



Suivis biologiques sur le Lot à l'aval des aménagements hydroélectriques fonctionnant par éclusées de Castelnau, Golin hac et Cambeyrac.

Suivi du régime thermique du Lot – Année 2023



Le Lot au niveau du lieu-dit Soulou, en aval de la confluence avec la Truyère



352 Avenue Roger Tissandié
31600 MURET
Tél : 05.62.20.98.24
ecogea@wanadoo.fr

Rapport ECOGEA
n° 230536b
Mai 2024

VALIDATION	
Version	Mai 2024 ECOGEA pour Syndicat Mixte du Bassin du Lot
Maître d'œuvre	
Rédacteur	Laurent CAZENEUVE
Relecteur	Jean-Marc LASCAUX
Appuis techniques	Jean Kardacz

SOMMAIRE

1.	INTRODUCTION	1
2.	METHODOLOGIE	2
3.	REGIME THERMIQUE MOYEN MENSUEL DU LOT	4
4.	REGIME THERMIQUE MOYEN JOURNALIER DU LOT	7
4.1.	AU NIVEAU DU SECTEUR CASTELNAU-ESPALION	7
4.2.	A L'AVAL DE LA CONFLUENCE AVEC LA TRUYERE.....	8
5.	APERÇU DU REGIME THERMIQUE INSTANTANE DU LOT A L'AVAL DE LA CONFLUENCE AVEC LA TRUYERE	9
6.	INFLUENCE SUR L'ICHTYOFAUNE.....	10
6.1.	INFLUENCE DES FAIBLES TEMPERATURES SUR LA SURVIE DES JEUNES STADES DE CYPRINIDES.....	10
6.2.	FREQUENCE DE DEPASSEMENT DE TEMPERATURES -SEUILS.....	11
6.3.	CALCUL DES NIVEAUX TYPOLOGIQUES THEORIQUES	13
6.4.	TOLERANCE THERMIQUE DES ESPECES TRUITE ET OMBRE	15
6.5.	PERIODES DE REPRODUCTION THEORIQUES DES PRINCIPALES ESPECES PISCICOLES	17
7.	CONCLUSION.....	19
8.	BIBLIOGRAPHIE	20

1. INTRODUCTION

Les éclusées correspondent à des variations artificielles, rapides et fréquentes du débit et du niveau des eaux en aval d'aménagements de production d'énergie hydroélectrique. L'eau est stockée dans de grandes retenues lorsque la demande d'énergie électrique sur le réseau, plus faible, peut être couverte par les moyens de production de base (nucléaire, hydraulique fil de l'eau ...) et/ou des moyens de production intermittents (éolien, solaire). Elle est turbinée en période de forte demande sur le réseau ou pour équilibrer les productions intermittentes (pas de vent, pas de soleil), afin d'ajuster rapidement la production à la consommation.

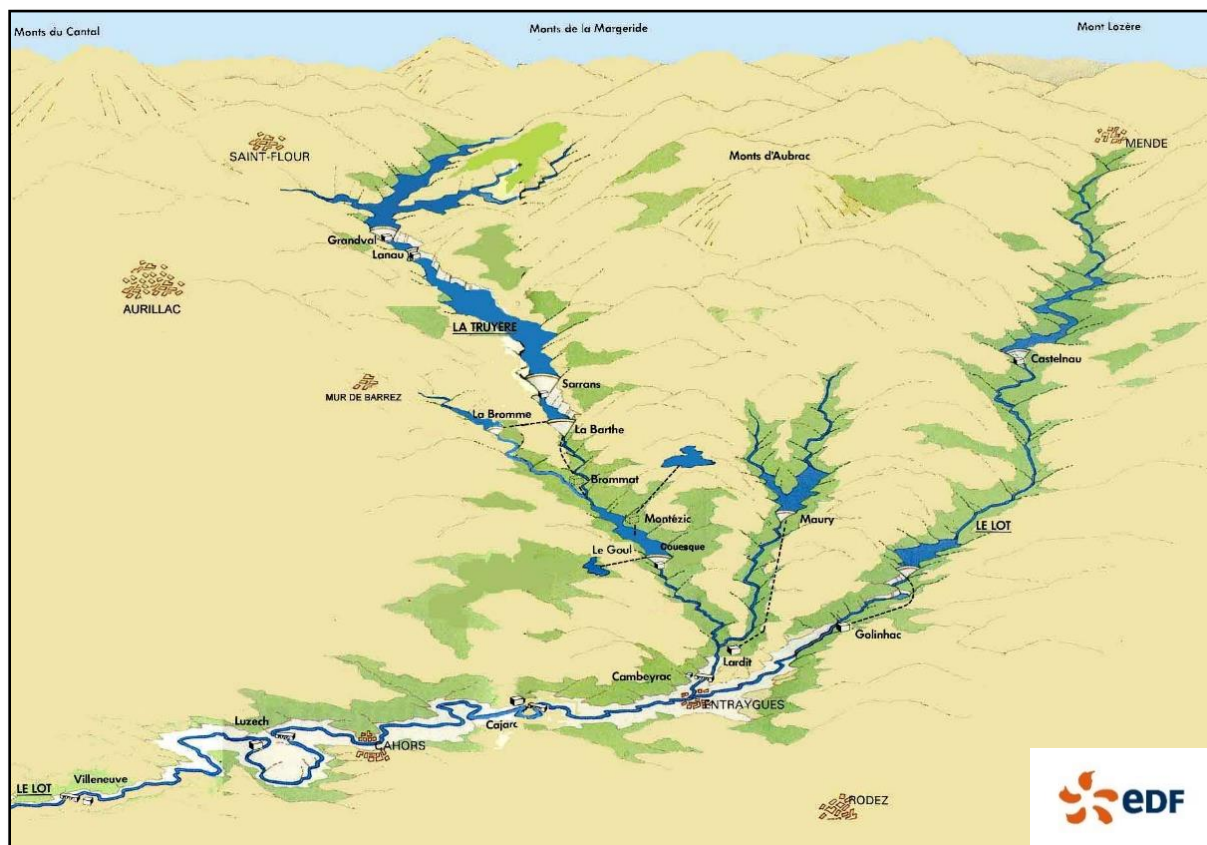


Figure 1 : Vue des bassins versants amont du Lot et de la Truyère et de leurs aménagements hydroélectriques.

Sur le Lot, le barrage-usine de Castelnau et le barrage de Golinhac dérivant les eaux vers l'usine du même nom situé 4,5 km à l'aval, ainsi que le barrage usine de Cambeyrac sur la Truyère fonctionnent par éclusées (à l'instar d'ailleurs des autres aménagements de la chaîne Truyère).

En 2011, le conseil d'administration de l'Entente Lot a souhaité lancer une étude pour quantifier l'impact du fonctionnement par éclusées des aménagements hydroélectriques sur les milieux aquatiques en se basant sur des modélisations hydrauliques de tronçons de cours d'eau du Lot en amont et en aval de la confluence avec la Truyère. Cette étude réalisée par le bureau d'études AGERIN avec la participation du pôle écohydraulique de l'ONEMA¹ (AGERIN/ONEMA, 2016) a permis de proposer un premier diagnostic, en caractérisant le

¹ Au 1^{er} janvier 2020, l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA) a fusionné avec l'Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage (ONCFS) pour devenir l'Office Français de la Biodiversité (OFB).

régime d'éclusées puis en modélisant l'habitat piscicole des principales espèces en fonction du débit. Ces modélisations ont conduit à proposer des mesures de mitigation visant à réduire l'impact des éclusées à l'aval des aménagements hydroélectriques.

En 2017, l'Entente Lot a poursuivi ses investigations concernant l'impact écologique des éclusées en aval des ouvrages hydroélectriques de Castelnau, Golin hac et Cambeyrac. Cette seconde phase intègre un suivi du régime thermique du Lot, des suivis biologiques printaniers avec notamment un suivi des échouages-piégeages de poissons ainsi qu'un suivi de la reproduction des espèces piscicoles se reproduisant au printemps, des pêches électriques de contrôle du recrutement à la fin de l'été ainsi qu'un suivi de l'activité de reproduction des truites en fin d'année.

Ces investigations menées sur la période 2017-2020 (**Cazeneuve et Lascaux**, 2018 a, b, c et d pour l'année 2017 par exemple) ont notamment permis d'identifier de nombreuses interactions entre le régime d'éclusées, la plupart du temps très sévère au sens de **Courret et al.** (2014) et les cycles biologiques des principales espèces piscicoles qui colonisent le Lot, conduisant à des abondances piscicoles faibles à très faibles.

A l'issue de la période 2017-2020, une synthèse des études à disposition doit voir le jour (**Cazeneuve et Lascaux pour SMBV Lot**, 2022 pour le tronçon à l'aval de Castelnau). Elle a pour objectifs de faire le lien entre toutes les données acquises depuis 2011 et proposer de nouvelles pistes de gestion des aménagements hydroélectriques dont pourrait bénéficier la biocénose aquatique et les peuplements piscicoles en particulier.

Parallèlement, les suivis biologiques se poursuivent dans l'attente des modifications de gestion des aménagements hydroélectriques. Ces suivis se présentent désormais sous la forme d'échantillonnages piscicoles et d'enregistrements en continu du régime thermique sur le Lot en aval du barrage de Castelnau et en aval de la confluence avec la Truyère. Nous disposons également des données hydrologiques, qui sont quant-à-elles propriété d'EDF à Espalion et de la DREAL à l'aval de la confluence Lot Truyère.

Ce rapport présente les résultats du suivi du régime thermique du Lot en aval des aménagements hydroélectriques de Castelnau, Golin hac et Cambeyrac au cours de l'année 2023.

2. METHODOLOGIE

Le régime thermique du Lot en aval des ouvrages hydroélectriques de Castelnau, Golin hac et Cambeyrac a été appréhendé à l'aide d'enregistreurs autonomes de type Tinytag aquatic 2. Ils enregistrent les températures au pas de temps horaire.

10 enregistreurs ont été disposés comme suit (les enregistreurs thermiques ont été doublés pour chaque station afin de se prémunir des pertes de données) :

- 2 enregistreurs sur le Lot à l'aval proche du barrage de Castelnau (environ 950 m à l'aval du barrage et à l'amont de la Boralde de St Chély),
- 2 enregistreurs sur le Lot environ 1,5 km à l'aval de la Boralde de St-Chély,
- 2 enregistreurs sur le Lot environ 500 m à l'aval de la Boralde de Flaujac,
- 2 enregistreurs sur le Lot à l'aval proche de la confluence avec la Truyère (600 m à l'aval de la confluence et nommé ci-après « Entraygues »),
- 2 enregistreurs sur le Lot un peu plus de 15 km à l'aval de la confluence avec la Truyère, et à l'aval proche du lieu-dit « Soulou ».

Le tableau suivant indique la localisation précise de ces enregistreurs.

Nom thermographe	Coordonnées X Lambert 93 (m)	Coordonnées Y Lambert 93 (m)
Aval Castelnau	689375.0	6378513.9
Aval Boralde St Chély	686248.0	6378853.0
Aval Boralde Flaujac	682171.1	6380156.6
Entraygues	665038.8	6393398.8
Soulou	651839.0	6394187.4

Tableau 1 : Localisation des enregistreurs de température

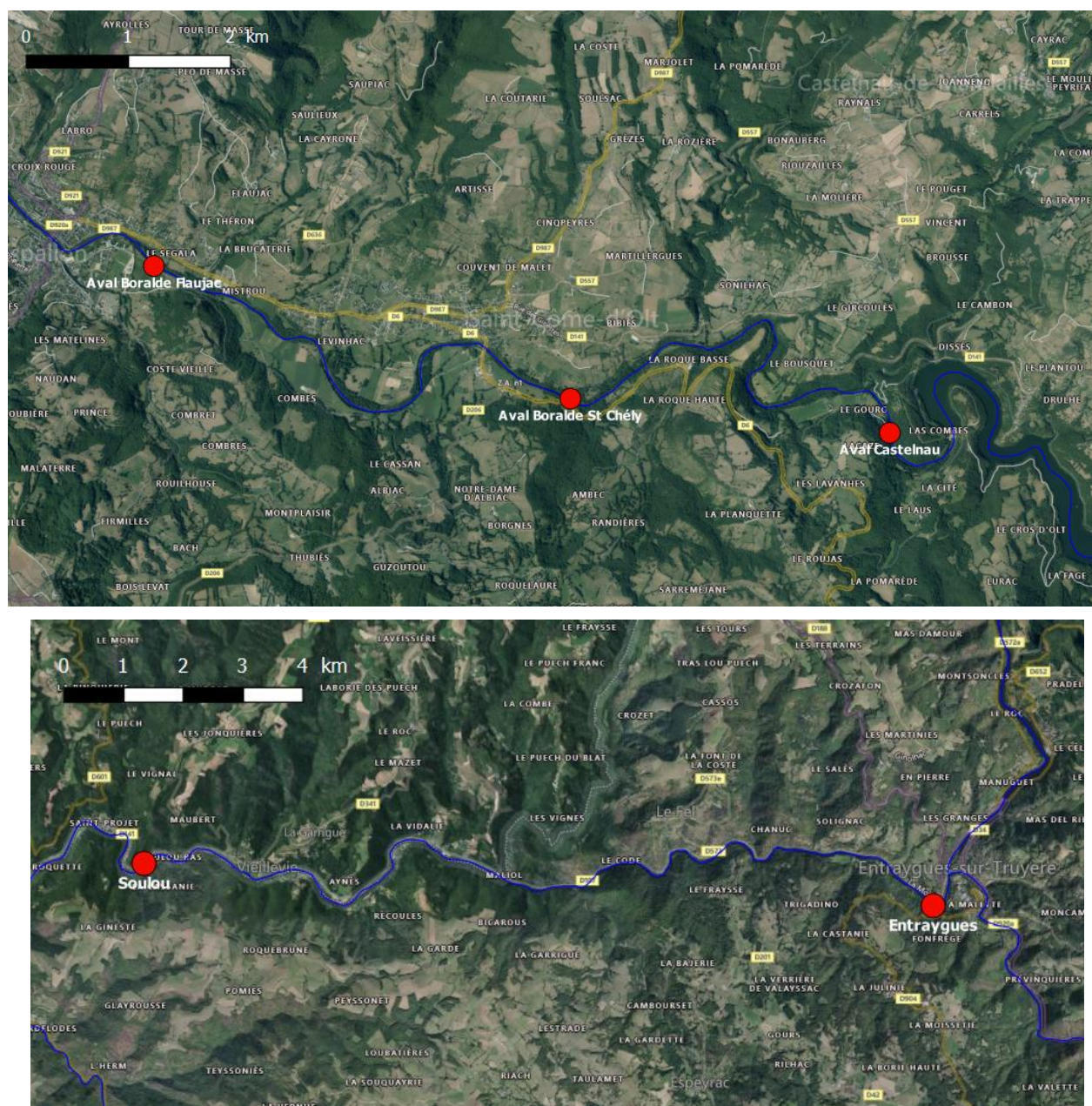


Figure 2 : Localisation des enregistreurs de température sur le Lot à l'aval du barrage de Castelnau et à l'aval de la confluence avec la Truyère

Ces thermographes enregistrent la température des eaux du Lot, au pas de temps horaire, depuis avril 2017 (Aval Castelnau, Entraygues et Soulou) ou mai 2018 (Aval Boralde St Chély et Aval Boralde de Flaujac).

3. REGIME THERMIQUE MOYEN MENSUEL DU LOT

Le tableau suivant récapitule les valeurs des températures moyennes mensuelles enregistrées au cours de l'année 2023.

	T1 - Aval Castelnau	T2 - Aval Boralde St Chély	T3 - Aval Boralde Flaujac	T4 - Entraygues	T5 - Soulou
janv-23	7.1	6.7	6.7	7.2	7.4
févr-23	4.6	4.4	4.5	5.1	5.4
mars-23	7.4	7.5	7.6	7.5	7.5
avr-23	10.3	10.5	10.7	10.1	9.7
mai-23	13.0	13.2	13.5	12.9	12.6
juin-23	15.7	16.2	16.5	15.7	16.0
juil-23	17.7	18.6	19.0	17.5	18.5
août-23	19.0	19.7	19.8	17.7	18.5
sept-23	19.3	19.4	19.0	16.8	17.2
oct-23	17.1	16.3	15.8	15.0	14.9
nov-23	10.8	10.1	10.2	10.8	10.9
déc-23	7.5	7.3	7.4	8.0	8.1
Moyenne	12.5	12.5	12.6	12.0	12.2

Tableau 2 : Températures moyennes mensuelles de janvier à décembre 2023

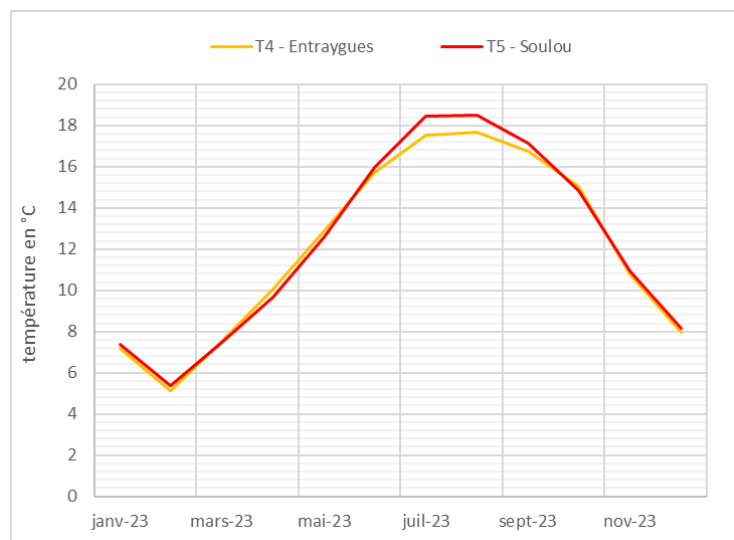
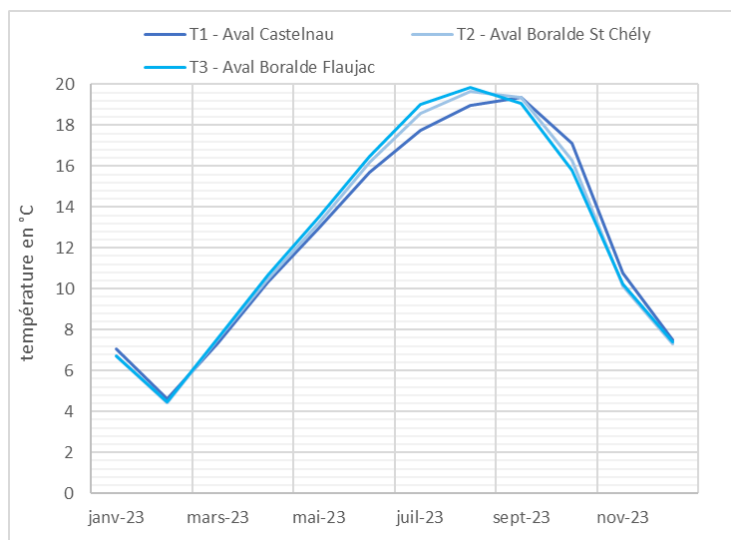
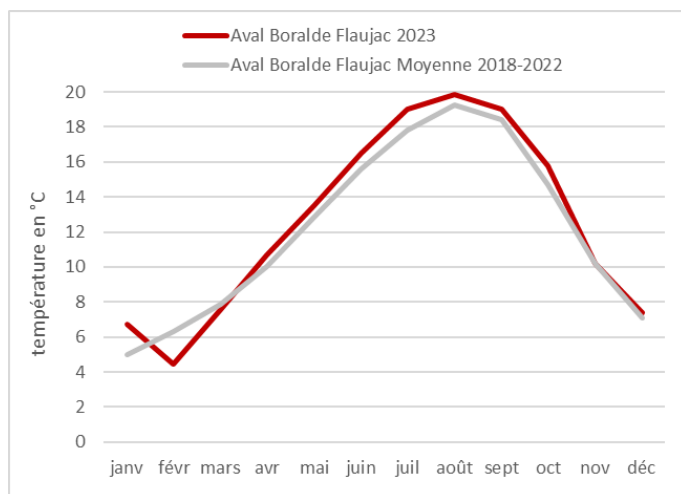
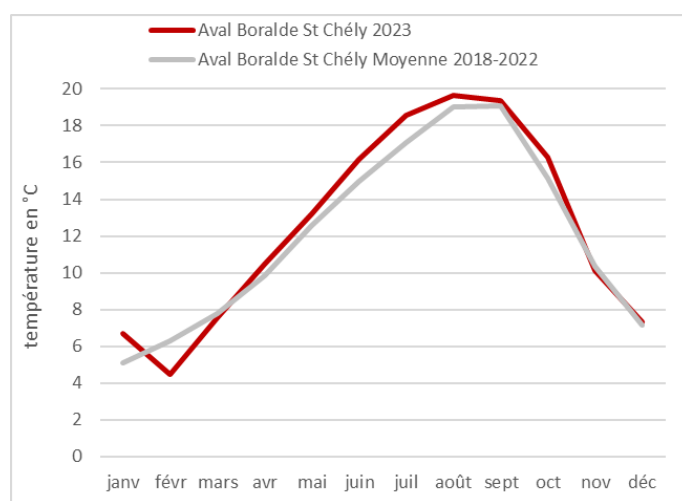
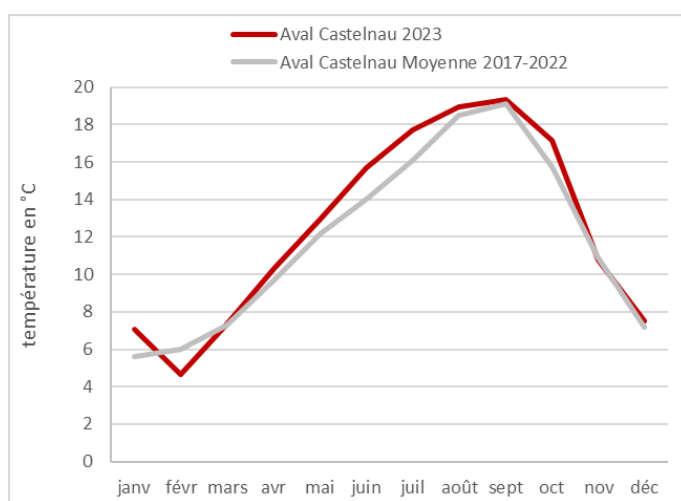


Figure 3 : Températures moyennes mensuelles du Lot à l'aval du barrage de Castelnau et à l'aval de la confluence avec la Truyère

A l'aval proche de Castelnau (T1), les températures moyennes mensuelles ont évolué entre 4,6°C au mois de février et 19,3°C au mois de septembre 2023. Le différentiel de température entre l'amont (T1) et l'aval du secteur (T3) est resté toujours inférieur à 0,5°C entre le mois de janvier et le mois de mai. Ce n'est qu'à partir du mois de juin qu'un réchauffement des eaux plus prononcé vers l'aval s'effectue. Les maximums mensuels sont atteints en août en T2 et T3 et sont respectivement égaux à 19,7°C et 19,8°C. A partir du mois de septembre, les températures deviennent ensuite plus chaudes en sortie du barrage et se rafraichissent lentement en descendant vers l'aval.

A l'aval de la confluence avec la Truyère, on assiste sensiblement aux mêmes tendances avec des températures qui sont restées très proches entre janvier et juin, un différentiel n'apparaissant seulement qu'au cours des mois de juillet, août et septembre. Les températures moyennes mensuelles maximales, observées en août, ont été égales à 17,7°C en T4 et 18,5°C en T5, soit des valeurs plus faibles qu'au niveau du secteur Castelnau-Espalion.



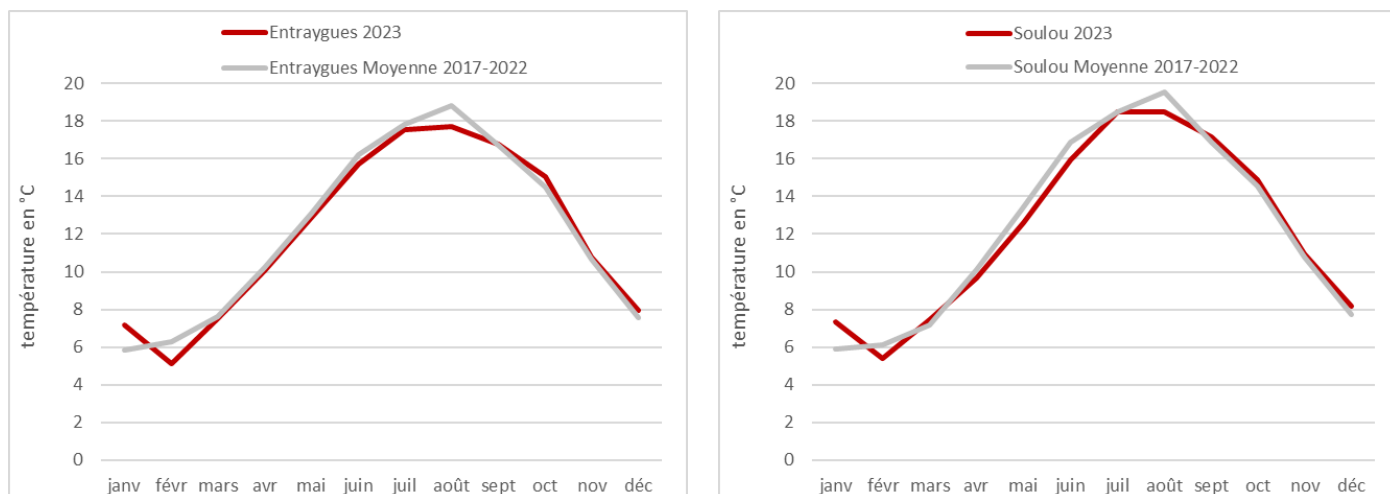


Figure 4 : Comparaison des températures moyennes mensuelles du Lot de T1 à T5 au cours de l'année 2023 avec les températures moyennes mensuelles interannuelles (2017-2022 ou 2018-2022 selon les stations)

Comparativement aux années précédentes, à l'aval du barrage de Castelnau, on constate que les températures moyennes enregistrées au niveau des 3 stations ont été supérieures aux moyennes interannuelles du mois d'avril jusqu'au mois d'octobre, le différentiel maximal étant observé en juillet et égal à environ 1,5°C en moyenne.

De manière surprenante, ce constat n'est pas partagé en aval de la confluence avec la Truyère avec des températures moyennes mensuelles qui sont restées proches des moyennes mensuelles interannuelles du mois de mars au mois de décembre, le mois d'août faisant exception. En effet, ce dernier est apparu plus frais que la moyenne d'environ 1°C aussi bien à Entraygues qu'à Soulou.

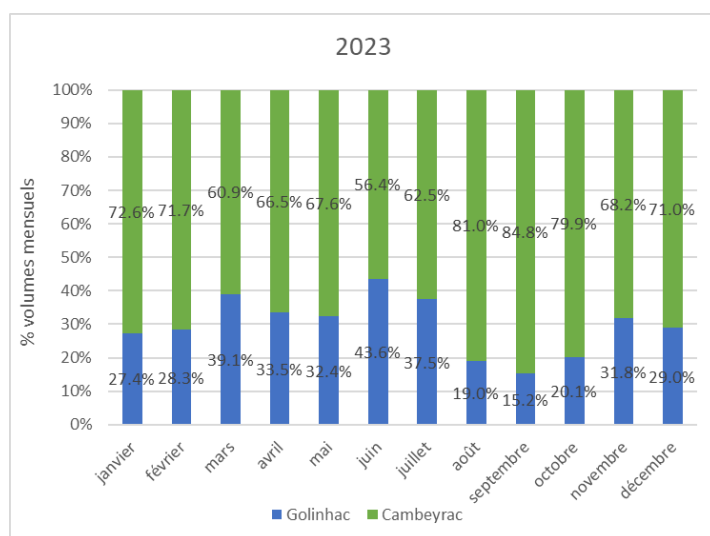


Figure 5 : Proportions des volumes issus de la branche Truyère et de la branche Lot, sur le Lot à Roquepailhol en 2023

Contribution Lot Août	
2017	20.1%
2018	26.5%
2019	31.6%
2020	28.3%
2021	28.6%
2022	45.9%
2023	19.0%

Tableau 3 : Contributions de la branche Lot au débit du Lot à Roquepailhol au cours du mois d'août, entre 2017 et 2023

Ce constat est en lien avec une faible contribution du Lot amont dans les débits du Lot à Roquepailhol, celle-ci étant égale à 19 %, les 81 % restant provenant de la branche Truyère.

Cette situation est remarquable sur la période 2017-2023 et opposée à ce qui avait été observé en 2022 (contribution du Lot amont égale à 45% et année la plus chaude sur le Lot à l'aval de la confluence avec la Truyère).

4. REGIME THERMIQUE MOYEN JOURNALIER DU LOT

4.1. AU NIVEAU DU SECTEUR CASTELNAU-ESPALION

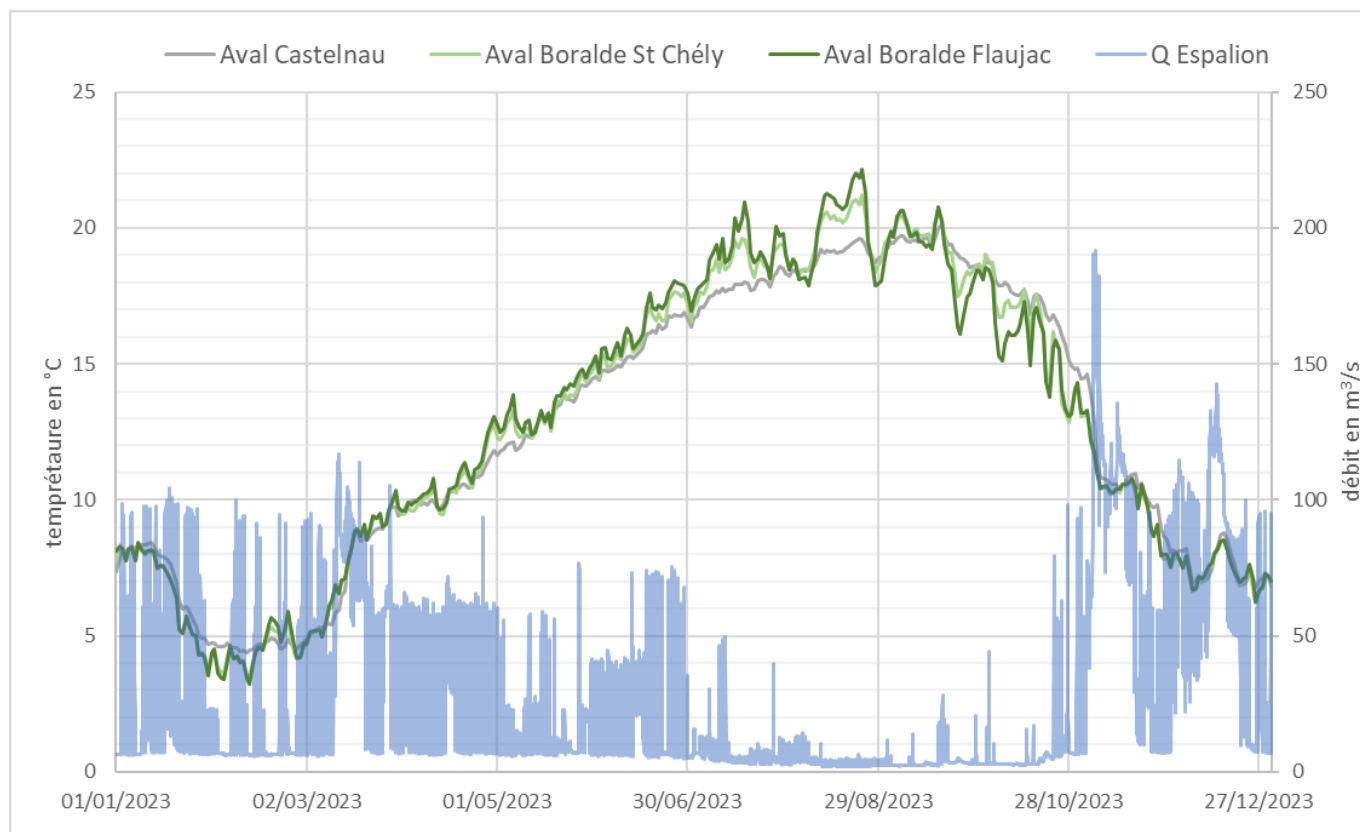


Figure 6 : Régime thermique moyen journalier du Lot à l'aval de Castelnau – T1, T2 et T3 de janvier à décembre 2023

Comme les années précédentes, on constate en premier lieu que les températures à l'aval proche de Castelnau sont très stables, le différentiel de température d'un jour sur l'autre ne dépassant qu'exceptionnellement les 1°C. Ceci traduit l'influence de la retenue d'eau en amont du barrage de Castelnau dont les couches profondes restituées présentent des températures plus stables, tamponnées, moins directement influencées par les températures atmosphériques. La proximité du barrage en T1 empêche également toute « renaturalisation » de ce régime thermique, que ce soit par l'influence des températures extérieures ou par la reconstitution du débit par les affluents.

Ce n'est plus le cas en T2 puis T3 où les températures reprennent une allure plus « naturelle », à la fois sous l'influence des températures atmosphériques ainsi que par le biais, parfois modeste comparativement aux débits turbinés, des apports des affluents.

Les températures journalières sont restées très proches les unes des autres sur les 3 stations durant la période hivernale et jusqu'à la mi-juin. A partir de ce moment-là et jusqu'à la mi-septembre, les températures atmosphériques ont induit un réchauffement des eaux en allant vers l'aval. A l'inverse, de la mi-septembre à début-novembre, les eaux du Lot sont apparues généralement plus fraîches en T3 et T2 qu'en T1.

La température moyenne journalière maximale observée en T1 est de 20,1°C, celle en T2 est égale à 21,2°C et celle en T3 égale à 22,2°C. Pour chacune des stations, il s'agit des 2^{èmes} valeurs les plus chaudes enregistrées depuis le début du suivi.

4.2. A L'AVAL DE LA CONFLUENCE AVEC LA TRUYERE

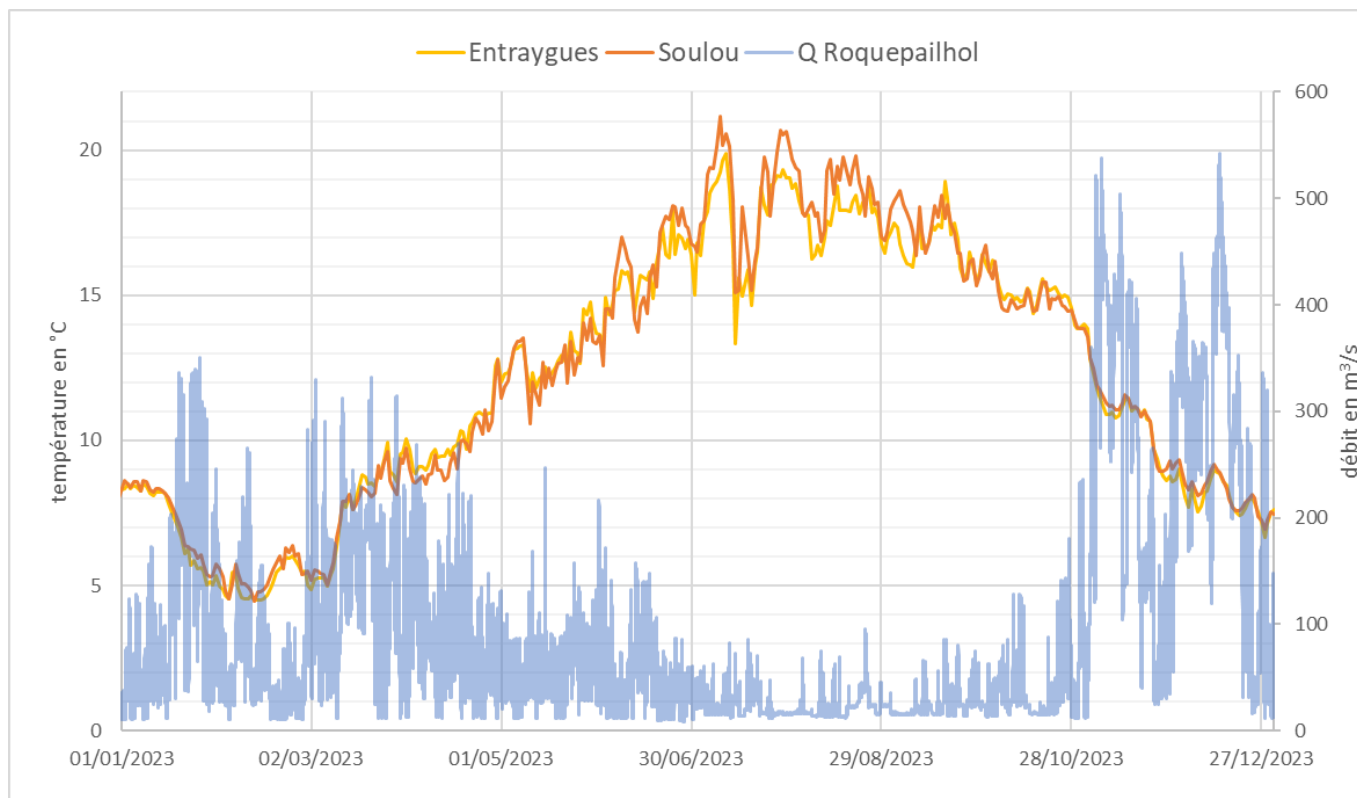


Figure 7 : Régime thermique moyen journalier du Lot à l'aval de la confluence avec la Truyère – T4 et T5 de janvier à décembre 2023

A l'aval de la Truyère, la forme des thermogrammes présente une apparence assez semblable, tout en présentant une variabilité plus importante à l'échelle journalière. Les variations de température de plus de 1 degré d'un jour sur l'autre ne sont pas rares.

Les températures journalières enregistrées en T4 et T5 sont restées proches jusqu'au début du mois de juin, puis, sous l'influence des températures extérieures, se sont réchauffées parfois assez nettement en allant vers l'aval. Cette situation est observée jusqu'à la mi-septembre, moment à partir duquel les différences redeviennent minimales entre T4 et T5.

La température moyenne journalière maximale observée en T4 a été égale à 19,9°C, celle en T5 égale à 21,1°C au cours du mois de juillet.

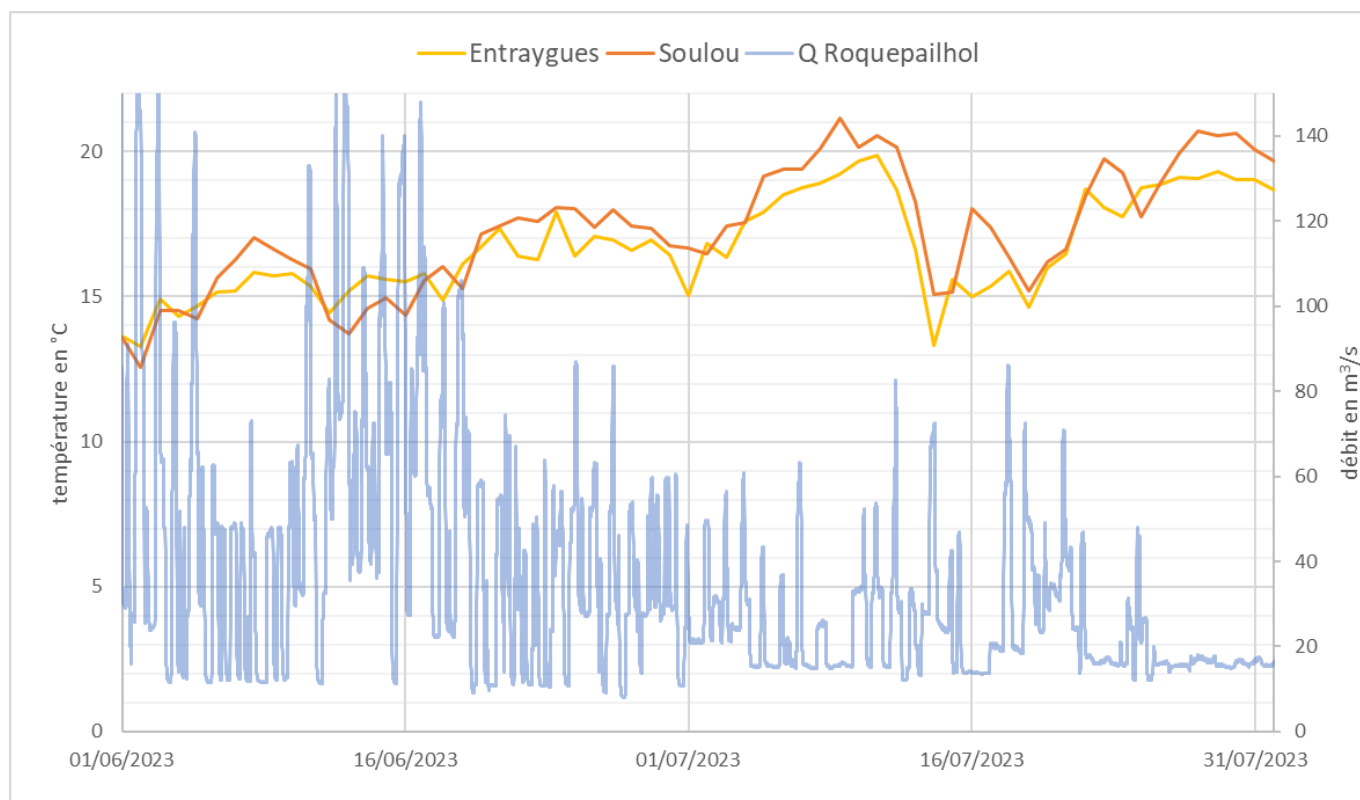


Figure 8 : Régime thermique moyen journalier du Lot à l'aval de la confluence avec la Truyère en juin et juillet 2023

Parmi les faits remarquables, on mentionnera la chute importante des températures (19,9°C à 13,3°C à Entraygues, soit une chute de 6,6°C) entre le 11/07 et le 14/07 qui ne peut être imputable à la seule influence atmosphérique. Elle n'est d'ailleurs pas observée sur le tronçon Castelnau-Espalion. Il s'agit de températures qui peuvent s'avérer pénalisantes pour certaines larves et jeunes stades de barbeau notamment, espèces pour laquelle des mortalités pour ces stades sont évoquées pour des températures de l'ordre de 13°C (**Baras et Philippart, 1999** et **Poncin, 1996**).

5. APERÇU DU REGIME THERMIQUE INSTANTANE DU LOT A L'AVAL DE LA CONFLUENCE AVEC LA TRUYERE

Sans reprendre finement l'ensemble des enregistrements au pas de temps horaire, il nous semblait intéressant de revenir sur la chute des températures sur le Lot à l'aval de la confluence avec la Truyère au cours du mois de juillet 2023.

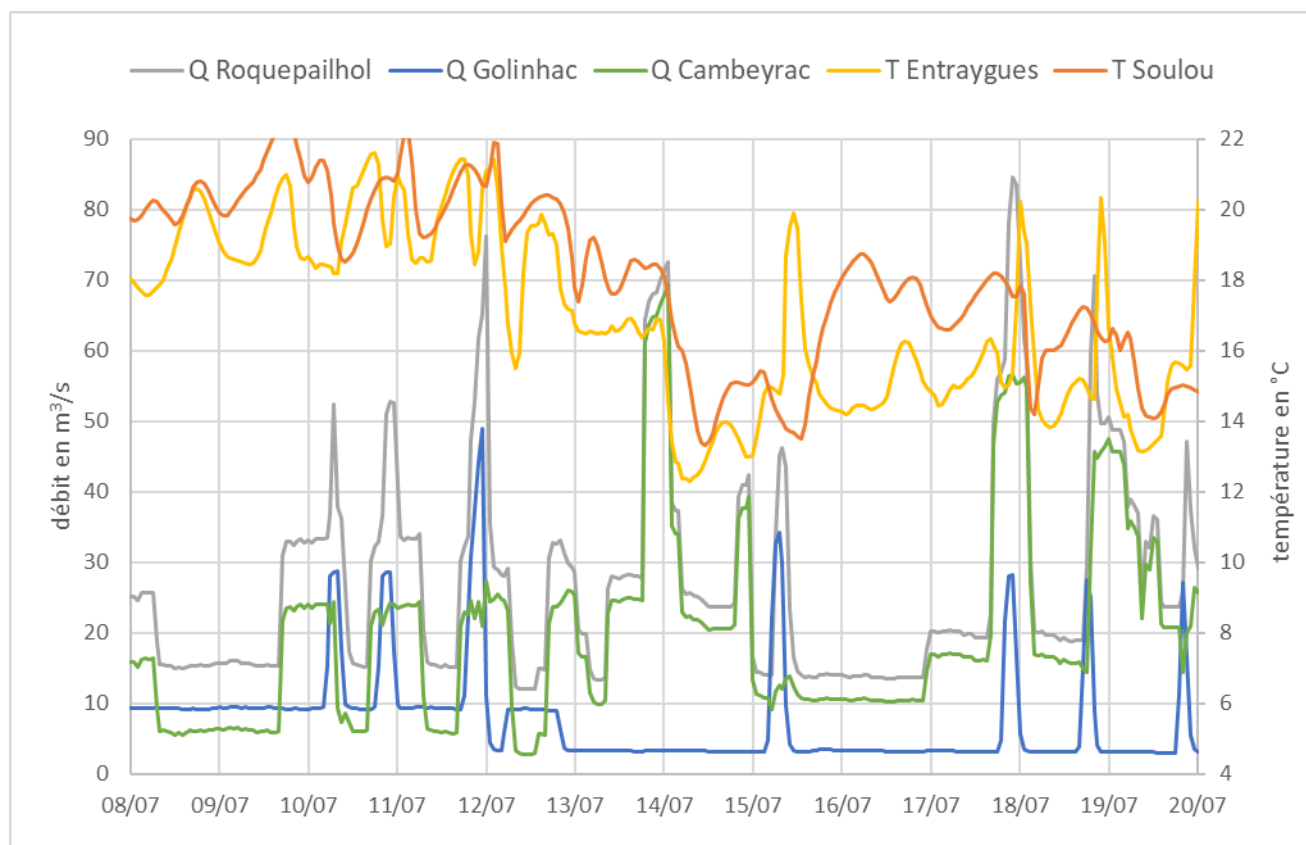


Figure 9 : Influence de l'hydrologie sur le régime thermique instantané du Lot à l'aval de la confluence avec la Truyère en juillet 2023

Les 10 et 11 juillet, les eaux proviennent à la fois du Lot et de la Truyère. Le 12 juillet, les turbinages s'arrêtent sur la branche Lot alors que le turbinage au niveau de la branche Truyère s'intensifie avec un pic de débit le 14/07 vers minuit. C'est à ce moment-là que la chute des températures est la plus prononcée. Le 15/07, ce sont les turbinés de Golin hac, alors que peu de débit arrive de la Truyère, qui vont induire une élévation de la température des eaux du Lot.

On l'aura compris, les eaux de la branche Truyère sont bien plus fraîches que celles de la branche Lot. Lorsque l'usine de Golin hac est à l'arrêt, le fait de turbiner uniquement les eaux de la branche Truyère induit une chute importante des températures sur le Lot à l'aval de la confluence. L'arrêt du turbinage à Cambeyrac suivi d'une reprise du turbinage à Golin hac a ensuite provoqué une nouvelle hausse des températures du Lot l'aval de la confluence.

6. INFLUENCE SUR L'ICHTYOFAUNE

6.1. INFLUENCE DES FAIBLES TEMPERATURES SUR LA SURVIE DES JEUNES STADES DE CYPRINIDES

Afin de préciser les températures limitantes, nous reprenons ici les travaux de **Tissot et Souchon** (2010) qui ont effectué une synthèse des préférences thermiques de nombreux poissons.

Chez la vandoise, la plage de température optimale pour le stade larvaire semble être comprise entre 16°C (Lepicová et al., 2002) et 25°C (Herzig & Winkler, 1985 ; Kwiatkowski et al., 2008).

Chez le barbeau, Poncin (1996) évoque une mortalité totale des œufs de barbeau à une température inférieure à 13°C. Les différents auteurs, qui ont étudié le stade larvaire en laboratoire, élèvent les larves de barbeau entre 14,8°C et 18,9°C (Teletchea et al., 2008 ; Vladimirov & Bodareu, 1975 in Banarescu, 2003a). Baras & Philippart (1999) ont montré que la croissance du juvénile du barbeau s'arrête en dessous de 13,5°C sur l'Ourthe en Belgique.

Chez le chevesne, Elliott (1981 in Küttel, Peter et al. 2002) et Alabaster and Lloyd (1982) établissent une température limite inférieure à 16°C pour l'embryon de chevesne. La gamme de température optimale pour la larve est située entre 14 °C (Penaz & Sterba, 1969) et 25 °C (Kwiatkowski et al., 2008 ; Wolnicki & Myszkowski, 1999), avec trois références répertoriées sur cette plage (Shiri Harzevili et al., 2003 ; Teletchea et al., 2008 ; Fishbase). La gamme optimale pour le juvénile est prise semblable à celle de la larve, qui recoupe bien les tolérances mentionnées sur le Rhône (Ginot et al., 1996).

Chez le goujon, la température optimale pour la larve est estimée à 20,5°C par Telechea et al. (2008).

Ainsi, les chutes de températures importantes en fin de printemps ou en été et atteignant des températures particulièrement fraîches (de l'ordre de 13°C le cas présent), en lien avec des turbinages préférentiels de la branche Truyère, peuvent affecter la survie des œufs, des stades larvaires et des alevins chez les cyprinidés et donc influencer négativement les recrutements de ces espèces.

6.2. FREQUENCE DE DEPASSEMENT DE TEMPERATURES -SEUILS

Le calcul du nombre de jours pour lesquels la température moyenne journalière dépasse les 18°C ou 20°C illustre d'une certaine manière la capacité de chaque tronçon à héberger une population de truite, celle-ci étant influencée négativement par les températures trop chaudes (diminution du recrutement, diminution de l'activité alimentaire, entre autres, lorsque les eaux dépassent 18°C).

		TMJ > 18°C (Nb jours)	TMJ > 19°C (Nb jours)	TMJ > 20°C (Nb jours)	T° moy. jour. max
T1 - Aval Castelnau	2017	47	28	0	20.0
	2018	61	40	0	19.7
	2019	45	28	0	19.6
	2020	52	18	0	19.4
	2021	58	2	0	19.6
	2022	47	35	29	22.2
	2023	75	40	1	20.1
T2 - aval Boralde St-Chély	2017				
	2018	68	40	4	20.2
	2019	59	25	4	20.5
	2020	55	33	2	20.4
	2021	53	21	0	19.9
	2022	66	39	28	22.9
	2023	88	51	22	21.2
T3 - Aval Boralde Flaujac	2017				
	2018	67	41	8	20.6
	2019	53	26	7	20.5
	2020	55	35	9	21.2
	2021	54	23	3	20.8
	2022	83	58	34	22.5
	2023	83	52	27	22.2
T4 - Entraygues	2017	56	27	6	21.2
	2018	21	17	6	20.8
	2019	47	23	11	21.2
	2020	17	5	0	19.6
	2021	35	11	1	20.1
	2022	75	45	13	20.9
	2023	29	8	0	19.9
T5 - Soulou	2017	64	49	36	23.0
	2018	30	24	20	22.5
	2019	67	49	31	22.2
	2020	33	10	3	20.7
	2021	41	15	2	20.2
	2022	97	83	61	21.9
	2023	50	26	9	21.1

Tableau 4 : Fréquence de dépassement de températures moyennes journalières-seuils (avril 2017 à décembre 2023) de T1 à T5

Pour l'année 2023, à l'aval proche du barrage de Castelnau (T1), les températures moyennes journalières ont dépassé les 20°C durant une seule journée. Ce seuil des 20°C est dépassé 22 jours en T2 et 27 jours en T3, ce qui est important. Sous cet angle, l'année 2023 serait la 2nde année la plus chaude du suivi derrière 2022.

A l'aval proche de la confluence avec la Truyère (T4), les températures moyennes journalières n'ont jamais dépassé les 20°C alors que ce seuil est dépassé durant 9 jours à Soulou (T5). 2023 constitue donc une année plutôt fraîche en période estivale sur ce secteur de Lot et se rapproche en ce sens des années 2020 et 2021.

6.3. CALCUL DES NIVEAUX TYPOLOGIQUES THEORIQUES

Les niveaux typologiques théoriques NTT ont été calculés à partir de la méthodologie de **Verneaux** (1973, 1976 et 1977), qui considère que le NTT est dépendant de 3 grands déterminants environnementaux, le métabolisme thermique apprécié par la température moyenne des 30 jours consécutifs les plus chauds, le niveau trophique naturel appréhendé grâce à la distance à la source et la dureté calco-magnésienne de l'eau, et les caractéristiques morphodynamiques du cours d'eau (la pente, la largeur du lit mineur et la section mouillée à l'étiage).

$$\text{NTT} = 0,45 \text{ T1} + 0,3 \text{ T2} + 0,25 \text{ T3}$$

$$\text{T1} = 0,55 \text{ t} - 4,34$$

$$\text{T2} = 1,17 [\text{Ln}(d0.D/100)] + 1,5$$

$$\text{T3} = 1,75 [\text{Ln}(\text{Sm}/(p.l^2) \times 100)] + 3,92$$

Avec :

- t = moyenne des températures maximales hebdomadaires du mois le plus chaud en °C,
- d0= distance à la source (km, mesurée par SIG),
- D = dureté calco-magnésienne en mg/l (récupérée sur les stations de suivis physico-chimiques de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne),
- Sm = section mouillée à l'étiage en m² (profondeur et largeur moyenne sur les secteurs étudiés récupérées à partir des stations modélisées),
- P = pente du lit en ‰ (mesurée sur le Géoportail IGN),
- l = largeur du lit mineur en m (mesurée sur le Géoportail IGN).



Figure 10 : Valeurs des NTT calculées au droit des stations de suivi thermique sur la période 2017-2023

Les valeurs moyennes des NTT varient en 2023 de 5,15 à 5,8 au niveau du secteur d'études, ce qui ne constitue pas des valeurs extrêmes. Elles se situent dans les valeurs hautes à l'aval de Castelnau et parmi les plus faibles valeurs à l'aval de la confluence avec la Truyère.

Espèce / NTT	5	5.5	6
CHA	3	2	1
TRF	4	4	2
LPP	5	5	4
VAI	3	3	2
LOF	5	4	3
OBR	5	5	4
CHE	3	3	4
GOU	3	3	4
BAF	1	2	3
VAN	1	2	3
BRO	-	0.1	1
PER	-	0.1	1
GAR	-	0.1	1
ABL	-	-	0.1

Tableau 5 : Extrait du tableau de la répartition longitudinale (au sens biotypologique) des abondances optimales potentielles en fonction des NTT des principales espèces rencontrées sur le Lot – échelle de 0 à 5 (Dejiorgi et Raymond, 2000)

Les espèces que nous serions en droit d'attendre au niveau des secteurs d'études sont donc :

- En abondances sub-optimales à optimales par rapport à celles obtenues par ces espèces dans d'autres biotypes référentiels, la lamproie de Planer et l'ombre commun. Bien que l'ombre n'ait pas été introduit (à notre connaissance) à l'aval du barrage de Castelnau, les conditions mésologiques pourraient donc également lui convenir.
- En abondances moyennes à sub-optimales par rapport à celles obtenues par ces espèces dans d'autres biotypes référentiels, le chevesne, le goujon et la loche franche.
- En abondances faibles à moyennes par rapport à celles obtenues par ces espèces dans d'autres biotypes référentiels, le vairon, le barbeau et la vandoise.
- En abondances sub-optimales à faibles, par rapport à celles obtenues par cette espèce dans d'autres biotypes référentiels, la truite commune. La tendance amont-aval est la plus marquée chez cette espèce avec une décroissance théorique prononcée de ses abondances sur l'aval du secteur.

Il s'agirait donc d'un peuplement piscicole mixte, composé des salmonidés (truite et ombre) et de leurs petites espèces d'accompagnement, auxquels viennent se joindre plusieurs espèces de cyprinidés rhéophiles. L'amont de chaque tronçon serait plus favorable à la truite et plus globalement aux espèces sténothermes d'eaux froides alors que l'aval de chaque secteur serait théoriquement plus favorable aux cyprins rhéophiles.

6.4. TOLERANCE THERMIQUE DES ESPECES TRUITE ET OMBRE

Aussi bien à l'aval de Castelnau qu'à l'aval de la confluence avec la Truyère, les conditions thermiques rencontrées (hors évènement exceptionnel) n'apparaissent pas pénalisantes pour les peuplements de cyprinidés rhéophiles (barbeau, chevesne, goujon et vandoise), les températures étant situées dans la gamme de préférences thermiques optimales de ces espèces. C'est également le cas pour la loche franche et le chabot.

Mais ce n'est pas le cas pour les espèces truite (alevin et adulte) et ombre (uniquement les adultes) dont nous faisons figurer les valeurs de préférences thermiques utilisées dans le projet Tigre² (Beaufort et al., 2020) dans le tableau suivant.

² Projet Tigre = Thermie en rivière : analyse géostatistique et description de régime

		Opt.min	4	4	4
		Opt.max	17	19	20
		Mortal.	25	25	23
		T° moy 30 j + chauds	TRF ale.	TRF adu.	OBR
T1 - Aval Castelnau	2017	19.5	2.5	0.5	
	2018	19.3	2.3	0.3	
	2019	19.3	2.3	0.3	
	2020	19.1	2.1	0.1	
	2021	18.8	1.8		
	2022	21.0	4.0	2.0	
	2023	19.4	2.4	0.4	
T2 - aval Boralde St-Chély	2017				
	2018	19.4	2.4	0.4	
	2019	19.4	2.4	0.4	
	2020	19.2	2.2	0.2	
	2021	19.1	2.1	0.1	
	2022	21.2	4.2	2.2	
	2023	20.1	3.1	1.1	
T3 - Aval Boralde Flaujac	2017				
	2018	19.6	2.6	0.6	
	2019	18.9	1.9		
	2020	19.4	2.4	0.4	
	2021	19.1	2.1	0.1	
	2022	20.6	3.6	1.6	
	2023	20.3	3.3	1.3	
T4 - Entraygues	2017	19.5	2.5	0.5	
	2018	19.0	2.0		
	2019	19.0	2.0		
	2020	18.0	1.0		
	2021	18.7	1.7		
	2022	19.8	2.8	0.8	
	2023	18.0	1.0		
T5 - Soulou	2017	20.6	3.6	1.6	0.6
	2018	20.2	3.2	1.2	0.2
	2019	20.2	3.2	1.2	0.2
	2020	18.5	1.5		
	2021	18.7	1.7		
	2022	21.1	4.1	2.1	1.1
	2023	19.0	2.0		

Tableau 6 : Tolérance thermique de la truite et de l'ombre commun sur le Lot - en orange, différence entre la TMJ30+ chauds et optimum maximal supérieure à 1°C, en jaune différence entre la TMJ30+ chauds et optimum maximal inférieure à 1°C, en vert TMJ30+ chauds compris dans la zone de préférence thermique

Ainsi, on peut s'apercevoir qu'aussi bien à l'aval de Castelnau qu'à l'aval de la Truyère, les conditions thermiques rencontrées sont systématiquement limitantes pour le stade alevin de

truite, quelle que soit l'année considérée. Le secteur Castelnau-Espalion est également « limite » vis-à-vis des préférences des truites adultes. Sous cet angle, l'aval proche de la confluence avec la Truyère apparaît comme la station la plus favorable pour la truite. La station T5- Soulou présente quant-à-elle des conditions thermiques favorables à la truite 3 années sur 7. Enfin, pour les adultes d'ombre commun, les températures sont systématiquement favorables à l'aval proche de la confluence avec la Truyère et véritablement pénalisante en 2022 au niveau de la station T5 – Soulou.

6.5. PERIODES DE REPRODUCTION THEORIQUES DES PRINCIPALES ESPECES PISCICOLES

Espèce	Reproduction		
	Photopériode h. de lumière	Saison	T (°C)
Truite	8-10h décroissante	fin Aut.- déb. Hiv.	2-10.5
Ombre	10-12h croissante	fin Hiv.-déb. Print.	7-11
Vandoise	10-12h croissante	fin Hiv.-déb. Print.	7-10
Chabot	10-12h croissante	fin Hiv.-déb. Print.	8-14
Loche franche	12-14h croissante	Printemps	8-12
Lamproie de Planer	12-14h croissante	Printemps	9-13
Barbeau	14-16h croissante	Printemps	14-16
Vairon	14-16h croissante	Printemps	15-17
Goujon	14-16h croissante	Printemps	15-17
Chevesne	14-16h croissante	Printemps	15-18

Tableau 7 : Rappel des périodes de reproduction et des températures théoriques de reproduction des espèces supposées présentes dans le Lot d'après **Poncin, 1996 ; Tissot et Souchon, 2010 ; Bruslé et Quignard, 2001 ; Cowx et Welcomme, 1998 ; Grandmottet, 1983 ; Schlumberger et Elie, 2008 et Pont et al., 2011.**

Schématiquement, on distingue plusieurs espèces ou groupes d'espèces qui vont se reproduire sensiblement à la même période :

- **La truite** est la seule espèce du tableau à se reproduire lorsque la photopériode est décroissante et les températures en baisse (10°C et en dessous). Elle se reproduit donc généralement de novembre à fin décembre-début janvier.
- **Le groupe des lithophiles précoces, formé par l'ombre, le chabot et la vandoise** (1er cyprinidé à se reproduire), qui se reproduit lorsque la photopériode est croissante et les températures atteignent 7-8°C.
- **La loche franche et la lamproie de Planer** se reproduisent lorsque les températures se situent autour de 10 - 12°C et que la période de jour est un peu plus longue,
- **Le groupe des lithophiles printaniers, formé par le barbeau, le goujon, le vairon et le chevesne, se reproduit** à partir du moment où les températures dépassent les 14 °C et que l'on dépasse 14 heures de jour.

Nous avons ensuite relevé les dates d'atteinte de certains seuils thermiques qui nous paraissent déterminants dans le déclenchement de certaines phases biologiques sensibles telles que l'émergence des alevins de salmonidés ou le déclenchement de l'activité de reproduction de certaines espèces par exemple.

		Date d'atteinte 715 degrés.jours depuis 1 ^{er} décembre année n-1 - Début émergence alevins de salmonidés	TMJ > 7 °C Photopériode Croissante - Début théorique reproduction lithophiles précoces	TMJ > 9 °C Photopériode Croissante - Début généralement constaté reproduction vandoise	TMJ > 14 °C Photopériode Croissante - Début théorique reproduction lithophiles printaniers	TMJ < 10 °C Photopériode Décroissante - Début théorique reproduction truite
T1 - Aval Castelnau	2017				09-juin	18-nov
	2018	23-mars	14-mars	18-avr	11-juin	22-nov
	2019	26-mars	06-mars	13-avr	22-juin	10-nov
	2020	11-mars	07-févr	25-mars	25-juin	23-nov
	2021	17-mars	19-févr	15-avr	24-juin	16-nov
	2022	31-mars	08-mars	12-avr	11-juin	30-nov
	2023	20-mars	15-mars	27-mars	27-mai	23-nov
T2 - Rauzières Basses	2017					
	2018				09-juin	22-nov
	2019	28-mars	06-mars	13-avr	16-juin	10-nov
	2020	10-mars	08-mars	20-mars	21-juin	20-nov
	2021	17-mars	02-févr	15-avr	23-juin	16-nov
	2022	01-avr	09-mars	12-avr	14-mai	24-nov
	2023	23-mars	14-mars	23-mars	27-mai	21-nov
T3 - Espalion	2017					
	2018				08-juin	22-nov
	2019	30-mars	09-mars	13-avr	17-juin	10-nov
	2020	10-mars	08-mars	20-mars	21-juin	20-nov
	2021	16-mars	02-févr	15-avr	10-juin	17-nov
	2022	31-mars	08-mars	12-avr	14-mai	23-nov
	2023	23-mars	13-mars	20-mars	22-mai	22-nov
T4 - Entraygues	2017				23-mai	17-nov
	2018	19-mars	29-mars	15-avr	30-mai	25-nov
	2019	23-mars	06-mars	18-avr	12-juin	10-nov
	2020	07-mars	09-févr	05-avr	16-mai	20-nov
	2021	15-mars	23-mars	20-avr	29-mai	19-nov
	2022	26-mars	11-mars	14-avr	20-mai	03-déc
	2023	17-mars	11-mars	30-mars	03-juin	23-nov
T5 - Soulou	2017				21-mai	17-nov
	2018	22-mars	02-avr	19-avr	27-mai	27-nov
	2019	21-mars	07-mars	18-avr	31-mai	11-nov
	2020	08-mars	29-févr	05-avr	20-mai	20-nov
	2021	16-mars	27-mars	22-avr	29-mai	19-nov
	2022	25-mars	11-mars	14-avr	10-mai	03-déc
	2023	14-mars	11-mars	30-mars	03-juin	23-nov

Tableau 8 : Récapitulatif des dates d'atteintes des différents seuils thermiques sur le Lot entre T1 et T5, de 2017 à 2023

Ainsi, l'émergence des alevins de salmonidés³ est susceptible d'avoir débuté en 2023 durant la deuxième décade du mois de mars à l'aval de Castelnau et autour de la mi-mars à l'aval de la confluence avec la Truyère. Il s'agit de dates dans la moyenne des années précédentes.

Les vandoises et chabots ont théoriquement pu débiter leurs reproductions autour de la mi-mars à l'aval de Castelnau et avant la mi-mars à l'aval de la confluence avec la Truyère. Cependant, le seuil des 9°C n'est strictement dépassé qu'à la fin mars indiquant de manière

³ La somme de 715°C.jours depuis la date médiane de ponte des truites (1^{er} décembre le cas présent) provient d'une synthèse des données biologiques et thermiques réalisée dans le cadre du suivi de l'émergence des alevins de salmonidés sur la Maronne entre 2013 et 2015, réalisé par ECOGEA pour MIGADO.

plus probable, une reproduction de ces espèces à cette période. Il s'agit de dates plutôt précoces si l'on considère ce dernier seuil.

Concernant les lithophiles printaniers (barbeau, vairon, chevesne et goujon), leurs reproductions ont pu théoriquement débuter à la fin du mois de mai en aval de Castelnau, ce qui est relativement précoce pour le secteur. A l'inverse, pour l'aval de la confluence avec la Truyère, leurs reproductions sont susceptibles d'avoir débuté aux alentours du début du mois de juin, ce qui est tardif.

Enfin, concernant la truite commune, la reproduction a théoriquement pu s'enclencher de manière classique, autour de la deuxième décennie de novembre.

7. CONCLUSION

L'année 2023 est une année singulière sur le Lot d'un point de vue thermique, avec des comportements différents selon les secteurs investigués. Ainsi, comparativement aux années précédentes, **à l'aval du barrage de Castelnau, nous avons constaté que les températures moyennes enregistrées au niveau des 3 stations ont été supérieures aux moyennes interannuelles du mois d'avril jusqu'au mois d'octobre**, le différentiel maximal étant observé en juillet et égal à environ 1,5°C en moyenne. Par contre, ce constat n'est pas partagé **en aval de la confluence avec la Truyère avec des températures moyennes mensuelles qui sont restées proches des moyennes mensuelles interannuelles du mois de mars au mois de décembre, et avec un mois d'août plus frais que la normale d'environ 1°C**. Ce dernier constat est à rapprocher d'une plus grande proportion d'eau en provenance de la branche Truyère qu'à l'accoutumée. En effet, **plus de 80 % des eaux du Lot provenaient au mois d'août de la branche Truyère, plus fraîche, contre en moyenne 70 % sur la période 2017-2022 et 45 % en 2022**.

A l'échelle journalière et selon les métriques utilisées (dépassement de température-seuils, températures moyennes journalières maximales et températures moyennes des 30 jours consécutifs les plus chauds), **l'année 2023 est la 2^{ème} année la plus chaude en période estivale en aval du barrage de Castelnau alors qu'il s'agit d'une année fraîche à l'aval de la confluence avec la Truyère**.

En instantané, **nous avons pu mettre en évidence des phénomènes de thermopeaking à l'aval de la confluence avec la Truyère en juillet 2023**, en lien avec la reprise des turbinages au niveau de la branche Truyère (plus froide) et de la branche Lot (plus chaude), générant ainsi des variations de températures de 4 ou 5°C en quelques heures.

Le calcul des NTT pour 2023, conduit à des valeurs comprises entre 5,5 et 5,8 à l'aval de Castelnau, plutôt fortes pour le secteur et comprises entre 5,15 et 5,5 à l'aval de la Truyère, valeurs faibles pour ce secteur. Le peuplement piscicole qui y est attendu est un peuplement mixte, constitué de salmonidés (truite et ombre), petites espèces d'accompagnement des salmonidés (chabot, loche franche, lamproie de Planer et vairon) et cyprinidés rhéophiles (vandoise, barbeau, goujon et chevesne).

D'un point de vue biologique et selon les températures enregistrées, nous supposons un début d'émergence des alevins de truite à partir de la mi-mars sur le secteur aval et durant la deuxième décennie du mois de mars sur le secteur amont. La survie de ces alevins est susceptible d'être pénalisée par des températures dépassant fréquemment et sur la durée les 17°C sur nos 2 secteurs. Les vandoises et chabots ont vraisemblablement pu débuter leurs reproductions avant la fin du mois de mars, ce qui est précoce pour le Lot. Chez les lithophiles printaniers, leurs reproductions ont débuté précocement à l'aval de Castelnau, à la fin du mois de mai et au début du mois de juin pour l'aval de la confluence avec la Truyère, ce qui est tardif. Enfin, la reproduction des truites a vraisemblablement dû débuter durant la deuxième décennie du mois de novembre aussi bien à l'aval de Castelnau qu'à l'aval de la Truyère.

8. BIBLIOGRAPHIE

- AGERIN/ONEMA, 2016.** Etude de l'impact écologique du fonctionnement par éclusées sur le Lot de l'aval de Castelnau jusqu'au Port d'Agrès. Rapport pour l'Entente Lot - V8. 234 p.
- Baras, E. and J. C. Philippart, 1999.** Adaptive and evolutionary significance of a reproductive thermal threshold in *Barbus barbus*. *Journal of Fish Biology* 55: 354-375.
- Beaufort, A., F. Moatar, E. Sauquet, C. Magand, 2020.** Thermie en rivière : Analyse géostatistique et description de régime : Application à l'échelle de la France, INRAE UR RiverLy, Université de Tours GÉHCO, rapport final projet TIGRE, 63 pages + 53 pages d'annexes.
- Bruslé et Quignard, 2001.** Biologie des poissons d'eau douce européens. *Ed. Tec et Doc*. 597 p.
- Cazeneuve L., et Lascaux J.M., 2018.** Suivis biologiques réalisés en 2017 sur le Lot à l'aval des aménagements hydroélectriques fonctionnant par éclusées de Castelnau, Golinhaç et Cambeyrac. Rapports ECOGEA pour SMB Lot.
- Cazeneuve L., et Lascaux J.M., 2022.** Synthèse de l'impact des éclusées sur le Lot à l'aval de Castelnau et pistes d'amélioration pour les peuplements piscicoles. Rapport ECOGEA pour SMB Lot.
- Courret D., Larinier M. et Baran P., 2014.** Développement d'une méthodologie de caractérisation des éclusées hydroélectriques et définition d'un indicateur du niveau de la perturbation hydrologique induite (seconde version). Rapport ONEMA pôle écohydraulique RA.14.02. 104 pages.
- Cowx I.G. and Welcomme R.L., 1998.** Rehabilitation of rivers for fish. Fishing News Books, 260 p.
- Degiorgi F. et Raymond J.C., 2000.** Utilisation de l'ichtyofaune pour la détermination de la qualité globale des écosystèmes d'eau courante – Guide technique. Rapport CSP DR 5 et Agence de l'Eau RMC. 191 p + annexes.
- Grandmottet J.P., 1983.** Principales exigences des Téléostéens dulcicoles vis à vis de l'habitat aquatique.
- Poncin P., 1996.** Reproduction chez nos poissons. ASBL (Eds.), 80 p.
- Pont, D., Delaigue, O., Belliard, J., Marzin, A. et Logez, M., 2011.** Programme IPR+ : Révision de l'indice poisson rivière pour l'application de la DCE.
- Schlumberger O. et Elie P., 2008.** Poissons des lacs naturels français : Ecologie des espèces et évolution des peuplements. Editions Quae, 211 p.
- Tissot L. et Souchon Y., 2010.** Synthèse des tolérances thermiques des principales espèces de poissons des rivières et fleuves de plaine de l'ouest européen. *Hydroécol. Appl.* (2010) Tome 17, pp.17–76. DOI: 10.1051/hydro/2010004
- Verneaux J., 1973.** Cours d'eau de Franche-Comté (Massif du Jura). Recherches écologiques sur le réseau hydrographique du Doubs – essai de biotypologie. Thèse d'Etat. Université de Franche-Comté, Besançon, 257p.
- Verneaux J., 1976a.** Biotypologie de l'écosystème "eaux courantes". La structure biotypologie, *CR Acad Sci Paris*, 283, série D, 1663-66.
- Verneaux J., 1976b.** Biotypologie de l'écosystème "eaux courantes". Les groupements socio-écologiques, *CR Acad Sci Paris*, 283, série D, 1791-93.

Verneaux J., 1977a. Biotypologie de l'écosystème "eaux courantes". Déterminisme approché de la structure biotypologique, CR Acad Sci Paris, 284, série D, 77-79.

Verneaux J., 1977b. Biotypologie de l'écosystème "eaux courantes". Déterminisme approché de l'appartenance typologique d'un peuplement ichtyologique, CR Acad Sci Paris, 284, série D, 675-78.