



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*



RÉALISATION DES ETUDES HYDRAULIQUES AU SERVICE DES TERRITOIRES

Cas du PPRI de l'Indre et de la Métropole de Toulouse

CTT 04 décembre 2025

Emmanuel Lavaud /JP Masset– Cerema/ Agence de Blois



SOMMAIRE

Contexte administratif et hydraulique

Élaboration du modèle hydraulique

Calage et validation du modèle

Exploitation du modèle :

- Réalisation carte Aléas
- PPRI / EDD / ZIP / PCS

Conclusion



Contexte :

- Modélisation hydraulique de l'Indre



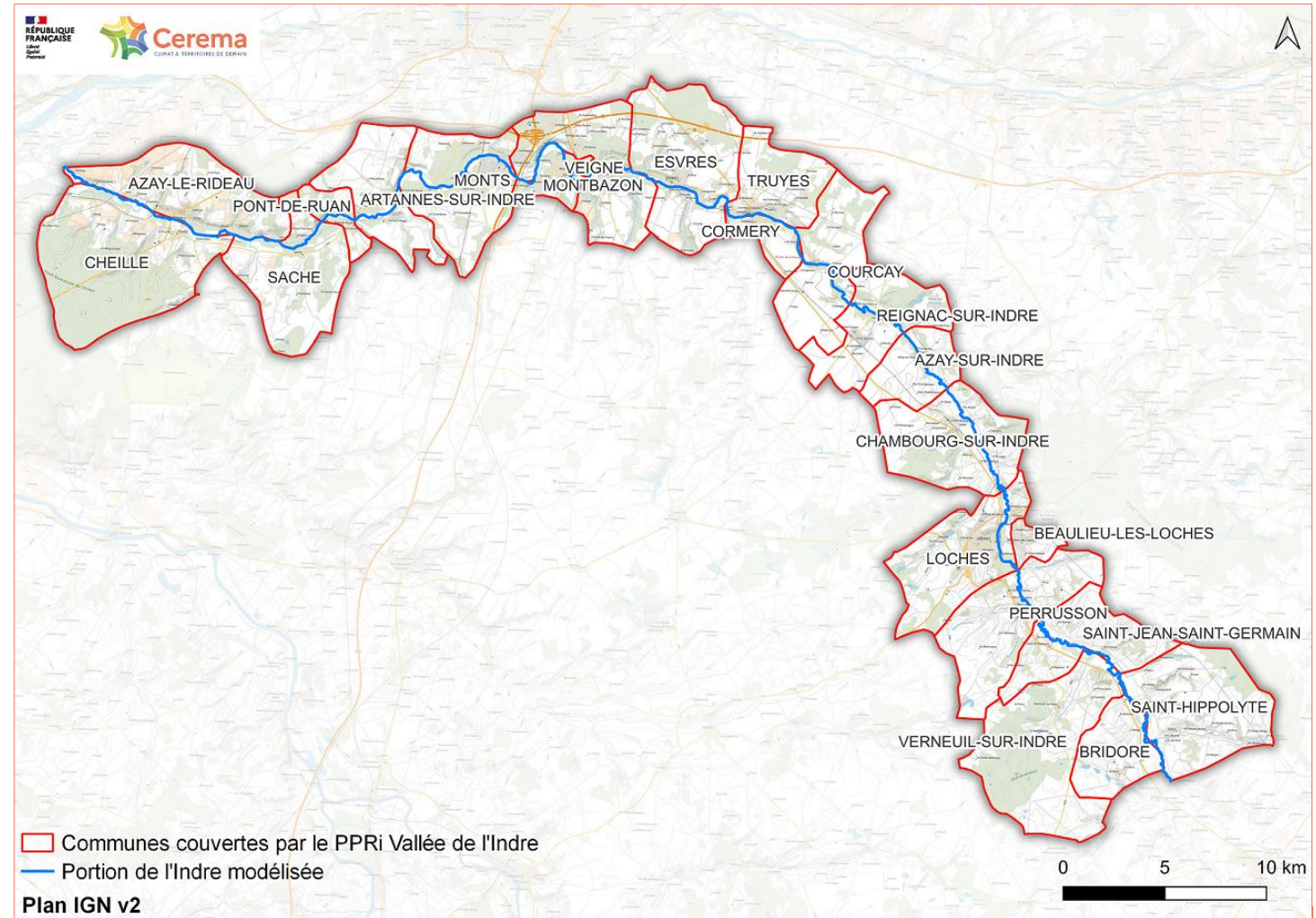
Repères de crue à Reignac-sur-Indre – source: Cerema 2024

Modélisation hydraulique de l'Indre

- Demandeurs :
DDT 37 et SPC (Loire-Allier-Cher-Indre) LACI

- Objectifs :

- PPRI de L'Indre (2005)
- ZIP/ZICH
 - 22 communes
 - 100 km de cours d'eau
 - > 50 000 habitants



Contexte administratifs

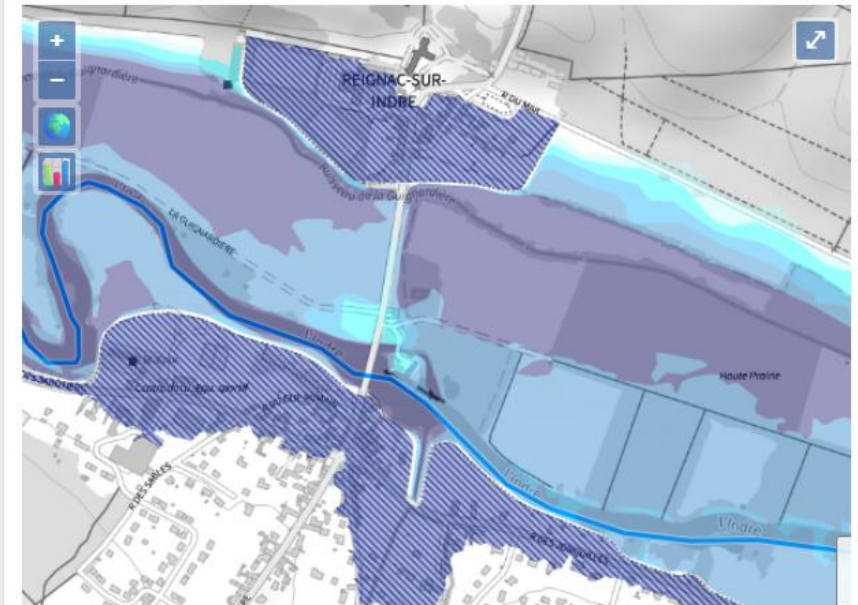
Carte ZICH : Veuillez sélectionner à l'aide du curseur la hauteur d'eau souhaitée

[Vigicrues :](#)
[Cormery](#)
[\(Indre\)](#)

Cormery



Carte ZICH correspondant à la hauteur d'eau sélectionnée



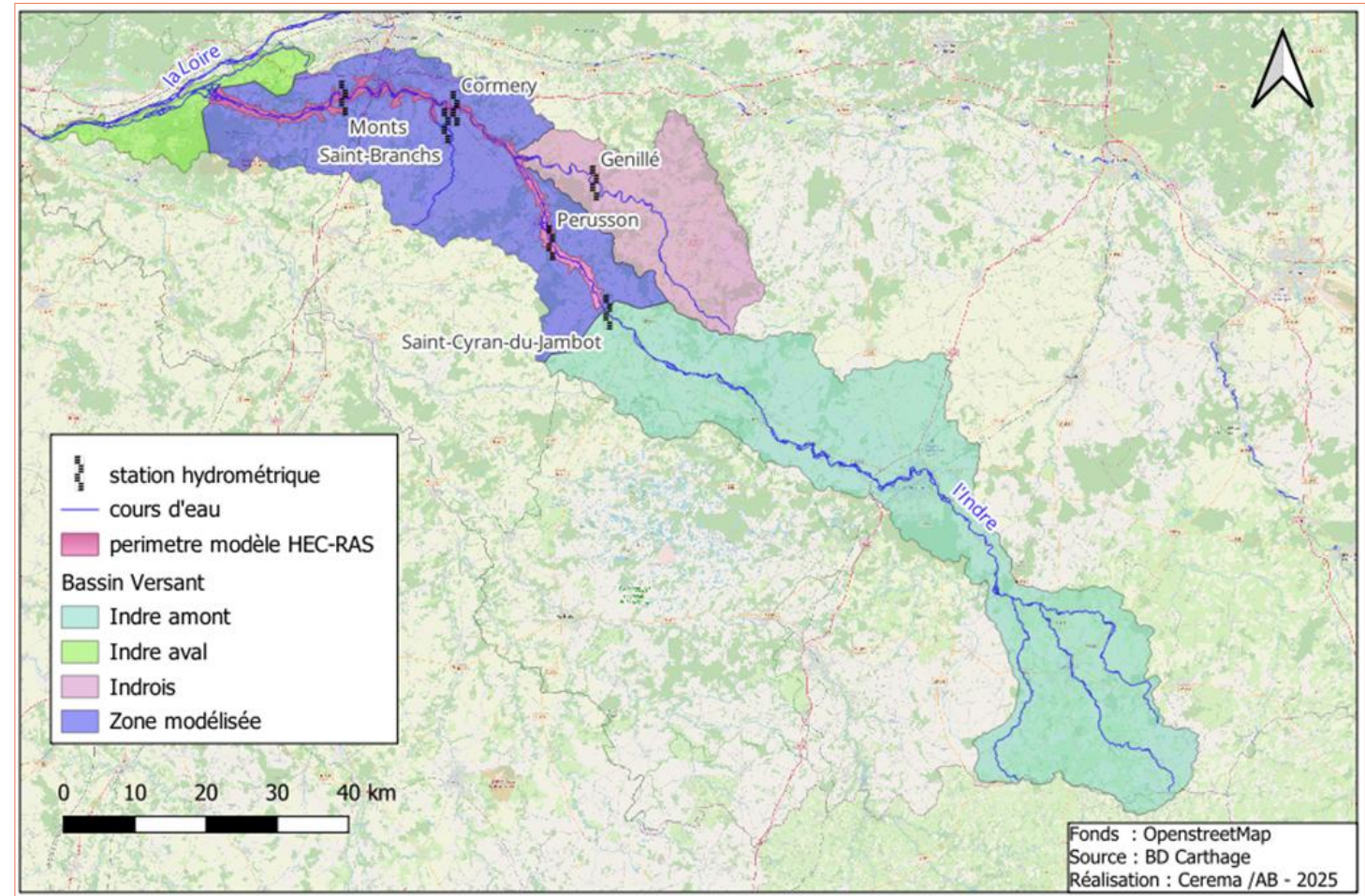
Légende

- Zone derrière ouvrages hydrauliques
- Zone inondée - Hauteur d'eau ≤ 0,5 m
- Zone inondée - Hauteur d'eau ≤ 1 m
- Zone inondée - Hauteur d'eau ≤ 1,5 m
- Zone inondée - Hauteur d'eau ≤ 2 m
- Zone inondée - Hauteur d'eau > 2 m
- Zone d'incertitude

- **ZIP** : Zone d'inondation potentielle
- **ZICH** : Zones inondées par Classes de Hauteurs d'eau

Contexte hydrologique

- Indre affluent RG Loire
 - 280 km
 - BV 3 428 km²
 - débit 12.7 m³/s
- Indrois affluent RD Indre
 - 61 km
 - BV 480 km²
 - débit 2.3 m³/s
- BV zone modélisée 1060 km²
- 3 stations hydrométriques ze / 3 en périphérie



Les crues de L'Indre

- Novembre 1770
 - Estimé à 840 m³/s
- Décembre 1982
 - Environ 500 m³/s
- Mai/juin 2016
 - Indrois 149 m³/s
 - Indre 117 m³/s (amont)
- Avril 2024
 - Indrois 136 m³/s
 - Indre 111 m³/s (amont)



Repère 1770



Azay-le Rideau juin 2016

Contexte :

- Modélisation hydraulique de la Garonne

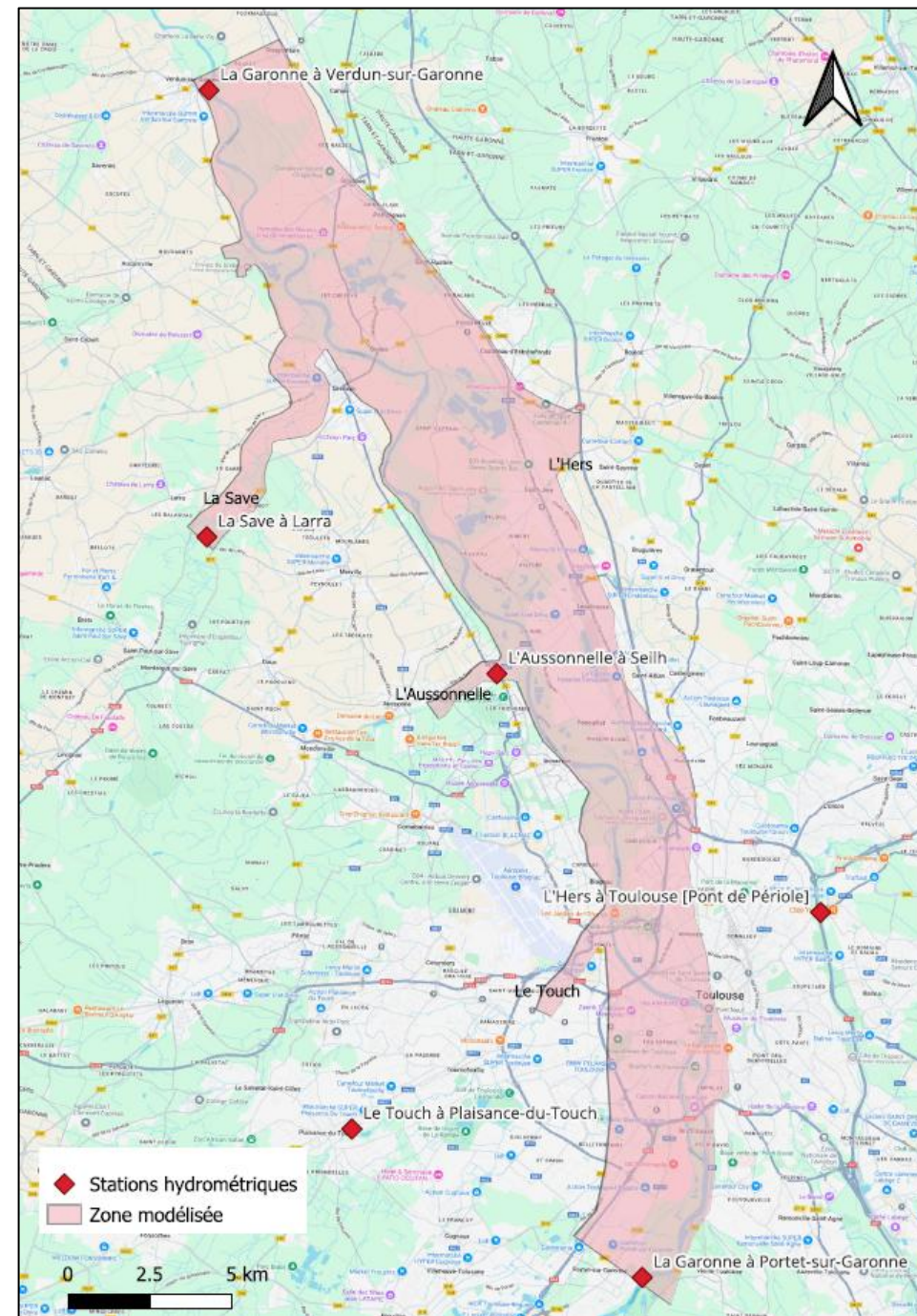


Piles du pont Saint-Michel – Crue de 1875 – source: archives municipales de la ville de Toulouse.

Modélisation hydraulique de la Garonne

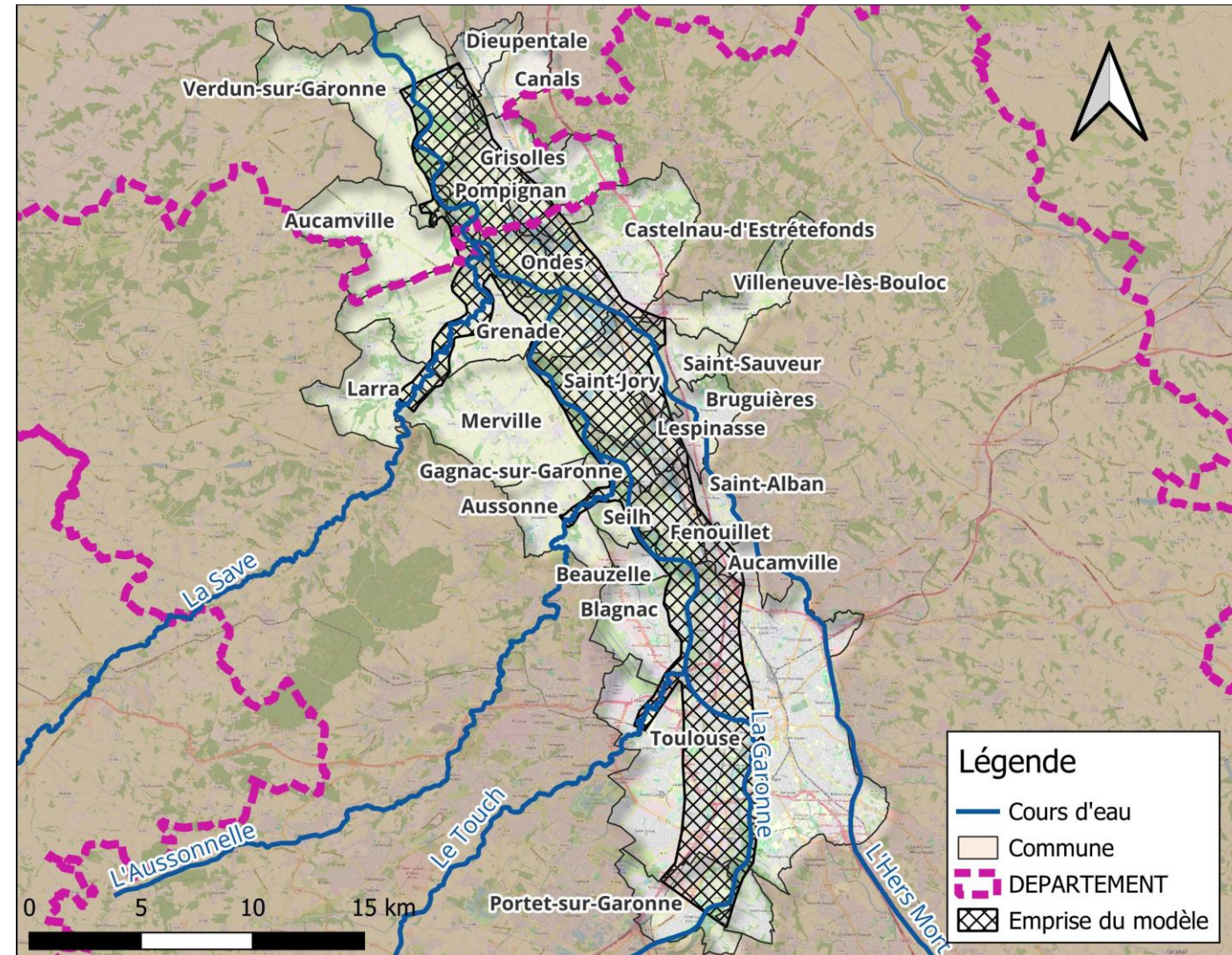
- Demandeur : **toulouse métropole**
- Objectifs :
 - Scénarios de surverse (Toulouse et Blagnac)
 - Défaillances fonctionnelles, structurelles à Toulouse
 - Niveaux de protection
 - Crue 1875
 - Révision EDD et PPRI

Réalisation des Etudes Hydrauliques au Service des territoires - CTT du
04 décembre 2025



Contexte administratifs

- Deux départements :
Tarn-et-Garonne (82) et Haute-Garonne (31)
- 28 communes soit 656 000 habitants
- Linéaire modélisé Garonne : 51 km (BV amont 10 134 km²)
- 4 affluents : l'Hers (+Girou), la Save, l'Aussonnelle et le Touch



Réalisation des Etudes Hydrauliques au Service des territoires - CTT du
04 décembre 2025

Contexte hydrologique

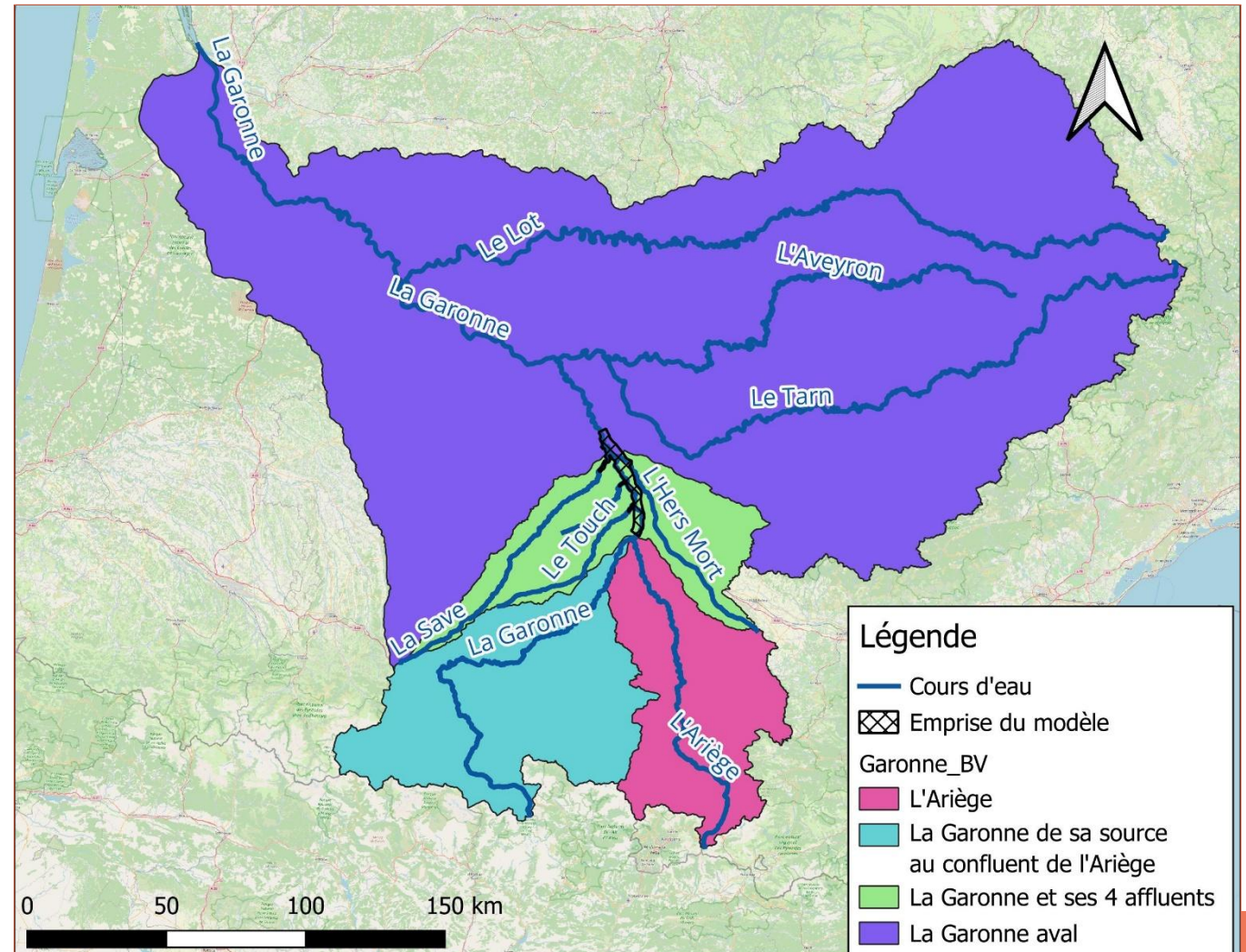
➤ Garonne

- 647 km
- BV 55 000 km²
- débit 190 m³/s

➤ 4 affluents

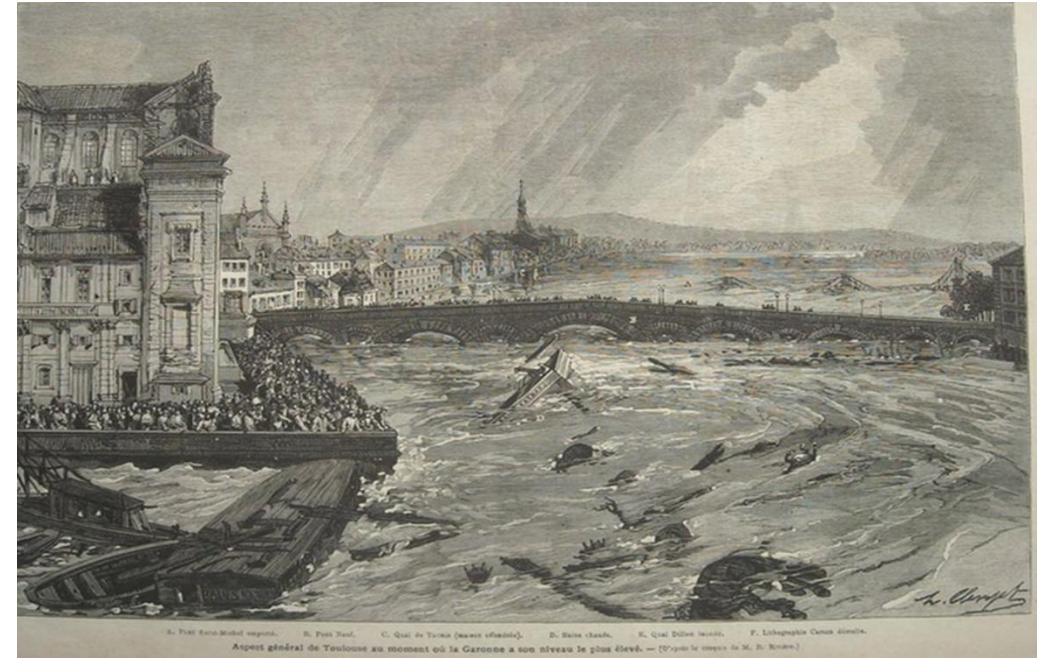
Nom	long	BV (km ²)	Débit (m ³ /s)
Aussonnelle	42	192	0.8
Hers-mort	89	768	6.0
Save	148	1 152	6.3
Touch	74.5	508	3.85

➤ 4 stations hydrométriques / 2 en périphérie



Les crues de la Garonne

- Crue de juin 1875
 - Estimé à 7 500 m³/s
 - 210 morts / 1200 habitations détruites
- Crue de février 1952
 - Environ 6 000 m³/s
- Crue de janvier 2022
 - Environ 3 500 m³/s



Crue 1875



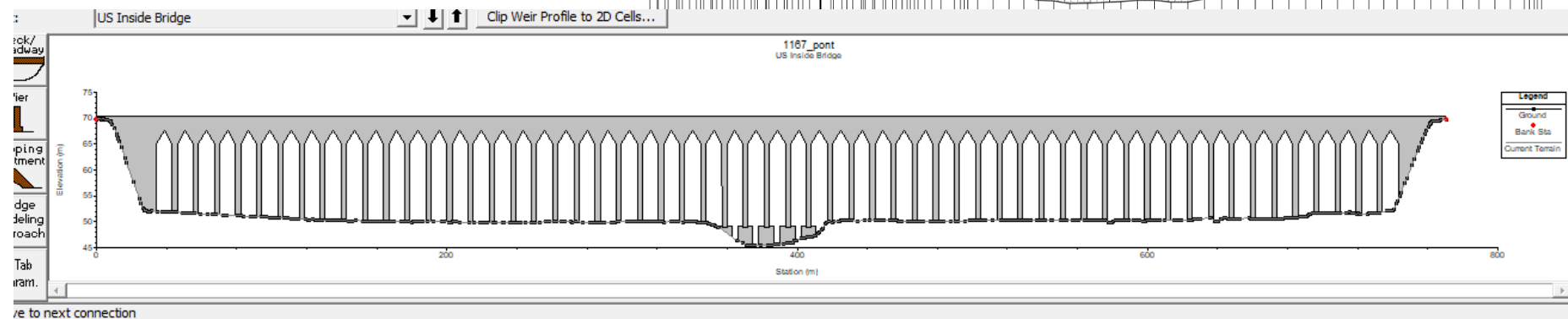
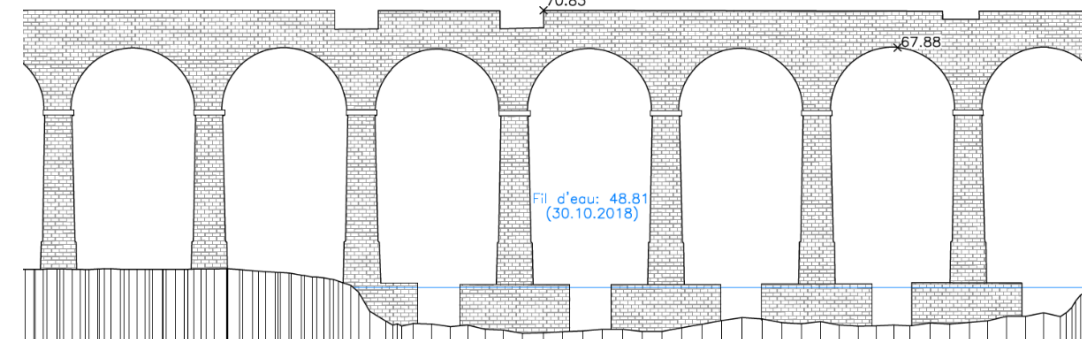
Crue de 2022

©Lucie Fraisse / Actu Toulouse

Elaboration du modèle



Viaduc de Monts (1848 - 750 m - 59 arches – source Cerema)



Exemple : élaboration du modèle de la Garonne

- **Maillage :**

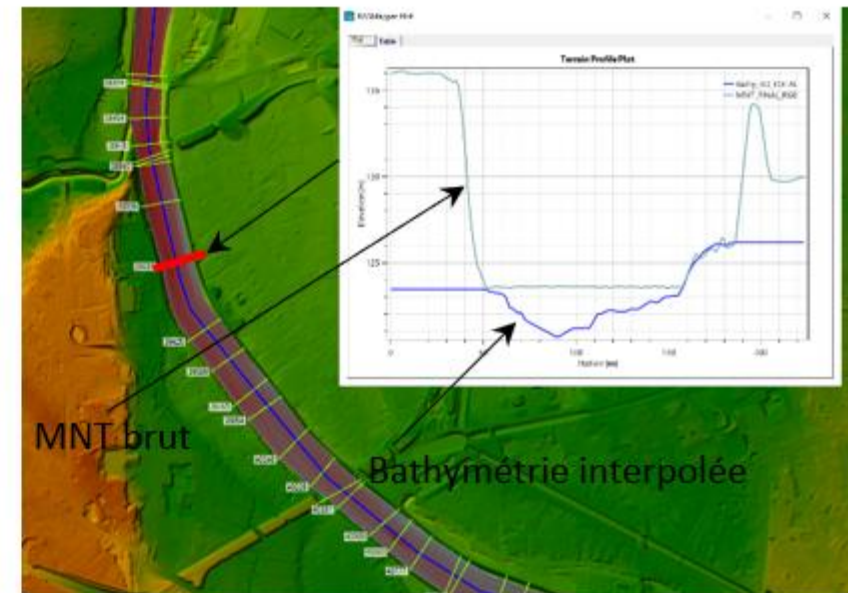
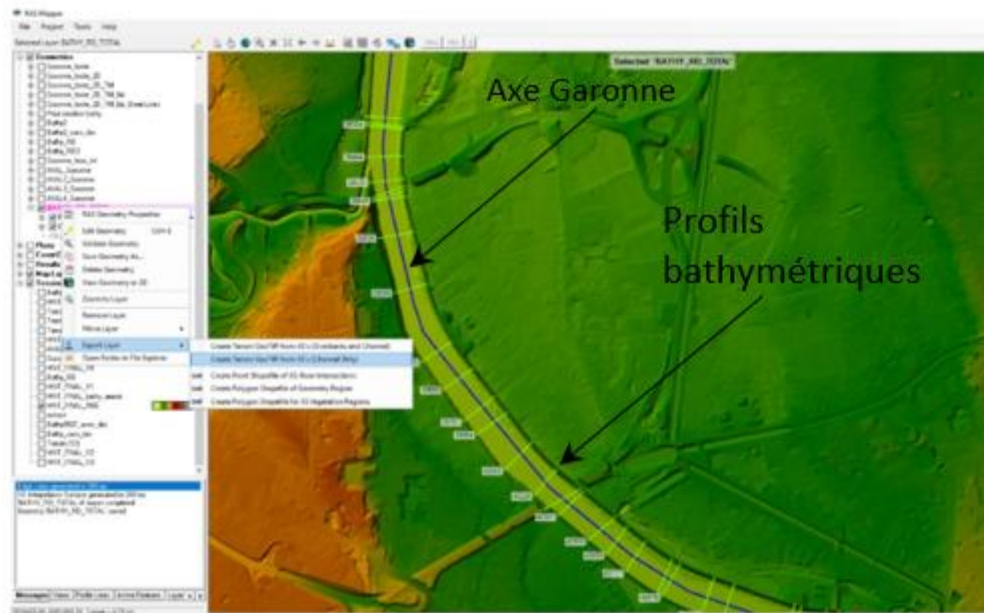
- Près de 49 500 mailles pour une base 100m (base carrée et jusqu'à 8 cotés max) ;
- Densification :
 - Axe écoulement
 - Lignes de contraintes
 - Dignes
 - Ouvrages

- **Mailles adaptées de 100 m à 4 m de large**

- Surface mini = 12 m²
- Surface moyenne = 3 330 m²

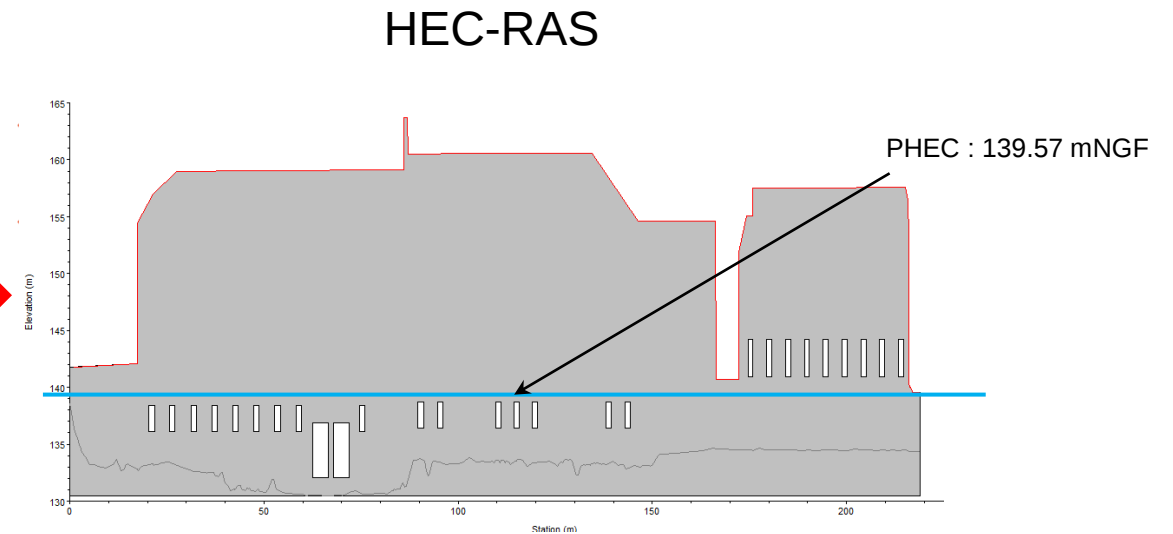
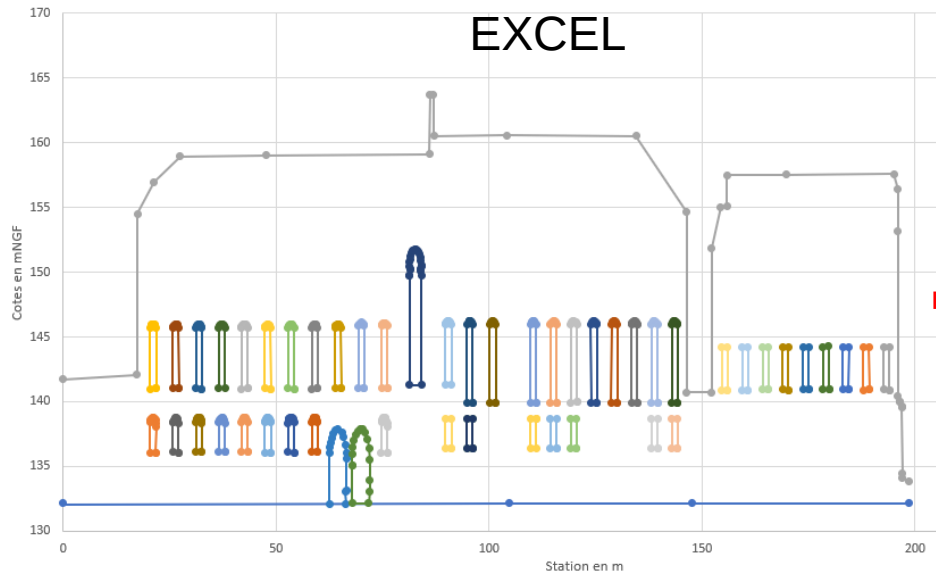
Exemple : élaboration du modèle de la Garonne

- Intégration de la bathymétrie avec profils en travers (XS) :



Exemple : élaboration du modèle de la Garonne

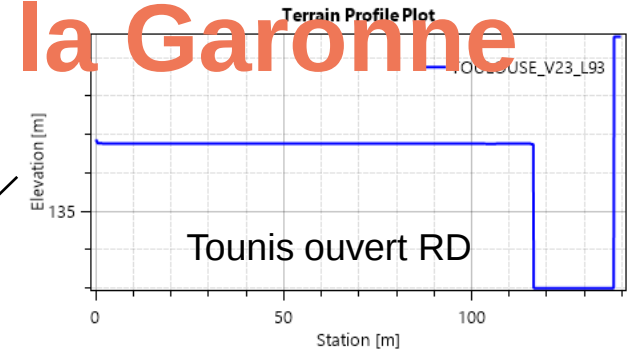
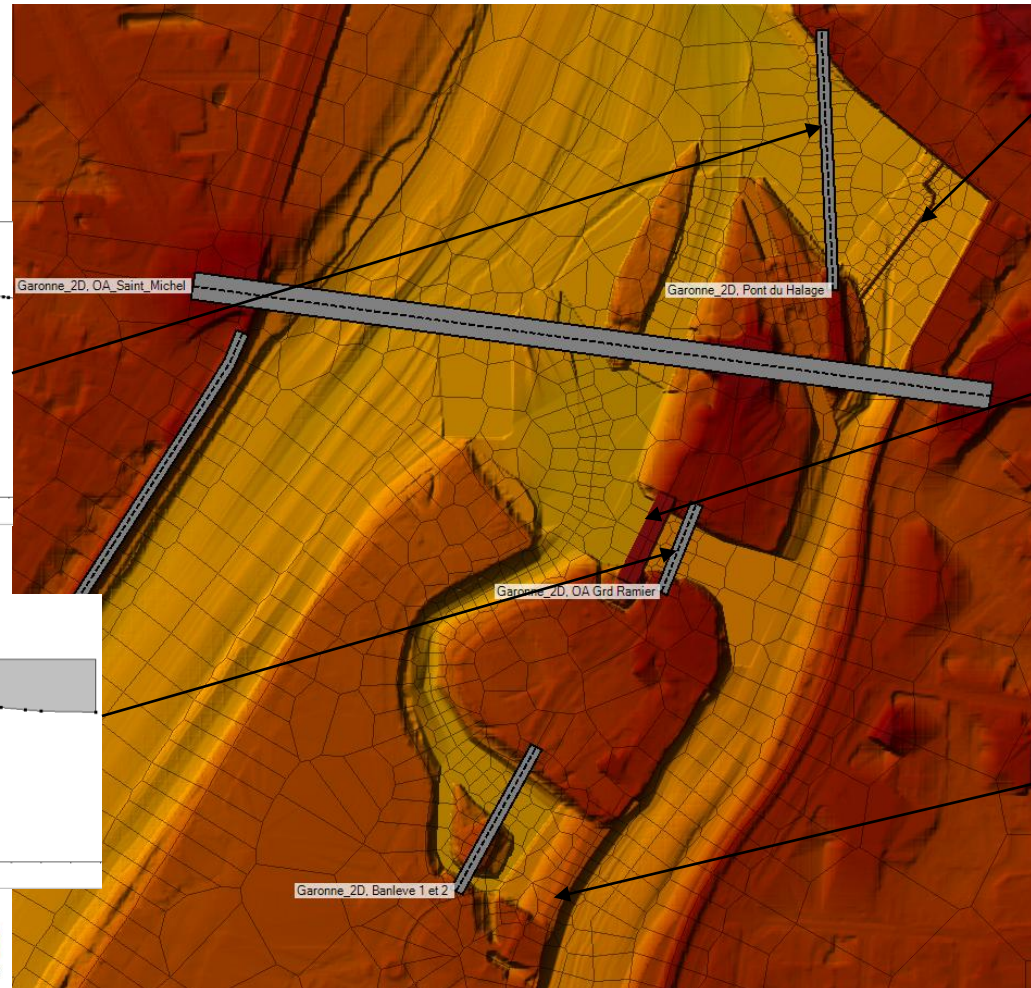
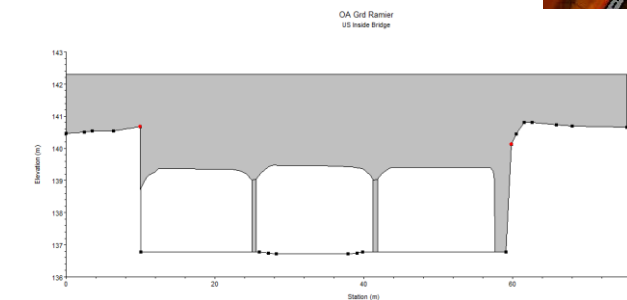
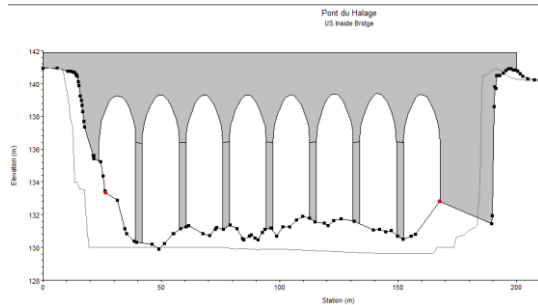
- Exemple d'ouvrage, Hôtel Dieu :



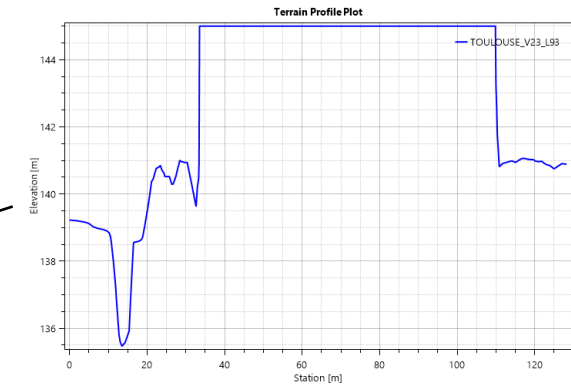
Exemple : élaboration du modèle de la Garonne

- Aval bras supérieur RD

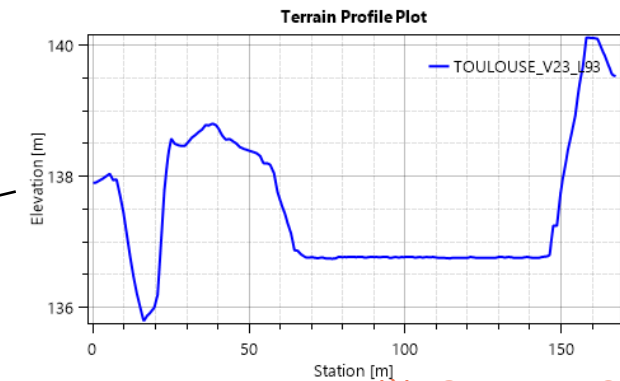
OA entrés avec module spécifique :



Centrale hydroélectrique du Ramier

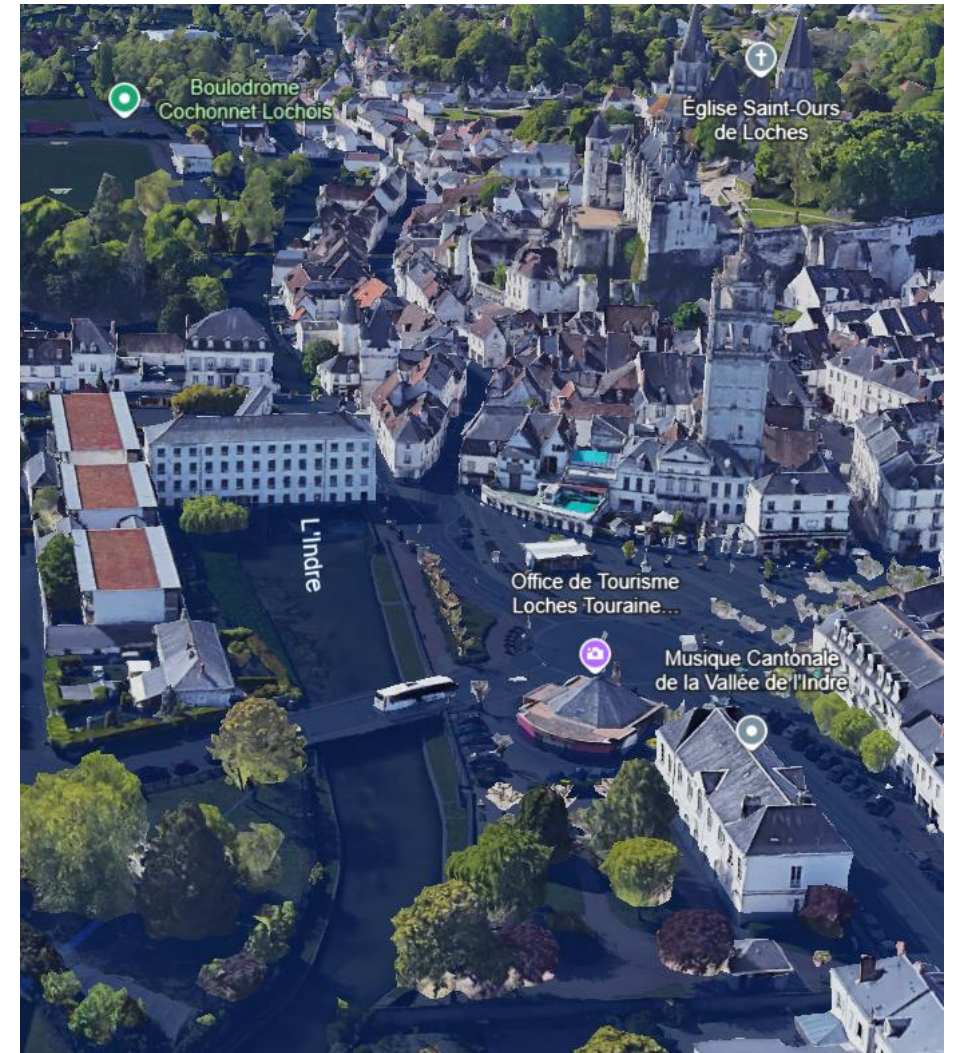


Seuil Banlève



Modèle Garonne – CTT Ri

Calage et validation



Calage

- Principe général :
 - Reproduire événement connu (laisses (LC) /repères de la crue, hydrologie) en modulant les coefficients de frottements
- Méthodologie :
 - Lancement du 1er calcul avec coefficients moyens
 - Comparaison LC (ou repères) avec valeurs calculées
 - Nouveau calcul avec frottements « modulés » par zones
- Calage sur événement de janvier 2022 :
 - 7 à 30 h de calcul suivant hypothèses...
 - Architecture finale : de 9h30 à 12h30 de calcul
 - Rapport temps à simuler sur temps de calcul de presque 20

Overall Volume Accounting Error in 1000 m³: 2.577
Overall Volume Accounting Error as percentage: 0.000345
Please review "Computational Log File" output for volume accounting details

Writing Results to DSS

The maximum cell wsel error was 0.53
At Garonne_2D cell 14718|

Finished Unsteady Flow Simulation

1D Post Process Skipped (simulation is all 2D)

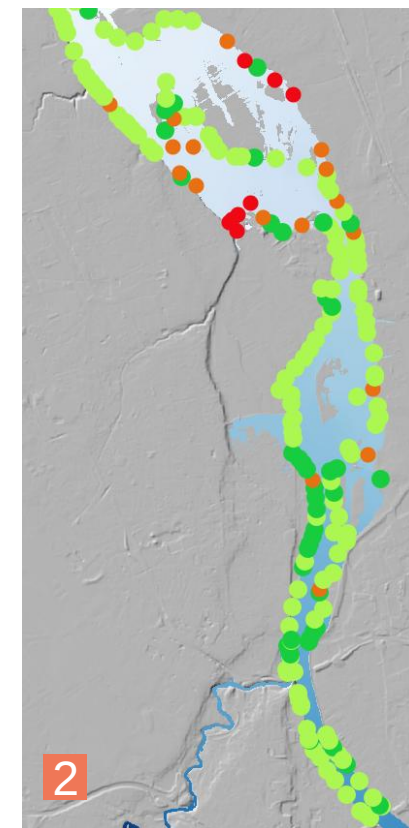
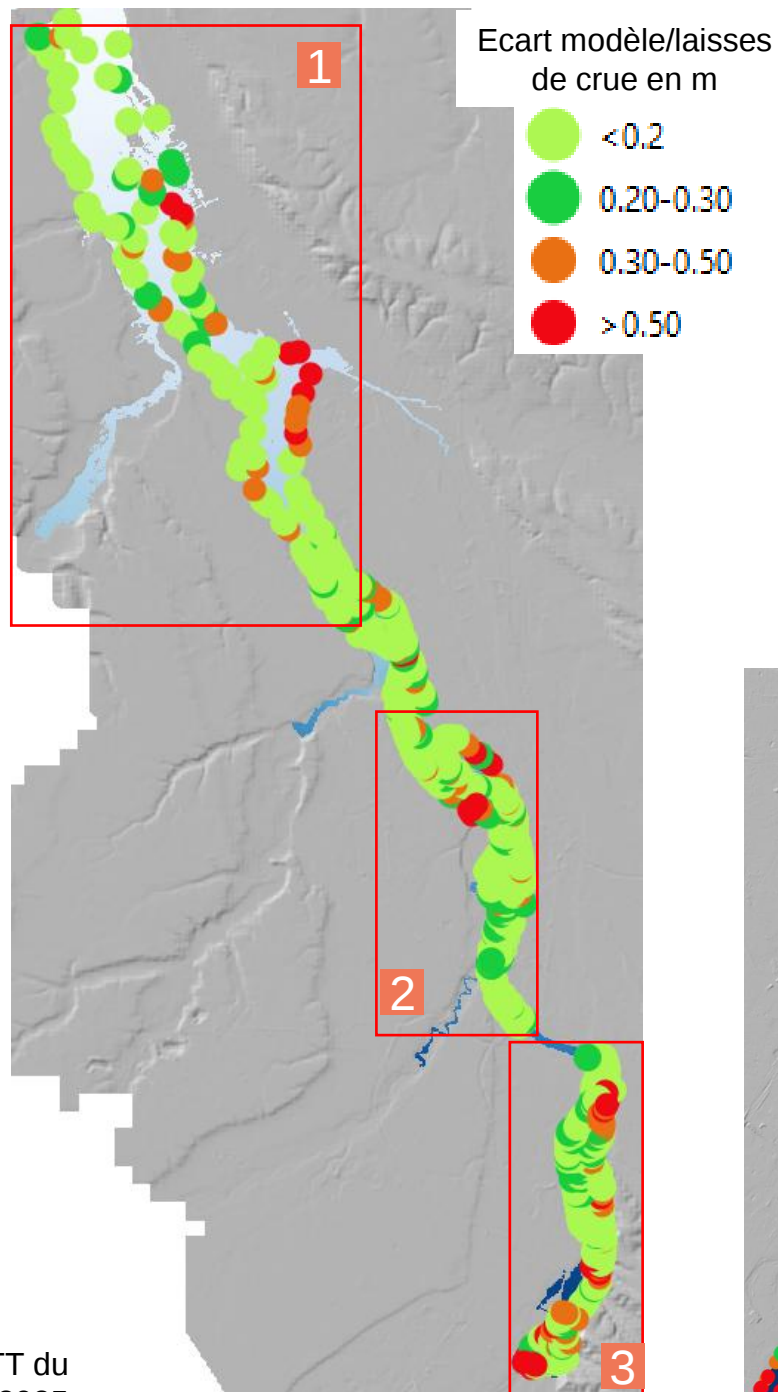
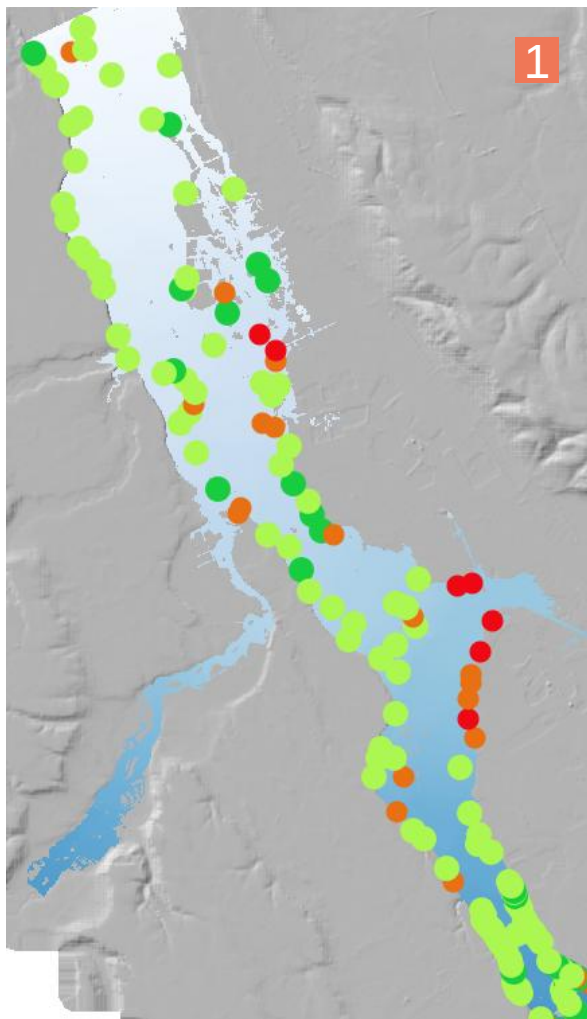
Computing Stored Results Maps

Computations Summary

Computation Task	Time(hh:mm:ss)
Completing Geometry, Flow and Plan	4
Preprocessing Geometry	1
Unsteady Flow Computations	12:09:59
Computing Maps	<1
Complete Process	12:10:05

Computation Speed	Simulation/Runtime
Unsteady Flow Computations	19.7x
Complete Process	19.7x

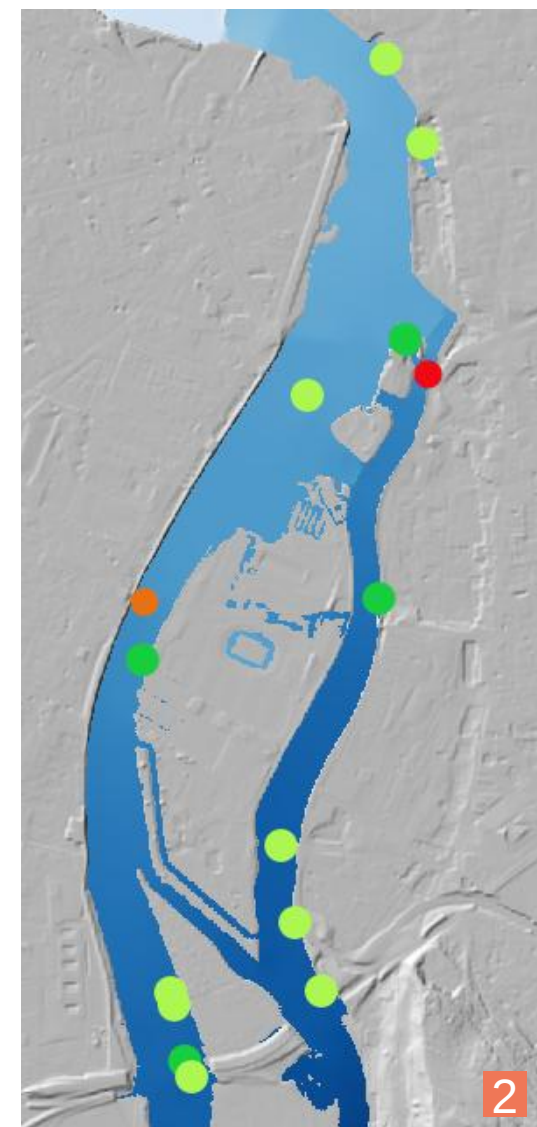
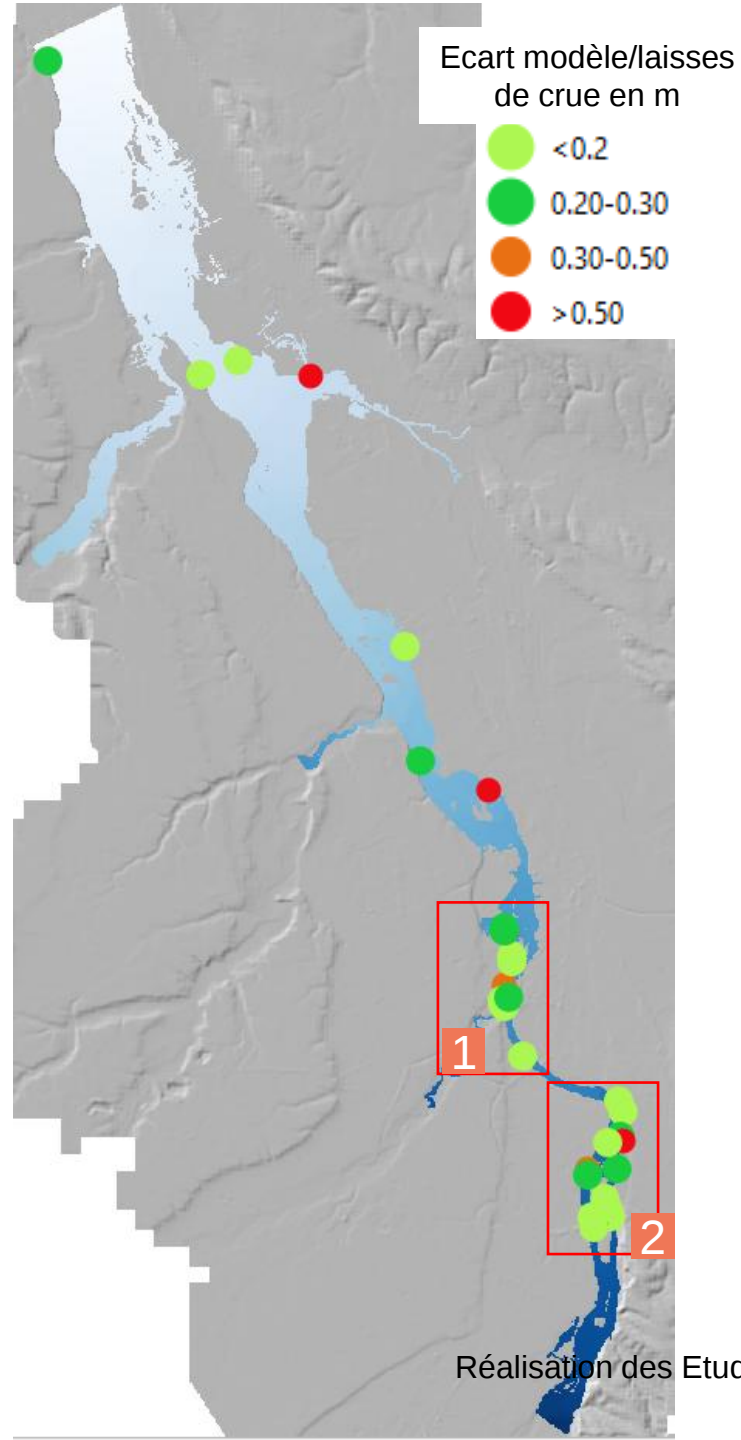
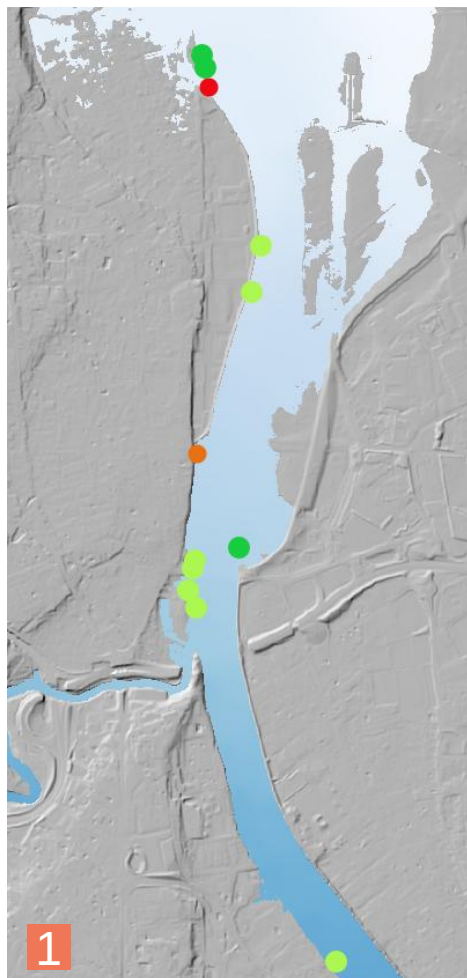
Calage



Validation

- On « rejoue » une crue connue sans toucher au modèle calé
- On garde les coefficients de frottements établis lors du calage
- Validation sur crue de Juin 2000 :
 - 80 LC mais seulement 3 mesurées (site repère de crue)
 - 37 LC récupérées par TM (SOGREAH, ARTELIA et étude ZIP)
 - 3 laisses « mises de côté », à dire d'expert :
Valeurs foncièrement différentes des autres laisses de la même zone

Validation



Calage et Validation → sensibilité du modèle

- Études de sensibilité
 - Coefficients de frottements lits majeurs
 - Mode de calcul SWE/DWE
 - Etc.

2 modes de calculs testés : SWE vs DWE

Overall Volume Accounting Error in 1000 m³: 2.259
Overall Volume Accounting Error as percentage: 0.000303
Please review "Computational Log File" output for volume accounting details

Writing Results to DSS

The maximum cell wsel error was 0.54
At Garonne_2D cell 14747

Finished Unsteady Flow Simulation

1D Post Process Skipped (simulation is all 2D)

Computing Stored Results Maps

Computations Summary

Computation Task	Time(hh:mm:ss)
Completing Geometry, Flow and Plan	4
Preprocessing Geometry	44
Unsteady Flow Computations	12:28:00
Computing Maps	<1
Complete Process	12:28:50

Computation Speed	Simulation/Runtime
Unsteady Flow Computations	19.3x
Complete Process	19.2x

Overall Volume Accounting Error in 1000 m³: 0.6331
Overall Volume Accounting Error as percentage: 0.0000848298
Please review "Computational Log File" output for volume accounting details

Writing Results to DSS

Finished Unsteady Flow Simulation

1D Post Process Skipped (simulation is all 2D)

Computing Stored Results Maps

Computations Summary

Computation Task	Time(hh:mm:ss)
Completing Geometry, Flow and Plan	4
Preprocessing Geometry	1
Unsteady Flow Computations	5:28:42
Computing Maps	<1
Complete Process	5:28:48

Computation Speed	Simulation/Runtime
Unsteady Flow Computations	43.8x
Complete Process	43.8x

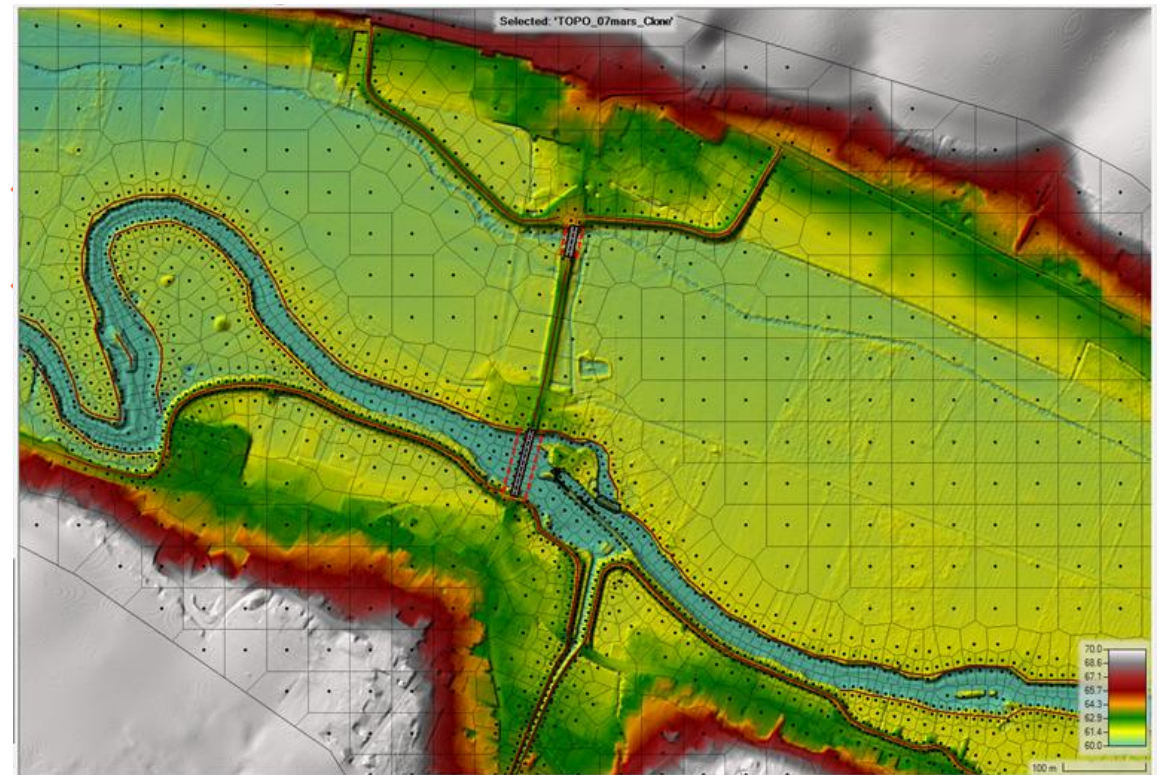
Exploitation des modèles



Crue de 1875 : la Garonne à Toulouse

Exploitation du modèle :

- Modélisation hydraulique de l'Indre



Modèle 2D secteur de Reignac-sur-Indre– source: Cerema 2024

PPRI : Eléments de réflexion /communication (DDT 67)

En conclusion

Aléa		Dynamique		
		Lente	Moyenne	Rapide
Hauteur d'eau (m)	H < 0,5	Faible	Modéré	Fort *
	0,5 < H < 1	Modéré	Modéré	Fort
	1 < H < 2	Fort	Fort	Très Fort
	H > 2	Très Fort	Très Fort	Très Fort

DYNAMIQUE		Vitesse de montée (m/h)	
		Lente Vm < 0,4	Rapide Vm > 0,4
Vitesse d'écoulement (m/s)	Lente Ve < 0,2	Lente	Rapide
	Moyenne 0,2 < Ve < 0,5	Moyenne	Rapide
	Rapide Ve > 0,5	Rapide	Rapide

$$V_m = \frac{\Delta h}{t_2 - t_1}$$

t₁ : h=10cm

*j'ai de l'eau **aux chevilles**,
je suis **autonome** pour me déplacer*

t₂ : h=50cm

*j'ai de l'eau jusqu'**aux genoux**
et mon **enfant** ne sait **plus** se déplacer tout seul*

Le message est parlant :

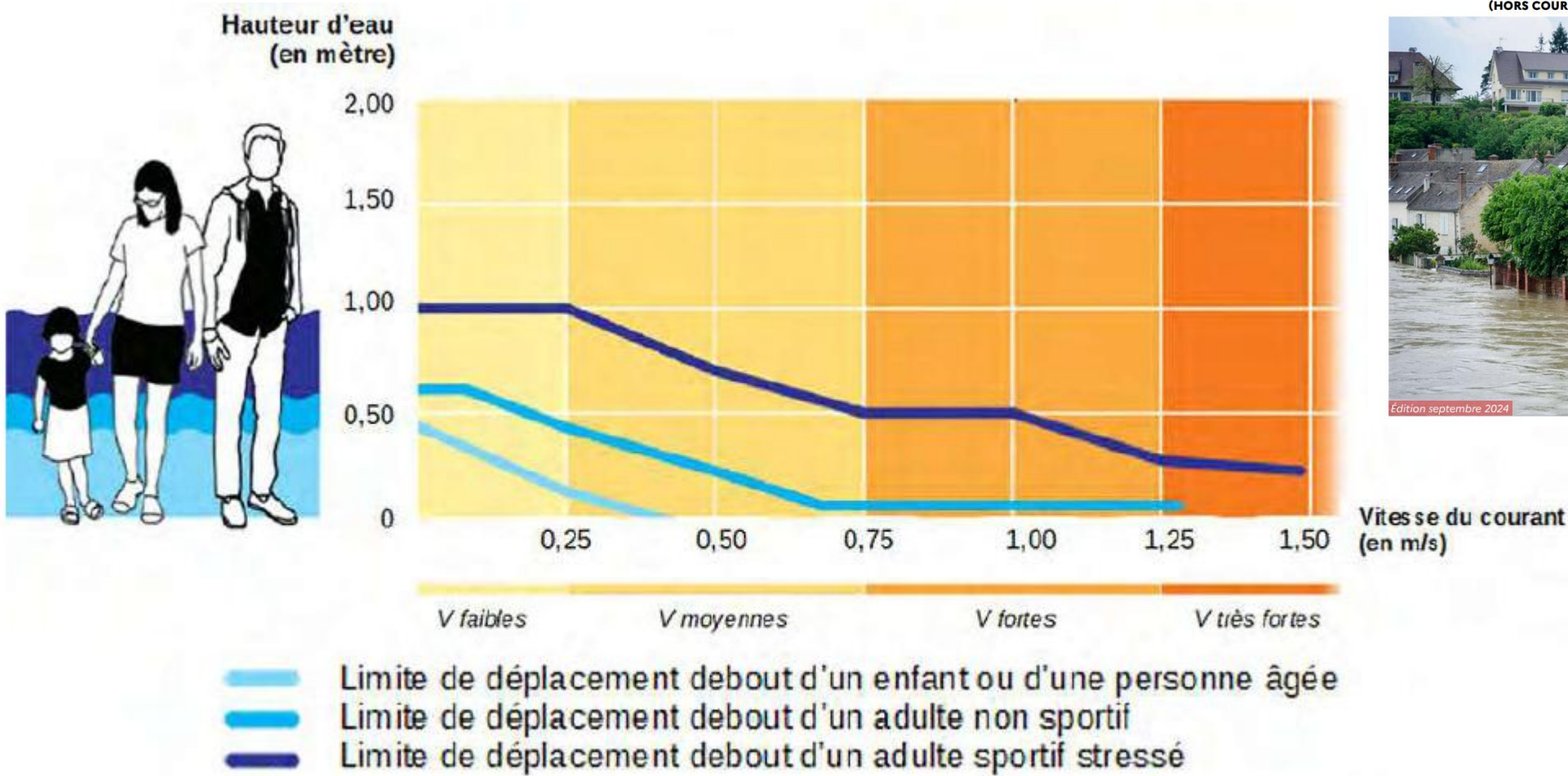
« l'eau monte de 10cm à 50cm en moins d'une heure »

▲
c'est pas grave

▼
c'est grave

↘
et c'est rapide !

PPRI : Déplacement des personnes selon classe hauteur/Vitesse

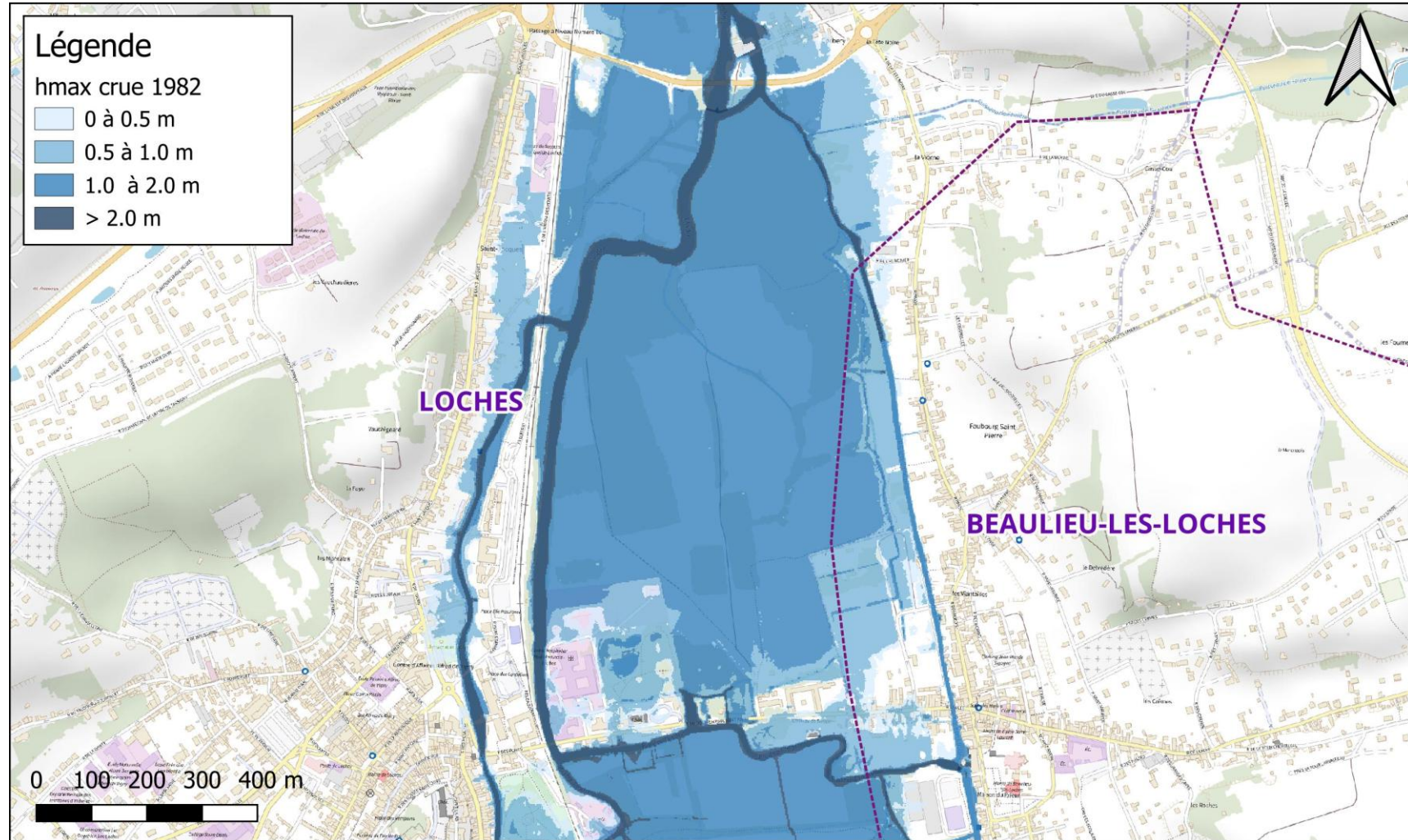


Édition septembre 2024

Illustration 29 : possibilité de déplacement des personnes en fonction de la hauteur d'eau et de la vitesse d'écoulement (source : direction départementale de l'équipement du Vaucluse, repris dans la note complémentaire PPR inondation – Ruissellement urbain, (MEDD, 2004)).

PPRI : Exemple de carte d'Aléa (crue 1982)

Hauteur
d'eau
maximale



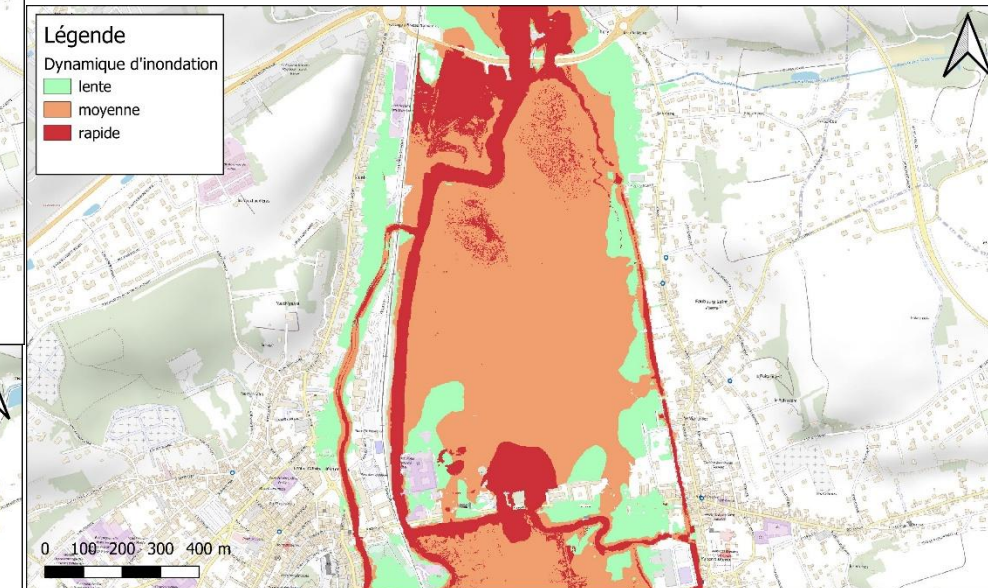
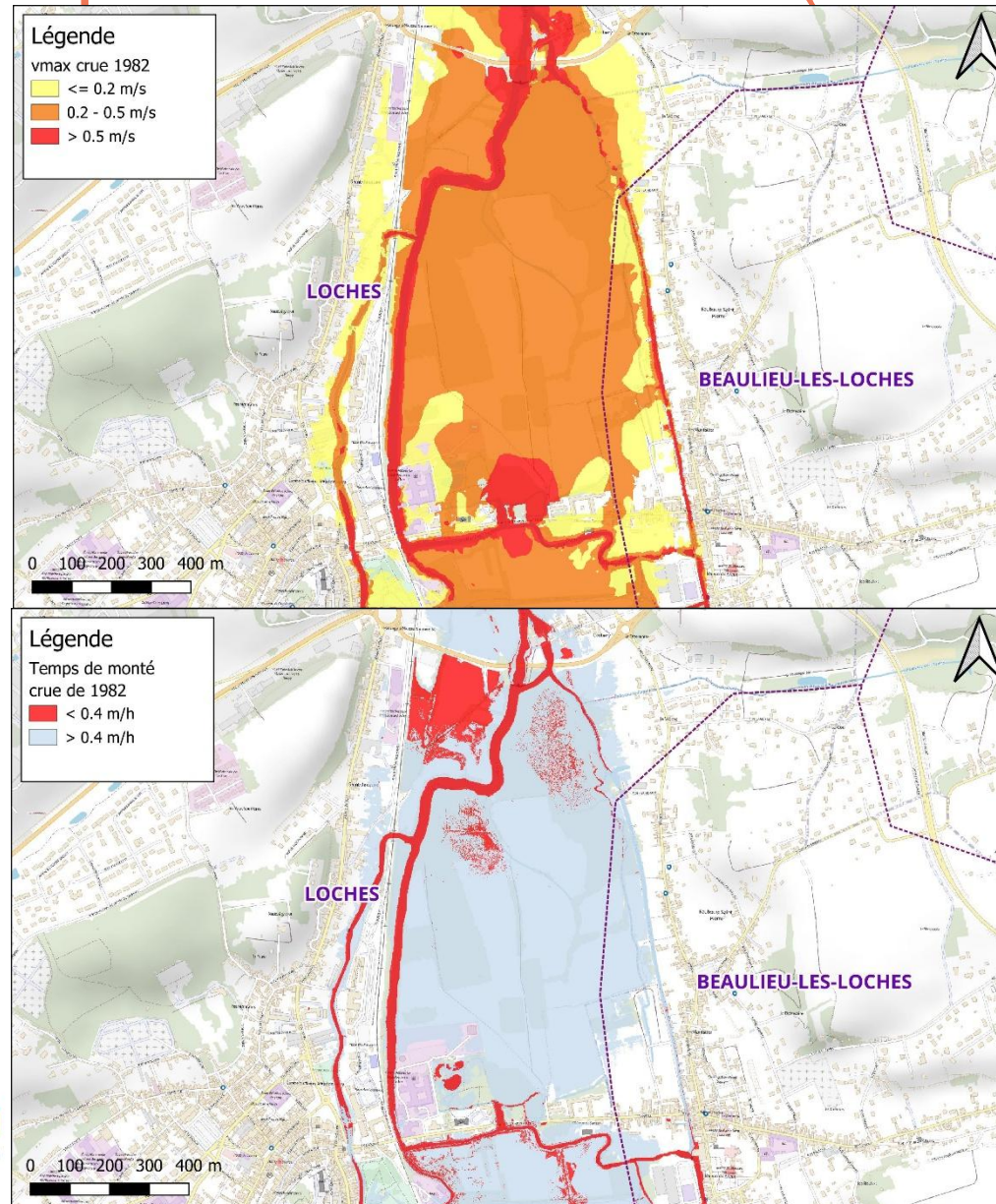
PPRI : Exemple de carte d'Aléa (crue 1982)

Vitesse
d'écoulement
maximale

Temps de
monté

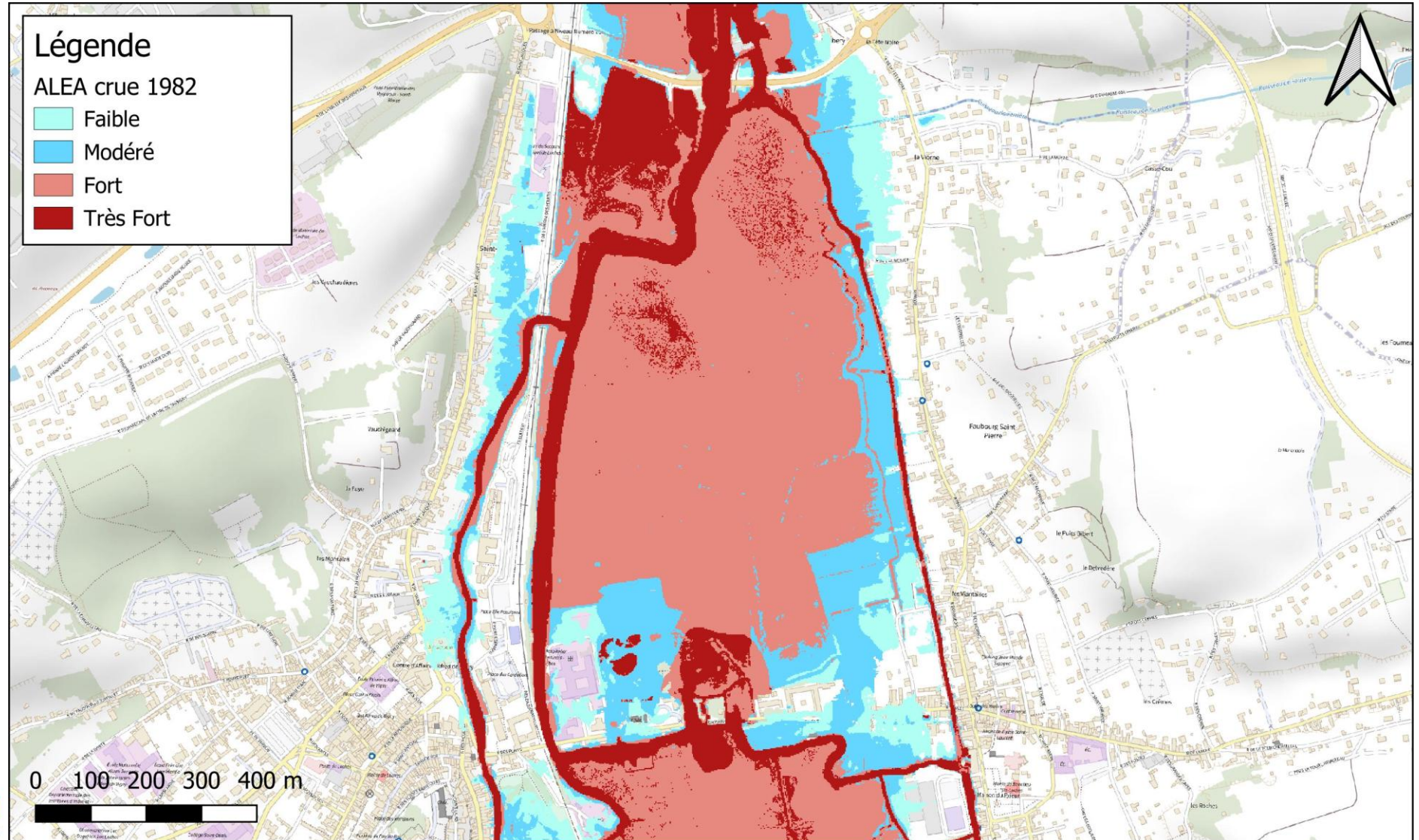
Dynamique

(croisement temps de montée
et vitesse écoulement)



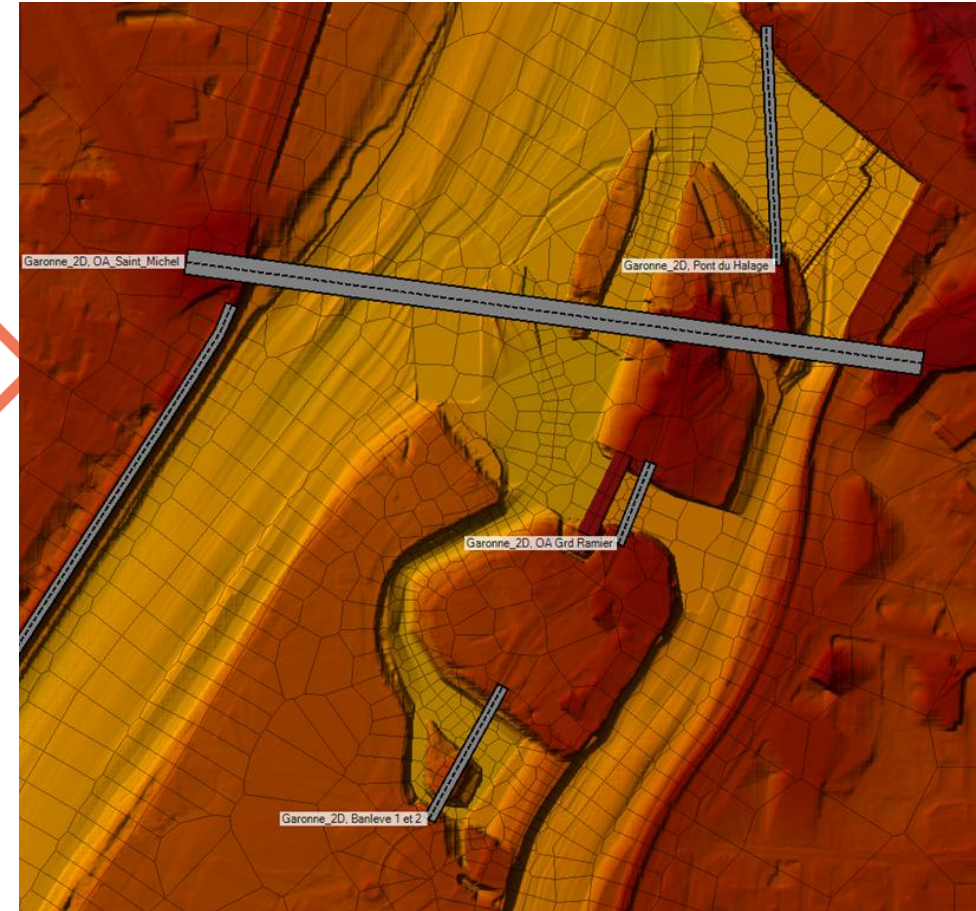
PPRI : Exemple de carte d'Aléa (crue 1982)

Aléa



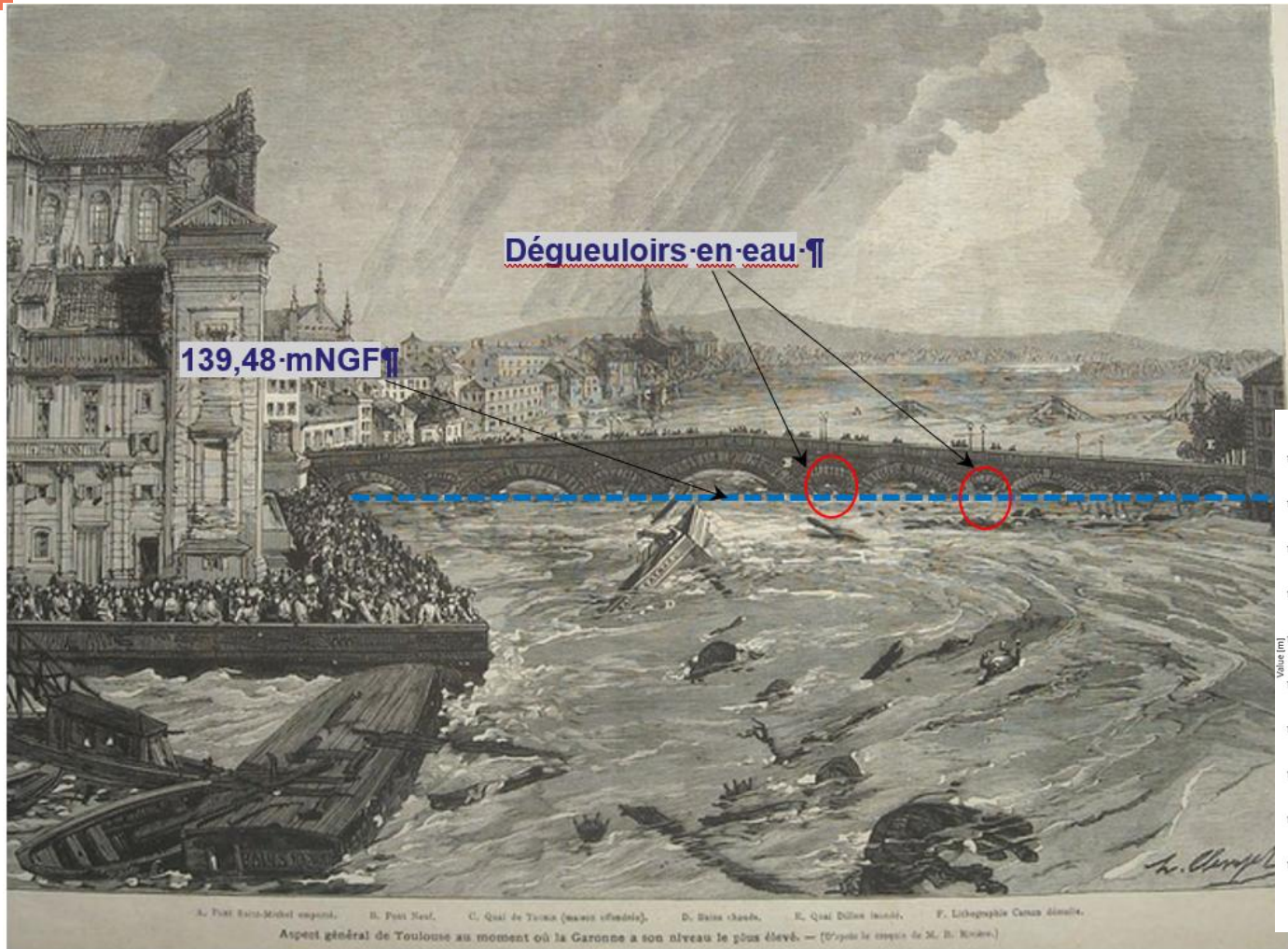
Exploitation du modèle :

- Modélisation hydraulique de la Garonne



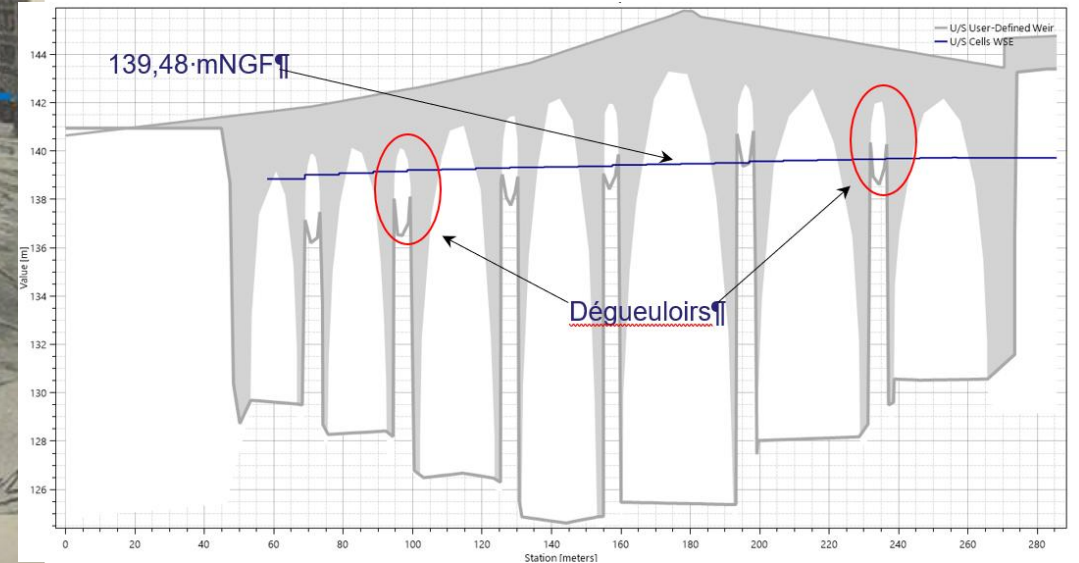
Modèle 2D de la Garonne secteur Ramier– source: Cerema 2025

Exemple de simulation



La Garonne crue de 1875

Pont Neuf modélisé



Exemple de simulation

Défaillance de la porte de la Viguerie pour une crue type « 1875 »



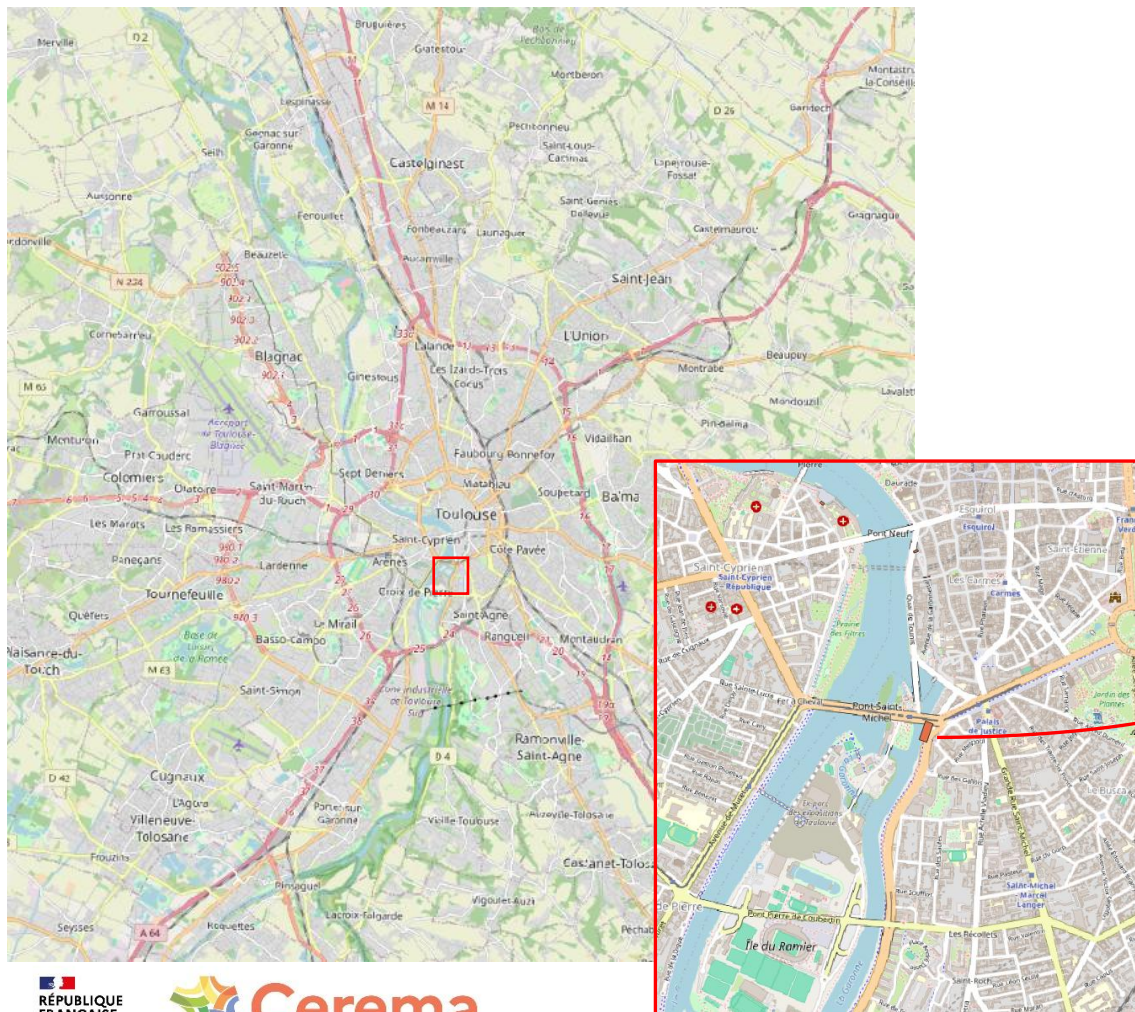
Exemple de simulation

Brèche sur le tronçon D12 pour une crue type « 1875 »



Exemple de simulation

Brèche sur le tronçon D5-1 pour une crue type « 1875+50cm »



© 2025 Google LLC. Tous droits réservés.

Conclusion

Défaillance structurelle (rupture), fonctionnelle

Temps de propagation

Ressuyage

Dynamique de crue

Zones cuvettes

Simulations de scénarios de crue

Cartographie des scénarios

MODÉLISATION :
OUTIL d'intégration du risque



Plan communal de sauvegarde
Niveau de protection du système d'endiguement
Etc.



Merci de votre attention

JP Masset / E Lavaud– Cerema/ Agence de Blois

Clapet de Corbery