



DÉPARTEMENT MÉCANIQUE DES FLUIDES
ÉNERGÉTIQUE ET ENVIRONNEMENT

Hydraulique à surface libre

Modélisations 1D et 2D sur HEC-RAS



DE LANUX Lucas - PUY Florent

Année 2023-2024

Table des matières

Introduction	2
1 Analyse du site	3
2 Modèle 1D	4
3 Modèle 2D	8
Conclusion	12

Introduction

En juin 2013, une importante crue a eu lieu sur le gave de Pau, ayant causé la malheureuse perte de deux personnes et des millions de dégâts, comme l'annonce l'article de "La Nouvelle République des Pyrénées". Cette crue a mis en évidence la nécessité de disposer de modèles hydrauliques précis et robustes pour mieux comprendre et anticiper les phénomènes d'inondation. C'est dans cette optique que ce projet se consacre à la modélisation hydraulique du gave de Pau en utilisant les approches 1D et 2D du logiciel HEC-RAS, un outil largement reconnu et utilisé dans le domaine de l'ingénierie hydraulique.

L'objectif principal de ce projet est de développer et d'analyser des modèles numériques représentant un tronçon du Gave de Pau. Ces modèles permettront de comparer les avantages et les limitations des approches 1D et 2D, notamment en termes de précision de la simulation des hauteurs d'eau et de l'étendue des zones inondées. Les résultats obtenus serviront à évaluer l'impact des infrastructures existantes sur la dynamique des crues et à déterminer la pertinence de l'utilisation d'une modélisation 2D pour cette zone spécifique.



FIGURE 1 – Magazine sur la crue de 2013 sur le Gave de Pau, La Nouvelle République des Pyrénées

1 Analyse du site

Dans les environs du village d'Argelès-Gazost coule le gave de Pau. On peut, grâce à de nombreux services open-source, observer les différents phénomènes affectant ce cours d'eau. Nous relèverons ici les données hydrologiques grâce à HydroPortail ainsi que la topologie du lieu et ses infrastructures grâce à Google Earth et GéoPortail.

Exemples d'ouvrages au travers le canal :

- Pont du fer
- Barrage hydro-électrique
- Routes
- Lac

Nous avons pu sur Google Earth tracer le cours d'eau passant à côté de la ville d'Argelès-Gazost :

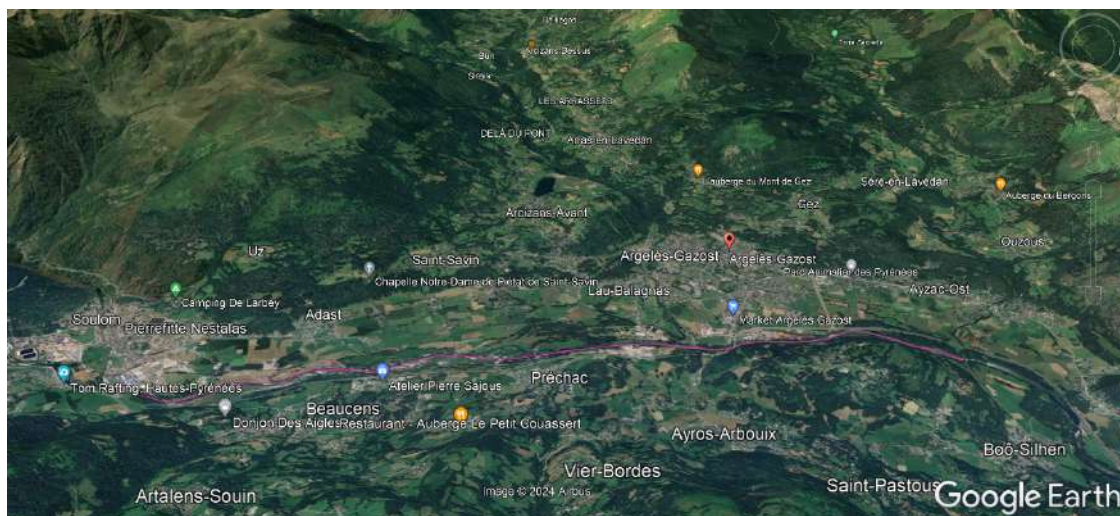


FIGURE 2 – Tracé du cours d'eau (en rose) sur Google Earth

Nous avons pu à partir du site "HydroPortail" relever des données de débits caractéristiques et de crue du cours d'eau du Gave de Pau.

On pourra retrouver ces données en annexes.

2 Modèle 1D

2.1 Création de la géométrie

Sur la géométrie importée précédemment, nous traçons depuis le logiciel HEC-RAS des sections traversant le cours d'eau "cross sections" et indiquons le niveau des berges.

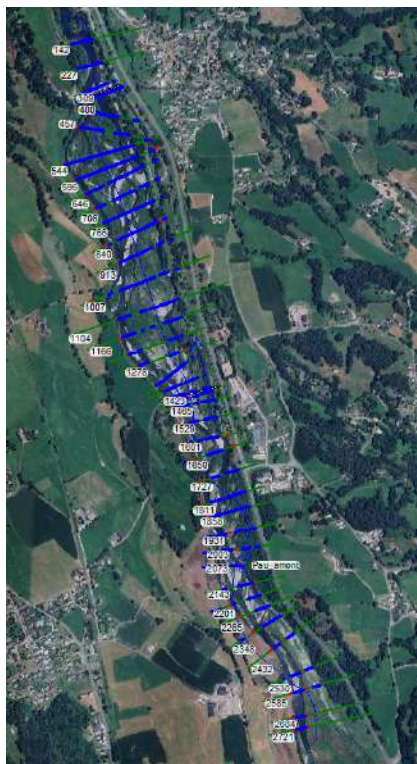


FIGURE 3 – Géométrie HEC-RAS, cross sections et points de calage

2.2 Calage du modèle

Maintenant que nous avons initialisé l'étude avec la création de la géométrie et des seuils, nous devons passer l'étape de calage du modèle 1D, c'est-à-dire de modifier la paramétrisation du modèle pour que les simulations soient le plus représentatives possible des observations, au sens d'un critère d'erreur à définir. Ce qu'on observe ici en particulier sont les hauteurs d'eau le long du profil étudié.

Le paramètre important sur lequel on peut jouer pour caler le modèle est le coefficient de Manning n , caractérisant la rugosité du lit mineur. Ainsi, nous avons pu comparer les hauteurs d'eau pour le coefficient de Manning d'origine ($n = 0.03$) avec celles pour un nouveau coefficient mieux adapté ($n = 0.05$) :

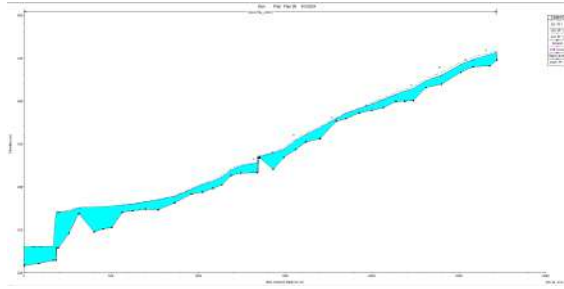


FIGURE 4 – Profil en long pour $n = 0.03$

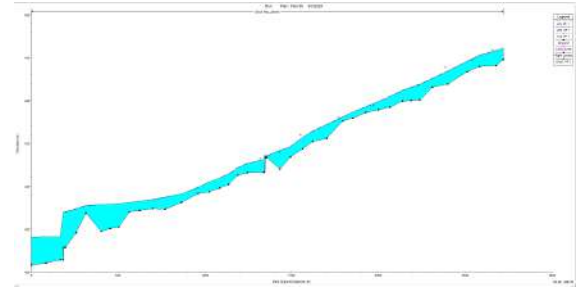


FIGURE 5 – Profil en long pour $n = 0.05$

On peut observer graphiquement (si l'on zoom sur les deux figures) que les hauteurs d'eau correspondent plus aux points de calage pour la simulation à $n=0.05$.

Par ailleurs, on peut utiliser l'écart quadratique moyen (RMSE) pour quantifier l'erreur entre les valeurs théoriques et expérimentales de hauteurs d'eau où plus il est petit et meilleur est le calage :

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n_T} \sum_{i=1}^{n_T} (z_i^0 - z_i^s)^2} \quad (1)$$

Pour ce faire, nous avons dû faire avant une interpolation lagrangienne (voir annexe, figure 15) entre les hauteurs d'eau calculées numériquement. On obtient :

	n=0.03	n=0.05	n=0.08
RMSE	0.89	0.73	0.84

En procédant par essai et erreur, nous avons déduit que un bon coefficient de Manning pour le calage de notre modèle était $n=0.05$. On pourrait évidemment caler de manière plus précise le modèle mais l'étude de calage étant relativement longue, nous avons décidé de ne pas pousser l'étude davantage.

2.3 Exploitation du modèle

Nous nous placerons ici en régime permanent, en travaillant maintenant sur le modèle calé. Nous allons étudier l'étendue maximale d'une crue de période de retour de 50 ans et l'étendue maximale de la zone inondée pour le débit de pointe de la crue de juin 2018.

On obtient ainsi sur le RAS-Maper la visualisation de la crue cinquantennale :

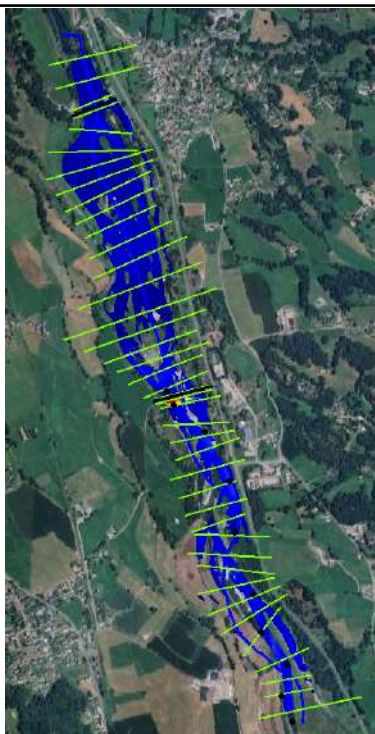


FIGURE 6 – Profil du gave de Pau pendant la crue cinquantennale

On observe comme attendu des débordements sur les côtes à cause d’une montée des eaux importante causée par la crue. On peut visualiser grâce aux images satellites des zones à enjeux potentiellement vulnérables comme des routes, des habitations, des champs de culture et des établissements publics plus au moins loin de la zone de crue, mais qui ne sont pas touchés par cette dernière d’après la simulation.

De plus, la présence de seuils peut avoir des impacts significatifs en amont sur la zone inondée. En élevant le niveau d’eau grâce à sa capacité de rétention d’eau, le seuil peut provoquer une inondation des zones riveraines en amont qui n’auraient pas été inondées sans le seuil. On peut noter aussi que cette accumulation d’eau est couplée au ralentissement de l’écoulement réduisant davantage l’efficacité d’évacuation de l’eau. Cela est d’ailleurs plus marquée pour le deuxième seuil en aval.

Sachant que pour la crue cinquantennale, le débit était de $230 \text{ m}^3/\text{s}$, alors il est très probable que pour la crue de 2018, sa période de retour soit inférieure à celle de l’autre crue (on peut donner une estimation grossière de 20 à 40 ans) car son débit est plus faible, donc il y a plus de chance qu’elle ait lieu.

On a pu apercevoir sur le profil long dans la visualisation des données qu'il y avait un passage au régime torrentiel à l'amont du deuxième seuil (on observait graphiquement que la hauteur d'eau était plus grande que la hauteur d'eau critique h_c). Ce résultat peut être remis en question car comme dit précédemment, l'eau juste à l'amont du seuil est accumulée et est moins en mouvement. Donc l'écoulement dans cette zone devrait plutôt être en régime fluvial. On en déduit donc que la simulation n'est pas valide au niveau de cette zone.

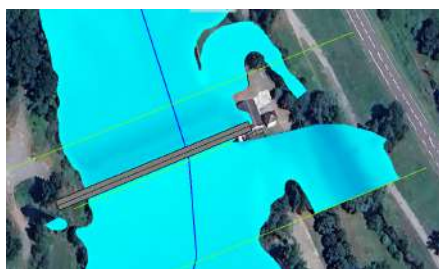
En ayant comparé la simulation de la crue cinquantiennale avec celle de juin 2018, on a observé peu de différences particulières, si ce n'est que les hauteurs d'eau et l'étendue de la zone inondée pour la crue cinquantiennale.

2.4 Simulation d'une crue

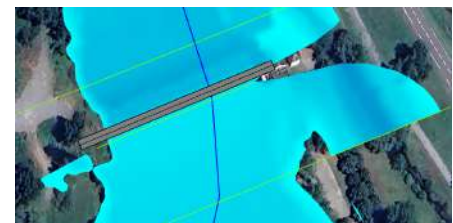
Dans cette partie, nous allons utiliser le modèle 1D après calage afin de simuler la crue de juin 2013. Nous allons nous placer en régime non permanent en nous basant sur la résolution des équations de Saint-Venant.

Pour cela, nous avons dû mettre en place des conditions initiale et aux limites (sur les débits aux différents instants t en amont connus grâce au fichier excel) et paramétrer numériquement la simulation (pas de temps, tolérances, ...).

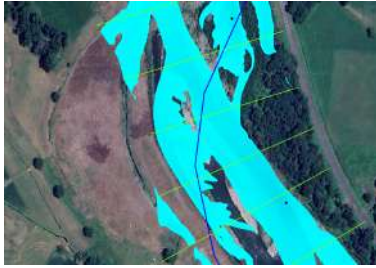
Suite à la simulation, nous avons pu visualiser quelques zones touchées par la crue, notamment une infrastructure proche du deuxième seuil et des champs agricoles :



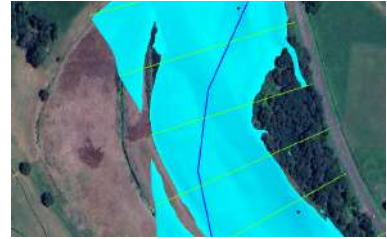
(a) Inondation d'une infrastructure lors de la crue (débit minimal)



(b) Inondation d'une infrastructure lors de la crue (pic de crue)



(a) Inondation d'un champ
lors de la crue (débit
minimal)



(b) Inondation d'un champ
lors de la crue (pic de crue)

On observe concernant l'infrastructure qu'elle est partiellement inondée lorsque le débit est le plus faible et complètement inondée lors de la pointe de crue (qui a lieu 6 jours et 18h après le début de la simulation). Concernant le champ, l'étendue de l'inondation est plus grande lors de la pointe de crue (on observera aussi que la plupart des zones un peu en hauteur au sein de la rivière sont entièrement inondées). La durée de submersion de ces zones sont très variables selon la zone géographique mais varie principalement entre 10 h et 3 jours).

Concernant l'étendue maximale obtenue avec cette simulation instationnaire (lors de la pointe de crue), on n'observe pas de différences notables avec celle obtenue précédemment en stationnaire car le débit est le même. Cependant, on peut noter qu'il est possible en instationnaire de voir l'apparition de potentielles zones turbulentes au fil du temps grâce au nombre de Froude sur le RAS-Maper quand il est supérieur à 1 (voir annexe).

Depuis l'onglet "Stage and Flow Hydrograph", nous avons pu déterminer graphiquement le temps de propagation de la crue depuis l'amont jusqu'à l'aval en comparant les débits de pointe au niveau des profils amont et aval. On a estimé un temps de propagation inférieur ou égal à 1h.

Toujours sur la même interface, nous avons pu voir qu'il s'agissait d'une crue soudaine avec une montée des eaux d'environ 17h en prenant la différence de temps entre celui où le débit/hauteur d'eau commence à augmenter de manière importante et celui où le débit chute.

3 Modèle 2D

Nous allons dans cette partie procéder à la création d'un modèle à deux dimensions.

3.1 Maillage et données

Le maillage créé contient des mailles à géométrie variable. Les parties critiques comme les seuils présents sur la zone d'étude sont renseignés au niveau du logiciel, ils contraignent des lignes de maillage et présentent des mailles plus fines afin d'améliorer la précision. Les conditions limites amont et aval ainsi que la rugosité en distinguant le lit mineur du lit majeur sont également définies. Voici le maillage ainsi obtenu :



(a) Maillage 2D



(b) Maillage 2D, zoom sur seuil aval

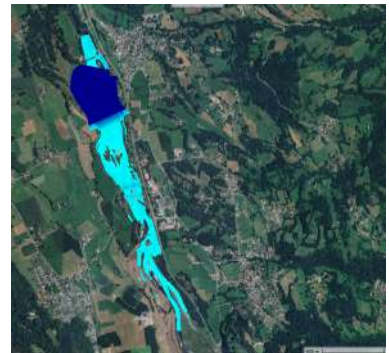
FIGURE 9 – Géométrie HEC-RAS, Maillage 2D

3.2 Simulation

Pour commencer, nous lançons des simulations en régime stationnaire qui sont exécutées rapidement par les machines à notre disposition. À débit normal ($50m^3/s$) et débit de crue ($240m^3/s$), on obtient les résultats ci-contre :



(a) Profondeur à débit normal



(b) Profondeur à débit de crue

FIGURE 10 – Simulations maillage 2D en régime permanent

On observe ainsi pour la simulation de débit de crue une hauteur d'eau plus importante en amont du deuxième seuil que pour la simulation à débit normal.

Nous lançons la simulation en régime instationnaire sur une période de 72h, du 5 au 8 juin 2013. Les temps de calcul sont longs, une dizaine d'heures environ. Voici les résultats obtenus pour la vitesse d'écoulement et la donnée WSL (water surface elevation) :

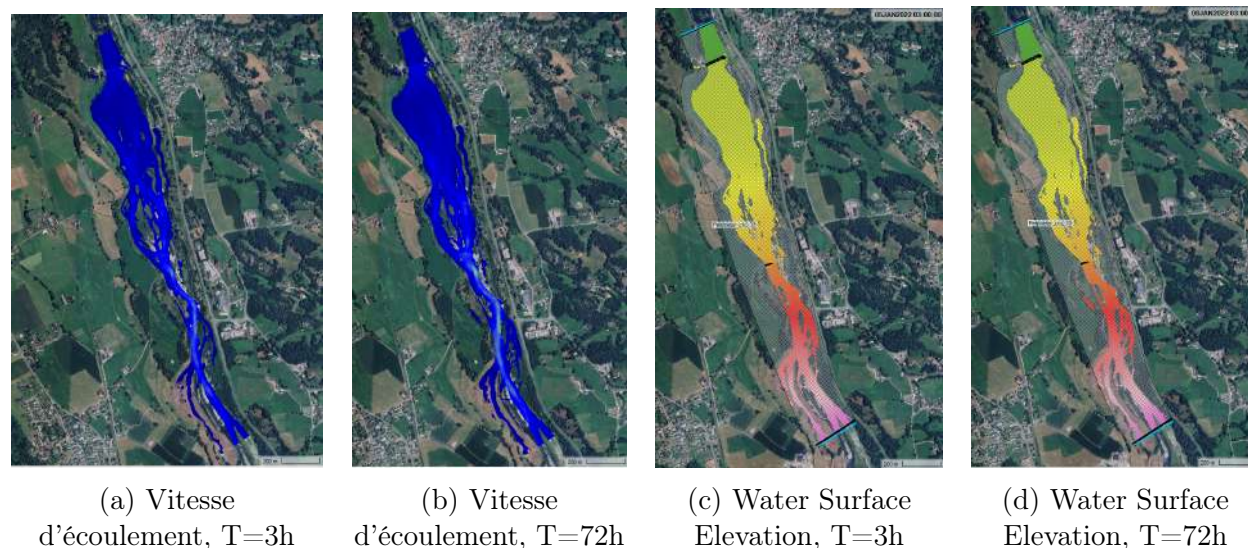


FIGURE 11 – Vitesses d'écoulement et Water Surface Elevation, à T=3h et T=72h de simulation

Les figures montrent qu'à T=3h, la vitesse d'écoulement et l'élévation de la surface de l'eau (WSL) sont élevées, reflétant le pic de crue avec des variations significatives dans les vitesses et des niveaux d'eau critiques. À T=72h, la vitesse d'écoulement et l'élévation de la surface de l'eau restent très proches malgré une faible diminution, indiquant une stabilisation post-crue, avec des flux plus réguliers et des niveaux d'eau en légère baisse. La crue dure environ 6h et est assez soudaine. Nous obtenons des temps de submersion d'environ 9h.

On peut observer que le seuil aval a un impact important sur l'écoulement et l'étendue des inondations. Ce type d'ouvrage régule le débit en retenant une partie du flux, ce qui maintient un niveau d'eau cible. On peut également étudier ses effets en aval, comme l'atténuation des inondations.

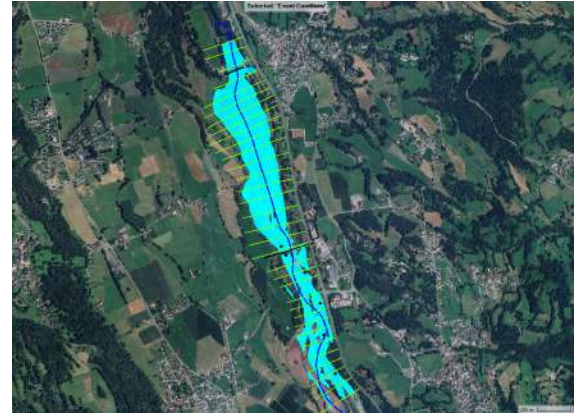
Concernant l'impact de la rugosité sur l'écoulement, une rugosité accrue peut retenir l'eau (présence de végétation, algues, sol sablonneux) affectant la propagation des inondations, tandis-qu'une rugosité moindre (surfaces lisse, roche) favorise un écoulement plus rapide et des niveaux d'eau moins importants.

3.3 Comparaison 1D - 2D

Comparons maintenant les résultats des deux modèles étudiés. Nous pouvons représenter les résultats de la simulation 1D grâce à une interpolation entre les différents profils en travers.



(a) Modélisation 2D



(b) Modélisation 1D

FIGURE 12 – Profondeurs avec les modèles 1D et 2D

Les simulations 1D et 2D ci-dessus présentent des résultats relativement similaires. On notera cependant des résultats plus cohérents pour les résultats issus de la 2D.

Pour l'étude des crues où il est primordial de connaître le niveau d'eau et la couverture d'eau de la zone à risque, une simulation 2D semble nécessaire. Cependant, face à la proximité de nos résultats, le modèle 2D pourrait être limité aux zones de débordement (ici surtout en aval) et une simulation 1D est envisageable dans les zones où même en période de crue les débordements sont minimes.

L'approche bidimensionnelle va également perdre son intérêt dans les zones où il y a peu de différences dans l'écoulement à une certaine échelle locale (zones avec même fond, avec même rugosité de lit, avec des sections constantes semblables, où l'écoulement est principalement unidirectionnel et linéaire...) du fait qu'elle demande un certain coût en temps, à la fois pour la création du maillage mais aussi pour le temps de simulation (avec une différence plus marquante en régime instationnaire). À l'inverse, elle sera davantage intéressante dans les zones à écoulement complexe en permettant de modéliser de manière plus réaliste les phénomènes hydrodynamiques complexes, tels que les écoulements transversaux, les tourbillons, et les zones de recirculation.

Conclusion

En conclusion, ce projet de modélisation hydraulique du Gave de Pau avec HEC-RAS a mis en évidence la nécessité de modèles précis pour comprendre et gérer les inondations. La crue de juin 2013 a illustré les défis posés par de tels événements et l'importance d'outils robustes pour les anticiper.

Bien que l'étude de la modélisation 2D ne soit pas totalement achevée, les analyses préliminaires ont déjà permis de comparer les approches 1D et 2D. La modélisation 1D a montré son utilité pour des simulations rapides et simples, tandis que la modélisation 2D promet une meilleure précision dans des environnements plus complexes.

Les résultats obtenus jusqu'à présent fournissent des indications précieuses pour améliorer la gestion des risques d'inondation et la planification des infrastructures dans la région du Gave de Pau. Ce projet représente une étape importante vers une meilleure compréhension et une gestion plus efficace des phénomènes hydrologiques.

Pour finir, ce projet nous a permis d'apprendre à synthétiser un rapport en y référant que les éléments clés et essentiels d'une étude, en accentuant davantage sur les résultats obtenus et les réflexions/critiques qui en découlent, ce qui est crucial dans notre future vie d'ingénieur pour échanger et se faire comprendre efficacement à propos d'un projet avec d'autres personnes.

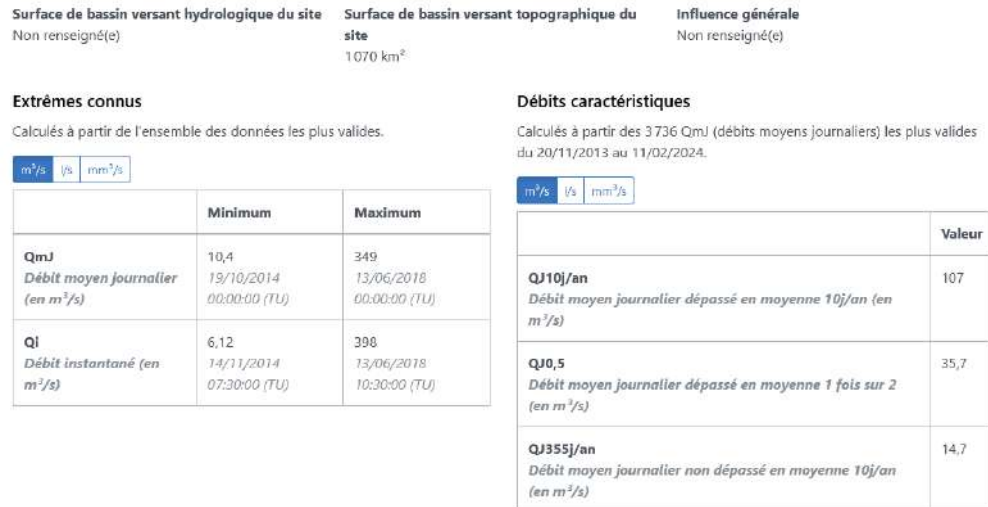


FIGURE 13 – Débits caractéristiques du gave de Pau

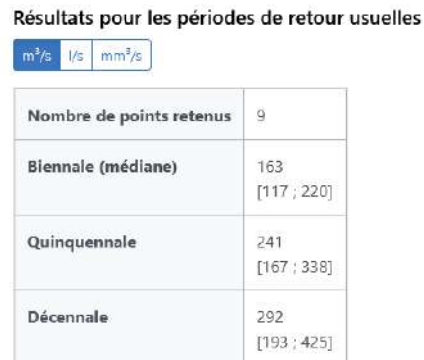


FIGURE 14 – Périodes de retour usuelles sur le Gave de Pau

Annexe

Time Series	Maximum	Time at Max	Volume 1000 m³
Stage	444.58	11Jan2022 1800	
Flow	243.2	11Jan2022 1800	59789.51

(a) Caractéristiques du pic de crue en amont

Time Series	Maximum	Time at Max	Volume 1000 m³
Stage	425.23	11Jan2022 1900	
Flow	233.24	11Jan2022 1900	59795.06

(b) Caractéristiques du pic de crue en aval

FIGURE 18 – Comparaison des caractéristiques des profils amont et aval pour la crue 2013 en simu instationnaire

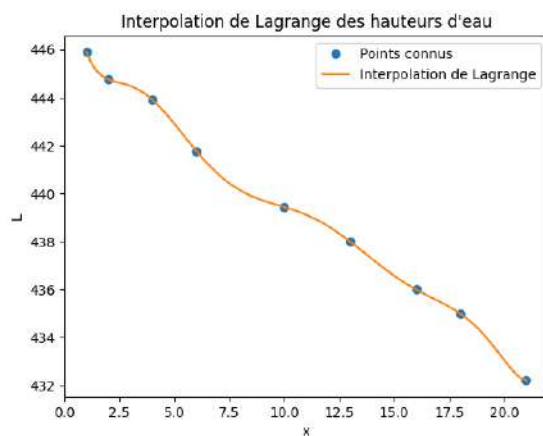


FIGURE 15 – Interpolation lagrangienne pour calcul du RMSE



FIGURE 16 – Évolution du débit (vert) et des hauteurs d'eau (bleu) en amont en fonction du temps pour la crue de 2013



FIGURE 17 – Visualisation du nombre de Froude sur le RASMaper lors de la pointe de crue de 2013