

Action D 1.2
**Observatoire thermique des cours d'eau et
des nappes alluviales**

Bilan année 2023 :
Observations et prévisions

Juin 2024



72 rue Riquet - Bat A
31000 Toulouse
05 61 62 50 68
eaucea@eaucea.fr
www.eaucea.fr

TABLE DES MATIERES

1	INTRODUCTION.....	3
2	SYNTHESE ANNUELLE 2023.....	4
2.1	Tendance générale : température de l'eau.....	4
2.2	Généralités : Précipitations et températures de l'air en 2023.....	5
2.3	Synthèse des observations de température de l'eau en 2023.....	7
2.3.1	<i>Dépassements de seuils.....</i>	<i>7</i>
2.3.2	<i>Températures moyennes sur plusieurs jours consécutifs</i>	<i>7</i>
2.3.3	<i>Conclusions.....</i>	<i>11</i>
3	PREVISIONS A TOULOUSE (BAZACLE).....	13
3.1	Equations utilisées	13
3.2	Température de l'air et débit.....	14
3.3	Température de l'eau	16
3.3.1	<i>Prévisions utilisant la température de l'eau de la veille.....</i>	<i>16</i>
3.3.2	<i>Modélisations n'utilisant pas la température de l'eau initiale.....</i>	<i>19</i>
3.4	Conclusions et perspectives.....	20
4	ANNEXES	22
4.1	Températures de l'air été 2023.....	22
4.2	Températures de l'air à Palaminy	24
4.3	Comparaison des données MIGADO et DREAL à Valentine.....	24
4.4	Modèles de prévision spécifiques à échéances données	25
4.5	Impact des données météorologiques utilisées pour les régressions	26
4.6	Modèles Tair/Teau et températures élevées : exemple à partir des données MIGADO au Bazacle	29

1 INTRODUCTION

Ce rapport présente un bilan de l'année 2023. Il comprend la **synthèse annuelle 2023** (analyse des données récoltées en 2023 mise en perspective avec l'historique de référence) ainsi que **les retours d'expérience concernant la modélisation** de la température de l'eau au Bazacle lors de l'étiage 2023, incluant une analyse des performances et limites des modèles. Plusieurs éléments de réflexion et d'analyse sont également présentés en annexe.

Les données mobilisées ici dans cette synthèse sont celles aux stations ayant un historique long, fournies par l'association MIGADO ainsi que des indicateurs calculés par la Fédération de Pêche d'Ariège à partir de leurs données. Les données du Réseau de surveillance et d'Alerte du conseil Départemental de Haute-Garonne sont mobilisées pour la modélisation. Ces producteurs de données ainsi que l'ensemble des autres producteurs de données (notamment, pour 2023, la Fédération de Pêche de Haute-Garonne et la DREAL) participant à l'observatoire thermique et des acteurs impliqués dans le Groupe de travail sont ici remerciés pour leur participation à l'observatoire thermique des cours d'eau.

2 SYNTHÈSE ANNUELLE 2023

2.1 Tendances générales : température de l'eau

La station MIGADO du Bazacle présente un historique de mesure long, avec des données depuis 1994. Les données pendant la période où les températures de l'eau sont les plus élevées (Juillet à Septembre) permettent de visualiser la tendance récente des températures de l'eau estivales au Bazacle (Figure 1). Malgré quelques années sans données ou bien avec des données incomplètes (2010-2011, 2013, 2017), cette longue série est précieuse et permet désormais de mettre en évidence **une tendance statistiquement significative de hausse des températures de l'eau** (test de Mann-Kendall avec un intervalle de confiance de 95%).

Température de l'eau de la Garonne à Toulouse-Bazacle (moyenne Juillet-Septembre)
données MIGADO 1994-2023

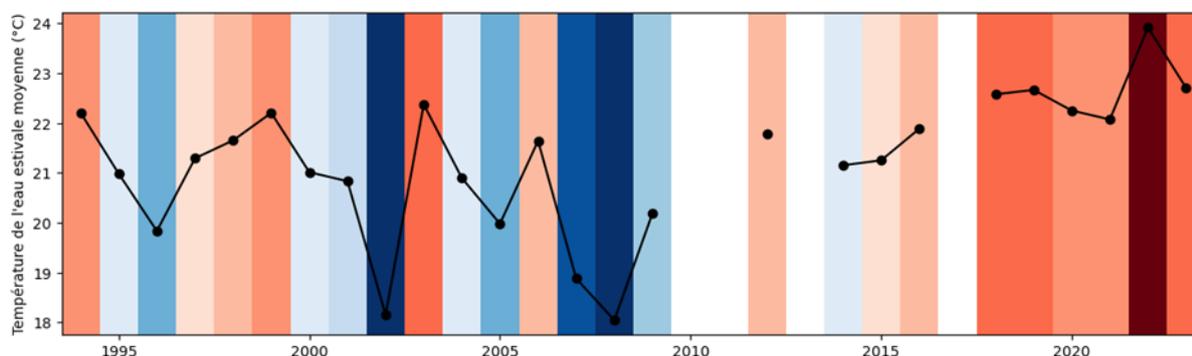


Figure 1. Température moyenne estivale de l'eau de la Garonne au Bazacle mesurée par la sonde MIGADO. Une couleur rouge /bleu indique des températures estivales supérieures / inférieures à la moyenne 1994-2023.

Pour estimer la hausse moyenne des températures de l'eau liée au changement climatique, il est cependant préférable de disposer d'une série de mesures plus longues et sans données manquantes. Comme cela a été discuté dans le rapport « Modélisation statistique et prévision de la température de l'eau – Avril 2023 ¹ », la température de l'eau peut être estimée à partir de la température de l'air. La température de l'eau de la Garonne à Toulouse sur la période où les températures sont les plus élevées (Juillet à Septembre) peut être modélisée à l'aide de l'équation :

$$Teau(J) = 0.745 Tair(J-4 \text{ à } J) + 5.0^{\circ}\text{C}^2$$

Où Teau(J) est la température de l'eau d'un jour J donné en Juillet, Août ou Septembre et Tair(J-4 à J) la température de l'air à Toulouse-Blagnac moyennée sur les jours J-4 à J inclus.

Cela permet alors de reconstituer un historique depuis 1949 (Figure 2), avec une tendance à la hausse des températures très marquée malgré un été 1949 particulièrement chaud pour l'époque. Sur la période complète la hausse des températures ainsi reconstruites était de

¹ Rapport téléchargeable sur le site garon'amont : https://garonne-amont.fr/wp-content/uploads/2023/06/230427_RAP_EAUCEA_ObservatoireThermique_Modelisation-prevision.pdf

² Cette équation diffère de celle présentée dans le rapport « Modélisation » téléchargeable ici <https://garonne-amont.fr/amenager-le-territoire/observatoire-des-milieus-aquatiques/> car la régression linéaire a ici été effectuée à partir de l'ensemble des données MIGADO disponibles au Bazacle en se restreignant cependant à la période de Juillet à Septembre (donc en excluant les mois de Juin).

+0.30°C environ par décennie. Des équations différentes peuvent être utilisées par exemple en utilisant la sonde du RSA ou encore en incluant le débit, mais cela n'a que peu d'impact sur la tendance moyenne.

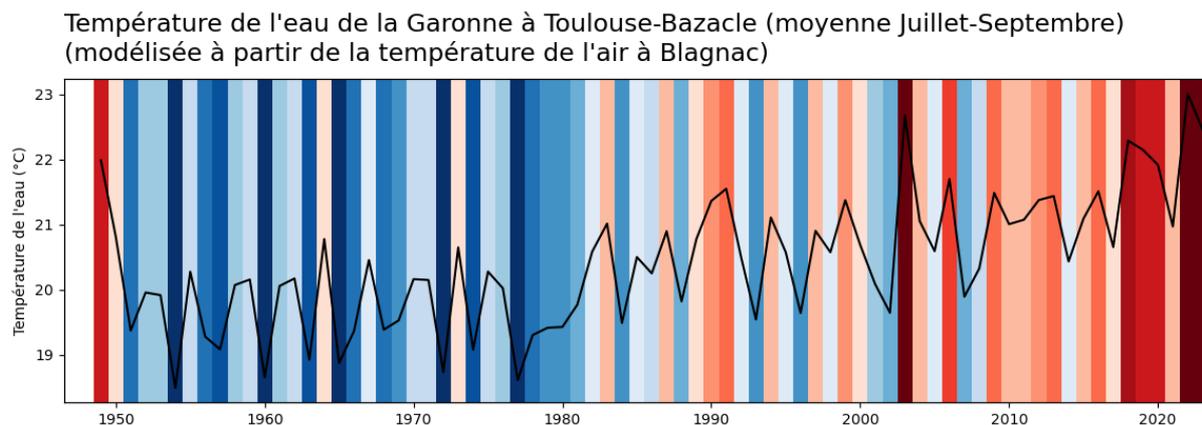


Figure 2. Température moyenne estivale (Juillet à Septembre inclus) de l'eau de la Garonne au Bazacle reconstruite à partir des données de températures moyennes de l'air à Toulouse-Blagnac (données : opendata Météo-France). Une couleur rouge /bleu indique des températures estivales supérieures / inférieures à la moyenne 1981-2010.

2.2 Généralités : Précipitations et températures de l'air en 2023

D'après les données Météo-France à la station de Toulouse-Blagnac, l'année 2023 est proche de la moyenne 2000-2021 en termes de précipitations annuelles (600 mm à Toulouse-Blagnac, contre 608 mm en moyenne 2000-2021), mais cela masque de fortes disparités mensuelles avec un mois de Juin 2023 particulièrement arrosé (+74 mm) suivi de plusieurs mois plus secs que la moyenne (-65 mm cumulés de Juillet à Octobre inclus).

Les températures dépassent les moyennes 2000-2021, chaque mois de l'année de Mars à Décembre, avec un été plutôt chaud en moyenne mais non exceptionnel (Figure 3) : 23.9°C en Juillet (+1.1°C) et 25°C en Août (+2.2°C, 3^{ème} mois d'Août le plus chaud jamais observé). Par contre les mois de Septembre est le plus chaud jamais observé (23.1°C, +3.4°C par rapport à 2000-2020) et les records absolus de température maximale et minimale journalière ont été battus à Toulouse le 23-24 Août 2023 (respectivement 42.4°C et 27.4°C, pour comparaison les précédents records étaient 40.7°C et 24.1°C).

Les températures à Palaminy (station Météo-France proche de Cazères) sont qualitativement comparables à celles de Blagnac (Figure 3). Les températures moyennes en Juillet et Août 2023 étaient élevées mais inférieures à celles de 2022, tandis qu'au contraire les températures moyennes de septembre étaient plus élevées en 2023 qu'en 2022. Les températures moyennes de Juin 2023 sont proches de celles de Juin 2022 aux deux stations considérées.

Sur les 3 mois le plus chaud de 2023 (Juillet à Septembre) les données SAFRAN³ de Météo-France montrent les habituels contrastes amont-aval, avec un signal de température dominé par le relief (cf. Figure 13 en annexe, p22). La comparaison avec les normales 1991-2020

³ Données météorologiques produites par Météo-France sur une grille 8km x 8km couvrant l'ensemble de la France. Ces données sont basées sur des observations mais aussi de la modélisation météorologique. Données téléchargeables sur : <https://meteo.data.gouv.fr/datasets/6569b27598256cc583c917a7>

calculées à l'aide des mêmes données SAFRAN (Figure 4) montrent que sur l'ensemble du territoire l'année 2023 a été plus chaude que la normale, avec les anomalies les plus fortes sur la partie la plus en amont à l'Ouest du territoire, ainsi que sur l'aval. Les anomalies les plus faibles sont observées au centre du territoire dans la région de Saint-Gaudens. Sur la période Juillet à Septembre, la majeure partie du territoire est plus froide qu'en 2022, mais les secteurs le plus en amont sont plus chauds que 2022 (Figure 14 en Annexe).

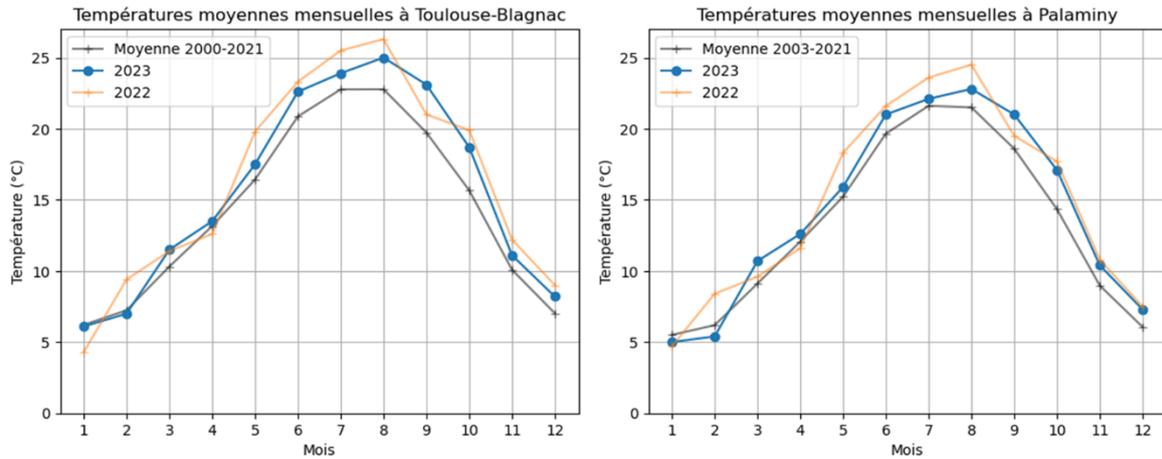


Figure 3. Températures mensuelles moyennes aux stations Météo-France de Toulouse-Blagnac et de Palaminy (entre Cazères et Martres-Tolosane), en 2022 et 2023, ainsi qu'en moyenne sur l'historique récent.

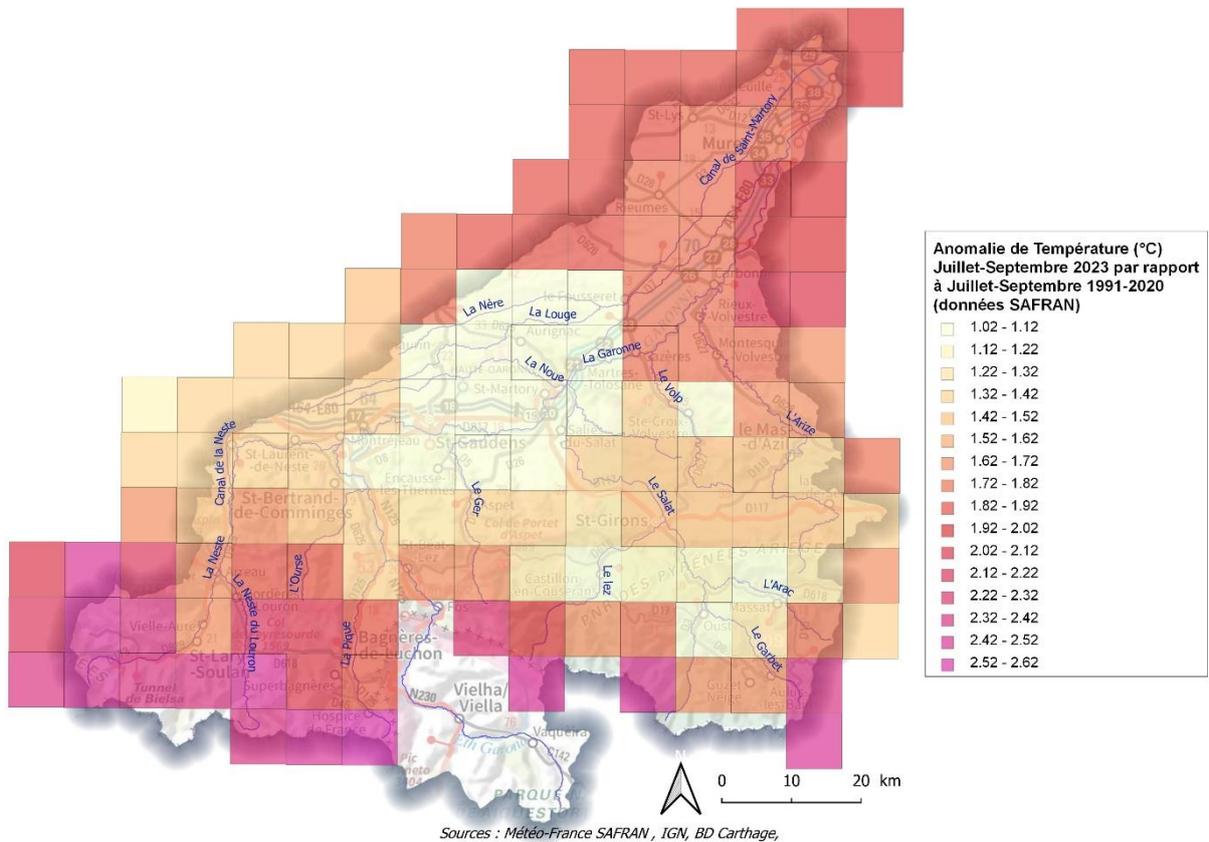


Figure 4. Anomalies de températures de l'air (°C) en Juillet-Septembre 2023 par rapport à la moyenne Juillet-Septembre 1991-2020.

2.3 Synthèse des observations de température de l'eau en 2023

Les températures de l'eau en 2023 furent élevées mais pas aussi exceptionnelles qu'en 2022.

2.3.1 Dépassements de seuils

Sur la Garonne au Bazacle 14 dépassements du seuil de 25°C en moyenne journalière ont été observés par la sonde MIGADO contre un record absolu de 38 dépassements de seuils en 2022 (Figure 5). A Carbone 7 dépassements du seuil de 25°C sont observés en moyennes journalières (record : 13 dépassements en 2006, et 9 dépassements en 2022). En considérant le nombre de journées où la température (au pas horaire) dépasse au moins une fois 25°C, on obtient 21 jours de dépassements au Bazacle (contre 46 en 2022) et 10 jours à Carbone (contre 19 en 2022).

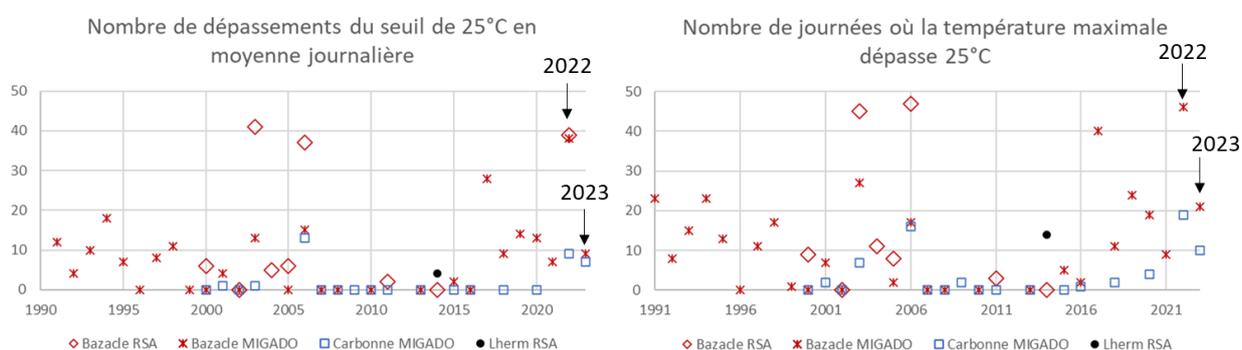


Figure 5. Nombre jour où la température de l'eau dépasse 25°C en moyenne journalière (gauche) et en maximum journalier (droite)

Les données de la sonde MIGADO de Valentine sont problématiques en 2023 avec 98 dépassements du seuil de 19°C (critique pour la truite Fario) en moyenne journalière, soit plus de 3 fois plus qu'en 2022 (30 dépassements) malgré des températures de l'air qui ne sont pas exceptionnellement chaudes. Les données de la sonde DREAL de Valentine donnent 11 dépassements du seuil de 19°C en moyenne journalière et semblent plus réalistes (mais cette sonde ne dispose pas d'un historique long qui permette des comparaisons). Plus en amont, à Loures-Barousse, la température moyenne journalière a dépassé 19°C au cours de deux journées chaudes fin Aout (jamais mesuré par le passé) tandis que la température maximale journalière (au pas horaire) a dépassé 19°C au cours de 17 journées (record 2022 : 23 journées).

2.3.2 Températures moyennes sur plusieurs jours consécutifs

Les températures de l'eau ont été particulièrement élevées lors des journées caniculaires fin Aout, avec notamment un pic de température le 23/08/2023 au Bazacle avec un maximum de 28,2°C et 27,3°C en moyenne journalière d'après la sonde MIGADO. Ces valeurs s'approchent de celles de 2022 (28,4°C et 27,6°C respectivement). La carte des températures moyennes des 30 jours consécutifs les plus chauds (Figure 6) inclut les mêmes stations que celles présentées dans la synthèse 2022 lorsque les données sont disponibles. Les données issues des 3 stations thermiques DREAL disponibles sont également incluses, malgré des historiques courts. Cela

permet d'avoir notamment un point de comparaison à Valentine où la sonde MIGADO donne des résultats problématiques : elle enregistre une température maximale sur 30 jours consécutif de 22.1 °C (moyenne du 28/07 au 26/08/2024 inclus) tandis que la moyenne obtenue par la sonde DREAL sur la même période est de 18.7°C (Figure 6).

Les enregistrements MIGADO placeraient l'année 2023 très au-dessus de 2022 en termes de température de l'eau à Valentine, et également dans une moindre mesure sur la Pique à Marignac. Cela ne peut pas être expliqué par les températures de l'air (cf. Annexe 4.1), de plus les chroniques journalières MIGADO à Valentine mesurent des températures systématiquement supérieures à celles de la sonde DREAL depuis début Juin 2023 (cf. Annexe 4.3) ce qui pourrait indiquer un problème de mesure (dérive de la sonde ?).

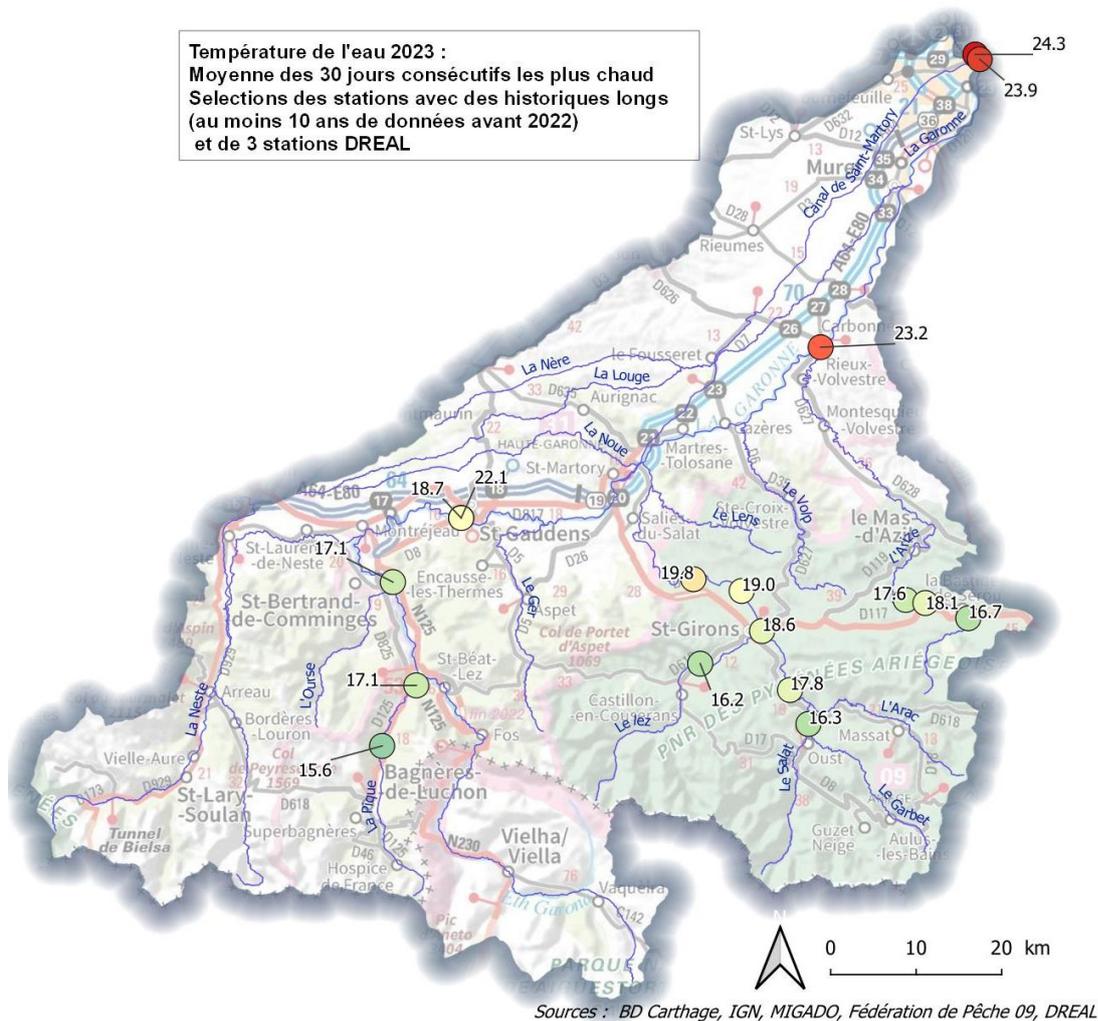


Figure 6. Carte représentant les températures de l'eau (°C) moyennes sur les 30 jours consécutifs les plus chauds de l'année 2023 (jours a priori différents d'une station à l'autre). Les stations représentées sont celles avec un historique long (même stations que dans la synthèse 2022) ainsi que 3 stations DREAL (à Valentine, à Toulouse-Pont Neuf et sur le Lez à Engomer).

Remarque suite à un échange avec MIGADO : Il semblerait que les sondes de Valentine et de Marignac surestiment la température. En effet une deuxième sonde placée au même endroit à Valentine donne des températures horaires 2.3°C à 3.6°C plus basses (entre le 5 Juillet 2023 et le 4 décembre 2023). Sur la Pique à Marignac, les données fournies pour les

deux sondes sur la période plus tardive de l'année (04/10/2023 au 10/01/2024) donnent là encore des températures systématiquement plus basses pour la deuxième sonde (de 0.3 à 1.1°C). Les résultats de ces sondes supplémentaires sont indiqués dans les figures et tableaux ci-après (« Valentine 2 » et « Marignac Pique 2 »).

Cependant, en considérant les sondes « 2 » là où les sondes « 1 » semblent erronées, les températures moyennes sur 30 jours consécutifs en 2023 ne sont que légèrement inférieures aux records de 2022 aux stations à l'amont de Valentine, tandis qu'à l'aval (Carbonne et Toulouse-Bazacle) elles sont nettement inférieures à celles de 2022 (Figure 7). De même aux stations de la Fédération de pêche d'Ariège, cet indicateur en 2023 est très inférieur à celui de 2022 à toutes les stations (Figure 8). Si cette observation correspond bien à une réalité physique (et pas à des biais de mesure en 2023) alors en termes de température de l'eau des 30 jours les plus chauds, le territoire se découpe en deux secteurs en 2023 :

- Les stations à l'amont de Valentine ayant enregistrées des températures proches de celles de 2022
- Les stations à l'aval de Valentine et celles sur le Salat et l'Arize ayant enregistrées des températures supérieures à la moyennes mais très inférieures à celles de 2022

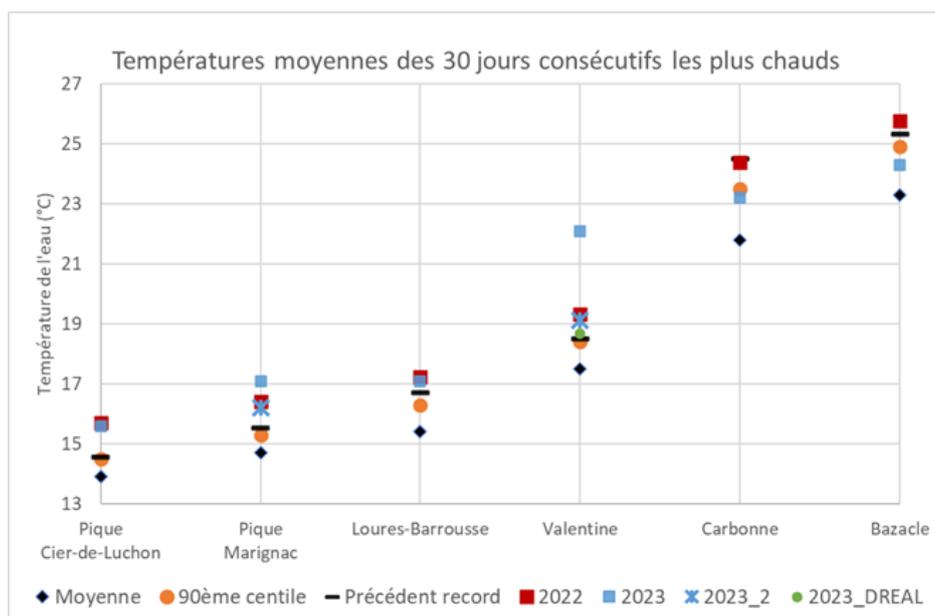


Figure 7. Températures moyennes des 30 jours les plus chauds aux stations sur l'axe Garonne – Pique, données MIGADO et données DREAL pour 2023 à Valentine. Aux stations de Marignac et de Valentine, deux sondes MIGADO sont installées aux mêmes endroits, l'indicateur issu de la deuxième sonde est indiqué « 2023_2 ». Les stations sont ordonnées de l'amont à gauche à l'aval à droite.

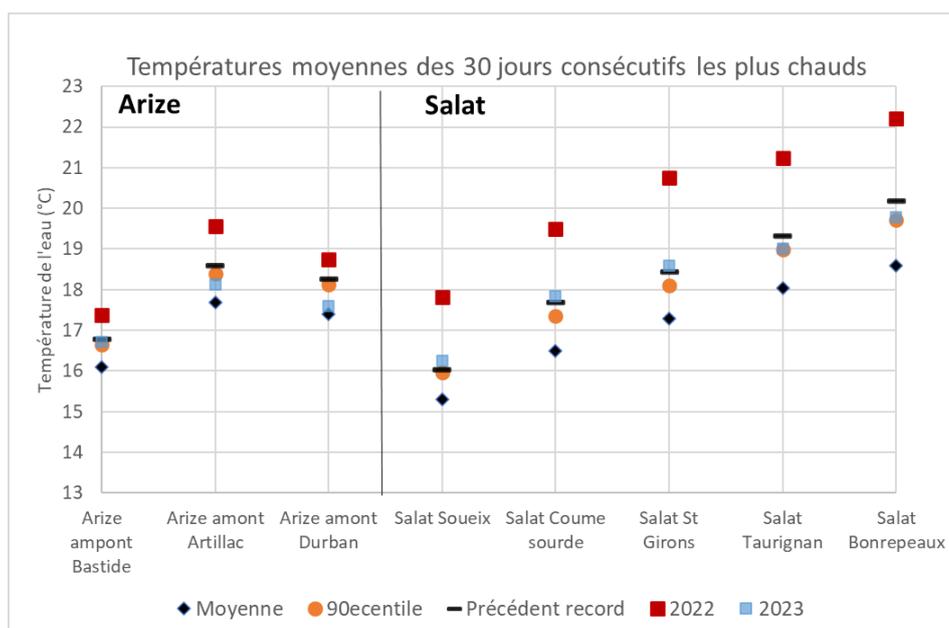


Figure 8. Températures moyennes des 30 jours les plus chauds aux stations de la Fédération de Pêche d'Ariège disposant d'un historique long. Sur chaque cours d'eau les stations sont ordonnées de l'amont à gauche à l'aval à droite. Sur l'Arize la station « amont Durban » est située à 2.3 km à vol d'oiseau à l'aval de la station « amont Artillac ».

Plus généralement, sur toutes les stations sauf au Bazacle les températures moyennes et les températures maximales moyennes du jours le plus chaud et des 7 jours consécutifs les plus chauds dépassent celles de 2022 (Tableau 1 et Tableau 2). (Tableau 1 et Tableau 2). Les valeurs élevées des indicateurs calculés sur 7 jours ou sur un seul jour s'expliquent par les fortes températures de l'air pendant 5 jours fin Aout, avec des records battus en termes de températures maximales diurnes (et de température minimale nocturne également).

2023	Teau_1J	Teau_7J	Teau_30J	Teau_1J	Teau_7J	Teau_30J	Nb jours	Nb jours	Nb jours	Nb jours
	moyenne (°C)	moyenne (°C)	moyenne (°C)	max (°C)	max (°C)	max (°C)	Tmoy > 19°C	Tmoy > 25°C	Tmax > 19°C	Tmax > 25°C
Cier de Luchon	17.6	17.1	15.6	19.8	19.2	17.4	0	0	5	0
Marigac Pique 1	19.2	18.7	17.1	20.1	19.7	18.1	2	0	10	0
Marigac Pique 2	18.4	17.9	16.2	19.4	18.9	17.3	0	0	4	0
Loures-Barousse	19.3	18.7	17.1	21.8	21.2	19	2	0	17	0
Valentine 1	24.2	23.6	22.1	26.1	25.5	23.5	98	0	125	6
Valentine 2	21.5	20.9	19.1	23.7	22.9	20.6	18	0	48	0
Valentine DREAL	21.1	20.5	18.7	23.0	22.3	20.1	11	0	39	0
Carbonne	26.9	25.9	23.2	27.2	26.6	24	97	7	106	10
Bazacle	27.3	26.4	24.3	28.2	27.1	24.8	108	14	116	21

Tableau 1. Indicateurs 2023 calculés aux stations MIGADO disposant de plus de 10 années de données. Pour Valentine les indicateurs à la station DREAL sont également indiqués. **ATTENTION : les indicateurs aux stations Valentine 1 et Marignac Pique 1 sont très probablement surestimés.**

	Différence 2023 - 2022									
	Teau_1J moyenne (°C)	Teau_7J moyenne (°C)	Teau_30J moyenne (°C)	Teau_1J max (°C)	Teau_7J max (°C)	Teau_30J max (°C)	Nb jours Tmoy > 19°C	Nb jours Tmoy > 25°C	Nb jours Tmax > 19°C	Nb jours Tmax > 25°C
Cier de Luchon	+1.0	+0.8	-0.1	+0.8	+0.7	-0.3	0	0	+5	0
Marigac Pique 1	+1.7	+1.5	+0.7	+1.6	+1.7	+0.7	+2	0	+10	0
Marigac Pique 2	+0.9	+0.7	-0.2	+0.9	+0.9	-0.1	0	0	+4	0
Loures-Barousse	+1.1	+0.7	-0.1	+1.4	+1.2	-0.1	+2	0	-6	0
Valentine 1	+3.7	+3.4	+2.8	+3.5	+3.2	+2.3	+68	0	+62	+6
Valentine 2	+1.0	+0.7	-0.2	+1.1	+0.6	-0.6	-12	0	-15	0
Carbonne	+1.0	+0.4	-1.2	+0.5	+0.4	-1.0	+3	-2	+6	-9
Bazacle	-0.3	-0.3	-1.5	-0.2	-0.3	-1.6	-6	-24	-7	-25

Tableau 2. Différences entre les indicateurs 2023 issus du Tableau 1 et les indicateurs calculés pour 2022 (cf. rapport de synthèse 2022). **ATTENTION : les indicateurs aux stations Valentine 1 et Marignac Pique 1 sont très probablement surestimés.**

Les températures moyennes sur les 30 jours les plus chauds issus des données et calculs de la fédération de pêche d'Ariège donnent des valeurs entre 0.7°C et 2.4°C en dessous de celles de 2022, mais néanmoins supérieures à la médiane, et même supérieures au 80^{ème} centile de l'historique pour les stations sur le Salat (Tableau 3).

Rivière	Lieu dit	Température de l'eau moyenne des 30 jours consécutifs les plus chauds (°C)				
		Indicateur 2023	Différence 2023-2022 (°C)	Historique antérieur à 2022		
				80e centile	Médiane	Moyenne
Arize	amont immédiat la Bastide (Centre Eq)	16.7	-0.7	16.6	16.2	16.1
Arize	amont immédiat conf Artillac Moulin Vic	18.1	-1.5	18.3	17.8	17.7
Arize	amont immédiat Durban	17.6	-1.2	17.9	17.4	17.4
Salat	Soueix station hydro	16.3	-1.6	15.8	15.4	15.3
Salat	Coume sourde (Qr Kercabanac)	17.8	-1.7	17.2	16.9	16.5
Salat	centre St Girons aval pont RG	18.6	-2.2	18.1	17.5	17.3
Salat	Taurignan Vieux panneau village RD	19.0	-2.2	18.7	18.2	18.1
Salat	Usine Cousinet à Bonrepeaux	19.8	-2.4	19.6	18.9	18.6

Tableau 3. Température moyenne de l'eau des 30 jours consécutifs les plus chauds de 2023 (« Teau_30j moyenne » ; indicateur calculé par la Fédération de Pêche d'Ariège) différence avec 2022 et statistiques sur l'historique antérieur à 2022.

Notons ici que si les températures **de l'air** des 30 jours le plus chauds en termes de température **de l'eau** sont partout plus faibles en 2023 qu'en 2022, il y a de fortes disparités sur le territoire (cf. Figure 15 en Annexe p23). Cependant elles ne semblent pas suffisantes pour expliquer à elles seules les différences entre les températures de l'eau proches de 2022 sur l'amont de Valentine, et celles bien plus faibles que 2022 sur le Salat et l'Arize.

2.3.3 Conclusions

D'après les indicateurs fournis par la Fédération de Pêche d'Ariège, la température de l'eau des 30 jours les plus chauds de 2023 est systématiquement significativement inférieure à celle de 2022 (-0.7 à -2.4°C) mais reste supérieure à la moyenne de l'historique, voir supérieure au 80^{ème} centile pour les stations du Salat et une station sur l'Arize. Sur la Garonne à Carbonne et au Bazacle, les températures moyennes des 30 jours les plus chauds sont également significativement en dessous de celles de 2022, par contre plus en amont sur la Garonne et sur la Pique des valeurs très proches de celles de 2022 sont mesurées (0.1 ou 0.2°C en dessous de 2022).

Les températures moyennes sur 1 jours et sur 7 jours les plus chauds ont dépassé ou égalé les valeurs de 2022 sur la Garonne et la Pique suite à l'épisode caniculaire record fin Août 2023.

Les problèmes de surestimations des températures (dérives des sondes ?) soulignent la nécessité (déjà mentionné dans le premier rapport sur l'observatoire thermique) d'avoir un pré-traitement des données effectué par les producteurs qui sont les mieux à même à suivre la qualité des sondes (et des sites de mesure) et à invalider les données le cas échéant.

Le réseau de stations est en cours de développement et des nouvelles stations vont être installées. Il faudrait mettre en place avec les producteurs de données une standardisation des procédures d'acquisitions (à heures fixes UTC) **et surtout de contrôle qualité (avec des procédures de contrôle des sondes et des sites par les producteurs, et avec un contrôle fréquent si possible pour les sondes télétransmises pour éviter des données manquantes ou aberrantes).**

3 PREVISIONS A TOULOUSE (BAZACLE)

Cette partie présente **les résultats des prévisions de la température de l'eau de la Garonne au Bazacle** lors de la campagne d'étiage 2023. Les prévisions de température de l'air effectuées par Météo-France entre le 25 juillet et le 14 septembre ont été archivées et sont mobilisées dans cette note, ainsi que les prévisions de débits effectuées dans le cadre du soutien d'étiage de la Garonne.

Les résultats présentés sont basés sur l'équation utilisée en temps réel pendant la campagne de soutien d'étiage, mais également sur d'autres équations possibles afin de discuter de leurs performances spécifiques pendant l'étiage 2023.

3.1 Equations utilisées

Les données de prévision de température de l'eau ont été affichées dans *E-tiage Garonne*⁴ en se basant sur l'équation suivante, pour une prévision au jour J (Eq. 2 du rapport « Modélisation statistique et prévision de la température de l'eau »)⁵:

$$T_{\text{eau}}(J) = 0.840 T_{\text{eau}}(J-1) + 0.052 T_N(J) + 0.11 T_X(J) - 0.0035 Q(J)$$

Cette équation est ensuite *itérée* pour une prévision jusqu'à J+3 (échéance à laquelle les prévisions de températures de l'air et de débit sont disponibles).

Une autre équation (Eq. 4 du rapport « Modélisation statistique et prévision de la température de l'eau ») n'utilisant pas le débit sera aussi évaluée dans cette note :

$$T_{\text{eau}}(J) = 0.855 T_{\text{eau}}(J-1) + 0.035 T_N(J) + 0.091 T_X(J)$$

Par ailleurs des équations n'utilisant pas la température de l'eau du jour J ont également été développées. Elles donnent généralement de moins bons résultats au moins aux échéances testées (jusqu'à J+3) et utilisent la température de l'air (T_{air}) moyennée sur plusieurs jours précédents. L'équation tenant compte du débit est :

$$T_{\text{eau}}(J) = 0,64 T_{\text{air}}(J-3 \text{ à } J) - 0,026 Q(J-4 \text{ à } J) + 10,1^{\circ}\text{C}$$

Et celle sans débit :

$$T_{\text{eau}}(J) = 0,83 T_{\text{air}}(J-4 \text{ à } J) + 3,44^{\circ}\text{C}$$

Les équations ci-dessus ont été développées à partir de données sur la période de juin à septembre et pour des débits moyens sur 8 jours inférieurs à 300 m³/s. Les travaux sur les données historiques ont par ailleurs montré que les résultats sont meilleurs pour des débits journaliers inférieurs à 500 m³/s. Ces conditions sur les débits à Portet-sur-Garonne ont été

⁴ E-tiage est un *service d'aide à la décision pour la gestion de la ressource en eau des rivières* développé par Eauce, EDF et Laëtis et déployé dans le cadre de la gestion de l'étiage de la Garonne (<https://garonne.e-tiage.com>).

⁵ Le coefficient de Tx a été arrondi à 0.11, la valeur obtenue lors de la régression était 0.105 ; cela ne fait pas une grande différence mais peut entraîner une surestimation de +0.2°C sur la température lors des extrêmes à 40°C

respectées sur la période du 1^{er} juillet au 31 octobre 2023. Lors de la réalisation de ces modèles en 2023 les données Météo-France étaient pour la plupart payantes, les données aux stations désormais gratuites permettent de vérifier les résultats (cf. Annexe 4.5 page 21).

3.2 Température de l'air et débit

L'été 2023 a vu se succéder fin août des journées très chaudes à Toulouse avec des températures maximales dépassant 40°C les 23 et 24 août 2023, ainsi qu'une température minimale supérieure à 26°C (record absolu de température minimale à Toulouse). Ces journées caniculaires se sont terminées avec un changement de temps et des précipitations sur le bassin versant conduisant à un pic de débit le 27 août 2023 (Figure 9).

Les erreurs de prévision Météo-France sont en moyennes plus faibles à J qu'à J+3, et peuvent atteindre plusieurs degrés⁶ aussi bien sur la température minimale journalière que sur la température maximale journalière (Figure 9 et Tableau 4)

⁶ Les températures de l'air minimales (TN) et maximales (TX) journalières *mesurées* à Toulouse-Blagnac sont fournies par Météo-France avec une résolution de 0.1°C (données accessibles publiquement via le site meteo.data.gouv.fr). Par contre les *prévisions* de températures TN et TX fournies dans le cadre du soutien d'été de la Garonne sont à une résolution de 1°C seulement. Les prévisions étaient par ailleurs disponibles assez tardivement généralement après 12h heure locale (voir à 15h) pour la prévision du jour J.

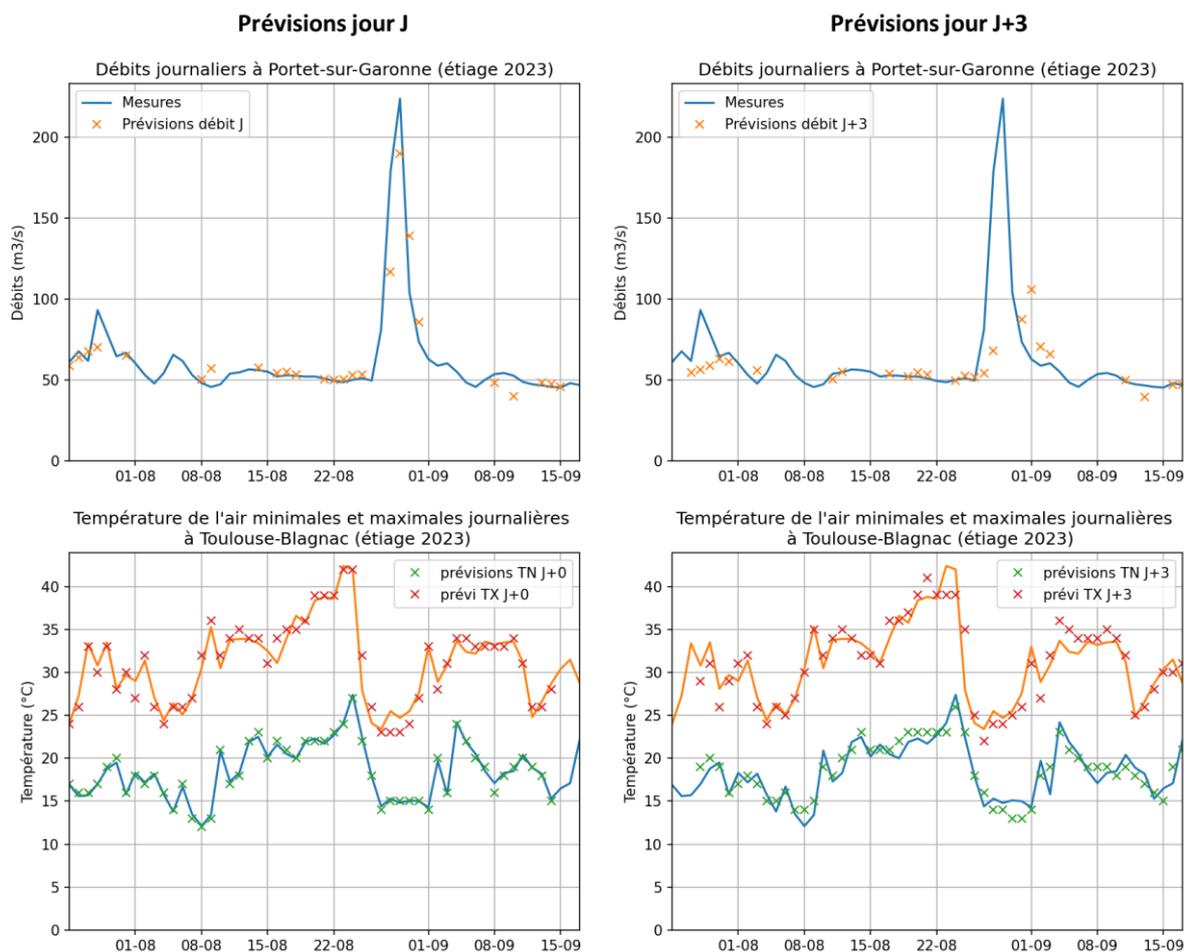


Figure 9. Débits (haut) et températures de l'air observées (lignes continues) et modélisées (croix).

Pour les débits, les erreurs les plus importantes sont observées lors du pic de débit du 27 août. Les erreurs moyennes se situent autour de 10 m³/s sur la période considérée (25/07/2023-17/09/2023), avec des erreurs relatives d'environ 8 – 10% en moyenne (Tableau 5). Soulignons ici que les prévisions de débits sont effectuées jusqu'à J+3 *seulement en semaine* (hors weekend et jours fériés, d'où des points manquants Figure 9). Pour une prévision de température de l'eau disponible chaque jour il faudrait donc utiliser une équation sans débit.

Tableau 4. Biais, erreurs et erreurs quadratiques moyennes (RMSE) des prévisions de température de l'air (Météo-France) sur la période 25/07/2023-17/09/2023.

	Température minimale TN (°C)				Température maximale TX (°C)			
	J	J+1	J+2	J+3	J	J+1	J+2	J+3
RMSE	0.33	0.91	1.17	1.27	1.17	1.28	1.41	1.71
erreur absolue moyenne	0.3	0.8	0.9	1.1	0.85	1	1.1	1.26
erreur minimum	-1.1	-1.4	-2.1	-2.1	-2.5	-1.6	-4.5	-3.4
erreur maximum	0.5	2.2	3.2	3.2	4.1	4.1	4.1	7.1

Tableau 5. Erreurs relatives (en valeur absolue) moyennes pour les prévisions de débits à Portet-sur-Garonne (jusqu'à J+2 seulement car les prévisions à J+3 ne sont pas systématiques)

	Erreurs J+00	Erreurs J+01	Erreurs J+02
Juillet	5%	8%	10%
Août	8%	10%	10%
Septembre	4%	7%	9%
Octobre	4%	8%	8%

3.3 Température de l'eau

3.3.1 Prévisions utilisant la température de l'eau de la veille

Les erreurs sur les prévisions de température de l'air et de débit vont entraîner des erreurs sur les prévisions de température de l'eau et s'ajouter aux erreurs inhérentes aux modèles statistiques linéaires.

Les résultats à partir de l'équation initiale (avec débit) tendent à surestimer les températures de l'eau, notamment lorsque la température de l'air est élevée. Cet effet est particulièrement marqué à partir de J+2 (Figure 10). Par contre, l'équation qui n'utilise pas le débit donne des résultats plus satisfaisant sur la période de temps considérée ici et permet de produire une prévision de température de l'eau chaque jour y compris lorsqu'aucune prévision de débit n'est disponible (Figure 11). Il apparaît donc que pour la période considérée (qui correspond à la période la plus chaude de l'année), une équation moins sensible à la température de l'air (coefficient des termes TN et TX plus faibles) est plus adaptée.

D1.2 Observatoire thermique – Modélisation et prévision température de l'eau

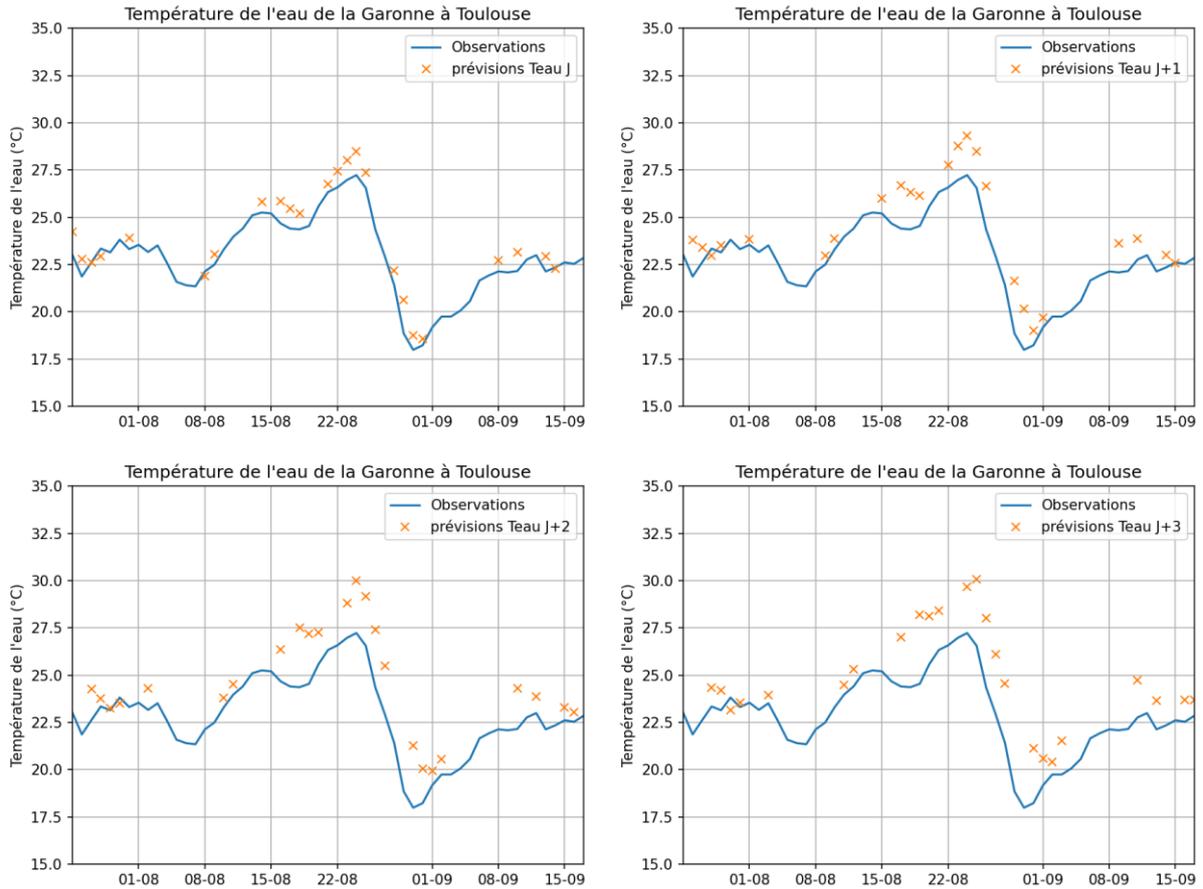


Figure 10. Température de la Garonne à Toulouse (Bazacle) mesurée et simulée à partir de l'équation utilisant les températures TN, TX et le débit : $Teau(J) = 0.840 Teau(J-1) + 0.052 TN(J) + 0.11 TX(J) - 0.0035 Q(J)$

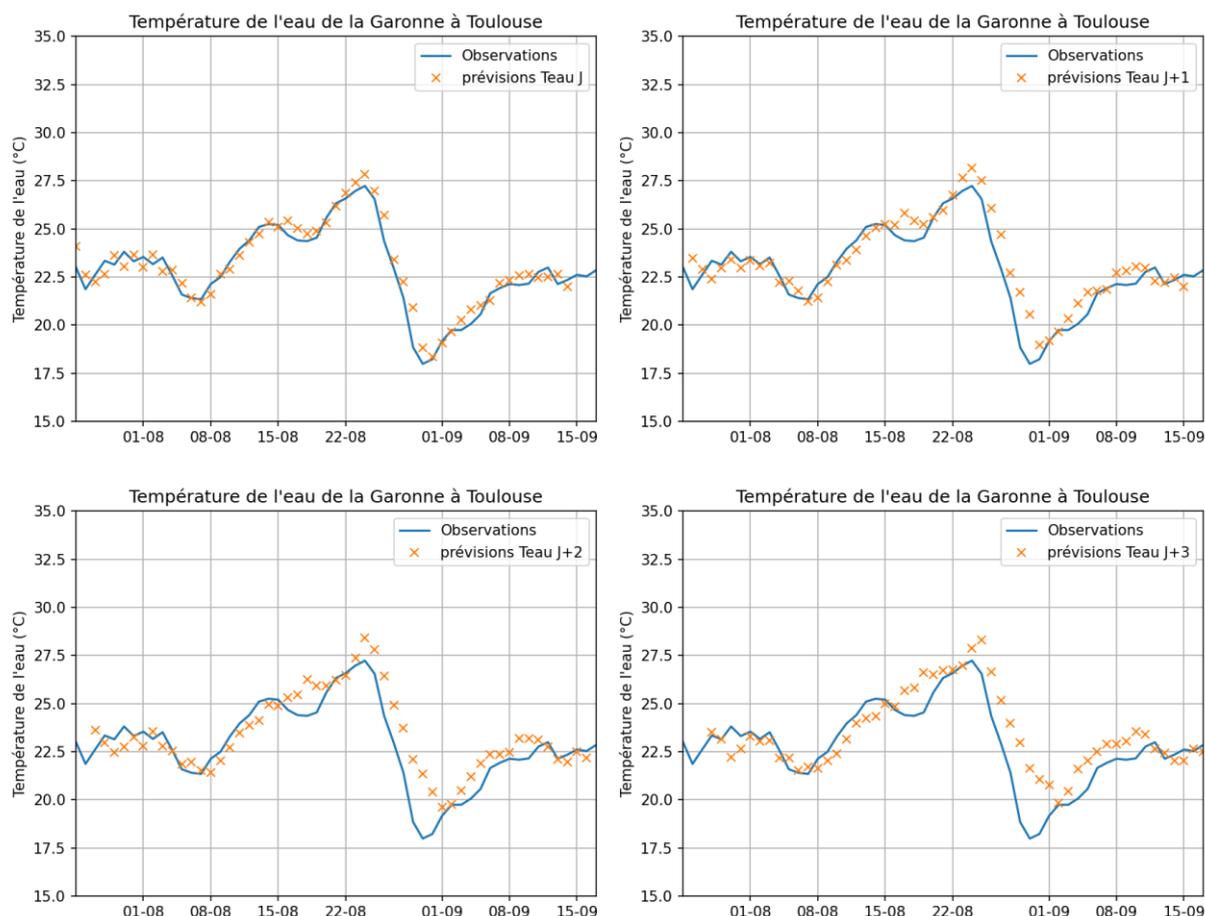


Figure 11. Idem que la Figure 10 mais avec des prévisions basées sur l'équation n'utilisant pas le débit : $Teau(J) = 0.855 Teau(J-1) + 0.035 TN(J) + 0.091 TX(J)$

Les résultats sont résumés dans le Tableau 6. Les chiffres ne sont pas directement comparables car l'équation avec les débits (Eq. 2) n'a pu être utilisée que pour 24 jours au total (ceux pour lesquels une prévision de débit était disponible et archivée) contre plus du double avec l'autre équation (Eq. 4). L'erreur quadratique moyenne (RMSE) à J+3 est de 1.3°C avec l'équation sans le débit contre 2.1°C avec l'équation utilisant le débit. Sur la période 88% du temps l'erreur est inférieure à 2°C avec l'équation sans le débit, contre seulement 60% du temps avec l'équation incluant le terme de débit.

Tableau 6. Résultats des prévisions de température de l'eau à différentes échéances à partir des équations avec (gauche, Eq 2) et sans (droite, Eq 4) débit, sur la période 25/07/2023-17/09/2023.

	Equation avec débit (Eq 2) utilisant les prévisions de TN, TX et Q				Equation sans débit (Eq 4) utilisant les prévisions de TN et TX			
	J	J+1	J+2	J+3	J	J+1	J+2	J+3
biais (°C)	+0.69	+1.23	+1.54	+1.77	+0.19	+0.35	+0.46	+0.56
RMSE (°C)	0.9	1.5	1.9	2.1	0.6	0.9	1.1	1.3
erreur absolue moyenne (°C)	0.8	1.3	1.6	1.8	0.5	0.7	0.8	1.0
erreur minimum (°C)	-0.4	-0.4	-0.3	-0.7	-0.8	-1.0	-1.1	-1.6
erreur maximum (°C)	1.8	2.8	3.3	3.7	2.1	2.9	3.4	4.1

Le Tableau 7 présente les mêmes résultats que le Tableau 6 mais en utilisant les données mesurées TN, TX et Q (au lieu des résultats de prévisions) donc sans données manquantes sur la période, permettant une comparaison plus directe entre les résultats des équations avec et sans débit. Les résultats (Tableau 7) confirment bien **les meilleures performances de l'équation sans débit lors de l'été 2023**, avec par exemple **une erreur quadratique moyenne de 1.1°C à J+3 contre 1.9°C avec l'équation sans débit**.

Des modèles de prévision spécifique pour une échéance donnée ont également été testés, mais leurs résultats ne sont pas meilleurs et ils donnent le même type de dépendance à la température de l'air que les modèles itérés (cf. Annexe 4.4 page 25).

Tableau 7. Idem que le Tableau 6 mais en utilisant les valeurs observées de TN, TX et du débits (au lieu des valeurs issues des prévisions faites en temps réel).

	Equation avec débit (Eq 2) avec valeurs mesurées de TN, TX et Q				Equation sans débit (Eq 4) avec valeurs mesurées de TN et TX			
	J	J+1	J+2	J+3	J	J+1	J+2	J+3
biais (°C)	+0.52	+0.95	+1.30	+1.61	+0.15	+0.29	+0.40	+0.51
RMSE (°C)	0.7	1.2	1.6	1.9	0.4	0.6	0.9	1.1
erreur absolue moyenne (°C)	0.6	1.0	1.3	1.6	0.4	0.5	0.7	0.8
erreur minimum (°C)	-0.5	-0.4	-0.2	-0.1	-0.7	-0.8	-1.0	-1.1
erreur maximum (°C)	1.8	2.6	3.2	3.7	1.0	2.0	2.7	3.2

3.3.2 Modélisations n'utilisant pas la température de l'eau initiale

Il peut être utile ici de faire un pas en arrière et de comparer les résultats de l'équation sans débit discutée précédemment, avec ceux des équations n'utilisant pas la température de l'eau initiale Teau(J-1). Les modélisations effectuées avec les températures de l'air et les débits mesurés permettent de représenter les grandes lignes des variations observées de température de l'eau mais sont en général moins bonnes que l'équation utilisant la température de l'eau au jour J-1. Les températures élevées début août sont assez bien

représentées par contre l'amplitude du pic le 23-24 août est surestimée, de même que la remontée des températures en septembre.

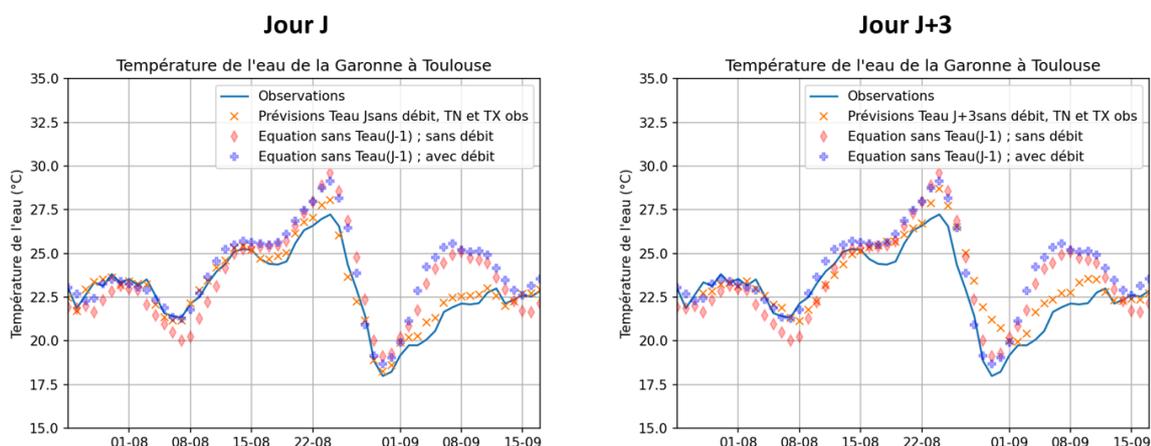


Figure 12. Résultat des modélisations n'utilisant pas la température de l'eau au jour J, et basées sur les températures et débits observés, comparés aux résultats à J et J+3 avec l'équation sans débit mais utilisant Teau(J-1). NB : par construction les équations sans Teau(J-1) donnent des résultats identiques quelle que soit l'échéance (J et J+3 ici).

Les pics de température très élevés comme celui du mois d'août pourraient être difficiles à prévoir car les données sont très peu nombreuses et ont donc peu de poids dans les régressions linéaires. L'utilisation d'équations linéaire est bien entendu également une limite, il se pourrait qu'au-delà d'un certain seuil des effets non linéaires viennent plafonner la hausse des températures de la Garonne au Bazacle : L'annexe 4.6 page 29 présente des modèles basés uniquement sur les températures de l'eau élevées et montre qu'ils sont moins sensibles à la température de l'air que ceux plus généraux présentés ici. Cependant, ces modèles ne sont pas forcément meilleurs pour une année particulière, et restreindre le jeu de données utilisé pour développer un modèle présente un risque de sur-paramétrisation.

3.4 Conclusions et perspectives

L'étiage 2023 était l'occasion d'un premier test en conditions réelles des prévisions de température de la Garonne à Toulouse. L'étude a souligné qu'**une équation donnant des résultats satisfaisants sur un jeu de données important peut produire des performances médiocres sur un jeu de données restreint** (une vingtaine de jours en l'occurrence). C'est une limite inhérente au type de modèle proposé. L'équation, plus simple, n'utilisant pas le débit donne par contre des résultats tout à fait satisfaisants et en accord avec ceux obtenus sur une période plus longue à l'aide de données historiques. De plus, des prévisions peuvent être réalisées tous les jours avec cette équation simplifiée.

Pour la suite, un archivage systématique des données de prévisions de température de l'air à minima de juillet à septembre devra être effectué dès la saison 2024 afin de disposer du jeu de données le plus complet possible à analyser. Il sera également essentiel de **mettre en place un « contrôle qualité » robuste, effectué par les producteurs de données afin d'éviter les problèmes de dérive de sondes ou de biais ainsi que de réduire autant que possible les données manquantes ou aberrantes dans les données télétransmises.**

Il pourrait être envisagé d'utiliser plusieurs équations différentes, soit simultanément soit en fonction des conditions, mais cette approche présente le risque de sur-paramétrisation qui pourrait entraîner des erreurs très importantes dans des cas spécifiques (par exemple températures élevées mais hausse des débits importante).

Le développement de prévision à échéance plus longue pourrait être envisagé en fonction de la disponibilité ou non des prévisions de température de l'air au-delà de J+3 et de leur bonne transmission sur *E-tiage Garonne*, différentes approches pourront alors être testées, mais quelle que soit celle retenue, les résultats se dégraderont plus l'échéance de prévision sera lointaine.

Les données de la sonde DREAL de Valentine devraient pouvoir être télétransmises pour l'été 2024, et des prévisions pourraient alors être fournies à Valentine. Cependant, cette sonde DREAL ne disposant pas d'un historique long l'équation de prévision sera celle développée pour la sonde MIGADO, bien que les deux sondes donnent parfois des résultats différents. Cela entraînera une source d'erreurs supplémentaire.

4 ANNEXES

4.1 Températures de l'air été 2023

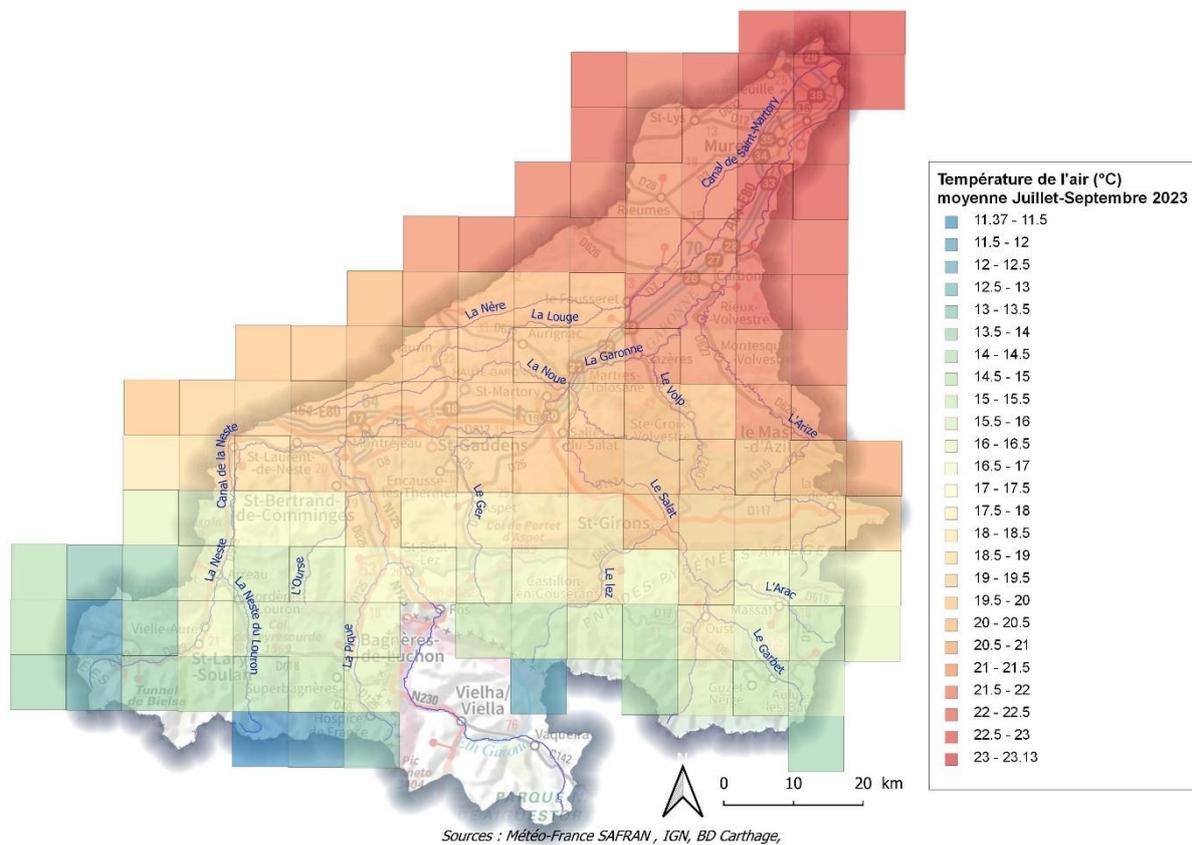


Figure 13. Température moyenne de l'air moyenne sur les 3 mois les plus chaud de 2023 (juillet à Septembre). Données : Météo-France SAFRAN.

D1.2 Observatoire thermique – Modélisation et prévision température de l'eau

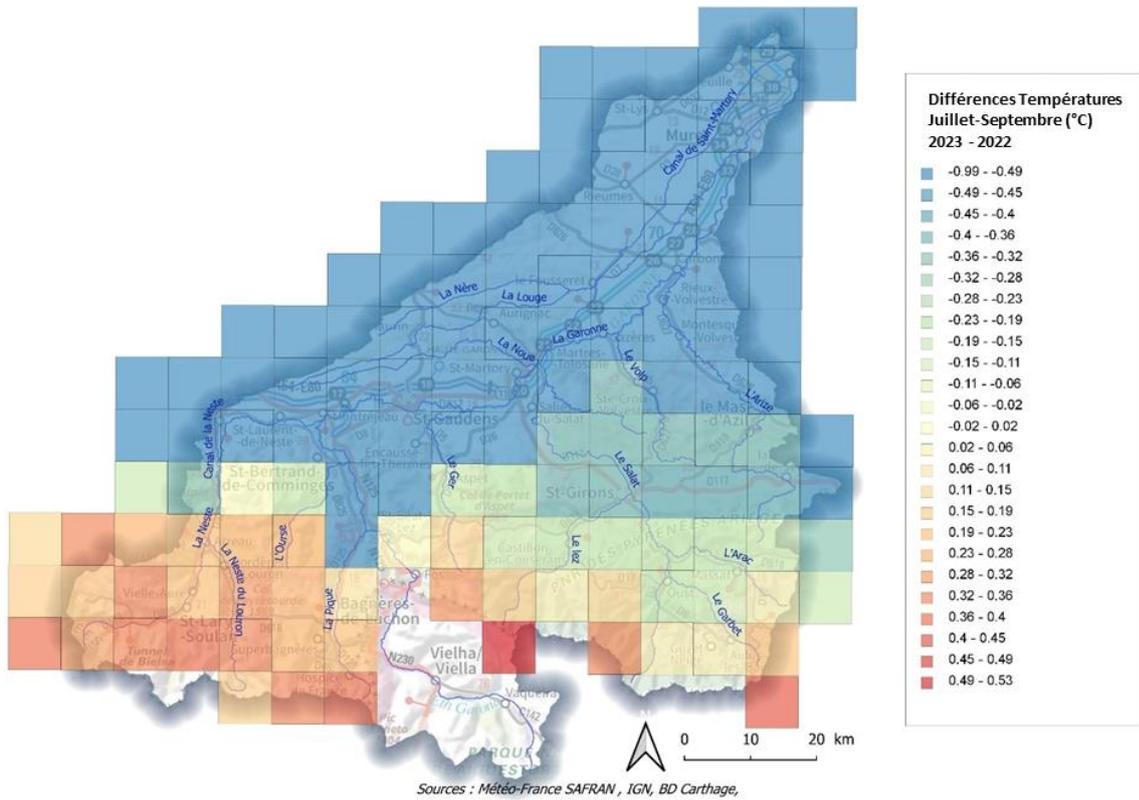


Figure 14. Différences de température de l'air moyenne sur la période Juillet-Septembre en 2023 – 2022.

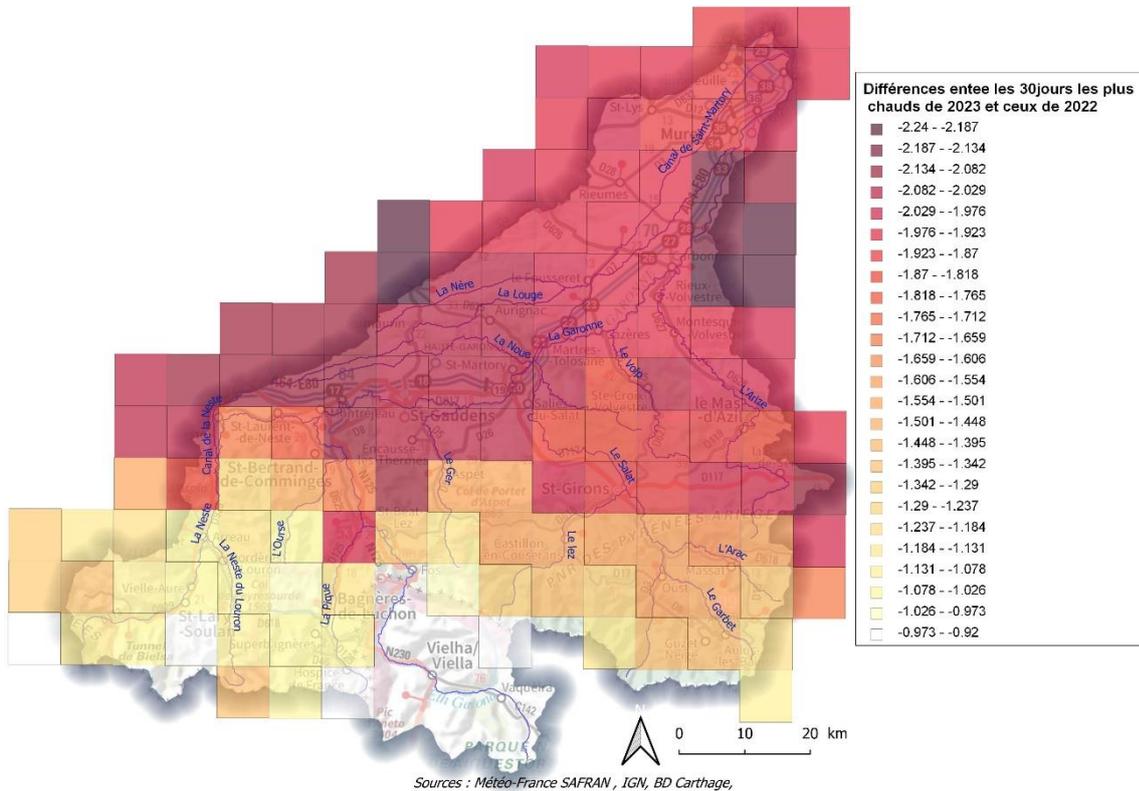


Figure 15. Différences de température de l'air entre la période 27/07/2023 au 25/08/2023 et 15/07/2022 au 13/08/2022. Ces deux périodes de 30 jours correspondent aux périodes où les températures moyennes de l'eau aux stations sur la Garonne amont et la Pique ont été les plus élevées.

4.2 Températures de l'air à Palaminy

Les températures de l'air enregistrées à Palaminy (entre Cazère et Martres-Tolosane) pendant l'été 2023 sont en moyennes mensuelles systématiquement inférieures à celles de 2022. Les données journalières (Figure 16) confirment que s'il y a bien eu 5 jours consécutifs très chauds (Température moyennes journalières $TM \geq 28^{\circ}\text{C}$) fin Août cela n'est pas suffisant pour expliquer des températures de l'eau sur 30 jours plus chaudes en 2023 que le maximum observé en 2022. Les températures de l'air moyennées sur 30 jours ne dépassent pas 23.1°C en 2023 alors qu'elles atteignent 24.8°C en 2022 et dépassent 23°C pendant plus d'un mois (Figure 17).

Ainsi, la température de l'air ne permet pas d'expliquer les températures de l'eau élevées observées par la sonde MIGADO de Valentine.

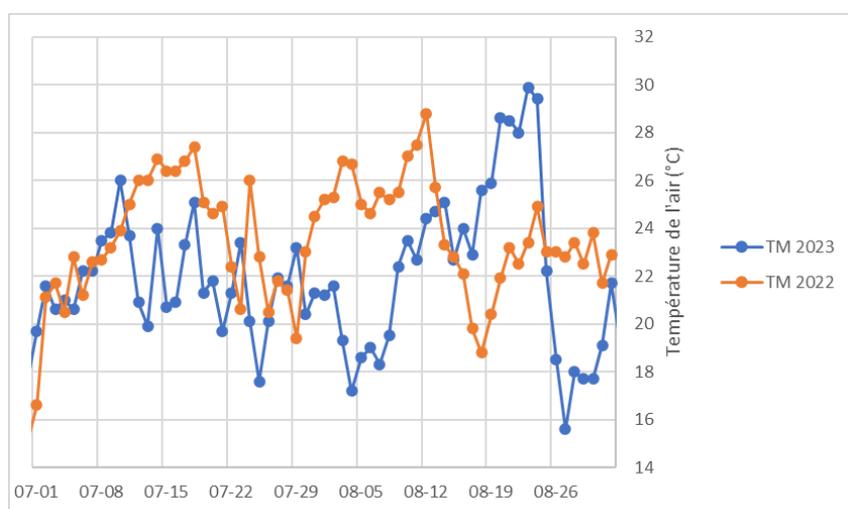


Figure 16. Température moyenne journalières de l'air à la station Météo-France de Palaminy (proche de Cazère).

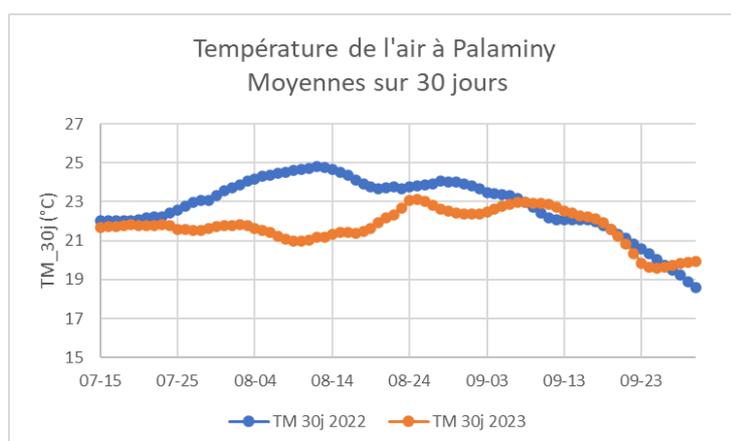


Figure 17. Température moyenne de l'air sur 30 jours glissants à la station Météo-France de Palaminy (proche de Cazère).

4.3 Comparaison des données MIGADO et DREAL à Valentine

La Figure 18 montre deux périodes où les données MIGADO sont systématiquement supérieures à celles de la sonde DREAL : de la mi-février à la mi-juin 2022 et de façon plus critique de début juin 2023 à fin décembre 2023. Les températures de l'air plus basses en 2023 qu'en 2022, ainsi que la hausse très rapide des températures de l'eau MIGADO en Juin 2023 incitent à penser à un problème de mesure. Cela a été confirmé par le producteur des données en comparant avec une autre sonde située au même endroit.

Les différences entre ces deux sondes sont une limite à garder à l'esprit lors de l'utilisation future d'une équation de prévision développée à partir des données MIGADO et appliquée à des données DREAL.

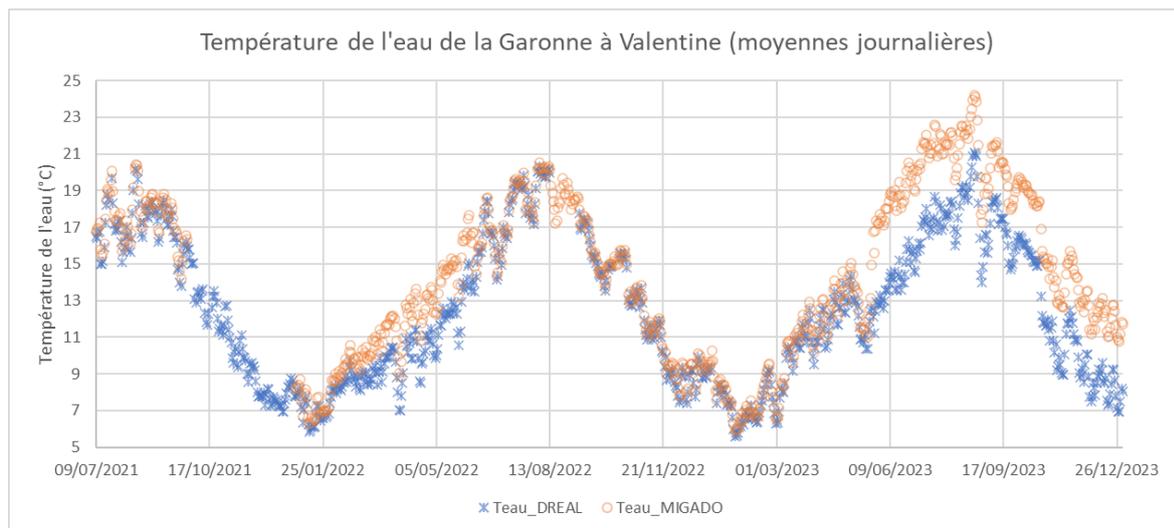


Figure 18. Température de l'eau journalière moyenne à Valentine, telle que mesurée par les sondes MIGADO et DREAL sur leur période de fonctionnement commun.

4.4 Modèles de prévision spécifiques à échéances données

Un modèle spécifique à J+2 a été obtenu par un ajustement par moindres carrés et donne :

$$\text{Teau}(J+2) = 0,63 \text{ Teau}(J-1) + 0,16 \text{ TN}(J+1 \text{ à } J+2) + 0,21 \text{ TX}(J+1 \text{ à } J+2) - 0,0062 \text{ Q}(J \text{ à } J+2)$$

Par rapport à 3 itérations du modèle pour J, dans cette équation le facteur sur la température de l'eau initiale (0.63) est légèrement supérieur à celui de 3 itérations successive de l'équation à J (c'est-à-dire $0.84^3=0.59$) par contre identique à celui issu de 3 itérations successives de l'équation sans débit ($0.855^3 = 0.63$).

Un modèle sans débit peut également être utilisé, une régression linéaire à partir des mêmes données que pour le modèle avec débit donne l'équation suivante :

$$\text{Teau}(J+2) = 0,65 \text{ Teau}(J-1) + 0,135 \text{ TN}(J+1 \text{ à } J+2) + 0,19 \text{ TX}(J+1 \text{ à } J+2)$$

Sur le jeu de données initial (données antérieures à 2022) cette équation donne des résultats légèrement moins bons (erreurs par rapport aux observations plus importantes en termes d'erreur absolue moyenne et de RMSE) que celle incluant l'influence du débit.

Les résultats du modèle spécifique à J+2 sont qualitativement très similaires à ceux du modèle itérés (Figure 19), avec un biais et des erreurs moins importantes dans le cas des modèles avec

débit, par contre avec des erreurs plus importantes pour le modèle spécifique à J+2 dans le cas du modèle sans débit (Tableau 8).

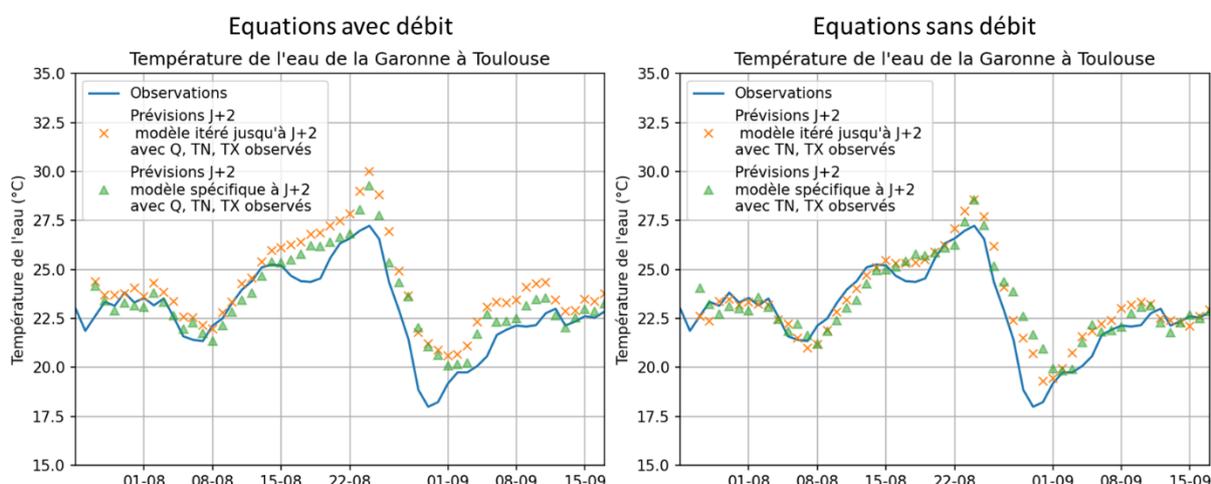


Figure 19. Prévisions de température de l'eau basées sur les températures de l'air (à J, J+1 et J+2), ainsi que sur la température de l'eau observée au jour J-1 (gauche : avec prise en compte du débit et droite sans prise en compte du débit), comparaison entre le modèle spécifique à J+2 (triangles verts) et le modèle à J itérés jusqu'à J+2 (croix orange).

Tableau 8. Résultats à J+2 avec le modèle itéré ou avec le modèle spécifique à J+2, période du 27 Juillet 2023 au 17 Septembre 2023. Résultats à comparés avec le Tableau 7.

	Avec débit		Sans débit	
	modele specifique J+2 (°C)	modèle itéré J+2 (°C)	modele specifique J+2 (°C)	modèle itéré J+2 (°C)
biais	+0.66	+1.30	+0.39	+0.40
RMSE	1.1	1.6	1.1	0.9
erreur absolue moyenne	0.9	1.3	0.8	0.7
erreur minimum	-0.8	-0.2	-1.0	-1.0
erreur maximum	3.2	3.2	3.8	2.7

Pour conclure, à une échéance de 3 jours (J+2 par rapport à une donnée au jour J) un modèle spécifique présente peu d'intérêt par rapport à un modèle itéré, n'entraînant aucune amélioration des résultats de modélisation lorsque le débit n'es pas pris en compte. Cela confirme les résultats obtenus sur le jeu de données « historique » à partir duquel les régressions linéaires ont été effectuées.

4.5 Impact des données météorologiques utilisées pour les régressions

Les équations présentées partie 3.1 (page 13) ont été obtenues à l'aide de données « SYNOP » de température de l'air à Blagnac car jusqu'à fin 2023 c'était les seules données Météo-France accessible gratuitement. Or depuis le 1^{er} Janvier 2024 Météo-France met à disposition

l'ensemble de ses données aux stations météorologiques (opendata Météo-France : meteo.data.gouv.fr). Les données ainsi accessibles sont très peu différentes des données SYNOP temps réel mais des différences existent, les données SYNOP étant celles transmises automatiquement pour les systèmes de prévisions internationaux. Les données SYNOP ne sont pas mises à jour a posteriori et peuvent donc contenir ponctuellement des données manquantes ou erronées (qui seraient alors corrigées et/ou complétées pour la bancarisation Météo-France, désormais disponible gratuitement).

L'objectif ici est de comparer les résultats obtenus avec ces deux jeux de données (« SYNOP » et « opendata-MF ») en termes d'équations issues de la régression linéaires et surtout de résultats comparés aux observations.

Avec ce nouveau jeu de données météorologiques les résultats des régressions linéaires sont modifiés. Ainsi l'équation avec débit deviens :

$$\text{Teau}(J) = 0.849 \text{ Teau}(J-1) + 0.073 \text{ TN}(J) + 0.087 \text{ TX}(J) - 0.0034 \text{ Q}(J)$$

Tandis que celle sans le débit est :

$$\text{Teau}(J) = 0.86 \text{ Teau}(J-1) + 0.055 \text{ TN}(J) + 0.075 \text{ TX}(J)$$

Pour chacune de ces équations, l'utilisation de données de meilleure qualité pour TN et TX (qui avait dû être recalculés à partir de données SYNOP parfois incomplètes) entraîne comme attendu peu de changements sur les coefficients de Teau et Q, mais des changements significatifs sur les coefficients de TN et TX. Plus spécifiquement le poids de TN augmente et celui de TX diminue.

Cependant ces deux effets se compensent pour l'essentiel et les résultats sont très similaires (Figure 20). Ainsi, sans grande surprise, **l'utilisation des données SYNOP « temps réel » ou des données mise à disposition de façon différées dans le cadre de l'opendata Météo-France n'a donc pas d'impact significatif sur la qualité de la modélisation de la température de l'eau.**

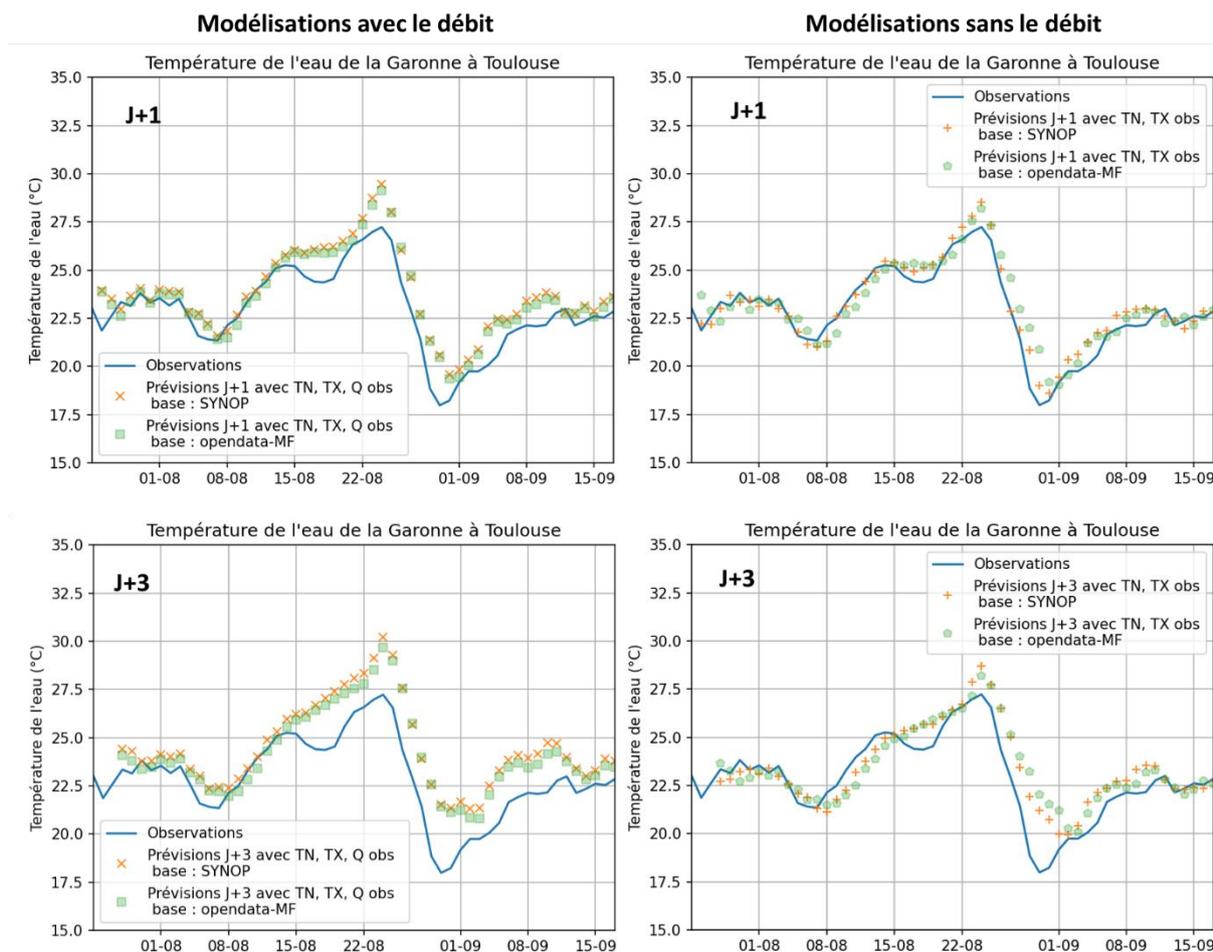


Figure 20. Comparaison des résultats des équations établies à partir soit des données « SYNOP » (orange) utilisées dans la partie 3 de ce rapport soit à partir des données « opendata Météo-France » (vert) discutées dans cette annexe. Résultats à J+1 (gauche) et J+3(droite) pour les équations avec débit (haut) et sans débit (bas). Les débits et températures utilisés ici sont les valeurs observées.

Les modèles spécifiques à J+2 sont également modifiés de façon similaire, avec les équations suivantes (avec et sans débit) :

$$Teau(J+2) = 0,639 Teau(J-1) + 0,197 TN(J+1 \text{ à } J+2) + 0,186 TX(J+1 \text{ à } J+2) - 0,0060 Q(J \text{ à } J+2)$$

$$Teau(J+2) = 0,660 Teau(J-1) + 0,168 TN(J+1 \text{ à } J+2) + 0,169 TX(J+1 \text{ à } J+2)$$

De nouveau les modifications des coefficients sur TN et TX peut sembler conséquente mais leurs effets sur la température de l'eau modélisée sont in fine assez modérés, et n'apportent pas une amélioration par rapport aux équations obtenues à l'aide des données météorologiques SYNOP (Figure 21).

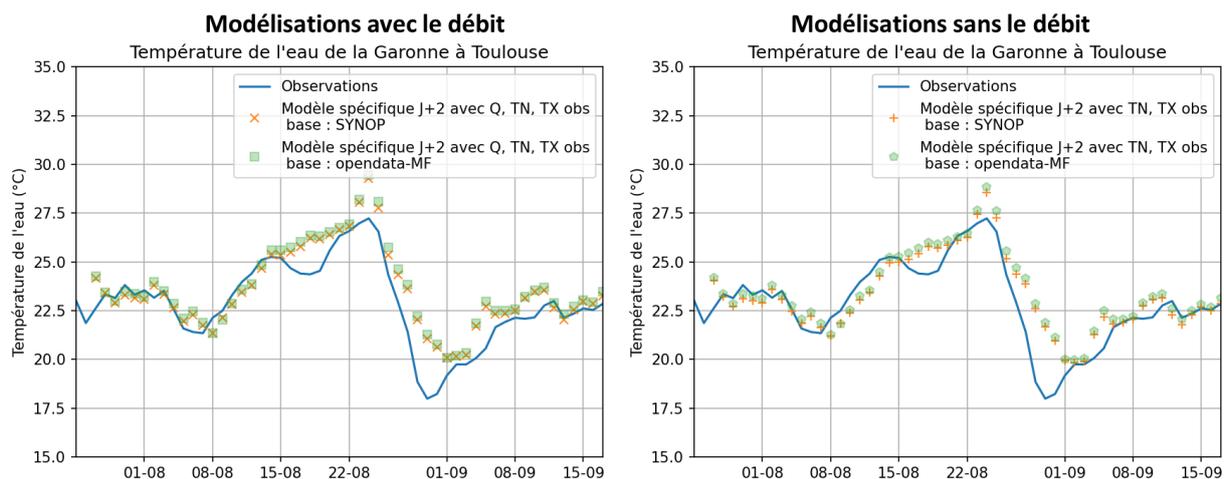


Figure 21. Comparaison des résultats des équations établies à partir soit des données « SYNOP » (orange) utilisées dans la partie 3 de ce rapport soit à partir des données « opendata Météo-France » (vert) discutées dans cette annexe. Résultats pour les équations spécifiques pour J+2 avec débit (haut) et sans débit (bas). Les débits et températures utilisés ici sont les valeurs observées.

4.6 Modèles Tair/Teau et températures élevées : exemple à partir des données MIGADO au Bazacle

L'historique des données MIGADO au Bazacle est le plus long de l'observatoire. En excluant les débits les plus élevés (débits moyens sur 8 jours supérieurs à 300m³/s), les équations permettant la modélisation des températures de l'eau sur la période de Juin à Septembre sont :

$$Teau(J) = 0.76 Tair(J-4 \text{ à } J) + 4.15 \text{ °C}$$

$$Teau(J) = 0.69 Tair(J-4 \text{ à } J) - 0.0226 Q(J-2 \text{ à } J) + 8.2 \text{ °C}$$

En se focalisant sur la période la plus chaude, c'est-à-dire en excluant le mois de Juillet à Septembre, les équations sont (sans impact du filtre sur les débits) :

$$Teau(J) = 0.745 Tair(J-4 \text{ à } J) + 5.0 \text{ °C}$$

$$Teau(J) = 0.71 Tair(J-4 \text{ à } J) - 0.0187 Q(J-2 \text{ à } J) + 7.2 \text{ °C}$$

Les données de Juillet à Septembre sur la période complète 1994-2023 sont représentées Figure 22. Les températures de l'eau élevées de 2022 semblent assez bien correspondre à l'équation proposée, par contre lors des deux journées les plus chaudes de 2023 la température de l'eau n'a pas dépassé 27.5°C.

Un changement de comportement aux températures élevées semble possible et incite à la prudence dans l'interprétation des résultats issu de modélisations, surtout lorsqu'il s'agit de projections climatiques. Certains résultats lors des journées les plus chaudes pourraient ne pas être appropriés.

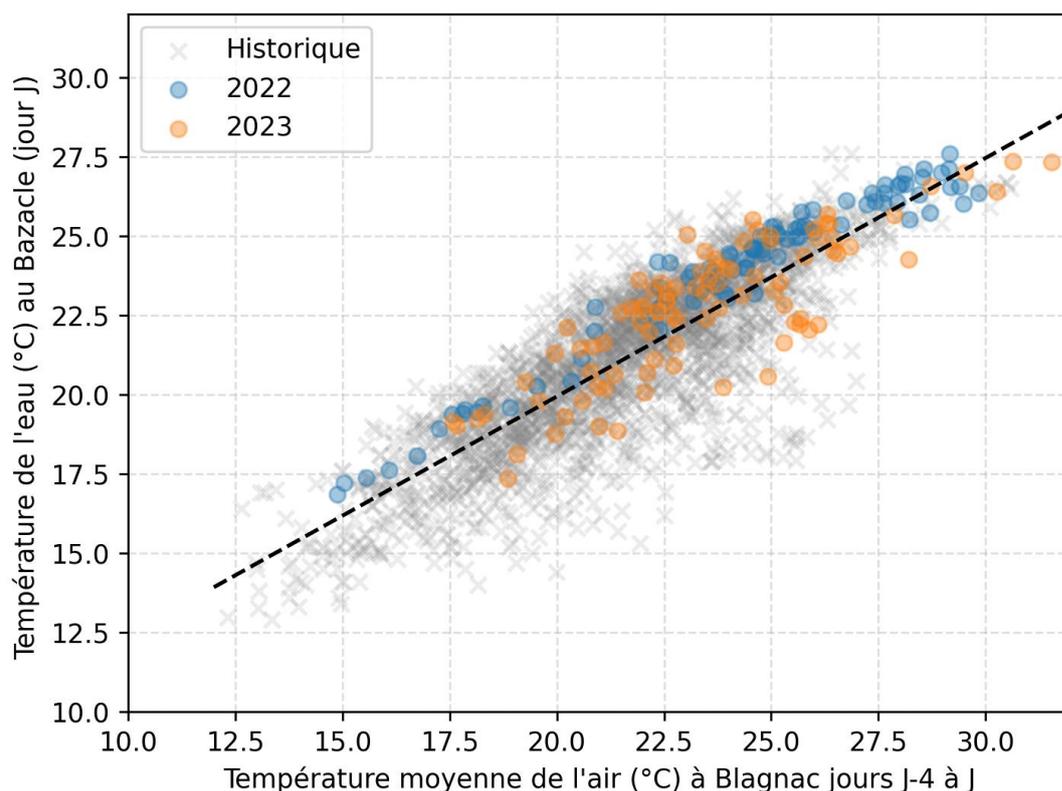


Figure 22. Température de l'eau de la Garonne à Toulouse (moyenne journalière jour J) mesurée par la sonde MIGADO de Bazacle sur l'historique 1994-2021 ainsi que sur les années 2022 et 2023 en fonction de la température de l'air moyenne de J-4 à J à la station Météo-France de Toulouse-Blagnac. La droite en pointillés correspond à l'équation $Teau(J) = 0.75 Tair(J-4 \text{ à } J) + 4.9 \text{ °C}$.

En sélectionnant les données journalières avec $Teau > 20 \text{ °C}$ (les 2/3 des données de Juillet à Aout, soit 1652 jours au total) l'équation sans le débit⁷ deviens alors : $Teau(J) = 0.56 Tair(J-4 \text{ à } J) + 9.8 \text{ °C}$, soit une diminution de 0.19 du coefficient sur $Tair$. Cela pourrait indiquer une influence de la température de l'air qui deviens moins importante lorsque la température de l'air est élevée⁸, cependant il est important de souligner que cette équation modifiée pour les températures élevée, si elle permettait des meilleurs résultats pour les jours caniculaires de 2023, donnerait plutôt des résultats dégradés en 2022 (Figure 23).

Cette analyse des données MIGADO au Bazacle mets en évidence que les années 2022 et 2023 étaient très différentes en termes de relation entre température de l'air et température de l'eau. L'approche basée sur une équation linéaire utilisant uniquement la température de l'air (ou même incluant le débit) est bien entendu trop simple pour traduire la complexité de l'ensemble des processus en jeu, mais elle permet la plupart du temps de fournir des prévisions correctes à quelques jours (en connaissant la température de l'eau au départ) voir d'illustrer les grades tendances futures, mais avec des incertitudes importantes surtout si un focus est fait sur des extrêmes.

⁷ Et l'équation avec le débit est également modifiée : $0.55 Tair(J-4 \text{ à } J) - 0.014 Q(J-2 \text{ à } J) + 11.0 \text{ °C}$

⁸ Si les choses sont complexe aux températures chaudes, cet effet est par contre observé très clairement aux températures basses : la température de la Garonne ne diminue plus significativement lorsque la température de l'air devient très basse.

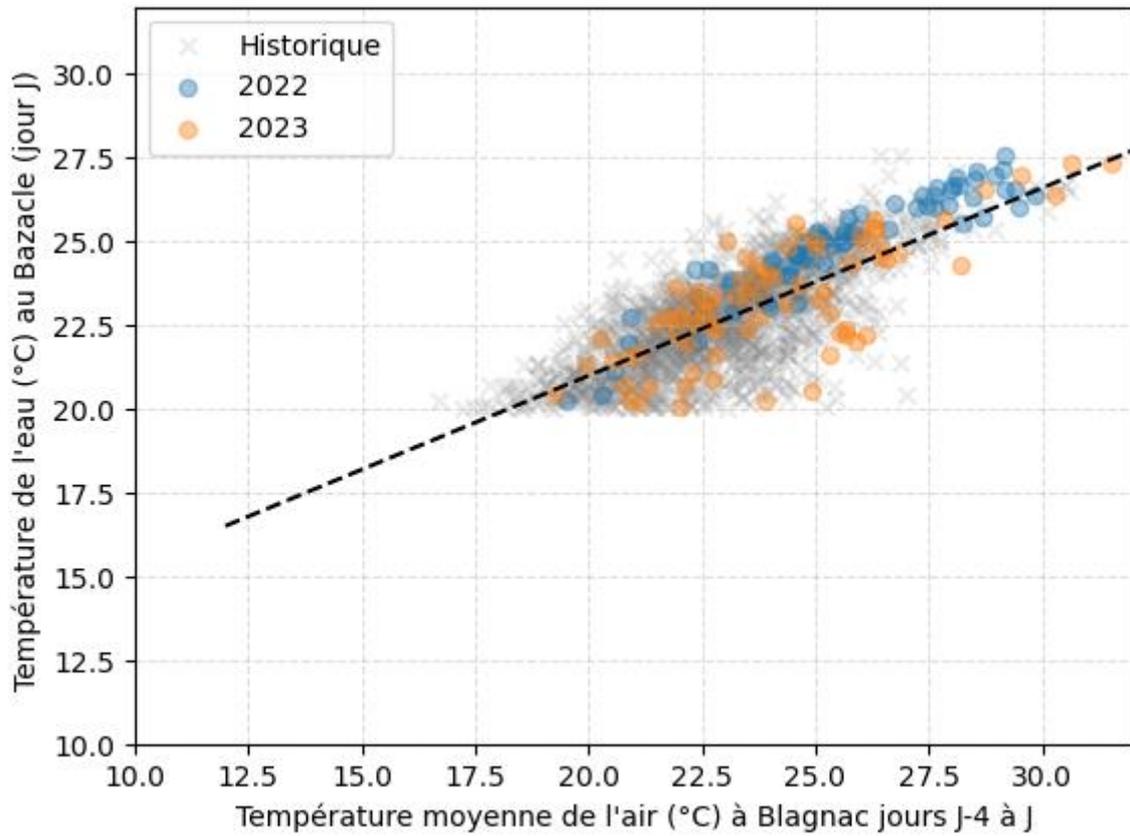


Figure 23. Idem que Figure 22 mais avec uniquement les données pour $T_{eau} > 20^{\circ}\text{C}$ et avec comme équation de la droite : $T_{eau}(J) = 0.56 T_{air}(J-4 \text{ à } J) + 9.8^{\circ}\text{C}$.