Des besoins à la prédiction : méthode et exemple

D. Idier [1], A. Aurouet [3], F. Bachoc [2], A. Baills [1], J. Betancourt [2], F. Gamboa [2], T. Klein [2], S. Le Roy [1], A.F. López-Lopera [2], R. Pedreros [1], J. Rohmer [1], A. Thibault [3]

1: brgm — Geoscience for a sustainable Earth

2: INSTITUT de MATHEMATIQUES de TOULOUSE

3: géo-hyd membre d'Antea Group

Séminaire de restitution du projet ANR RISCOPE, 1-2 février 2022

Des besoins à la prédiction

- Etapes principales
  - Quels besoins ?
  - Quels indicateurs ?
  - Quels méta-modèles (& post-traitement) ?
  - Quelle information finale fournir ?

- Mise en place : exemple

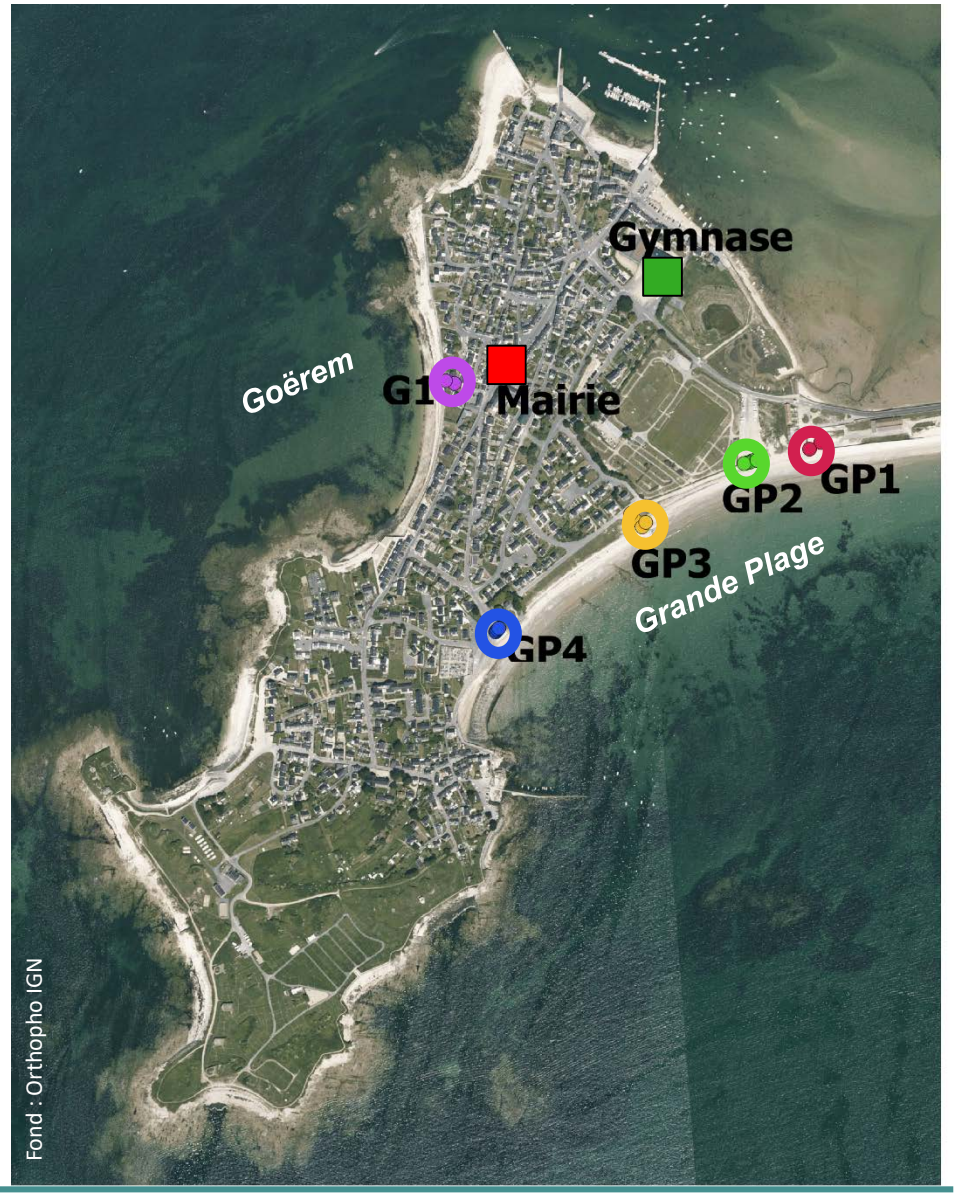
Quels besoins ?

Méthode

- Analyse des documents existants (PPRL, …)
- Ateliers avec le comité d'utilisateurs locaux

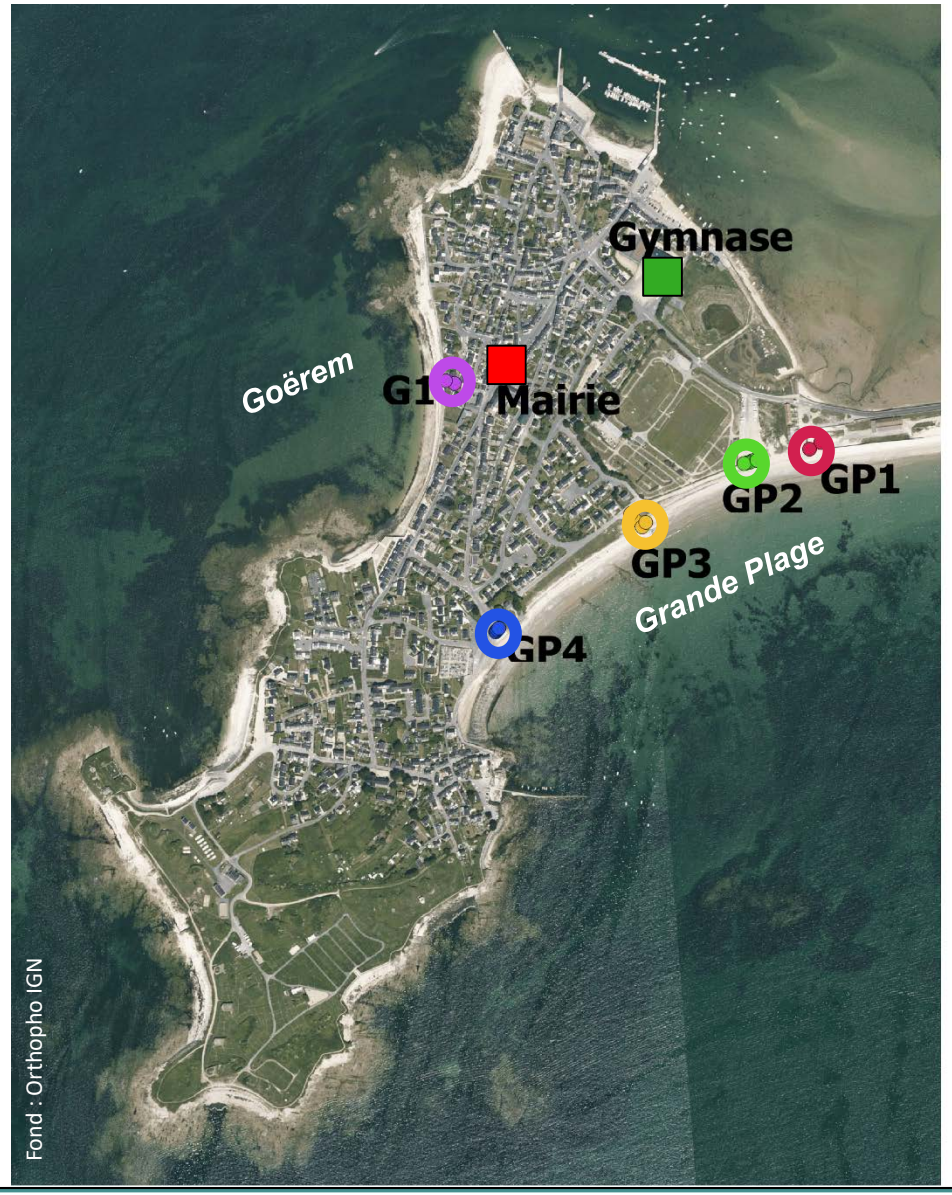
Sur le terrain :

- Des points de surveillance
- 2 lieux principaux pour la gestion de crise



Quels besoins ?

Besoins
• Inondation ou non ? • Intensité de l'inondation, par exemple, si une inondation est plus importante que celle induite par Johanna
• Assurer la sécurité des employés de la commune et des services de secours lors des opérations de surveillance • Déclenchement des opérations de surveillance par la commune et les services de secours
• Déterminer le nombre et le type d'engins de pompage à pré-positionner
• Accessibilité et opérationnalité des bâtiments de gestion de crise
• Praticabilité des routes (oui ou non) pour les véhicules légers ou de secours
• Déclenchement des opérations d'urgence/secours (ex: quand hauteur d'eau dépasse 0,1 m dans les zones résidentielles) • Maisons à évacuer



Quels besoins ?

Besoins
• Inondation ou non ? • Intensité de l'inondation, par exemple, si une inondation est plus importante que celle induite par Johanna
• Assurer la sécurité des employés de la commune et des services de secours lors des opérations de surveillance • Déclenchement des opérations de surveillance par la commune et les services de secours
• Déterminer le nombre et le type d'engins de pompage à pré-positionner
• Accessibilité et opérationnalité des bâtiments de gestion de crise
• Praticabilité des routes (oui ou non) pour les véhicules légers ou de secours
• Déclenchement des opérations d'urgence/secours (ex: quand hauteur d'eau dépasse 0,1 m dans les zones résidentielles) • Maisons à évacuer

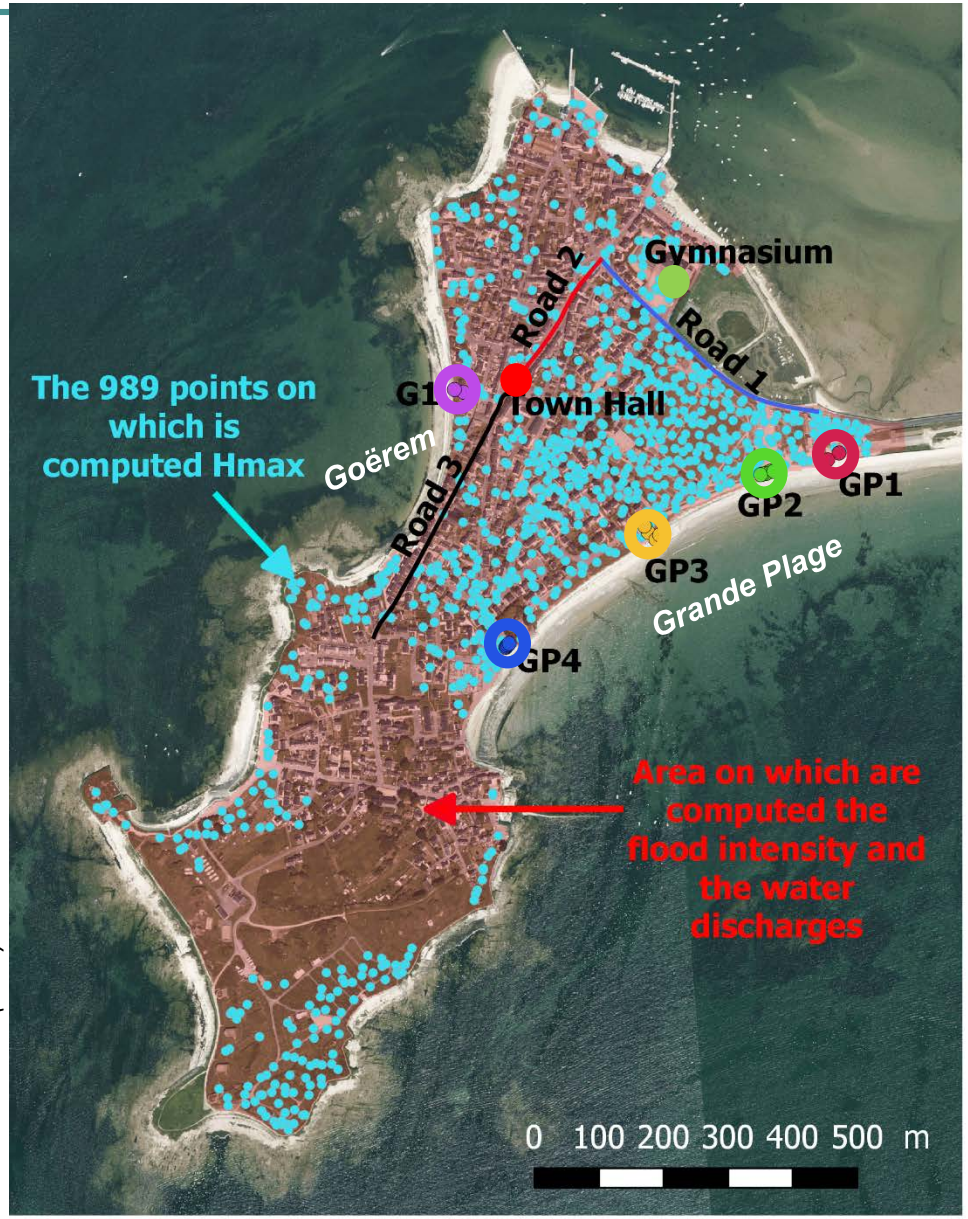
Un besoin important auquel on ne s'est pas attaqué : l'accès à Gâvres

Quels indicateurs ?

Besoins	Indicateur I_j	j
• Inondation ou non ? • Intensité de l'inondation, par exemple, si une inondation est plus importante que celle induite par Johanna	Intensité de l'inondation	1
• Assurer la sécurité des employés de la commune et des services de secours lors des opérations de surveillance • Déclenchement des opérations de surveillance par la commune et les services de secours	Risque humain au point de surveillance GP1	2
	Risque humain au point de surveillance GP2	3
	Risque humain au point de surveillance GP3	4
	Risque humain au point de surveillance GP4	5
	Risque humain au point de surveillance G1	6
• Déterminer le nombre et le type d'engins de pompage à pré-positionner	Débit d'eau moyen	7
	Débit d'eau maximal	8
• Accessibilité et opérationnalité des bâtiments de gestion de crise	Hauteur d'eau devant la mairie	9
	Hauteur d'eau devant le gymnase	10
• Praticabilité des routes (oui ou non) pour les véhicules légers ou de secours	Praticabilité de la portion de route 1	11
	Praticabilité de la portion de route 2	12
	Praticabilité de la portion de route 3	13
• Déclenchement des opérations d'urgence/secours (ex: quand hauteur d'eau dépasse 0,1 m dans les zones résidentielles) • Maisons à évacuer	Hauteur d'eau en plusieurs centaines de points ("cartes")	14

Quels indicateurs ?

14 indicateurs



Source: Idier et al. (2021)

Indicateur I_j	j
Intensité de l'inondation	1
Risque humain au point de surveillance GP1	2
Risque humain au point de surveillance GP2	3
Risque humain au point de surveillance GP3	4
Risque humain au point de surveillance GP4	5
Risque humain au point de surveillance G1	6
Débit d'eau moyen	7
Débit d'eau maximal	8
Hauteur d'eau devant la mairie	9
Hauteur d'eau devant le gymnase	10
Praticabilité de la portion de route 1	11
Praticabilité de la portion de route 2	12
Praticabilité de la portion de route 3	13
Hauteur d'eau en plusieurs centaines de points ("cartes")	14

Quels méta-modèles (& post-traitement) ?

- Pour chaque indicateur :
  - Quel(s) méta-modèle(s) ?
  - Quel post-traitement (niveau 1) du méta-modèle ?

- « Prédiction brute »

Quels méta-modèles (& post-traitement) ?

- Pour chaque indicateur :
  - Quel(s) méta-modèle(s)
  - Quel post-traitement (niveau 1) du méta-modèle ?

- « Prédiction brute »

- NB: Post-traitement de niveau 2 -> optimiser la qualité de prédiction, voir Session « Utilisation des méta-modèles pour la prédiction de la submersion à Gâvres », 2 février

Quels méta-modèles (& post-traitement) ?

i	Significance of Y_i	Unit	Input	$Z_k = f(Y_i)$	No. j of the indicator I_j for which	
					Z_i is the main input	Z_i is a secondary input
1	Volume of water entering inland over 15 minutes	m^3	S	$Z_1 = Max_t(Y_1)$	N.C.	1 to 13
2	Maximal water height over the cluster of points GP1 … G1 over 15 minutes	m	S	$Z_2 = Max_t(Y_2)$	2	
…				…	...	
6				$Z_6 = Max_t(Y_6)$	6	
7	Maximal flooded surface	m²	F	$Z_7 = Y_7$	1	10, 11, 13
8	Mean (Y_8) and maximal (Y_9) water discharge entering inland	m^3/h	F	$Z_8 = Y_8$	7	
9				$Z_9 = Y_9$	8	
10	Maximal water height over the event in front of the town hall (Y_{10}) and the gymnasium (Y_{10})	m	F	$Z_{10} = Y_{10}$	9	
11				$Z_{11} = Y_{11}$	10	
12	For each road section 1, 2, 3: total head (as defined in Kramer et al., 2016) for the entire road ($Y_{12,14,16}$) and the highest track of the road ($Y_{13,15,17}$)	m	F	For k=12,13,14 $Z_k(Y_k = 0) = 0$, else $Z_k(Y_{k+1} < h_{E1}1) = 1$ $Z_k(h_{E1} < Y_{k+1} \leq h_{E2}) = 2$ $Z_k\ (h_{E2} < Y_{k+1}) = 3$	11	—
13						
14					12	—
15						
16					13	—
17						
18	Maximal water height in NP locations (NP=989)	m	F	Z_{15} (n=1:NP)= Y_{18} (n=1:NP)	14	

Quels méta-modèles (& post-traitement) ?

i	Significance of Y_i	Unit	Input	$Z_k = f(Y_i)$	No. j of the indicator I_j for which	
					Z_i is the main input	Z_i is a secondary input
1	Volume of water entering inland over 15 minutes	m^3	S	$Z_1 = Max_t(Y_1)$	N.C.	1 to 13
2	Maximal water height over the cluster of points GP1 … G1 over 15 minutes	m	S	$Z_2 = Max_t(Y_2)$	2	
…				…	...	
6				$Z_6 = Max_t(Y_6)$	6	
7	**Maximal flooded surface**	**m²**	**F**	$\mathbf{Z_7 = Y_7}$	**1**	10, 11, 13
8	Mean (Y_8) and maximal (Y_9) water discharge entering inland	m^3/h	F	$Z_8 = Y_8$	7	
9				$Z_9 = Y_9$	8	
1						
1						
1						
1						
1						
1						
1						
1						
18	Maximal water height in NP locations (NP=989)	m	F	Z_{15} (n=1:NP)= Y_{18} (n=1:NP)	14	

Indicateur Intensité

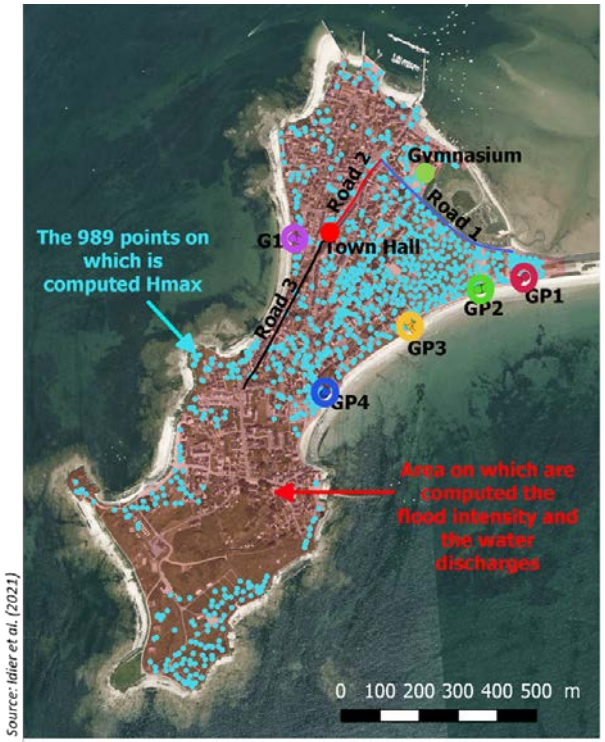
Quels méta-modèles (& post-traitement) ?

i	Significance of Y_i	Unit	Input	$Z_k = f(Y_i)$	No. j of the indicator I_j for which	
					Z_i is the main input	Z_i is a secondary input
1	**Volume of water entering inland over 15 minutes**	**m³**	**S**	**$Z_1 = Max_t(Y_1)$**	N.C.	**1** to 13
2	Maximal water height over the cluster of points GP1 … G1 over 15 minutes	m	S	$Z_2 = Max_t(Y_2)$	2	
…				…	...	
6				$Z_6 = Max_t(Y_6)$	6	
7	**Maximal flooded surface**	**m²**	**F**	**$Z_7 = Y_7$**	**1**	10, 11, 13
8	Mean (Y_8) and maximal (Y_9) water discharge entering inland	m³/h	F	$Z_8 = Y_8$	7	
9				$Z_9 = Y_9$	8	
1						
1						
1						
1						
1						
1						
1						
1						
18	Maximal water height in NP locations (NP=989)	m	F	Z_{15} (n=1:NP)= Y_{18} (n=1:NP)	14	

Indicateur Intensité

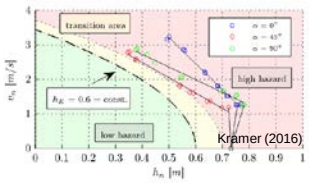
Quelle information finale fournir ?

Des classes !

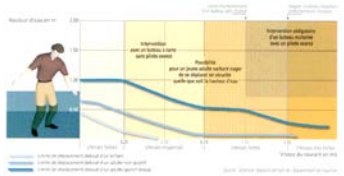


Source: Idier et al. (2021)

Intensité	Pas d'inondation	A la limite de l'inondation	Inondation faible	Inondation moyenne	Inondation forte	Inondation très forte
Hauteurs d'eau aux points de surveillance	RAS	h <= 0.1 m Déplacement possible adulte	0.1 m < h <= 0.25 m Déplacement difficile	0.25 m < h <= 0.5 m Déplacement très difficile	0.5 m < h Risque d'être emporté	
Débits d'eau à terre	RAS	Inférieur à 60 m^3/h	Entre 60 et 120 m^3/h	Entre 120 et 480 m^3/h	Entre 480 et 1200 m^3/h	Supérieur à 1200 m^3/h
Hauteurs d'eau devant les lieux de gestion de crise (mairie, gymnase)	RAS	0 < hmax ≤ 0.1 m	0.1 < hmax ≤ 0.2 m	0.2 < hmax ≤ 0.5 m	0.5 < hmax ≤ 1 m	1 m < hmax
Trafficabilité des routes	RAS	route inondée localement mais trafficable	trafficable uniquement pour véhicules secours	pas trafficable		
Hauteurs d'eau maximales à terre	RAS	0 à 0.1 m	0.1 à 0.5 m	0.1 à 0.5 m	0.5 à 1 m	> 1.5 m

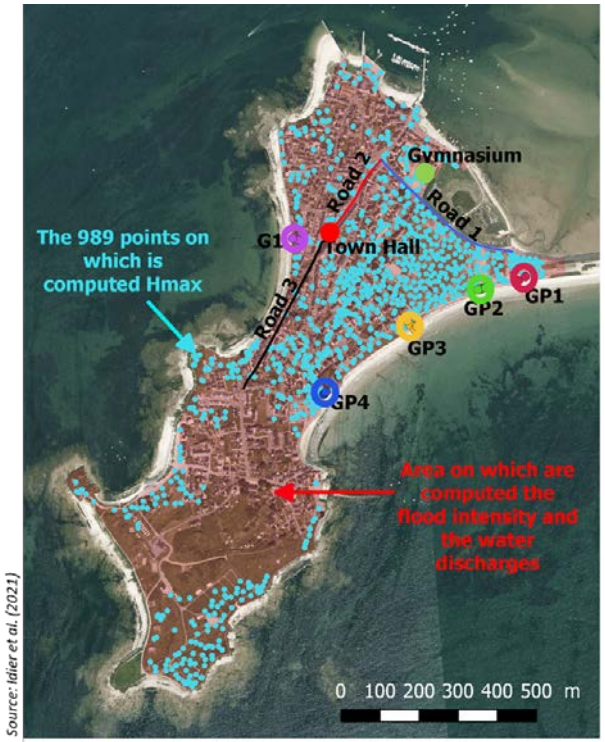


Kramer (2016)



Quelle information finale fournir ?

Des classes !

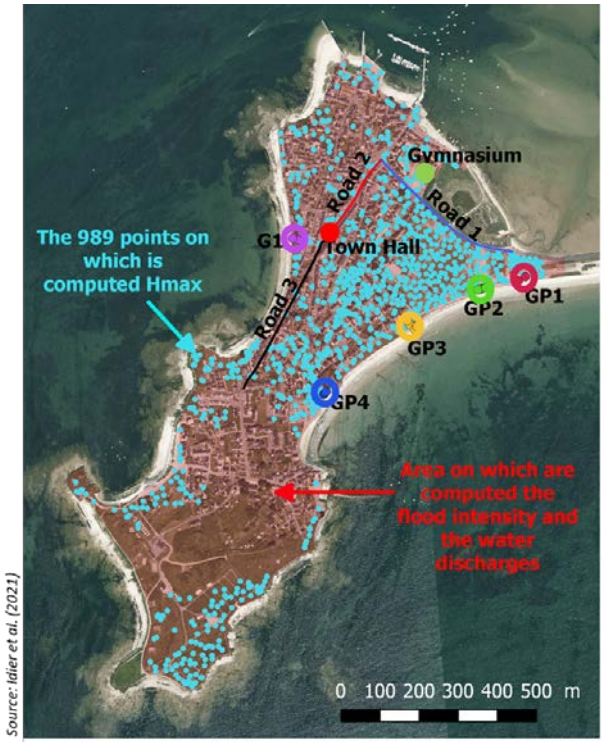


Source: Idier et al. (2021)

Intensité	Pas d'inondation	A la limite de l'inondation	Inondation faible	Inondation moyenne	Inondation forte	Inondation très forte

Quelle information finale fournir ?

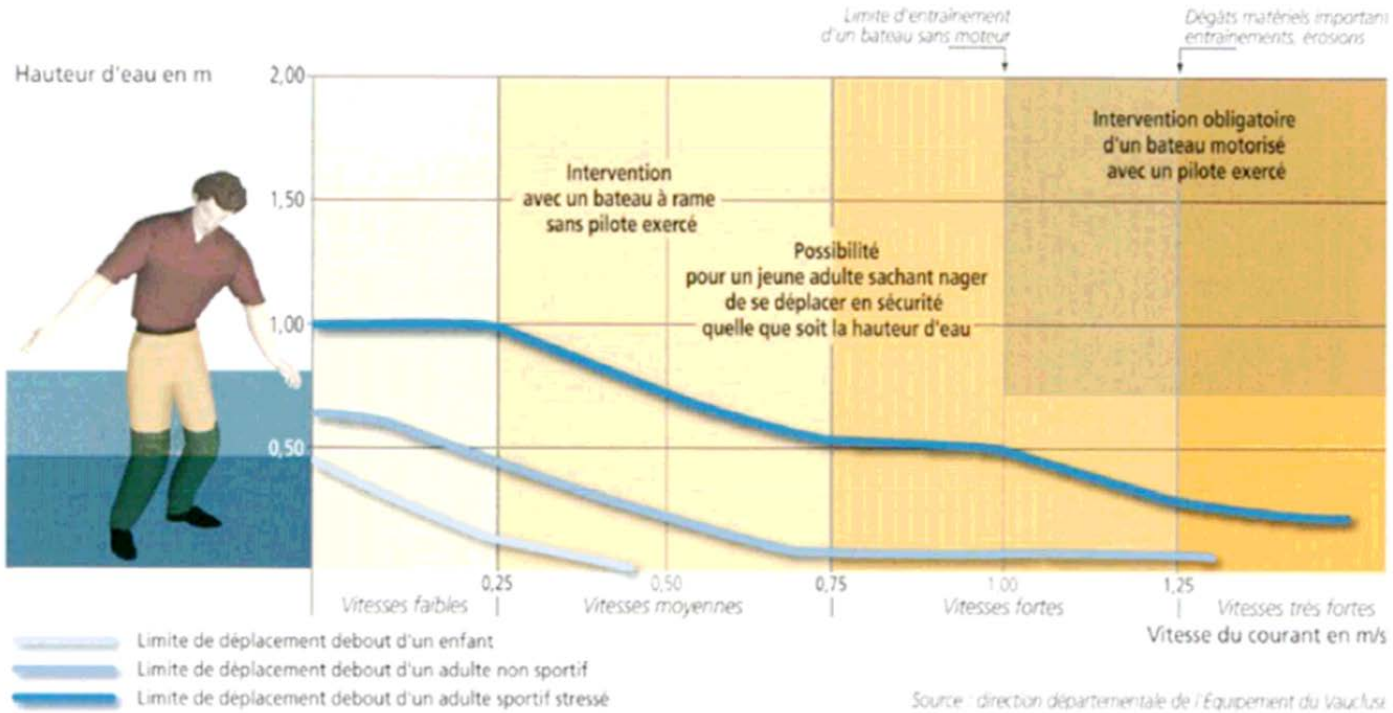
Des classes !



Source: Idier et al. (2021)

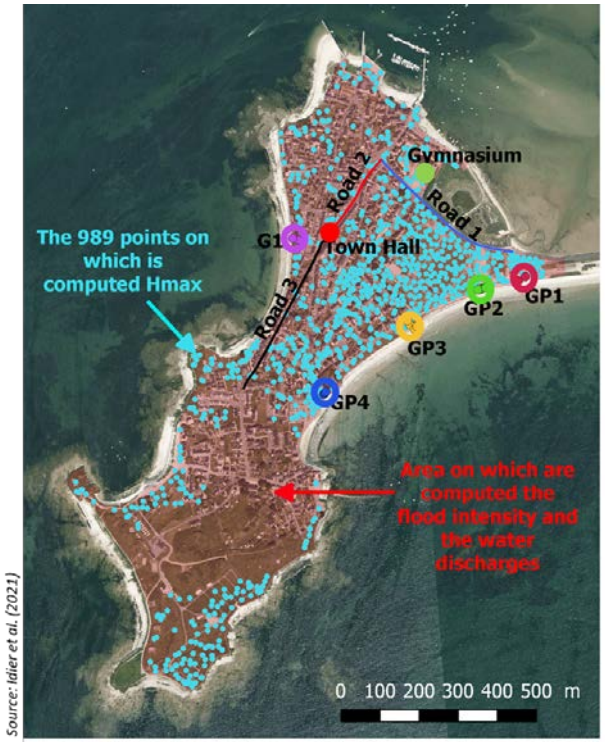
Hauteurs d'eau aux points de surveillance

RAS	h <= 0.1 m Déplacement possible adulte	0.1 m < h <= 0.25 m Déplacement difficile	0.25 m < h <= 0.5 m Déplacement très difficile	0.5 m < h Risque d'être emporté



Quelle information finale fournir ?

Des classes !

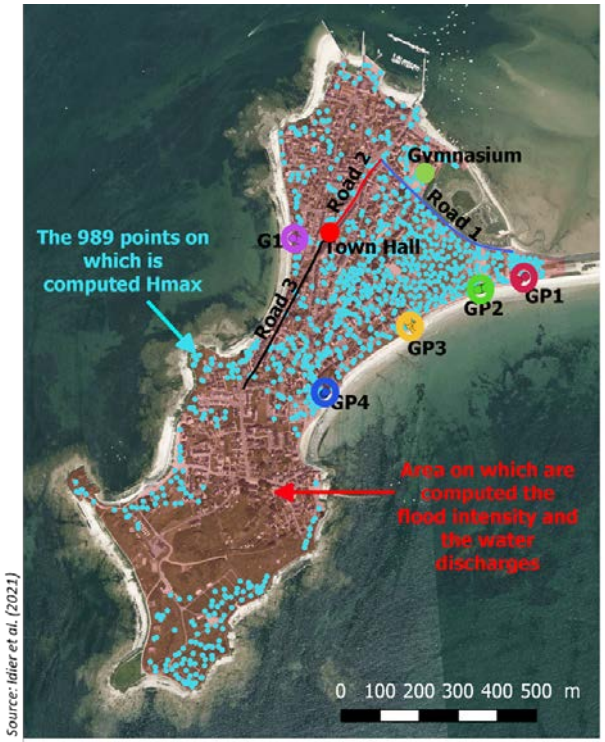


Source: Idier et al. (2021)

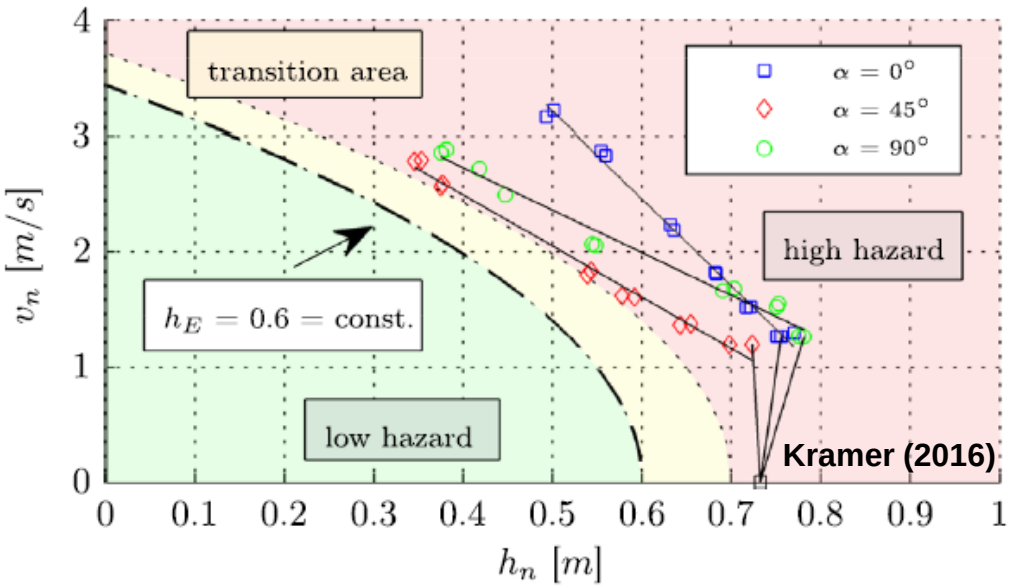
Débits d'eau à terre	RAS	Inférieur à 60 m³/h	Entre 60 et 120 m³/h	Entre 120 et 480 m³/h	Entre 480 et 1200 m³/h	Supérieur à 1200 m³/h

Quelle information finale fournir ?

Des classes !



Source: Idier et al. (2021)

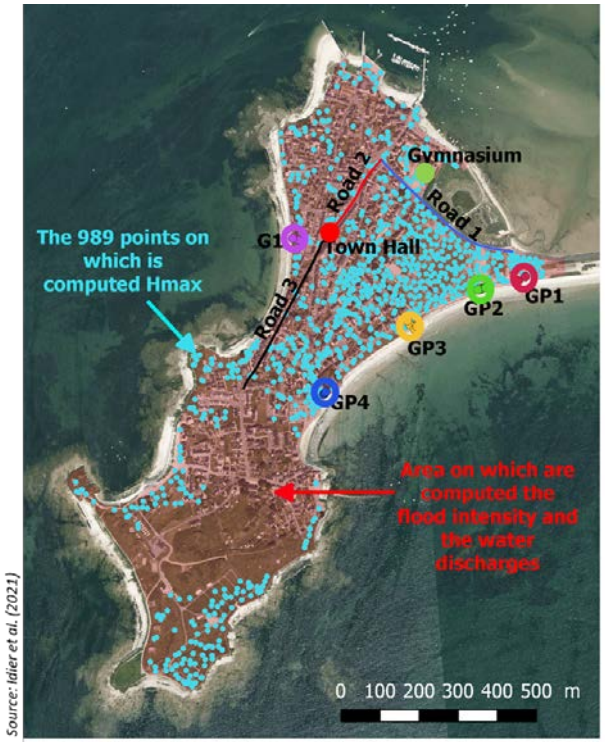


Trafficabilité des routes

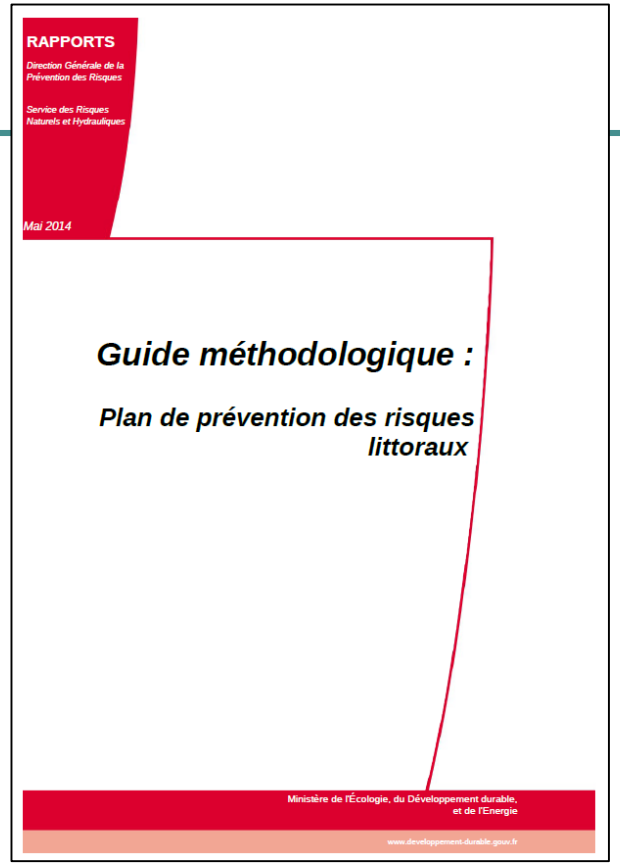
RAS	route inondée localement mais trafficable	trafficable uniquement pour véhicules secours	pas trafficable

Quelle information finale fournir ?

Des classes !



Source: Idier et al. (2021)

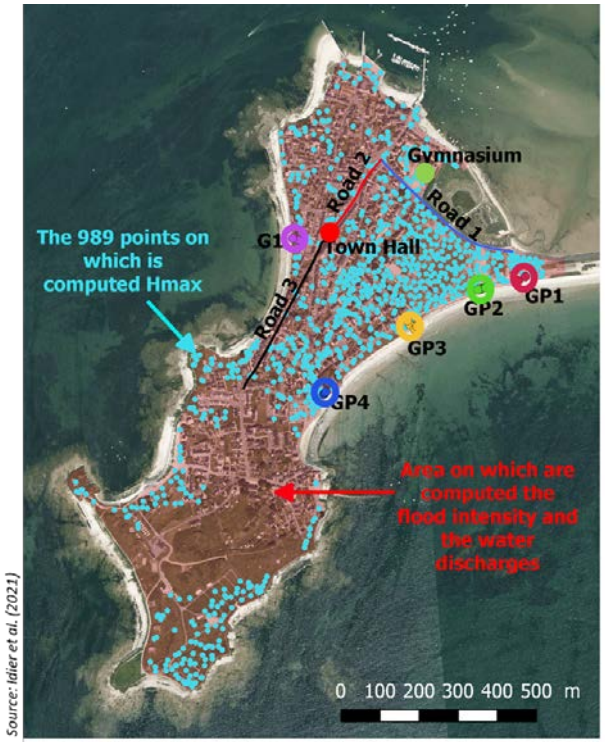


Hauteurs d'eau maximales à terre

RAS	0 à 0.1 m	0.1 à 0.5 m	0.1 à 0.5 m	0.5 à 1 m	> 1.5 m

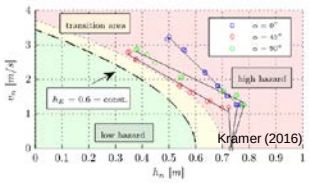
Quelle information finale fournir ?

Des classes !

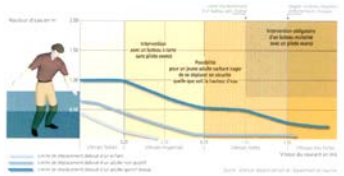


Source: Idier et al. (2021)

Intensité	Pas d'inondation	A la limite de l'inondation	Inondation faible	Inondation moyenne	Inondation forte	Inondation très forte
Hauteurs d'eau aux points de surveillance	RAS	h <= 0.1 m Déplacement possible adulte	0.1 m < h <= 0.25 m Déplacement difficile	0.25 m < h <= 0.5 m Déplacement très difficile	0.5 m < h Risque d'être emporté	
Débits d'eau à terre	RAS	Inférieur à 60 m^3/h	Entre 60 et 120 m^3/h	Entre 120 et 480 m^3/h	Entre 480 et 1200 m^3/h	Supérieur à 1200 m^3/h
Hauteurs d'eau devant les lieux de gestion de crise (mairie, gymnase)	RAS	0 < hmax ≤ 0.1 m	0.1 < hmax ≤ 0.2 m	0.2 < hmax ≤ 0.5 m	0.5 < hmax ≤ 1 m	1 m < hmax
Trafficabilité des routes	RAS	route inondée localement mais trafficable	trafficable uniquement pour véhicules secours	pas trafficable		
Hauteurs d'eau maximales à terre	RAS	0 à 0.1 m	0.1 à 0.5 m	0.1 à 0.5 m	0.5 à 1 m	> 1.5 m



Kramer (2016)



Exemple : de la construction à la prédiction de l'indicateur « intensité »

Besoin

- Information synthétique d'intensité de la submersion

Approche initiale

- S'appuyer sur la superficie inondée

Johanna (82863 m², 14%)

Pas d'inondation	Inondation faible	Inondation moyenne	Inondation forte	Inondation très forte

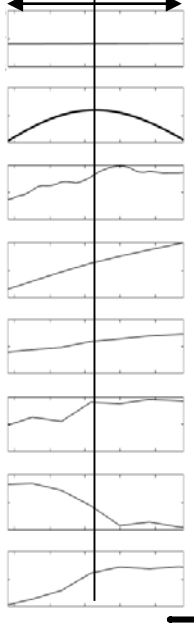
Exemple : de la construction à la prédiction de l'indicateur « intensité »

Génération de la base de données d'apprentissage

ENTREES
Séries temporelles (X(t))

Pleine-Mer
-3h +3h

Niveau moyen **MSL**
Marée **T**
Surcote **S**
Hauteur significative des vagues **Hs**
Période pic des vagues **Tp**
Direction pic des vagues **Dp**
Vitesse du vent **U**
Direction du vent **Du**



Modèle numérique résolvant les équations de la physique

WW3 → SWASH

Post-Processing

SORTIE

Smax (m²) : **Superficie maximale inondée** pour l'évènement X(t)

Simulation de N scénarios (N=174)

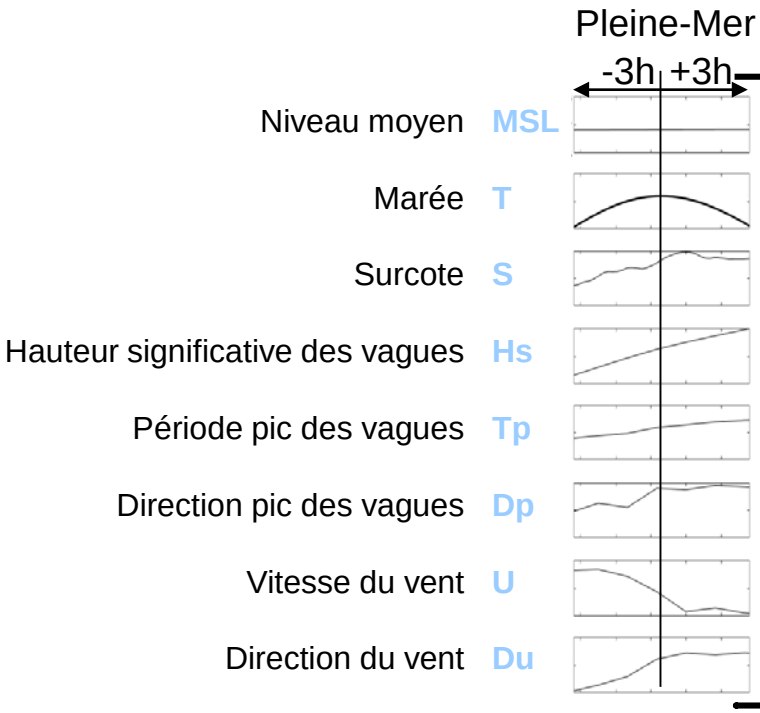
BDD d'apprentissage pour le méta-modèle « Superficie maximale inondée »

Sessions « Modélisation numérique de la submersion et bases de données », 1er février

Exemple : de la construction à la prédiction de l'indicateur « intensité »

Le méta-modèle superficie maximale inondée

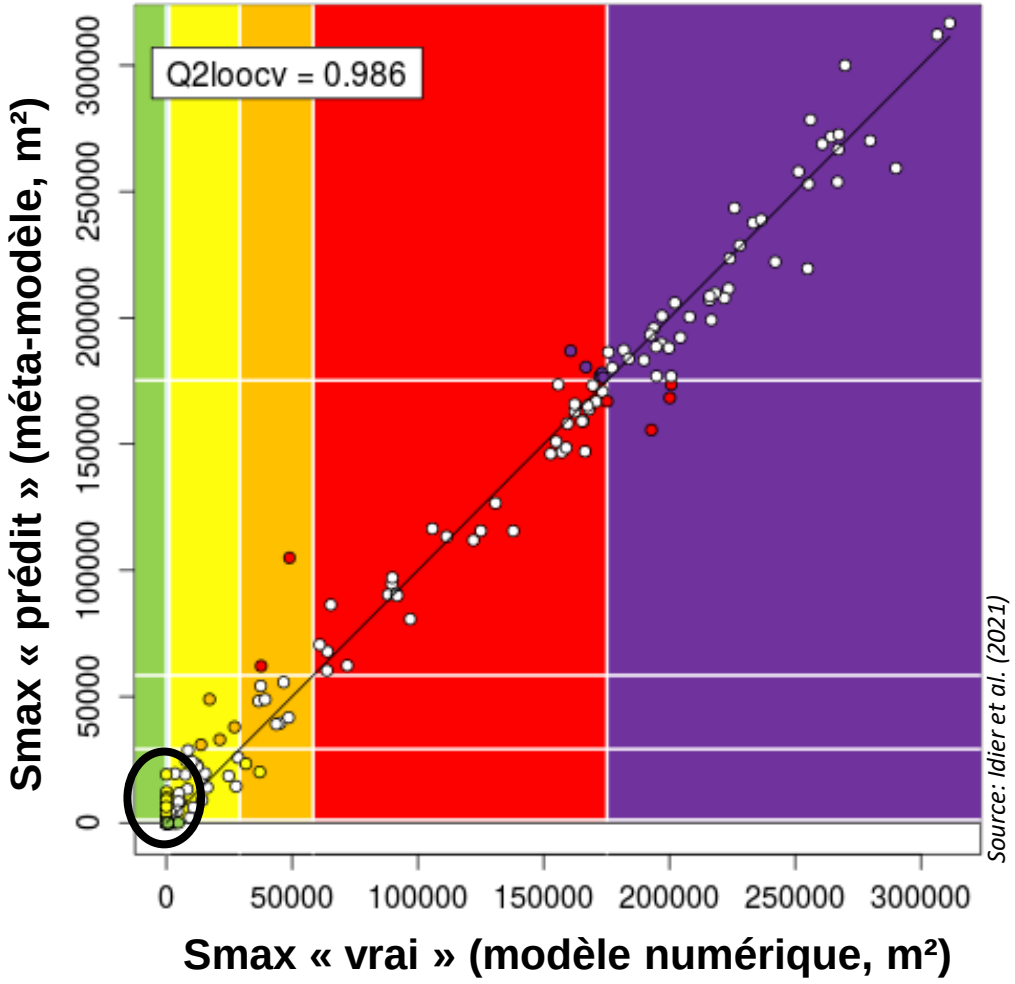
ENTREES
Séries temporelles (X(t))



Méta-modèle

SORTIE

Smax (m²) : **Superficie maximale inondée** pour l'évènement X(t)



Source: Idier et al. (2021)

Session « Modélisation rapide de la submersion », 2 février

Exemple : de la construction à la prédiction de l'indicateur « intensité »

- **En //, dans la phase exploratoire du projet** : mise en place d'un méta-modèle
  - **à entrée scalaire**
  - **calculant le volume d'eau entrant à terre en 15 minutes**
  - **discriminant assez bien les évènements avec et sans submersion**
  - **prenant en compte l'effet du caractère stochastique des vagues sur la submersion**

- **Idée** : combiner ce méta-modèle avec le méta-modèle « superficie maximale inondée »

Pas d'inondation	A la limite de l'inondation	Inondation faible	Inondation moyenne	Inondation forte	Inondation très forte
0 m³	Vc m³	29200 m²	58400 m²	175210 m²	
0%		5%	10%	30%	

Estimé à partir de la valeur maximale de volume d'eau entrant à terre sur 15 min au cours de l'évènement

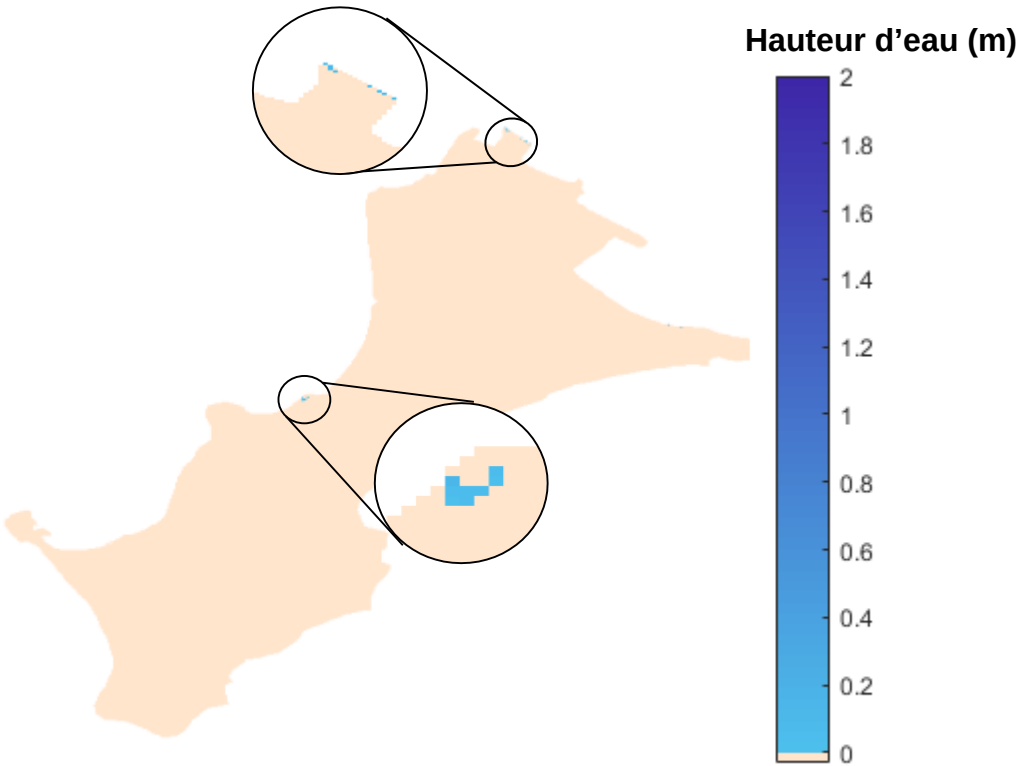
Estimé en calculant la surface maximale inondée (m²) au cours de l'évènement, sur durée de 6h

Exemple : de la construction à la prédiction de l'indicateur « intensité »

Johanna (82863 m², 14%)

Pas d'inondation	À la limite de l'inondation	Inondation faible	Inondation moyenne	Inondation forte	Inondation très forte

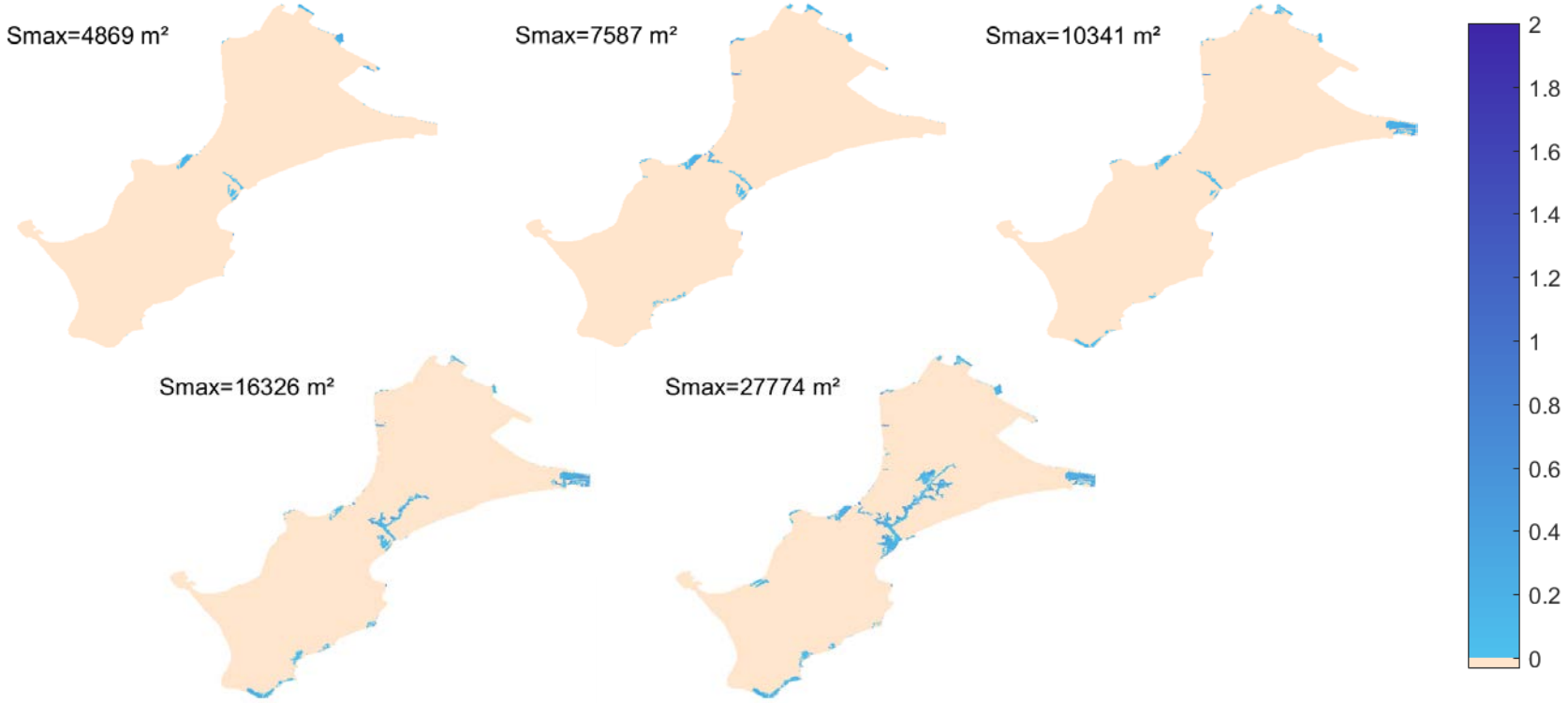
0 m² 0% | Vc m³ | 29200 m² 5% | 58400 m² 10% | 175210 m² 30%



Exemple : de la construction à la prédiction de l'indicateur « intensité »

Johanna (82863 m², 14%)

Pas d'inondation	À la limite de l'inondation	Inondation faible	Inondation moyenne	Inondation forte	Inondation très forte
0 m²	Vc m³	29200 m²	58400 m²	175210 m²	
0%		5%	10%	30%	



Exemple : de la construction à la prédiction de l'indicateur « intensité »

Johanna (82863 m², 14%)

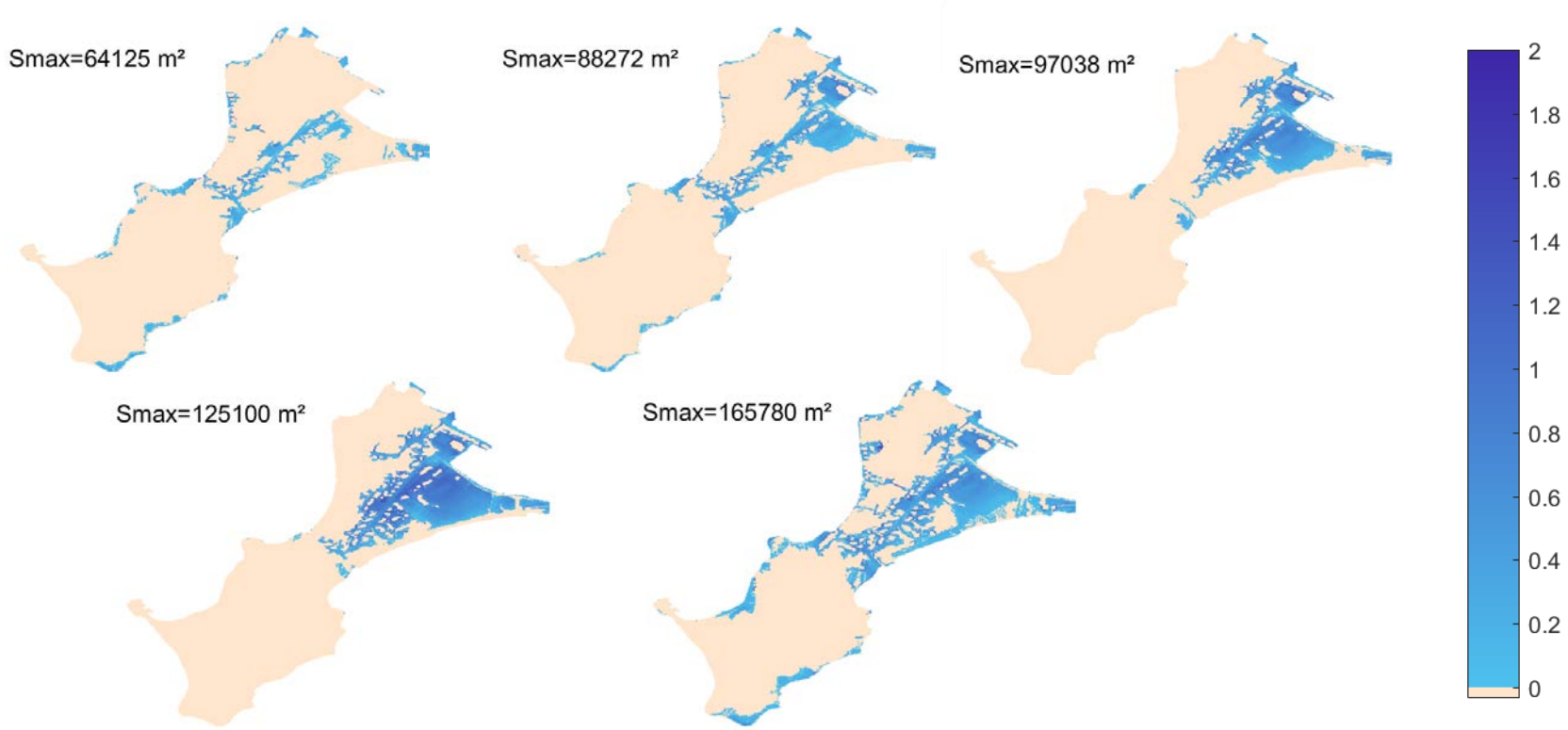
Pas d'inondation	À la limite de l'inondation	Inondation faible	Inondation moyenne	Inondation forte	Inondation très forte
0 m²			29200 m²	58400 m²	175210 m²
0%			5%	10%	30%

Exemple : de la construction à la prédiction de l'indicateur « intensité »

Johanna (82863 m², 14%)

Pas d'inondation	À la limite de l'inondation	Inondation faible	Inondation moyenne	Inondation forte	Inondation très forte

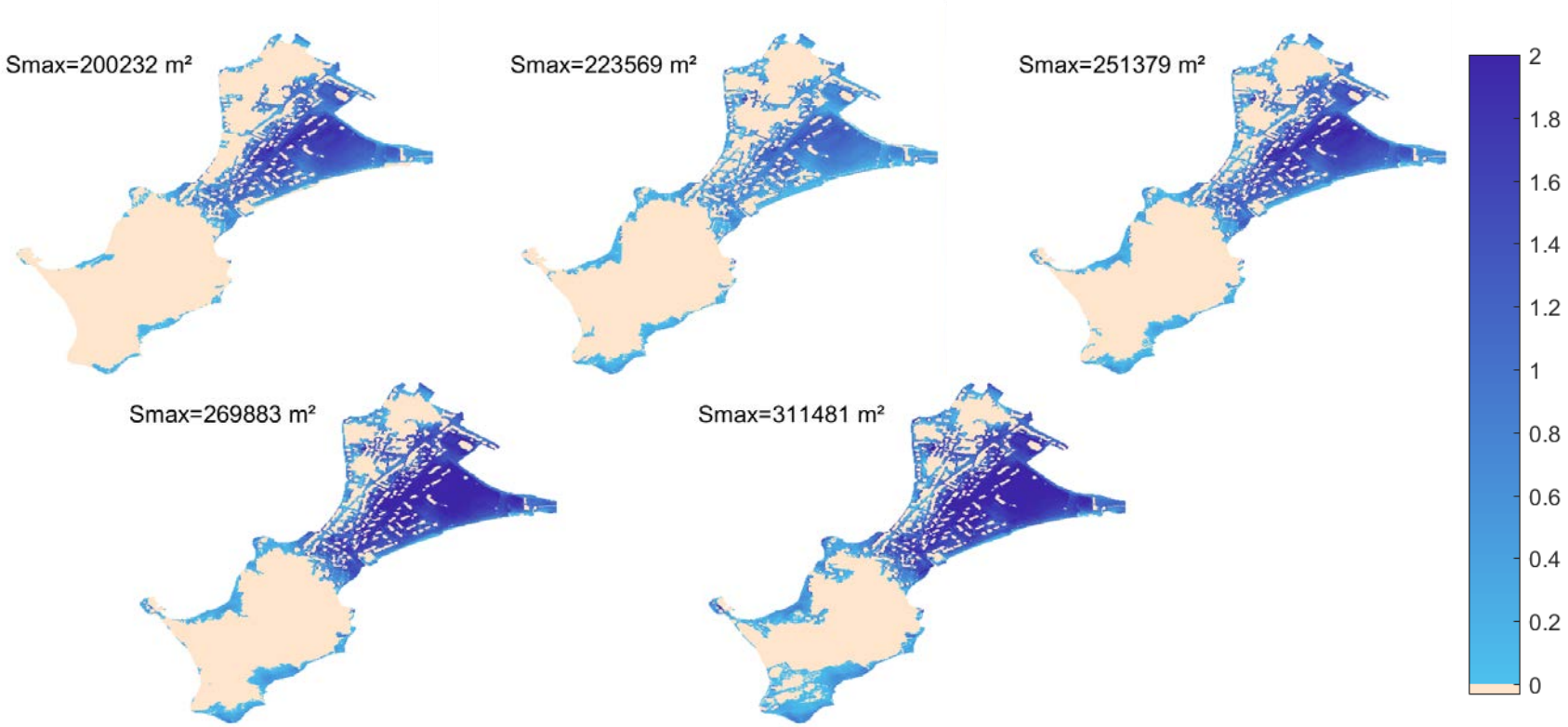
0 m² 0% | Vc m³ | 29200 m² 5% | 58400 m² 10% | 175210 m² 30%



Exemple : de la construction à la prédiction de l'indicateur « intensité »

Johanna (82863 m², 14%)

Pas d'inondation	À la limite de l'inondation	Inondation faible	Inondation moyenne	Inondation forte	Inondation très forte
0 m²		Vc m³	29200 m²	58400 m²	175210 m²
0%			5%	10%	30%



Conclusion

- En résumé
  - 14 indicateurs
  - 18 méta-modèles
  - Post-traitements & combinaison de méta-modèles
  - Des classes définies pour chaque indicateur

- Ce qu'il y a derrière ces méta-modèles -> voir Session *Modélisation rapide de la submersion*, 2 février
- Estimation de la qualité de la prédiction finale « intensité » par rapport à la « réalité » -> voir Session *Utilisation des méta-modèles pour la prédiction de la submersion à Gâvres*, 2 février

Merci pour votre attention

Betancourt et al. (2020) **Gaussian process metamodeling of functional-input code for coastal flood hazard assessment**, *Reliability Engineering and System Safety.*

Betancourt et al. (in review) **funGp: An R package for Gaussian Process Regression with Scalar and Functional Inputs**. *Journal of Statistical Software*.

Betancourt (2020) **Functional-input metamodeling: an application to coastal flood early warning**. PhD Manuscript. University of Toulouse. http://thesesups.ups-tlse.fr/4717/

Betancourt et al. (2020), Package R « **funGP** », github, CRAN et HAL. Gaussian Process Models for Scalar and Functional Inputs

Idier et al. (2021) **A User-Oriented Local Coastal Flooding Early Warning System Using Metamodelling Techniques**. *Journal of Marine Science and Engineering*.

Lopez-Lopera et al. (2020), Package R et python **« spatfGPs** », github. Multi-output Gaussian processes with functional data.

Lopez-Lopera et al. (2021) **Multi-output gaussian processes with functional data: a study on coastal flood hazard assessment.** *JRESS.*

Rohmer et al. (2020) **A nuanced quantile random forest approach for fast prediction of a stochastic marine flooding simulator applied to a macrotidal coastal site**. *Stoch Environ Res Risk Assess*.