

CAPITALISATION DES DONNÉES DE LA CRUE MAJEURE DE FÉVRIER 2021 SUR LA GARONNE AVAL, EXPLOITATION ACTUELLE ET PERSPECTIVES D’AMÉLIORATION DE LA PRÉVISION DES CRUES ET DES INONDATIONS

*Flood Forecasting on Garonne River : data compilation on the Februar
2021’s major flood, actual valorization of data and expected improvement on
flood forecasting*

Auteurs : MARCHANDISE Arthur^{1*}, ESCUDIER Aurélie¹, AUDOUY Jean-Nicolas²,
ROUTHE Ludovic¹, COMBEDOUZON Benoit², LACAZE Yan³, LE PAPE Etienne,
RICCI Sophie⁴

** auteur correspondant*

¹DREAL Occitanie, Cité administrative Bât. G, 1 rue de la cité administrative CS 80002, 31074
Toulouse Cedex 9, France, arthur.marchandise@developpement-durable.gouv.fr,
aurelie.escudier@developpement-durable.gouv.fr, ludovic.routhe@developpement-durable.gouv.fr

²SCHAPI, 42 avenue Gaspard Coriolis, 31057 Toulouse cedex 1, France, jean-nicolas.audouy@developpement-durable.gouv.fr, benoit.combedouzon@developpement-durable.gouv.fr

³DREAL Nouvelle Aquitaine, Cité administrative, Rue Jules Ferry - Boite 55, 33090
Bordeaux cedex, France, yan.lacaze@developpement-durable.gouv.fr

⁴CERFACS, 42 avenue Gaspard Coriolis, 31100 Toulouse, ricci@cerfacs.fr

Résumé : La Garonne après sa confluence avec le Lot a connu une crue majeure en février 2021, sa plus haute crue depuis décembre 1981. À cette occasion, de nombreuses données d’observations ont été acquises par le réseau Vigicrues : jaugeages sur des niveaux de crue parfois plus que décennaux, relevés de laisses de crues et photographies aériennes. Ces données ont permis de retravailler la connaissance des débits, notamment la courbe de tarage de Tonneins, de produire et de valider les cartographies des zones inondées potentielles sur la plaine marmandaise, ainsi que de réévaluer les niveaux de vigilance crues de façon harmonisée entre la Garonne marmandaise et la Garonne girondine. Les travaux se poursuivront par la mise en place d’un modèle hydraulique 2 D en mesure de représenter la non-linéarité qui apparaît au-delà des 8,50 m à Tonneins et dont la prévisibilité conditionne la bonne prévision sur Marmande et La Réole lors des crues majeures.

Mots-clefs : Garonne, Prévision, Crue, Inondation, Retour d’Expérience

Abstract : The part of the Garonne river located downstream its confluence with the Lot experienced a major flood in February 2021, reaching its highest levels since December 1981. On this occasion, numerous observation data were acquired by the Vigicrues network: gauging on above ten-year flood levels, high water mark surveys and aerial photographs. These data made it possible to rework the knowledge of flows, in particular the Tonneins rating curve, to produce and validate maps of potential flooded areas on the Marmandaise plain, as well as to reassess flood vigilance levels in a harmonized way between the Garonne Marmandaise and the Gironde Garonne. The work will continue with the implementation of a 2D hydraulic model which is able to represent the non-linearity which appears beyond 8.50 m at Tonneins and whose predictability determines the accuracy of water level predictions on Marmande and La Réole during major floods.

Keywords: Garonne, flood mapping, water level prediction, hydrologic feedback

La Garonne, sur sa partie fluviale aval – après la confluence avec le Lot et jusqu’à la commune de La Réole - a connu une crue majeure en février 2021, ayant fait l’objet d’une vigilance crues de niveau rouge sur sa partie marmandaise. Avec une hauteur maximale supérieure à 10,20 m atteinte à l’échelle de crue de Marmande, soit plus de 6000 m³/s, cela en fait la crue la plus haute depuis celle de décembre 1981 ([5]), sans toutefois atteindre les niveaux des crues exceptionnelles de mars 1930 (11,15 m) ou de juin 1875 (11,39 m).

Cette partie de la Garonne, longue d'environ 50 kilomètres, se caractérise, sur les crues les plus fortes, par une mobilisation importante de toute l'étendue du lit majeur – large de plus de 5 kilomètres à certains endroits-, ce qui induit sur Marmande et sur La Réole une forte non-linéarité dans la prévision des hauteurs et des débits d'eau depuis Tonneins. Le sursaut hydraulique, marmandais notamment, est déjà bien documenté ([5] et [7]) mais la prévision de son ampleur est encore soumise à une incertitude importante.

Après avoir décrit l'épisode météorologique et ses conséquences hydrologiques, cette communication vise à présenter comment, grâce à une organisation adaptée du réseau Vigicrues, un volume significatif de données a pu être capitalisé sur cette crue majeure. Ensuite le travail d'exploitation des données réalisé est évoqué, notamment pour la cartographie des zones d'inondation potentielle (ZIP). Sont enfin décrites les perspectives de travail apparues à la lumière du retour d'expérience hydrologique réalisé par le Service de Prévision des Crues Garonne-Tarn-Lot ([6]) et Gironde-Adour-Dordogne, notamment en termes de réduction de l'incertitude sur les prévisions de hauteur d'eau à travers l'amélioration d'un modèle hydraulique 2D.

1. L'épisode hydrométéorologique

1.1 Origine météorologique et pluviométrie

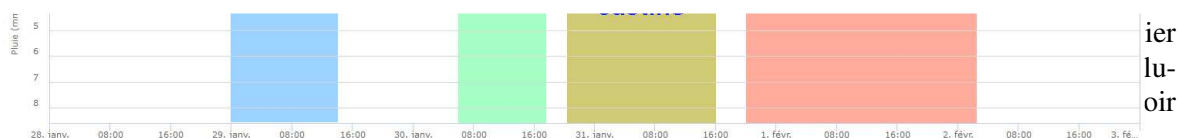


Figure 1) : un premier épisode causé par la perturbation « I », durant la nuit du 28 au 29 janvier 2021 (1), le passage de la perturbation « J » associée à la dépression tempétueuse « Justine », samedi 30 janvier 2021 (2), un enroulement pluvieux actif (Justine) dans la nuit de samedi 30 au dimanche 31 janvier 2021 (3), une nouvelle perturbation « K » associée à une dépression sur l'Atlantique (4). Les cumuls associés sont plus importants sur ce dernier passage. Le cumul moyen des précipitations en amont du bassin hydrologique de Marmande (51000 km²) estimée à partir du produit ANTILOPE de METEO FRANCE, est d'environ 63 mm.

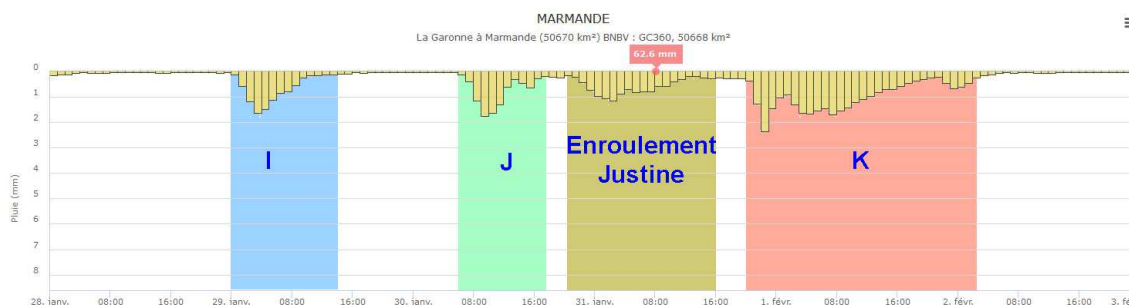


Figure 1: Hyétogramme de bassin à Marmande (mm)

En termes de répartition spatiale des précipitations, les secteurs les plus impactés s’étendent, du nord au sud, des bassins de la Truyère et du Lot amont -plateau de l’Aubrac- aux sources de l’Agout et du Thoré, en passant par l’amont des bassins hydrologiques du Viaur et de l’Aveyron.

1.2 Conséquences hydrologiques

Avec un débit maximal estimé autour de 6000 m³/s - hauteur maximale de 10,22 m - à Marmande, il s’agit, sur la Garonne marmandaise, de la crue la plus importante depuis celle de décembre 1981 où la Garonne était montée à 10,56 m à l’échelle de Marmande.

Cette crue a été pilotée par le Tarn qui, avec 2800 m³/s au pic à Sainte-Livrade, représente environ 45 % du débit total. Les apports du Lot sont estimés à 2100 m³/s. Quant à la Garonne avant sa confluence avec le Tarn, elle apporte environ 1500 m³/s. Les trois cours d’eau de l’ouest du Lannemezan, à savoir la Baïse, le Gers et l’Arrats, ont pu rajouter un peu plus de 500 m³/s, notamment avec la Baïse à Lavardac qui voit s’écouler 350 m³/s au pic. Pour cette dernière, il est toutefois à souligner que son pic passera avant le pic de Garonne. La crue est particulièrement remarquable sur les secteurs suivant :

- Lot moyen, Lot aval et Baïse : crue de période de retour supérieure à 15 ans ;
- Garonne marmandaise : crue de période comprise entre 15 et 25 ans .

Sur l’Aveyron, le Viaur, le Tarn aval, la Garonne agenaise, la crue, tout en restant importante, est d’un niveau plus modeste, avec une période de retour supérieure à la crue décennale.

Les crues sont d’ampleur plus modérée sur la Garonne toulousaine et sur le Célé. Ce dernier connaît une crue de période de retour comprise entre 7 et 10 ans.

On notera sur certains affluents des crues relativement significatives (Cérou, Dadou, Gijou), notamment sur le Gijou à Vabre qui connaît une crue historique supérieure à la crue cinquantennale.

2. Capitalisation des données

2.1 Les jaugeages

La réalisation des jaugeages en crue est rendue possible par une mobilisation de binômes de technicien jaugeurs et d’un « guide jaugeurs », c’est-à-dire d’un hydromètre qui assure la liaison entre les prévisionnistes et les jaugeurs. Cet intermédiaire permet de guider les hydromètres vers les stations les plus intéressantes à jaugeer, en fonction de critères pré-établis, tels la rareté du débit observé ou prévu, la présence de jaugeages sur les gammes de hauteurs observées ou prévues ou l’instant de la hauteur du maximum de la crue. Ce «guide jaugeurs» s’appuie sur les prévisions qui lui sont communiquées plusieurs fois par jour par les prévisionnistes. 67 jaugeages ont pu être réalisés du 28/01/2021 au 05/02/2021, dont plusieurs pour des valeurs de débits dont la période de retour est supérieure à 10 ans. C’est notamment le cas sur les stations de la Garonne agenaise, de la Garonne marmandaise, sur les stations en aval du Lot et sur la Garonne à La Réole (voir Tableau 1).

| Station | Débit jaugé (m ³ /s) | Période de retour |
|--------------------|---------------------------------|-------------------|
| Cahors | 1680 | ~ 10 ans |
| Villeneuve-sur-Lot | 1730 | ~ 10 ans |
| Agen | 3910 | ~ 10 ans |
| Marmande | 5820 | ~ 20 ans |

Tableau 1: Jaugeages sur débits rares réalisés à l’occasion de la crue de 02/2021

Ces jaugeages sont essentiels pour la connaissance du fonctionnement hydraulique et pour le calage des modèles de prévision. Ils alimentent les courbes de tarage qui servent à estimer les débits publiés dans la base de données nationales hydrométriques et dont l'utilisation dépasse largement le cadre de la prévision des crues.

2.2 Les photographies aériennes et relevés post-crues

En matière de relevés en crues et post-crues, deux types d'informations ont pu être acquises pour l'évènement de 2021 : des prises de vues aériennes et des relevés terrain.

En effet, depuis 2013, la convention IGN-DGPR mise en place et pilotée par le SCHAPI permet l'acquisition de prises de vues aériennes géoréférencées et orthorectifiées pour les SPC et leurs partenaires. Pour l'évènement de crue majeure qui a touché la Garonne aval en février 2021, deux missions ont été déclenchées, le 3 février entre 11h10 et 13h45, puis le 4 février 2021 entre 8h20 et 10h15.

Les images acquises ont permis de couvrir la totalité des débordements observés au quasi maximum de crues pour les zones d'influence de la station de Tonneins (entre la confluence Garonne et Fourques-sur-Garonne) et la station de Marmande (entre Fourques-sur-Garonne et Meilhan-sur-Garonne). A l'issue du vol d'acquisition, l'IGN a pu produire deux orthophotographies de très bonne qualité de résolution.

De plus, le SPC Garonne-Tarn-Lot a également eu la possibilité de mobiliser un prestataire pour l'évènement qui a touché la Garonne aval en janvier 2021. Une mission terrain a été lancée le 5 février 2021, sur le linéaire de la Garonne allant de Port-Sainte-Marie – en amont de la confluence Garonne-Baïse et Garonne Lot - jusqu'à Jusix – en aval du tronçon réglementaire. Les missions RDI ont été sollicitées dans le cadre de ces relevés pour préciser les secteurs à couvrir.

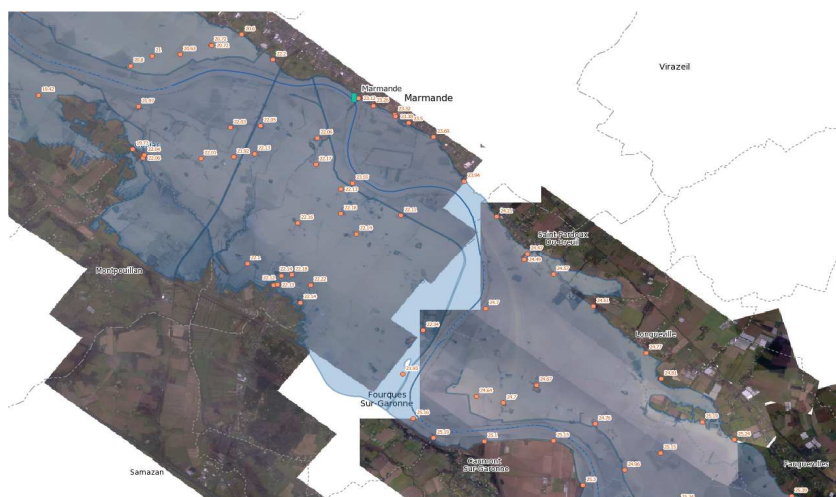


Figure 2: Prises de vues aériennes acquises le 3 février (secteur sud-est) et le 4 février (secteur nord-ouest), zone inondée cartographiée et repères de crues nivelés

Au total 312 repères et laisses de crues ont pu être relevés et nivelés. Le bureau d'étude a également produit à l'issue de la mission, une cartographie de l'aléa observé. Cette cartographie s'est basée sur l'analyse des débordements sur le terrain et l'exploitation des 2 prises de vues aériennes acquises sur le secteur (cf. Figure 2).

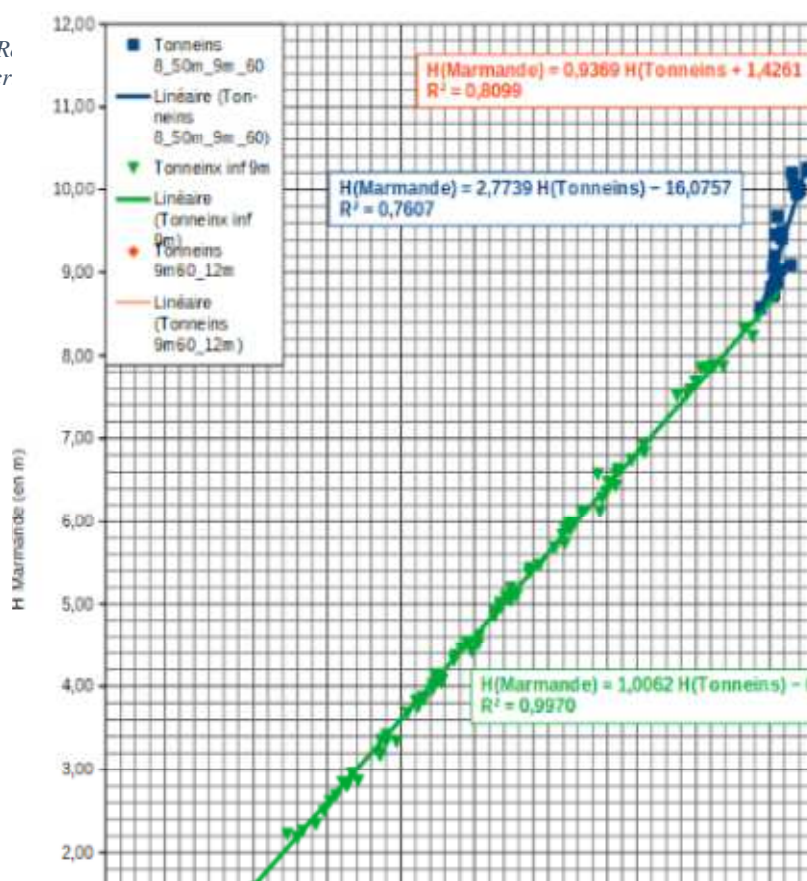
3. Premières exploitations des données

Une première exploitation de ces données a permis de retravailler la courbe de tarage de Tonneins, d'alimenter l'étude de production des cartographies de zones d'inondation potentielle et d'engager la démarche de révision des seuils de vigilance aux stations de cette zone, à savoir Tonneins, Marmande et La Réole.

3.1 La courbe de tarage de Tonneins

Du fait de débordements qui se généralisent en lit majeur, la station de Tonneins n'est pas jaugeable dans toute sa largeur au-delà de 7,50 m à l'échelle de Tonneins, soit environ 3500 m³/s. La connaissance des débits transitant par cette station constitue pourtant un point primordial pour envisager des prévisions affinées sur Marmande et la Réole. Les apports intermédiaires étant d'environ 2 ordres de grandeur inférieurs au débit arrivant à Tonneins, le débit à Tonneins est une variable prédictive primordiale pour l'aval du tronçon. A contrario, la station de Marmande a pu être jaugeée en 2019 et en 2022 et 2021, à 4500 m³/s, 4900 m³/s et 5800 m³/s. Les apports intermédiaires étant limités entre Tonneins et Marmande, l'idée était d'utiliser ces jaugeages à Marmande pour les « rétropropager » à Tonneins, la difficulté étant que, compte tenu des débordements très importants au-delà de 7,50 m à Tonneins, l'hypothèse d'un équilibre quasi-instantané des débits entre Tonneins et Marmande – 3 heures environ pour des crues de plein bord - n'est plus valable. Cela est visible sur la Figure 3 qui présente les hauteurs maximales de crues depuis 1875 entre Tonneins et Marmande. Trois zones se distinguent sur ce graphique :

Figure 3: Figure 3: R. entre les échelles de cr



- **Crues moyennes : Crues inférieures à 8,50 m à Tonneins (droite de régression n°1) :** correspondance linéaire quasi-

parfaite des cotes entre les deux échelles ;

- **Crues fortes : comprises entre 8,50 et 9,60 m à Tonneins (droite de régression n°2) :** on constate un raidissement sensible de la relation, correspondant à l'apparition du phénomène de sursaut hydraulique marmandais, consistant en une accélération de la hausse du niveau (raidissement du limnigramme) au voisinage du maximum des plus grandes crues ;
- **Crues très fortes : supérieures à 9,60 m à Tonneins (droite de régression n°3) :** crues historiques, pour lesquelles le sursaut hydraulique marmandais est bien établi et où l'on retrouve une pente de régression voisine de celle des crues inférieures à 0,80 m

L'interprétation du raidissement observé sur le limnigramme de Marmande sur les crues dépassant les 8,50 m à Tonneins a fait l'objet de différentes hypothèses (voir [5] et [7]): il correspondrait à un début de rééquilibrage des débits entre Tonneins et Marmande, du fait de l'atteinte de l'encaissant, après la phase de débordements important qui se produit au-delà des 7,0 m à l'échelle de Tonneins. Au-delà des 9,60 m à l'échelle de Tonneins, on observerait de nouveau un régime quasi-stationnaire d'écoulement entre Tonneins et Marmande. Cette hypothèse est confirmée par la dynamique des temps de propagation apparents sur les maxima des crues observés entre Tonneins et Marmande qui, après avoir fortement augmentés pour des crues de la gamme forte – entre 8 et 15 heures – diminuent sensiblement pour les crues supérieures à 9,60 m à Tonneins (6 à 7 heures pour la crue de 1981 qui a atteint 9,79 m à Tonneins). La nette diminution de l'écêtement des débits entre Tonneins et Marmande qui en résulte, au-delà des 9,60 m à Tonneins, nous permet

d'utiliser les débits extrapolés sur Marmande – estimés avec un degré de certitude plus important que sur Marmande, du fait de jaugeages disponibles à des hauteurs élevées sur Tonneins – pour estimer la courbe de tarage sur Tonneins au-delà de 9,60 m en relation avec la hauteur qui lie les maxima de crue entre Tonneins et Marmande. Restait alors à caler la partie de la courbe de tarage entre 8,50 m et 9,60 m à Tonneins, avec un raidissement de pente de la courbe de tarage à Tonneins étant donné les débordements. Ce raidissement a été pris maximal autour des 8,85 m, qui doit correspondre à la limite de l'encaissant si on en croit l'intersection des courbes de régression des hauteurs d'eau entre Tonneins et Marmande (voir Figure 3).

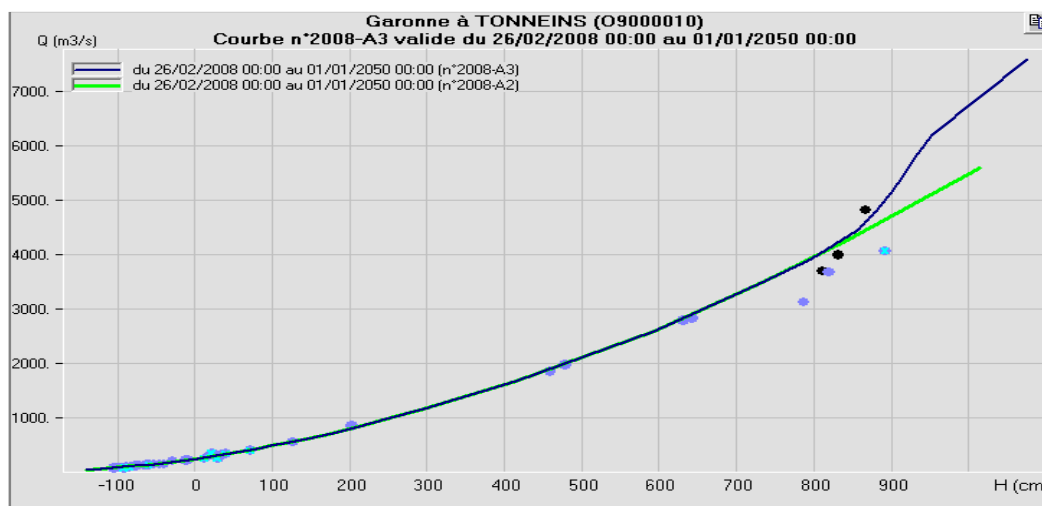


Figure 4: Ancienne (en vert) et nouvelle (en bleu) courbe de tarage à Tonneins

Au final, cette nouvelle courbe de tarage permet de rehausser sensiblement la courbe de tarage de Tonneins (Figure 4) et corrige une sous-estimation des volumes et des débits de crue à Tonneins ([1]). Le Tableau 2 présente une estimation de ces volumes sur 4 crues majeures récentes, avant et après mise à jour de la courbe de tarage sur Tonneins. Il permet de constater l'amélioration de la cohérence amont-aval.

| Date et h début en TU | Date et h fin en TU | Volumes en Mm3 | | |
|-----------------------|---------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------|
| | | Tonneins CT ancienne propagé 3h | Tonneins CT nouvelle propagé 3h | Marmande CT |
| 23/01/2009 00:00 | 30/01/2009 00:00 | 1854,6 | 1911,3 | 1877,4 |
| 24/01/2014 00:00 | 01/02/2014 12:00 | 2245,0 | 2265,7 | 2294,4 |
| 12/12/2019 12:00 | 19/12/2019 00:00 | 1691,1 | 1767,6 | 1740,5 |
| 28/01/2021 12:00 | 07/02/2021 12:00 | 2884,2 | 3037,2 | 3132,0 |

Tableau 2: Comparaison des volumes de crues entre Tonneins et Marmande, en utilisant l'ancienne et la nouvelle courbe de tarage (CT) à Tonneins

3.2 Cartographies des zones inondées potentielles et niveaux de vigilance

En septembre 2020, le SPC GTL a lancé une étude de production de zones d'inondation potentielle (ZIP) sur le secteur de la Garonne marmandaise aux échelles de Tonneins et Marmande. L'objectif de cette étude, s'inscrivant dans l'opération prévision des inondations [9], était de caractériser les débordements sur le tronçon pour des crues allant des premiers débordements, aux débordements majeurs. La mission RDI 47 et le service gemapien du secteur (Val de Garonne agglomération) ont été associés à la réalisation de cette étude.

Le territoire de la Garonne marmandaise est à forte composante agricole et se caractérise par la présence de digues dans la plaine inondable de la Garonne, construites à l’origine pour cultiver les terres inondables.

Près de 165 km de digues sont ainsi recensées sur le territoire marmandais (75% de ces digues ont une délégation de gestion et les 25 % restant sont des digues à gestion privée). Chaque digue délimite un casier qui possède une cinétique de remplissage propre. À partir d’une certaine hauteur à l’échelle de Marmande ou de Tonneins, les casiers se remplissent, soit par les déversoirs prévus à cet effet, soit par la manipulation d’ouvrages de régulation, soit par un point de la digue bien identifié.

Compte tenu de la complexité des écoulements sur le secteur, la modélisation des inondations s’est portée vers une modélisation couplée 1D-2D (logiciel INFOWORKS). Deux types de données ont été utilisées pour la construction du modèle numérique :

- la donnée LIDAR, réalisée en 2019 par Val de Garonne Agglomération (1 m, 12 points au m²), récente et dont la précision garantit une bonne caractérisation des ouvrages hydrauliques ;
- les levés topographiques réalisés en 2013 par la DDT47, dans le lit mineur de la Garonne

Ainsi, le lit mineur a été représenté par les levés bathymétriques proposant une précision de l’ordre du centimètre dans le lit mineur. Les berges et l’ensemble du lit majeur ont été définis par le LIDAR, acquis en période estivale.

Au moment de la construction du modèle, plusieurs choix ont été réalisés :

- la prise en compte de la topographie des ouvrages hydrauliques telle qu’existante au moment de l’étude (hors brèches) sans attendre la fin de la réalisation de l’étude sur l’évolution du système d’endiguement sur le linéaire considéré (toujours en cours de réalisation en 2023) ;
- la considération de l’ensemble du linéaire comme une section hydraulique homogène et l’apport des affluents comme négligeables. L’ensemble des scénarios modélisés ont systématiquement été rattachés en hauteur d’eau aux 2 échelles de référence, Tonneins et Marmande ;
- le choix d’un hydrogramme de crue moyen en entrée de la modélisation issu de l’analyse des hydrogrammes des crues passées et d’un test de sensibilité aux volumes de crue ;
- l’utilisation de la crue de décembre 2019 comme crue de calage car bénéficiant comme la crue de 2021, de nombreuses données de laisses et repères de crues et d’une prise de vue aérienne. Cette crue intervient également la même année que le levé topographique LIDAR, permettant une bonne critique des repères et laisses de crues dans l’exercice de calage du modèle ;
- l’utilisation de la crue de février 2021 comme crue de validation.

Sur ce dernier point, les données acquises lors de la crue de 2021 ont permis ainsi de confirmer la bonne représentation de la zone inondée dans la fourchette d’incertitude du modèle définie par le bureau d’études (± 30 cm, voir Figure 5).

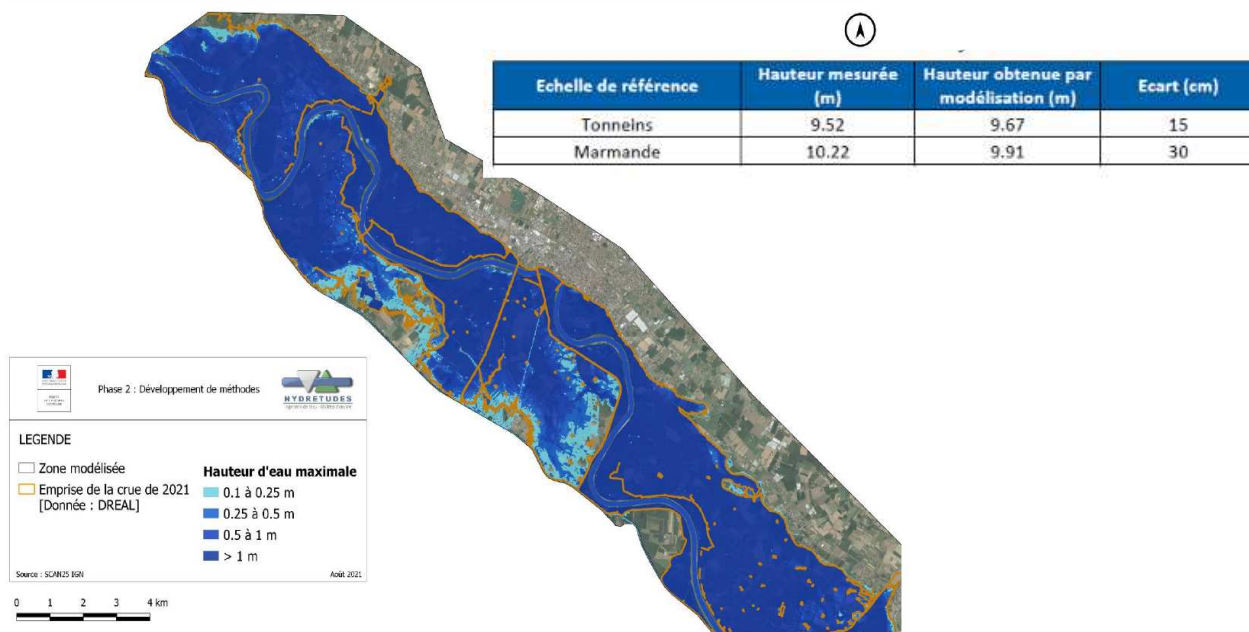


Figure 5: Vérification du bon calage du modèle hydraulique sur la crue de 02/2021

En bilan, la production de neuf ZIP a été réalisée en considérant les hauteurs caractéristiques et d'intérêt pour la mission RDI et Val de Garonne agglomération (voir

| Nom | Hauteur échelle Tonneins (m) | Hauteur échelle Marmande (m) | Débits associés à Tonneins (m ³ /s) | Débits associés à Marmande (m ³ /s) |
|------------|------------------------------|------------------------------|--|--|
| Scénario 1 | 6.0 | 5.5 | 2 650 | 2 620 |
| Scénario 2 | 6.9 | 6.5 | 3 210 | 3 210 |
| Scénario 3 | 7.4 | 7 | 3 530 | 3 520 |
| Scénario 4 | 8.4 | 8 | 4 310 | 4 160 |
| Scénario 5 | 8.9 | 8.5 | 4 970 | 4 520 |
| Scénario 6 | 9.3 | 9 | 5 780 | 4 920 |
| Scénario 7 | 9.4 | 9.5 | 5 970 | 5 410 |
| Scénario 8 | 9.6 | 10 | 6 280 | 5 940 |
| Scénario 9 | 10.0 | 10.5 | 6 740 | 6 490 |

Tableau

3). Ces données ont été livrées à l'automne 2022 aux acteurs ayant participé à l'étude et, pour le SPC Garonne-Tarn-Lot, ont permis d'engager la révision des niveaux de vigilance sur les deux stations du tronçon Garonne marmandaise.

| Nom | Hauteur échelle Tonneins (m) | Hauteur échelle Marmande (m) | Débits associés à Tonneins (m ³ /s) | Débits associés à Marmande (m ³ /s) |
|------------|------------------------------|------------------------------|--|--|
| Scénario 1 | 6.0 | 5.5 | 2 650 | 2 620 |
| Scénario 2 | 6.9 | 6.5 | 3 210 | 3 210 |
| Scénario 3 | 7.4 | 7 | 3 530 | 3 520 |
| Scénario 4 | 8.4 | 8 | 4 310 | 4 160 |
| Scénario 5 | 8.9 | 8.5 | 4 970 | 4 520 |
| Scénario 6 | 9.3 | 9 | 5 780 | 4 920 |
| Scénario 7 | 9.4 | 9.5 | 5 970 | 5 410 |
| Scénario 8 | 9.6 | 10 | 6 280 | 5 940 |
| Scénario 9 | 10.0 | 10.5 | 6 740 | 6 490 |

Tableau 3 : Hauteurs et débits pris en compte pour la cartographie des zones inondées

3.3 Révision des seuils de vigilance

A l'issue de la crue de février 2021, le besoin d'harmoniser les niveaux de vigilance sur les tronçons Garonne girondine et marmandaise a été soulevé par les élus des communes des 2 tronçons et dans le cadre du retour d'expérience commun mené par les SPC Garonne-Tarn-Lot et Gironde-Adour-Dordogne. Ainsi, le travail de révision des niveaux de vigilance sur la Garonne marmandaise a été lancé par le SPC GTL fin 2022 lorsque les ZIP ont été livrées sur le secteur de la Garonne marmandaise et en parallèle de celui mené sur la Garonne girondine par le SPC Gironde-Adour-Dordogne.

Ce travail s'est basé sur la méthode de détermination des niveaux de vigilance définie au niveau national [10] comprenant les étapes de travail suivantes :

- la caractérisation de l'aléa, exprimée par les périodes de retour caractéristiques sur le territoire concerné (Q2;Q20;Q100) ;
- la caractérisation des enjeux définis au niveau national (on peut citer par exemple, la population résidente, les établissements recevant du public dont les hôpitaux, EHPAD, écoles...).

Sur les Garonne marmandaise et girondine, la particularité liée aux ouvrages hydrauliques a également nécessité l'analyse des populations présentes dans les casiers délimités par des digues en cas de dépassement des niveaux de protection de chaque ouvrage. Compte tenu de l'étude de danger non finalisée sur le secteur, les niveaux de protection apparents (niveaux de surverse) ont été retenus. Ceux-ci, donnés par le gemapien, ont été confirmés par les zones d'inondation potentielle produites sur le secteur. Les ZIP ont également permis d'identifier les premières venues d'eau derrière chaque ouvrage et ainsi de considérer la population déjà inondée par les débordements en lit majeur (*versus* la population pouvant encore être inondée par la rupture de l'ouvrage) .

L'analyse des enjeux touchés pour les différents niveaux de crues modélisés a montré que :

- les premiers débordements sont atteints pour des hauteurs plus importantes que celles définies initialement par le niveau de vigilance jaune dans le secteur de Tonneins, tandis qu'ils peuvent survenir sur la Garonne girondine avant ceux observés sur la Garonne marmandaise ;
- les principaux enjeux se trouvant dans la plaine inondable de la Garonne marmandaise sont principalement ruraux (routes, populations, activités agricoles). Les bâtiments stratégiques touchés par l'inondation, principalement des écoles, sont peu nombreux et pour des hauteurs d'eau relativement importantes (dès 8,90 m à Tonneins et 9,50 m à Marmande) ;
- le secteur est largement soumis à la problématique de perturbation de réseau routier avec de nombreuses routes touchées dans la plaine inondable, proportionnelles au nombre d'habitants. Ainsi de nombreuses habitations voire villages se retrouvent isolés et entourés par les eaux dès que le lit majeur commence à être mobilisé.
- le fonctionnement hydraulique du secteur montre que les populations présentes dans les casiers peuvent se retrouver inondées par contournement des ouvrages.

À l'issue de l'analyse menée, les niveaux de vigilance ont pu faire l'objet des modifications suivantes :

- une hausse des niveaux jaune pour les deux stations afin de correspondre aux premiers débordements observés : les ZIP produites sur le secteur ont notamment permis de confirmer les hauteurs d'eau caractéristiques de premiers débordements ;
- une légère hausse du niveau de vigilance orange pour les deux stations permettant de mettre en cohérence la population touchée sur ce secteur avec les critères nationaux ;
- une cohérence et continuité de la vigilance entre la Garonne marmandaise et girondine pour la vigilance orange ;
- un quasi maintien du niveau de vigilance rouge pour le secteur confirmé par le taux de population touchée et le réseau routier saturé.

Le travail mené a pu être confronté en premier lieu au travail réalisé par le SPC Gironde-Adour-Dordogne sur la Garonne girondine. Les premiers résultats montrent une relative cohérence entre les niveaux de vigilance et garantissent ainsi, pour les futurs événements de crues sur le territoire de la Garonne aval, une concordance dans les déclenchements des vigilances jaune, orange et rouge, quand bien même les niveaux de vigilance sont représentatifs des inondations prévues localement.

4. Perspectives

Les travaux menés actuellement visent à une meilleure caractérisation quantitative du déterminisme du sursaut hydraulique observé entre Tonneins et La Réole, qui introduit une non-linéarité importante sur la prévision à Marmande à La Réole au-delà des 8,80 m à Marmande. Pour cela, des études liminaires utilisant un modèle TELEMAC 2D mis en place sur ce secteur par EDF R&D [2], ont montré des perspectives intéressantes - capacité du modèle à représenter le sursaut hydraulique-, une fois corrigée la sous-estimation de la courbe de tarage à Tonneins, mais également des limites à représenter l'intégralité de l'hydrogramme de crue ([4] et [8]). Il s'agira d'évaluer l'impact de la réévaluation de la bathymétrie du lit mineur du modèle – valorisation de levés bathymétriques de 2013 et de 2023- et de valider la construction d'un maillage en lit majeur qui tienne compte de l'état actuel des systèmes d'endiguement longitudinaux. Pour cela, le Modèle Numérique de Terrain Haute Résolution utilisé pour la production des Zones d'Inondation Potentielle de la Garonne Marmandaise (2021) et le maillage (1,7 millions de nœuds) du lit majeur réalisé à cette occasion seront valorisés ([3]). On évaluera l'impact sur la propagation des crues de la gestion dynamique de l'inondation des champs d'inondation situés derrière les digues. Enfin, un enjeu important sera l'étude de la dégradation acceptable de la résolution du maillage pour concilier performance et temps de calcul.

Une étude des conditions de valorisation des données historiques sur ce secteur est par ailleurs envisagée : la Garonne aval dispose d'une archive de données mesurées de hauteurs d'eau depuis au moins un siècle et demi. L'exploitation de ces données passera par un travail de rassemblement et de numérisation de l'archive limnimétrique de ce secteur qui est aujourd'hui dispersée entre plusieurs services d'archives départementales au gré des réorganisations des services d'annonce puis de prévision des crues. Le centième anniversaire de la crue historique de 1930 sera une occasion pour le SPC Garonne-Tarn-Lot de motiver et de structurer une action ambitieuse sur ce sujet.

5. REFERENCES

- [1] Audouy J.-N., Routhe L., Rauzy G., (2021). Rapport de validation de la courbe de tarage de Tonneins (15 p.).
- [2] Besnard A., Gouta N., Comparaison de modèles 1D à casiers et 2D pour la modélisation hydraulique d'une plaine d'inondation - Cas de la Garonne entre Tonneins et La Réole. *La Houille Blanche - Revue internationale de l'eau*, 2011, 3, pp.42-47. [10.1051/lhb/2011031](https://doi.org/10.1051/lhb/2011031). [hal-00678705](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00678705)
- [3] Cartographie de zones d'inondation potentielle en fonction des hauteurs à une échelle réglementaire sur la Garonne Marmandaise. Rapports d'études réalisé par Hydrétudes pour la DREAL Occitanie (2022).
- [4] Delmotte Anthéa (2021). Apport de la donnée spatiale pour la prévision des crues et des inondations. Rapport de stage de fin d'études réalisé au CERFACS.
- [5] Gazelle F., La crue de décembre 1981 dans le bassin de la Garonne. In: *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, tome 55, fascicule 1, 1984. Géographie physique. pp. 5-28. DOI : <https://doi.org/10.3406/rgpso.1984.4602>
- [6] Marchandise A., Routhe L., Combedouzon B., Desmaisons P., Puls R., Dufieu R., Negre C., Audouy J.-N., Escudier A., (2021) . La crue de février 2021 sur la Garonne. Retour d'expérience du Service de Prévision des Crues Garonne Tarn Lot (178 p.)
- [7] Pardé, M. (1958). LA GRANDE CRUE DE LA GARONNE EN JANVIER 1955. *Annales de Géographie*, 67(363), 452–454. <http://www.jstor.org/stable/23443677>
- [8] Routhe L., Lapergue E., Marchandise A. (2022). Évaluation et recalage d'un modèle TELEMAC2D sur la Garonne Marmandaise. Journées annuelles du club Modélisation Hydraulique, 8-9 juin 2022, Bordeaux, France.
- [9] ZUBER, F. et al. (2023) Principales avancées du réseau Vigicrues depuis sa création dans le domaine de la prévision des inondations, Colloque SHF – Prévisions des crues et des Inondations – Avancées, valorisation et perspectives, à paraître.
- [10] Note technique du 18 janvier 2023 relative à la production opérationnelle de la vigilance crues, NOR : TREP2301553N (Texte non paru au journal officiel)