

Action D 1.2

Observatoire thermique des cours d'eau et des nappes alluviales

Bilan des prévisions de température de l'eau de la Garonne à l'étiage 2024

Novembre 2024



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

TABLE DES MATIERES

1	INTRODUCTION ET RAPPELS.....	3
1.1	Introduction	3
1.2	Température de la Garonne au Bazacle.....	3
1.3	Température de la Garonne à Valentine	3
2	PREVISIONS TEMPS REEL.....	4
2.1	Garonne à Toulouse Bazacle	4
2.2	Garonne à Valentine	6
3	REJEUX DES PREVISIONS	10
3.1	Résultats journaliers de juin à septembre 2024	10
3.1.1	Résultats globaux.....	10
3.1.2	Erreurs des modèles lors des pics de débits.....	10
3.2	Statistiques.....	12
4	ELEMENTS DE CONCLUSION	14

Avant-propos

Cette note présente un bilan des prévisions effectué en temps réel lors de l'été 2024 et mise à disposition sur la plateforme E-tiage Garonne¹. Elle est présentée dans le cadre des bons de commande n°5 du 31/05/2024 portant sur des modélisations dans le cadre de l'action D.1.2. Cette note se base sur les éléments déjà présentés dans deux rapports envoyés précédemment² (« Note technique : équations pour les prévisions de température de l'eau en temps réel à l'été 2024 » ainsi que la partie 3 et les Annexes du « Bilan année 2023 : Observations et prévisions », qui se rapportent également à ce même bon de commande). Par ailleurs, le rapport « Quels futurs pour la température de l'eau de la Garonne à Toulouse ? » se rapporte également à ce bon de commande, en présentant des éléments de modélisation non plus dans une perspective de prévision à quelques jours mais de projections à long terme sous l'effet des dérèglements climatiques.

¹ 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>).

² Les différents rapports sont disponibles sur le site <https://garonne-amont.fr/bibliotheque/?id=17-24-26>

1 INTRODUCTION ET RAPPELS

1.1 Introduction

Cette note présente le retour d'expérience de prévisions à l'été 2024. Dans la partie suivante, les résultats des prévisions en temps réel seront présentés. Puis, l'analyse sera prolongée par des rejeux de prévisions effectués en se basant sur les températures de l'air mesurées, cela permettant d'exclure l'effet des éventuelles erreurs de prévisions de température de l'air. Par ailleurs, ces rejeux permettent également de présenter des résultats plus complets, là où les prévisions temps réel ont parfois souffert de problèmes techniques (problèmes de récupérations et/ou d'archivage des prévisions Météo-France notamment).

1.2 Température de la Garonne au Bazacle

Les équations utilisées ont été développée sur la base de la période juin à septembre de l'historique des données de la sonde RSA du Bazacle, et présentées dans la « *Note technique : équations pour les prévisions de température de l'eau en temps réel à l'été 2024* ».

Pour les prévisions de J à J+3 inclus, l'équation suivante est itérée :

- $Teau(J) = 0.855 Teau(J-1) + 0.035 TN(J) + 0.091 TX(J)$

Avec TN(J) et TX(J) les températures minimales et maximales de l'air prévues à Blagnac par Météo-France, et Teau(J-1) la température moyenne au jour J-1 mesurée au Bazacle (RSA).

A partir de J+4, des équations spécifiques sont utilisées pour chaque échéance :

- $Teau(J+4) = 0.57 Teau(J-1) + 0.142 TN(J+1 \text{ à } J+4) + 0.382 TX(J+1 \text{ à } J+4) - 3.29^\circ C$
- $Teau(J+5) = 0.54 Teau(J-1) + 0.184 TN(J+2 \text{ à } J+5) + 0.366 TX(J+2 \text{ à } J+5) - 3.23^\circ C$
- $Teau(J+6) = 0.525 Teau(J-1) + 0.221 TN(J+3 \text{ à } J+6) + 0.356 TX(J+3 \text{ à } J+6) - 3.14^\circ C$
- $Teau(J+7) = 0.507 Teau(J-1) + 0.252 TN(J+4 \text{ à } J+7) + 0.343 TX(J+4 \text{ à } J+7) - 2.9^\circ C$
- $Teau(J+8) = 0.492 Teau(J-1) + 0.267 TN(J+5 \text{ à } J+8) + 0.337 TX(J+5 \text{ à } J+8) - 2.65^\circ C$

L'approche proposée initialement (dans la « note technique ») était d'utiliser l'équation itérée en *complément* des équations spécifiques pour J+4 à J+8. Cependant, cela aurait demandé des développements sur la plateforme *E-tiage*, qui doivent s'envisager le cas échéant dans une perspective beaucoup plus large d'évolution de *E-tiage Garonne*. **En conséquence, les prévisions « temps réel » présentées pour la Garonne à Toulouse (partie 2.1) se basent uniquement sur les équations spécifiques pour les échéances à partir de J+4, avec les limites et incertitudes associées.** L'utilisation de l'équation itérée au-delà de J+3 est discutée dans la partie 3.

1.3 Température de la Garonne à Valentine

L'équation $Teau(J) = 0.857 Teau(J-1) + 0.085 TX(J)$ est itérée de J à J+8 à partir de la température maximale de l'air TX prévue à la station Météo-France de Palaminy.

2 PREVISIONS TEMPS REEL

Les prévisions Météo-France n'ont été archivées sur *E-tiage* qu'à partir de début Juillet. Par ailleurs des problèmes de récupération et/ou archivage des données au Bazacle sont à l'origine de prévisions manquantes.

Pour information, les résultats sont présentés ci-après jusqu'en octobre (dans les graphiques), mais pour le calcul des statistiques seuls les résultats jusqu'à fin septembre sont utilisés, car les équations n'ont été développées que pour cette période-là.

2.1 Garonne à Toulouse Bazacle

Les Figure 1 et Figure 2 présentent les températures de l'eau moyennes journalières issues des mesures télétransmises en temps réel par la sonde RSA du Bazacle (envois automatisés vers la plateforme E-tiage) ainsi que les résultats des prévisions à différentes échéances. Ainsi, par exemple, les prévisions à J+3 pour la date du 10 Août 2024, sont celles qui ont été effectuée 3 jours avant (c'est-à-dire le 7 Août) à partir de la température de l'eau mesurées la veille (le 6 Août) et des prévisions Météo-France de température de l'air à Blagnac.

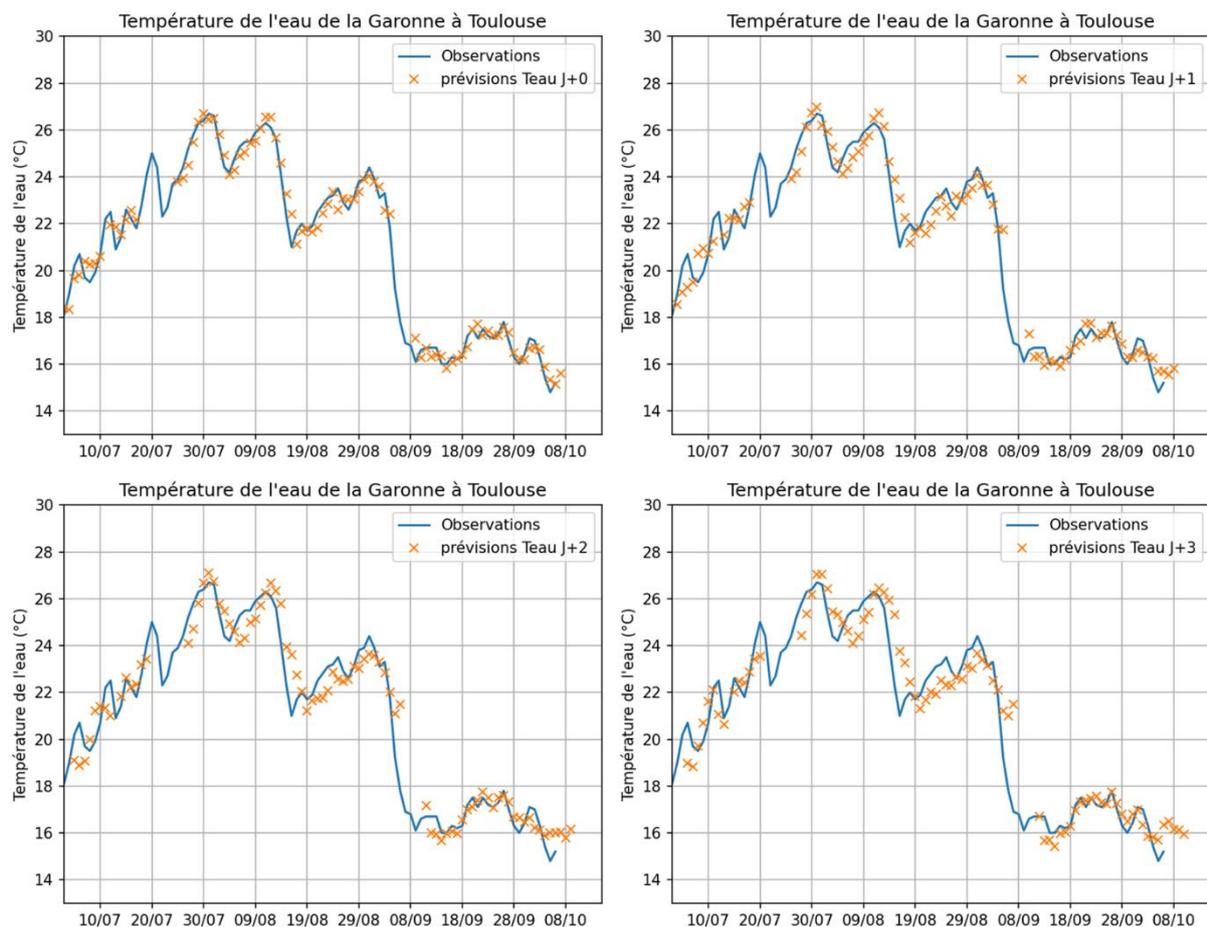


Figure 1. Résultats des prévisions de températures de l'eau de la Garonne au Bazacle, effectuées en temps réel pour les échéances J+0 à J+3, et comparées aux données d'observations (moyennées au pas journalier).

Retour d'expérience prévision température de la Garonne

On remarque que les équations utilisées pour les échéances J+4 à J+8 fonctionnent moins bien, notamment pour les pics de températures (chaudes ou froides) qui tendent à être sur-estimés ici (Figure 2). Cet aspect déjà souligné dans un précédent rapport peut permettre d'encadrer la fourchette des températures de l'eau possibles et donne de meilleurs résultats sur l'historique passé que l'équation itérée, mais il se trouve que ce ne fut pas le cas pour 2024. En conséquence les résultats statistiques sont dégradés à partir de J+4 (Tableau 1).



Figure 2. Idem que la Figure 1 mais pour les échéances J+4 à J+8 (chacune basées sur une équation de prévisions différente).

Retour d'expérience prévision température de la Garonne

Tableau 1. Résultats des prévisions de température de l'eau effectué en temps réel au Bazacle. Les valeurs du tableau sont calculées à partir de la différence $T_{prévue} - T_{mesurée}$ pour chaque échéance. La RMSE est la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne, définie comme $\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (T_{prévue_jour_i} - T_{mesurée_jour_i})^2}{N}}$ (N le nombre de jour ou prévision et observations sont disponibles sur la période juin-septembre).

Bazacle	Biais (°C)	RMSE (°C)	Erreur absolue moyenne (°C)	Erreur minimum (°C)	Erreur maximum (°C)
J+0	-0.01	0.46	0.37	-0.9	1.4
J+1	-0.01	0.7	0.54	-1.4	2.5
J+2	-0.01	0.89	0.65	-1.8	3.7
J+3	0.04	1.1	0.78	-1.7	4.6
J+4	0.59	1.5	1	-1.4	4.9
J+5	0.4	1.6	1.1	-1.6	5.1
J+6	0.51	1.8	1.3	-1.7	4.9
J+7	0.56	2.0	1.4	-1.9	6.4
J+8	0.63	2.2	1.5	-2.4	7.1

2.2 Garonne à Valentine

Les prévisions à Valentine, basées sur une équation très simple, ont donné des résultats très satisfaisant en 2024. Aux échéances courtes les pics de températures sont dans l'ensemble assez bien représentés (Figure 3) par contre, les résultats se dégradent aux échéances plus longues, avec des lissages de certains pics de températures ainsi que des décalages temporels (Figure 3 et Figure 4). Comme souligné dans les rapports précédents, cela traduit les limites de modèles statistiques simples qui fonctionnent mieux certaines années que d'autres et au sein d'une année donnée ont également des performances contrastées. Les performances moyennes sont assez bonnes avec par exemple une erreur quadratique moyenne de 1°C à J+5 (Tableau 2).

Retour d'expérience prévision température de la Garonne

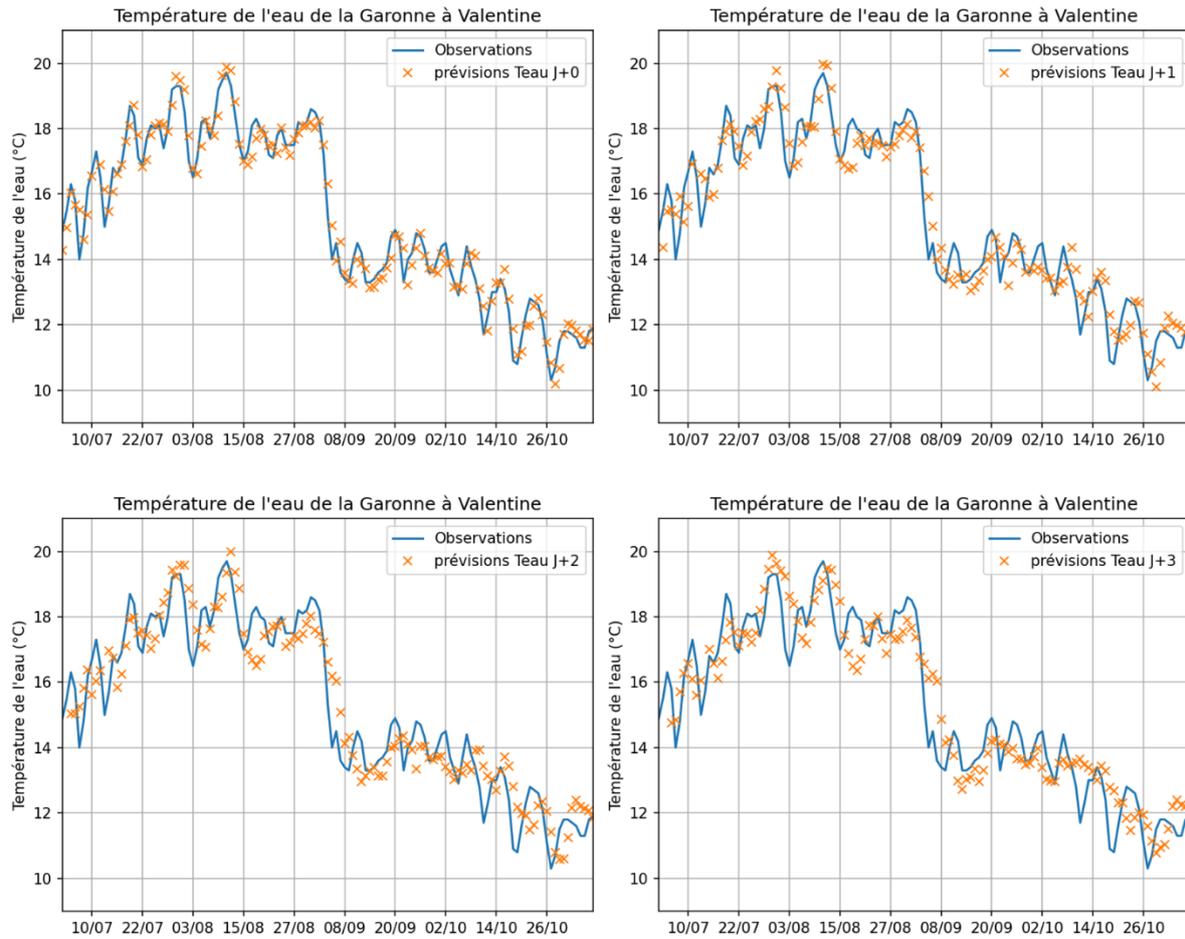


Figure 3. Résultats des prévisions de températures de l'eau de la Garonne à Valentine, effectuées en temps réel pour les échéances J+0 à J+3, et comparées aux données d'observations (moyennées au pas journalier).

Retour d'expérience prévision température de la Garonne

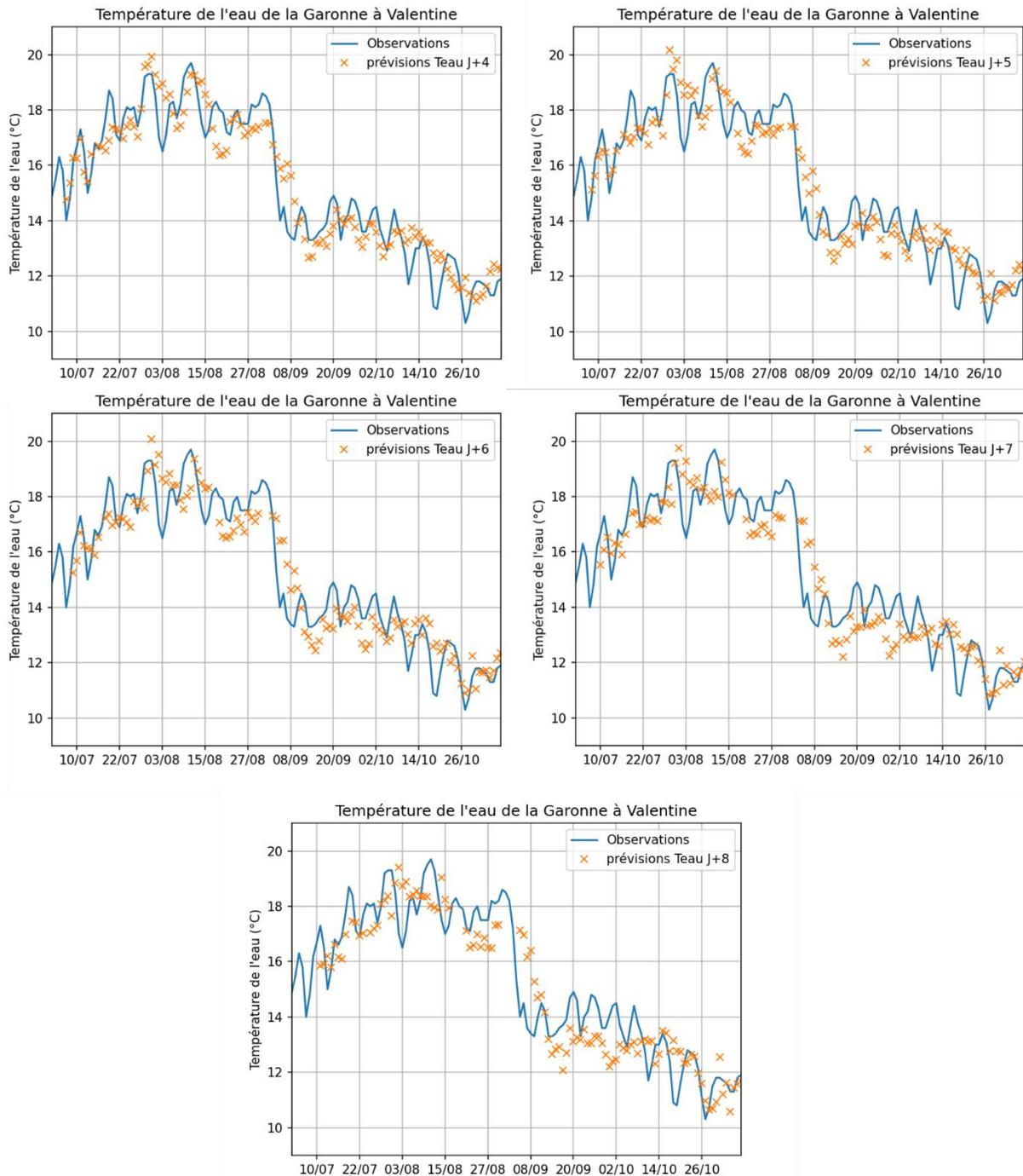


Figure 4. Résultats des prévisions de températures de l'eau de la Garonne à Valentine, effectuées en temps réel pour les échéances J+4 à J+8, et comparées aux données d'observations (moyennées au pas journalier).

Retour d'expérience prévision température de la Garonne

Tableau 2. Idem que le Tableau 1 mais ici pour les résultats des prévisions de température de l'eau de la Garonne effectué en temps réel à Valentine.

Valentine	Biais (°C)	RMSE (°C)	Erreur absolue moyenne (°C)	Erreur minimum (°C)	Erreur maximum (°C)
J+0	-0.05	0.49	0.38	-1.0	1.5
J+1	-0.08	0.74	0.6	-1.5	1.9
J+2	-0.09	0.86	0.7	-1.8	2.2
J+3	-0.07	0.92	0.75	-1.8	2.4
J+4	-0.1	0.93	0.75	-1.8	2.5
J+5	-0.14	1.0	0.8	-1.9	2.4
J+6	-0.19	1.1	0.9	-1.7	2.5
J+7	-0.21	1.2	1.0	-1.7	3.1
J+8	-0.24	1.2	1.0	-1.8	3.1

Afin de pouvoir comparer les performances en 2024 avec l'historique il convient d'éliminer l'effet des erreurs de prévisions de température de l'air en prenant les températures de l'air mesurées, c'est l'objet de la partie 3 ci-après.

3 REJEUX DES PREVISIONS

Des « rejeux » des prévisions de température de l'eau sont effectués à partir des équations utilisées en temps réel, mais en remplaçant les prévisions météorologiques par les mesures de températures de l'air aux stations Météo-France de Blagnac et Palaminy³.

3.1 Résultats journaliers de juin à septembre 2024

3.1.1 Résultats globaux

Dans l'ensemble les résultats sont qualitativement similaires à ceux des prévisions « temps réel » présenté dans la partie précédente.

Les graphiques montrent que l'utilisation d'équation itérées entraîne, notamment à partir de J+3, un « lissage » des prévisions à Valentine et dans une moindre mesure au Bazacle (Figure 5 et Figure 6). Au Bazacle, les résultats basés sur les équations spécifiques (utilisées pour les prévisions en temps réel et discutées dans les parties précédentes) à chaque échéance sont dans l'ensemble moins bons que ceux issus de l'équation itérée (Figure 7), cette dernière tendant à lisser les résultats là où au contraire les équations spécifiques tendent à intensifier certains maximums et minimums, et donc à produire des erreurs plus importantes.

3.1.2 Erreurs des modèles lors des pics de débits

Notons que la diminution forte des températures de l'eau de la Garonne au Bazacle observée aux alentours du 15-16 Aout 2024 (la température de l'eau passe de 26.3°C le 11 Aout à 21.0°C le 16 Aout, Figure 5 et Figure 7) n'est pas correctement prévue, et ce dès J+1 / J+2. Cela vient en partie de l'impact du débit, non pris en compte ici (et discuté dans les précédents rapports de l'observatoire thermique des cours d'eau) avec un pic de débit (instantané) à 353 m³/s à Portet sur Garonne dans la soirée du 14 Aout et des débits moyens journaliers élevés les 14 et 15 Août (184 m³/s et 211m³/s). Un phénomène similaire est observé en septembre (avec un pic de débit le 5 septembre, 349 m³/s en moyenne journalière) avec également des écarts importants entre prévisions et observations de température de l'eau.

En dehors de ces crues, comme mentionné précédemment, sur la période de juin à septembre 2024, les équations spécifiques tendent souvent à maximiser les maximums et minimums là où au contraire l'équation itérée donne des variations plutôt sous estimées⁴.

³ Données disponibles gratuitement sur <https://meteo.data.gouv.fr/>

⁴ Cette analyse effectuée ici sur la base de l'été 2024 seulement a été observée également dans l'historique mais n'est pas systématique, cf. « Note technique : équations pour les prévisions de température de l'eau en temps réel à l'été 2024 »

Retour d'expérience prévision température de la Garonne

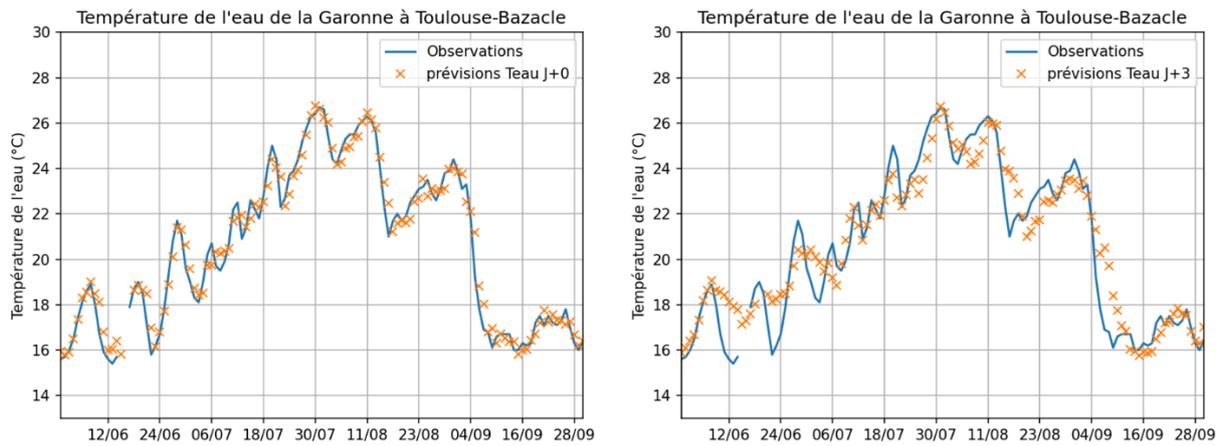


Figure 5. Résultats des rejeux des prévisions de températures de l'eau de la Garonne au Bazacle comparés aux températures de l'eau observées aux échéances J+0 et J+3.

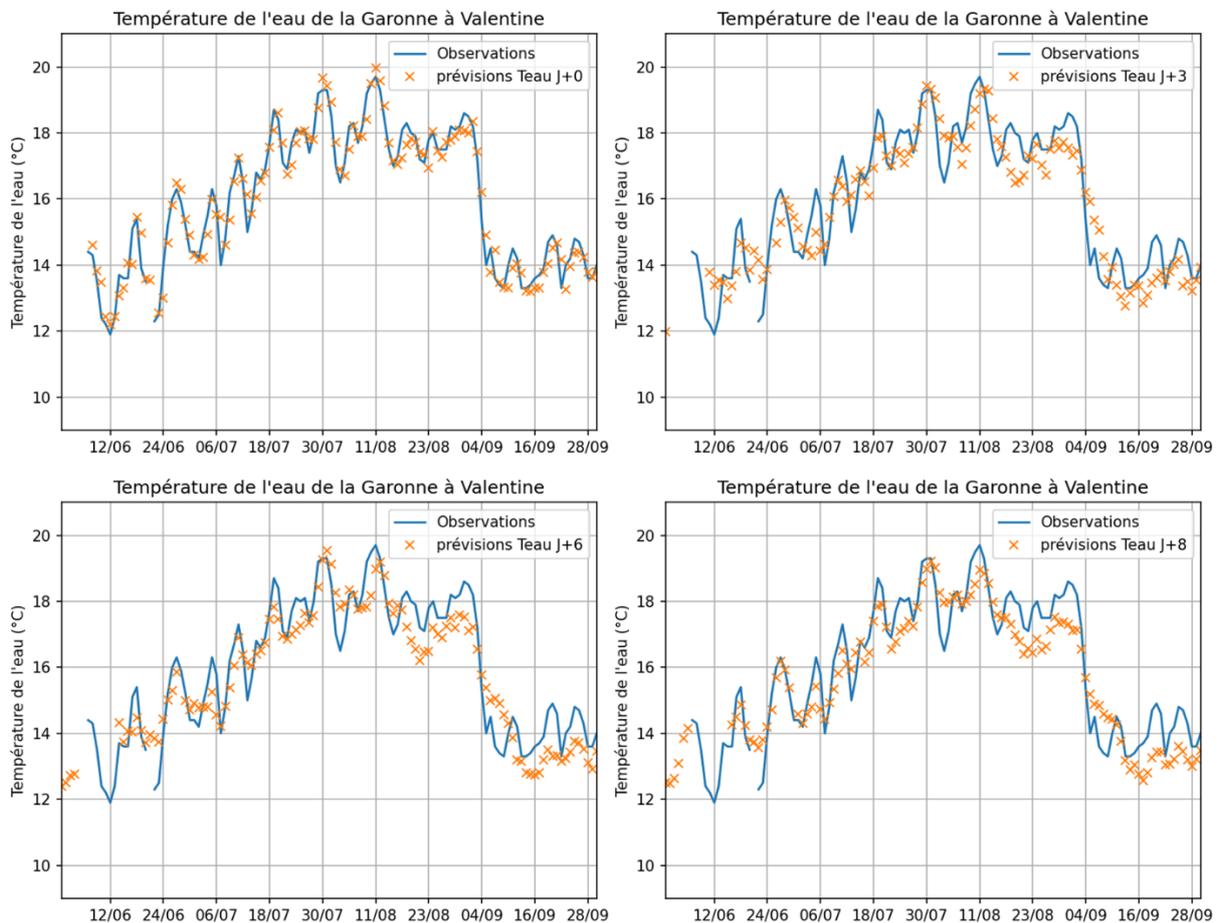


Figure 6. Résultats des rejeux des prévisions de températures de l'eau de la Garonne à Valentine à partir des températures de l'air mesurées à Palaminy (Météo-France), aux échéances J+0, J+3, J+6 et J+8, comparés aux températures de l'eau observées.

Retour d'expérience prévision température de la Garonne

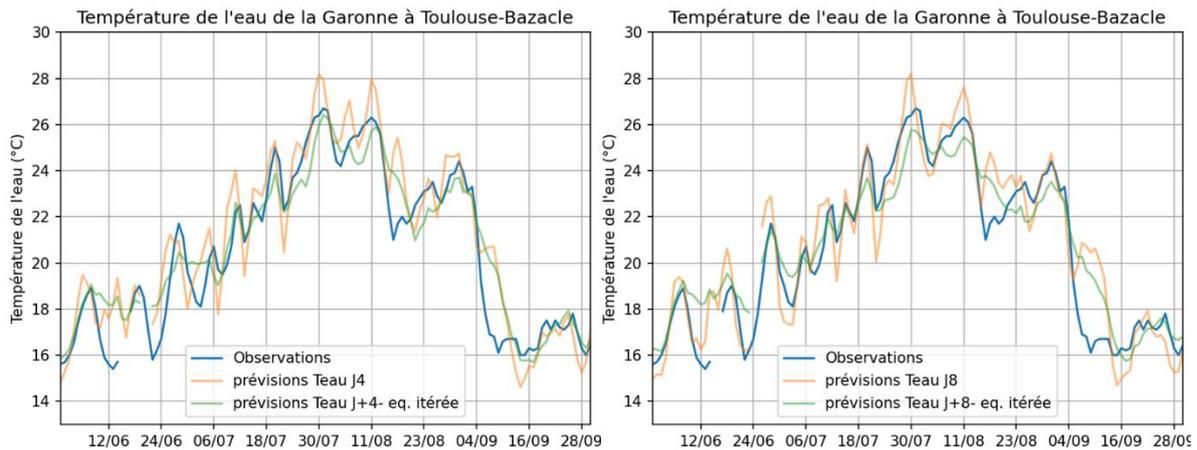


Figure 7. Résultats des rejeux des prévisions de températures de l'eau de la Garonne au Bazacle comparés aux températures de l'eau observées aux échéances J+4 et J+8. Les lignes en orange correspondent aux prévisions avec les équations spécifiques pour chaque échéances (même équations que celles pour les prévisions effectuées en temps réel présentées parties 1.2 et 2.1).

3.2 Statistiques

L'analyse statistique des résultats montrent qu'aussi bien au Bazacle qu'à Valentine, les résultats des rejeux sont meilleurs que ceux basés sur les prévisions opérationnelles, notamment aux échéances longues. Cette amélioration n'est pas systématique car il peut y avoir des compensation d'erreurs, mais elle est attendue sur des résultats statistiques sur 4 mois.

Par ailleurs, on remarque (Tableau 3) que les résultats des équations spécifiques J+4 à J+8 (les équations utilisées en temps réel) sont significativement moins bons que ceux de l'équation itérée (erreurs quadratiques moyennes et erreurs absolues moyennes plus importantes, biais supérieurs ou similaires). Ce résultat est différent de ce qui avait été observé sur l'historique complet et souligne ici encore la variabilité des performances des modèles statistiques utilisés qui peuvent être très différentes d'une année à l'autre (et d'un jour à l'autre).

Les erreurs à Valentine sont moins importantes qu'au Bazacle (Tableau 3 et Tableau 4), mais la variabilité des températures de l'eau mesurée est également moindre sur la période juin à septembre.

Notons également qu'à partir de J+4 au Bazacle (Tableau 3) et de J+2 à Valentine (Tableau 4), les erreurs de prévisions sont à peu près constantes (RMSE de 1.2°C avec l'équation itérée ou 1.4°C avec les équations spécifiques au Bazacle ; et 0.8°C environ à Valentine) tandis que les biais moyens tendent à augmenter légèrement.

A Valentine, les erreurs quadratique moyennes sont comparables à celles de l'historique jusqu'à J+3/J+4, et meilleures après J+4 (par exemple une RMSE à J+8 de 1.06°C dans l'historique contre 0.78°C en 2024), par contre les biais moyens sont plus importants (en valeur absolue) que dans l'historique.

Dans l'ensemble, les performances au Bazacle sont cohérentes avec ce qui était attendu au vu des performances globales des modèles. Au Bazacle tout comme à Valentine, les RMSE sur l'historique de données augmentent avec l'échéance tandis que sur l'année 2024 on observe

Retour d'expérience prévision température de la Garonne

une tendance au plafonnement des erreurs. Cet effet de plafonnement des erreurs ne doit donc pas être sur-interprété car il est spécifique à l'année 2024.

Tableau 3. Statistiques des résultats des « rejeux » de prévision de la température de l'eau au Bazacle, avec les mêmes équations que celle utilisées en temps réel (J+0 à J+8) mais également en conservant l'équation itérée (utilisée de J+0 à J+3 en temps réel) pour les échéances J+4 à J+8 (lignes « J+4 eq. Itérée » à « J+8 eq. Itérée ») à des fins de comparaisons.

Bazacle	Biais (°C)	RMSE (°C)	Erreur absolue moyenne (°C)	Erreur minimum (°C)	Erreur maximum (°C)
J+0	0.07	0.57	0.44	-1.0	2.0
J+1	0.12	0.87	0.67	-1.4	2.7
J+2	0.15	1.03	0.77	-1.7	3.4
J+3	0.18	1.1	0.84	-1.7	3.6
J+4	0.52	1.4	1.08	-1.9	3.9
J+5	0.18	1.4	1.06	-2.3	3.9
J+6	0.27	1.4	1.04	-2.3	4.3
J+7	0.29	1.4	1.02	-2.3	4.2
J+8	0.3	1.4	1.01	-2.3	4.3
J+4 eq. itérée	0.19	1.2	0.87	-1.9	3.4
J+5 eq. Itérée	0.18	1.2	0.88	-1.9	3.5
J+6 eq. Itérée	0.19	1.2	0.89	-1.8	3.5
J+7 eq. Itérée	0.22	1.2	0.89	-1.6	3.4
J+8 eq. Itérée	0.24	1.2	0.9	-1.9	3.4

Tableau 4. Statistiques des résultats des « rejeux » de prévision de la température de l'eau à Valentine, avec la même équation que celle utilisées en temps réel.

Valentine	Biais (°C)	RMSE (°C)	Erreur absolue moyenne (°C)	Erreur minimum (°C)	Erreur maximum (°C)
J+0	-0.05	0.48	0.38	-1.1	1.4
J+1	-0.09	0.7	0.59	-1.4	1.7
J+2	-0.13	0.79	0.67	-1.6	1.8
J+3	-0.17	0.83	0.69	-1.5	1.9
J+4	-0.2	0.83	0.69	-1.5	1.9
J+5	-0.24	0.8	0.67	-1.6	1.7
J+6	-0.28	0.79	0.67	-1.6	1.6
J+7	-0.3	0.78	0.67	-1.4	1.5
J+8	-0.31	0.78	0.67	-1.5	1.5

4 ELEMENTS DE CONCLUSION

Les prévisions opérationnelles ont permis de fournir en temps réel les grandes tendances d'évolutions de la température de l'eau, avec cependant quelques limites techniques (problèmes d'archivage et de récupération de données) ainsi que des erreurs de prévisions lors d'évènements ponctuels et de façon plus systématiques aux échéances longues.

Des améliorations futures pourraient consister à inclure non pas un mais plusieurs modèles de prévisions de température de l'eau au Bazacle (par exemple un modèle itéré et les modèles spécifiques à chaque échéance) afin de donner une fourchette. D'autres évolution pourrait être envisagées également en fonction des besoins des utilisateurs des prévisions, mais il est essentiel de garder à l'esprit certaines limitations indépassables des prévisions basées sur des modèles statistiques simples. Des améliorations pourraient peut-être venir de l'utilisation de modèle basés sur des techniques d'apprentissage (cf. rapports de stages de Gabrielle Cognot et de Louis Guichard). Les améliorations futures éventuelles devront être réfléchié dans le cadre plus large des évolutions de la plateforme E-tiage Garonne, notamment pour ce qui est des modifications des représentations graphiques des prévision temps réelles de température de l'eau, par exemple pour afficher plusieurs prévisions différentes.