

PEYREHORADE : OUTILS OPÉRATIONNELS POUR UN SECTEUR SOUS INFLUENCE FLUVIO-MARITIME

Laurent DIÉVAL⁽¹⁾, Romain GALLEN⁽¹⁾, Ahmad Sameer AKHTARI⁽¹⁾, Dominique OLLIVIER⁽¹⁾, Yan LACAZE⁽¹⁾, Sylvain CHESNEAU⁽¹⁾

⁽¹⁾DREAL Nouvelle Aquitaine – Service des Risques Naturels et Hydrauliques – Service de Prévision des Crues Gironde – Adour – Dordogne, Cité administrative, rue Jules FERRY, boîte postale 55, 33090 Bordeaux cedex.

e-mail : prenom.nom@developpement-durable.gouv.fr

La commune de Peyrehorade est traversée par les Gaves réunis, formés à la confluence de deux cours d'eau majeurs : le Gave de Pau et le Gave d'Oloron. Plus à l'aval, les Gaves réunis rejoignent ensuite le fleuve Adour. La prévision de hauteur d'eau des Gaves réunis à Peyrehorade est complexe, car elle est soumise à la fois à l'influence maritime (conditions de hauteurs d'eau à l'embouchure de l'Adour) et à la fois à l'influence fluviale (débits des gaves de Pau et d'Oloron).

Pour réaliser des prévisions de hauteur d'eau à Peyrehorade, le SPC-GAD (Service de Prévision des Crues Gironde Adour Dordogne) a construit différents abaques sur un principe de superposition et de décomposition du signal observé, en s'appuyant sur un modèle hydraulique 1D et les données observées. Ce document expose ces approches.

MOTS CLEFS : Influence fluvio-maritime, prévision des crues, modèle hydraulique : Mascaret et Télémac, modèle hydrologique : GRP

Peyrehorade: operational tools for a fluvio-maritime influenced sector

The municipality of Peyrehorade is crossed by the Gaves, formed in the confluence of two major rivers: the Gave de Pau and the Gave d'Oloron. Further downstream, the Gaves reunited then join the Adour river. The water level forecast of the Gaves gathered at Peyrehorade is complex, because it is subjected both to maritime influence (water level conditions in the mouth of the Adour) and to river influence (flows from the Pau and Oloron gaves). To realize water level forecasts at Peyrehorade, the SPC-GAD (Service de Prévision des Crues Gironde Adour Dordogne) has built different abacuses with a principle of superimposition and decomposition of the observed signal, based on a 1D hydraulic model and observed data. This document outlines these approaches.

KEY WORDS : Tidal influence, flood forecasting, hydraulic model : Mascaret and Télémac, hydrological model : GRP

I INTRODUCTION

Le Service de Prévision des Crues Gironde–Adour–Dordogne (SPC-GAD) de la DREAL Nouvelle Aquitaine assure une mission de surveillance du risque d'inondation sur les bassins versants de la Dordogne, de l'Adour ainsi que de la Gironde et de la Garonne girondine [Vigicrues SPC-GAD]. Les tronçons surveillés présentent des crues aux caractéristiques très différentes : on y observe des crues lentes (partie médiane de l'Adour, Midouze...), des crues rapides, (Nive, Nivelle...), des débordements purement maritimes (Adour à Bayonne...), ou d'influence fluvio-maritime (Gaves réunis à Peyrehorade...).

Les Gaves réunis sont formés un kilomètre à l'amont de la station limnimétrique de Peyrehorade (figure n°1), par la confluence du Gave de Pau et du Gave d'Oloron. Plus à l'aval, à environ huit kilomètres de Peyrehorade, les Gaves réunis viennent alimenter l'Adour sous influence maritime. Le lit majeur au niveau de la confluence de l'Adour et des Gaves réunis se compose de zones de barthes, constituées d'anciennes prairies et boisements marécageux. Ces barthes ont une altitude qui varie de 0 à 15 mètres NGF et

s'étendent sur une largeur de 1 à 3 km, entre les Gaves réunis et l'Adour. En crue, les eaux y ont un régime d'écoulement très faible.

L'effet des marées semi-diurnes remonte sur les Gaves réunis puis sur le gave de Pau jusqu'au seuil artificiel de Cauneille (à 4km de Peyrehorade) et sur le gave d'Oloron jusqu'au seuil de l'usine de production d'électricité de Sorde l'Abbaye (à 4,5km de Peyrehorade). Ainsi, les paramètres maritimes que sont les coefficients de marées et les surcotes ou décotes (liées à la météorologie et aux courants) influencent la station de mesure de hauteur de Peyrehorade.

En fonction des états de mer et des débits des gaves en amont, on peut constater à Peyrehorade des phénomènes essentiellement maritimes, purement fluviaux ou une combinaison de ces effets. Cette zone est donc particulièrement complexe pour la prévision des crues.

Les principaux enjeux portent :

- sur la mise en sécurité des populations habitant le long des berges des Gaves réunis et des quartiers situés à proximité dans les zones inondables,
- sur les coupures possibles des axes de voirie utilisés pour les interventions de secours.

En résumé, dans ce secteur complexe, les débordements des Gaves réunis et les inondations à proximité dépendent des 3 facteurs suivants :

- des conditions maritimes,
- des niveaux des débits des deux gaves d'Oloron et de Pau,
- de la concomitance ou non à Peyrehorade des pleines mers avec la propagation des crues des gaves de Pau et/ou d'Oloron.

Afin d'établir un niveau de vigilance (vert, jaune, orange, rouge) pour le tronçon Gaves réunis sur Vigicrues, les prévisionnistes expertisent des résultats de modèles et utilisent les abaques à leur disposition. En effet, ces outils permettent de dégager, selon les hypothèses liées à la situation, des prévisions de hauteur et de retenir un niveau de vigilance.

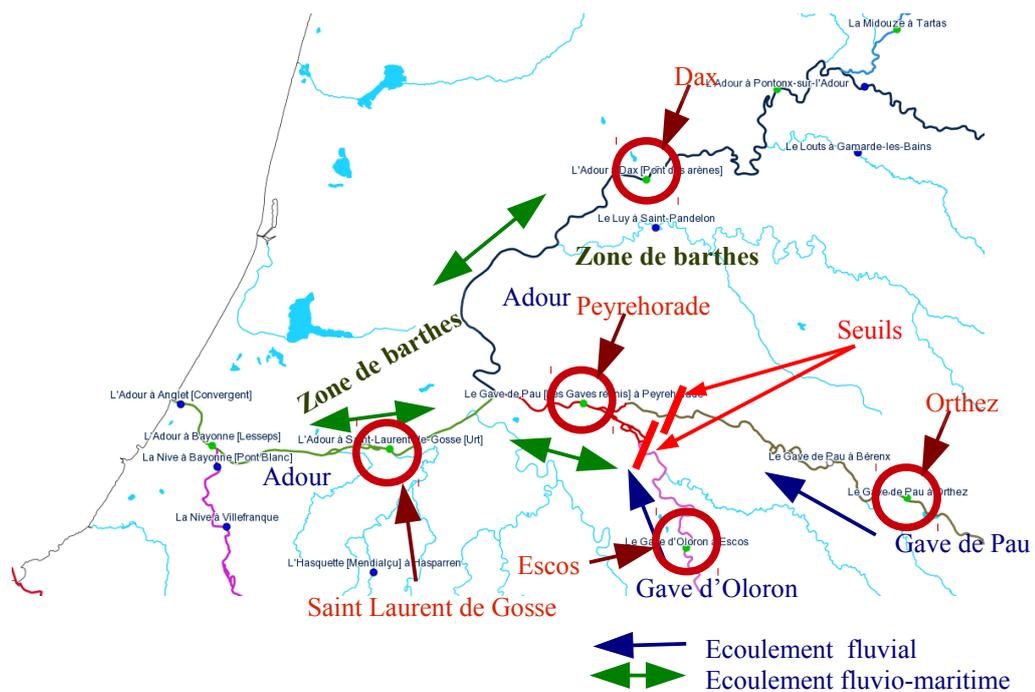


Figure n°1 : Cartographie du secteur de Peyrehorade

II CONSTRUCTION D'UN ABAQUE A PEYREHORADE : PRINCIPE DE SUPERPOSITION

Avant d'élaborer des outils opérationnels, il est fondamental de comprendre le comportement des Gaves réunis dans ce secteur. Différentes approches sont possibles. Les approches purement hydrauliques, [Cai, 2015 ; 2016] montrent une influence mutuelle des débits et de l'onde de marée sans se focaliser sur les hauteurs en différents points d'estuaires. Des approches fréquentielles telle que celle de [Moftakhari, 2013] évaluent les débits sans disposer ni de stations limnimétriques ni de jaugeages à l'amont à travers un indicateur du débit dévalant déduit à partir des écarts entre hauteur observée et hauteur théorique à l'embouchure. Dans notre cas, nous avons choisi d'analyser les données mesurées à différentes stations disponibles dans des bases de données historiques.

La station de Peyrehorade (située au niveau du pont de la D33) est instrumentée de deux capteurs de mesure de type radar et bulle à bulle qui enregistrent les hauteurs d'eau à une fréquence d'échantillonnage de cinq minutes. Un système de rapatriement (radio, GSM, ...) collecte et intègre ces données toutes les cinq minutes dans une base de données hébergée au SPC-GAD.

Les autres stations de mesure utilisées pour analyser les niveaux d'eau enregistrés à Peyrehorade sont : la station d'Escos sur le Gave d'Oloron, (située environ deux kilomètres en amont d'Escos), la station d'Orthez sur le Gave de Pau (située au niveau du pont de la D947), et la station de Convergent sur l'Adour (située à moins d'un kilomètre de l'embouchure de l'Adour).

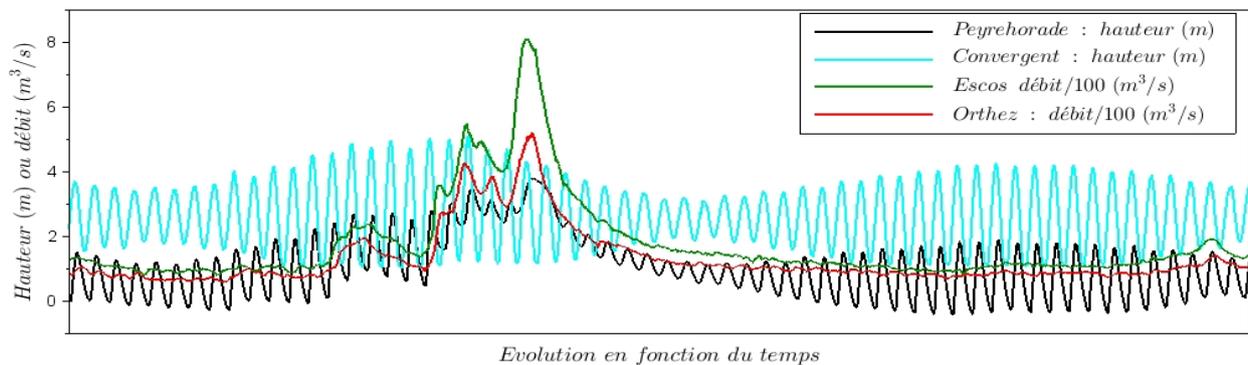


Figure n°2 : Forme typique des signaux observés aux stations de Peyrehorade, Convergent, Escos et Orthez lors du passage d'une crue

Depuis la création du SPC-GAD en 2012, des données nouvelles ont pu être bancarisées sur les secteurs maritimes. Moyennant quelques problèmes de mesure et de télétransmission, ces compléments ont permis de disposer d'une mine de données de bonne qualité sur l'ensemble des stations du secteur étudié.

Néanmoins, avant d'interpréter ces données, il a été nécessaire de les nettoyer, les dé-bruiter et d'en reconstituer les manques pour obtenir des chroniques exploitables à un pas de temps régulier.

La figure n°2 montre que la composante principale du signal de hauteur d'eau à Peyrehorade est maritime.

Pour comprendre le comportement de la hauteur d'eau sous la seule influence des débits des gaves, il convient d'y soustraire le signal maritime. La marée étant un régime de type semi-diurne (environ deux marées par jour, avec une période moyenne de 24h50), les données sont moyennées sur 25

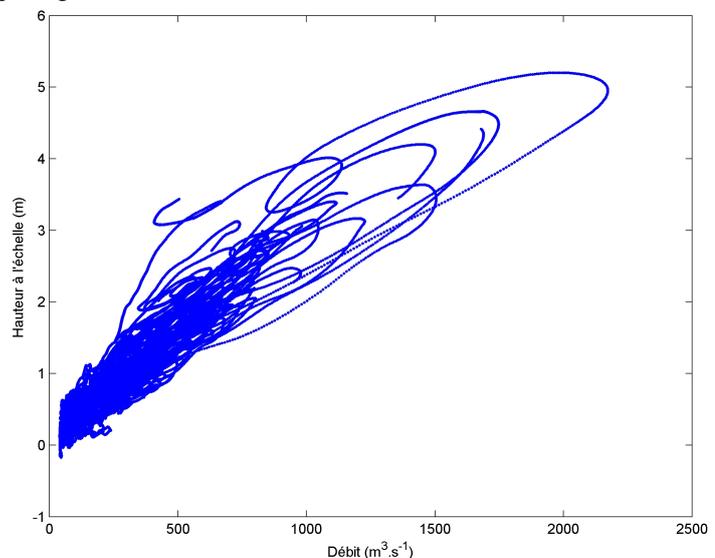


Figure n°3 : Évolution de la hauteur en fonction du débit à Peyrehorade, après soustraction du signal maritime

heures. Si on trace, figure n°3, la hauteur lissée en fonction des débits des gaves, on met en évidence un comportement d'hystérésis. Suivant le gradient de débit des Gaves, la hauteur d'eau croît rapidement et décroît plus lentement pour un même débit. Cela justifie la recherche d'outils opérationnels en fonction du gradient de débit.

II.1 Temps de propagation des crues fluviales

Tout d'abord, il est primordial d'évaluer à Peyrehorade le temps de propagation des crues des gaves de Pau et d'Oloron. En effet, la concomitance des crues avec les pleines mers (PM) va accroître d'autant plus le niveau des Gaves réunis. L'analyse des déformations du signal de Peyrehorade moyenné sur 25 heures nous donne une représentation des temps de propagation (figure n°4 : cas du gage d'Oloron). Sur cette figure on observe une variation aux alentours de 850 m³/s. Celle-ci correspond à un changement de régime d'influence. En deçà d'une zone comprise entre 700 et 900 m³/s, c'est l'influence maritime qui pilote principalement le plan d'eau. Au-delà de cette zone, l'influence fluviale prend le contrôle et le plan d'eau suit le comportement d'une crue de type fluvial. Par exemple, lors de la crue du 13 juin 2018 qui a occasionné un fort débordement en lit majeur, le temps de propagation a pu être estimé à environ 12 h pour un débit autour de 1 600 m³/s.

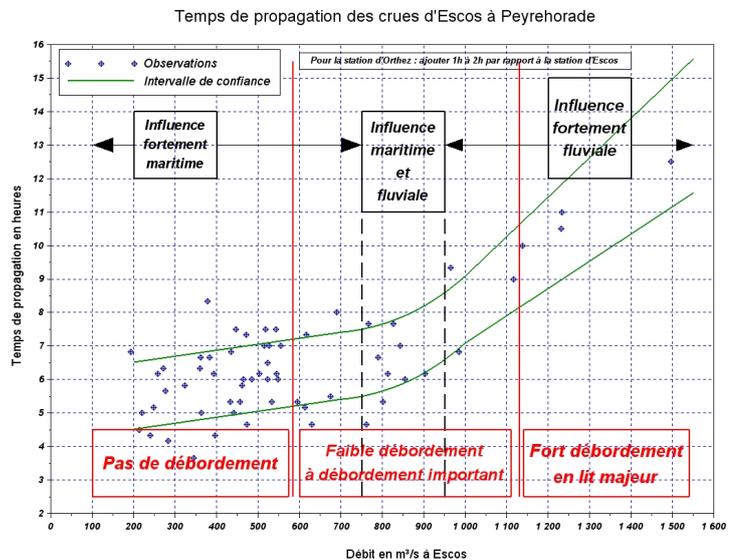


Figure n°4 : Temps de propagation du Gave d'Oloron - Type d'influence (maritime ou/et fluviale) - Débordement

II.2 Propagation de la marée entre Convergent et Peyrehorade

Pour évaluer la déformation du signal maritime entre l'embouchure de l'Adour (station marégraphique de Convergent) et la station de Peyrehorade, il convient de l'analyser sur des périodes où les débits des gaves sont faibles. En effet, hors périodes de crues des gaves, les déformations du signal de marée sont marginales. Le temps de propagation de l'onde de marée entre Convergent et Peyrehorade dépend des conditions de mer, des coefficients de marée et de la géométrie de l'Adour. A partir de l'historique de données, il est moyenné à environ 1h30 plus au moins 20 minutes.

Pour des sommes de débits des gaves de Pau et d'Oloron inférieures à 50 m³/s, les hauteurs des PM à Peyrehorade se déduisent tout simplement d'une relation linéaire avec les hauteurs de PM à Convergent (figure n°5).

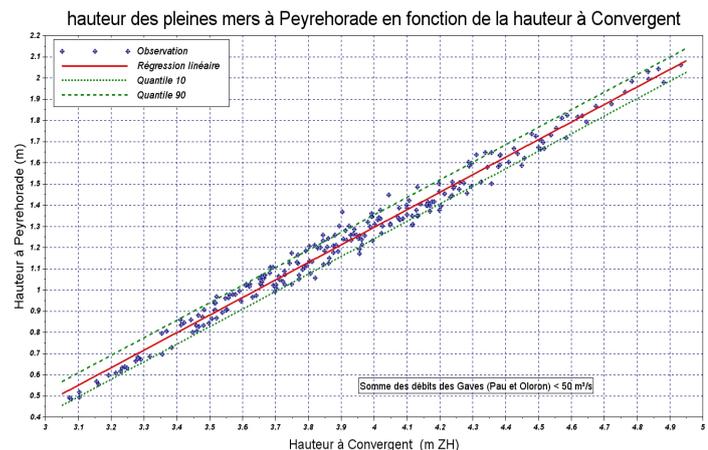


Figure n°5 : Hauteurs des PM à Peyrehorade en fonction des hauteurs à Convergent pour un débit des Gaves inférieurs à 50 m³/s

ZH : Zéro Hydrographique

II.3 Influence des débits fluviaux sur la hauteur d'eau à Peyrehorade

Que se passe-t-il au-delà d'un débit de $50 \text{ m}^3/\text{s}$? Pour mener cette analyse, nous nous appuyons sur la méthode utilisée par ailleurs sur la station de Pont-Blanc à Bayonne à l'aval de la Nive (quartier du petit Bayonne), voir [Diéval 2017].

Premièrement, nous calculons, pour chaque pleine mer, la différence entre la hauteur d'eau à Peyrehorade (débit supérieur ou égal à $50 \text{ m}^3/\text{s}$) et la hauteur d'eau déduite de la relation linéaire entre Convergent et Peyrehorade (voir analyse précédente pour des débits inférieurs à $50 \text{ m}^3/\text{s}$). Cette variable est appelée 'sur-hauteur' par la suite. La nappe qui relie les sur-hauteurs en fonction du débit des gaves et de la hauteur à Convergent donne une courbe de tarage 3D, figure n°6.

Ensuite, nous constituons neuf classes de hauteur de PM à Convergent : la première classe rassemble les hauteurs inférieures ou égales à $3,40 \text{ m}$ (ZH), la dernière classe regroupe les hauteurs supérieures à $4,80 \text{ m}$ (ZH), les 7 autres classes étant situées entre ces deux valeurs, par tranche de 20 cm . Si l'on s'intéresse à l'ensemble des points d'une même classe de hauteurs de PM, on observe un changement de pente de la droite de régression linéaire au voisinage d'une somme des débits des gaves de $400 \text{ m}^3/\text{s}$. De plus, tout comme dans l'étude de la station de Pont-Blanc à Bayonne, on observe que plus la hauteur de la PM à Convergent est importante, plus la sur-hauteur est faible. C'est-à-dire que l'influence du débit des gaves sur la hauteur à Peyrehorade est plus marquée pour des marées de faible amplitude que pour des marées plus amples.

Deuxièmement, pour chaque classe de hauteurs de PM et pour cinq classes de débits (0 à $100 \text{ m}^3/\text{s}$, 100 à $200 \text{ m}^3/\text{s}$, 200 à $300 \text{ m}^3/\text{s}$, 300 à $400 \text{ m}^3/\text{s}$ et au-delà de $400 \text{ m}^3/\text{s}$), on calcule la distribution des erreurs du modèle à Peyrehorade. On observe alors que, plus la somme des débits est faible, plus l'amplitude des erreurs l'est aussi ; ce qui traduit une dispersion plus faible.

Troisièmement, on divise encore chaque classe de débits en trois catégories, selon le signe du gradient de la somme des débits (ΔQ) des gaves. Le gradient est construit par différence entre le débit une heure après la PM et celui une heure avant. Si ΔQ est nul ou quasi nul (zone du pic de crue), on estime que le débit maximum des gaves arrive au moment de la pleine mer à Peyrehorade. Si $\Delta Q > 0$, le pic de crue n'est pas encore arrivé au moment de la PM (phase ascendante de crue). Si $\Delta Q < 0$, la PM arrive en phase de décrue des gaves. Ce critère permet de prendre en compte le comportement d'hystérésis. Pour chaque classe de hauteurs de PM on représente les droites de régression linéaire en fonction des catégories de ΔQ ($\Delta Q=0$,

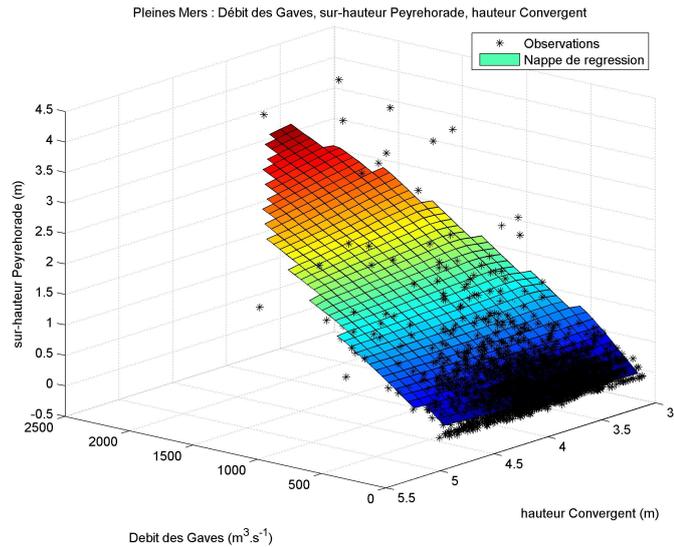


Figure n°6 : Sur-hauteurs à Peyrehorade en fonction des débits des Gaves et des hauteurs à Convergent

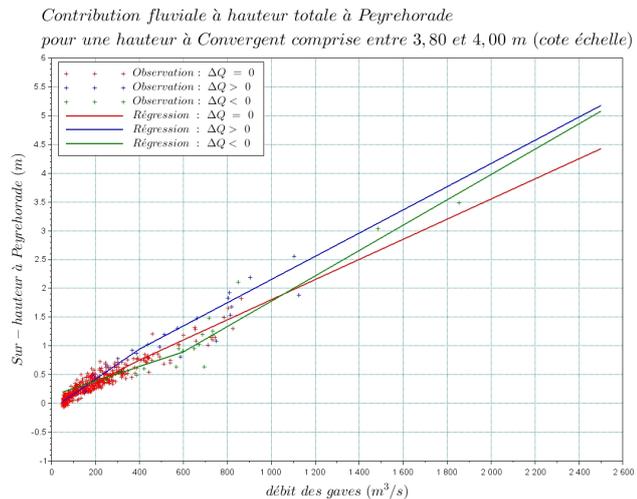


Figure n°7 : Dispersion des sur-hauteurs en fonction du débit et sa variation

le gradient est construit par différence entre le débit une heure après la PM et celui une heure avant. Si ΔQ est nul ou quasi nul (zone du pic de crue), on estime que le débit maximum des gaves arrive au moment de la pleine mer à Peyrehorade. Si $\Delta Q > 0$, le pic de crue n'est pas encore arrivé au moment de la PM (phase ascendante de crue). Si $\Delta Q < 0$, la PM arrive en phase de décrue des gaves. Ce critère permet de prendre en compte le comportement d'hystérésis. Pour chaque classe de hauteurs de PM on représente les droites de régression linéaire en fonction des catégories de ΔQ ($\Delta Q=0$,

$\Delta Q > 0$ ou $\Delta Q < 0$). On observe alors que, pour un $\Delta Q > 0$, la sur-hauteur est plus forte que pour un $\Delta Q = 0$ ou $\Delta Q < 0$ (voir la figure n°7 qui correspond au cas de la classe de 3,80m à 4,00 m).

Ce travail est à ce jour le plus abouti dans la compréhension et la décomposition des différents phénomènes en jeu pouvant expliquer le signal de hauteurs à Peyrehorade. Dans l'optique d'une utilisation opérationnelle en contexte de prévision, et afin de statuer sur la robustesse de l'outil, il nous reste à le confronter aux autres outils déjà développés sur le secteur.

III AUTRES OUTILS

Les outils opérationnels au SPC-GAD sur ce secteur sont actuellement :

- des courbes fournissant une hauteur prévue à Peyrehorade en fonction des débits des gaves, au-delà de 900 m³/s (figure n°8),
- des abaques de prévision à Peyrehorade issus de résultats de simulations du modèle Mascaret 1D Adour maritime,

D'autres outils sont en phase d'intégration à la chaîne opérationnelle du SPC-GAD :

- un modèle Mascaret 1D Adour-maritime couplé avec des modèles hydrologiques GRP,
- un modèle Télémac 2D,
- des abaques issus des analyses présentées dans cet article.

III.1 Courbes de hauteurs en fonction du débit des gaves, au-delà de 900 m³/s

L'analyse des hauteurs mesurées à Peyrehorade en fonction de la somme des débits des gaves supérieure à 900 m³/s a permis de construire un premier outil (figure n°8). Celui-ci a été développé avec les données mesurées lors des crues importantes de janvier-février 2014 et février-mars 2015. En particulier, les courbes montrent le comportement d'hystérésis entre la phase de crue ($\Delta Q > 0$) des gaves et celle de décrue ($\Delta Q < 0$). On y retrouve aussi le type de fonctionnement illustré par la figure 3.

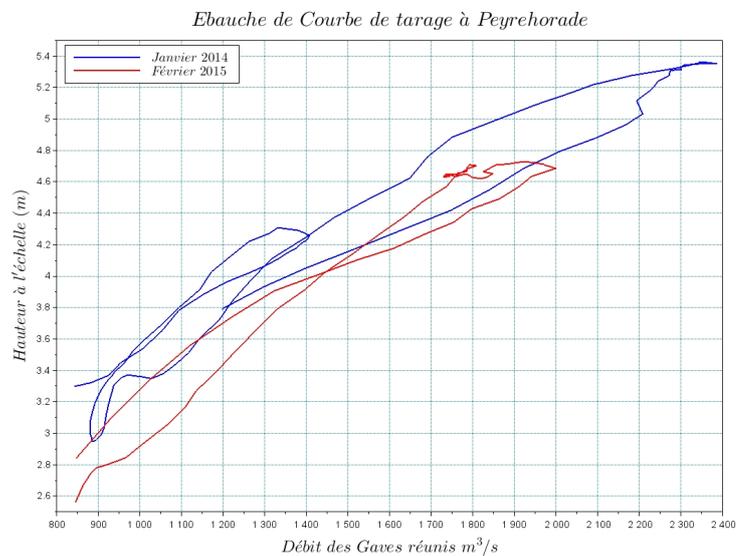


Figure n°8 : Évolution de la hauteur en fonction du débit des gaves sur deux crues importantes

III.2 Le modèle 1D Mascaret Adour-maritime

En 2006 commencent les premiers développements du modèle hydraulique 1D du secteur Adour maritime s'appuyant sur le code de calcul Mascaret. Initialement prévu pour la prévision de hauteurs d'eau à très courte échéance dans le secteur de Bayonne, il a été étendu sur le secteur de Peyrehorade, les prévisions étant produites toutes les 3 heures. Ce modèle non débordant a été amélioré et rendu plus robuste depuis.

Le synoptique du modèle apparaît sur la figure 9 et les conditions aux limites sont données par les stations de Cambo-les-bains (5) sur la Nive, d'Escos sur le gave d'Oloron (11), d'Orthez sur le gave de Pau (13), de Dax sur l'Adour (7) et de Convergent à l'embouchure de l'Adour (2).

À l'aval, les conditions maritimes sont définies par les hauteurs des marées prédites par le SHOM à Convergent et par les prévisions de surcote fournies par Météo-France et le SHOM à partir du modèle Hycom2D couplant modèle hydraulique et modèles numériques de prévision du temps. Pour s'affranchir des contraintes de calcul et permettre une expertise à chaud, ce modèle a été utilisé pour construire un jeu d'abaques synthétisant les simulations obtenues par le modèle sur l'ensemble du jeu de données testé. Ces abaques sont appelés les abaques du modèle Adour-Maritime.

En fonctionnement continu, le modèle est aussi destiné à être intégré à la chaîne opérationnelle. Jusqu'à la mi-2016, les conditions aux limites amont du modèle prolongeaient de façon constante les derniers débits observés sur les 24 h suivantes. Pour allonger l'horizon de prévision, y ont été intégrés des débits amont prévus à 24 h, voire 72h. Ces prévisions de débit sont fournies par le modèle hydrologique de transformation pluie-débit GRP [IRSTEA], alimenté par les lames d'eau observées et prévues par Météo-France.

Enfin, le SCHAPI a développé une plateforme opérationnelle de modélisation nommée POM qui permet d'enchaîner ces modèles GRP avec le modèle Mascaret Adour maritime.

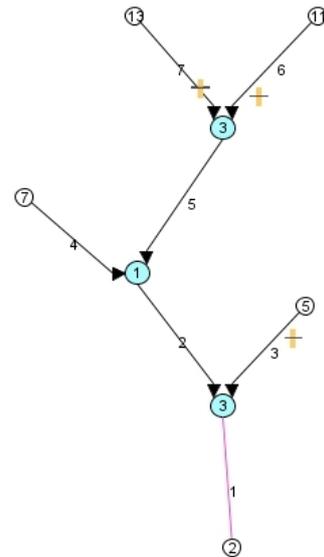


Figure n° 9: Schéma du modèle Mascaret 1D Adour-maritime

III.3 Le modèle 2D Télémac sur le secteur de Peyrehorade

En 2018, a été développé et calé un modèle hydraulique 2D sous le code de calcul Télémac. Composé d'environ 51 450 nœuds et 400 450 éléments, il est actuellement en cours de validation et d'intégration à la chaîne opérationnelle. Les conditions aux limites de ce modèle sont données par les stations d'Escos (Gave d'Oloron), d'Orthez (Gave de Pau), Dax (Adour) et Saint Laurent de Gosse (Adour).

Dès que ce modèle sera totalement validé, il doit permettre de renforcer la connaissance sur les comportements des crues du secteur de Peyrehorade. Les premières comparaisons, sur une série de crues, entre les observations et les résultats du modèle sont satisfaisantes (voir un exemple sur la figure n°10).

Au terme de sa mise en œuvre opérationnelle, le modèle 2D sera couplé avec les sorties de modèle Mascaret 1D pour la condition limite aval et avec les prévisions du modèle GRP pour les conditions aux limites amont.

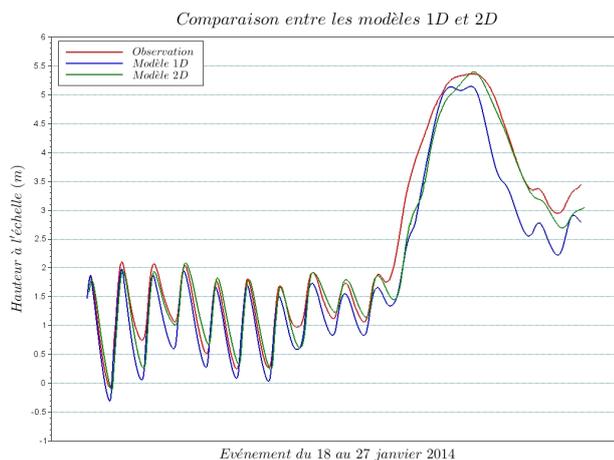


Figure n°10 : Comparaison des résultats des modèles 1D et 2D par rapport aux observations pour la crue de janvier 2014

IV COMPARAISON DES RÉSULTATS DES DIFFÉRENTS OUTILS

Sur différents événements, on compare les simulations de hauteur d'eau à Peyrehorade obtenues avec les différents outils :

- abaques du modèle Mascaret Adour maritime (noté abaque 1D dans les figures suivantes),
- courbes de hauteurs en fonction du débit pour des débits supérieurs à 900m³/s (noté abaque CDT),
- abaque de sur-hauteurs avec distinction de gradient de débit (noté abaque ΔQ).

Dans un premier temps, les paramètres amont sont les débits mesurés et, dans un second temps, les débits prévus par le modèle GRP.

Notons que les résultats obtenus avec le modèle Télémac 2D seront prochainement aussi intégrés.

Pour illustrer ces comparaisons dans cet article, nous présentons le cas de la crue de janvier 2014 qui a approché le seuil rouge à Peyrehorade. Les mêmes conclusions ont pu être obtenues sur les autres événements de crue d'ampleur similaire ou moindre.

IV.1 Crue de janvier 2014 : comparaison des résultats obtenus avec des débits amont mesurés

Sur la gauche de la figure 11 est représenté le résultat de la simulation de Mascaret assorti d'une enveloppe représentant l'incertitude (quantiles 10 % et 90 %) du modèle. On observe que l'observation est toujours dans l'enveloppe mais que le modèle sous-estime la phase de croissance de la crue et qu'il décroît aussi trop vite.

Sur la droite de la figure 11, sont représentés les résultats issus des différents abaques de prévision (1D, CDT et ΔQ). Seul l'abaque ΔQ est assorti d'une enveloppe d'incertitudes représentant les quantiles 10 et 90 associés. On peut voir que l'abaque 1D a tendance à sous-estimer la hauteur d'eau tout au long du passage de la crue. Les deux autres abaques ne sous-estiment les hauteurs qu'en phase de montée de crue. Au maximum de la crue, la prévision est très satisfaisante tandis qu'en phase de décrue, elle est moins juste mais tout de même contenue dans l'intervalle d'incertitude.

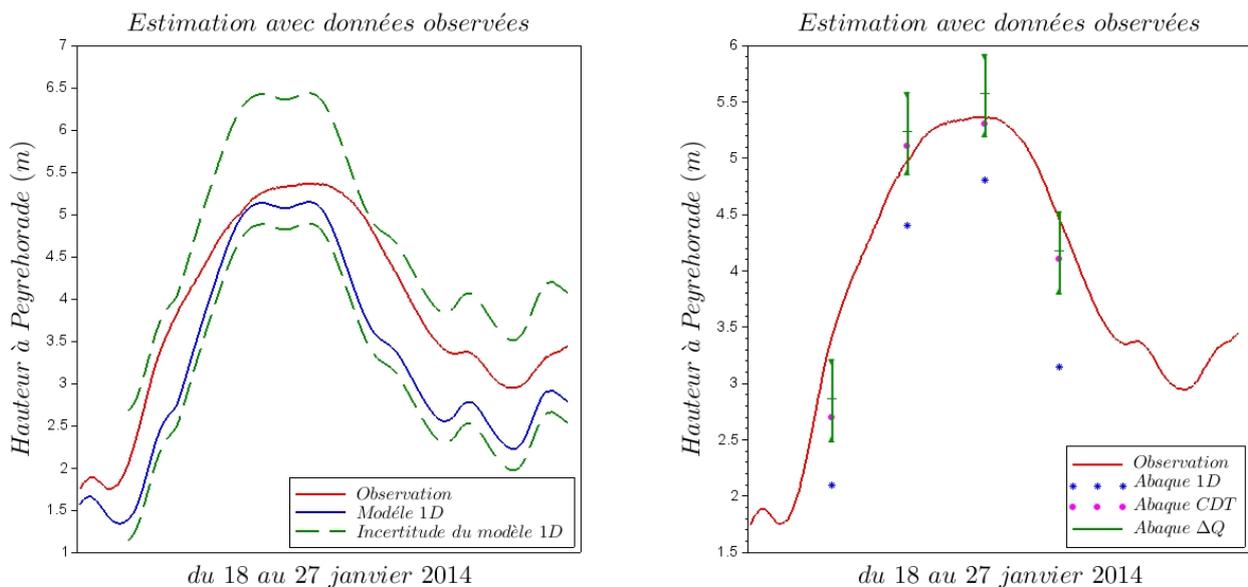


Figure n°11 : Comparaison des résultats des différents outils de prévision avec des données d'entrée observées pour la crue de janvier 2014

IV.2 Crue de janvier 2014 : comparaison des résultats obtenus avec des débits amont prévus par le modèle GRP

À gauche de la figure 12, on peut voir que la simulation du modèle 1D Adour maritime avec des débits amont prévus par le modèle GRP évalue correctement le niveau maximum de la crue. Cependant, l'enveloppe d'incertitude associée ne permettant pas d'intégrer totalement l'observation, on peut considérer que le modèle GRP ne reproduit pas correctement les conditions aux limites amont.

Du côté des différents abaques à droite de la figure 12, on observe qu'assortis des quantiles d'erreur 10% et 90 %, ceux construits à partir des données mesurées et prenant en compte le signe du gradient de débit donnent les meilleures estimations de hauteurs à Peyrehorade. Pour finir, on peut aussi établir que, si le modèle GRP ne reproduit pas correctement les débits, la prévision présentera des écarts importants.

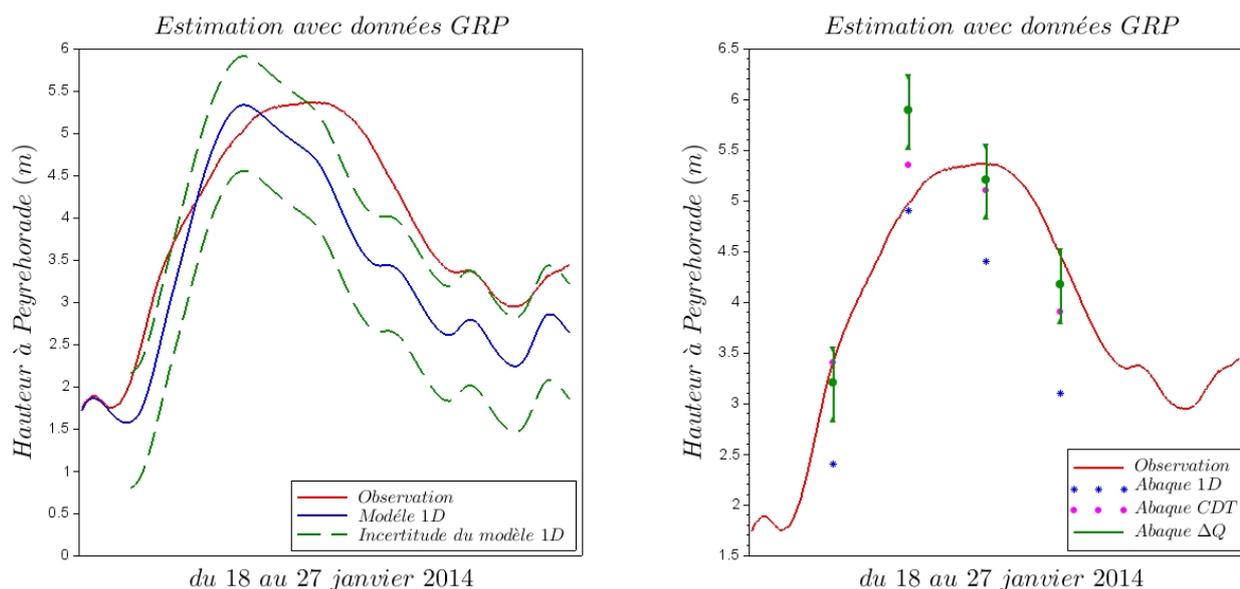


Figure n°12 : Comparaison des résultats des différents outils de prévision avec des données simulées par le modèle GRP pour la crue de janvier 2014

V CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

La prévision de hauteur d'eau à Peyrehorade demeure assez complexe, du fait de son influence maritime et fluviale. Même si les abaques construits à partir des données mesurées fournissent des estimations de hauteurs satisfaisantes, il reste aux prévisionnistes à intégrer la dynamique de la crue et son phénomène d'hystérésis. Pour cela, les modélisations 1D et 2D peuvent leur apporter des éléments.

Plusieurs pistes d'études permettraient d'apporter des informations supplémentaires [Fram, 2006, Chen, 2010, Chen, 2002, Ruhl, 2005].

La première consisterait à réaliser des jaugeages (type ADCP) durant un ou plusieurs cycles de marée complet lors d'une crue, ou même durant toute la durée de passage de la crue. Ces jaugeages fourniraient des indications supplémentaires sur le comportement de la hauteur d'eau à Peyrehorade et son phénomène d'hystérésis, en particulier pour les forts débits.

Une deuxième approche concerne la modélisation 2D sous le code Télémac. Un travail de validation de ce modèle à Peyrehorade est en cours : le travail classique de simulation de crues de référence peut être complété par un travail de simulation des sur-hauteurs et de comparaison des champs de vitesse avec des données de jaugeage ADCP.

À des fins opérationnelles, il sera aussi utile de coupler ce modèle 2D avec des modèles de prévision pluie/débit et de surcote, tout en intégrant les incertitudes.

Progressivement, il sera enfin intéressant d'intégrer à notre chaîne de prévision une approche ensembliste puisque nos sources de données nous le permettront.

En complément, les différentes approches nous permettront aussi de passer de la prévision des crues à la prévision des inondations puisque la modélisation 2D peut aussi nous fournir des enveloppes de surfaces inondées.

VI REMERCIEMENTS

Nous remercions l'ensemble des prévisionnistes du SPC-GAD qui utilisent, pour leur mission, les outils de prévision et nous font part de leur retour d'expérience ainsi que de pistes d'amélioration. Ces retours nous permettent de progresser dans la recherche, le développement et la mise en œuvre des outils opérationnels.

Nous remercions également les équipes d'hydromètres de terrain qui réalisent des jaugeages dans des conditions difficiles pour affiner les courbes de tarage dans le domaine fluvial.

Enfin, nous remercions les autres personnes qui mettent à disposition des données de hauteurs d'eau.

VII RÉFÉRENCES

CAI H. *et al.* (2015). – A predictive model for salt intrusion in estuaries applied to the Yangtze estuary. *J. Hydrology*, **529**:1336-1349.

CAI H. *et al.* (2016). – Analytical approach for determining the mean water level profile in an estuary with substantial fresh water discharge. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **20**:1177-1195.

MOFTAKHARI H. R. *et al.* (2013). – A novel approach to flow estimation in tidal rivers. *Water Resources Res.*, **49**:4817-4832.

CHEN Y.-C., CHIU C.-L. (2002) – An efficient method of discharge measurement in tidal streams. *J. Hydrology*, **265**:212-224.

CHEN Y.-C., KAO S.-P., Yu S.-R. (2010) – Flood discharge measurement using ADCP. *6Th Int. Symp. On Ultrasonic Doppler methods for Fluid Mechanics and Fluid Engineering*.

FRAM J. P., MARTIN A., STACEY, M. T. (2007). – Dispersive fluxes between the coastal ocean and a semienclosed estuarine basin. *J. Phys. Oceanography*, **37**:1645-1660.

RUHL C. A., SIMPSON M. R. (2005) – Computation of discharge using the Index-Velocity Method in tidally affected areas. *USGS Tech. Report 2005-5004*.

DIEVAL Laurent, SYLVAIN CHESNEAU Sylvain, GALLEN Romain et LACAZE Yan – N'y a-t-il vraiment pas d'hydrométrie dans les secteurs sous influence maritime ? – Congrès SHF – Hydrométrie 2017 – Lyon 14-15 mars 2017

Vigicrues : <https://www.vigicrues.gouv.fr/>.

Irstéa: <https://webgr.irstea.fr/modeles/modele-de-prevision-grp/>

Météo-France : <http://www.umr-cnrm.fr/spip.php?rubrique68>