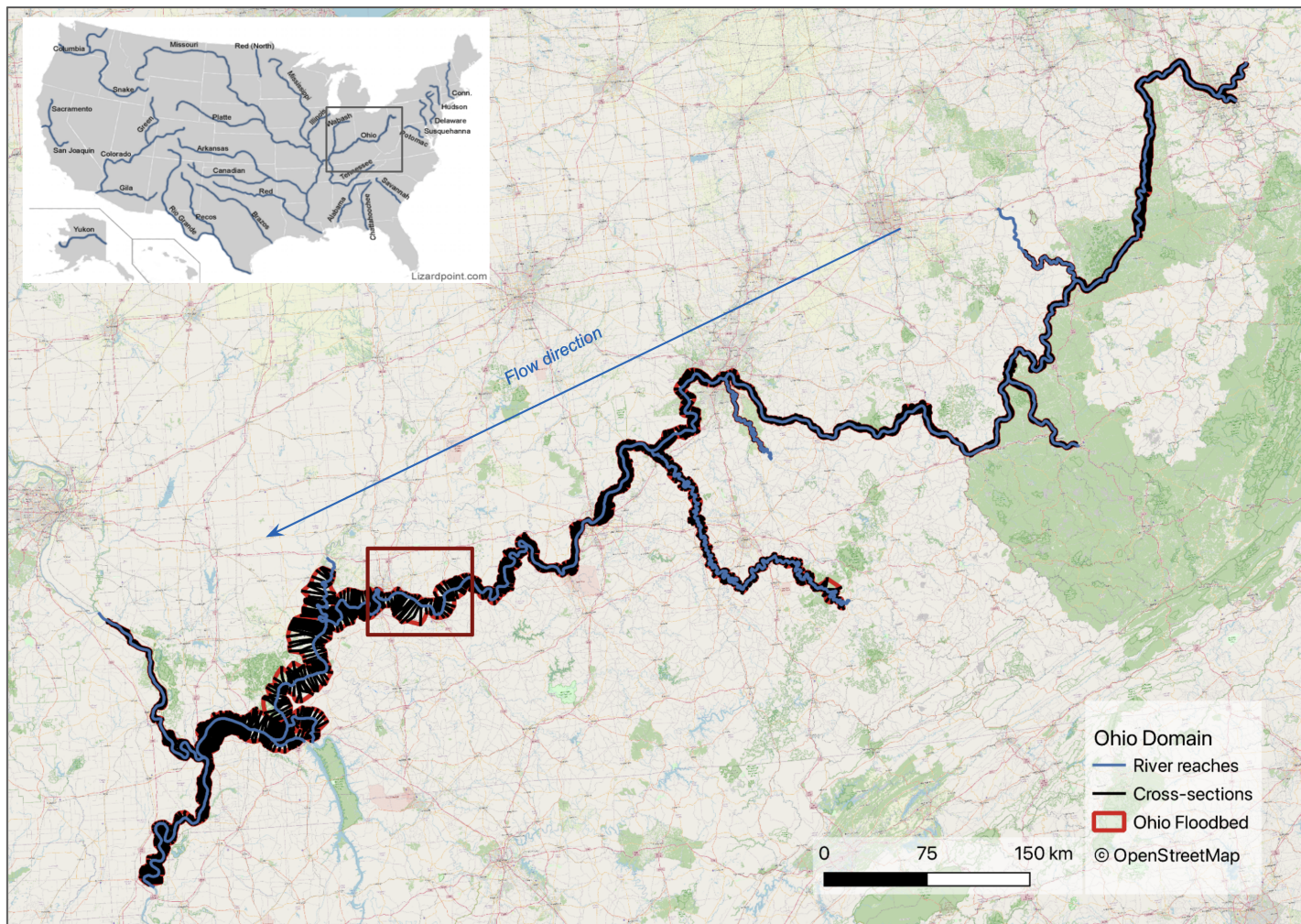


Rapport 2023 avancements Ohio Sadki

Objectif de l'étude et introduction des modèles 1D/2D :

L'objectif de cette section est de comparer les résultats de simulation du modèle hydraulique 2D (sous Telemac) [https://inle.cerfacs.fr/projects/sco-flooddam/wiki/Simulations_Ohio_Telemac2D] avec ceux du modèle 1D sous HEC-RAS.

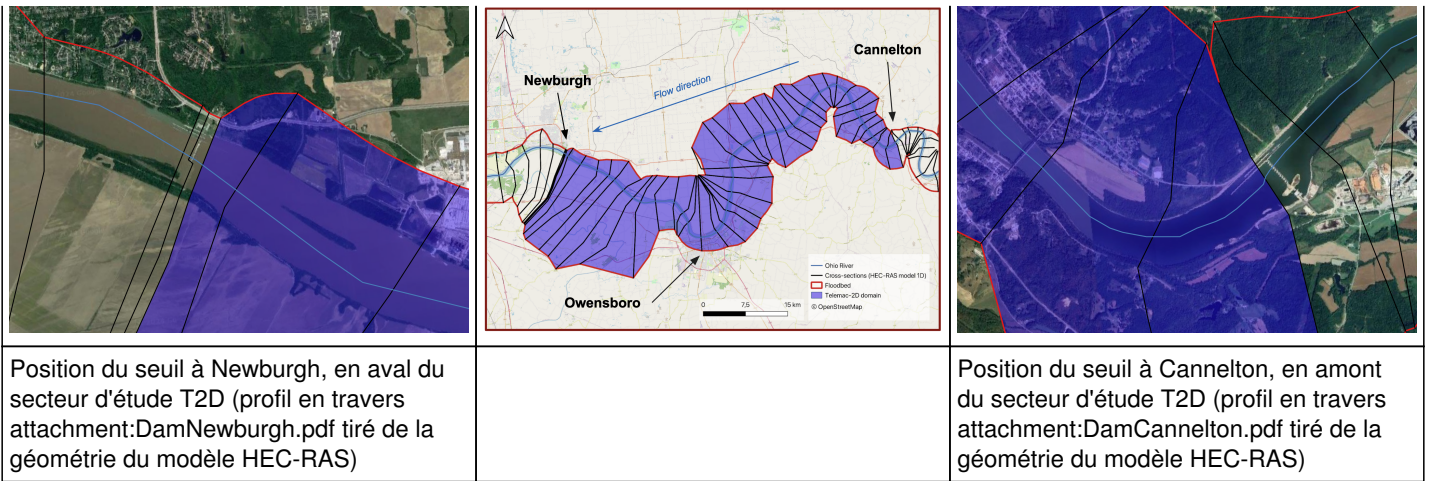
Ce dernier est extrait du modèle opérationnel conçu par la NOAA, qui est utilisé pour la prévision des crues sur un tronçon étendu de la rivière Ohio (de la ville de Pittsburg -> à l'aval d'Evansville, après la confluence avec le Mississippi), soit 2900 km de tronçon modélisé : l'ensemble du fleuve Ohio (1550 km), ses différents affluents (Allegheny + Monongahela, qui forment l'Ohio à leur confluence, puis les affluents Kanawha, Licking, Kentucky, Wabash, Cumberland et Tennessee ; au total 990 km) ainsi que la confluence avec le Mississippi (tronçon amont/aval à la confluence : de 360 km).



Le modèle 1D sous HEC-RAS comprend également une description géométrique et hydraulique des structures latérales (102) ainsi que celle de barrages le long des rivières (44). Comme le modèle est en 1D, des casiers de stockage d'eau (90) sont inclus au long des rivières, en dehors des profils en travers, afin de stocker les débordements en lit majeur (pas de calcul explicite de la dynamique d'écoulement à l'intérieur des bassins, vitesse nulle). La nécessité de rester en 1D découle de la longueur du linéaire modélisé et du besoin de faire tourner le modèle régulièrement et rapidement compte tenu de son objectif opérationnel.

Le modèle Telemac-2D se limite à une zone réduite comprise entre les villes de Cannelton et Newburgh. Ce tronçon de la rivière a en premier lieu été sélectionné sur la base de la disponibilité des observations Sentinel-1, où des images de zones inondées en lit majeur étaient disponibles pour deux événements de crue recensés (2018, 2022).

Aval du modèle, vers Newburgh (c)Google satellite	Domaine T2D Ohio (c)OpenStreetMap	Amont du modèle, vers Cannelton (c)Google satellite



Il est à noter que le tronçon de l'Ohio choisi pour la modélisation dans Telemac-2D se situe dans une zone dépourvue des seuils amont/aval à Cannelton et à Newburgh respectivement. La zone modélisée a été choisie de manière à ne pas inclure 2 barrages situés en amont et en aval de Cannelton et Newburgh respectivement.

L'emplacement de ces 2 barrages ne pose pas de problème pour le calcul des débits, car ces derniers sont destinés à la navigation et sont donc des barrages au fil de l'eau qui n'entraînent pas de perturbations significatives sur le débit du fleuve. Le barrage en aval a cependant un effet sur le niveau d'eau à Newburgh, mais nous disposons à cet endroit d'une courbe de tarage qui tient compte de l'hydrodynamique du barrage.

Il y a néanmoins un seuil à Owensboro qui n'est représenté (hydrauliquement) dans aucun des 2 modèles (ni HEC-RAS, ni Telemac). La NOAA devrait nous fournir ses données d'opération.

Géométrie des modèles :

Afin de comparer les 2 modèles, le modèle HEC-RAS 1D de la NOAA a été découpé et simplifié pour correspondre à l'étendue du modèle 2D, couvrant le tronçon de l'Ohio depuis Cannelton jusqu'à Newburgh. La longueur du tronçon de l'Ohio modélisé par les deux modèles est de 89.7 km. Avec Telemac-2D, puisque l'hydrodynamique est calculée en 2D, le périmètre de la zone d'étude est délimité par les frontières des profils en travers existants du modèle HEC-RAS (qui représentent à la fois le lit mineur et le lit majeur). La superficie modélisée en 2D est de 1006 km².

Les élévations des nœuds de maillage du modèle T2D sont basées sur un MNT construit par la NOAA, qui inclut une description des élévations du lit mineur et des plaines d'inondation.

Dans le modèle HEC-RAS, la géométrie est composée de 43 profils en travers extraits du modèle opérationnel de la NOAA, couvrant la zone de Cannelton-Newburgh. Ces profils en travers comprennent une description de la bathymétrie dans le lit mineur ainsi que de la topographie dans les plaines d'inondation, et il est donc possible de détecter le débordement du lit mineur même si la dynamique n'est pas représentée en 2D.

Afin de s'assurer que les deux modèles couvrent la même zone et ont la même complexité des composants représentés, les casiers (au nombre de 4) qui se trouvaient en dehors des sections en travers et leurs liaisons avec ces dernières par le biais de structures latérales (déversoirs latéraux) ont été retirés du modèle réduit de HEC-RAS. En effet, en effectuant des simulations en régime permanent avec des débits débordants (correspondant aux pics de crue de 2018 et 2022), la quantité d'eau transitant dans ces bassins de stockage est peu significative. La suppression de ces bassins de stockage pour les calculs en régime non permanent n'a donc pas d'impact sur la performance du modèle de manière générale. Ce constat a été confirmé par le gestionnaire de la NOAA.

Les données du MNT de la NOAA, celles provenant des profils en travers du modèle HEC-RAS et celles de la géométrie du T2D sur la zone d'étude sont bien compatibles, comme l'indique la section 4.1 de la page sur les méta-données aux stations Cannelton, Owensboro et Newburgh :

https://inle.cerfacs.fr/projects/sco-flooddam/wiki/M%C3%A9ta-donn%C3%A9es_aux_stations_Ohio_Cannelton-Newburgh

Il est à noter que, selon la NOAA, le MNT complet comporte les données de topographie les plus récentes et les plus fiables disponibles.

Il convient de noter que la géométrie du modèle HEC-RAS 1D comprenait des casiers pour stocker les débordements en dehors de la largeur des profils en travers. En faisant tourner le modèle 1D dans des conditions de régime permanent avec des débits fixes élevés (correspondant aux pics de crues des événements de 2018 et 2022), la quantité d'eau qui passe dans les casiers s'avère négligeable. Ces bassins ont donc été exclus de la géométrie du modèle pour les simulations en régime non permanent.

Configurations de paramètres sur T2D / HEC-RAS :

Lors du calage du modèle T2D, différentes valeurs du coefficient de frottement (Strickler Ks, Manning n) ont été testées sur le lit

mineur : $K_s=[35,45,50]$ (i.e. $n=[0.028,0.022,0.020]$) ; pour le lit majeur : une valeur uniforme a été choisie $K_s=17$ ($n=0.059$).

Ces valeurs ont été reprises pour décrire le frottement en lit mineur /majeur dans le modèle HEC-RAS, générant 3 configurations :

Strickler coefficient K_s (eq. Manning n)	Riverbed	Floodplain
Case 1	$K_s = 35$ ($n = 0.028$)	$K_s = 17$ ($n = 0.059$)
Case 2	$K_s = 45$ ($n = 0.022$)	$K_s = 17$ ($n = 0.059$)
Case 3	$K_s = 50$ ($n = 0.020$)	$K_s = 17$ ($n = 0.059$)
Case 4 (HEC-RAS default config.)	$K_s = 45$ ($n = 0.022$)	$K_s = 4.54$ ($n = 0.22$)

A noter que les valeurs de frottement par défaut utilisées dans le modèle opérationnel HEC-RAS de la NOAA sont les suivantes : $K_s=45$ ($n=0.022$) en lit mineur, $K_s=4.54$ ($n=0.22$) en lit majeur.

--> Une 4ème configuration géométrique est donc établie sur la base de ces valeurs et les performances de celle-ci sont comparées à la configuration [$K_s(\text{lit mineur})=45, K_s(\text{plaines d'inondation})=17$] du modèle T2D.

Description des simulations :

Conditions aux limites et Conditions initiales :

- Condition Amont : Hydrogramme à Cannelton (Station USGS)
- Condition Aval : Courbe de tarage à Newburgh ('rating_newburgh_with_Zobs.txt', fournie par la NOAA, reconstruite en Z ($H + Z_{ref}$) et passée en m.

	Cannelton (upstream)	Newburgh (downstream)
Boundary conditions	Hydrograph of event $Q(t)$	Rating Curve ($Q=H(t)$)
Initial conditions	Q at $t=0$ over all cross-sections	

HEC-RAS exige en entrée des données à pas de temps fixe. La série temporelle du débit à Cannelton a donc été rééchantillonnée sur un pas de temps fixe de 15 minutes (correspondant à la plus fine résolution temporelle observée).

Runs HEC-RAS :

Temps de calcul = 15min , Sorties toutes les 1H

Evénements simulés :

- Evénement 2018 : 06/02/2018 00:00 - 30/04/2018 00:00 --> ~ 3 mois , 3 pics de crue
- Evénement 2022 : 20/10/2022 09:00 - 19/03/2023 00:00 --> ~ 5 mois

Résultats de simulations - Comparaisons Telemac-2D / HEC-RAS 1D / Observations :

Simulation des hauteurs d'eau : $H(t)$

Les hauteurs d'eau simulées avec le modèle 1D sous HEC-RAS sont comparées à celles issues de Telemac-2D et les obs. in-situ, au niveau de la localisation de 3 stations de mesure USGS :

- Cannelton (Amont)
- Owensboro → Données disponibles depuis 2022
- Newburgh (Aval)

Sur T2D, les hauteurs d'eau étant résolues en 2D sur l'ensemble du maillage, les hauteurs d'eau recueillies aux trois stations correspondent aux coordonnées suivantes :

Coordinates EPSG 26916	x	y
Cannelton	525891.0	4194325.0
Owensboro	487693.0	4183921.0
Newburgh	467257.0	4197825.1

Le modèle sous HEC-RAS étant résolu en 1D, une seule valeur de hauteur d'eau est obtenue à chaque pas de temps sur chaque profil en travers. Dans le cas de Cannelton et Newburgh, les valeurs de hauteur d'eau correspondent respectivement au premier et au dernier profil en travers. Pour Owensboro, les valeurs de hauteur d'eau retenues proviennent du profil en travers (non interpolé) le plus proche de la localisation de la station USGS.

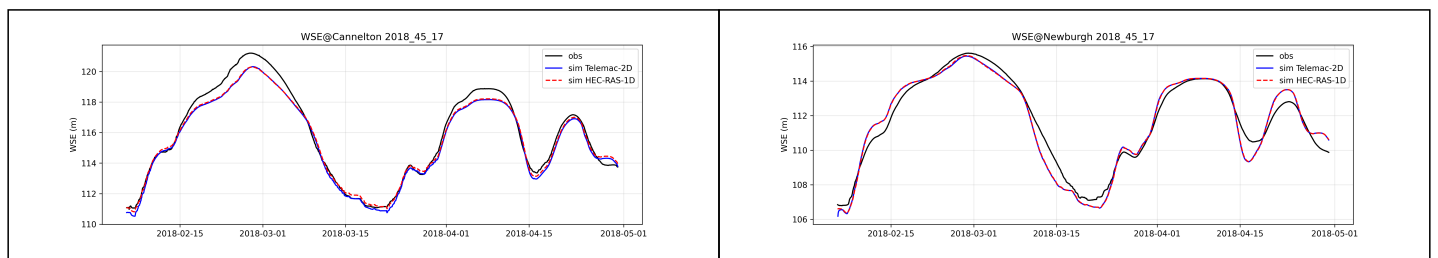
Bilan des résultats :

Dans l'ensemble, les résultats montrent que les modèles 1D et 2D, basés sur des données topographiques comparables et utilisant les mêmes paramètres, produisent des résultats très similaires pour les deux crues examinées en termes de hauteur d'eau maximale atteinte. Ils reproduisent de manière similaire la dynamique de la crue (montée en crue, décrue).

Pour les deux événements, le coefficient de frottement a une influence identique sur les résultats des deux modèles à la station de Cannelton. Les deux modèles ne montrent aucune sensibilité au K_s à Newburgh.

Événement 2018 :

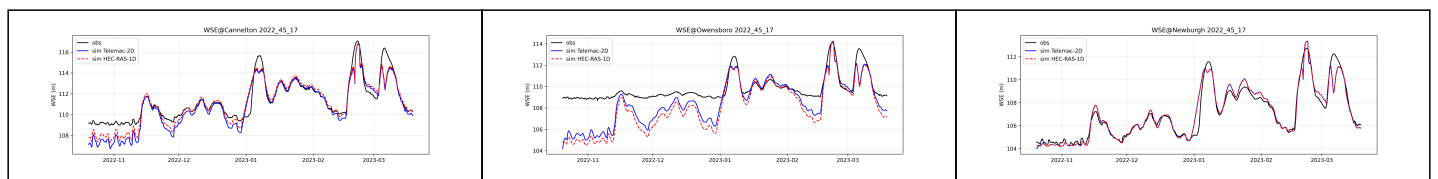
Pour les quatre configurations testées, l'erreur (RMSE) entre les 2 modèles reste inchangée, de ~0.15 m, que ce soit à Newburgh ou à Cannelton. La configuration n°2 des valeurs de frottement ($K_s = 35$ en lit mineur | $K_s = 17$ en lit majeur) donne les meilleurs résultats sur les deux modèles, avec un NSE de 0.97 à Cannelton et respectivement de 0.95 et 0.96 pour T2D et HEC-RAS à Newburgh. Les deux modèles atteignent bien les valeurs maximales mesurées à Newburgh, mais pas à Cannelton (RMSE (sim/obs) d'environ 0.5 m).



HEC-RAS 1D obtient sa meilleure performance à Cannelton lorsque le K_s des plaines inondables est de 4.54 (configuration n°4), avec un NSE de 0.98.

Événement 2022 :

L'événement de 2022 est plus difficile à reproduire en raison de la longueur de la période simulée ainsi que du nombre et de la rapidité des montées en crue. Dans l'ensemble, les deux modèles reproduisent bien la dynamique de l'écoulement sur les 5 mois simulés, mais les scores de performance sont plus faibles par rapport à l'événement de 2018. En effet, pour l'événement de 2022, les deux modèles échouent à atteindre les hauteurs d'eau maximales aux trois plus grands pics de crue, la forme de l'hydrogramme en crue n'est également pas bien reproduite (pics multiples lieu de pics simples). Ce comportement hydraulique est observé à la fois dans T2D et HEC-RAS, et au niveau des trois stations. La montée en crue en janvier 2023 arrive également de manière plus précoce dans les modèles par rapport aux observations.

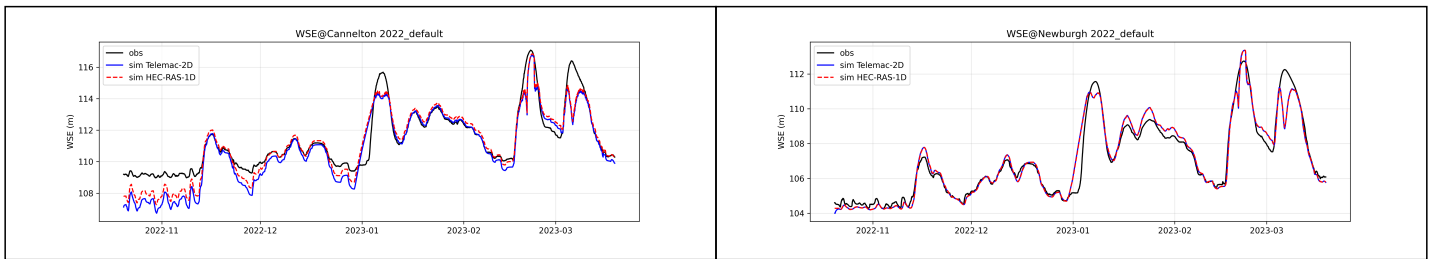


Dans l'ensemble, quelle que soit la configuration de paramètres utilisée, les deux modèles présentent des comportements similaires, avec un biais constaté entre les résultats des deux modèles pour les deux stations de Cannelton et Owensboro, une surestimation de HEC-RAS / T2D à Cannelton et une sous-estimation à Owensboro. L'erreur RMSE entre les deux modèles est de ~0.32 m en moyenne aux deux stations.

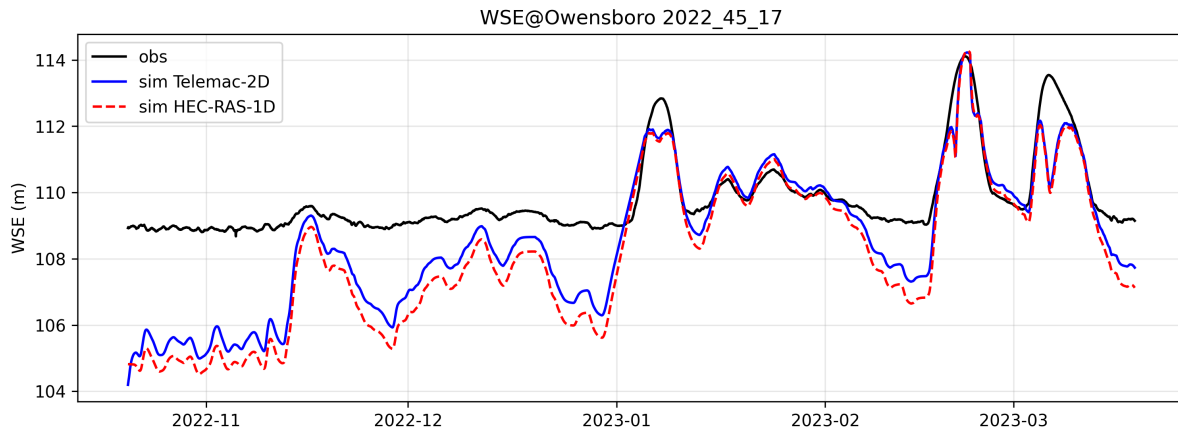
A Newburgh, les résultats de simulation des deux modèles sont quasiment identiques, et ce indépendamment de la valeur des K_s (RMSE entre les deux modèles de 0.08 m), et les résultats sont également les plus proches des observations, avec un NSE de 0.94 pour les deux modèles à cette station.

Pour les 2 autres stations, la meilleure configuration de paramètres qui se dégage est la 2ème ($K_s = 35$ en lit mineur | $K_s = 17$ en lit majeur), avec un NSE de 0.75 et 0.84 pour T2D et HEC-RAS respectivement à Cannelton.

HEC-RAS ne montre, pour cet événement, pas d'amélioration significative entre cette configuration de paramètres et celle utilisée par défaut en opérationnel (configuration n°4). HEC-RAS présente de manière générale une légère meilleure performance que T2D à Cannelton et Newburgh.



À Owensboro, les observations in-situ de l'événement 2022 ne sont pas totalement correctes, _ cela étant dû aux déplacements répétitifs de la station_. Les modèles ne parviennent pas à reproduire les observations, spécifiquement pendant les trois premiers mois.



Dans l'ensemble, pour les deux événements : très bonne cohérence entre les résultats des deux modèles 1D et 2D, notamment sur les stations en amont/aval (Cannelton. Newburgh). Les meilleurs scores de performance sont atteints à Newburgh.

Tableau des performances :

Event 2018	RMSE						NSE					
	RMSE (m)	T2D vs obs		HEC-RAS 1D vs Obs		HEC-RAS vs Obs		NSE (-)	T2D		HEC-RAS	
		Cannelton	Newburgh	Cannelton	Newburgh	Cannelton	Newburgh		Cannelton	Newburgh	Cannelton	Newburgh
35_17	0.75	0.56	0.87	0.52	0.14	0.16		0.93	0.95	0.91	0.96	
45_17	0.5	0.56	0.48	0.53	0.14	0.15		0.97	0.95	0.97	0.96	
50_17	0.85	0.56	0.76	0.53	0.16	0.15		0.92	0.95	0.93	0.96	
HEC _{default} T2D _{45_17}	0.5	0.56	0.44	0.53	0.15	0.15		0.97	0.95	0.98	0.96	

Event 2022	RMSE						NSE										
	RMSE (m)	T2D vs obs			HEC-RAS 1D vs Obs			HEC-RAS vs Obs			NSE (-)	T2D			HEC-RAS		
		Cannelton	Owensboro	Newburgh	Cannelton	Owensboro	Newburgh	Cannelton	Owensboro	Newburgh		Cannelton	Owensboro	Newburgh	Cannelton	Owensboro	Newburgh
35_17	1.0	1.50	0.55	1.02	1.50	0.54	0.25	0.48	0.59		0.73	-0.74	0.94	0.72	-1.63	0.94	
45_17	0.97	1.79	0.55	0.79	2.18	0.54	0.32	0.46	0.58		0.75	-1.24	0.94	0.84	-2.34	0.94	
50_17	1.10	1.89	0.55	0.86	2.28	0.54	0.34	0.45	0.58		0.68	-1.5	0.94	0.8	-2.64	0.94	
HEC _{default} T2D _{45_17}	0.97	1.79	0.55	0.79	2.18	0.54	0.32	0.46	0.58		0.75	-1.24	0.94	0.84	-2.34	0.94	

Fichiers

aval_Ohio_seuil.png	1,31 Mo	15/02/2024	Malak Sadki
amont_Ohio_seuil.png	1,49 Mo	15/02/2024	Malak Sadki
hecra_domain.png	8,39 Mo	15/02/2024	Malak Sadki
t2d_domain.png	2,29 Mo	15/02/2024	Malak Sadki
WSE_2018_45_17_cann.png	222 ko	15/02/2024	Malak Sadki
WSE_2018_45_17_newb.png	224 ko	15/02/2024	Malak Sadki
WSE_2022_45_17_newb.png	249 ko	15/02/2024	Malak Sadki
WSE_2022_45_17_cann.png	263 ko	15/02/2024	Malak Sadki
WSE_2022_45_17_owen.png	264 ko	15/02/2024	Malak Sadki
WSE_2022_50_17_newb.png	249 ko	15/02/2024	Malak Sadki
WSE_2022_default_cann.png	264 ko	15/02/2024	Malak Sadki

WSE_2022_35_17_owen.png	264 ko	15/02/2024	Malak Sadki
WSE_2022_default_newb.png	251 ko	15/02/2024	Malak Sadki
nse_2022.png	180 ko	15/02/2024	Malak Sadki
rmse_2022.png	269 ko	15/02/2024	Malak Sadki
nse_2018.png	131 ko	15/02/2024	Malak Sadki
rmse_2018.png	210 ko	15/02/2024	Malak Sadki