d'eau en permanence dans le cours d'eau.

Les débits des rejets étant passablement variables durant la journée, il est utile de pouvoir évaluer en permanence la proportion d'eau naturellement présente dans la rivière par rapport au total contenant également l'eau ajoutée par la station de pompage. Une fonction de correction des débits est donc formulée, et permet de recalculer le débit naturel du cours d'eau à l'aide de quelques mesures de débits. On peut de ce fait recalculer une concentration initiale de polluant dans la rivière en s'affranchissant de la dilution effectuée par les rejets d'eau du lac. Cette solution est adaptée aux conditions actuelles. Elle tient compte du temps de propagation de l'eau entre le point de rejet et celui de mesure. Pour ce faire, des calculs de latence ont été réalisés à l'aide d'un programme de simulation de crue.

Les deux institutions construisant de nouveaux bâtiments, un aperçu des apports futurs de ces nouvelles constructions est abordé. La construction du centre de congrès de l'EPFL implique la réaffectation de l'eau d'un des rejets pour la production de chaleur et la climatisation, modifiant ainsi de façon importante les conditions de l'endroit. La construction d'un nouveau bâtiment de l'UNIL, le Géopolis, implique lui la création d'un nouveau rejet, augmentant ainsi légèrement le débit de la rivière et influençant le régime thermique. Une simulation des températures que l'on mesurerait en présence de ces infrastructures est faite, qui mène à une analyse des impacts potentiels sur les températures présentes. Il se révèle que les modifications sur le campus ne péjorent pas les conditions thermiques de la rivière. En revanche on constate que la Sorge n'est plus en mesure de recevoir de grandes quantités d'eau du lac utilisée pour des besoins en chauffage.

Abstract

Several releases of water pumped from the lake of Geneva for the EPFL and UNIL needs are discharged into the Chamberonne, the Sorge and the Mèbre. This lake water is used for cooling and heating purposes. The discharges present therefore different flow rates and temperatures, influencing inevitably the outflow conditions. It is therefore important to assess the potential impacts that arise from thermal and flow rate variations, mainly for the aquatic wildlife. Temperature data have been compared with maximum and minimum reference curves defining the optimum survival conditions of Brown trout (*Salmo trutta fario*). We note that the discharges have generally positive effects on the temperature conditions in the river. They even guarantee optimum conditions for aquatic life while the natural state would be considered bad. The flows variations are relatively low compared to a rainfall event, and do not seem to be problematic for fishes. However they are not necessarily ideal for beavers, but allow maintaining a certain level of water in the river.

The discharge rates are quite variable during the day; it is therefore useful to assess continuously the proportion of water naturally present in the rivers, compared to the total water flow, containing also the water added by the pumping station. A correction function of the flow is then formulated, which allows recomputing the natural flow of the river with only a few parameters. We can thus recalculate an initial concentration of pollutant in the river without taking into account the dilution made by lake water. This solution is appropriate to the actual situation. It takes into account the propagation time between the water discharge points and the measurement station locations. To do this, a latency calculation is performed using a simulation program.

Both institutions (EPFL and UNIL) constructing new buildings, an overview of future contributions of these new buildings is discussed. The construction of the convention center of the EPFL involves the reallocation of the outflow of a present discharge for the production of heat and air conditioning, changing in a significant way the thermal conditions. The new building of the UNIL, the Géopolis, involves the creation of a new discharge into the Chamberonne, increasing slightly the river flow rate and the thermal regime. A simulation of temperatures is made due to these new infrastructures, which leads to an analysis of the potential impacts on the actual situation. It turns out that the changes on the campus do not degrade the thermal conditions of the river. However we observe that the Sorge is no longer able to receive large amount of lake water used for heating needs.

Remerciements

Pour la réalisation de ce travail, je tiens à remercier :

- Luca Rossi pour son encadrement tout au long de ce projet, sa compréhension durant les périodes plus difficiles et ses petites remarques humoristiques !
- Renata Hari, de l'Eawag, pour sa très précieuse aide sur les problèmes de température et son accueil.
- François Vuille, responsable technique de l'EPFL, qui m'a accordé un nombre d'heures incalculables pour discuter des installations et qui m'a aidé à réaliser des mesures sur les rejets.
- Claude Fracheboud, responsable technique de l'UNIL, qui m'a communiqué les relevés des volumes rejetés par les bâtiments.
- Les personnes du SESA, Frédéric Hofmann, Estelle Lecomte, Paul Kulling, Blaise Cordey, Philippe Tavel, Claude-Alain Davoli, Pascale Derleth Sartori, Brigitte Lods-Crozet et Pierre-Alain Chevalley, qui m'ont aidées et communiquées un grand nombre de données.
- Mes amies et amis qui ont accepté(e)s de prendre le café quasi quotidiennement avec moi et sans lesquels je ne serais pas le même !
- Ma famille et spécialement mon Papa qui a passé des heures à discuter de mes problèmes de rejets et d'hypothèses.
- Mes deux collègues de bureau, Lydie et Htet Kyi qui m'ont permis de travailler dans une atmosphère tip-top !
- Toutes les personnes qui ont de près ou de loin participées à la réalisation de ce projet de master !

Table des matières

Résumé	iii
Abstract	iv
Remerciements	v
Objectifs et contexte de l'étude	1
1. Description de la situation	2
2. Questions ouvertes	6
3. Méthodologie	7
3.1. <i>Modélisation – fonction de correction</i>	7
3.2. <i>Impacts écologiques</i>	7
4. Aspect théorique	9
4.1. <i>Température</i>	9
4.2. <i>Débit</i>	11
5. Résultats et analyses	12
5.1. <i>Fonction de correction des débits</i>	12
5.1.1. <i>Latence de l'écoulement</i>	12
5.1.2. <i>Modélisation</i>	15
5.1.3. <i>Équation de correction</i>	17
5.2. <i>Etat naturel</i>	19
5.2.1. <i>Température</i>	19
5.2.2. <i>Débit</i>	20
5.3. <i>Impacts – Températures</i>	20
5.3.1. <i>Sorge amont</i>	20
5.3.2. <i>Bilan – Sorge amont</i>	25
5.3.3. <i>Sorge aval</i>	26
5.3.4. <i>Bilan – Sorge aval</i>	30
5.3.5. <i>Mèbre</i>	31
5.3.6. <i>Bilan – Mèbre</i>	35
5.3.7. <i>Chamberonne</i>	36
5.3.8. <i>Bilan – Chamberonne</i>	40
5.3.9. <i>Impacts – Températures – Bilan global</i>	41
5.4. <i>Impacts – Débits</i>	42
5.4.1. <i>Sorge</i>	42
5.4.2. <i>Mèbre aval</i>	44
5.4.3. <i>Chamberonne</i>	46
5.4.4. <i>Impacts – Débits – Bilan global</i>	47
5.5. <i>Qualité biologique</i>	48
5.6. <i>Situation future</i>	51
5.6.1. <i>Modifications techniques</i>	51
5.6.2. <i>Hypothèses</i>	52
5.6.3. <i>Température future – Sorge aval</i>	55
5.6.4. <i>Débit futur – Sorge aval</i>	55
5.6.5. <i>Température future – Chamberonne</i>	56

5.6.6.	Débits futur – Chamberonne.....	57
5.6.7.	Variante avec thermopompe – Température future	58
5.6.8.	Variante avec thermopompe – Débit futur	60
6.	Perspectives	61
6.1.	<i>Station de mesure.....</i>	61
6.2.	<i>Suivi de la qualité</i>	61
6.3.	<i>Mesures sur les rejets.....</i>	61
6.4.	<i>Modélisation</i>	62
6.5.	<i>Cas de démonstration.....</i>	63
7.	Conclusion.....	65
8.	Bibliographie	66
9.	Annexes.....	71
9.1.	<i>Schéma conceptuel de la situation.....</i>	71
9.2.	<i>Plan.....</i>	72
9.3.	<i>Code Matlab.....</i>	73
9.4.	<i>Personnes contactées.....</i>	78
9.5.	<i>Puissance Géopolis.....</i>	79
9.6.	<i>Indices de qualité (indices biotiques).....</i>	80
9.6.1.	<i>Chamberonne</i>	80
9.6.2.	<i>Mèbre</i>	82
9.6.3.	<i>Sorge.....</i>	84
9.6.4.	<i>Résultats indice biotique - TP d'environnement EPFL.....</i>	86
9.7.	<i>Inventaire écomorphologique.....</i>	87

Table des figures

Figure 1: Schéma de principe de la situation actuelle des rejets pour l'EPFL et l'UNIL.....	3
Figure 2: Équation de bilan des débits considérant le débit de pompage et de rejets dans le lac et les rivières.	3
Figure 3: Carte de localisation des rejets et des stations de mesures - bassins versant de la zone de l'EPFL en fonction des couleurs.....	4
Figure 4: Exemple de "Tageslauf" de printemps sur plusieurs années. Courbe orange : quantile 95%, rouge : moyenne, bleue : quantile 5%, noires : courbe de chaque jour observé, n= nombre de données par série (Source: Renata E. Hari - Eawag).....	9
Figure 5: Équation pour la définition de la température idéale du cours d'eau pour les truites (Source : R.Hari - Eawag)	10
Figure 6: Limite de température pour la truite à différents stades de croissance. Rouge : température optimale, bleu : température de tolérance, noir : température létale à long terme (Source : Renata Hari - Eawag).....	10
Figure 7: Exemple de données calculées avec le logiciel EXPLIC pour le tronçon de la Sorge – Débit en fonction du temps permettant d'observer la latence de l'écoulement (débit initial : 0.9m ³ /s, débit de crue : 1.3m ³ /s).	13
Figure 8: Schéma de la modélisation sur HEC-RAS et emplacement des coupes transversales (distance à l'embouchure).....	15
Figure 9: Écoulements dans la Chamberonne simulés sur HEC-RAS en régime constant (distance à l'ambouchure).....	16
Figure 10: Exemple de modélisation de température réalisée avec HEC-RAS (Source: site internet HEC-RAS)	16
Figure 11: Équation de correction des débits permettant de calculer le débit naturel de la Chamberonne à la station de mesure du laboratoire ECOL de l'EPFL	18
Figure 12: Comparaison entre le débit réel et le débit corrigé à l'aide de la fonction pour la station de mesure du laboratoire ECOL.....	18
Figure 13: Température moyenne journalière estimée et réelle de la Chamberonne à l'état naturel (sans rejet) avec courbes limites.....	19
Figure 14: Débit moyen journalier estimé et réel de la Chamberonne à l'état naturel (sans rejet)	20
Figure 15: Température estimée de la Sorge amont en fonction de l'heure avec quantile 95% et 5%.....	21
Figure 16: Température estimée de la Sorge amont en moyenne journalière sur une année (2010) avec valeurs limites et valeurs moyennes journalières mesurées (2012).....	22
Figure 17: Température estimée de la Sorge amont en hiver et moyenne journalière avec valeurs limites	23
Figure 18: Température estimée de la Sorge amont au printemps et valeurs moyennes journalières estimées et réelles pour 2012 avec courbes limites.....	23
Figure 19: Température estimée de la Sorge amont en été et valeurs moyennes journalières estimées et réelles pour 2012 avec courbes limites.....	24
Figure 20: Température estimée de la Sorge amont en automne et valeurs moyennes journalières estimées avec courbes limites.....	25
Figure 21: Température de la Sorge aval en fonction de l'heure avec quantile 95% et 5% (données : DII-EPFL)	26
Figure 22: Température de la Sorge aval en moyenne journalière sur une année (2010) avec valeurs limites (données : DII-EPFL)	27
Figure 23: Température de la Sorge aval en hiver et moyenne journalière avec valeurs limites (données : DII-EPFL).....	27
Figure 24: Température de la Sorge aval au printemps et moyenne journalière avec valeurs limites (données : DII-EPFL).....	28
Figure 25: Température de la Sorge aval en été et valeurs en moyenne journalière et courbes limites (données : DII-EPFL).....	29
Figure 26: Température de la Sorge aval en automne et moyenne journalière avec valeurs limites (données : DII-EPFL).....	30

<i>Figure 27: Température de la Mèbre en fonction de l'heure avec quantile 95% et 5% (Données: SESA).....</i>	<i>31</i>
<i>Figure 28: Température de la Mèbre en moyenne journalière sur 3 ans avec valeurs limites (Données: SESA)</i>	<i>32</i>
<i>Figure 29: Température de la Mèbre en hiver et moyenne journalière avec valeurs limites (Données: SESA)</i>	<i>32</i>
<i>Figure 30: Température de la Mèbre au printemps et moyenne journalière avec valeurs limites (Données: SESA).....</i>	<i>33</i>
<i>Figure 31: Température de la Mèbre en été et moyenne journalière avec valeurs limites (Données: SESA).....</i>	<i>34</i>
<i>Figure 32: Température de la Mèbre en automne et moyenne journalière avec valeurs limites (Données: SESA).....</i>	<i>34</i>
<i>Figure 33: Température de la Chamberonne en fonction de l'heure avec quantile 95% et 5% (Données: SESA)</i>	<i>36</i>
<i>Figure 34: Température de la Chamberonne en moyenne journalière sur 3 ans avec valeurs limites (Données: SESA).....</i>	<i>37</i>
<i>Figure 35: Température de la Chamberonne en hiver et moyenne journalière avec valeurs limites (Données: SESA).....</i>	<i>38</i>
<i>Figure 36: Température de la Chamberonne au printemps et moyenne journalière avec valeurs limites (Données: SESA).....</i>	<i>39</i>
<i>Figure 37: Température de la Chamberonne en été et moyenne journalière avec valeurs limites (Données: SESA).....</i>	<i>39</i>
<i>Figure 38: Température de la Chamberonne en automne et moyenne journalière avec valeurs limites (Données: SESA).....</i>	<i>40</i>
<i>Figure 39: Débit de la Sorge amont estimés en fonction de l'heure avec quantile 95% et 5%</i>	<i>42</i>
<i>Figure 40: Débit de la Sorge amont en moyenne journalière (valeurs estimées).....</i>	<i>43</i>
<i>Figure 41: Débit de la Mèbre aval en fonction de l'heure (Données: SESA).....</i>	<i>44</i>
<i>Figure 42: Débit de la Mèbre aval en moyenne journalière (Données: SESA)</i>	<i>45</i>
<i>Figure 43: Débit de la Chamberonne en fonction de l'heure (Données: SESA).....</i>	<i>46</i>
<i>Figure 44: Débit de la Chamberonne en moyenne journalière (Données: SESA)</i>	<i>47</i>
<i>Figure 45: Stations de mesures étudiées aux TP d'environnement de l'EPFL et tracé des rivières avec qualité biologique</i>	<i>49</i>
<i>Figure 46: Température en moyenne journalière de la Sorge en considérant les rejets futurs ainsi que dans l'état actuel.....</i>	<i>55</i>
<i>Figure 47: Température en moyenne journalière de la Chamberonne en considérant les rejets futurs ainsi que dans l'état actuel.....</i>	<i>56</i>
<i>Figure 48: Température de la Chamberonne en moyenne journalière en considérant les rejets futurs entre juin et septembre ainsi que dans l'état actuel.....</i>	<i>57</i>
<i>Figure 49: Débit de la Chamberonne en moyenne journalière en considérant les rejets futurs et dans l'état actuel.....</i>	<i>57</i>
<i>Figure 50: Température de la Sorge en moyenne journalière en considérant les rejets futurs ainsi que l'adjonction d'une troisième thermopompe et dans l'état actuel.....</i>	<i>58</i>
<i>Figure 51: Température de la Chamberonne en moyenne journalière en considérant les rejets futurs ainsi que l'adjonction d'une troisième thermopompe et dans l'état actuel.....</i>	<i>59</i>
<i>Figure 52: Débit de la Chamberonne en moyenne journalière en considérant les rejets futurs ainsi que l'adjonction d'une troisième thermopompe et dans l'état actuel.....</i>	<i>60</i>
<i>Figure 53: Exemple de mesures réalisées pas fibre optique dans une rivière impactée par des rejets entropique d'eau (Source: Jan P. Robra - EFLUM).....</i>	<i>63</i>

Table des tableaux

<i>Tableau 1: Récapitulatif des rejets d'eau du lac dans les rivières et des mesures réalisées (année de référence : 2010)</i>	5
<i>Tableau 2: Données des courbes de température optimale pour les truites en Suisse (Source : R.Hari - Eawag)</i>	10
<i>Tableau 3: Données utilisées pour la simulation de propagation de l'eau dans les trois tronçons</i>	13
<i>Tableau 4: Valeurs de latence de l'écoulement pour les trois tronçons étudiés calculés à l'aide du programme EXPLIC</i>	14
<i>Tableau 5: Évaluation de la qualité de l'eau par l'IBGN et l'indice Rivaud</i>	48
<i>Tableau 6: Indices de qualité pour les trois rivières (Source: SESA)</i>	48
<i>Tableau 7: IBGN selon les TP d'environnement et données du SESA</i>	49
<i>Tableau 8: Données de prises pour la Mèbre (Source : OFEV - Erich Staub, préparé par Renata E. Hari pour cette étude)</i>	50
<i>Tableau 9: Résumé des hypothèses pour les rejets futurs d'un point de vue des débits et des températures</i>	54

Objectifs et contexte de l'étude

Ce travail porte sur la recherche et l'étude des débits et des températures mesurés dans une rivière influencée par des rejets anthropogéniques fait par l'UNIL et l'EPFL (ouest Lausannois). Un des axes de l'étude est de mettre en place un moyen relativement simple, par une fonction de correction, de pouvoir dissocier la part d'eau naturellement présente dans la rivière et celle artificiellement ajoutée. Ceci nécessite de tenir compte des temps de propagation de l'eau dans la rivière, et ceci pour chaque rejet, ou en tout cas pour ceux relativement distant entre eux. La fonction sera donc correcte pour un seul point sur la rivière, fixé à l'endroit de la station de mesure idéalement. Cette mesure permettrait de corriger les débits lors de mesures ponctuelles sur le cours d'eau et ainsi de pouvoir recalculer une concentration de polluants initialement présente. Un second axe est l'étude des variations de température et de débit d'un point de vue écologique. C'est à dire le contrôle des effets potentiels sur la faune aquatique des modifications induites par les rejets. Ceci nécessite de considérer les mesures à plusieurs endroits sur le cours d'eau. En effet la température mesurée peut être passablement influencée par certains rejets importants. Des données actuelles sont traitées, donnant un aperçu de la situation dans l'état présent. Dans un deuxième temps, une évaluation des impacts dans l'état futur sera faite, tenant ainsi compte de l'augmentation des débits de rejets induits par la croissance du campus, autant de l'UNIL que de l'EPFL.

Les emplacements des rejets ayant déjà été localisés dans une précédente étude¹, un bref rappel sera fait dans ce travail.

¹ J.Sidler, Projet SIE - *Influence des rejets de la centrale de chauffe des hautes écoles sur la mesure des débits de*

1. Description de la situation

Les hautes-écoles, l'UNIL et l'EPFL, situées à Ecublens possèdent conjointement une station de pompage d'eau du lac à Dorigny, la station de pompage des Pierrettes. L'eau est pompée à une profondeur de 69 m à une température d'environ 6°C, constante durant pratiquement toute l'année. Jusqu'à récemment, les installations étaient communes aux deux institutions. Pour des raisons d'indépendance et de capacité, l'université a installé des nouvelles pompes à son usage exclusif. Les pompes déjà installées sont donc actuellement utilisées uniquement pour les besoins de l'EPFL. L'eau est amenée ensuite à la centrale technique par des galeries souterraines, puis distribuée dans le réseau de chaque école.

Une concession de pompage a été délivrée par le canton de Vaud en 1975, puis une seconde en 1985. Elle donne une valeur maximale de débit de pompage et prescrit quelques obligations telles que des mesures de température à certains endroits importants.

Pour ce qui est de l'EPFL, une partie de l'eau pompée est utilisée comme eau industrielle pour le refroidissement de processus scientifiques et la climatisation des locaux, une autre partie pour le chauffage des bâtiments par deux thermopompes installées à la centrale de chauffe. A certains endroits, les retours de l'eau de refroidissement sont directement valorisés thermiquement par des pompes à chaleur décentralisées; c'est par exemple le cas en physique, où une pompe à chaleur récupère l'énergie rejetée pour la production de l'eau chaude sanitaire du bâtiment. Précisons tout de même que la centrale est équipée de deux turbines à gaz au mazout pour pallier aux fortes demandes en chauffage par temps froid.

L'université utilise également l'eau du lac pour le refroidissement des processus scientifiques ainsi que pour la climatisation et le refroidissement pour des installations frigorifiques. Le chauffage est en très grande partie réalisé par des centrales de chauffe au mazout ou au gaz. Des investissements lourds devraient être réalisés pour moderniser ces installations en les remplaçant par des pompes à chaleur ou d'autres systèmes utilisant des énergies renouvelables. Certains nouveaux bâtiments sont déjà planifiés dans ce sens.

Toutes ces consommations en eau du lac (appelée eau industrielle dans le réseau de distribution des écoles) doivent évidemment être évacuées à nouveau, une fois l'échange de chaleur effectué. Dans la plupart des cas, ceci se fait par le point le plus proche à un cours d'eau ou du lac en respectant les bassins versants, pour des raisons topographiques évidentes. Une partie des rejets est donc faite dans la rivière bordant le campus, c'est à dire la Sorge, la Mèbre ou la Chamberonne, et le reste est directement rejeté dans le lac.

Les rejets sont donc faits dans le bassin versant de la Chamberonne, qui comprend la Sorge, la Mèbre et bien sûr la Chamberonne qui est la confluence des deux précédentes rivières. Le bassin versant couvre une superficie de 38.3 km².

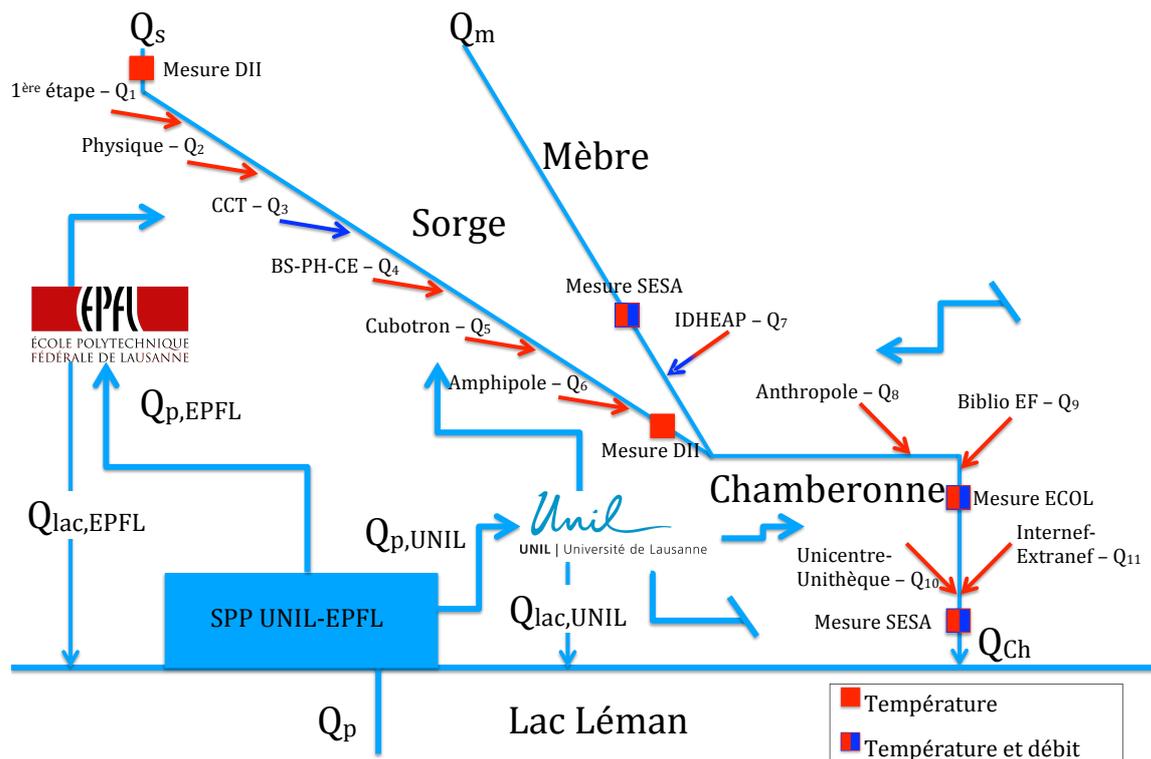


Figure 1: Schéma de principe de la situation actuelle des rejets pour l'EPFL et l'UNIL

Il existe actuellement 11 rejets faits par l'UNIL et l'EPFL. Les quatre premiers sont engendrés par la seconde institution, et ont la particularité de regrouper trois rejets d'eau de refroidissement et un d'eau de chauffage (flèche bleue sur la Figure 1), ils se font tous dans la Sorge. Les rejets produits par l'UNIL sont répartis sur les trois rivières, trois dans la Sorge, un dans la Mère et quatre dans la Chamberonne. Celui se faisant sur la Mère à une petite spécialité, vu qu'il rejette de l'eau de refroidissement durant l'été et de l'eau de chauffage durant l'hiver (flèche bleue et rouge). La localisation des rejets peut être observée sur la Figure 3.

D'un point de vue de l'appréciation des volumes d'eau, on peut écrire les équations de bilan de la Figure 2.

$Q_p = Q_{p,EPFL} + Q_{p,UNIL}$	avec	Q_p le débit de pompage à la station du lac (SPP)
$Q_p = \sum Q_i + Q_{lac,EPFL} + Q_{lac,UNIL}$		$Q_{p,EPFL}$ le débit pompé pour l'EPFL
$Q_r = \sum Q_i$		$Q_{p,UNIL}$ le débit pompé pour l'UNIL
$Q_{Ch} = Q_r + Q_m + Q_s$		Q_i le débit de rejet des exutoires côté rivière
		$Q_{lac,EPFL}$ le débit rejeté directement dans le lac par l'EPFL
		$Q_{lac,UNIL}$ le débit rejeté directement dans le lac par l'UNIL
		Q_r le débit total rejeté dans les rivières
		Q_{Ch} le débit final de la Chamberonne (en aval des rejets)
		Q_m le débit de la Mère en amont des rejets
		Q_s le débit de la Sorge en amont des rejets

Figure 2: Équation de bilan des débits considérant le débit de pompage et de rejets dans le lac et les rivières

Le réseau des rivières possède également plusieurs stations de mesures situées à différents points et opérées par différents organismes. Le domaine immobilier et infrastructure de l'EPFL (DII) possède deux points de mesure sur la Sorge, imposés par la concession, un en amont des rejets et le second en aval de tous les rejets de l'EPFL ainsi que des deux premiers rejets de l'UNIL. Le canton de Vaud, par son service des eaux, sols et assainissement (SESA) possède deux stations de mesure de la température ainsi que de la hauteur d'eau, permettant à l'aide de la courbe de tarage de calculer le débit du cours d'eau. L'une se situe sur la Mèbre, très légèrement en amont du rejet de l'IDHEAP, et la seconde sur la Chamberonne en aval de tous les rejets. Le laboratoire de technologie écologique (ECOL) possède lui aussi une station de mesure sur la Chamberonne, qui mesure, outre des paramètres chimiques, la température et la hauteur d'eau, qui peut ensuite permettre de retrouver le débit à l'aide de la courbe de tarage du canton. Elle se situe légèrement en amont de celle du canton, et de ce fait elle se trouve également en amont des deux derniers rejets de l'université.

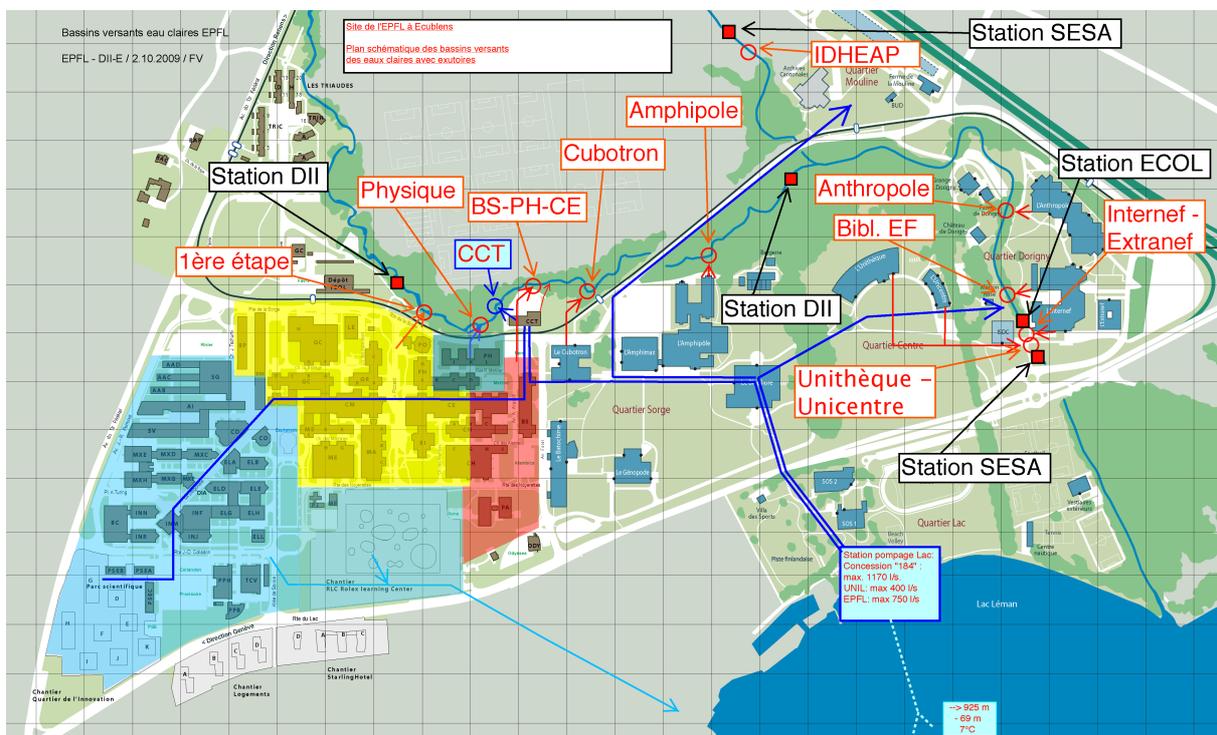


Figure 3: Carte de localisation des rejets et des stations de mesures - bassins versant de la zone de l'EPFL en fonction des couleurs

Un bref récapitulatif des différents rejets est présenté dans le Tableau 1.

Tableau 1: Récapitulatif des rejets d'eau du lac dans les rivières et des mesures réalisées (année de référence : 2010)

	Consommation par année [m ³]	Mesure débit	Mesure température	Rejet dans la rivière
Première étape EPFL	2'322'468 (19.6%)	Toutes les 5 minutes	Toutes les 10 minutes	Sorge
Physique	176'518 (1.5%)	Consommation mensuelle	Non	Sorge
Pompes à chaleur (CCT)	7'614'676 (64.3%)	Toutes les 10 minutes	Toutes les 10 minutes	Sorge
BS-PH-CH	520'472 (4.4%)	Consommation mensuelle	Non	Sorge
Cubotron	24'646 (0.2%)	Consommation mensuelle	Non	Sorge
Amhipole	107'174 (0.9%)	Consommation mensuelle	Non	Sorge
Anthropole	120'078 (1%)	Consommation mensuelle	Non	Chamberonne
Bibliothèque EF	Avec Internef	Non	Non	Chamberonne
Internef- Extranef	75'935 (0.6%)	Consommation mensuelle	Non	Chamberonne
Unicentre- Unithèque	737'092 (6.2%)	Oui	Non	Chamberonne
IDHEAP	137'368 (1.2%)	Consommation mensuelle	Non	Mèbre
TOTAL	11'836'427 (100%)			

2. Questions ouvertes

Les questions posées dans ce travail sont orientées sur plusieurs grands axes :

- Réalisation d'une fonction de correction des débits
- Évaluation des impacts des rejets d'un point de vue des variations de température et de débit
- Evaluation des évolutions futures des rejets

La fonction de correction permet d'obtenir une valeur de débit naturel d'eau de la rivière (c'est à dire sans compter l'effet des multiples rejets) à un point donné, qui sera celui de la station de mesure du laboratoire de technologie écologique (ECOL) de l'EPFL. En connaissant le débit initial de la rivière, une concentration de polluants pourra être recalculée à partir des mesures réellement faites sur le terrain, permettant donc de s'affranchir de la variation de concentration au cours de la journée due aux variations de débits des différents rejets induisant une dilution.

L'évaluation des impacts se fait d'un point de vue écologique, en observant les différentes mesures de température et de débit faites sur le cours de la rivière. Elle doit pouvoir mettre en évidence les problèmes ou les bénéfices induits par les rejets.

Cette étude est réalisée sur la situation actuelle des installations, permettant de faire un bilan des impacts réels, mais elle est également faite pour une situation future qui tient compte d'une augmentation des débits et d'une réaffectation de l'utilisation de l'eau. On peut de ce fait obtenir un aperçu des impacts auxquels il est nécessaire d'être vigilants dans l'optique éventuelle de l'obtention d'une nouvelle concession de pompage.

3. Méthodologie

Dans un premier temps, il est nécessaire de faire un bilan des installations existantes et des appareils de mesure présents sur celles-ci. D'après cette reconnaissance, on peut évaluer la possibilité d'utilisation des données, mais également la nécessité, ou non, de pouvoir obtenir d'autres valeurs à des points précis. L'accès aux données doit également être pris en compte, car elles ne seront d'aucune utilité si elles existent mais sont tout bonnement inaccessibles. Dans le meilleur des cas, les données mesurées en continu devraient être accessibles depuis n'importe quel poste informatique connecté à internet. Dans l'état actuel, l'accès se fait uniquement en passant par les services techniques respectifs, ou même dans certains cas, l'accès n'est tout simplement pas possible, bien que des mesures soient relevées plus ou moins fréquemment.

3.1. Modélisation – fonction de correction

Pour pouvoir prendre en compte le temps de transit entre le point de rejet et un point fixe défini, il est nécessaire de réaliser une modélisation des écoulements dans les rivières. Celle-ci a été réalisée sur le programme HEC-RAS². Un schéma conceptuel a été réalisé dans ce but, et les distances linéaires entre les différents points ont été relevées à l'aide d'un logiciel de systèmes d'information géographique (ArcGIS) pour chaque rejet ou station de mesure. Les valeurs de latence ont ensuite été calculées à l'aide d'un programme de simulation de crue (EXPLIC³), puis les débits manquants ont pu être recalculés approximativement pour les introduire dans le programme de modélisation. Pour finir, une équation de correction des débits est proposée sur la base des données disponibles et facilement accessibles ; elle permet de distinguer la part d'eau provenant des rejets de celle naturellement dans la rivière à un point donné en tenant justement compte du temps de propagation de l'eau et d'un certain nombre de données initiales.

La situation évoluant relativement rapidement ces derniers temps, autant du côté de l'UNIL que de l'EPFL, une estimation des rejets futurs ou de leur remplacement est faite afin de pouvoir évaluer les augmentations attendues. Certaines de ces modifications n'étant encore que mal connues, une proposition de variante est réalisée en prenant en compte des données observées sur d'autres rejets ayant certaines similarités, nous permettant de partir sur une base non-totalement aléatoire.

3.2. Impacts écologiques

Pour ce qui est de l'aspect des impacts écologiques, et plus spécialement des variations de température et de débit, toutes les données existantes accessibles ont été étudiées pour observer et déceler les rejets et/ou les périodes potentiellement problématiques durant l'année. Les valeurs utilisées se concentrent essentiellement sur les températures de tolérance des poissons, et spécialement de la truite lacustre (« *Salmo trutta fario* »). Une valeur de température journalière a été calculée pour chaque série de données, ce qui permet d'avoir une idée raisonnable des impacts éventuels. On sépare ensuite les séries de données par périodes, pour les étudier de façon plus précise. Les valeurs limites sont basées sur une étude approfondie réalisée par l'Eawag (Institut de

² <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>, consulté le 20 juin 2012

³ ftp://lrhmac15.epfl.ch/Pub/Books/EngMac/FLUV_HYD.PDF, consulté le 20 juin 2012

ftp://lrhmac15.epfl.ch/Pub/hydraulique_fluviale/HYDFLUV/HYDFLUV_V2.PDF, consulté le 20 juin 2012

Recherche de l'Eau du Domaine des EPF). Elles sont basées sur trois facteurs clé : une température maximale durant la période estivale (T1), une variation de température due au rejet maximum (T2) et une température maximale durant la période du frai et d'incubation des œufs (T3)⁴. On trace donc une zone de tolérance maximum dans laquelle les températures mesurées devraient toujours se trouver. Dans le cas contraire, les conditions ne sont plus bonnes pour le maintien de la faune sur le long terme. Dans le cas où aucune mesure n'était disponible, on calcule à l'aide de toutes les valeurs de température et de débit connues, la puissance véhiculée par l'eau par rapport à un référentiel (par exemple 0°C). En remontant le cours de la rivière et en lui soustrayant toutes les puissances ajoutées par les rejets en tenant compte du temps de transit calculé précédemment, on peut obtenir une valeur de puissance ainsi que de débit, qui nous permet de retrouver la température initiale avant les rejets.

La variation de débit induite par les rejets est également étudiée. L'impact potentiel de celui-ci est par contre limité, et ne représente pas un aussi grand risque de détérioration des conditions du milieu que la température. Dans ce cas, l'étude sera plutôt axée sur les castors, une espèce qui tend à se redévelopper sur les rivières étudiées.

Comme vu dans la partie précédente, le campus tend à se développer et à créer donc de nouveaux besoins, générant de nouveaux rejets d'eau dans les rivières. En se basant sur les calculs des débits projetés, établis à partir de suppositions, et à l'aide d'un calcul de puissances (liant donc le débit et la température), on est en mesure de pouvoir retrouver une estimation des températures que l'on mesurerait normalement si les rejets étaient réellement présents. On peut de ce fait étudier les courbes de températures pour déceler éventuellement les problèmes que pourraient poser l'adjonction de ces rejets sur la pérennité de la faune aquatique.

⁴ L. Rossi and R. E. Hari, "Screening Procedure to Assess the Impact of Urban Stormwater Temperature to Populations of Brown Trout in Receiving Water," *Integrated Environmental Assessment and Management* 3, no. 3 (2007): 383–392; L. Rossi and R. Hari, "Rejets Urbains De Temps De Pluie Et Température Des Cours D'eau," *GWA Gas, Wasser, Abwasser* 11 (2004): 795–805; R. E. Hari et al., "Consequences of Climatic Change for Water Temperature and Brown Trout Populations in Alpine Rivers and Streams," *Global Change Biology* 12, no. 1 (2006): 10–26; J. W. Gibbons and R. R. Sharitz, "Thermal Alteration of Aquatic Ecosystems: Effluents from Nuclear Production Reactors on the AEC's 750-square-kilometer Savannah River Plant Have Created a Unique Opportunity to Study the Effects of Heat on Aquatic Communities," *American Scientist* 62, no. 6 (1974): 660–670.

4. Aspect théorique

4.1. Température

Dans l'étude des températures, on s'intéresse majoritairement aux données sur différentes périodes : l'année, les quatre saisons ainsi que les mois de mars, avril et mai. Les trois dernières périodes sont spécialement importantes, car elles correspondent à la période d'éclosion des œufs de poissons ainsi que de la période d'émergence des larves hors des sédiments. La température est donc un facteur clé à la survie des nouvelles générations. La période de ponte, en novembre, ne nécessite par contre pas de conditions thermiques vraiment spéciales.

Pendant l'été, une trop haute température du cours d'eau durant des périodes relativement longues, de l'ordre de plusieurs jours, peut être problématique. Au dessus d'une température de 19°C, la truite cesse de se nourrir et consomme donc uniquement ses réserves, ce qui l'amène à devenir maigre et dans le cas extrême, à la mort en cas de période chaude trop étendue.

Du point de vue des castors, la température n'est pas un paramètre très important, ils s'installeront aussi bien dans des étangs ayant des températures jusqu'à 25°C que dans des rivières relativement froides. Les fluctuations paraissent ne pas le gêner outre mesure, et n'est donc pas un obstacle à son installation dans un cours d'eau donné⁵.

Pour la vérification des températures, on calcule une moyenne des valeurs sur un jour pour trouver la température journalière moyenne sur l'ensemble des jours de l'année et en calculant par la même occasion l'écart-type de la moyenne. On calcule également la moyenne et les quantiles 95% et 5% (95% ou 5% des courbes en dessous de la valeur) pour former un seul jour sur la période d'étude choisie (Tageslauf; Figure 4) en prenant les données de bases réellement mesurées ou approximées en fonction des informations connues. Ces valeurs nous permettent ensuite d'observer si les données se situent dans une marge convenable ou non. Pour la vérification des températures journalières, on se base sur l'étude de Renata Hari de l'Eawag⁶ qui nous fournit une courbe sinusoïdale minimale et maximale optimisée qui permet d'évaluer les conditions. Entre ces deux limites, une valeur

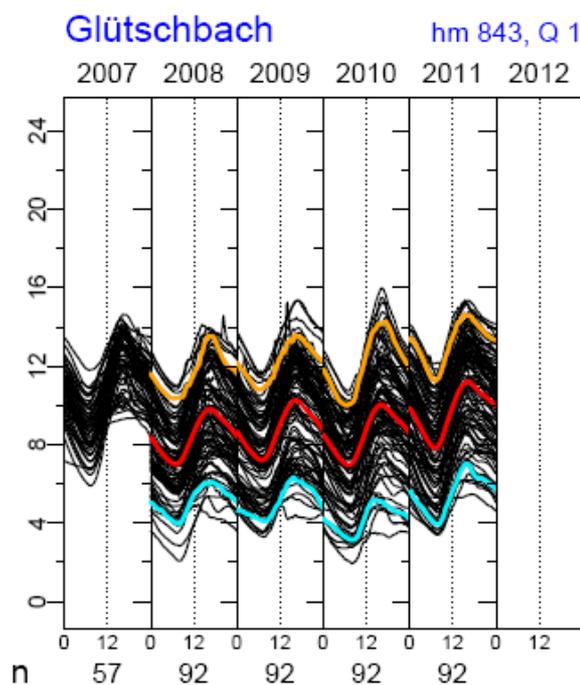


Figure 4: Exemple de "Tageslauf" de printemps sur plusieurs années. Courbe orange : quantile 95%, rouge : moyenne, bleue : quantile 5%, noires : courbe de chaque jour observé, n = nombre de données par série (Source: Renata E. Hari - Eawag)

⁵ Thomas Ravessoud, Association pour l'intérêt et le suivi du castor en Suisse, communication personnelle.

⁶ R. E. Hari, *Veränderungen in Temperatur und Abfluss in Den GZA-Fliessgewässern in den letzten 30 Jahren* (Amt für Wasser und Abfall AWA des Kantons Bern Gewässer- und Bodenschutzlabor, 2011).

de prise de poissons jugée bonne (70 truites par kilomètre ou plus) a été observée. Elles représentent les valeurs du tiers supérieur des prises effectuées dans les rivières Suisse. Les données utilisées pour le tracé des deux courbes sont celles du Tableau 2 et de l'équation de la Figure 5.

Tableau 2: Données des courbes de température optimale pour les truites en Suisse (Source : R.Hari - Eawag)

	Moyenne	Amplitude	Maximum	Date max (n° de jour)
Limite supérieure (quantile 0.95)	13.0°C	± 6.3°C	19.3°C	24 juillet (205)
Limite inférieure (quantile 0.05)	4.9°C	± 4.2°C	9.1°C	24 juillet (205)

$$T(t) = T_s + A \cos \omega(t - M)^7$$

avec t date de la température cherchée, en jour
 $T(t)$ température de la rivière au temps t
 T_s moyenne de la sinusoïde
 A amplitude de la sinusoïde
 ω fréquence = $2\pi/365.25$ rad d⁻¹
 M jour du maximum annuel

Figure 5: Équation pour la définition de la température idéale du cours d'eau pour les truites (Source : R.Hari - Eawag)

	Fortpflanzung	Eier (Brütlinge)	Juvenile optimal	Adulte optimal
Bachforellen	1 1 10 13 10. Nov. bis 10. Dez	0 3 9 14 10. Dez. bis 1. Apr. (1. Juni)	7 14	0 4 10 15 19 25 30

Figure 6: Limite de température pour la truite à différents stades de croissance. Rouge : température optimale, bleu : température de tolérance, noir : température létale à long terme (Source : Renata Hari – Eawag)

Il est important de préciser que les courbes des quantiles 95% et 5% (telles que celles sur la Figure 4) sont des courbes basées sur les données mesurées et qu'elles ne sont en aucun cas des limites maximales et minimales pour les températures ! En revanche les courbes en traitillée sur les courbes des valeurs journalières sont elles des limites supérieures et inférieures pour le maintien de conditions viables à long terme pour la truite lacustre basées sur l'équation de la Figure 5).

Pour la réalisation de ces analyses, un code matlab a été écrit et permet de traiter n'importe quelle série de température ou de débit à n'importe quel intervalle de temps fixe et pour un nombre d'année entier. La sélection de la plage à tracer sur le graphique peut elle aussi être librement sélectionnée à l'aide de menus. Une fonction permet également d'éliminer des valeurs aberrantes (erreur de mesure, problème technique) pour la suite du calcul et le traçage des graphiques (voir annexe 9.3, page 73).

⁷ Hari et al., "Consequences of Climatic Change for Water Temperature and Brown Trout Populations in Alpine Rivers and Streams."

4.2. Débit

Pour ce qui est des débits, ils n'ont que peu d'influences sur la faune piscicole. Les poissons sont mobiles, et ne resteront donc pas dans des régions trop turbulentes. La limite supérieure des débits, c'est à dire le moment où des problèmes pour la survie des poissons pourraient apparaître, est en hiver en cas de débit suffisant pour commencer à mettre en mouvement les sédiments du fond de la rivière. En effet, si cela se produirait, les œufs ainsi que les larves se trouvant enfouis dans le fond seraient lessivés et n'atteindraient donc jamais la maturité, mettant en danger la survie de la nouvelle génération. Dans notre situation, les débits des rejets en jeu ne sont en aucun cas capables d'augmenter le débit du cours d'eau à ce point, déjà d'un point de vue technique mais aussi légal, la concession de pompage permettant un débit maximum de 1150 l/s⁸. Le risque est donc lors de crues importantes d'origine naturelle. Des zones inondables ont justement été créées sur le cours des rivières pour lamener le débit de pointe, l'une d'elle se trouve juste en amont des rejets sur la Sorge à la hauteur des logements pour étudiants des Triaudes. A l'opposé, un manque d'eau pourrait être négatif pour la pérennité de la vie aquatique, mais dans ce cas, les rejets ont forcément un effet positif en augmentant le débit de la rivière.

L'aspect des débits est par contre plus important pour les castors. Il est nécessaire pour son installation que le cours d'eau possède des zones avec une certaine profondeur d'eau, car l'entrée de leur terrier doit être normalement immergée. Le castor est inféodé aux zones d'eaux lentes et ne s'installe pas volontiers sur des cours d'eau subissant de relativement fortes variations de niveau d'eau à faibles intervalles⁹. On peut donc penser que la région n'est pas idéale pour l'installation du castor car les débits sont fortement influencés par les différents rejets, et ceci durant toute l'année. En cas de trop faible profondeur d'eau ou de faible débit d'eau, le castor construit des barrages pour créer des zones profondes. Ces dernières années, le débit observé est descendu à de très faibles niveaux durant des périodes de sécheresses répétées, mais malgré cela aucun barrage n'a été observé, laissant penser que les rejets d'eau du lac ont permis de maintenir un niveau suffisamment haut pour la vie du castor.

On peut donc penser que les rejets ont un impact ambigu du point de vue des débits. Ils permettent le maintien d'un certain débit durant toute l'année mais créent de fortes variations du niveau d'eau.

⁸ Acte de concession pour usage d'eau N°184, Conseil d'état du canton de Vaud, contact direct avec M. Philippe Vollichard, Vice président pour la planification et la logistique, EPFL.

⁹ Claudine Winter, "Données De Base D'une Protection Coordinnée Du Castor" (Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), 2001), <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00909/index.html?lang=fr>.

5. Résultats et analyses

5.1. Fonction de correction des débits

L'élaboration d'une fonction de correction des débits a comme but la possibilité de pouvoir différencier la part d'eau naturellement présente dans la rivière de celle ajoutée par les différents rejets de l'UNIL et de l'EPFL. On peut de se fait corriger les données de concentration de polluants mesurés dans la Chamberonne pour retrouver la concentration initiale avant dilution faite par l'eau du lac.

Le nombre de rejets étant relativement élevé, il est difficile de trouver une solution permettant de connaître précisément tous les débits de rejet. En effet, la plupart ne sont pas équipés de mesure de débit en continu et il est uniquement possible de connaître les consommations d'eau industrielle mensuellement. De ce fait il est nécessaire de mettre en place un moyen de pouvoir estimer au mieux possible les débits à l'échelle d'une dizaine de minutes. Une solution à long terme serait de moderniser les installations pour permettre une mesure en continu des débits ainsi que la possibilité de consulter toutes ces données sur un serveur réseau connecté à l'internet.

Deux types de rejets sont présents dans notre zone d'étude ; des rejets d'eau industrielle utilisée pour des besoins en chaleur, ce qui veut dire que la température de rejet sera plus faible que celle d'entrée, ainsi que des rejets d'eau utilisée pour des besoins en refroidissement, ce qui veut dire que la température de rejet sera plus élevée que celle d'entrée (ce qui n'implique pas forcément qu'elle soit plus élevée que la température de l'eau de la rivière). Il est important de différencier ces deux utilisations, car autant les courbes de débit que de température sont très différentes d'un point de vue temporel. Pour permettre d'évaluer les variations de débit sur tous les rejets dont on ne connaît que les volumes mensuels, la courbe de consommation du rejet de la première étape de l'EPFL a été normalisée. En effet, ce rejet contient uniquement des eaux utilisées à des fins de refroidissement, et permet donc de considérer cette courbe de consommation comme standard pour ce type d'utilisation.

5.1.1. Latence de l'écoulement

Les différents rejets étant répartis non uniformément sur le cours d'eau, il est nécessaire de calculer le temps de transit de l'eau de chaque point de confluence jusqu'au point choisi comme référence. Le calcul est effectué avec un programme de simulation de crue. Il nécessite préalablement l'obtention de quelques valeurs moyennes telles que la pente du tronçon choisi, la largeur de fond du lit, la hauteur d'eau pour le débit choisi, la longueur du tronçon ainsi que la valeur du coefficient de Strickler. On peut par la suite choisir une valeur de débit de pointe (considérée comme débit de crue dans dans le programme) qui simulera par exemple l'augmentation de débit d'un rejet ainsi qu'un temps de montée et de descente de la crue. L'hydrogramme de crue est obligatoirement triangulaire (c'est à dire que la crue augmente en débit puis redescend dès le débit maximum atteint). Dans un premier temps, le système a été divisé en trois tronçons différenciés : un tronçon pour la Sorge, commençant en amont à la station de mesure de la température de l'EPFL et se terminant à la confluence des deux rivières, un tronçon pour la Mèbre commençant à la station de mesure du canton de Vaud (SESA) et se terminant à la même confluence et un tronçon pour la Chamberonne depuis la jonction des deux précédentes rivières, jusqu'à l'embouchure dans le lac Léman. Les valeurs choisies sont visibles dans le Tableau 3.

Tableau 3: Données utilisées pour la simulation de propagation de l'eau dans les trois tronçons

	Sorge	Mèbre	Chamberonne	Unité
Largeur canal	4	4.5	6	[m]
Pente berge	3	rectangle	1	[-]
Longueur tronçon	934	217	1320	[m]
Delta hauteur tronçon	5.91	2.42	10.35	[m]
Pente tronçon	0.00633	0.01115	0.00784	[-]
Coefficient de Strickler	29	29	40	[m ^{1/3} /s]
Débit initial	0.81	0.38	1.19	[m ³ /s]
Hauteur d'eau initiale	0.237	0.117	0.178	[m]
Débit de simulation	1.3	0.5	1.8	[m ³ /s]

La largeur de canal, la pente des berges ainsi que le coefficient de Strickler (coefficient de rugosité) ont été à chaque fois calculés à l'aide des coupes disponibles pour la simulation sur HEC-RAS. La valeur de largeur du lit est donc une valeur moyenne sur l'entier du tronçon, mais correspond relativement bien à la réalité. La pente des berges est basée sur le même principe. La valeur du coefficient de Strickler étant quasiment constante sur chaque tronçon, à l'exception des passages en tunnel qui représente une faible longueur linéaire par rapport à l'entier du segment, c'est cette valeur qui a été retenue. Une analyse de sensibilité des paramètres a été faite, et révèle une sensibilité élevée à la variation du coefficient de Strickler, mais largement plus faible à la valeur de la pente des berges ainsi qu'à la largeur de fond. Le débit initial choisi est tiré de la valeur moyenne annuelle mesurée par le SESA à la station de la Chamberonne (2008) ainsi qu'à celle de la Mèbre (2008) et le débit de simulation correspond à l'ajout d'eau possible par les différents rejets. La hauteur d'eau initiale est calculée à l'aide de la formule de Strickler en prenant les paramètres précédemment définis. On peut ensuite réaliser le calcul à l'aide du programme EXPLIC, qui nous donnera ensuite un hydrogramme tel que celui de la Figure 7.

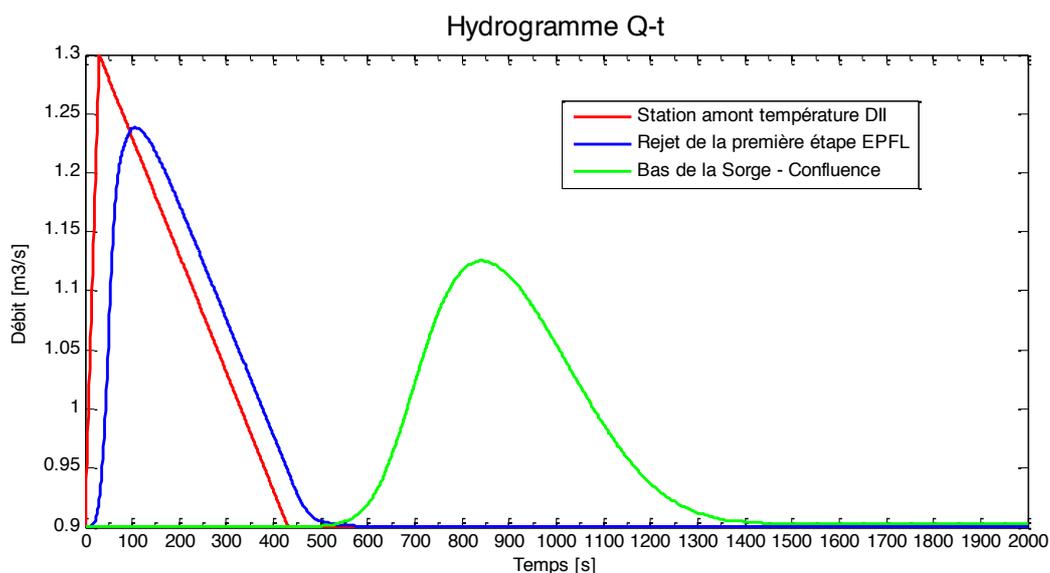


Figure 7: Exemple de données calculées avec le logiciel EXPLIC pour le tronçon de la Sorge – Débit en fonction du temps permettant d'observer la latence de l'écoulement (débit initial : 0.9m³/s, débit de crue : 1.3m³/s)

On remarque un certain décalage entre la latence du début de l'augmentation de débit et celle du sommet de débit. Ceci provient du fait de l'atténuation de l'onde de crue (diminution du débit maximum atteint) au cours de son trajet dans la rivière. Pour avoir une idée convenable du temps de transit, la latence a été mesurée aux deux endroits, puis la moyenne de ces deux valeurs a permis d'en obtenir une valeur relativement bien au delta t moyen de l'hydrogramme (Tableau 4). Une vérification des vitesses dans le canal a également permis d'examiner si elles correspondaient à la même valeur pour chaque point considéré dans le tronçon.

Tableau 4: Valeurs de latence de l'écoulement pour les trois tronçons étudiés calculés à l'aide du programme EXPLIC

	Emplacement	Distance tronçon [m]	Distance embouchure [m]	Latence embouchure [min]	Latence station ECOL [min]	Latence station SESA [min]
Sorge	T amont DII	934	2254	22.2	17.5	17.7
	1ère étape	870	2190	21.4	16.8	17.0
	Physique	770	2090	20.2	15.6	15.8
	Thermopompes	745	2065	20.0	15.3	15.5
	BS-CE-CH	642.7	1962.7	18.7	14.1	14.3
	Cubotron	538	1858	17.5	12.9	13.1
	Amhipole	267	1587	14.4	9.8	10.0
Mèbre	Bas	0	1320	11.2	6.6	6.8
	Station SESA	217	1537	13.9	9.3	9.5
	IDHEAP	207	1527	13.8	9.2	9.4
Chamberonne	Bas	0	1320	11.2	6.6	6.8
	Haut	1320	1320	11.2	6.6	6.8
	Anthropole	770	770	6.6	2.0	2.1
	Bibliothèque E. Fleuret	601	601	5.2	0.6	0.8
	Station ECOL	541.5	541.5	4.6	0.0	0.2
	Unithèque et Unicentre	541.5	541.5	4.6	0.0	0.2
	Internef et Extranef	541.5	541.5	4.6	0.0	0.2
	Station SESA	513	513	4.4	-0.2	0.0
Embouchure (lac)	0	0	0.0	-4.6	-4.4	

Pour nous permettre de recalculer les débits manquants ainsi que les températures (par un bilan de puissance), il est nécessaire de placer un référentiel fixe de position ainsi que de temps. Dans cette étude, le calcul a été réalisé en considérant tous les débits au point de mesure du canton de Vaud (Service des eaux, sols et assainissement - SESA) situé sur la Chamberonne, car des mesures de température, de hauteur d'eau ainsi que de débit sont disponibles à intervalle régulier, permettant donc de calculer la puissance.

5.1.2. Modélisation

La modélisation de la situation a été réalisée sur le programme HEC-RAS développé par l'armée américaine¹⁰. Les sections réellement mesurées ont été obtenues par le laboratoire de construction hydraulique de l'EPFL (LCH) qui les avait réalisées pour une précédente étude à la fin des années 90 pour le dimensionnement d'ouvrages en cas de crue¹¹. Pour des raisons de simplification, le système a été légèrement réduit en ne considérant que les parties aval de la Sorge et de la Mère, les parties amont ne nous intéressant que peu et étant plus difficiles à prendre en compte en raison du manque d'information sur les débits. Une partie des coupes transversales étant interpolée pour les besoins de la simulation, il a été parfois nécessaire de refaire une nouvelle interpolation pour placer ces coupes aux endroits des rejets. En fixant ensuite un débit en tête de tronçon et une condition aval, on peut réaliser une simulation des écoulements en régime permanent, tout en tenant compte du régime fluvial ou torrentiel de l'écoulement que le modèle sélectionnera automatiquement.

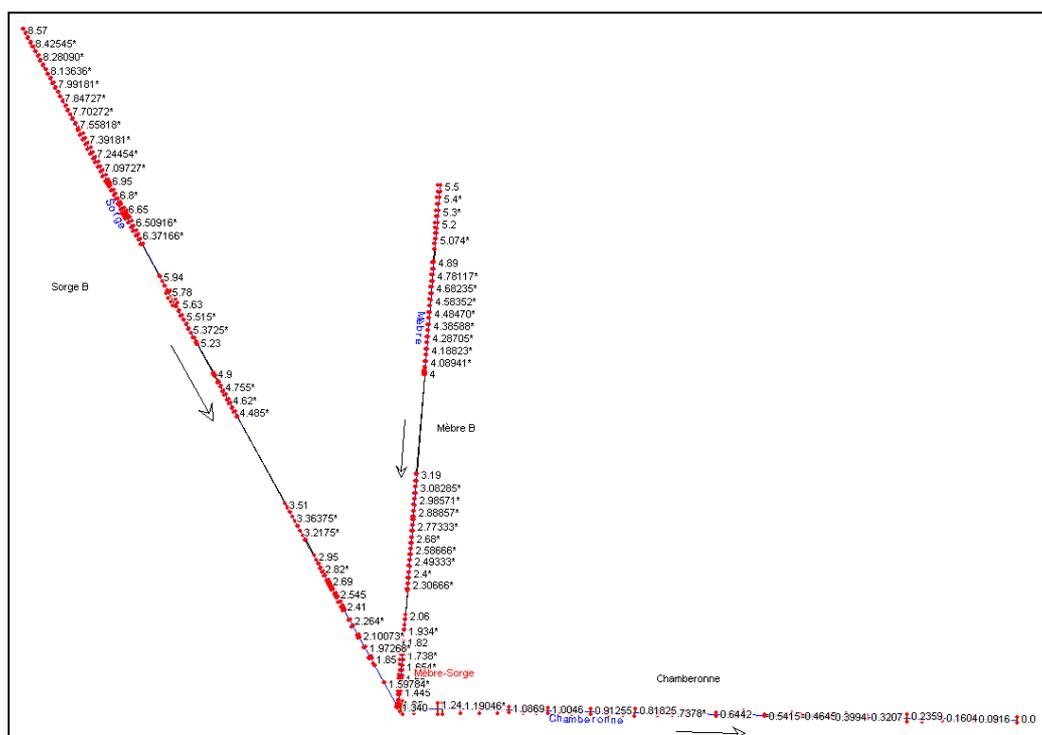


Figure 8: Schéma de la modélisation sur HEC-RAS et emplacement des coupes transversales (distance à l'embouchure)

Comme vu dans le Tableau 4, tous les rejets sur la Mère et la Sorge se trouvent dans la partie aval des tronçons. Dans le cas de la Mère, on utilise comme valeur de débit celles de la station de mesure du SESA, située relativement près de la jonction des deux rivières. Néanmoins, vu que celle-ci se trouve en amont du rejet, on considère que les débits ne varient que faiblement sur le parcours, de plus la simulation est réalisée en régime constant et ne pose donc pas de problème. Le débit de la Sorge nécessite par contre de réaliser un calcul en prenant comme base le débit mesuré de la Chamberonne, auquel on soustrait le débit de la Mère, puis de tous les rejets mesurés ainsi que des

¹⁰ <http://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/>, consulté le 21 juin 2012

¹¹ Laboratoire de construction hydraulique - LCH-EPFL and J.-L. Boillat, *Etude Hydrologique Et Hydraulique Des Aménagements De Protection Contre Les Crues - Calcul Hydraulique De Lignes D'eau Et Détermination Des Débits De Débordement Dans L'état Actuel - Rapport Intermédiaire N°6*, Enreprise de correction fluviale Mère-Sorge, 1999.

approximations faites sur les autres rejets non contrôlés. On peut ensuite réaliser la simulation et observer les hauteurs d'eau (Figure 9).

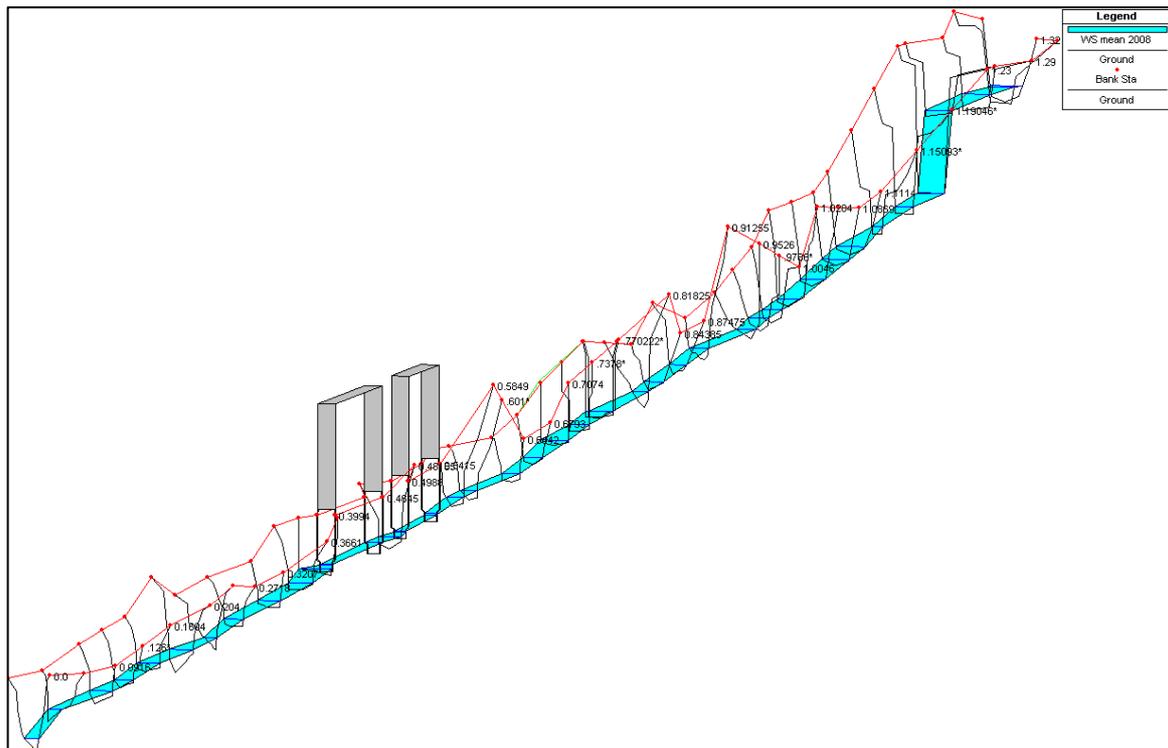


Figure 9: Écoulements dans la Chamberonne simulés sur HEC-RAS en régime constant (distance à l'embouchure)

Pour pouvoir également modéliser les températures, une simulation en régime non-constant doit être réalisée pour tenir compte des variations. Dans l'état actuel de la modélisation et à la vue des données disponibles, ceci n'a malheureusement pas pu être fait dans le cadre de ce travail. Il serait nécessaire d'avoir des valeurs pour plus de stations et un modèle géométrique plus détaillé. De plus la modélisation instationnaire, outre d'être bien plus compliquée que la stationnaire, supporte mal les faibles hauteurs d'eau. Des données de températures tout au long du cours d'eau, mesurées par exemple par fibre optique, seraient d'une grande utilité pour cette simulation. Des mesures auraient du être réalisées par le laboratoire EFLUM de l'EPFL, mais n'ont pas été possibles en raison de problèmes techniques.

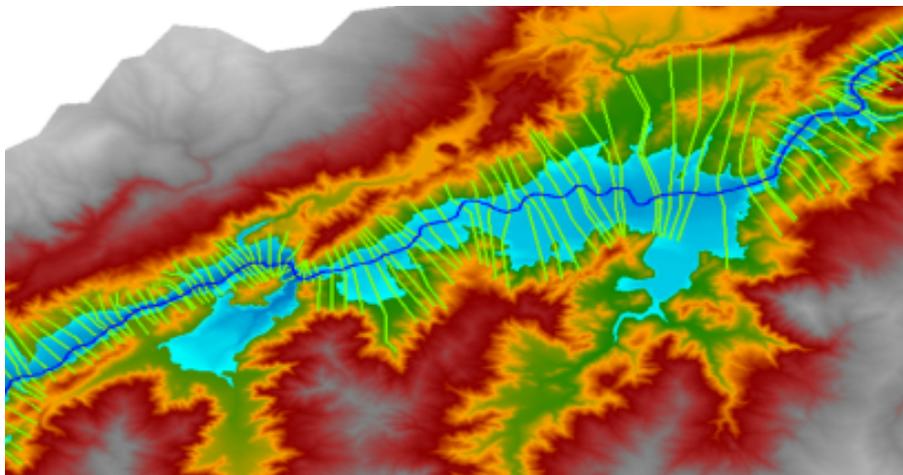


Figure 10: Exemple de modélisation de température réalisée avec HEC-RAS (Source: site internet HEC-RAS)

5.1.3. Équation de correction

L'équation de correction des débits doit pouvoir permettre de trouver le débit de la rivière en différenciant la part provenant des rejets et celle naturellement présente dans le cours d'eau. Elle se base principalement sur quatre sources de données. Premièrement il est nécessaire de connaître le débit réel de la rivière au moment auquel on désire connaître ces différentes valeurs. Cette donnée peut être dans le cas présent établie par la hauteur d'eau mesurée, moyennant la connaissance de la courbe de tarage au point de mesure. Pour le cas de la station de l'ECOL, la courbe de tarage du canton de Vaud (SESA_{sud}) peut être utilisée, car leur station se trouve dans le même tunnel et possède donc les mêmes caractéristiques hydrauliques. En revanche elle se situe en aval des deux derniers rejets de l'UNIL alors que celle de l'ECOL se trouve en amont (ce qui implique que le débit n'est pas le même pour les deux stations).

Les rejets de l'EPFL étant relativement proches les uns des autres, les trois rejets de refroidissement seront considérés dans le calcul comme un seul, de plus les données de débit sont uniquement disponibles pour le plus important des trois (rejet de la première étape de l'EPFL). Pour tenir compte globalement des rejets, une indexation des débits est faite entre les deux débits non mesurés et celui mesuré. La valeur mesurée sur la première étape est le débit rejeté sur les trois rejets, mais une part de la deuxième étape (bâtiment de microtechnique et bâtiment polyvalent) rejette également dans le premier rejet de l'EPFL. En considérant donc les volumes consommés par ces deux bâtiments, on calcule la proportion que cela représente sur l'adduction en eau de la première étape. On trouve une valeur moyenne de 18.64% durant toute l'année, ce qui permet de corriger les débits avec une erreur maximum de moins de 5% (comparaison de la valeur estimée à celle réellement mesurée sur la base du volume de consommation mensuelle). On considèrera donc les rejets de refroidissement de l'EPFL comme étant le débit de la première étape, augmentée du pourcentage précédemment calculé et en tenant compte de la latence de l'écoulement qui est estimé à 15 minutes sur la bases des données calculées.

Le second gros rejet de l'EPFL étant les thermopompes, on traite ce rejet indépendamment de ceux de refroidissement, d'un côté en raison de la variation de sa consommation temporelle et de la non simultanéité des demandes, et d'un autre côté en raison de son décomptage séparé fait par le service technique. On peut donc considérer directement cette valeur dans la fonction de correction, en tenant toujours compte du temps de transit de l'eau. Dans ce cas présent, la valeur n'étant acquise que toutes les dix minutes, on fixera un temps de propagation de 20 minutes en se basant sur la latence calculée.

Les rejets de l'UNIL étant plus espacés, il n'est pas possible de tous les regrouper en un seul. En considérant que la mesure faite à la station de pompage est réalisée toutes les dix minutes, on répartit les rejets en deux groupes. Le premier regroupe les rejets ayant une latence d'écoulement proche de 10 minutes et le second regroupant les rejets qui ont une latence quasi nulle. On indexe ensuite chacun des groupes pour évaluer la part que ceux-ci représentent sur le débit de pompage total. Le débit des rejets ayant une latence représente 14.06% du pompage et celui de ceux n'ayant pas de latence représente 7.58%. Ces valeurs sont issues des mesures du volume consommé par mois sur chacun des bâtiments concernés, elles pourraient donc être affinées si l'on pouvait précisément connaître les valeurs de débit de chacun à intervalle régulier et plus fréquent (de l'ordre de la dizaine de minutes), ce qui n'est malheureusement pas possible actuellement pour des raisons techniques.

On peut donc écrire l'équation suivante (Figure 11) :

$$Q_{ECOL-riv,t} = Q_{CHB,t} - 1.1864 \cdot Q_{EPFL1,t-15} - Q_{TP,t-20} - 0.1406 \cdot Q_{UNIL,t-10} - 0.0758 \cdot Q_{UNIL,t}$$

avec : $Q_{ECOL-riv,t}$ = le débit sans les rejets à la station de mesure de l'ECOL au temps t

$Q_{CHB,t}$ = le débit de la Chamberonne au temps t

$Q_{EPFL1,t-15}$ = le débit d'alimentation de la première étape de l'EPFL au temps t - 15 minutes

$Q_{TP,t-20}$ = le débit des thermopompes au temps t - 20 minutes

$Q_{UNIL,t-10}$ = le débit de pompage de l'UNIL au temps t - 10 minutes

$Q_{UNIL,t}$ = le débit de pompage de l'UNIL au temps t

Figure 11: Équation de correction des débits permettant de calculer le débit naturel de la Chamberonne à la station de mesure du laboratoire ECOL de l'EPFL

Les données de débit d'alimentation de la première étape de l'EPFL ainsi que des thermopompes peuvent être obtenues auprès du service technique du domaine immobilier et infrastructures (DII). Le débit de pompage de l'UNIL peut être obtenu auprès du service technique de l'université.

Un exemple d'application de la fonction de correction est donné à la Figure 12 sur la base des valeurs mesurées en 2010.

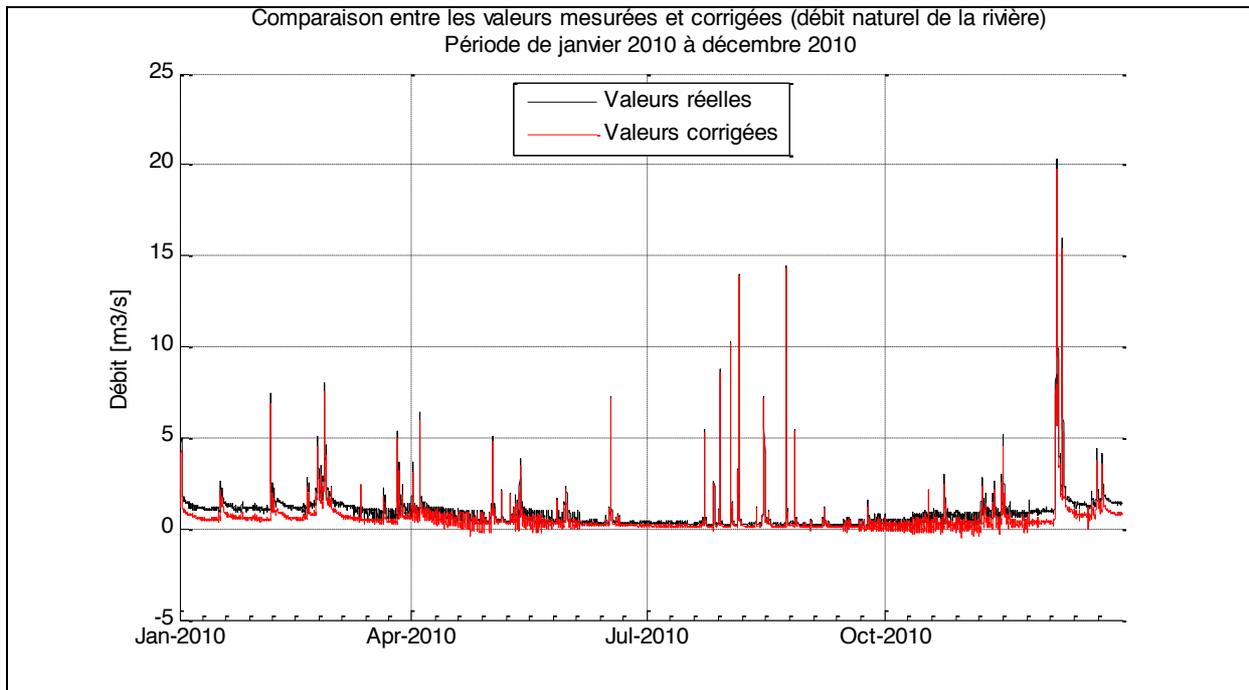


Figure 12: Comparaison entre le débit réel et le débit corrigé à l'aide de la fonction pour la station de mesure du laboratoire ECOL

5.2. Etat naturel

Un calcul basé sur la puissance des rejets a été fait pour être en mesure d'observer des valeurs « naturelles » du cours d'eau, donc en supprimant au mieux tous les effets des différents rejets (débit et température). On peut ensuite observer les données pour évaluer les conditions thermiques ainsi que de débit.

5.2.1. Température

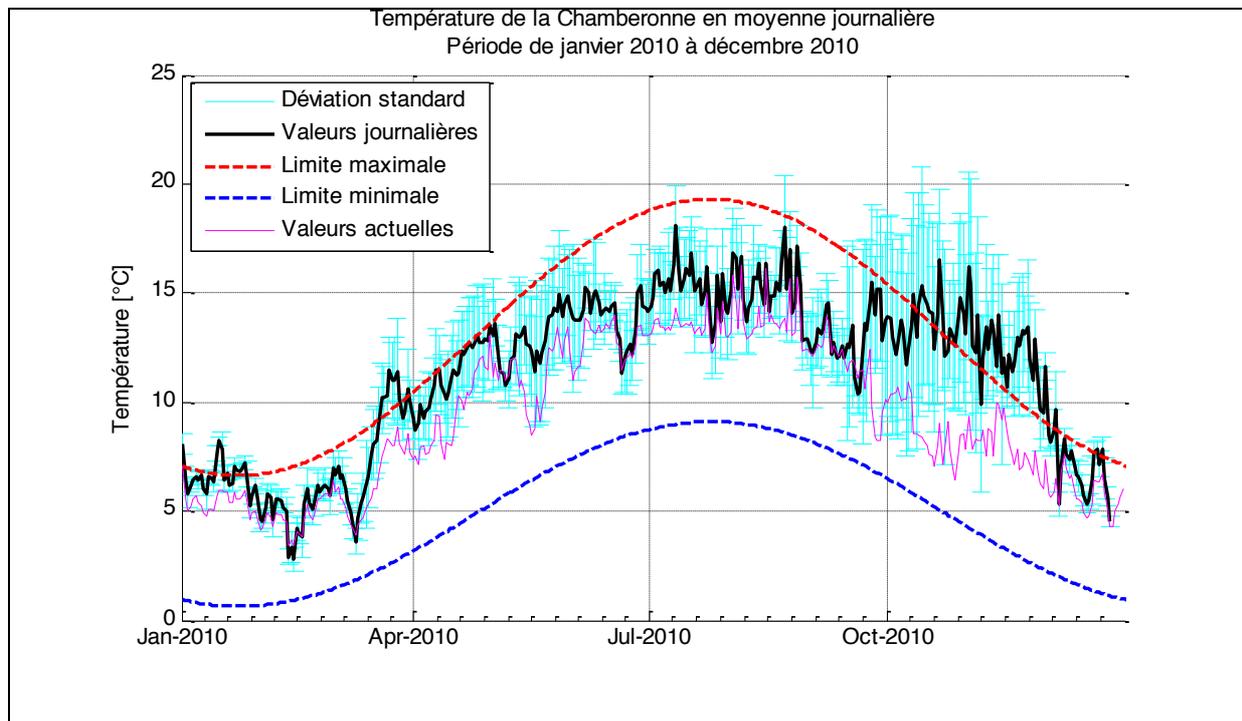


Figure 13: Température moyenne journalière estimée et réelle de la Chamberonne à l'état naturel (sans rejet) avec courbes limites

La température calculée de la Chamberonne sans les rejets (courbe noire, Figure 13) est quasiment en permanence plus élevée que celle mesurée réellement (et donc prenant en compte les rejets; courbe violette). De plus elles sont relativement fréquemment en dessus de la température maximale pour la survie de la truite lacustre (courbe traitillées rouge). A l'état naturel, les températures ne sont donc pas idéales pour le maintient à long terme de la faune aquatique. Les rejets semblent dans ce cas avoir surtout un effet positif sur les régimes de température. Les effets se font plus sentir durant la période estivale et en automne que durant le printemps. Le rejet des thermopompes de l'EPFL possède apparemment un fort pouvoir de rafraichissement, en raison de son débit élevé et de sa basse température.

5.2.2. Débit

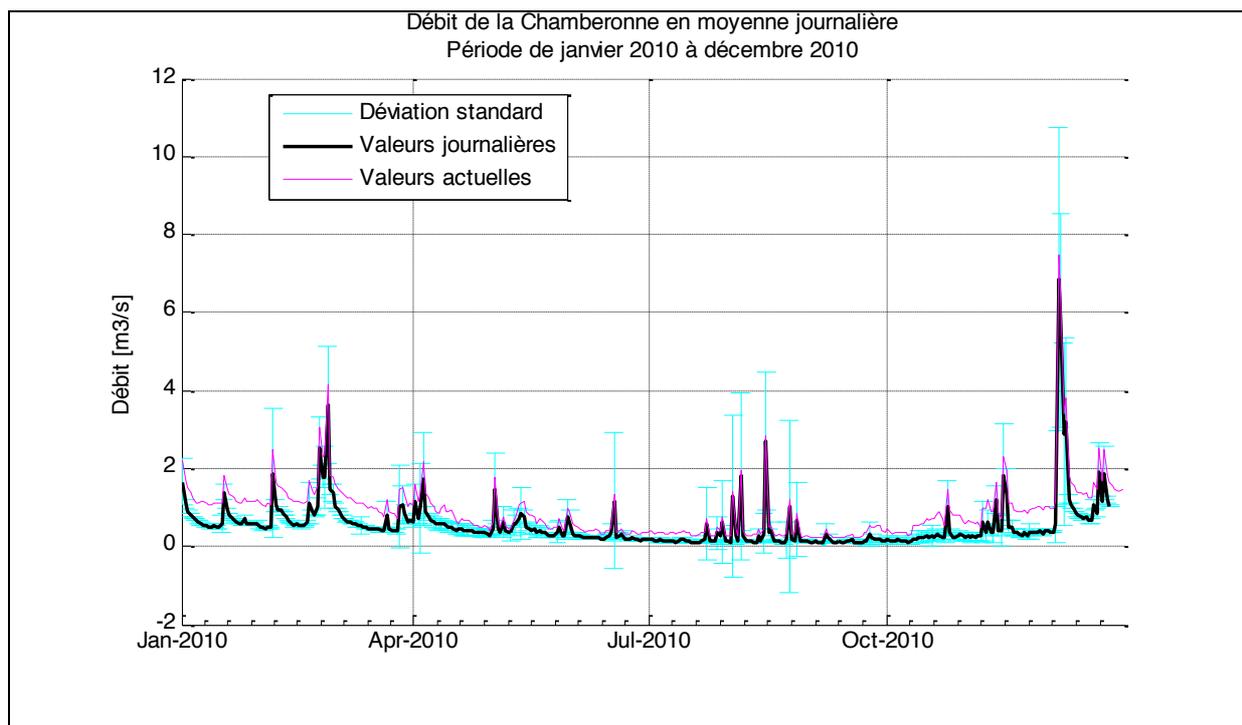


Figure 14: Débit moyen journalier estimé et réel de la Chamberonne à l'état naturel (sans rejet)

Les débits calculés à l'état naturel (courbe noire, Figure 14) sont logiquement plus faibles que dans le cas actuel. On observe par contre qu'une faible différence durant l'été alors qu'elle est plus marquée durant la période hivernale et légère à l'entre saison. Ceci provient du rejet fait par les pompes à chaleur de l'EPFL qui déversent quasiment en continu en hiver avec un débit important de l'ordre du demi-mètre cube par seconde. Le potentiel de variation reste en outre relativement faible par rapport aux événements pluvieux qui peuvent se produire durant l'année.

5.3. Impacts – Températures

5.3.1. Sorge amont

Les valeurs de température de la Sorge amont ont été mesurées en 2012 à l'aide de la station du domaine immobilier et infrastructure de l'EPFL (DII) sur une courte période en raison de problèmes techniques ainsi que de l'ensablement régulier de la sonde du à son emplacement sur le cours d'eau (courbe violette sur les Figure 16, Figure 18 et Figure 19).

Pour tout de même avoir une idée des températures durant la totalité d'une année, des calculs de puissance ont été réalisés à partir des autres stations de mesures ainsi que sur chaque rejet pour permettre de retrouver une température initiale de l'eau à la station amont de la Sorge. Les graphiques présentés ci-dessous ne sont donc pas directement basés sur des valeurs réelles, mais uniquement sur une déduction faite par des mesures indirectes. Ils sont donc à interpréter avec une attention particulière car ils sont basés en partie sur des estimations faites sur la plupart des rejets. On observe pour cette raison des écart-types entre les mesures relativement élevés, et les valeurs

peuvent diverger des réelles. Les courbes vertes représentent chaque jour de mesure regroupées en un seul jour.

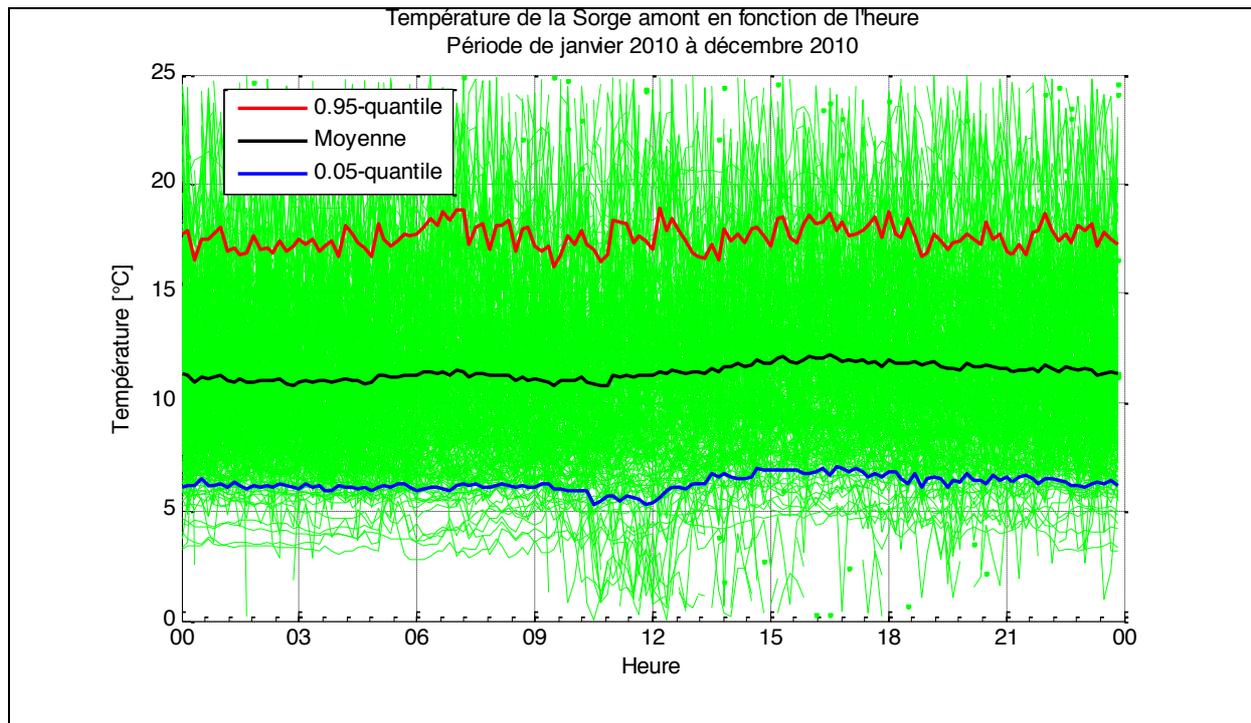


Figure 15: Température estimée de la Sorge amont en fonction de l'heure avec quantile 95% et 5%

On observe une moyenne de température relativement stable (Figure 15), mais en revanche les quantiles 95% et 5% sont très fortement variables sur des périodes faibles. Ceci vient très probablement des estimations faites pour ce calcul, et ne représentent pas une réelle variation de température de la Sorge en amont des rejets. On n'observe aucune courbe en permanence au dessus de la quantile 95% (courbes vertes), ce qui montre la grande variation sur chaque série au fils de la journée.

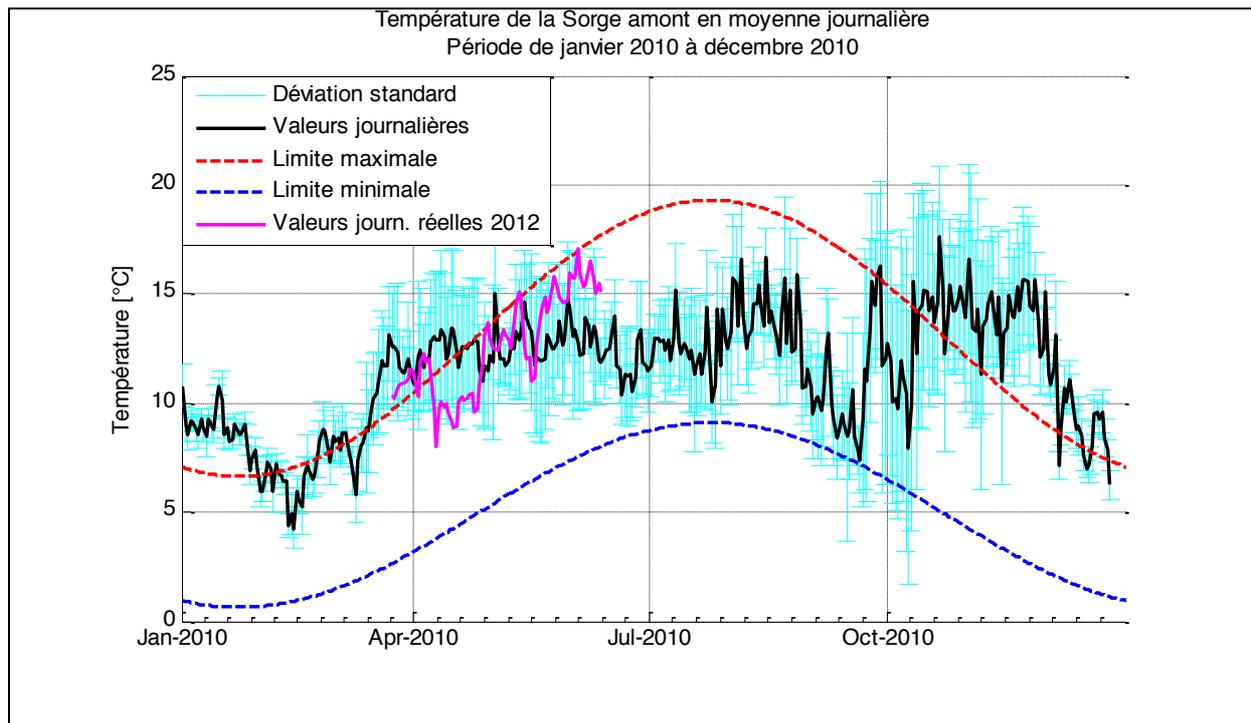


Figure 16: Température estimée de la Sorge amont en moyenne journalière sur une année (2010) avec valeurs limites et valeurs moyennes journalières mesurées (2012)

Les valeurs journalières de températures nous permettent de nous affranchir quelque peu des imprécisions sur chaque pas de temps. On observe alors sur la Figure 16 les températures déduites des autres mesures par un calcul énergétique. Les valeurs sont trop élevées entre janvier et fin avril ainsi que à partir du mois d'octobre jusqu'à la fin de l'année et on observe des dépassements de longue durée de plus de 2°C! Les conditions thermiques sont donc mauvaises en amont des rejets. La courbe violette donne des mesures réelles faites en 2012. Elles sont légèrement différentes de celles de 2010, mais montrent tout de même une tendance à de trop hautes valeurs, début avril la température maximum est dépassée dans les deux cas. Durant le mois de juin, les valeurs réelles semblent montrer une augmentation continue de la température, phénomène qui n'est pas observable sur les valeurs estimées de 2010. Il serait donc nécessaire de vérifier les températures durant la période estivale pour contrôler leur adéquation aux limites.

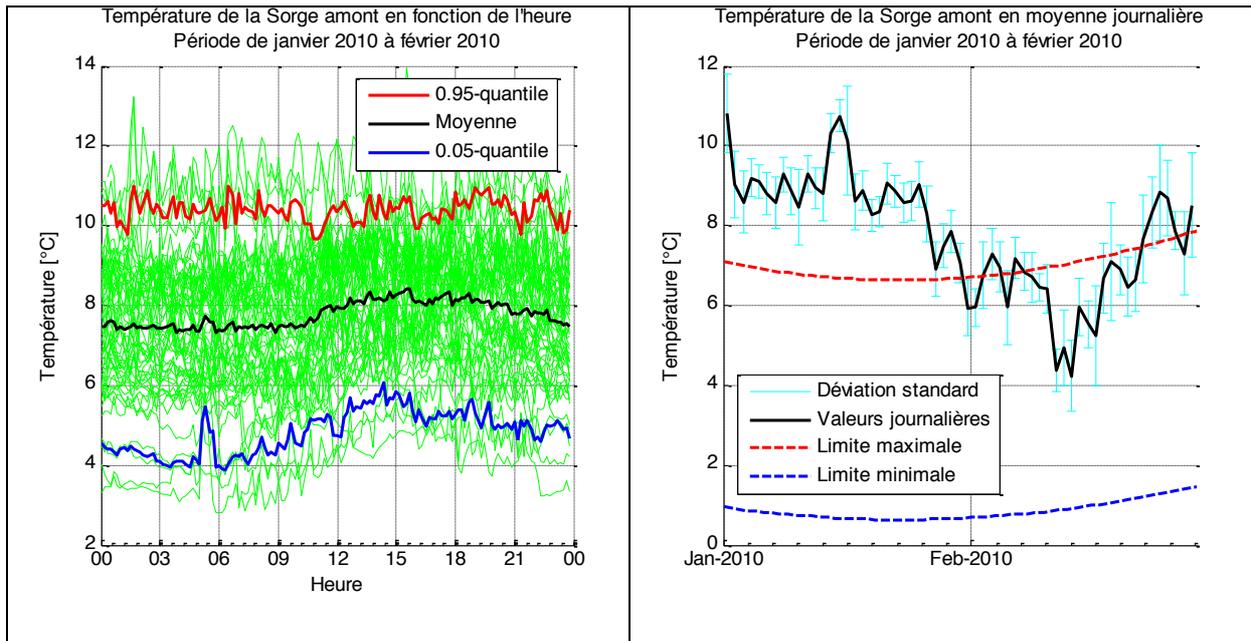


Figure 17: Température estimée de la Sorges amont en hiver et moyenne journalière avec valeurs limites

Les températures sont au-dessus de la limite maximale durant quasiment tout le mois de janvier (Figure 17). La quantile 95% et même la moyenne se trouvent en permanence au dessus de la même limite durant toute la période. Les conditions hivernales sont vraiment mauvaises et ne permettent pas le maintien de la faune aquatique durablement.

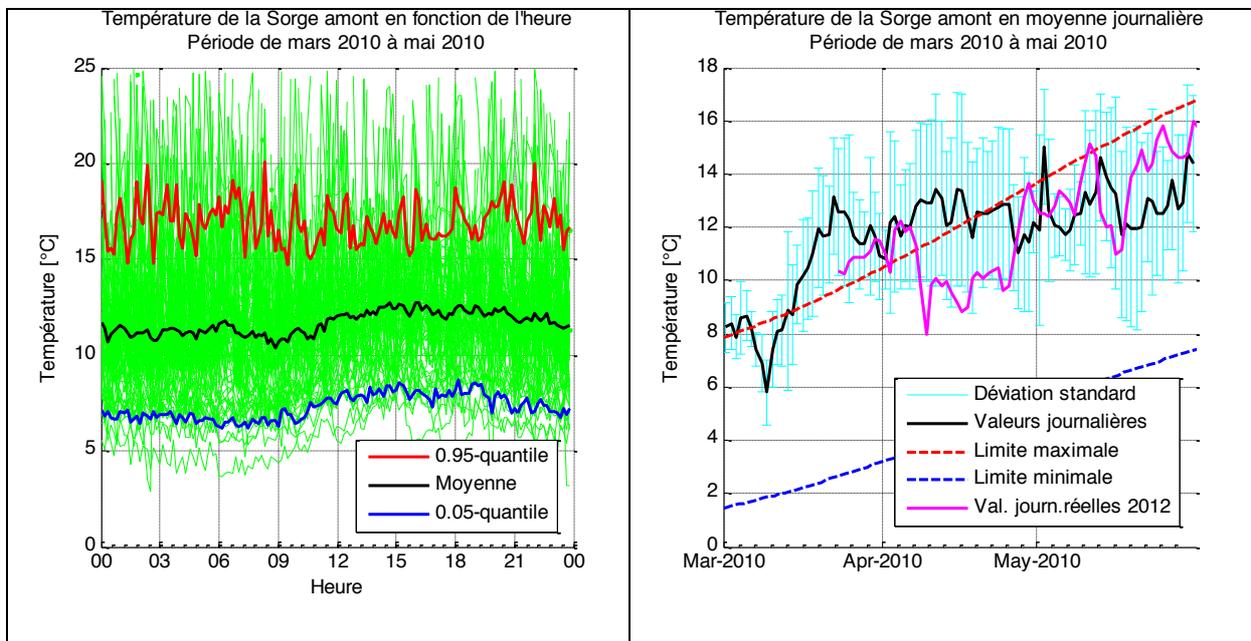


Figure 18: Température estimée de la Sorges amont au printemps et valeurs moyennes journalières estimées et réelles pour 2012 avec courbes limites

Les températures sont encore souvent trop élevées au printemps (Figure 18), elles se situent au delà de la limite maximale jusqu'à fin avril. Cette période est cruciale pour la reproduction et plus spécialement pour la survie des œufs. Dans cette zone, il est peu probable que la maturation des œufs ainsi que l'émergence des larves puissent se faire d'une façon viable. Comme observé

précédemment, les températures réelles sont également trop élevées par moment, mais en revanche elles semblent moins problématiques que celles estimées sur l'année 2010. Ceci peut être du à des conditions climatiques différentes entre les deux périodes de mesures.

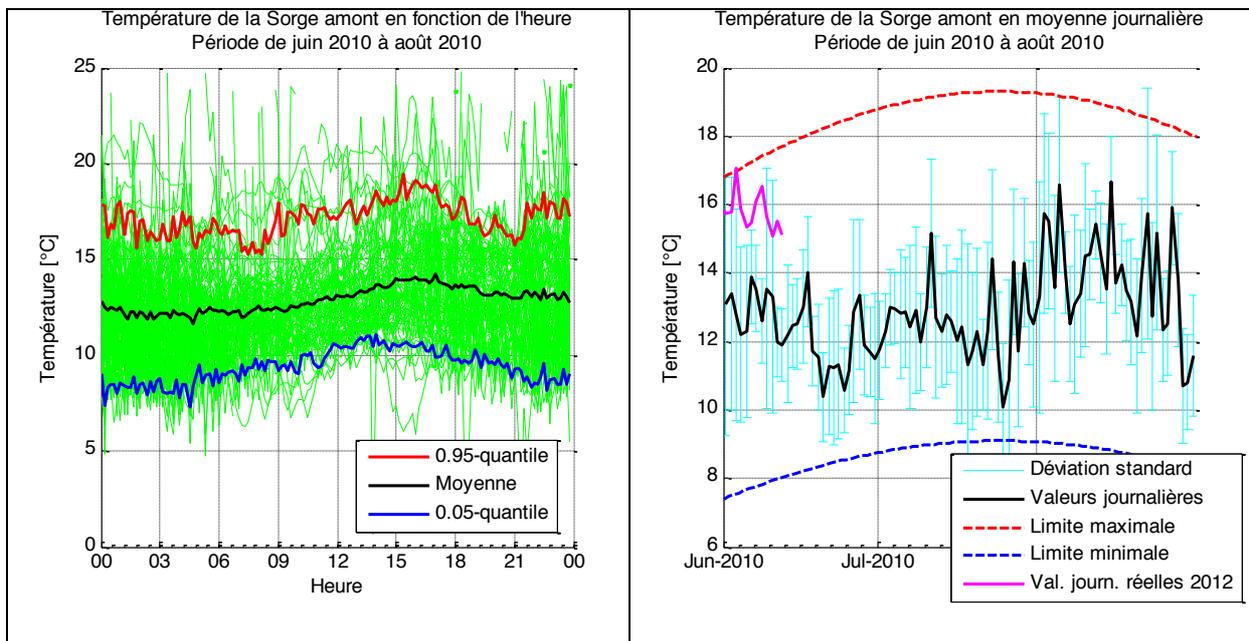


Figure 19: Température estimée de la Sorges amont en été et valeurs moyennes journalières estimées et réelles pour 2012 avec courbes limites

La période estivale ne semble pas induire de problème important (Figure 19), les températures se situent parfaitement entre la limite minimale et la limite maximale. La différence de température entre la quantile 95% et la quantile 5% est également plus faible que lors des autres saisons, indiquant une moins grande variabilité des températures durant cette période.

Les peu de valeurs réelles que l'on possède montrent des températures bien supérieures à celles estimées, frôlant de ce fait la limite maximale, mais présentant apparemment une tendance à se stabiliser ou même à diminuer.

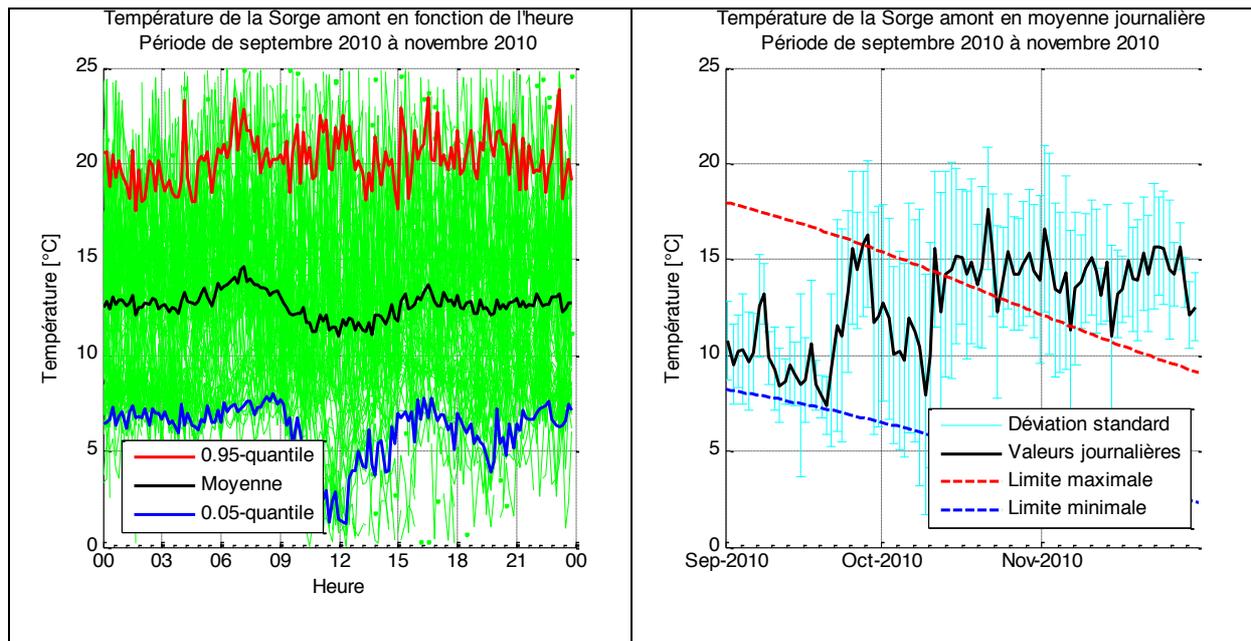


Figure 20: Température estimée de la Sorges amont en automne et valeurs moyennes journalières estimées avec courbes limites

Les températures en fin d'automne passent de nouveau largement en dessus de la limite maximale (Figure 20)! Les conditions sont très mauvaises pour la survie de la faune. La variabilité des valeurs est très élevée, provenant en partie des approximations faites précédemment.

5.3.2. Bilan – Sorges amont

Globalement, les conditions de température pour la Sorges amont (c'est à dire avant les rejets) sont mauvaises et ne permettent pas la survie d'une part de la faune aquatique, et plus spécifiquement de la truite lacustre, à long terme. Le problème récurrent est une température trop élevée durant les périodes froides et surtout durant la période d'émergence des œufs, ce qui limite drastiquement la possibilité de voir apparaître de nouvelles générations.

5.3.3. Sorge aval

Les données de température de la Sorge aval sont issues de mesures réelles faites par le DII de l'EPFL. Pour rappel la station se trouve en aval de tous les rejets fait sur la Sorge.

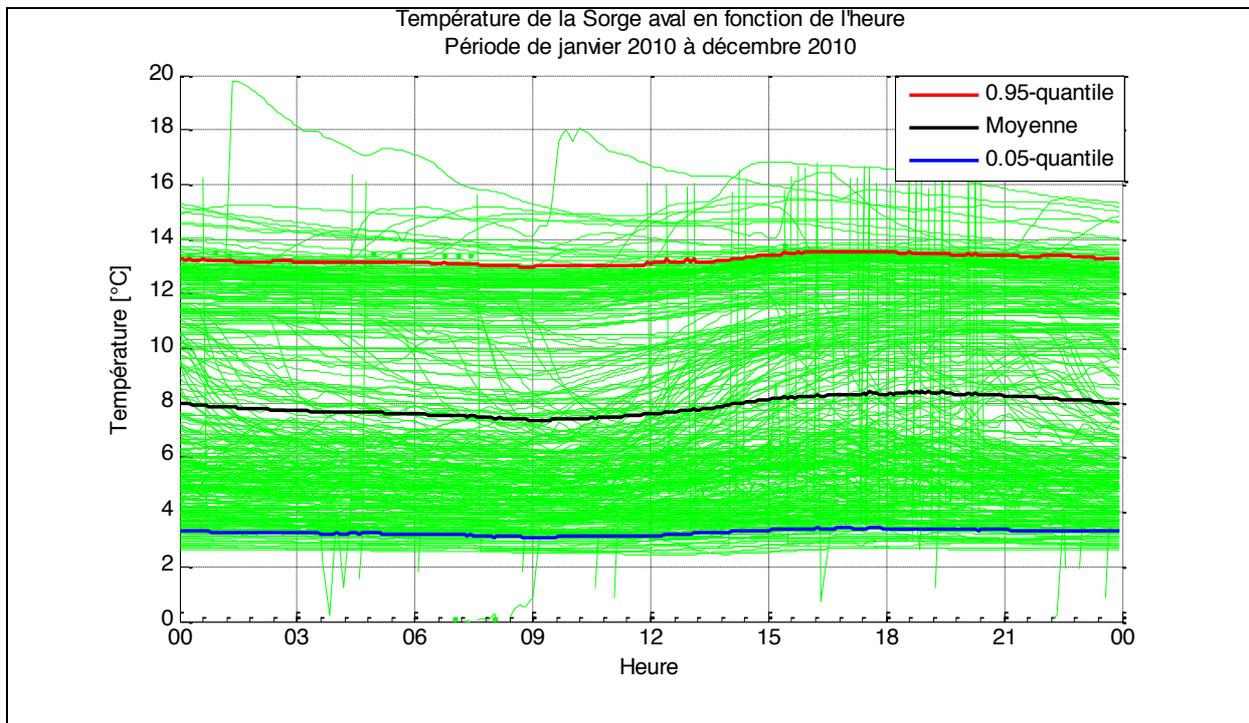


Figure 21: Température de la Sorge aval en fonction de l'heure avec quantile 95% et 5% (données : DII-EPFL)

La moyenne ainsi que les quantiles sont stable durant la journée (Figure 21). On observe un fonctionnement discontinu des pompes à chaleur de l'EPFL avec une remontée en température durant l'après-midi, certainement à l'entre-saison. Les courbes se situant dans la partie supérieure sont des mesures réalisées durant l'été et les courbes situées dans la partie du bas durant l'hiver en raison du rejet froid des pompes à chaleur. Certaines courbes sont par contre toujours en dessus de la quantile 95% ou en dessous de la quantile 5%, mettant en évidence un danger pour les conditions thermiques, mais cela ne veut pas dire forcément qu'un problème risque de se poser. Les courbes ayant des fortes piques verticales sont très certainement dues à des erreurs de mesures. Les courbes ayant des valeurs élevées pourraient provenir du manque d'eau dans la rivière durant une période d'étiage, impliquant que la sonde ne soit plus dans l'eau et représenterait donc plutôt la température de l'air.

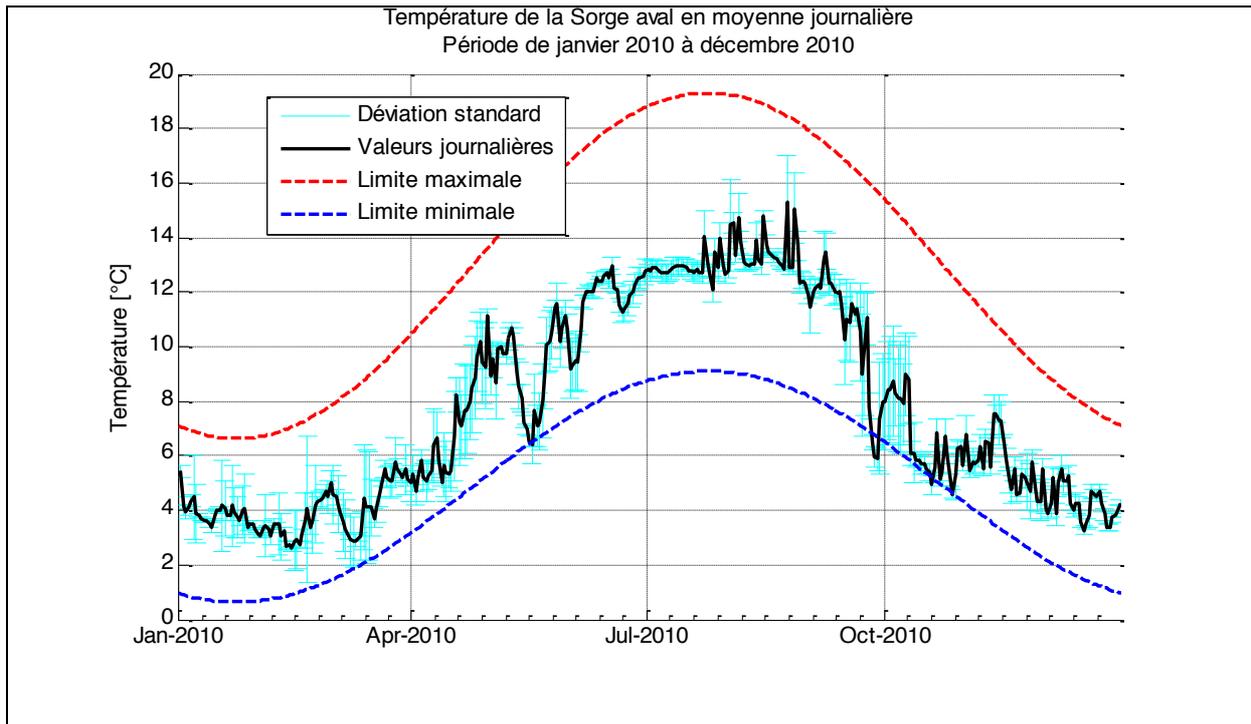


Figure 22: Température de la Sorges aval en moyenne journalière sur une année (2010) avec valeurs limites (données : DII-EPFL)

Les températures sur l'année de référence paraissent être acceptables d'un point de vue de la faune aquatique (Figure 22). Elles sont parfois relativement proches de la température minimale adéquate pour la truite lacustre, mais ce phénomène reste relativement marginal sur la durée de l'échantillon.

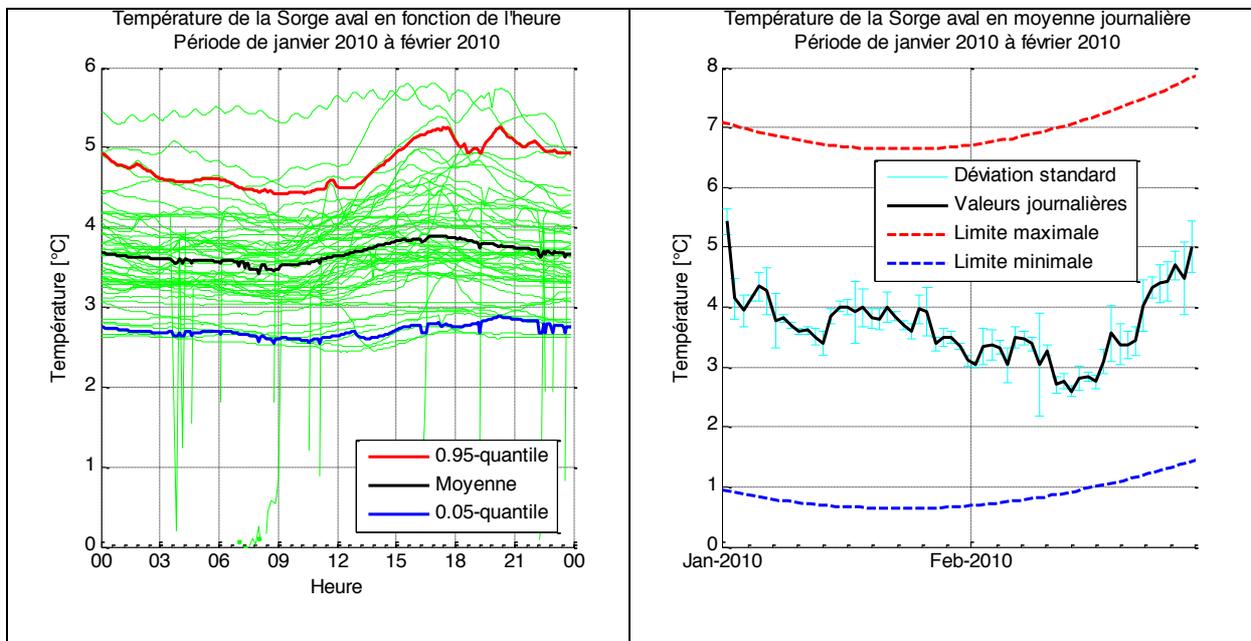


Figure 23: Température de la Sorges aval en hiver et moyenne journalière avec valeurs limites (données : DII-EPFL)

La moyenne des températures subit une légère variation durant la journée en hiver, avec une faible hausse dans l'après-midi (Figure 23). La quantile 95% a une plus forte variance qui doit être à nouveau influencé par un régime discontinu des pompes à chaleur de l'EPFL. On observe quelques

courbes au dessus de la quantile 95% durant la totalité de la journée, mais la température reste relativement basse. La moyenne journalière se situe par contre parfaitement entre nos deux courbes de limite, et conserve une bonne marge de variations potentielles autant vers le haut que vers le bas. Les rejets des thermopompes (et à moins grande échelle ceux des besoins en froid de l'EPFL et de l'UNIL) permettent de maintenir la température à une valeur relativement basse. Les différences sont importantes entre les stations amont et aval.

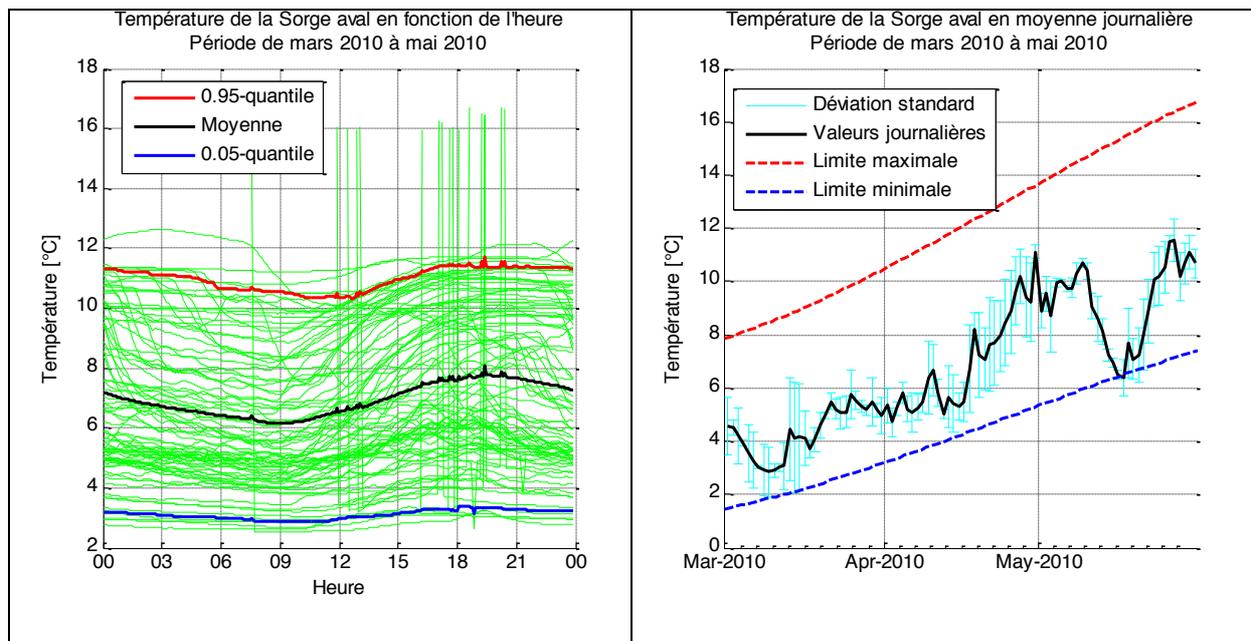


Figure 24: Température de la Sorges aval au printemps et moyenne journalière avec valeurs limites (données : DII-EPFL)

Les variations de température journalières sont plus marquées que durant l'hiver (Figure 24). Autant la moyenne que la quantile 95% ont une variation de quasiment 2°C. Ceci provient du fonctionnement par intermittence de la station de chauffe de l'EPFL, car la capacité de production de chaleur n'est pas nécessaire en permanence en raison des conditions climatiques. Les températures moyennes journalières sont acceptables quoi qu'elles se trouvent être proches de la limite inférieure par moment. Dans la situation actuelle, ces données ne révèlent pas de problème d'un point de vue de la survie de la faune aquatique.

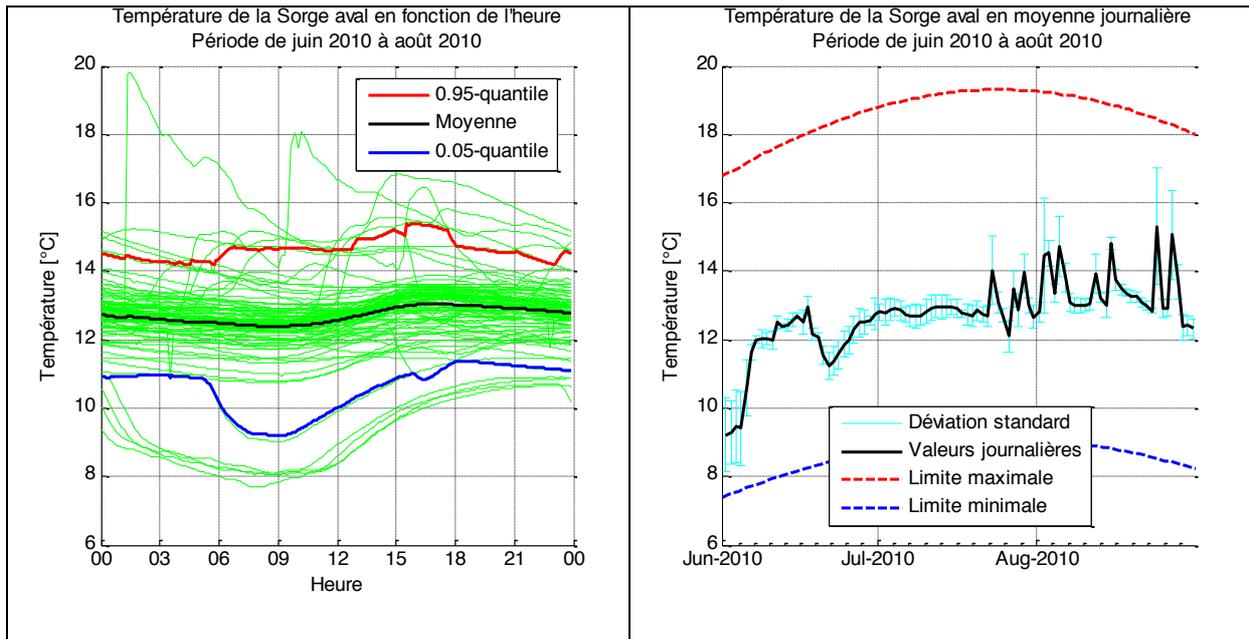


Figure 25: Température de la Sorge aval en été et valeurs en moyenne journalière et courbes limites (données : DII-EPFL)

Les variations de température moyenne sont relativement faibles durant la journée en été (Figure 25), on peut présumer que les variations sont essentiellement dues aux conditions météorologiques et climatiques, vu qu'il n'y a (normalement) aucune demande en chaleur durant cette période. La quantile 5% subit de fortes variations, spécialement entre 6h et 15h. Ceci est dû au fonctionnement des thermopompes au début du mois de juin (que l'on voit également sur la température journalière sur le graphique de droite). Plusieurs courbes sont en permanence en deçà de cette limite, ce qui pourrait éventuellement poser problème à cette saison (la température atteint par moment 8°C). Les températures journalières ne révèlent par contre pas de problème de ce côté là, en garantissant même une certaine marge de variation possible. Les courbes en dessus de la quantile 95% sont difficilement explicables et certaines pourraient venir de problème de mesure (montée de température quasi immédiate). Il est possible que ceci soit dû à un manque d'eau dans la rivière, impliquant que la sonde ne soit plus en contact avec l'eau, mesurant ainsi la température de l'air. Il faut également mentionner que durant cette période, la température peut être passablement influencée par des pluies conséquentes. Les courbes se situant en dessous de la quantile 5% sont dues à des périodes de fonctionnement des thermopompes de l'EPFL (visible sur le relevé de consommation électrique du service technique), sûrement pour des besoins techniques et de contrôles.

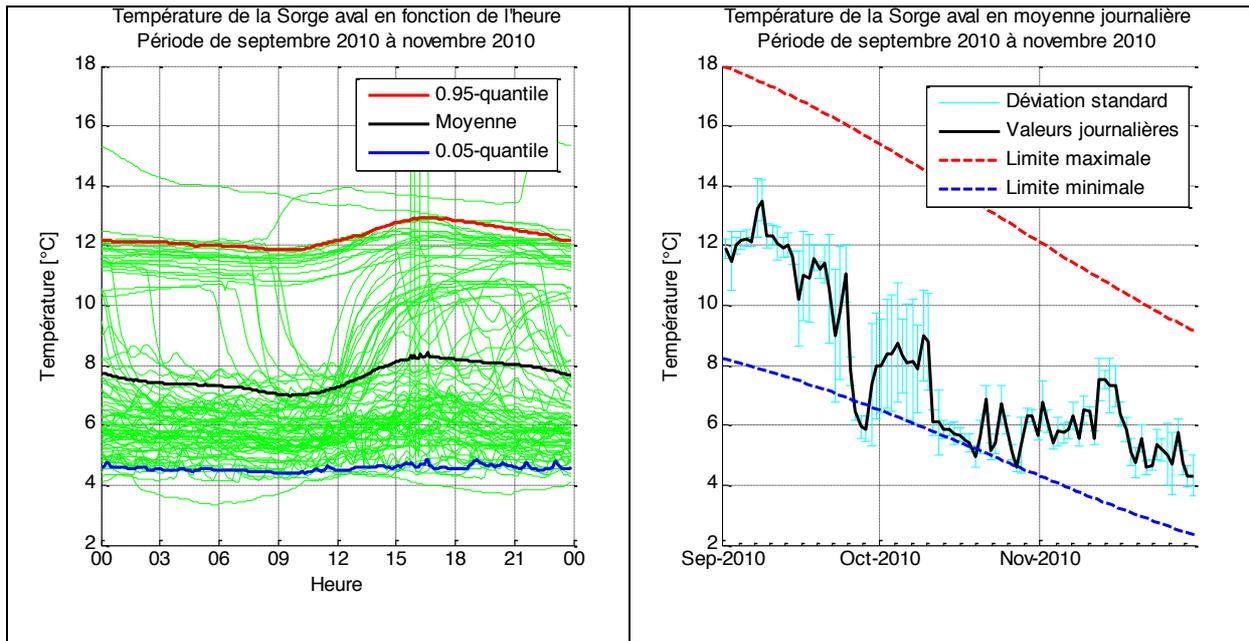


Figure 26: Température de la Sorges aval en automne et moyenne journalière avec valeurs limites (données : DII-EPFL)

On observe bien sur le premier graphique (Figure 26) une différence entre le moment sans chauffage (zone proche de la quantile 95%), le moment avec une demande non continue en chaleur (courbes passant du bas en haut durant la journée), puis le fonctionnement continu de la centrale de chauffe (courbes en bas du graphique). Ceci crée une courbe moyenne avec une température plus élevée dans l'après-midi que le matin. La quantile 5% reste par contre relativement stable, et suit justement une courbe en période de chauffage continu. Les températures journalières se situent plutôt dans la zone inférieure de la limite de température, et dépassent même parfois la valeur minimale. Actuellement les conditions ne paraissent pas trop mauvaises pour le maintien de la faune, mais le cours d'eau ne devrait pas être trop refroidi dans le futur. Il est tout à fait possible que les résultats soient légèrement différents en fonction des conditions climatiques, en effet dans le cas d'un automne froid, l'eau aura tendance à être plus froide naturellement et les besoins en chauffage seront également plus élevés, ce qui impliquera de plus grands rejets de la centrale de chauffe.

5.3.4. Bilan – Sorges aval

Les conditions thermiques dans la Sorges aval sont tout à fait acceptables d'un point de vue de la faune aquatique. La température durant la période d'éclosion des œufs et d'émergence des larves (mars-mai) paraît être optimale, bien que parfois un peu basse. Dans cette situation, les rejets permettent d'améliorer très positivement la température de l'eau de la rivière et participe conséquemment au maintien de bonnes conditions thermique du cours d'eau. Le rejet de la centrale de chauffage de l'EPFL crée une forte baisse de température, ce qui est une très bonne chose durant la période hivernale, mais pourrait constituer un certain risque à l'entre-saison lors ce que la température de la rivière devrait se situer à une valeur plus élevée que celle du rejet.

5.3.5. Mère

Les données de température de la Mère aval sont issues de mesures réelles faites par le SESA. Pour rappel la station se trouve plus haut que le rejet fait sur la Mère.

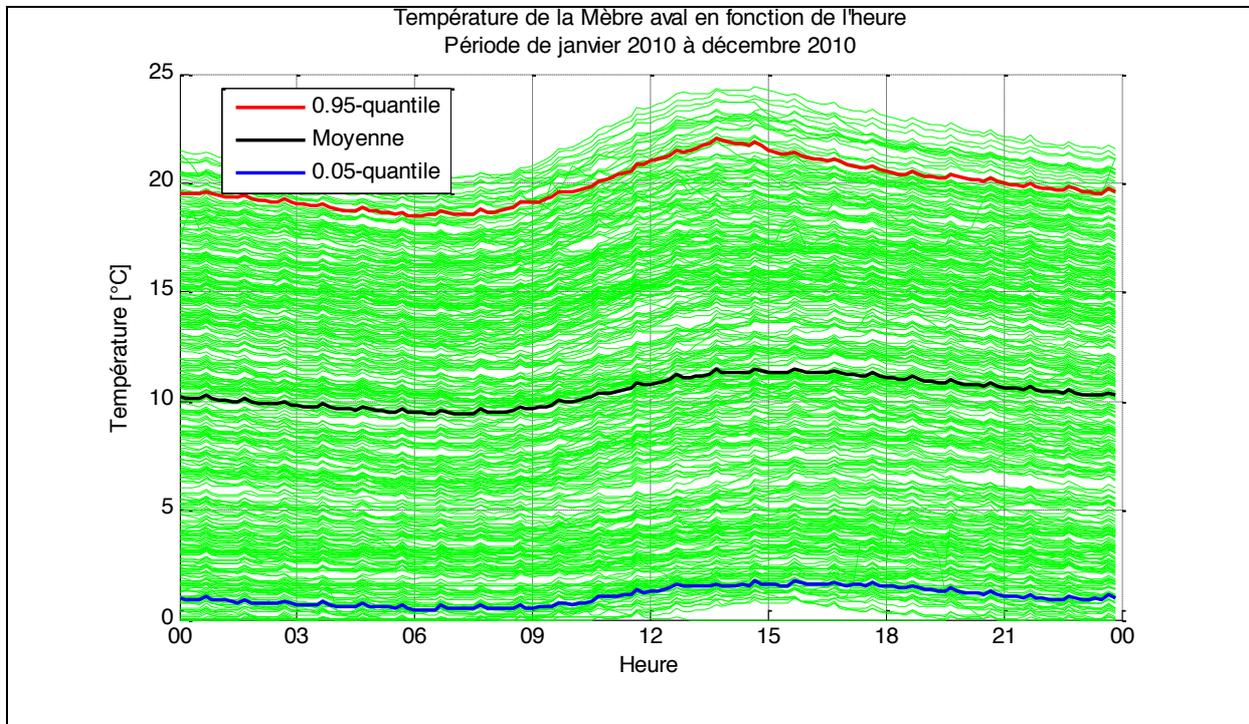


Figure 27: Température de la Mère en fonction de l'heure avec quantile 95% et 5% (Données: SESA)

L'amplitude de variation est très élevée pour la Mère, elle se situe entre quasi 0°C et 25°C (Figure 27). On remarque une légère variation durant la journée qui doit provenir de rejet fait sur la rivière en amont mais également du manque d'ombrage du cours d'eau. La quantile 95% possède une très haute valeur, proche de 20°C, et quasiment toutes les courbes se trouvant au dessus le sont durant toute la journée. De telles mesures augurent un risque conséquent de problème pour la survie de la faune aquatique. Les petites variations régulières observées sont peut-être dues à un rejet se faisant en amont de la station de mesure généré par l'activité urbaine.

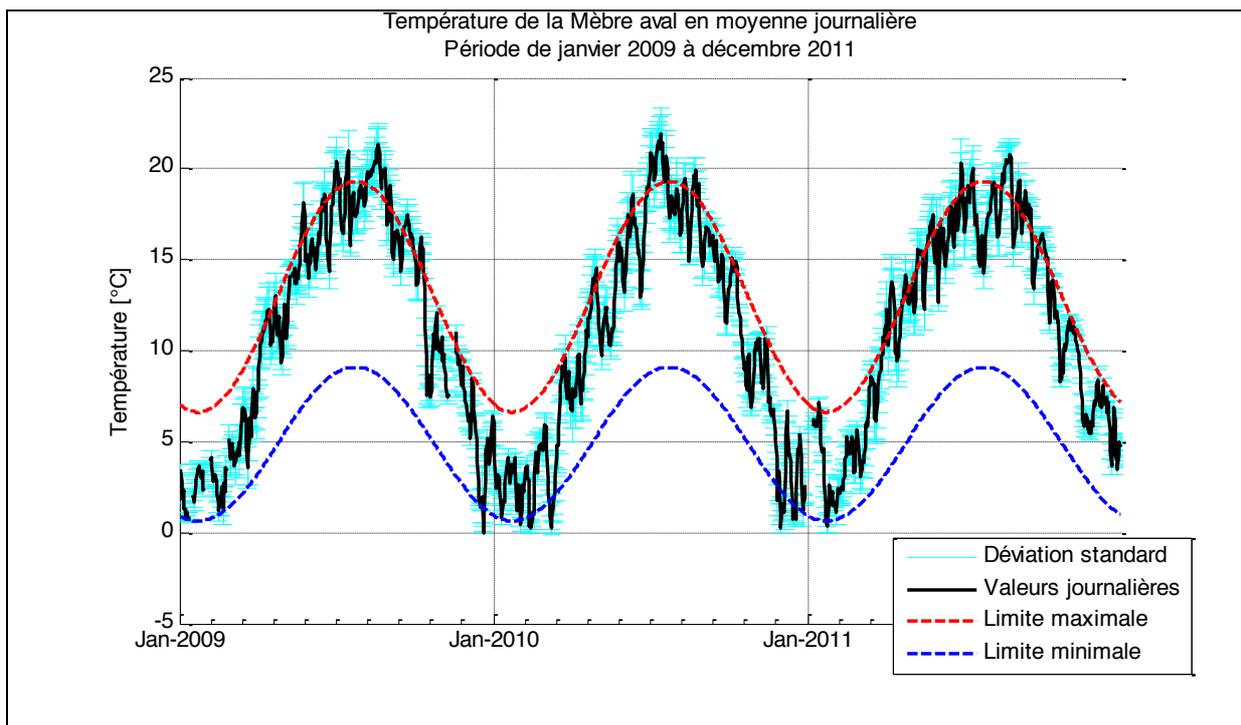


Figure 28: Température de la Mère en moyenne journalière sur 3 ans avec valeurs limites (Données: SESA)

Les températures moyennes ne sont pas tolérables d'un point de vue de la survie de la faune (Figure 28). On observe des périodes durant l'été où la température est trop élevée, et des périodes plus marginales durant l'hiver où au contraire l'eau est trop froide. Sur la base de ce graphique, on peut conclure que la Mère avant les rejets ne remplit pas les conditions optimales pour la survie de la truite lacustre.

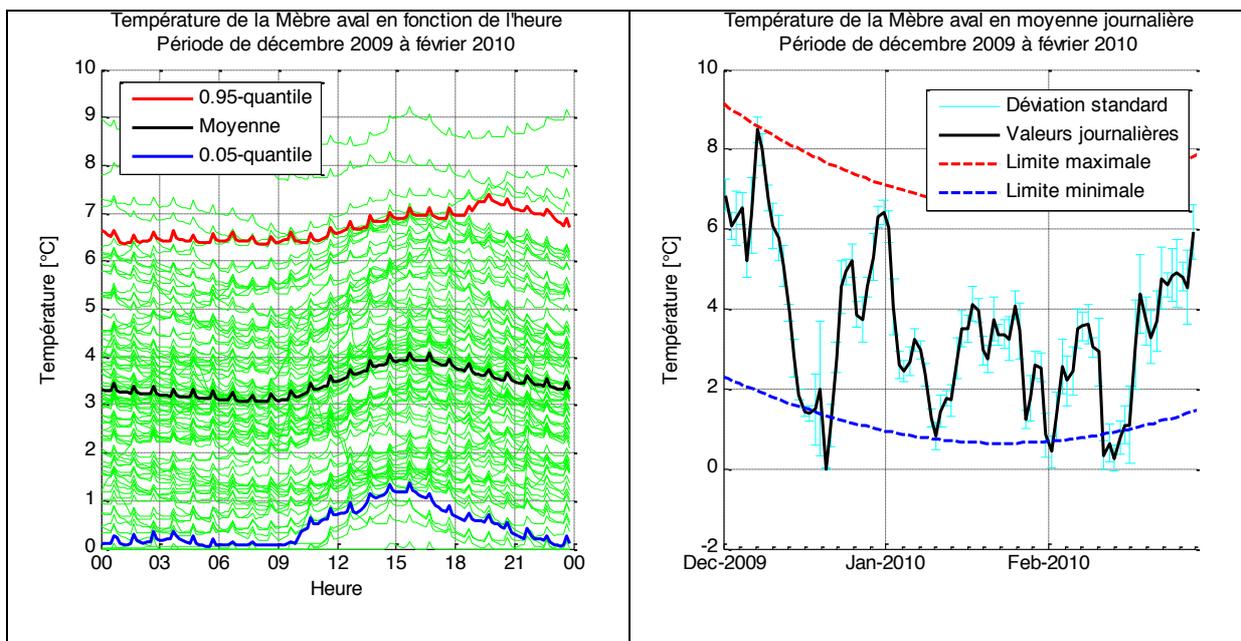


Figure 29: Température de la Mère en hiver et moyenne journalière avec valeurs limites (Données: SESA)

L'amplitude de température en hiver est élevée et on observe plusieurs courbes bien au delà de la quantile 95% durant toute la journée (Figure 29). Les températures minimums subissent une certaine

augmentation durant la journée, avec un léger décalage temporel par rapport à la période d'ensoleillement. Les températures journalières se situent généralement entre les courbes limites, mais subissent de fortes variations et passent parfois en dessous de la température minimale. Les conditions ne sont pas encore catastrophiques, mais elles ne sont pas forcément idéales.

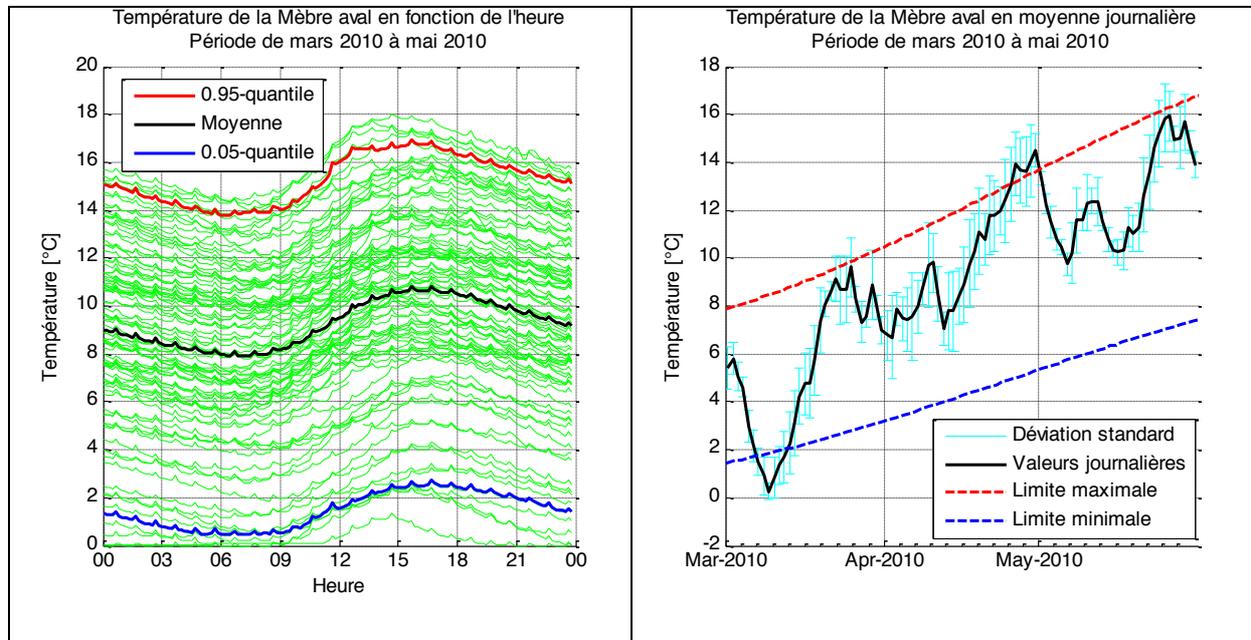


Figure 30: Température de la Mère au printemps et moyenne journalière avec valeurs limites (Données: SESA)

La variation de température au printemps durant la journée est importante, de l'ordre de 3°C (Figure 30). On constate également que l'amplitude de variation sur cette période est très élevée avec une valeur proche de 17°C. On se trouve effectivement dans une période de transition des températures, avec une augmentation bien visible au fil du temps. Les températures journalières sont encore fortement variables, et elles ne respectent pas en permanence les limites fixées pour le maintien de la vie aquatique. Les conditions ne sont parfois pas optimales pendant plusieurs jours de suites.

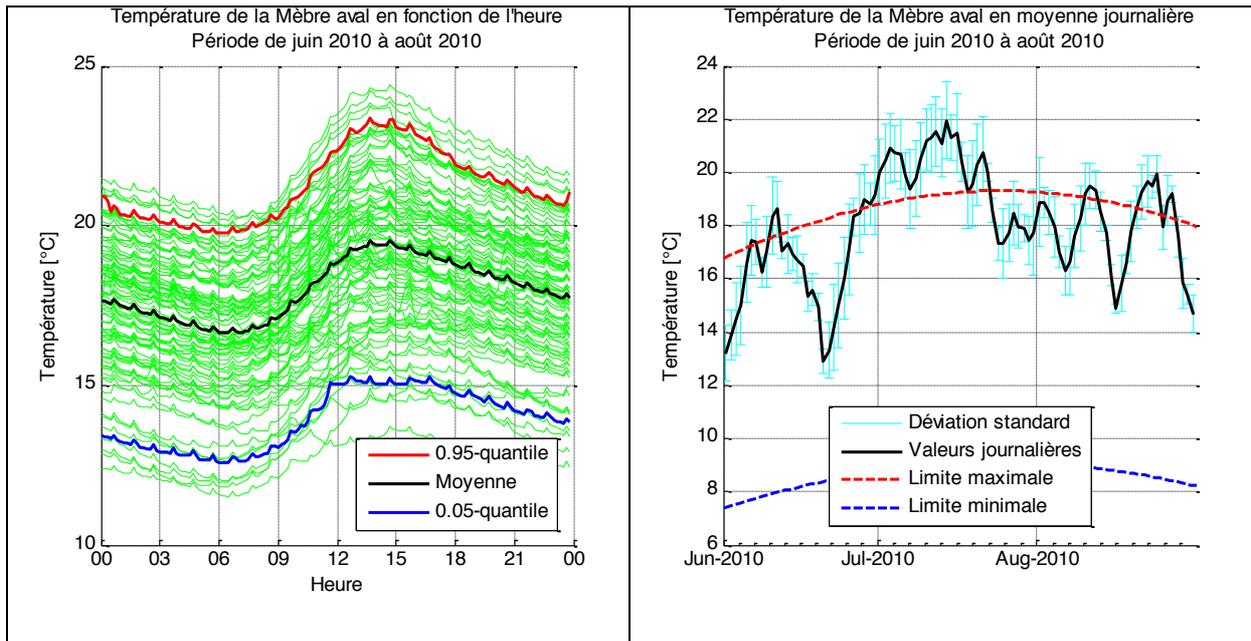


Figure 31: Température de la Mère en été et moyenne journalière avec valeurs limites (Données: SESA)

La variation au cours de la journée devient très marquée en été (Figure 31), de l'ordre de 4°C et l'amplitude atteint au maximum 10°C. Ceci peut venir du fait du manque d'ombrage du cours d'eau, sur une bonne partie canalisée. La température au plus chaud de la journée est élevée et met directement en danger la faune aquatique. Les températures journalières dépassent très régulièrement la température maximale, et ceci parfois pendant presque un mois entier. Les conditions dans cette situation ne sont donc pas du tout optimales et mettent en danger la pérennité de la faune aquatique.

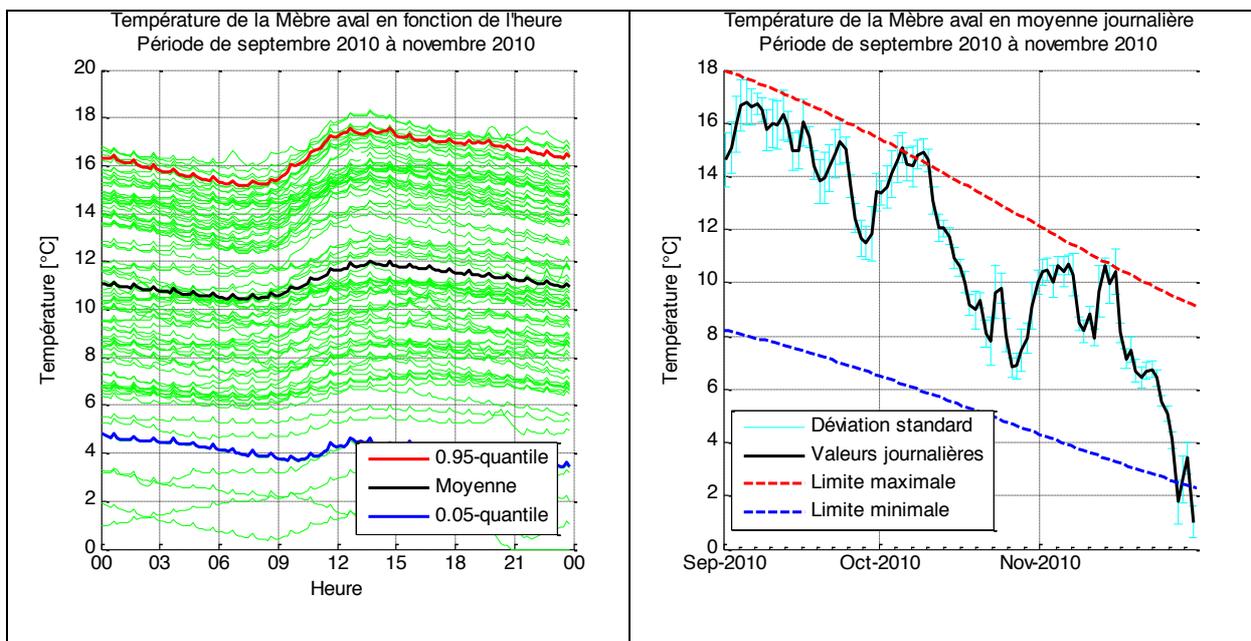


Figure 32: Température de la Mère en automne et moyenne journalière avec valeurs limites (Données: SESA)

Les variations sur la journée sont à nouveau plus faibles en automne (Figure 32), mais on observe une prédominance de valeurs élevées dans l'intervalle de confiance, la moyenne se situant plutôt

dans la partie supérieure. En revanche les courbes se situant au delà de la quantile 95% ne le sont que faiblement, mais le sont parfois durant toute la journée. Quand aux valeurs journalières, elles sont proches de la limite supérieure et chutent drastiquement en fin de mois de novembre (probablement en raison du fonctionnement plus intensif des pompes à chaleur). On se trouve dans des conditions acceptables, mais elles restent limites par leur proximité de la valeur maximale.

5.3.6. Bilan – Mèbre

Globalement, les conditions de la Mèbre sont relativement mauvaises et ne permettent pas la survie à long terme d'une faune aquatique diversifiée. Les températures durant la période estivales sont spécialement élevées durant de longues périodes, mettant en danger la survie des truites lacustres. A moins grande échelle, les températures durant les mois d'hiver sont parfois en dessous de la limite minimale. Il serait donc nécessaire de réussir à maintenir l'eau plus froide durant l'été, et de ne pas trop la refroidir durant l'hiver. Sachant que les rejets de refroidissement se font souvent à une température située entre 10 et 12 °C et les rejets utilisés pour des besoins de chauffage se font eux aux environs de 3°C, cela permettrait à un certain point d'améliorer les conditions thermiques. En revanche, on observe un seul rejet de faible puissance sur cette rivière. L'amélioration des conditions n'est donc pas évidente du tout du point de vue des rejets, il serait nécessaire de réaliser une étude plus détaillée sur les raisons des ces valeurs non-optimales, prenant en compte tous les rejets fait sur le tracé de la rivière ainsi que les conditions d'ombrage de celle-ci. L'aspect morphologique de la rivière a par contre une influence certaine sur les températures mesurées. Le cours d'eau est canalisé sur de longues distances et traverse plusieurs zones d'agglomération dense, induisant différents rejets.

5.3.7. Chamberonne

Les données de température de la Chamberonne sont issues de mesures réelles faites par le SESA (SESA_{sud}). Pour rappel la station se trouve en aval de tous les rejets.

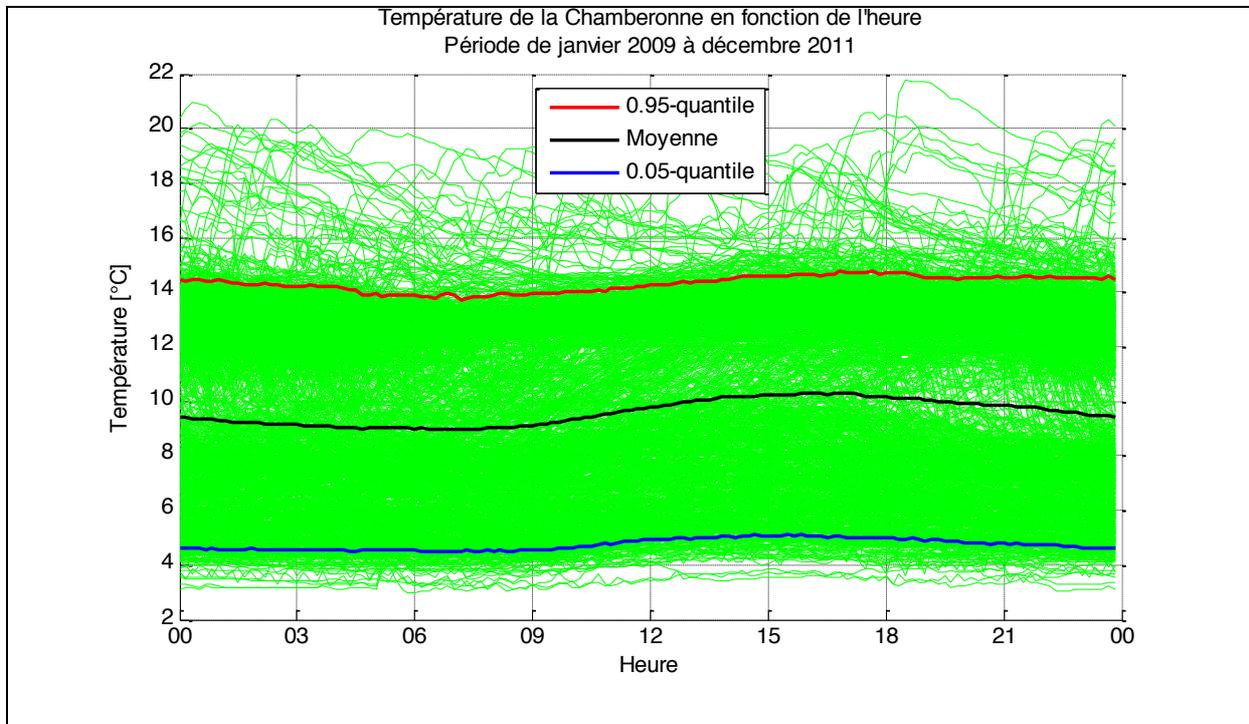


Figure 33: Température de la Chamberonne en fonction de l'heure avec quantile 95% et 5% (Données: SESA)

Les températures sur la journée sont relativement stables (Figure 33). La plupart des courbes supérieures à la quantile 95% ne le sont pas durant toute la journée, ne révélant donc pas forcément un risque pour les conditions. En revanche les courbes en dessous de la quantile 5% le sont fréquemment durant toute la journée. A nouveau, on peut observer une différenciation des courbes durant l'été (courbe du haut), l'hiver (courbes du bas) et l'entre saison (courbes traversant verticalement le graphique).

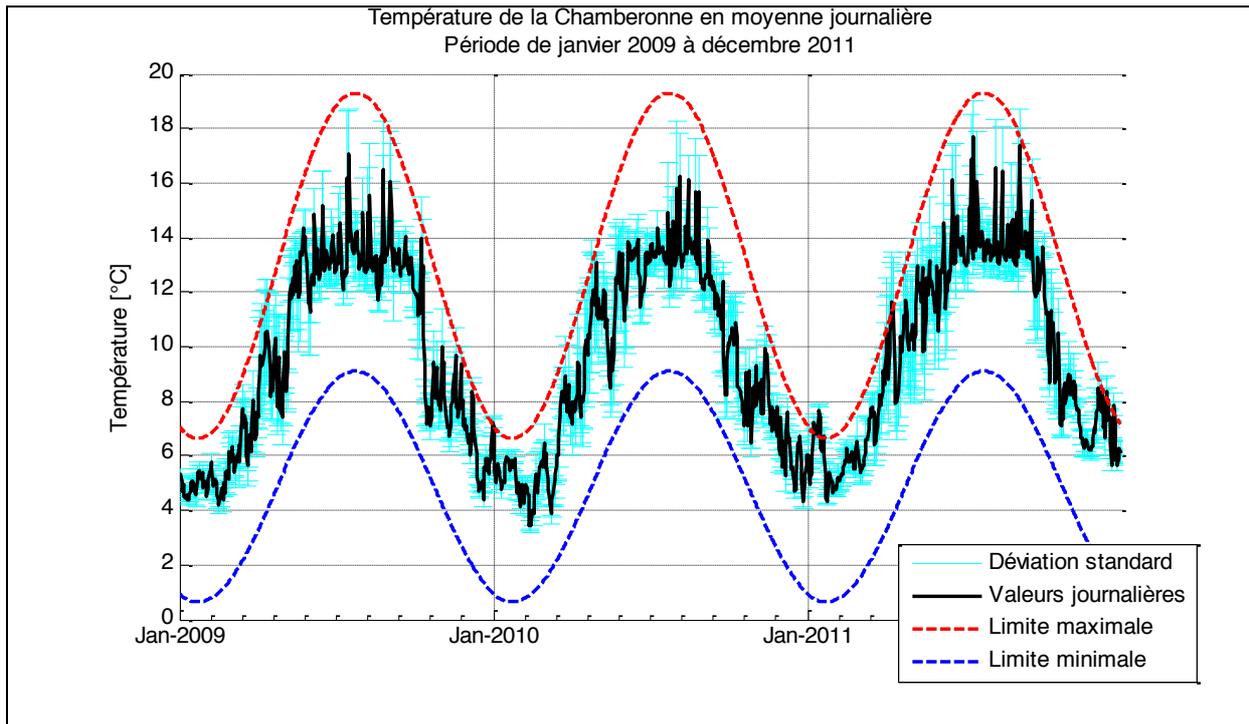


Figure 34: Température de la Chamberonne en moyenne journalière sur 3 ans avec valeurs limites (Données: SESA)

Les températures journalières moyennes sont tout à fait acceptables durant la totalité de l'année (Figure 34). Elles se situent généralement dans la partie supérieure de la zone tolérable. La Chamberonne semble donc être tout à fait adaptée à la vie aquatique, et serait a priori même capable d'accepter de plus grand rejets froid, tels que ceux produits par l'utilisation de l'eau du lac pour des besoins de chauffage (par exemple ceux de la pompe à chaleur du nouveau bâtiment de l'UNIL, le Géopolis). Durant les mois d'été, la température est aussi influencée par les rejets d'eau de refroidissement qui restent malgré tout fréquemment plus bas que la température naturelle de la rivière. Lors de longues périodes chaudes, l'eau naturellement dans la rivière va forcément s'échauffer, mais les débits d'eau de refroidissement seront également élevés, permettant ainsi de maintenir la température finale relativement basse.

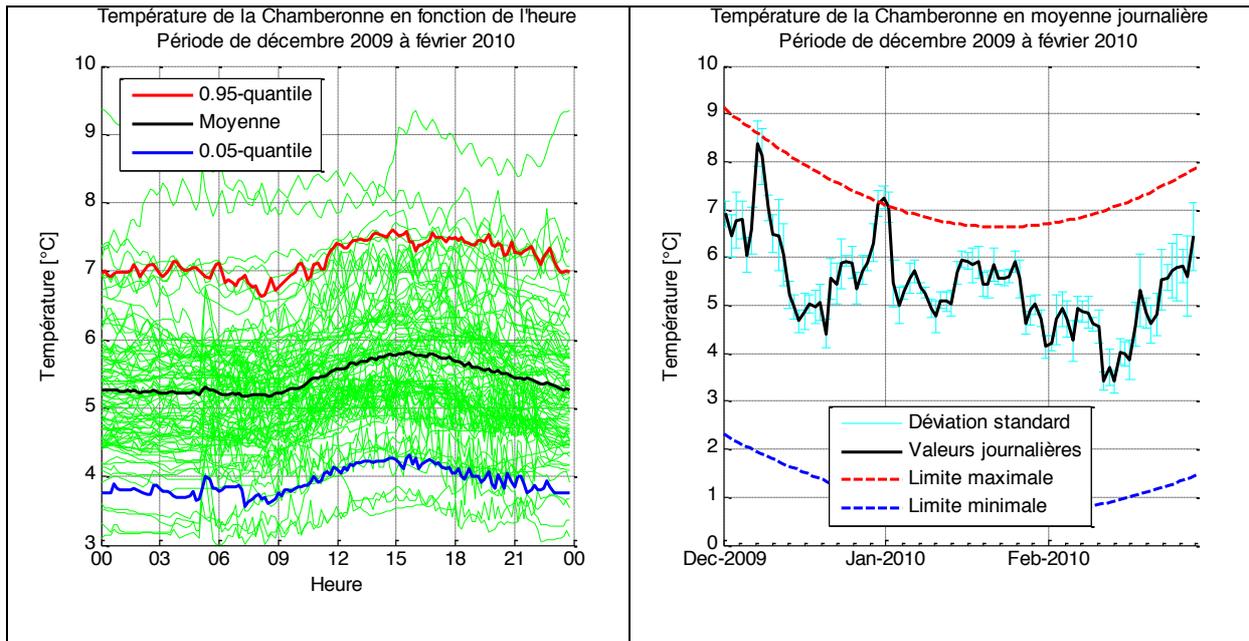


Figure 35: Température de la Chamberonne en hiver et moyenne journalière avec valeurs limites (Données: SESA)

Les températures durant la journée en hiver (Figure 35) sont légèrement variables et on n'observe pas spécialement de période différenciée durant ces mois. Certaines courbes sont en dessus de la quantile 95% (jusqu'à plus de 2°C de plus) et pourraient de ce fait révéler un problème. Tout dépend de la période à laquelle elles sont mesurées. Elles sont dues à des périodes de non-fonctionnement des pompes à chaleur de l'EPFL, impliquant donc que tous les rejets restants se fassent à une température d'environ 12°C, augmentant de ce fait la température de la rivière. Si l'on regarde les valeurs journalières, elles se situent quasiment en permanence dans l'intervalle fixé, mais sont parfois très proches de la limite supérieure. Il faudrait rester vigilant pour ne pas augmenter plus la température dorénavant, mais ceci est peu probable vu que l'on est en plein hiver, et que les besoins en chaleur iront sûrement en augmentant dans le futur.

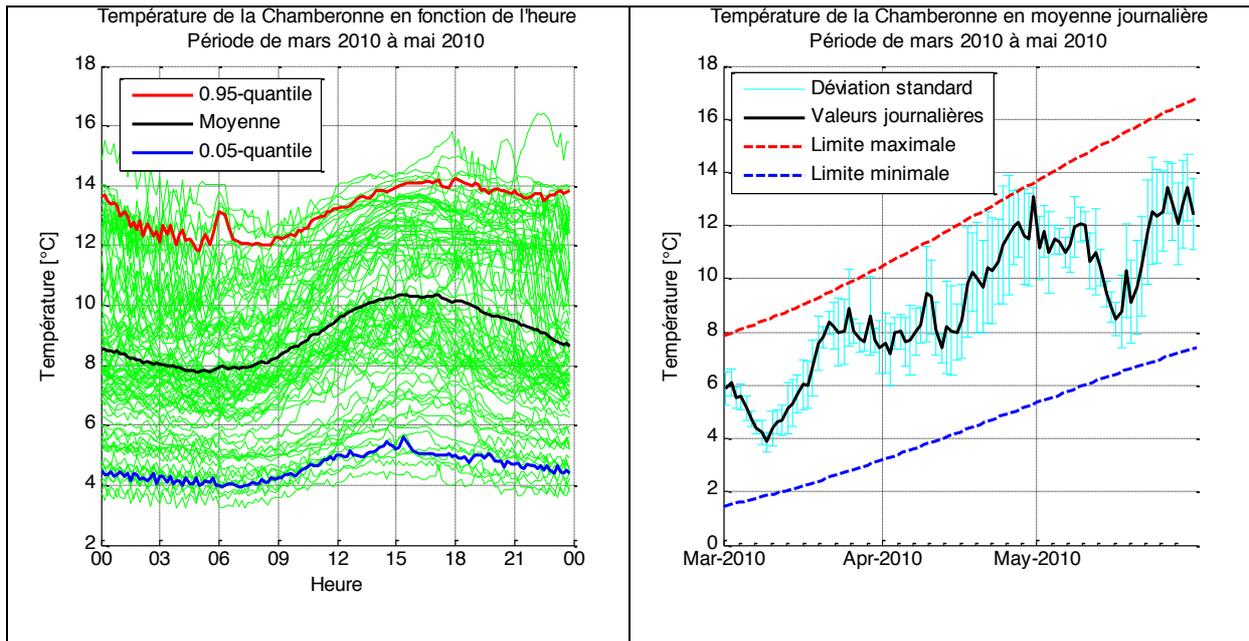


Figure 36: Température de la Chamberonne au printemps et moyenne journalière avec valeurs limites (Données: SESA)

La variation au cours de la journée au printemps est visible et représente plus de 2°C (Figure 36). Les courbes sont principalement situées dans la partie supérieure du graphique, ce qui nous laisse présager une médiane plus haute que la moyenne. Les besoins en chauffage doivent diminuer durant cette période, créant une augmentation de la température au fils des jours. Les valeurs journalières ne semblent pas poser de problème, elles sont toutes entre les deux limites, et la rivière possède donc des conditions optimales pour la faune.

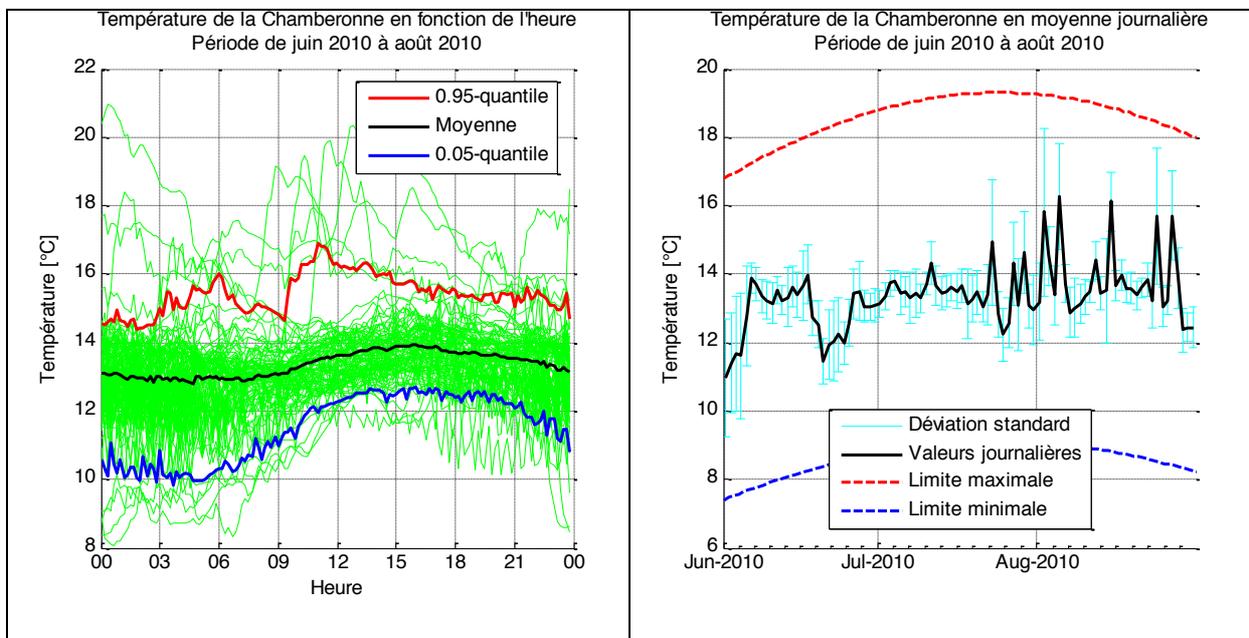


Figure 37: Température de la Chamberonne en été et moyenne journalière avec valeurs limites (Données: SESA)

Les températures au fils des jours en été ne sont, à quelques exceptions près, que peu étalées (Figure 37). La divergence en début de journée est en outre plus élevée qu'en fin de journée. Quelques courbes sont très fortement au dessus de la quantile 95%, ce qui pourrait potentiellement poser

problème. En revanche elles ne le sont que très rarement pendant longtemps et les températures en jeu ne sont pas encore très élevées par rapport à la limite fixée. Elles sont dues à des averses sur la zone durant des périodes ensoleillées, les surfaces étant chaudes, l'eau pluviale chauffe au contact de celles-ci et augmente ainsi la température de la rivière. Sur le graphique des températures journalières on constate immédiatement que l'on est dans des conditions parfaites. Les températures sont toujours bien entre nos deux limites, permettant dans tous les cas une certaine variation sans pour autant mettre en danger la survie de la faune.

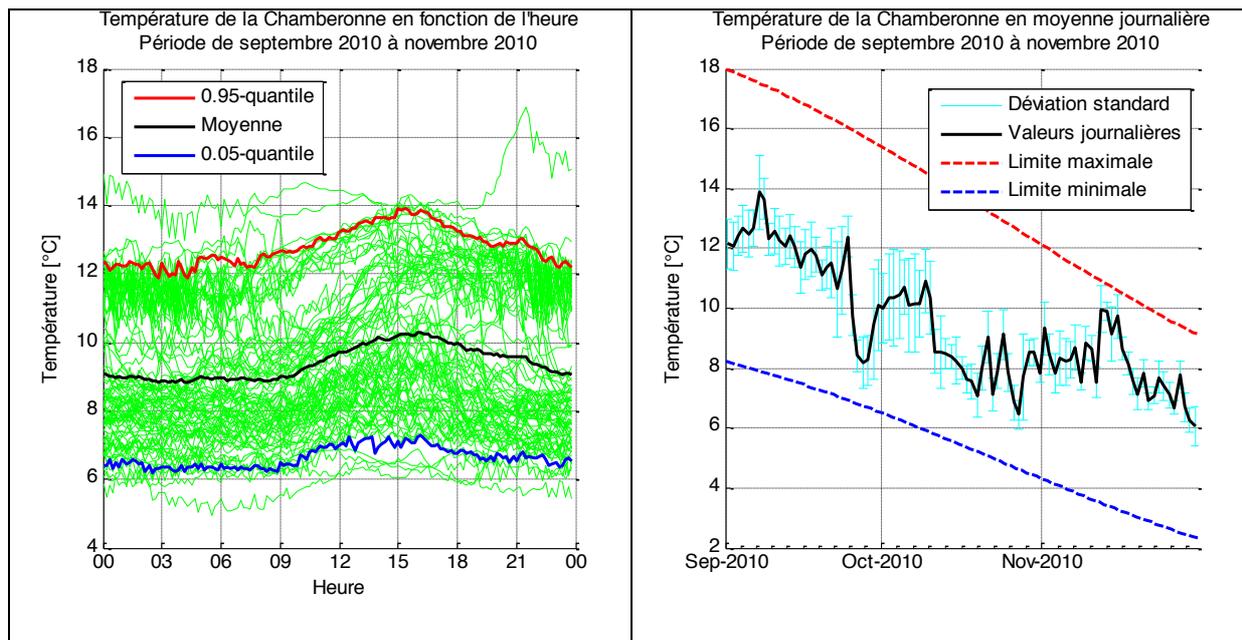


Figure 38: Température de la Chamberonne en automne et moyenne journalière avec valeurs limites (Données: SESA)

Sur le graphique des températures au fil des jours en automne (Figure 38), on constate de nouveau deux blocs relativement distincts, qui sont dus au fonctionnement des thermopompes de l'EPFL (zone proche de la quantile 95% indique le non-fonctionnement des pompes, et proche de la quantile 5% le fonctionnement). Cette différence est moins marquée que dans le cas des mesures de la Sorge, en raison du mélange d'eau effectué à la jonction entre la Sorge et la Mère. Quelques courbes se trouvent être parfois en dessus de la quantile 95%, mais leur valeur vers 15h est très proche de celle de la quantile. Les valeurs observées en moyenne journalière ne révèlent pas de problème au niveau des conditions thermiques aquatiques. Dans cette période, on bénéficie à nouveau d'une certaine possibilité de variation sans risque de détériorer de façon importante les exigences.

5.3.8. Bilan – Chamberonne

Les conditions thermiques dans la Chamberonne sont jugées bonnes pour la survie à long terme de la faune piscicole et plus précisément de la truite lacustre. On observe un petit risque durant les mois d'hiver où la température est proche de limite supérieure. Sachant que autant le campus de l'UNIL que celui de l'EPFL tendent à se développer, on peut estimer qu'une part des nouvelles constructions feront recours à des pompes à chaleur pour les besoins thermiques des bâtiments, augmentant de ce fait les rejets froids durant l'hiver, et donc permettant un maintien de l'eau de la rivière à une température relativement basse.

5.3.9. Impacts – Températures – Bilan global

En observant tous les résultats précédemment commentés, on peut donc conclure que les rejets ont un effet très positif sur la température du cours d'eau et permettent de garantir une température idéale pour la survie de la faune aquatique. Les températures des deux rivières avant tous les rejets ne sont pas optimales en permanence pour le maintien de la faune. On observe en générale des valeurs trop élevées durant l'hiver ou l'été, et même dans certains cas, les deux. Durant la période estivale, les rejets de refroidissement, sensés rejeter de l'eau chaude, permettent tout de même de maintenir la température de l'eau relativement froide en rejetant à une température proche de 12°C, ce qui est froid en comparaison à la rivière. Durant l'hiver, le rejet le plus important pour le maintien de conditions optimales est le rejet fait pas les thermopompes de l'EFPL, qui rejettent de l'eau à une température d'environ 2.5°C durant leur fonctionnement. La demande correspond assez bien aux périodes où l'eau doit être au plus bas de sa température. Logiquement les besoins en chauffage sont nécessaires au moment où les températures extérieures sont les plus basses, d'où une parfaite adéquation entre la centrale de chauffe et les conditions thermiques de la rivière.

La température de la Sorge ayant tendance à être proche de la limite minimale et la Mèbre étant au contraire proche de la limite maximale par moment, le mélange des deux pour former la Chamberonne permet de rétablir des conditions idéales laissant une certaine marge de variation sans mettre en péril la faune. Si de nouveaux rejets devaient voir le jour, il serait préférable qu'ils soient fait dans la Chamberonne ou la Mèbre plutôt que dans la Sorge, en considérant que selon leur type ils auraient plutôt tendance à refroidir le cours d'eau.

5.4. Impacts – Débits

5.4.1. Sorge

Pour avoir une idée des débits de la Sorge en amont des rejets, des calculs ont été réalisés à partir des autres stations de mesures ainsi que sur chaque rejet pour permettre de retrouver un débit initial de l'eau à la station amont de la Sorge. Les graphiques présentés ci-dessous, comme ceux des températures, ne sont donc pas directement basés sur des valeurs réelles, mais uniquement sur une déduction faite par des mesures indirectes. Ils sont donc à interpréter avec une attention particulière car ils sont basés en partie sur des estimations faites sur la plupart des rejets.

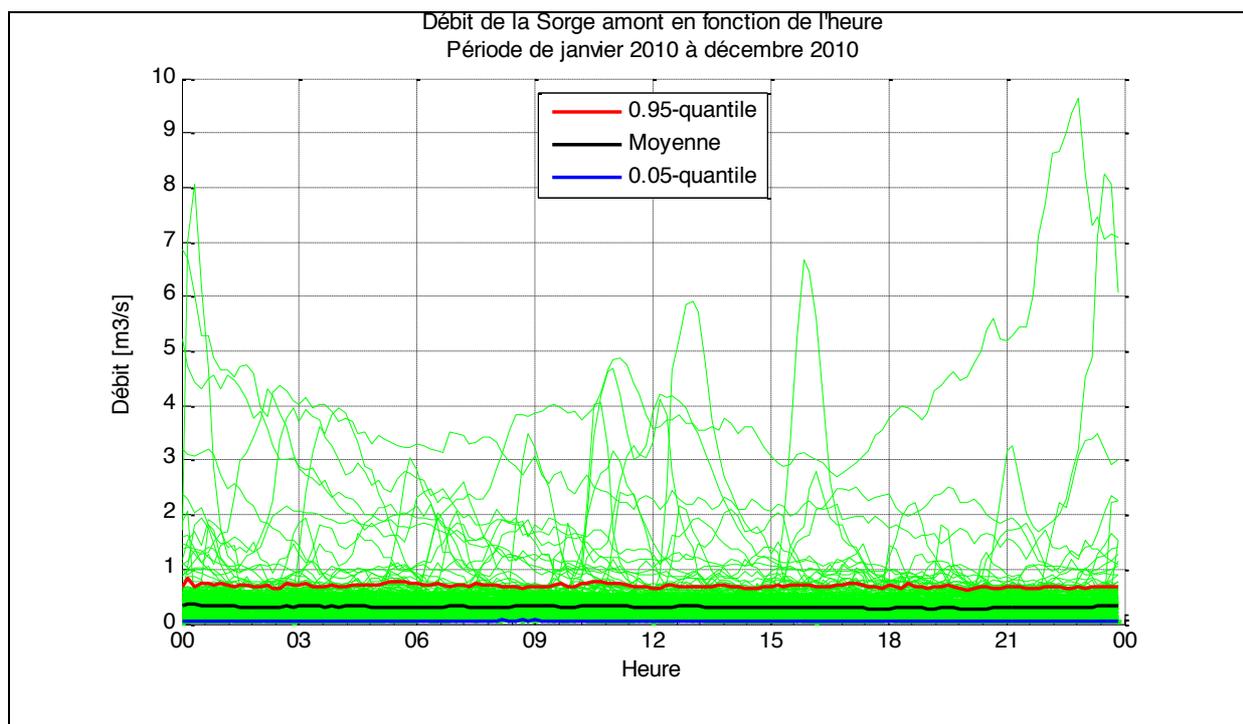


Figure 39: Débit de la Sorge amont estimés en fonction de l'heure avec quantile 95% et 5%

On remarque directement que la plupart du temps les débits de la Sorge sont faibles, ils ne dépassent pas un mètre cube par seconde (Figure 39). Ce graphique représente les débits avant tous les rejets, et le débit pourrait donc être fortement augmenté si l'on se plaçait après les rejets, spécialement celui de la première étape de l'EPFL et celui des thermopompes en hiver, et pourrait donc dépasser le débit de un mètre cube par seconde. La moyenne des débits est d'environ 0.3 m³/s (quantile 95% à 0.7 m³/s et 5% à 0.05 m³/s), alors que durant les périodes de forte consommation, les rejets peuvent atteindre un débit dépassant 0.6 m³/s, triplant ainsi le débit initial. La pointe de débit atteinte en 2010 est proche de 10 m³/s et due à une période pluvieuse spécialement intense. On observe par contre plusieurs courbes de débit dépassant 5 m³/s. On conclue donc qu'un évènement pluvieux peut bien plus massivement changer les débits du cours d'eau comparé aux rejets.

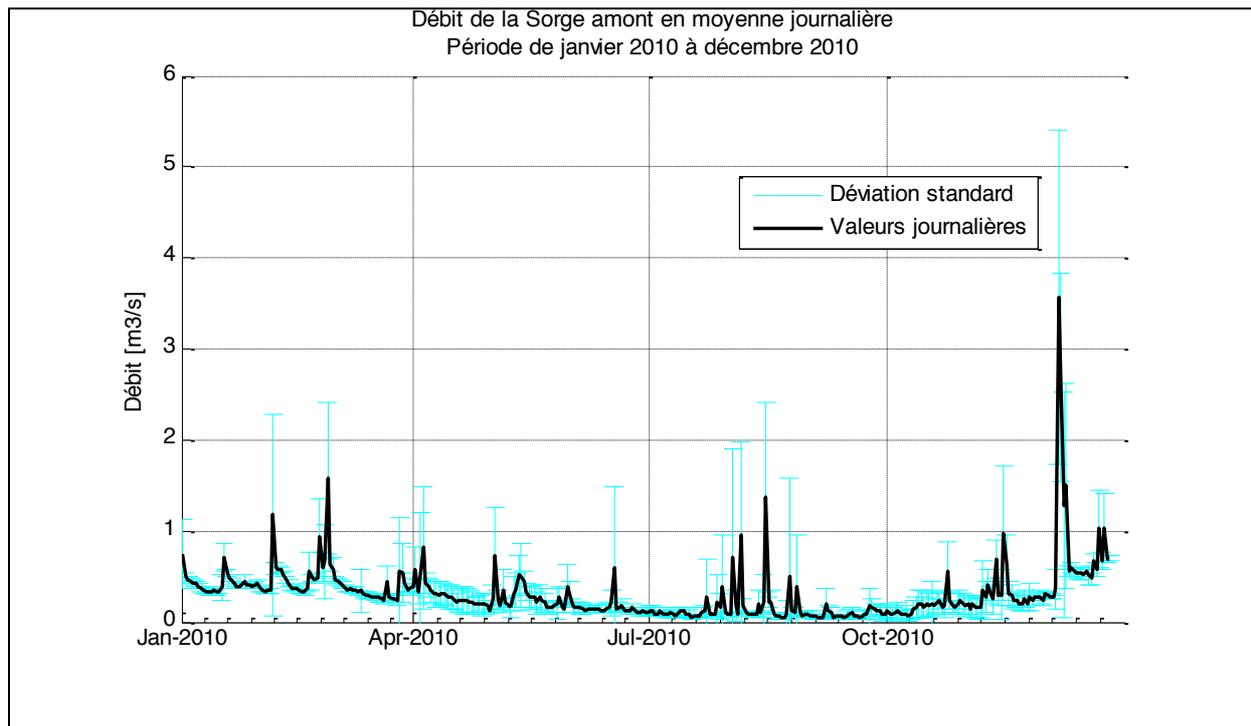


Figure 40: Débit de la Sorge amont en moyenne journalière (valeurs estimées)

En moyenne journalière, les débits restent également faibles (Figure 40). On observe moins d'une dizaine de jours durant lesquelles celui-ci dépasse $1 \text{ m}^3/\text{s}$, et un seul évènement supérieur à $3 \text{ m}^3/\text{s}$. Les déviations standard sont bien plus élevées sur les pics que pour les autres valeurs, ce qui signifie que le débit est forcément plus haut que le pic, mais pas durant la totalité de la journée. Les débits restent donc relativement faibles, du moins sur notre année test (2010, 835.6 mm de pluie pour cette année).

5.4.2. Mèbre aval

Les données de débit de la Mèbre aval sont issues de mesures réelles faites par le SESA. Pour rappel la station se trouve en amont de l'unique rejet dans la Mèbre.

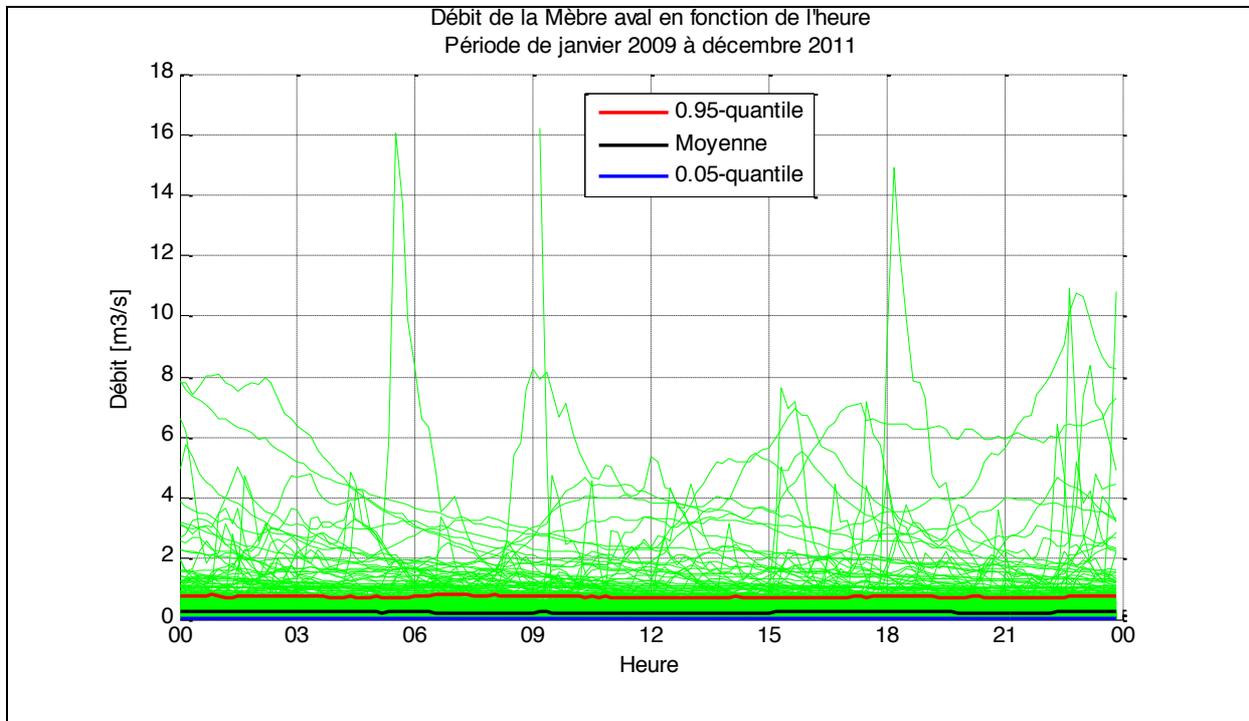


Figure 41: Débit de la Mèbre aval en fonction de l'heure (Données: SESA)

Les débits de la Mèbre sont relativement faibles durant toute l'année, 95% des jours ont un débit plus bas que $1 \text{ m}^3/\text{s}$ (Figure 41). On constate par contre plusieurs crues sur les trois années atteignant plus de $15 \text{ m}^3/\text{s}$, ce qui représente tout de même une augmentation d'un facteur 65 par rapport à la moyenne, qui est de $0.26 \text{ m}^3/\text{s}$. A nouveau, on se situe avant le rejet fait par l'IDHEAP, mais celui-ci ne représente pas un gros débit, et ne modifiera en conséquence que très peu la valeur finale. A nouveau, on peut dire à forte raison que le rejet ne constitue pas un danger pour les variations de débit.

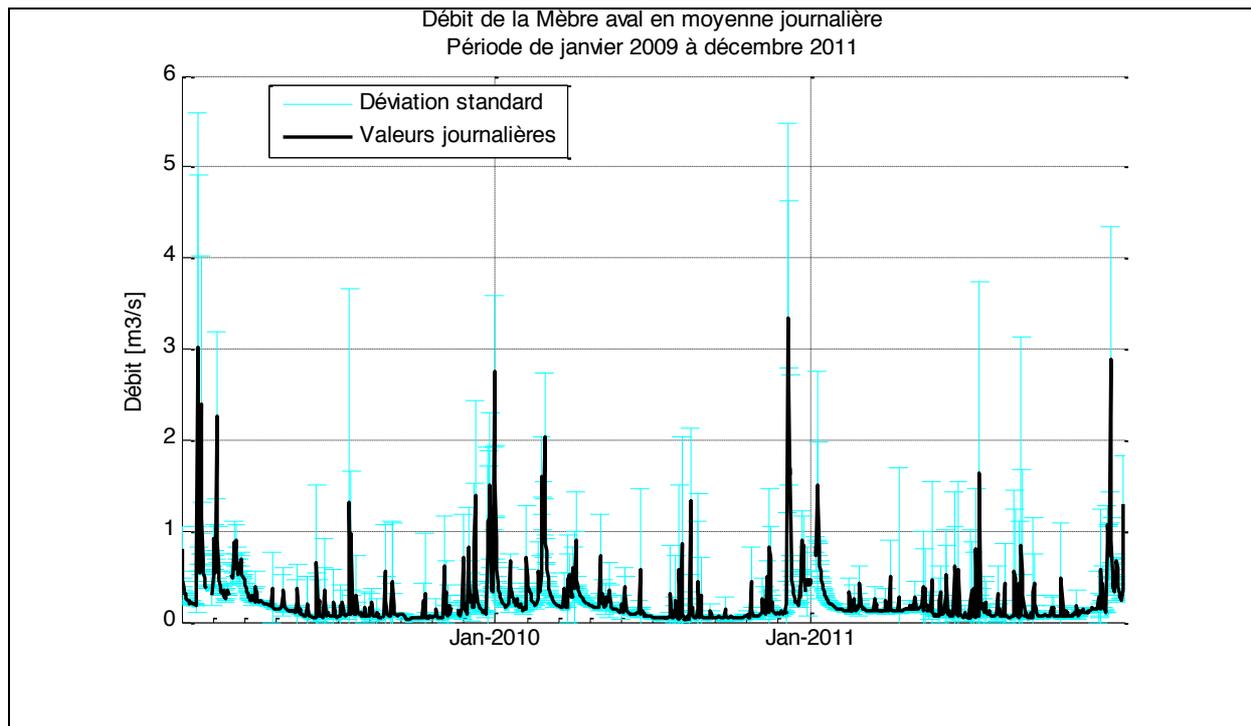


Figure 42: Débit de la Mèbre aval en moyenne journalière (Données: SESA)

Les débits en moyenne journalière restent très bas en général, mais on observe relativement régulièrement des pics provenant d'épisodes pluvieux influencés par tout le bassin versant (Figure 42). Les débits de pointe peuvent à nouveau être extrêmement plus élevés que le débit moyen. L'unique rejet actuellement fait sur la Mèbre peut très légèrement influencer son débit, mais ceci à très petite échelle. Le danger vient donc plutôt de l'imperméabilisation des zones en bordure du cours d'eau, créant des débits de pointe dans un laps de temps très faible.

5.4.3. Chamberonne

Les données de débit de la Chamberonne sont issues de mesures réelles faites par le SESA. Pour rappel la station se trouve en aval de tous les rejets.

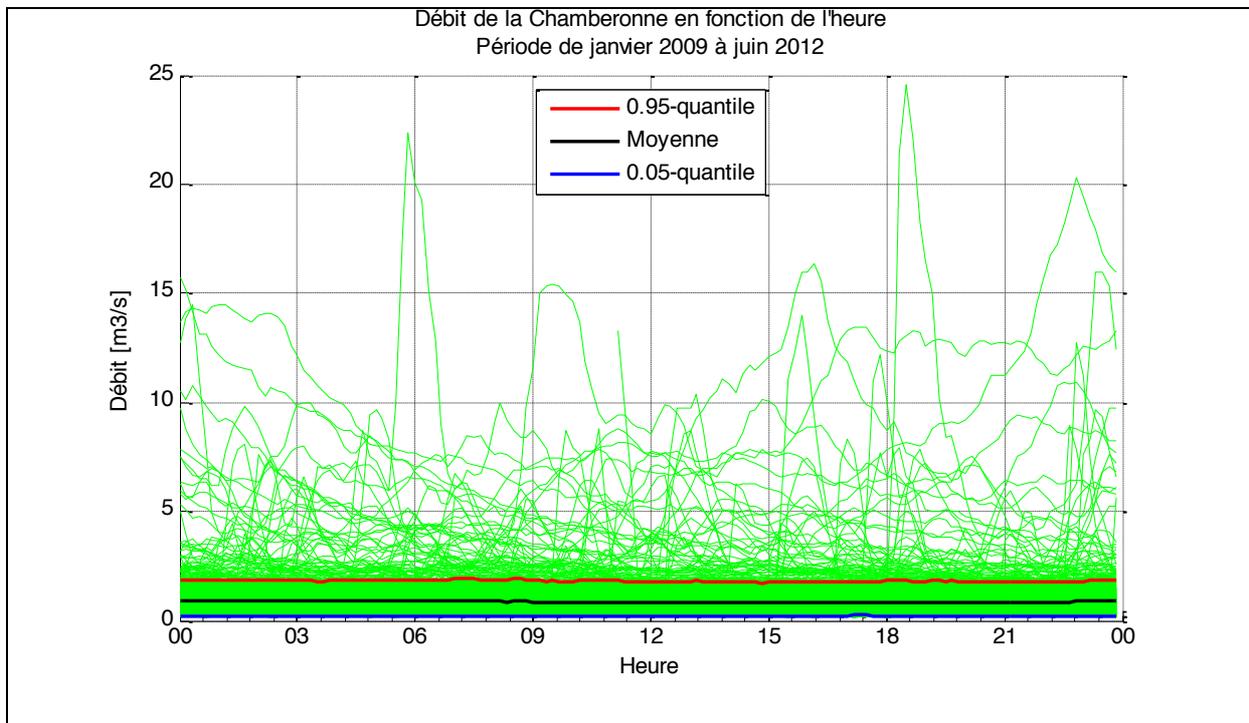


Figure 43: Débit de la Chamberonne en fonction de l'heure (Données: SESA)

Les débits sont relativement constants durant toute l'année (Figure 43). On constate que les plus grandes variations de débit sont dues à des événements pluvieux, et atteignent jusqu'à 25 m³/s. 95% des débits sont plus faibles que 3 m³/s. La Chamberonne étant la jonction de la Sorgue et de la Mère, les débits sont logiquement plus hauts que ceux de chacune des rivières. Les forts débits par temps de pluie se cumulent donc et forment de fortes variations sur le régime de la rivière. On atteint des débits allant jusqu'à presque 25 m³/s pendant de courts laps de temps à une fréquence d'environ une fois par année.

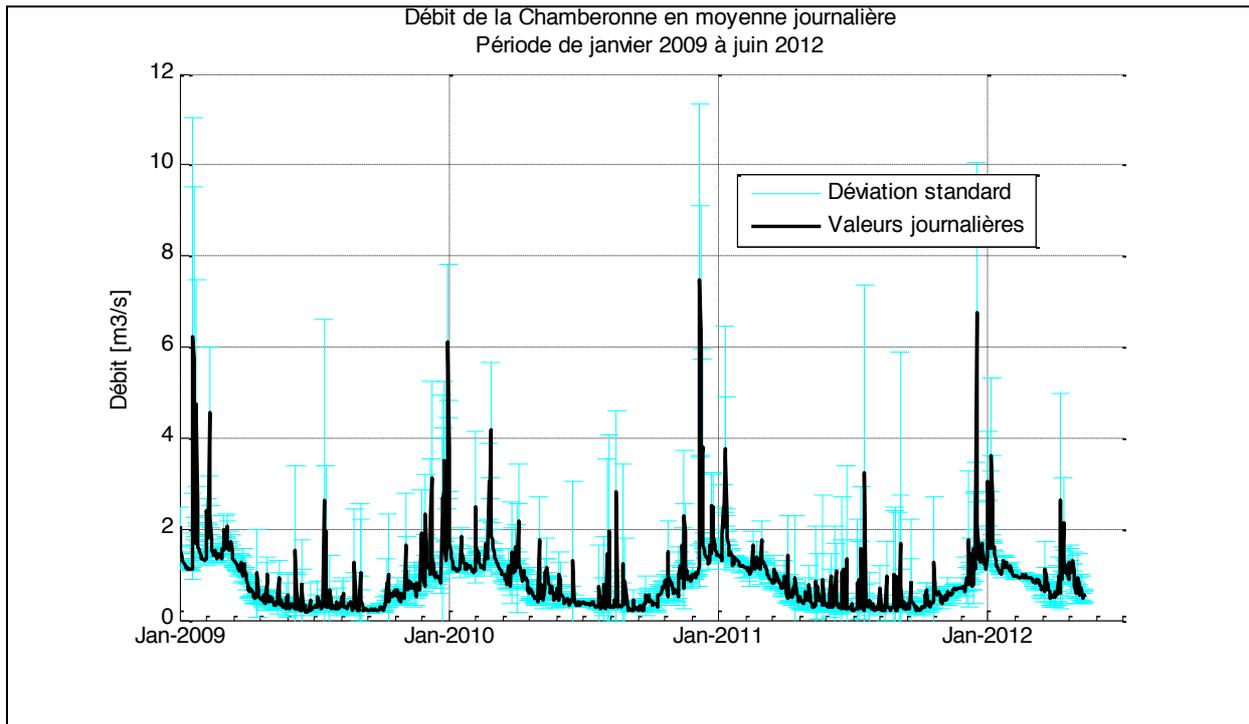


Figure 44: Débit de la Chamberonne en moyenne journalière (Données: SESA)

Les débits de la Chamberonne sont influencés par les rejets et spécialement durant l'hiver par le rejet des thermopompes de l'EPFL, ce qui explique en partie ces plus fortes valeurs durant l'hiver (Figure 44). Le débit hivernal peut atteindre par moment un débit six fois plus grand que celui mesuré en été. Les rejets d'eau de refroidissement, qui doivent être le plus élevé durant l'été (environ 140 l/s), ne font pas de grands impacts sur les débits, mais il faut également tenir compte du débit naturel de la rivière à cette période, qui doit être proche de sa valeur d'étiage (débit d'étiage Q347 = 0.226 m³/s sur la période 1993-2008). Les pointes de débits sont due à des événements pluvieux.

5.4.4. Impacts – Débits – Bilan global

Globalement, on peut observer une certaine influence des rejets sur les débits mesurés, mais celles-ci restent modérées en relation aux variations que peuvent générer des averses locales. A priori, on ne peut pas détecter de problème causé par tous les rejets faits sur les différentes rivières.

5.5. Qualité biologique

Les services compétents cantonaux désirent maintenir les conditions du milieu de la Chamberonne et de ses affluents à l'état actuel au minimum ou même les améliorer. C'est à dire qu'une dégradation du milieu n'est pas acceptable et qu'il est nécessaire d'être vigilant à tous les paramètres susceptibles d'apporter une modification. Pour pouvoir réaliser un suivi de la qualité, il est nécessaire de réaliser une étude permettant de définir l'état actuel du milieu, sans quoi il n'est pas possible de juger de son amélioration ou de sa dégradation.

Le canton (SESA) a réalisé des mesures de qualité biologique sur les trois rivières concernées par ce travail (voir annexe 9.6). Cependant, une seule des stations se trouve dans la zone concernée, et représente donc directement un indice de qualité prenant en compte l'effet des différents rejets générés par les hautes écoles (Tableau 6). Deux indices basés sur la faune benthique ont été relevés : l'IBGN, Indice Biologique Normal Globalisé ainsi que l'indice Rivaud, indice rivière vaudoise. Ils sont déterminés par l'observation de la présence, ou non, de certains macroinvertébrés benthiques. On définit ensuite l'appartenance de chaque macroinvertébrés trouvé à une unité taxonomique, qui en fonction de leur abondance définira la diversité présente dans le cours d'eau et indirectement la qualité de l'eau. On peut se référer au Tableau 5 pour définir la qualité de l'eau à la station choisie.

Tableau 5: Évaluation de la qualité de l'eau par l'IBGN et l'indice Rivaud

IBGN	< 5	5 - 8	9 - 12	13 - 16	> 16
Rivaud	0 - 5	6 - 9	10 - 11	12 - 14	> 15
Appréciation	Très mauvais	Mauvais	Médiocre	Bonne	Très bonne

Tableau 6: Indices de qualité pour les trois rivières (Source: SESA)

Rivière	Sorge	Mère	Chamberonne
Commune	Villars-Sainte-Croix	Mont-sur-Lausanne	Ecublens
Nom de la station	Villars-Sainte-Croix	Rte de Cugy – Le Mont	Vidy
Situation	533600 / 157790	538440 / 158635	534321 / 152745
Année	2011	2011	2011
Type d'analyse	Hydrobiologie et Chimie	Hydrobiologie et Chimie	Hydrobiologie
IBGN	10	17	10
Indice Rivaud	8	18	8

Les valeurs des indices sont plutôt mauvaises pour la Sorge et la Chamberonne, alors que la qualité de la Mère semble être relativement bonne. En étudiant un peu plus les valeurs, on constate que la station sur la Mère se situe très en amont du tronçon concerné dans cette étude, proche de la source. On peut donc penser que la qualité se péjore par la suite par son passage dans des zones fortement habitées. La rivière est en outre canalisée et même souterraine sur une bonne partie de son trajet, ce qui peut dégrader de manière importante ses conditions. Les données de la Sorge se

situent également largement en amont des rejets, avant la partie souterraine du cours d'eau, mais sont déjà relativement mauvaises.

Nous disposons d'un autre jeu de données qui avaient été réalisé lors des travaux pratiques en environnement en 2007 et 2009. Dans le même cadre, des données mesurées précédemment par le SESA (février et avril 2007) étaient également disponibles, elles sont aussi présentées dans le Tableau 7. La localisation de tous les points de mesures peut être observée sur la Figure 45 (M-Mèbre, S-Sorge, C-Chamberonne).

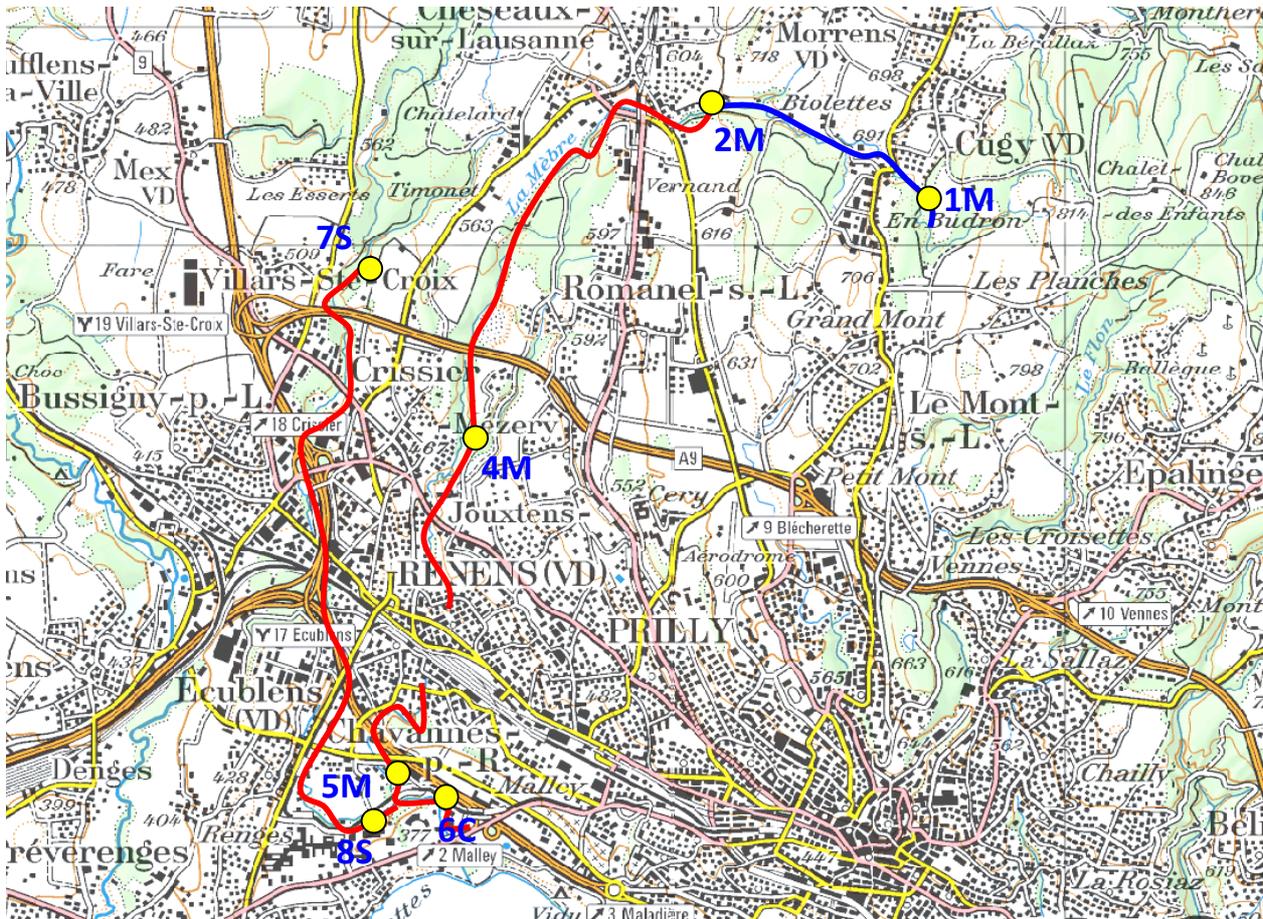


Figure 45: Stations de mesures étudiées aux TP d'environnement de l'EPFL et tracé des rivières avec qualité biologique

Tableau 7: IBGN selon les TP d'environnement et données du SESA

IBGN	1M	2M	4M	5M	7S	8S	6C
SIE 2007	12	7	5	4	9	7	9
SESA 2.2007	16				9		
SESA 4.2007	15				9		
SIE 2009	14	8	7	6	8	6	7
SESA 2011	17				10		10

On constate que comme sur les mesures précédentes, plus on s'éloigne de la source, plus l'indice devient bas, et donc la biodiversité faible. A part la première station sur la Mèbre, les autres stations

sont jugées mauvaises ou médiocre. On ne peut pas directement mettre en cause les rejets fait par les hautes écoles, car l'état se dégrade déjà en grande partie avant la zone concernée, et il est plus probable que celui-ci soit du à d'autres rejets anthropiques tels que des rejets de stations d'épuration des eaux usées (STEP) ou de drainage de zones agricoles. On observe tout de même une certaine amélioration au fil du temps pour la plupart des stations. Le point de mesure 5M, se situant donc sur la Mèbre, a une mauvaise note, ce qui correspond en partie à nos observations de températures qui révèlent également de mauvaises conditions. Le bas de cette rivière (et partiellement l'amont) nécessiterait donc une vigilance tout particulière, pour réussir à mettre en place des mesures permettant d'améliorer les conditions, autant du point de vue de la faune benthique que de la faune piscicole.

La Sorge possède des conditions légèrement meilleures dans sa partie supérieure tout en restant d'une qualité médiocre, alors que dans sa partie aval, la diversité biologique devient mauvaise. Les conditions paraissent s'être dégradées entre la campagne de 2007 et 2009, mais on observe ensuite une amélioration au point de relevé du SESA, laissant paraître une évolution positive du cours d'eau.

La Chamberonne (point 6C dans le Tableau 7) paraît étonnement bénéficier de meilleures conditions que ses deux affluents. L'IBGN est dans les deux cas où des données sont disponibles meilleures après la confluence. Il est possible que du point de vue des températures, le mélange des deux rivières redonne des conditions plus optimales que les affluents séparés. L'apport d'eau fraîche et peu polluée du lac permet également d'améliorer la qualité chimique par dilution, résultant en des concentration plus faibles de polluants.

En outre, les données ne sont pas forcément d'une grande fiabilité en raison du manque d'expérience lors de la réalisation de l'étude (pour ce qui est des valeurs trouvées lors des TP).

Un autre indicateur de qualité de l'eau est le nombre de prises de poissons par année sur un tronçon. Le nombre à partir duquel on juge la qualité suffisante est de 70 prises. La seule rivière pour laquelle des données sont disponibles est la Mèbre, on peut observer les valeurs entre 1987 et 2007 dans le Tableau 8.

Tableau 8: Données de prises pour la Mèbre (Source : OFEV - Erich Staub, préparé par Renata E. Hari pour cette étude)

	<i>Prises de truites par kilomètre de rivière</i>										
Mèbre	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
	13.4	23.3	6.1	2.7	9.3	8.1	5.4	4.5	16.1	16.0	11.3

	<i>Prises de truites par kilomètre de rivière</i>									
Mèbre	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
	4.6	21.6	8.7	13.7	10.0	12.6	11.9	13.4	15.2	15.1

Le nombre de prises est toujours en dessous de la limite de qualité suffisante. Les conditions sont donc mauvaises. On constate une très faible valeur de prise dans le début des années 90, mais la valeur semble remonter dans les années qui suivent, indiquant apparemment une amélioration de la qualité, qui reste tout de même mauvaise.

5.6. Situation future

Autant le campus de l'UNIL que celui de l'EPFL s'étendent de plus en plus. Cette tendance va s'intensifier encore durant un certain temps, impliquant une demande croissante en besoin de refroidissement et de chauffage. Du point de vue du refroidissement, l'utilisation de l'eau du lac n'est en aucun cas remise en question, elle reste un moyen bon marché et durable de climatiser et les infrastructures présentes permettent une utilisation optimale. Pour les besoins en chauffage, la question reste largement plus ouverte. En effet, du côté de l'EPFL les puissances installées ne sont bientôt plus suffisantes pour garantir une certaine sécurité d'approvisionnement et ne permettent plus d'extension. Le centre de congrès de l'EPFL (CCR), actuellement en construction au nord du campus, sera chauffé par une pompe à chaleur réutilisant l'eau de refroidissement de la première étape de l'EPFL. Le nouveau bâtiment de l'université nommé Géopolis sera également chauffé par une pompe à chaleur puisant l'eau directement dans le réseau primaire d'eau industrielle du site. Dans un futur relativement proche, la possibilité de se raccorder au chauffage à distance de la ville de Lausanne est étudiée.

5.6.1. Modifications techniques

Selon le rapport de la commission chargé d'étudier l'augmentation de la capacité de pompage de l'eau du lac à la station commune à l'EPFL et l'UNIL¹², le développement du site au delà de 2015 nécessitera la construction d'une nouvelle station de pompage, permettant un plus grand débit, et nécessitant donc de nouvelles pompes, une nouvelle prise au lac, c'est à dire la pose d'une nouvelle conduite munie d'une crépine dans le fond du lac, et également la négociation d'une nouvelle concession de pompage délivrée par le canton de Vaud. Rappelons tous de même que la concession actuelle court encore jusqu'au 31 décembre 2023 et autorise un pompage maximum de 1150 l/s¹³.

Dans un plus proche avenir, deux modifications importantes des infrastructures vont se faire. Premièrement le rejet de la première étape de l'EPFL (refroidissement) va être pompé pour alimenter le nouveau centre de congrès (CCR), autant pour des besoins de refroidissement durant l'été que pour des besoins de chaleur durant l'hiver, moyennant l'utilisation d'une pompe à chaleur. Ceci implique non seulement un déplacement du rejet, mais également une modification des températures de rejet durant toute l'année. Il est en plus possible que le débit ne suffise pas à couvrir la demande, et dans cette situation, le complément se fera en ponctionnant directement l'eau sur le réseau d'eau industrielle primaire, c'est à dire l'eau du lac à sa sortie de la station de pompage. Une autre variante encore à l'étude est de pomper les eaux de refroidissement des bâtiments du côté sud du campus, pour les rejeter du côté nord comme appoint pour les pompes à chaleur du centre de congrès. Cette variante a le grand avantage de fournir de l'eau à une température proche de 12°C alors que l'eau du réseau primaire a une température d'environ 6°C,

¹² Canton de Vaud, "Rapport De La Commission Chargée D'examiner L'objet Suivant : Exposé Des Motifs Et Projet De Décret Accordant Un Crédit De 1'460'000 Francs Destiné à Financer L'augmentation De La Capacité De Pompage De L'eau Du Lac à La Station Commune à l'EPFL Et à l'Université De Lausanne-Dorigny Et Le Complément Du Réseau De Refroidissement Dans La Zone Des Facultés Des Sciences Humaines - RC62", June 2008.

¹³ Acte de concession pour usage d'eau N°184, Conseil d'état du canton de Vaud, 6 mars 1985.

résultant en une moins grande efficacité des thermopompes. Les deux variantes impliquent tout de même une augmentation du débit de rejet sur la Sorge.

Techniquement, et selon la concession, le rejet se faisant en amont de la sonde de température sur la Sorge, il serait nécessaire de poser une nouvelle station de mesure en amont du rejet pour pouvoir évaluer la température « naturelle » de la rivière.

La deuxième modification d'importance est la construction du bâtiment des géosciences et des sciences politiques au nord du campus de l'université (Géopolis). Comme dit précédemment, il sera chauffé par une pompe à chaleur fonctionnant à l'eau du lac. De plus l'eau sera également utilisée pour le refroidissement des locaux ainsi que pour la climatisation d'un important local de serveurs centraux, nécessitant un fonctionnement continu des installations¹⁴. De ce fait, un nouveau rejet se fera sur la Chamberonne, ajoutant ainsi un certain débit d'eau à une température variant en fonction de la saison et de la demande.

Ces deux rejets sont sur un certain point un nouveau type de rejet, du fait qu'ils rejettent à la fois de l'eau de refroidissement et de chauffage en quantité non négligeable, compliquant ainsi la dynamique de température et leurs estimations. Le rejet de l'IDHEAP est déjà un rejet de ce genre, mais les débits en jeux sont très faibles, et il n'a malheureusement pas été possible d'obtenir des valeurs.

L'évolution du chauffage du site de l'EPFL reste pour l'instant incertaine. Plusieurs possibilités entrent en compte. La première qui avait été proposée depuis un certain temps est la pose d'une troisième thermopompe du même genre que celles déjà en place à la centrale de chauffe, garantissant ainsi la marge de puissance nécessaire. La seconde solution actuellement en discussion serait de réutiliser les différents rejets « chauds » du site, permettant ainsi de revaloriser toute la chaleur contenue dans l'eau de refroidissement. Ceci impliquerait la construction d'un nouveau réseau de revalorisation de l'eau mais aurait l'avantage de ne pas augmenter le débit de pompage au lac. Un projet de réutilisation de la chaleur des eaux usées est également en discussion. Le but serait de créer une station de chauffage indépendant pour les logements pour étudiants situées au nord du campus (« Les Triades ») qui sont actuellement raccordés à la centrale de chauffe de l'EPFL.

5.6.2. Hypothèses

Ces deux modifications des installations n'étant pour l'instant pas réalisées, il a été nécessaire de faire certaines hypothèses basées sur les données disponibles à ce stade du projet.

Les deux nouveaux bâtiments en construction posséderont une pompe à chaleur pour leur besoin en chauffage. Le fonctionnement de celles-ci a donc été basé sur le fonctionnement des pompes à chaleur de l'EPFL actuellement en service. La centrale de chauffe (CCT) possède deux thermopompes, de ce fait une courbe de charge a été calculée pour toute l'année, considérant un fonctionnement total de la centrale (les deux pompes enclenchées, valeur de fonctionnement de 1), un fonctionnement modulé (une pompe enclenchée, valeur de fonctionnement de 0.5) ou pas de fonctionnement du tout (aucune demande de chaleur, valeur de fonctionnement de 0). Avec ces données, il a été possible de calculer la température et le débit de rejet, moyennant la considération

¹⁴ Patrice Fumasoli, "Développement Du Quartier Mouline : Le Ci Va Se Doter D'une Nouvelle 'Salle Machines'," *Journal En Ligne Du Centre Informatique*, juillet 2010, <http://www3.unil.ch/spip/article207.html>.

d'autres hypothèses spécifiques aux conditions d'utilisation du bâtiment et de l'eau du lac qui seront expliquées plus loin.

Selon les dernières informations¹⁵, dans le cas du centre de congrès de l'EPFL, la puissance maximale de chauffage sera de 1587 kW, ce qui fait un débit de 63 l/s pour une différence de température entrée/sortie de 6°C. La puissance de refroidissement est elle de maximum 1254 kW avec l'eau du rejet (différence de température : 14°C - 17.8 °C), mais peut être augmentée en cas de besoin en puisant directement dans l'adduction d'eau du lac et peut alors mettre à disposition une puissance complémentaire de refroidissement de 496 kW (différence de température : 6°C - 12°C). La différence de température est donc plus faible durant l'été, mais le débit de rejet est également plus haut, et de ce fait la puissance disponible reste correcte. Si le rejet de la première étape est trop important par rapport à la consommation du centre de congrès, l'eau en excès est simplement déversée dans la Sorge à l'endroit actuel. Les pompes d'alimentation du CCR sont directement asservies à la demande d'énergie.

Le débit considéré pour les calculs est celui du rejet de la première étape qui sera considéré comme entièrement pompé pour le centre de congrès et suffisant pour tous les besoins (donc n'impliquant aucune augmentation de rejet par rapport à la situation actuelle). L'eau d'entrée a donc une température d'environ 12°C. Les températures de rejet sont ensuite basées sur le fonctionnement des pompes à chaleur. Dans le cas où la valeur de fonctionnement est de 1, la température de rejet considérée est de 6°C. Dans le cas où le fonctionnement n'est que de 0.5, la température est considérée comme celle de la moitié de l'eau rejetée à 6°C et de la seconde moitié utilisée à des besoins de refroidissement, rejetant à une température d'environ 14°C, ce qui donne au final une température moyenne de 10°C. Durant l'été, les besoins en chaleur sont nuls, et donc l'eau est uniquement utilisée pour du refroidissement, et la température de rejet considérée est de 15°C à l'exception des mois de plein été (juin-août) ou celle-ci est fixée à une température de 17°C. Dans ce cas, le centre de congrès ne génère pas d'augmentation de débit, vu que l'on réutilise intégralement l'eau du rejet de la première étape de l'EPFL, mais par contre il engendre une variation de température.

Dans le cas de l'UNIL, malgré toutes les recherches, il n'a pas été possible de trouver la puissance de chauffage de ce bâtiment. Sachant donc qu'il devrait obtenir le label Minergie®, la puissance a été calculée sur la base des valeurs de cette norme (Norme SIA 380/1:2009). La puissance exigée selon la norme pour un bâtiment de type « école » est de 40 kWh/m²a¹⁶. Le bâtiment ayant une surface de 28'600 m², la consommation annuelle se monte à 1'144 MWh. En déduisant de cette énergie une puissance de chauffage et en considérant une saison de chauffage de 6 mois (consommation permanente sur 6 mois, prenant donc en compte un fonctionnement intermittent durant l'entre-saison), celle-ci est de 260 kW. De plus le refroidissement du centre informatique (« Data center ») nécessite une puissance de refroidissement de 450kW¹⁷, jugée permanente. On constate donc que la puissance de refroidissement est plus élevée que celle nécessaire pour le chauffage. Cette énergie évacuée peut donc directement être réutilisée pour le chauffage du bâtiment. Le débit de rejet sera donc indexé sur la valeur nécessaire pour évacuer la chaleur et garantir une température à la sortie

¹⁵ Contact direct, François Vuille, DII-EPFL

¹⁶ http://www.minergie.ch/minergie_fr.html, consulté le 17 juin 2012.

¹⁷ Patrice Fumasoli, "L'UNIL Bâtit Son Cloud à Géopolis," *Le Magazine En Ligne Du Centre Informatique De l'UNIL*, avril 2012, <http://www3.unil.ch/wpmu/cinn/2012/04/lunil-batit-son-cloud-a-geopolis/>.

des échangeurs de refroidissements de 12°C. Le débit nécessaire est donc de 17.9 l/s. Durant l'hiver, le chauffage récupérant une partie de la chaleur, la température de rejet sera de 8.5°C lors du fonctionnement à pleine puissance (index thermopompes = 1). Durant l'entre saison (index thermopompes = 0.5), l'énergie puisée dans l'eau de refroidissement étant plus basse, la température de rejet sera de 10.3°C. Durant l'été (index thermopompes = 0), les besoins en froid étant plus élevés en raison de la climatisation des locaux, une puissance équivalente au tiers de celle de chauffage (50kW) a été ajoutée aux besoins de refroidissement. La puissance à évacué se mont donc à 500kW. Comme dit précédemment, la température maximale de sortie après les échangeurs utilisés pour le refroidissement étant fixée à 12°C, le débit doit être plus élevé pour évacuer le surplus d'énergie. Celui-ci atteint donc une valeur de 19.9 l/s.

Dans un premier temps, l'adjonction d'une thermopompe à la centrale de chauffe de l'EPFL n'est pas prise en compte, du fait de la grande incertitude de cette modification.

Tableau 9: Résumé des hypothèses pour les rejets futurs d'un point de vue des débits et des températures

Latence	Centre de Congrès EPFL (CCR)		Géopolis	
	20 minutes		0 minute	
	Débit de rejet	Température de rejet (entrée 12°C)	Débit de rejet	Température de rejet (entrée 6°C)
Hiver	Rejet EPFL 1	6°C	17.9 l/s	8.5°C
Entre-saison	Rejet EPFL 1	10°C	17.9 l/s	10.3°C
Eté	Rejet EPFL 1	15°C (17°C entre juin et août)	19.9 l/s	12°C

5.6.3. Température future – Sorge aval

La température de la Sorge a été calculée sur la base des mesures de débit fait sur la Mère et la Chamberonne, ainsi que des calculs réalisés précédemment sur tous les rejets. De ce fait, le débit de la Sorge aval est une estimation et est donc soumis à une certaine marge d'erreur. Le calcul de la puissance est donc directement influencé. La température initiale de la rivière est celle mesurée par l'EPFL et est donc basée sur de vraies valeurs.

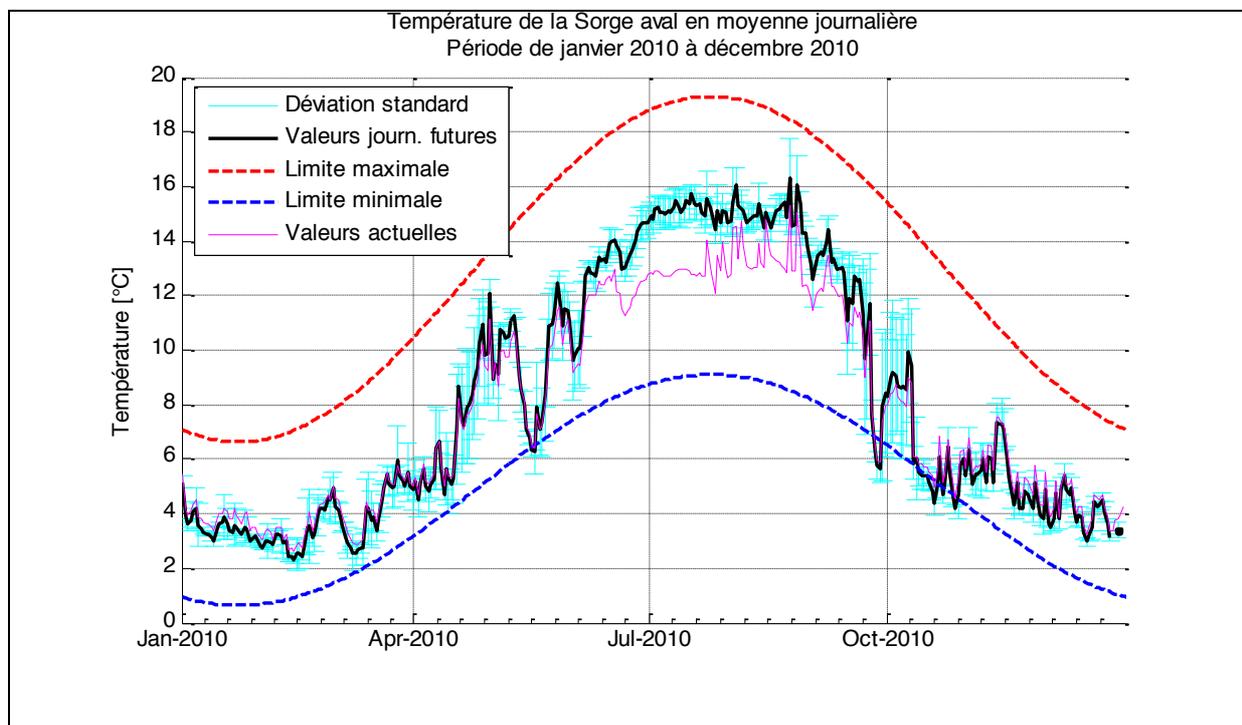


Figure 46: Température en moyenne journalière de la Sorge en considérant les rejets futurs ainsi que dans l'état actuel

L'effet du nouveau rejet (uniquement CCR sur la Sorge) n'est pas le même durant toute l'année, car le l'eau est par moment utilisée pour des besoins en chaleur et par d'autre pour des besoins en refroidissement. Durant l'été, les températures sont fortement influencées, avec une augmentation de l'ordre de 2°C (Figure 46). Durant l'hiver, le CCR rejetant de l'eau plus froide que celle rejetée actuellement par la première étape de l'EPFL, la température de la Sorge baisse légèrement, mais la variation n'est observable que durant le mois d'hiver, et très peu à l'entre-saison.

Malgré cela, la température de la Sorge est encore tout à fait acceptable, et ne semble pas poser de problème à long terme pour la faune aquatique. Les périodes durant lesquelles la température est légèrement trop basse sont toujours les mêmes que dans la situation actuelle, et il est possible que cela ne se produise pas chaque année.

5.6.4. Débit futur – Sorge aval

Dans la variante sélectionnée pour les calculs, le débit de la Sorge ne change pas par rapport à la situation actuelle, car on réutilise uniquement l'eau qui était précédemment rejetée par la première étape de l'EPFL. La seule chose qui change est la latence de l'écoulement, vu que le rejet du CCR se fait plus en amont de l'actuel, mais la différence reste faible.

Il est possible que dans le cas réel d'utilisation du CCR, certains ajustements doivent être faits, impliquant l'augmentation du débit de rejet, comme mentionné dans le chapitre précédent.

5.6.5. Température future – Chamberonne

Les calculs de température dans la situation future ont été faits en ajoutant à la puissance de la rivière (référentiel thermique à 0°C) la puissance rejetée par le CCR et le bâtiment Géopolis, et en supprimant la puissance précédemment rejetée par la première étape de l'EPFL. De ce fait, on peut retrouver une température proche de celle que l'on mesurerait dans la situation, le nombre d'estimations sur les valeurs étant faible.

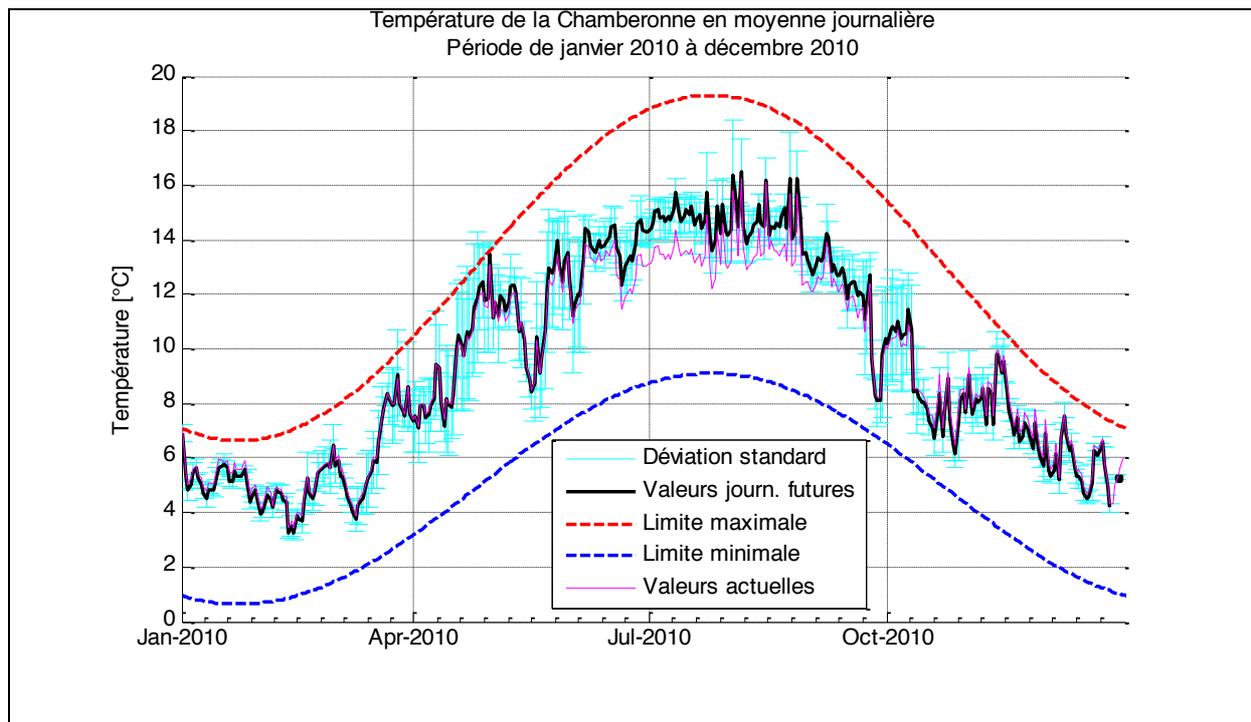


Figure 47: Température en moyenne journalière de la Chamberonne en considérant les rejets futurs ainsi que dans l'état actuel

Les températures ne sont que faiblement influencées durant la période hivernale, alors qu'elles seront plus élevées durant l'été (Figure 47). Ceci vient du fait que l'on réutilise intégralement les eaux de refroidissement de la première étape de l'EPFL pour alimenter le centre de congrès. Durant l'hiver l'eau du lac (eau industrielle) augmente de température en raison du refroidissement de la première étape, puis l'énergie est réutilisée pour chauffer le centre de congrès, et l'eau est donc au final rejetée quasiment à la même température que l'eau du lac. Au contraire durant l'été, l'eau ayant déjà été chauffée pour le refroidissement et la climatisation des bâtiments de la première étape, elle est à nouveau réchauffée par les besoins en froid du centre de congrès et elle est donc rejetée à une température située entre 15 et 17°C, réchauffant ainsi la rivière (Figure 48).

Le rejet généré par le bâtiment Géopolis de l'université reste relativement faible et contient en grande partie des rejets de refroidissement. La température se situe donc toujours entre 8.5 et 12°C.

Malgré cela, les températures paraissent être encore correctes d'un point de vue de la faune aquatique. Les rejets futurs ne devraient donc pas poser de problème. La période de l'entre-saison

est plus critique que le plein hiver ou le plein été, en raison du fonctionnement du chauffage et de l'augmentation des besoins en froid.

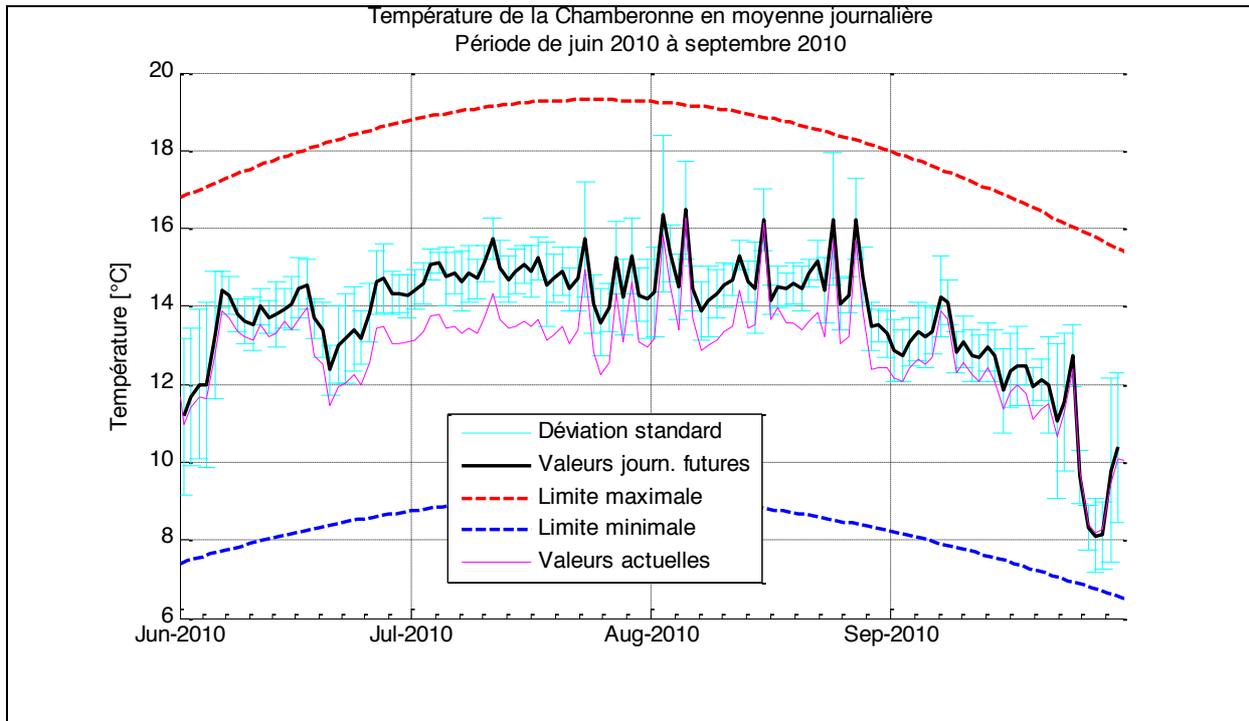


Figure 48: Température de la Chamberonne en moyenne journalière en considérant les rejets futurs entre juin et septembre ainsi que dans l'état actuel

5.6.6. Débits futur – Chamberonne

Le débit de la Chamberonne dans l'état futur est obtenu en prenant la valeur mesurée par la station du SESA à laquelle on ajoute uniquement le débit de rejet du bâtiment Géopolis.

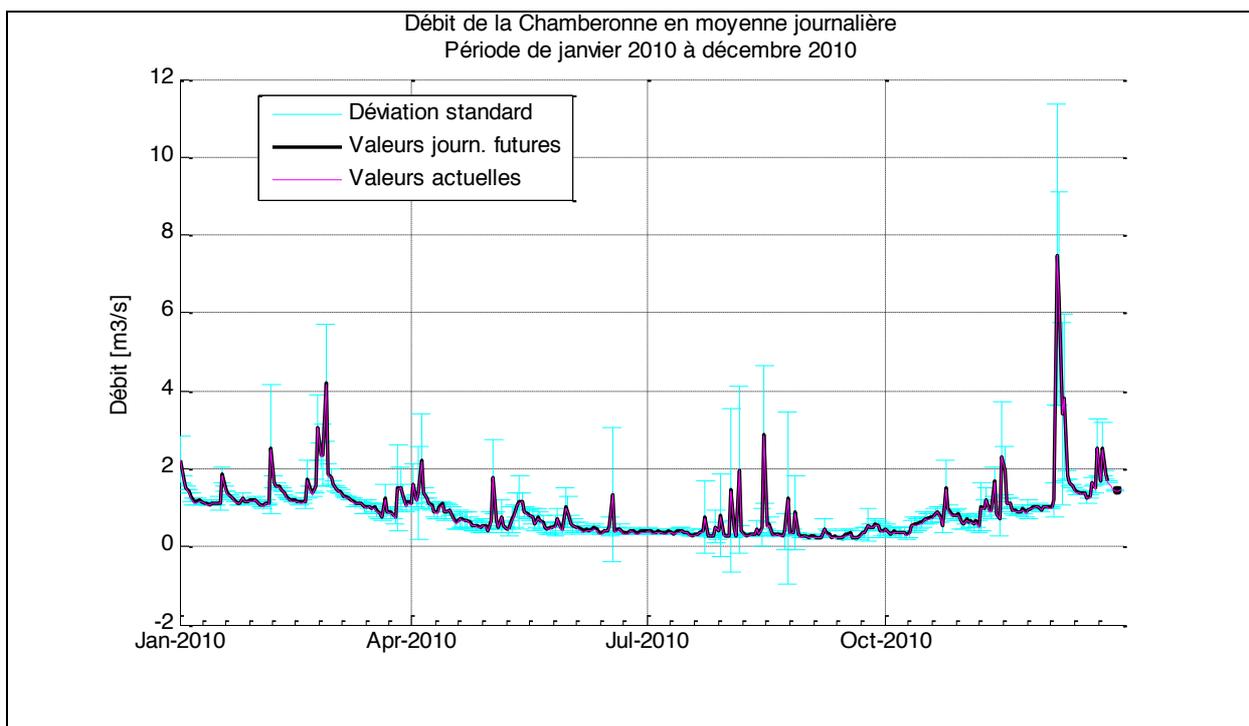


Figure 49: Débit de la Chamberonne en moyenne journalière en considérant les rejets futurs et dans l'état actuel

L'augmentation de débit générée par le bâtiment Géopolis n'est pas observable sur le graphique (Figure 49), il reste effectivement très faible en comparaison au débit moyen de la rivière. L'eau rejetée par le centre de congrès ne créera pas de débit supplémentaire vu qu'il est uniquement la réutilisation de l'eau qui était précédemment rejetée directement par le refroidissement de la première étape.

5.6.7. Variante avec thermopompe – Température future

La possibilité de l'ajout d'une troisième thermopompe ayant été abordée, un calcul a été réalisé pour en observer ses effets. Le débit de rejet de la centrale de chauffe a été augmenté d'un facteur 1.5, tout comme la puissance rejetée. Les périodes de fonctionnement se basent sur le fonctionnement effectivement observé durant l'année 2010. Les rejets futurs (CCR et Géopolis) étant en cours de construction, ils ont été maintenu dans la simulation.

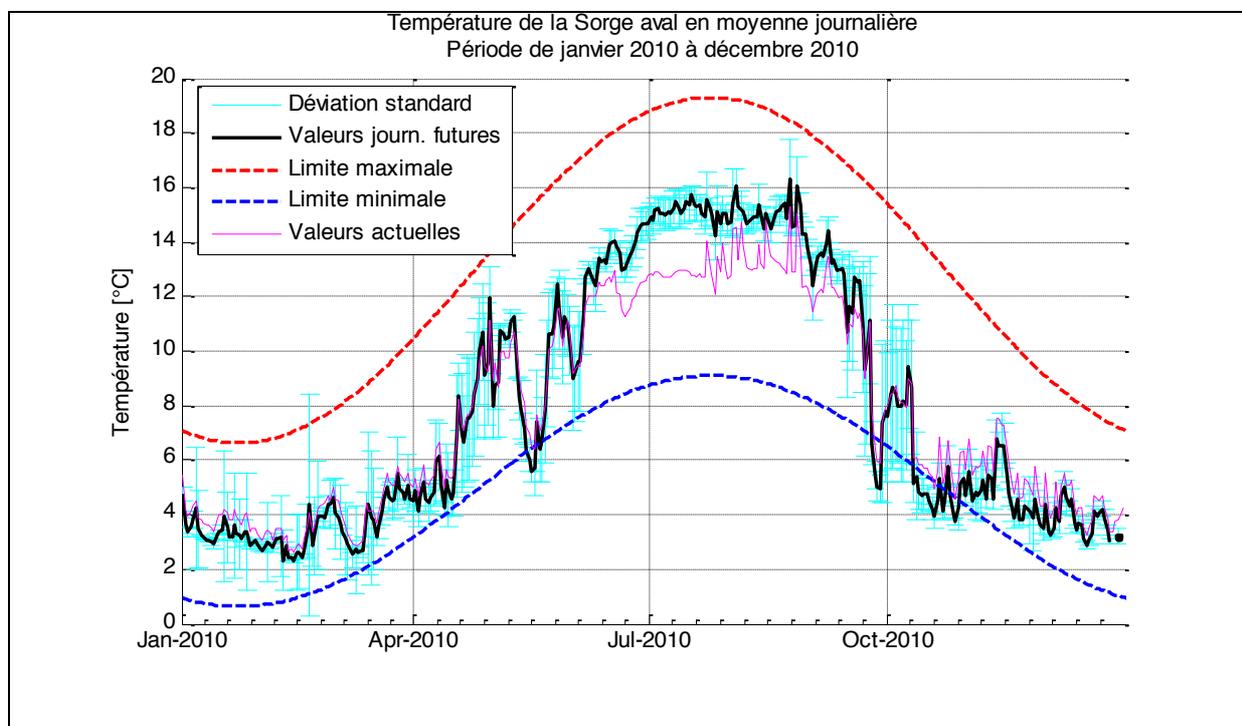


Figure 50: Température de la Sorges en moyenne journalière en considérant les rejets futurs ainsi que l'adjonction d'une troisième thermopompe et dans l'état actuel

Le rejet de la centrale de chauffe abaisse la température de la Sorges durant la période hivernale, mais ceci reste mesuré (Figure 50). Lors des périodes durant lesquelles la température est trop froide, les thermopompes accentuent ce problème, ce qui pourrait se répercuter sur la faune aquatique. Il serait nécessaire d'étendre l'étude des températures à une plus longue plage de temps, pour vérifier si ce phénomène est régulier ou non. Durant l'été, la centrale de chauffe ne fonctionnant pas, les effets sont uniquement dus aux deux autres rejets, et on déjà été traités précédemment.

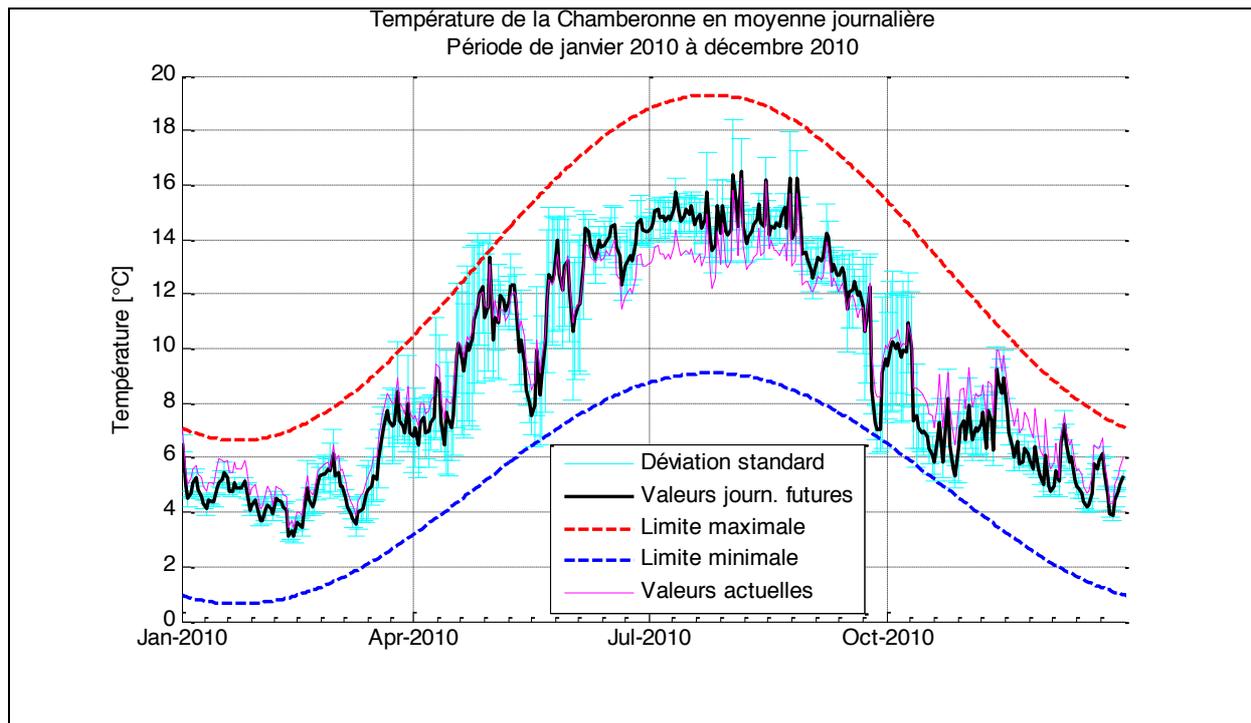


Figure 51: Température de la Chamberonne en moyenne journalière en considérant les rejets futurs ainsi que l'adjonction d'une troisième thermopompe et dans l'état actuel

L'effet des thermopompes est visible sur la température de la Chamberonne, mais la différence entre l'état actuel et futur reste faible (Figure 51). La température s'approche dangereusement de la limite minimale, mais paraît être encore acceptable dans la Chamberonne, au contraire de la Sorse. Sur ces mesures on ne décèle pas de problème majeur, et l'ajout d'une troisième thermopompe à la centrale semble possible d'un point de vue des températures.

5.6.8. Variante avec thermopompe – Débit futur

Le débit de la Chamberonne avec l'ajout de la troisième thermopompe est calculé en augmentant simplement le débit de rejet de la centrale de chauffe d'un facteur 1.5.

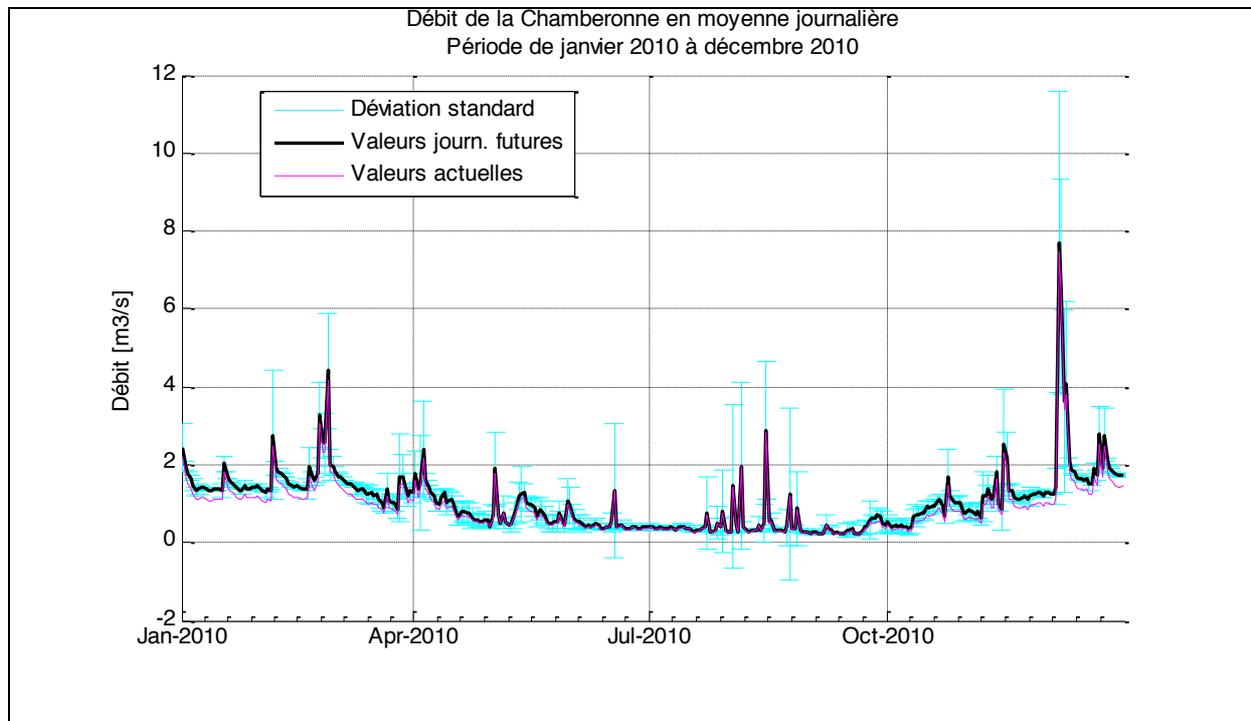


Figure 52: Débit de la Chamberonne en moyenne journalière en considérant les rejets futurs ainsi que l'adjonction d'une troisième thermopompe et dans l'état actuel

L'augmentation de débit est logiquement visible uniquement durant les mois d'hiver et plus légèrement à l'entre-saison (Figure 52), période à laquelle les thermopompes fonctionnent de façon intermittente. L'augmentation reste faible par rapport aux variations de débit observé durant toutes l'année, et ne pose donc pas de problème dans l'évaluation des impacts sur la faune aquatique.

6. Perspectives

6.1. Station de mesure

Avec les nouvelles constructions sur le campus, et plus spécifiquement la construction du centre de congrès de l'EPFL, il sera nécessaire de mettre une nouvelle station de mesure de température en service sur la Sorge en amont de tous les rejets. En effet celle ayant actuellement cette fonction, datant des années 70, se trouvera en aval du rejet de bâtiment. La solution la plus simple serait de créer un nouveau point de mesure tout en conservant la station actuelle. On pourrait donc voir directement l'influence du nouveau rejet sur la température de la Sorge, moyennant que l'entretien de la station soit fait régulièrement en raison de son placement dans une courbe qui induit un ensablement fréquent.

6.2. Suivi de la qualité

Pour pouvoir évaluer l'évolution de la qualité de la rivière, il serait nécessaire de réaliser une étude plus détaillée des conditions du milieu, par exemple à l'aide du système modulaire gradué (SMG) fait par l'office fédérale de l'environnement (OFEV), l'Eawag et les services cantonaux de la protection des eaux. Il permet d'évaluer plusieurs paramètres qui sont les suivants : écomorphologie, hydrologie, aspect général, macroinvertébrés, poissons, diatomées, plantes aquatiques, chimie ainsi que écotoxicologie¹⁸. En regroupant tous ces paramètres, on est en mesure d'assurer un suivi de qualité sur le cours d'eau, permettant donc de juger l'impact des rejets futurs plus seulement uniquement d'un point de vue des températures. Certains de ces modules sont en cours d'élaboration et seront donc seulement utilisés dans les années qui viennent comme le standard fédéral pour ce genre d'étude.

Le niveau d'investigation est défini à trois niveaux. Le premier niveau, le niveau R, est une analyse sur une relativement grande région, qui reste relativement superficielle et ne regroupe que quelques paramètres clés. Le second niveau, le niveau C, est l'analyse de cours d'eau. Il représente une étude plus conséquente de tout le réseau hydrographique. Les résultats de cette étude permettent de prendre des mesures pour améliorer ou maintenir les conditions optimales. Le dernier niveau, le niveau T, est l'analyse de tronçons de cours d'eau. Il est fréquemment fait pour des endroits révélant des problèmes spécifiques et précis. Selon le problème, d'autres méthodes peuvent être mises en place, qui dépassent le cadre du SMG. Logiquement, plus la focalisation est élevée, plus les efforts pour l'élaboration le sont aussi.

6.3. Mesures sur les rejets

La solution la plus pratique pour pouvoir évaluer les rejets serait de connaître parfaitement le débit de rejets à chaque exutoire. Il serait donc important d'équiper tous les compteurs de départ d'eau industrielle de module permettant la lecture à distance. Une bonne alternative possible serait également l'installation de débitmètres. Du côté de l'EPFL, un serveur de gestion est déjà en place sur lequel on peut relever les débits de deux des quatre rejets. Le service technique étant en cours de réflexion sur le système à conserver, il est possible que à relativement cours terme, une nouvelle

¹⁸ <http://www.modul-stufen-konzept.ch/f/module-f.htm>

gestion à distance se mette en place. Dans tous les cas, il serait normalement techniquement possible de créer une session en lecture seule sur le serveur, qui permettrait aux personnes ayant besoin de ces données de les relever depuis n'importe quel poste informatique relié à internet. Il existe actuellement une session en observation sur laquelle les graphiques de différentes mesures sont visibles. La mesure des températures serait également une bonne chose, et pourrait même être nécessaire pour l'évaluation du potentiel énergétique des eaux de refroidissement.

Du côté de l'UNIL, un seul des rejets possède une infrastructure permettant la mesure du débit en continu (Unithèque) et la mesure de la température en sortie serait relativement facilement mesurable, car le refroidissement se fait par un échangeur et l'entrée se situe donc très proche physiquement de la sortie. En revanche, ces mesures ne sont pas disponibles sur un serveur accessible en ligne. Globalement, il serait donc nécessaire d'équiper tous les rejets de débitmètres et de rapatrier toutes les données sur un serveur central accessible par les personnes ayant besoin de ces valeurs (moyennant un accès authentifié). Le service technique est en train de réaliser une étude sur les modifications à entreprendre ces modifications. Cette étude n'est malheureusement pas encore disponible. Elle permettra d'avoir une vue d'ensemble des interventions à réaliser. Ceci permettrait sûrement de réaliser également des bilans de consommation plus facilement et éventuellement permettre une optimisation du système.

Une solution de rechange est de mesurer la température et le débit directement sur les rejets dans la rivière. Cette solution permet de connaître le débit total rejeté, et donc également les eaux pluviales, et permet la mesure de la température réellement rejetée.

6.4. Modélisation

Il serait très utile de modéliser la rivière avec le programme HEC-RAS en utilisant une simulation en régime instationnaire. Pour ce faire, il est nécessaire d'avoir une géométrie du cours d'eau précise et sans point problématique qui risque de créer une erreur lors de la simulation. On peut alors réaliser une simulation prenant en compte la température de l'eau, qui dépend alors de la pression atmosphérique, de la température ambiante de l'air, de l'humidité ambiante, des radiations solaires à ondes courtes, de la couverture nuageuse et de la vitesse du vent. Cette simulation permettrait donc de comparer les valeurs réelles à celles modélisées. On pourrait par ailleurs simuler d'autres conditions que celle existantes pour tester plusieurs variantes d'améliorations envisagées, pour permettre de garantir de bonnes conditions thermiques pour la faune aquatique. Les mesures par fibre optique le long du cours d'eau seraient également une aide précieuse dans ce but (calibration du modèle). On peut observer un exemple de données thermiques relevées par fibre optique sur la Figure 53.

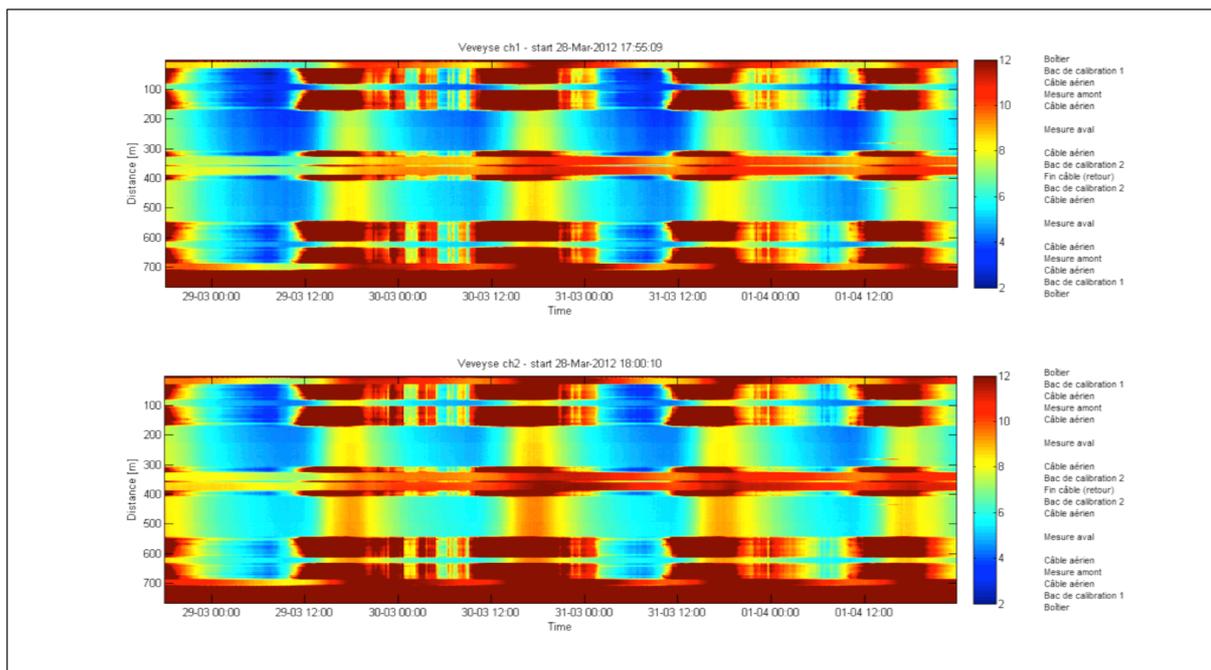


Figure 53: Exemple de mesures réalisées pas fibre optique dans une rivière impactée par des rejets entropique d'eau (Source: Jan P. Robra - EFLUM)

La Figure 53 montre des données de températures mesurées à l'aide d'une fibre optique partiellement immergée dans une rivière (en l'occurrence la Veveyse) pour observer les variations de températures induites par un rejet d'eau. La fibre optique a été posée à double, c'est à dire qu'elle fait deux fois le trajet du tronçon de mesure (allé et retour). On observe donc sur le graphique deux fois chaque température au même point. Pour permettre de prendre en compte les imprécisions de mesure, la fibre passe dans un bac de calibration dont la température est parfaitement connue. Dans le cas présent, on a un bac de calibration au départ de la fibre et un second à l'endroit où la fibre rebrousse chemin. Les zones horizontales en rouge sont des mesures de température faites dans l'air, et ne représentent donc pas la température de l'eau. Les fines lignes bleues en haut et en bas du graphique sont les température en amont du rejet, puis les deux grandes zones bleues au milieu sont les mesures de températures en aval du rejet. L'appareil de mesure possédant plusieurs canaux, dans cette situation, une mesure sur deux canaux différent à été faites, et génère donc deux sets de données, représenté sur deux graphiques différents.

6.5. Cas de démonstration

Pour des raisons didactiques, il serait intéressant de réaliser une modélisation à plus grande échelle du bassin versant, permettant ainsi d'englober la totalité des interactions avec la rivière et de comprendre plus en détail son fonctionnement. L'aspect du développement du castor est également à prendre en compte, permettant de comprendre son déplacement et éventuellement de pouvoir maintenir des conditions propices à son maintien et son développement. Des liaisons entre plusieurs régions pour les castors seraient extrêmement bénéfiques, permettant ainsi un certain mélange dans la population et donc une croissance des colonies, pour autant que les biotopes adéquats soient en suffisance.

La proximité de cette zone par rapport aux hautes-écoles la prédestine directement à en faire une région démonstratrice et d'expérimentation. Autant la section d'environnement de l'EPFL que le service technique désire mettre en place une certaines infrastructures facilitant les différents objectifs pédagogiques.

7. Conclusion

Une fonction de correction des débits permettant de recalculer le débit naturel de la rivière a pu être proposée. Il est donc possible moyennant la connaissance des quelques valeurs obligatoirement nécessaires pour le calcul, de connaître le débit de façon simple, permettant ainsi de retrouver une valeur de concentrations de polluants avant dilution d'après les mesures réellement faites.

L'analyse des températures met en évidence une influence directe des rejets sur la rivière. Ils permettent de maintenir des conditions optimales pour la survie à long terme de la truite lacustre, alors que dans les conditions naturelles, celles-ci ne seraient pas idéales. Sur le cours de la Sorge, le rejet de la station de chauffe de l'EPFL semble être limite du point de vue de la température de cette rivière à l'entre-saison, en raison de son rejet très froid, amenant la température de l'eau proche de la limite inférieure. L'ajout d'une troisième thermopompe pourrait de ce fait créer des problèmes. Les mesures faites sur la Chamberonne montrent en outre de très bons résultats, pouvant même tamponner une certaine variation sans pour autant risquer de dégrader le milieu. Les rejets ont également un effet positif par l'apport d'eau du lac plus propre, diluant ainsi les polluants, résultant en des concentrations plus faibles et donc moins nocives pour la vie aquatique.

D'un point de vue des débits, les effets des rejets sont visibles, mais ne sont à priori pas un risque. Les variations les plus importantes et posant donc potentiellement problème sont générées par des événements pluvieux.

Dans la situation future, l'augmentation de débit des rejets n'est que faible et n'engendre aucune dégradation des conditions. L'influence des nouveaux rejets sur le régime de température est visible, mais reste dans des limites acceptables et ne semble donc pas dégrader de façon importantes les conditions. La température sur la Sorge est fréquemment relativement basse, et cette rivière serait donc plus encline à recevoir des eaux de refroidissement. La Chamberonne ne révèle pas de risque particulier.

8. Bibliographie

Afonso López, J. M., D. Montero Vítóres, L. E. Robaina Robaina, H. Fernández-Palacios, M. Izquierdo López, and R. Ginés Ruiz. "Selection Programmes for Stress Tolerance in Fish" (1998).

Angst, Christof. "Vivre Avec Le Castor - Recensement National De 2008 - Perspectives Pour La Cohabitation Avec Le Castor En Suisse". Office fédéral de l'environnement OFEV et par le Centre Suisse de Cartographie de la Faune CSCF, 2010.

Barnabas, B. A. T., K. Jäger, and A. Feher. "The Effect of Drought and Heat Stress on Reproductive Processes in Cereals." *Plant, Cell & Environment* 31, no. 1 (2008): 11–38.

Beales, N. "Adaptation of Microorganisms to Cold Temperatures, Weak Acid Preservatives, Low pH, and Osmotic Stress: a Review." *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 3, no. 1 (2004): 1–20.

Beitinger, Thomas L., Wayne A. Bennett, and Robert W. McCauley. "Temperature Tolerances of North American Freshwater Fishes Exposed to Dynamic Changes in Temperature." *Environmental Biology of Fishes*, no. 58 (2000): 237–275.

LA BIODIVERSITÉ, L. E. S. L. E. T. "Impacts De La Régularisation Du Débit Des Grands Lacs Et Des Changements Climatiques Sur L'habitat Des Poissons Du Fleuve Saint-Laurent." *Vecteur Environnement* 37, no. 6 (2004).

Bochatay, D., and A. Da Cunha. "Cycle De L'eau Et Métabolisme Urbain : Le Cas Lausannois", 2004.

Brigitte Lods-Crozet, and Pascale Derleth-Sartori. "Qualité Biologique Des Cours D'eau Vaudois : Suivis 2007-2010". Service des eaux, sols et assainissement SESA, n.d.

Bush, R. M., E. B. Welch, and B. W. Mar. "Potential Effects of Thermal Discharges on Aquatic Systems." *Environmental Science & Technology* 8, no. 6 (1974): 561–568.

Calles, Olle, Lars Nyberg, and Larry Greenberg. "Temporal and Spatial Variation in Quality of Hyporheic Water in One Unregulated and Two Regulated Boreal Rivers." *River Research and Applications* 23, no. 8 (October 2007): 829–842.

Claudine Winter. "Données De Base D'une Protection Coordonnée Du Castor". Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), 2001. <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00909/index.html?lang=fr>.

Cook, A. M., J. Duston, and R. G. Bradford. "Thermal Tolerance of a Northern Population of Striped Bass *Morone saxatilis*." *Journal of Fish Biology* 69, no. 5 (November 2006): 1482–1490.

Davoli, F., and D. Genske. "Plan Général D'évacuation Des Eaux (PGEE) De l'EPFL-UNIL". Département du génie rural - École polytechnique fédérale de Lausanne, 2000.

Deaton, B. J., A. M. Lintner, and D. R. Harrington. "Evaluating an Environmental Right: Information Disclosure, Public Comment, and Government Decision Making in Ontario." *Canadian Journal of*

Agricultural Economics/Revue Canadienne D'agroéconomie 56, no. 3 (2008): 277–294.

Elliott, J. M., and J. A. Elliott. "Temperature Requirements of Atlantic Salmon *Salmo Salar*, Brown Trout *Salmo Trutta* and Arctic Charr *Salvelinus Alpinus*: Predicting the Effects of Climate Change." *Journal of Fish Biology* 77, no. 8 (November 2010): 1793–1817.

Eme, J., and W. A. Bennett. "Critical Thermal Tolerance Polygons of Tropical Marine Fishes from Sulawesi, Indonesia." *Journal of Thermal Biology* 34, no. 5 (2009): 220–225.

Fumasoli, Patrice. "Développement Du Quartier Mouline : Le Ci Va Se Doter D'une Nouvelle 'Salle Machines'." *Journal En Ligne Du Centre Informatique*, juillet 2010. <http://www3.unil.ch/spip/article207.html>.

Fumasoli, Patrice. "L'UNIL Bâtit Son Cloud à Géopolis." *Le Magazine En Ligne Du Centre Informatique De l'UNIL*, avril 2012. <http://www3.unil.ch/wpmu/cinn/2012/04/lunil-batit-son-cloud-a-geopolis/>.

Gammeter, Sonja. "Einflüsse Der Siedlungsentwässerung Auf Die Invertebraten-Zönose Kleiner Fliessgewässer". Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, 1996.

Garcia, P., and Y. Crettenand. "Le Castor En Valais: État Des Populations, Problématique Des Dégâts Et Perspectives¹." *Bull. Murithienne* 125 (2008): 51–56.

Gibbons, J. W., and R. R. Sharitz. "Thermal Alteration of Aquatic Ecosystems: Effluents from Nuclear Production Reactors on the AEC's 750-square-kilometer Savannah River Plant Have Created a Unique Opportunity to Study the Effects of Heat on Aquatic Communities." *American Scientist* 62, no. 6 (1974): 660–670.

Grace, J. "Climatic Tolerance and the Distribution of Plants." *New Phytologist* (1987): 113–130.

Hari, R. E., D. M. Livingstone, R. Siber, P. Burkhardt-Holm, and H. Guettinger. "Consequences of Climatic Change for Water Temperature and Brown Trout Populations in Alpine Rivers and Streams." *Global Change Biology* 12, no. 1 (2006): 10–26.

Hari, R. E. *Veränderungen in Temperatur und Abfluss in den GZA-Fliessgewässern in den letzten 30 Jahren*. Amt für Wasser und Abfall AWA des Kantons Bern Gewässer- und Bodenschutzlabor, 2011.

Howarth, C. J., and H. J. Ougham. "Tansley Review No. 51. Gene Expression Under Temperature Stress." *New Phytologist* (1993): 1–26.

Jeanbourquin, D., D. Sage, L. Nguyen, B. Schaeli, S. Kayal, D. A. Barry, and L. Rossi. "Flow Measurements in Sewers Based on Image Analysis: Automatic Flow Velocity Algorithm." *Water Science & Technology* 64, no. 5 (September 2011): 1108.

Jensen, Mark R., and Cynthia L. Lowney. "Temperature Modeling with HEC - RAS." 404–404. ASCE, 2004. <http://cedb.asce.org/cgi/WWWdisplay.cgi?142514>.

Jiwani, R., P. E. S. Lucas, and D. Eng. "Methods of Flow Measurement" (n.d.).

Jonsson, B., and N. Jonsson. "A Review of the Likely Effects of Climate Change on Anadromous Atlantic Salmon (*Salmo Salar*) and Brown Trout (*Salmo Trutta*), with Particular Reference to Water

Temperature and Flow." *Journal of Fish Biology* 75, no. 10 (December 2009): 2381–2447.

Kieser, Mark S, Andrew Feng Fang, and Jeffrey A Spoelstra. "Role of Urban Stormwater Best Management Practices in Temperature TMDLs." *Proceedings of the Water Environment Federation National TMDL Science and Policy 2003* (2003): 1716–1739(24).

Kinouchi, H. Yagi, and M. Miyamoto. "Increase in Stream Temperature Related to Anthropogenic Heat Input from Urban Wastewater." *Journal of Hydrology* 335, no. 1–2 (2007): 78–88.

Knispel, Sandra, Audrey Klein, Marc Bernard, Charles Bornard, Françoise Giffard, Jean Perfetta, and Claire Ratouis. "Qualité Biologique Des Cours D'eau Du Bassin Versant Lémanique." *Docstoc.com*, n.d. <http://www.docstoc.com/docs/47346490/QUALITÉ-BIOLOGIQUE-DES-COURS-DEAU-DU-BASSIN-VERSANT-LÉMANIQUE>.

Knispel, Sandra, and P. Stucki. "Macrozoobenthos – Niveau R", n.d.

Laboratoire de construction hydraulique - LCH-EPFL, and J.-L. Boillat. *Etude Hydrologique Et Hydraulique Des Aménagements De Protection Contre Les Crues - Calcul Hydraulique De Lignes D'eau Et Détermination Des Débits De Débordement Dans L'état Actuel - Rapport Intermédiaire N°6*. Enreprise de correction fluviale Mèbre-Sorge, 1999.

Lambiel, Frédéric, and T. Vennemann. "Qualitative and Quantitative Water Assessment of the Chamberonne River (Switzerland) on the Basis of Stable Isotope Compositions". Faculté des géosciences et de l'environnement – UNIL, 2010.

LeBlanc, R. T., R. D. Brown, and J. E. FitzGibbon. "Modeling the Effects of Land Use Change on the Water Temperature in Unregulated Urban Streams." *Journal of Environmental Management* 49, no. 4 (1997): 445–469.

LeBlanc, R. T., and R. D. Brown. "The Use of Riparian Vegetation in Stream-Temperature Modification." *Water and Environment Journal* 14, no. 4 (2000): 297–303.

Lysne, S., and P. Koetsier. "Growth Rate and Thermal Tolerance of Two Endangered Snake River Snails." *Western North American Naturalist* 66, no. 2 (2006): 230–238.

Mandaville, S. M., and Soil & Water Conservation Society of Metro Halifax. *Benthic Macroinvertebrates in Freshwaters: Taxa Tolerance Values, Metrics, and Protocols*. Soil & Water Conservation Society of Metro Halifax, 2002.

Masson, G., S. Dembski, F. Staffolani, P. Wagner, E. Valente, C. Maazouzi, D. Banas, J.-F. Poinssaint, and J.-C. Pihan. "Les Populations De Poissons Dans Le Réservoir Du Mirgenbach (1986-2006, CNPE Cattenom, France) : Un Modèle Pour L'étude Des Effets D'un Changement Thermique Global ?" *Hydroécologie Appliquée* 16 (March 4, 2009): 135–167.

Monirian, J., Z. Sutphin, and C. Myrick. "Effects of Holding Temperature and Handling Stress on the Upper Thermal Tolerance of Threadfin Shad *Dorosoma Petenense*." *Journal of Fish Biology* 76, no. 6 (April 2010): 1329–1342.

Moosmann, L., M. Schmid, A. Wüest, and S. Physicist. *Einfluss Der Beschattung Auf Das Temperaturregime Der Orbe*. EAWAG, Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung,

Abwasserreinigung und Gewässerschutz, 2005.

Musil, Charles F., Ute Schmiedel, and Guy F. Midgley. "Lethal Effects of Experimental Warming Approximating a Future Climate Scenario on Southern African Quartz-field Succulents: a Pilot Study." *New Phytologist* 165, no. 2 (November 19, 2004): 539–547.

Neuheimer, A. B., R. E. Thresher, J. M. Lyle, and J. M. Semmens. "Tolerance Limit for Fish Growth Exceeded by Warming Waters." *Nature Climate Change* 1, no. 2 (April 17, 2011): 110–113.

"OFEV - Publications - Méthodes D'analyse Et D'appréciation Des Cours D'eau", n.d. <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00038/index.html?lang=fr>.

Ospina, Andrés F., and Camilo Mora. "Effect of Body Size on Reef Fish Tolerance to Extreme Low and High Temperatures." *Environmental Biology of Fishes* 70, no. 4 (August 2004): 339–343.

Ribi, Jean-Marc. "Etude expérimentale de refuges à poissons aménagés dans les berges de rivières soumises aux éclusées hydroélectriques". Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 2011.

Rossi, L., and R. E. Hari. "Screening Procedure to Assess the Impact of Urban Stormwater Temperature to Populations of Brown Trout in Receiving Water." *Integrated Environmental Assessment and Management* 3, no. 3 (2007): 383–392.

Rossi, L., and R. Hari. "Rejets Urbains De Temps De Pluie Et Température Des Cours D'eau." *GWA Gas, Wasser, Abwasser* 11 (2004): 795–805.

Rossi, L., V. Krejci, and S. Kreikenbaum. "Exigences Légales En Matière D'assainissement Par Temps De Pluie" (n.d.).

Saetersdal, M., and H. J. B. Birks. "A Comparative Ecological Study of Norwegian Mountain Plants in Relation to Possible Future Climatic Change." *Journal of Biogeography* 24, no. 2 (1997): 127–152.

Schiller, N. B., P. M. Shah, M. Crawford, A. DeMaria, R. Devereux, H. Feigenbaum, H. Gutgesell, et al. "Recommendations for Quantitation of the Left Ventricle by Two-dimensional Echocardiography. American Society of Echocardiography Committee on Standards, Subcommittee on Quantitation of Two-Dimensional Echocardiograms." *Journal of the American Society of Echocardiography: Official Publication of the American Society of Echocardiography* 2, no. 5 (1989): 358.

Schmid, J. "Centrale De Chauffe Par Thermopompes". Domaine Immobilier et Infrastructures – EPFL, 2005.

Schmitt, P., P. François, S. Fischer, A. Pallarès, D. Ensminger, F. Abda, and G. Dené. "Mesures Par Ultrasons Pulsés De Profil De Vitesse Et De Hauteur D'eau Dans Des Écoulements à Surface Libre" (n.d.).

Selker, John S. "Taking the Temperature of Ecological Systems With Fiber Optics." *EOS* 89, no. 20 (May 13, 2008): 187.

Selker, John S., Luc Thévenaz, Hendrik Huwald, Alfred Mallet, Wim Luxemburg, Nick van de Giesen, Martin Stejskal, Josef Zeman, Martijn Westhoff, and Marc B. Parlange. "Distributed Fiber-optic Temperature Sensing for Hydrologic Systems." *Water Resources Research* 42, no. 12 (December 6,

2006). <http://www.agu.org/pubs/crossref/2006/2006WR005326.shtml>.

Takeda, Y., and M. Tanaka. "Freshwater Adaptation During Larval, Juvenile and Immature Periods of Starry Flounder *Platichthys Stellatus*, Stone Flounder *Kareius Bicoloratus* and Their Reciprocal Hybrids." *Journal of Fish Biology* 70, no. 5 (April 18, 2007): 1470–1483.

Tartaglia, J., M. E. Perkus, J. Taylor, E. K. Norton, J. C. Audonnet, W. I. Cox, S. W. Davis, et al. "NYVAC: a Highly Attenuated Strain of Vaccinia Virus." *Virology* 188, no. 1 (1992): 217–232.

Tissot, L., and Y. Souchon. "Synthèse Des Tolérances Thermiques Des Principales Espèces De Poissons Des Rivières Et Fleuves De Plaine De L'ouest Européen." *Hydroécologie Appliquée* 17 (April 14, 2011): 17–76.

Travade, F., and L. Carry. "Effet De La Canicule De 2003 Sur Les Poissons Migrateurs En Garonne Et Dordogne - Réflexions Sur L'effet Des Rejets Thermiques De La Centrale Nucléaire De Golfech Sur La Garonne." *Hydroécologie Appliquée* 16 (March 4, 2009): 169–189.

Vuille, François. "Bilan Des Énergies Du Site De l'EPFL à Ecublens – Année 2003". Domaine Immobilier et Infrastructures – EPFL, 2003.

Vuille, François. "Bilan Des Énergies Du Site De l'EPFL à Ecublens – Année 2005". Domaine Immobilier et Infrastructures – EPFL, 2005.

Vuille, François. "Bilan Des Énergies Du Site De l'EPFL à Ecublens – Année 2006". Domaine Immobilier et Infrastructures – EPFL, 2006.

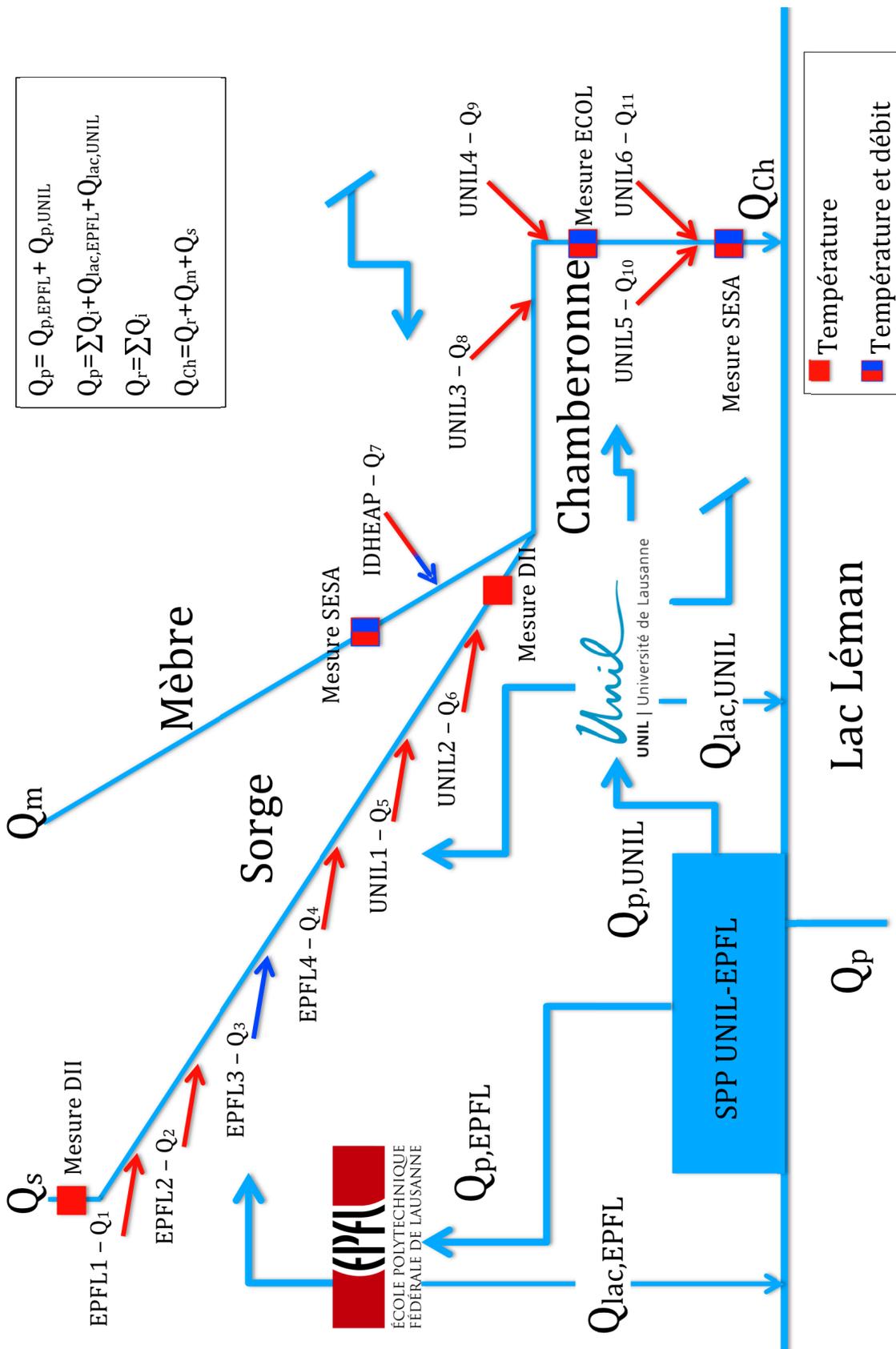
Vuille, François. "Bilan Des Énergies Du Site De l'EPFL à Ecublens – Année 2007". Domaine Immobilier et Infrastructures – EPFL, 2007.

Vuille, François. "Projet « DIAGELEC » - Méthode D'analyse Et Bilan Détaillé De La Consommation D'électricité Des Bâtiments De l'EPFL". Domaine Immobilier et Infrastructures – EPFL, 1999.

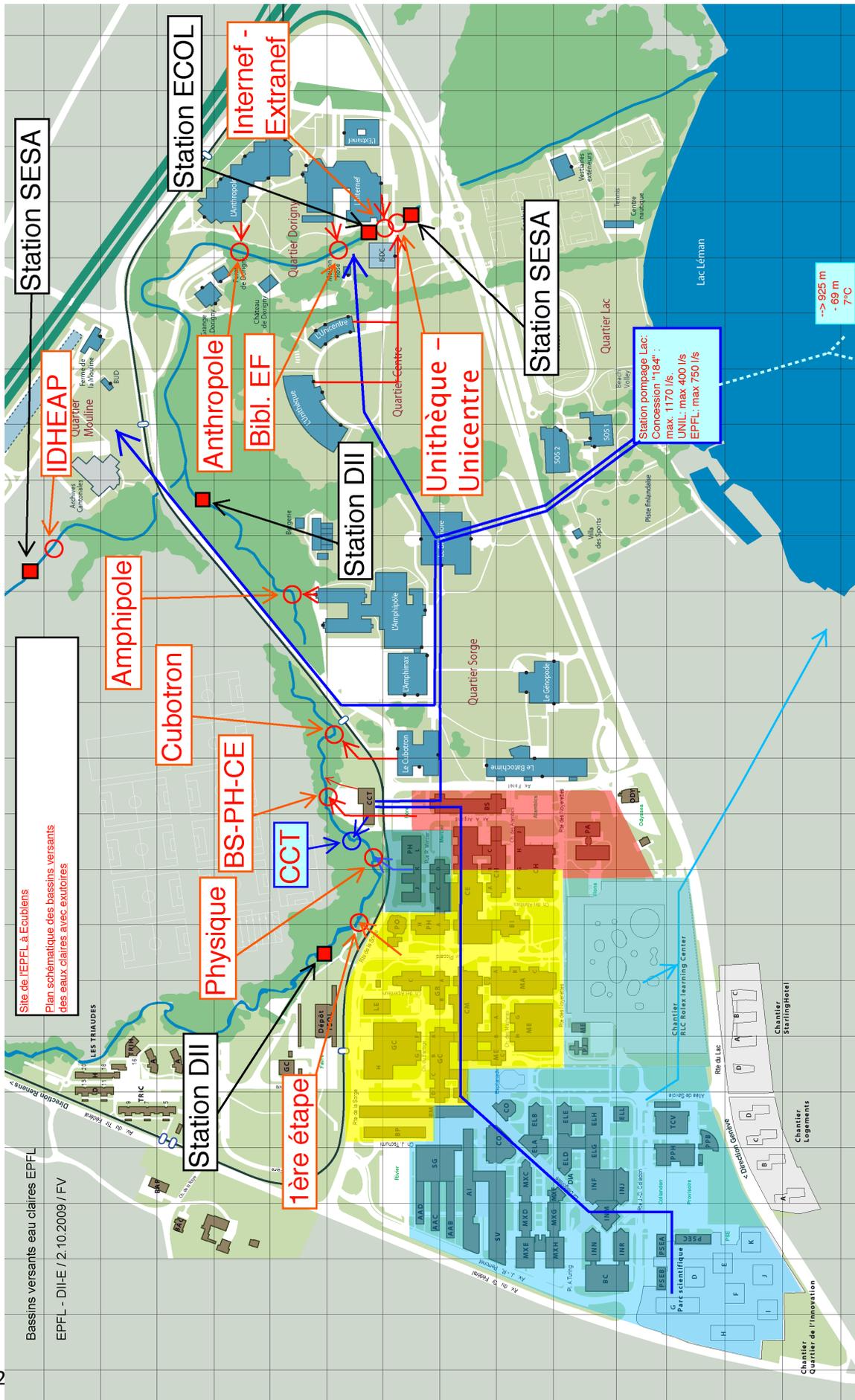
Weinamm, C., and E. Zurita. "EPFL – Plan Directeur Des Énergies Et Des Fluides". EPFL – Weinmann-Energie SA – Sherler Ingénieur-conseils, 2007.

9. Annexes

9.1. Schéma conceptuel de la situation



9.2. Plan



9.3. Code Matlab

```

%Code général pour toute donnée à intervalle fixe et sur x années (fichier
%original) et detection automatique du format entre csv et xls(x)

%general_th_graph.m%

%dernières modifications:
%07.06.2012 -> ajout de l'année 2012 dans le menu, pas de détection du
%nombre d'année, le programme propose toujours de 2009 à 2012 dès que la
%série est plus longue que une année. Topt_band -> 2012
%24.05.2012

clear all
close all
clc

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%VERSION AVEC DEFINITION DU MOIS EN LE SELECTIONNANT DANS LE MENU (DEF AUTO
%BORNES) AU LANCEMENT DU PROGRAMME DANS LE TERMINAL (NORD)
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

fprintf('Bonjour braves gens!\n\n')
donnee_init=input('Insérer le nom du fichier de données (xls(x) ou csv):\n\nEntrée: ','s');
fprintf(['\nImportation de ' donnee_init])
fprintf('\n\nPatience')
pause(0.2)
fprintf('.')
pause(0.2)
fprintf('.')
pause(0.2)
fprintf('\n\n')

if strcmp (donnee_init(end-2:1:end),'csv')
    [donnee_excel]=load(donnee_init); %pour fichiers .csv
elseif strcmp(donnee_init(end-2:1:end),'xls') || strcmp(donnee_init(end-2:1:end),'lsx')
    [donnee_excel]=xlsread(donnee_init); % pour fichiers .xls(x)
else
    fprintf('\nFormat non reconnu\nFin du programme...\n');
    return
end
date_excel=donnee_excel(:,1); %si date numérique

date_excel=x2mdate(date_excel);
nb_donnee_init=length(date_excel);
nb_annee=roundn((date_excel(length(date_excel))-date_excel(1))/365,0);
pas_temps=roundn((date_excel(2)-date_excel(1))*(24*60),0);
nb_val_jour=24*60/pas_temps;%nombre de valeur/jour -> 288valeurs/jour pour 5min

fprintf(['Début de série le: ' datestr(date_excel(1),'dd.mm.yyyy HH:MM:SS') '\nFin de série le: '
datestr(date_excel(nb_donnee_init),'dd.mm.yyyy HH:MM:SS') '\nPas de temps: ' num2str(pas_temps) '
min.\nNombre d'année de mesures: ' num2str(nb_annee) ' année(s)\n\n'])
%entrer un tableau excel contenant un nombre entier de jour!
fprintf(['Faire votre choix dans le menu.\n'])
nom_serie=menu('Nom de la série:', 'Chamberonne', 'Mèbre aval', 'Sorge aval', 'Sorge amont', 'Spécifier');
if nom_serie==1
    nom_serie='la Chamberonne';
elseif nom_serie==2
    nom_serie='la Mèbre aval';
elseif nom_serie==3
    nom_serie='la Sorge aval';
elseif nom_serie==4
    nom_serie='la Sorge amont';
elseif nom_serie==5
    nom_serie=input('Nom de la série: ','s');
end

spe_donnee=size(donnee_excel);
spe_donnee=spe_donnee(1,2);
if spe_donnee==2
    col_donnee=2;
else
    col_donnee=input('Colonne de données: ');
end

donnee_excel=donnee_excel(:,col_donnee);

%correction de la série de données pour les valeurs manquantes, trop
%grandes ou inférieures à zéro
val_max_adm=input('Valeur maximale admissible: ');
for i=1:length(donnee_excel)
    if donnee_excel(i)==-999 || donnee_excel(i)<0 || donnee_excel(i)>val_max_adm

```

```

        donnee_excel(i)=NaN;
    end
end

ann_init_serie=str2num(datestr(date_excel(1),'yyyy'));
ann_fin_serie=str2num(datestr(date_excel(nb_donnee_init),'yyyy'));
ann=ann_init_serie:1:ann_fin_serie;

fprintf('Faire votre choix dans le menu.\n')
titre_0=menu('Type de mesure:', 'Débit', 'Température', 'Hauteur d'eau');

if titre_0==1
    titre_0=('Débit');
    unite=menu('Unité', ' l / s ', ' m 3 / s ', 'm 3 / s -> l / s', 'l / s -> m 3 / s');
    if unite==1
        labely=([titre_0 ' [l/s]']);
    elseif unite==2
        labely=([titre_0 ' [m3/s]']);
    elseif unite==3
        labely=([titre_0 ' [l/s]']);
        for i=1:length(donnee_excel)
            donnee_excel(i)=donnee_excel(i)*1000;
        end
    elseif unite==4
        labely=([titre_0 ' [m3/s]']);
        for i=1:length(donnee_excel)
            donnee_excel(i)=donnee_excel(i)/1000;
        end
    end
elseif titre_0==2
    titre_0=('Température');
    labely=([titre_0 ' [°C]']);
    for v=1:nb_annee
        max_aou(v)=max((donnee_excel(((212+((v-1)*365)*nb_val_jour)+1):((243+((v-1)*365)*nb_val_jour))));
        min_fev(v)=min((donnee_excel(((31+((v-1)*365)*nb_val_jour)+1):((59+((v-1)*365)*nb_val_jour))));
        for o=1:12
            temp_th(o+(v-1)*12,1)=datenum(ann(v),o,1);
            temp_th(o+(v-1)*12,2)=(min_fev(v)+max_aou(v))/2+((max_aou(v)-min_fev(v))/2)*cos(2*pi*(o+4)/12);
        end
    end
    [topt_band]=load('topt-band_08-12.csv');
    topt_band(:,1)=x2mdate(topt_band(:,1));
elseif titre_0==3
    titre_0=('Hauteur d'eau');
    labely=([titre_0 ' [m]']);
end

titre_1=([titre_0 ' de ']);
titre_2=' en fonction de l''heure';
titre_3=' en moyenne journalière';

continuer=1;
boucle=1;

% for z=1:20
while continuer==1
    fprintf('Faire votre choix dans le menu.\n')

    mois={'janvier', 'février', 'mars', 'avril', 'mai', 'juin', 'juillet', 'août', 'septembre', 'octobre', 'novembre', 'décembre', 'spéc. date'};
    p_etud_init=menu('Mois du début d'étude:', mois);
    p_etud_fin=menu('Mois de fin d'étude:', mois);

% ann=num2str(ann); SUITE UN PEU FRAUDULEURSE, CAR PAS DE DEFINITION AUTO
% DE L'ANNEE, DONC FONCTIONNE QUE POUR UNE SERIE 2009-2012!
    if nb_annee > 1
        ann_init=menu('Année de début:', '2009', '2010', '2011', '2012');
        ann_fin=menu('Année de fin:', '2009', '2010', '2011', '2012');
    else
        ann_init=1;
        ann_fin=1;
    end
end

%janvier 1-31, février 32-59, mars 60-90, avril 91-120, mai 121-151, juin
%152-181, juillet 182-212, août 213-243, septembre 244-273, octobre 274-304,
%novembre 305-334, décembre 335-365 ==>si une année de données!

    if p_etud_init==1
        jour_init=1+((ann_init-1)*365);
        p_etud_init='janvier';
    elseif p_etud_init==2
        jour_init=32+((ann_init-1)*365);
        p_etud_init='février';
    elseif p_etud_init==3
        jour_init=60+((ann_init-1)*365);
        p_etud_init='mars';
    end
end

```

```

elseif p_etud_init==4
    jour_init=91+((ann_init-1)*365);
    p_etud_init='avril';
elseif p_etud_init==5
    jour_init=121+((ann_init-1)*365);
    p_etud_init='mai';
elseif p_etud_init==6
    jour_init=152+((ann_init-1)*365);
    p_etud_init='juin';
elseif p_etud_init==7
    jour_init=182+((ann_init-1)*365);
    p_etud_init='juillet';
elseif p_etud_init==8
    jour_init=213+((ann_init-1)*365);
    p_etud_init='août';
elseif p_etud_init==9
    jour_init=244+((ann_init-1)*365);
    p_etud_init='septembre';
elseif p_etud_init==10
    jour_init=274+((ann_init-1)*365);
    p_etud_init='octobre';
elseif p_etud_init==11
    jour_init=305+((ann_init-1)*365);
    p_etud_init='novembre';
elseif p_etud_init==12
    jour_init=335+((ann_init-1)*365);
    p_etud_init='décembre';
else
    jour_init=input('Jour du début d''étude: ');
    p_etud_init=input('Période début (en lettres): ','s');
end

if p_etud_fin==1
    jour_fin=31+((ann_fin-1)*365);
    p_etud_fin='janvier';
elseif p_etud_fin==2
    jour_fin=59+((ann_fin-1)*365);
    p_etud_fin='février';
elseif p_etud_fin==3
    jour_fin=90+((ann_fin-1)*365);
    p_etud_fin='mars';
elseif p_etud_fin==4
    jour_fin=120+((ann_fin-1)*365);
    p_etud_fin='avril';
elseif p_etud_fin==5
    jour_fin=151+((ann_fin-1)*365);
    p_etud_fin='mai';
elseif p_etud_fin==6
    jour_fin=181+((ann_fin-1)*365);
    p_etud_fin='juin';
elseif p_etud_fin==7
    jour_fin=212+((ann_fin-1)*365);
    p_etud_fin='juillet';
elseif p_etud_fin==8
    jour_fin=243+((ann_fin-1)*365);
    p_etud_fin='août';
elseif p_etud_fin==9
    jour_fin=273+((ann_fin-1)*365);
    p_etud_fin='septembre';
elseif p_etud_fin==10
    jour_fin=304+((ann_fin-1)*365);
    p_etud_fin='octobre';
elseif p_etud_fin==11
    jour_fin=334+((ann_fin-1)*365);
    p_etud_fin='novembre';
elseif p_etud_fin==12
    jour_fin=365+((ann_fin-1)*365);
    p_etud_fin='décembre';
else
    jour_fin=input('Jour de fin d''étude: ');
    p_etud_fin=input('Période fin (en lettres): ','s');
end

val_init=((jour_init-1)*nb_val_jour)+1;
val_fin=jour_fin*nb_val_jour;

date=date_excel(val_init:val_fin);
donnee=donnee_excel(val_init:val_fin);

nb_val=length(donnee);%nombre de valeurs
nb_jour=nb_val/nb_val_jour;%nombre de jour

%Valeur moyenne par jour
donnee_jour=reshape(donnee,nb_val_jour,nb_jour);
std_donnee_jour=nanstd(donnee_jour);%std de chaque colonne -> de chaque jour

donnee_jour_mean=zeros(nb_jour,2);

```

```

for i=1:length(donnee_jour_mean)
    donnee_jour_mean(i,1)=(date(1)+(i-1)+0.5);
end
donnee_jour_mean(:,2)=(nanmean(donnee_jour)');%1 donnée moyenne par jour

donnee_heure_mean=zeros(nb_val_jour,4);
donnee_heure_mean(:,1)=(0:1/nb_val_jour:0.9999);
donnee_heure_mean(:,2)=(nanmean(donnee_jour)');%une valeur moyenne pour
%chaque heure sur toutes les valeurs
donnee_heure_mean(:,3)=(quantile((donnee_jour'),0.95)');%quantile 0.95
donnee_heure_mean(:,4)=(quantile((donnee_jour'),0.05)');%quantile 0.05
std_donnee_heure=nanstd(donnee_jour)';%std des valeurs à la même heure

fprintf('Faire votre choix dans le menu.\n')
taille_fig=menu('Taille des figures','Grandes','Petites');

fprintf('\nLes graphiques vont être tracés!\n')
pause(0.25)

figg1=figure(1+((boucle-1)*4));
if taille_fig==1
    set(figg1,'Position',[2 530 700 400])
elseif taille_fig==2
    set(figg1,'Position',[2 530 400 400])
end
hold on
for i=1:nb_jour%plot chaque jour en noir
    plot(donnee_heure_mean(:,1),donnee_jour(:,i),'g')
end
plot(donnee_heure_mean(:,1),donnee_heure_mean(:,3),'r','Linewidth',2)%plot 0.95-quantile
plot(donnee_heure_mean(:,1),donnee_heure_mean(:,2),'k','Linewidth',2)%plot la moyenne
plot(donnee_heure_mean(:,1),donnee_heure_mean(:,4),'b','Linewidth',2)%plot 0.05-quantile

idx=[nb_jour+1 nb_jour+2 nb_jour+3];
p=findobj('type','line');
p=p(end:-1:1);
nom_leg={'0.95-quantile' 'Moyenne' '0.05-quantile'};
legend(p(idx),nom_leg,'location','best')

title([titre_1 nom_serie titre_2];['Période de ' p_etud_init ' ' num2str(ann(ann_init)) ' à ' p_etud_fin '
' num2str(ann(ann_fin))])
xlabel('Heure')
ylabel(labely)
grid on
datetick('x','HH')%converti 0 à 1 en heure 0 à 24h
xlim([0 1])% limite à un jour la plage de tracage
set(gca,'XMinorTick','on')

figg2=figure(2+((boucle-1)*4));
if taille_fig==1
    set(figg2,'Position',[600 530 700 400])
elseif taille_fig==2
    set(figg2,'Position',[600 530 400 400])
end
errorbar(donnee_heure_mean(:,1),donnee_heure_mean(:,2),std_donnee_heure)
hold on
plot(donnee_heure_mean(:,1),donnee_heure_mean(:,2),'r','Linewidth',2)
datetick('x','HH')
title([titre_1 nom_serie titre_2];['Période de ' p_etud_init ' ' num2str(ann(ann_init)) ' à ' p_etud_fin '
' num2str(ann(ann_fin))])
xlabel('Heure')
ylabel(labely)
grid on
xlim([0 1])
% set(gca,'XTick',[0 4 8 12 16 20 24])
set(gca,'XMinorTick','on')

figg3=figure(3+((boucle-1)*4));
if taille_fig==1
    set(figg3,'Position',[2 40 700 400])
elseif taille_fig==2
    set(figg3,'Position',[2 40 400 400])
end

hold on
plot(donnee_jour_mean(:,1),donnee_jour_mean(:,2),'k')
title([titre_1 nom_serie titre_3];['Période de ' p_etud_init ' ' num2str(ann(ann_init)) ' à ' p_etud_fin '
' num2str(ann(ann_fin))])
ylabel(labely)
grid on
xlim([date(1) date(nb_val)]);
if titre_00==2
    axis manual
    plot(topt_band(:,1),topt_band(:,3),'r--','Linewidth',2);
    plot(topt_band(:,1),topt_band(:,2),'b--','Linewidth',2);
end

```

```

ylim('auto')
legfig3=legend('Valeurs journalières','Limite maximale','Limite minimale');
set(legfig3,'location','best');
datetick('x','mmm-yyyy','keeplimits')
set(gca,'XMinorTick','on')

figg4=figure(4+(boucle-1)*4);
if taille_fig==1
    set(figg4,'Position',[600 40 700 400])
elseif taille_fig==2
    set(figg4,'Position',[600 40 400 400])
end

hold on
errorbar(donnee_jour_mean(:,1),donnee_jour_mean(:,2),std_donnee_jour,'c')
plot(donnee_jour_mean(:,1),donnee_jour_mean(:,2),'k','Linewidth',2)
title([titre_1 nom_serie titre_3];['Période de ' p_etud_init ' ' num2str(ann(ann_init)) ' à ' p_etud_fin '
' num2str(ann(ann_fin))])
ylabel(labely)
grid on
xlim([date(1) date(nb_val)]);
if titre_00==2
    axis manual
    plot(topt_band(:,1),topt_band(:,3),'r--','Linewidth',2);
    plot(topt_band(:,1),topt_band(:,2),'b--','Linewidth',2);
end
ylim('auto')
legfig4=legend('Déviation standard','Valeurs journalières','Limite maximale','Limite minimale');
set(legfig4,'location','best');
datetick('x','mmm-yyyy','keeplimits')
set(gca,'XMinorTick','on')

fermfig=menu('Voulez-vous fermer les figures?','Oui','Non');
if fermfig==1
    close all
else
end

continuer=menu('Voulez-vous réaliser d'autres graphiques à partir de la même série?','Oui','Non');
boucle=boucle+1;
end

fprintf('\noooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooo\nI
I\nI    Merci d'avoir utilisé nos services!    I\nI
I\nI    Nous vous souhaitons une agréable journée!    I\nI
I\noooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooo\n')

```

9.4. Personnes contactées

- John Beck, Ingénieurs-conseils SIA USIC, ATB SA
- Jacques Bettens, Hälgl SA, Hälgl Building Services Group
- Pierre-Alain Chevalley, Service des eaux, sols et assainissement, SESA, canton de Vaud
- Blaise Cordey, Service des eaux, sols et assainissement, SESA, canton de Vaud
- Claude-Alain Davoli, Service des eaux, sols et assainissement, SESA, canton de Vaud
- Giovanni De Cesare, Laboratoire de construction hydraulique, LCH-EPFL
- Pascale Derleth Sartori, Service des eaux, sols et assainissement, SESA, canton de Vaud
- Claude Fracheboud, service technique UNIL
- Tamara Ghilardi, Laboratoire de construction hydraulique, LCH-EPFL
- Cédric Haldimann, Weinmann Energies
- Renata Hari, Institut de Recherche de l'Eau du Domaine des EPF, Eawag
- Frédéric Hofmann, Service des eaux, sols et assainissement, SESA, canton de Vaud
- Dominique Huguet, Responsable du département CVCS, Alpiq InTec Romandie SA
- Paul Kulling, Biologiste, Service des eaux, sols et assainissement, SESA, canton de Vaud
- Estelle Lecomte, Service des eaux, sols et assainissement, SESA, canton de Vaud
- Brigitte Lods-Crozet, Service des eaux, sols et assainissement, SESA, canton de Vaud
- Alain Maibach, Bureau d'études en environnement AMAibach Sàrl
- Pierre Queloz, Laboratoire d'écohydrologie, ECHO-EPFL
- Thomas Ravessoud, Association pour l'intérêt et le suivi du castor en Suisse
- Jan-Philippe Robra, laboratoire de mécanique des fluides de l'environnement, EFLUM-EPFL
- Philippe Tavel, garde pêche, Service des eaux, sols et assainissement, SESA, canton de Vaud
- Michele Valentino, Concierge bâtiment IDHEAP
- Philippe Vollichard, Responsable du campus durable, VPPL-EPFL
- François Vuille, service technique DII-EPFL

9.5. Puissance Géopolis

Calcul consommation GEOPOLIS - UNIL

	Hiver	Entre-saison	Eté	Unité	
Surface	28600	28600	28600	m2	
Volume	123000	123000	123000	m3	
Minergie	40	40	40	kWh/m ² ·a	selon Minergie
EN chauffage	1144000	1144000	1144000	kWh/a	
Pchauf	261.19	130.59	0.00	kW	Sur 6 mois
Cp	4185	4185	4185	J/K·kg	
delta t	6	6	6		
P à évacuer	450000	450000	500000	W	
Q pour refr	17.92	17.92	19.91	l/s	
T in	6	6	6	°C	
T out refr.	12	12	12	°C	
P out	188812.79	319406.39	500000.00	W	
delta t	2.52	4.26	6.00	°C	
t out	8.52	10.26	12.00	°C	

9.6. Indices de qualité (indices biotiques)

9.6.1. Chamberonne

Cours d'eau:	CHAMBERONNE (La)
Commune:	Ecublens (Vaud)
Station:	Vidy
N° Station:	A-P---050
Année:	2011

	1	2	3	Cumulé
N°	3855			
Date	22.2.2011			
NT	26			26
NTS	1			1
Rivaud	8			8
NF	24			24
NFS	1			1
GI	4			4
IBGN	10			10
Tot. Ind	3647			3647

	1	2	3		1	2	3		1	2	3
Erpobdella				Empididae	3			Aeschnidae			
Glossiphoniidae				Limoniidae	3			Calopterygidae			
Glossiphonia				Psychodidae	3			Coenagrionidae			
Helobdella	1			Ptychopteridae				Cordulegasteridae			
Hemiclepsis				Simuliidae	4			Corduliidae			
Hirudidae				Stratiomyidae	1			Gomphidae			
Piscicolidae				Syrphidae				Lestidae			
Oligochaeta	12			Tabanidae				Libellulidae			
Cnidaria				Tipulidae				Platycnemididae			
Gammaridae	325			Baetidae	154			Capnia			
Branchiopoda				Caenis	1			Capnioneura			
Decapoda				Ephemerella				Chloroperlidae			
Astacidae				Torleya				Leuctra			
Cambaridae				Ephemera				Amphinemura			
Asellidae	1			Ecdyonurus				Nemoura			
Hydracarina	7			Electrogena				Protonemura			
Dryopidae				Epeorus				Dinocras			
Dytiscidae				Heptagenia				Perla			
Elmis	4			Rhithrogena				Besdolos			
Esolus				Habroleptoides				Dictyogenus			
Limnius	1			Habrophlebia				Isogenus			
Oulimnius				Leptophlebia				Isoperla			
Riolus	2			Paraleptophlebia				Perlodes			
Gyrinidae				Siphonurus				Brachyptera			
Haliplidae				Heteroptera				Rhabdiopteryx			
Helophoridae				Aphelocheiridae				Taeniopteryx			
Hydraena				Corixidae				Beraeidae			
Hydrophilidae				Gerridae				Brachycentridae			
Hygrobiidae				Hebridae				Ecnomidae			
Psephenidae				Hydrometridae				Glossosomatidae			
Scirtidae				Mesoveliidae				Goeridae			
Anthomyidae				Naucoridae				Hydropsychidae	12		
Athericidae				Nepidae				Hydroptilidae			
Blephariceridae				Notonectidae				Lepidostomatidae			
Ceratopogonidae	8			Pleidae				Leptoceridae			
Chironomidae	3072			Veliidae				Drusinae			
Dixidae				Lepidoptera				Limnephilidae	7		
Dolichopodidae				Sialidae				Odontoceridae			
				Neuroptera				Philopotamidae			
								Phryganeidae			

Polycentropodidae			
Psychomyiidae			
Rhyacophilidae	18		
Sericostomatidae			
Corbiculidae			
Dreissenidae			
Sphaeriidae	2		
Unionidae			
Acroloxidae			
Ancylidae	1		
Bithyniidae			
Ferrissiidae			
Hydrobiidae	1		
Limnaeidae	1		
Neritidae			
Physidae			
Planorbidae			
Viviparidae			
Nematoda	2		
Dendrocoelidae			
Dugesidae			
Planariidae	1		

9.6.2. Mèbre

Cours d'eau:	MEBRE (La)
Commune:	Le Mont-sur-Lausanne
Station:	route Cugy-Le Mont
N° Station:	A-PB-010
Année:	2011

	1	2	3	Cumulé
N°	3889			
Date	22.3.2011			
NT	36			36
NTS	12			12
Rivaud	18			18
NF	29			29
NFS	8			8
GI	9			9
IBGN	17			17
Tot. Ind	3136			3136

	1	2	3		1	2	3		1	2	3
Erpobdella				Empididae	30			Aeschnidae			
Glossiphoniidae				Limoniidae	37			Calopterygidae			
Glossiphonia				Psychodidae				Coenagrionidae			
Helobdella				Ptychopteridae	5			Cordulegasteridae			
Hemiclepsis				Simuliidae	188			Corduliidae			
Hirudidae				Stratiomyidae	1			Gomphidae			
Piscicolidae				Syrphidae				Lestidae			
Oligochaeta				Tabanidae				Libellulidae			
Cnidaria				Tipulidae				Platycnemididae			
Gammaridae	128			Baetidae	1010			Capnia			
Branchiopoda				Caenis				Capnioneura			
Decapoda				Ephemera				Chloroperlidae			
Astacidae				Torleya				Leuctra	7		
Cambaridae				Ephemerella				Amphinemura			
Asellidae				Ecdyonurus	8			Nemoura	1		
Hydracarina	13			Electrogena	17			Protonemura	19		
Dryopidae				Epeorus	28			Dinocras			
Dytiscidae				Heptagenia				Perla			
Elmis	24			Rhithrogena	1			Besdolos			
Esolus	1			Habroleptoides				Dictyogenus			
Limnius	205			Habrophlebia				Isogenus			
Oulimnius				Leptophlebia				Isoperla			
Riolus	24			Paraleptophlebia				Perlodes			
Gyrinidae				Siphonurus				Brachyptera	17		
Haliplidae				Heteroptera				Rhabdiopteryx			
Helophoridae				Aphelocheiridae				Taeniopteryx			
Hydraena	8			Corixidae				Beraeidae			
Hydrophilidae				Gerridae				Brachycentridae			
Hygrobiidae				Hebridae				Ecnomidae			
Psephenidae				Hydrometridae				Glossosomatidae			
Scirtidae	14			Mesoveliidae				Goeridae	1		
Anthomyidae				Naucoridae				Hydropsychidae	64		
Athericidae	1			Nepidae				Hydroptilidae			
Blephariceridae				Notonectidae				Lepidostomatidae			
Ceratopogonidae	8			Pleidae				Leptoceridae			
Chironomidae	1155			Veliidae				Drusinae			
Dixidae				Lepidoptera				Limnephilidae	58		
Dolichopodidae				Sialidae				Odontoceridae	9		
				Neuroptera				Philopotamidae			
								Phryganeidae			

Polycentropodidae			
Psychomyiidae	3		
Rhyacophilidae	6		
Sericostomatidae	2		
Corbiculidae			
Dreissenidae			
Sphaeriidae	21		
Unionidae			
Acroloxidae			
Ancylidae			
Bithyniidae			
Ferrissiidae			
Hydrobiidae	17		
Limnaeidae			
Neritidae			
Physidae			
Planorbidae			
Viviparidae			
Nematoda	2		
Dendrocoelidae			
Dugesiidae	3		
Planariidae			

9.6.3. Sorge

Cours d'eau:	SORGE (La)
Commune:	Villars-Sainte-Croix
Station:	Villars-Sainte-Croix
N° Station:	A-PA--020
Année:	2011

	1	2	3	Cumulé
N°	3856			
Date	22.2.2011			
NT	21			21
NTS	2			2
Rivaud	8			8
NF	19			19
NFS	2			2
GI	5			5
IBGN	10			10
Tot. Ind	4088			4088

	1	2	3		1	2	3		1	2	3
Erpobdella				Empididae	4			Aeschnidae			
Glossiphoniidae				Limoniidae	7			Calopterygidae			
Glossiphonia				Psychodidae	21			Coenagrionidae			
Helobdella				Ptychopteridae				Cordulegasteridae			
Hemiclepsis				Simuliidae	15			Corduliidae			
Hirudidae				Stratiomyidae				Gomphidae			
Piscicolidae				Syrphidae				Lestidae			
Oligochaeta	37			Tabanidae				Libellulidae			
Cnidaria				Tipulidae				Platycnemididae			
Gammaridae	2764			Baetidae	242			Capnia			
Branchiopoda				Caenis				Capnioneura			
Decapoda				Ephemera				Chloroperlidae			
Astacidae				Torleya				Leuctra			
Cambaridae				Ephemera				Amphinemura			
Asellidae				Ecdyonurus				Nemoura			
Hydracarina	3			Electrogena	5			Protonemura			
Dryopidae				Epeorus				Dinocras			
Dytiscidae				Heptagenia				Perla			
Elmis	42			Rhithrogena				Besdolos			
Esolus				Habroleptoides				Dictyogenus			
Limnius	15			Habrophlebia				Isogenus			
Oulimnius				Leptophlebia				Isoperla			
Riolus	4			Paraleptophlebia				Perlodes			
Gyrinidae				Siphonurus				Brachyptera			
Haliplidae				Heteroptera				Rhabdiopteryx			
Helophoridae				Aphelocheiridae				Taeniopteryx			
Hydraena	1			Corixidae				Beraeidae			
Hydrophilidae				Gerridae				Brachycentridae			
Hygrobiidae				Hebridae				Ecnomidae			
Psephenidae				Hydrometridae				Glossosomatidae			
Scirtidae				Mesoveliidae				Goeridae			
Anthomyidae				Naucoridae				Hydropsychidae	29		
Athericidae				Nepidae				Hydroptilidae			
Blephariceridae				Notonectidae				Lepidostomatidae			
Ceratopogonidae	2			Pleidae				Leptoceridae			
Chironomidae	764			Veliidae				Drusinae			
Dixidae				Lepidoptera				Limnephilidae	90		
Dolichopodidae				Sialidae				Odontoceridae			
				Neuroptera				Philopotamidae			
								Phryganeidae			

Polycentropodidae			
Psychomyiidae	2		
Rhyacophilidae	2		
Sericostomatidae			
Corbiculidae			
Dreissenidae			
Sphaeriidae	10		
Unionidae			
Acroloxidae			
Ancylidae			
Bithyniidae			
Ferrissiidae			
Hydrobiidae			
Limnaeidae			
Neritidae			
Physidae			
Planorbidae			
Viviparidae			
Nematoda			
Dendrocoelidae			
Dugesidae	29		
Planariidae			

9.6.4. Résultats indice biotique - TP d'environnement EPFL

Résultats

	1M/A	1M/B	1M/tot	2M/A	2M/B	2M/tot	4M/A	4M/B	4M/tot	5M/A	5M/B	5M/tot	7S/A	7S/B	7S/tot	8S/A	8S/B	8S/tot	6C/A	6C/B	6C/tot
Oligochètes																					
Nématodes																					
Physidae	1	3	4		4	4		3	3		1	1					3	3		>10	6
Bithyniidae		5	5		<10						100	100					3	3			
Cruaciacés																					
Diptères	>1000	1000	1000	10	10	20	>1000	1000	1000	5	10	10	>1000	1000	1000	>100	30	30	60	50	4
Athericiidae	1	1	1		10	10	1		1		1	6				1	1	2			4
Chironomidae	800	800	800	5	75	80	30	>10	30	200	10	210	~10	6	6	>1000	10	10	200	>10	50
Limoniidae	2	2	2		5	6					1	6				1	1	2			2
Tipulidae	1	1	1	1	5	6	1		1		1	1	2	2	2	5	3	8	1	2	3
Stratiomyidae																					
Empididae	1	1	1		10	10	2		2		5	15									
Baetidae	100	>10	100	10	>1000	10	30	>10	30	10	5	15	<10	11	11	20	10	10	50	4	4
Simuliidae	3	3	3																		
Heptageniidae	40	10	50	5		5	2		2				5	3	8	15	7	22	50	10	60
Elmidae	3	2	5										1		1						2
Scirtidae																					
Hydraenidae	1	1	1																		
Dytiscidae																					
Hydrophilidae	1000	100	1100	15	500	1	30	>10	30	10	30	40		3	3		3	3	2	2	2
Hydropsychidae	2	2	2																		
Limnephilidae	50	1	51		4	4	1	1	1										10	4	14
Rhyacophilidae	1	3	4																		
Odontoceridae													1 ?	1	1			2			
Polycentropodidae																					
Sceriscostomatidae	1	1	1																		
Physidae	5	5	5	3		3													2		2
Hydrobiidae				1		1															
Grammbidae	1	1	1																		
Leuctridae																					
Variété taxonomique (diversité)	17	15*	24	9	11*	13	9	9	13	5	9	10	8	7*	9	8	11	12	6	12	12
taxon indicateur	Rhyco.	Odont.	Odont.	Hydros.	Rhyco.	Rhyco.	Hydros.	Hydros.	Hydros.	Hydros.	Hydros.	Hydros.	Baetidae	Baetidae	Heptag.	Baetidae	Hydros.	Hydros.	Rhyco.	Rhyco.	Rhyco.
GI	4	8	8	3	4	4	3	3	3	3	3	3	2	2	5	2	3	3	4	4	4
IBGN	9	12	< 14 >	5	7	< 8 >	6	5	< 7 >	4*	5	< 6 >	4	4*	< 8 >	4	6	< 6 >	5*	7	< 7 >
classe de qualité			bon			mauvais			mauvais			mauvais			mauvais						mauvais

TP "analyse des polluants dans l'environnement" - automne 2009
 Qualité biologique - Sandra Knispel, bureau Akuatik

9.7. Inventaire écomorphologique

