Le projet RISCOPE

Système d'alerte de submersion côtière centré sur le risque

D. Idier [1], A. Aurouet [3], F. Bachoc [2], A. Baills [1], J. Betancourt [3], F. Boulahya [1], F. Desmazes [1], J. Durand [1], F. Gamboa [2], T. Klein [2], M. Gourlay [3], S. Le Roy [1], A.F. López-Lopera [2], J. Louisor [1], R. Mouche [3], R. Pedreros [1], J. Rohmer [1], A. Thibault [3], A.L. Véron [3]

1: brgm — Geoscience for a sustainable Earth

2: INSTITUT de MATHEMATIQUES de TOULOUSE

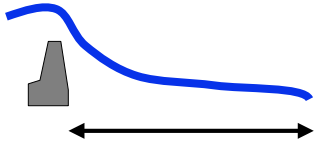
3: géo-hyd — membre d'Antea Group

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

Objectif et défis

Développer une méthode pour la prévision-alerte (et prévention) de la submersion

centrée sur les besoins des utilisateurs



rapide et robuste

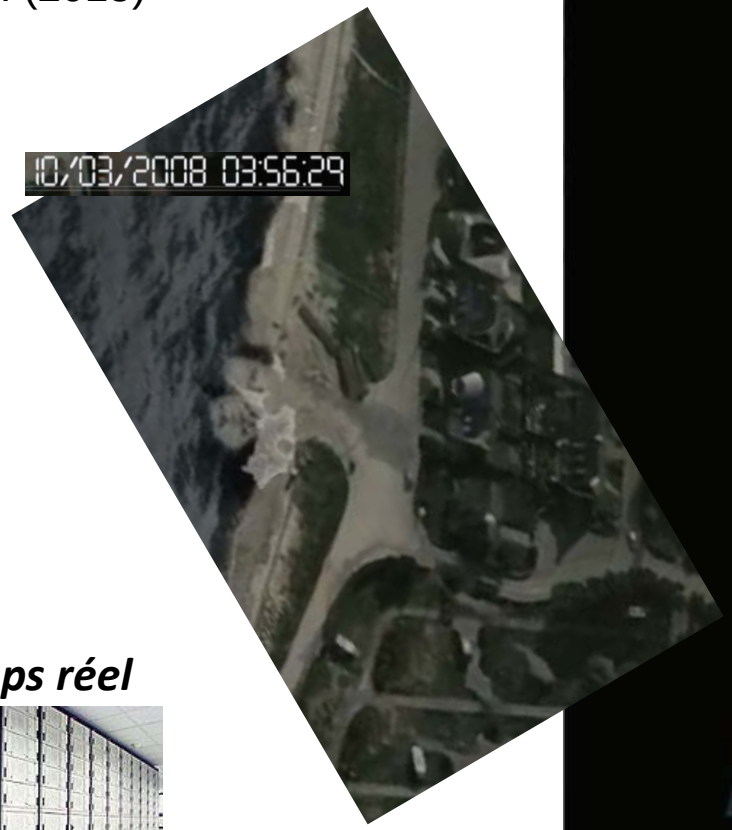
Temps de calcul > temps réel

→

temps de calcul ~ minutes

Objectif et défis

Plus d'informations :
Le Roy et al. (2015)

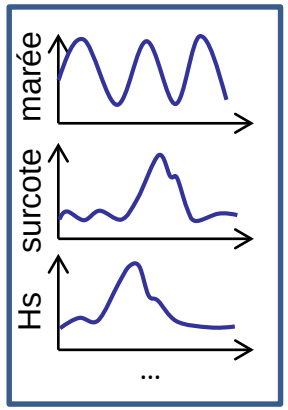


>> temps réel

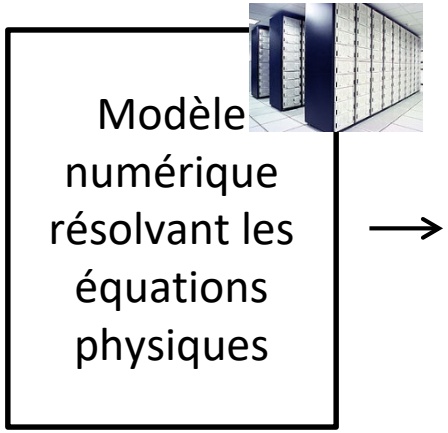
Solution explorée

Approche « classique » pour modéliser finement la submersion à terre

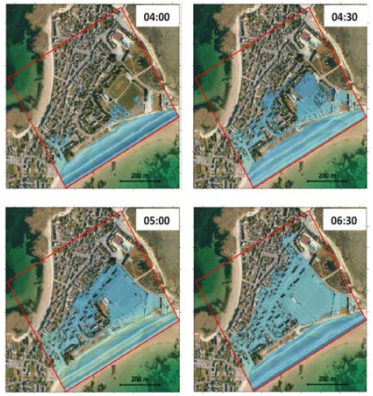
X



→



→



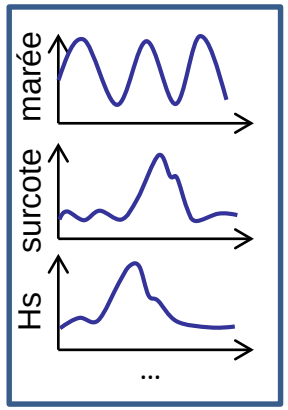
→ **Yi's**

Informations utiles pour les acteurs/décideurs

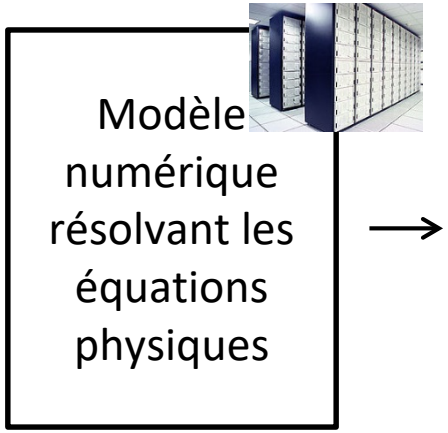
Solution explorée

Approche « classique » pour modéliser finement la submersion à terre

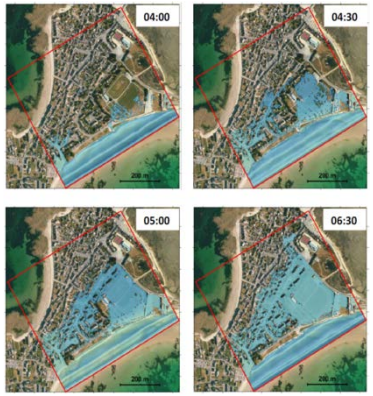
X



→



→



→ **Yi's**

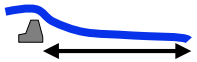
Informations utiles pour les acteurs/décideurs

Approche développée dans RISCOPE

Y1=f(X)

Y2=g(X)

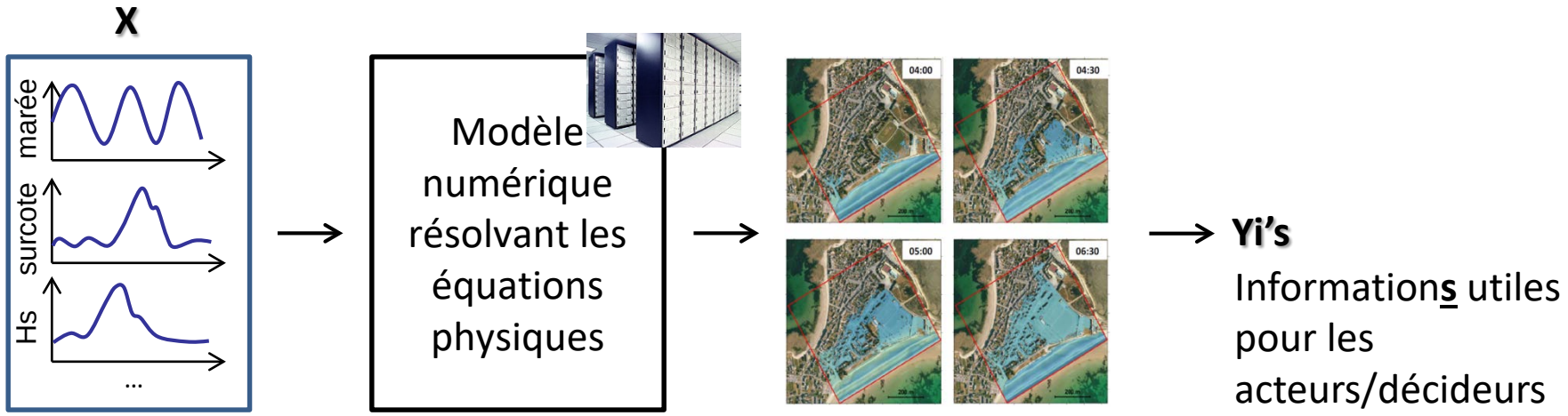
Y3=h(X)



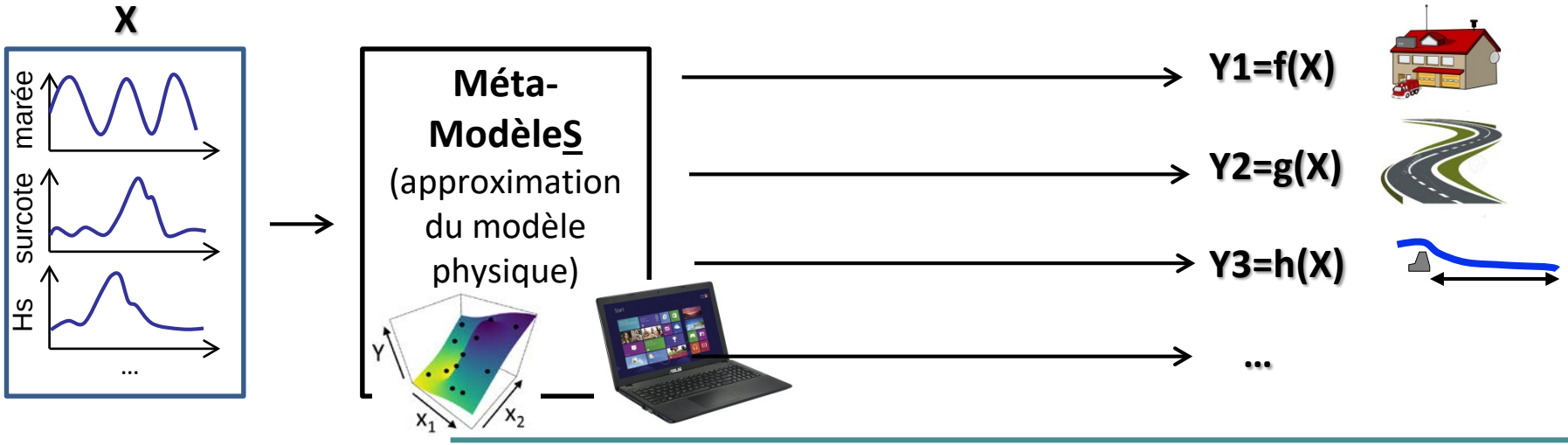
...

Solution explorée

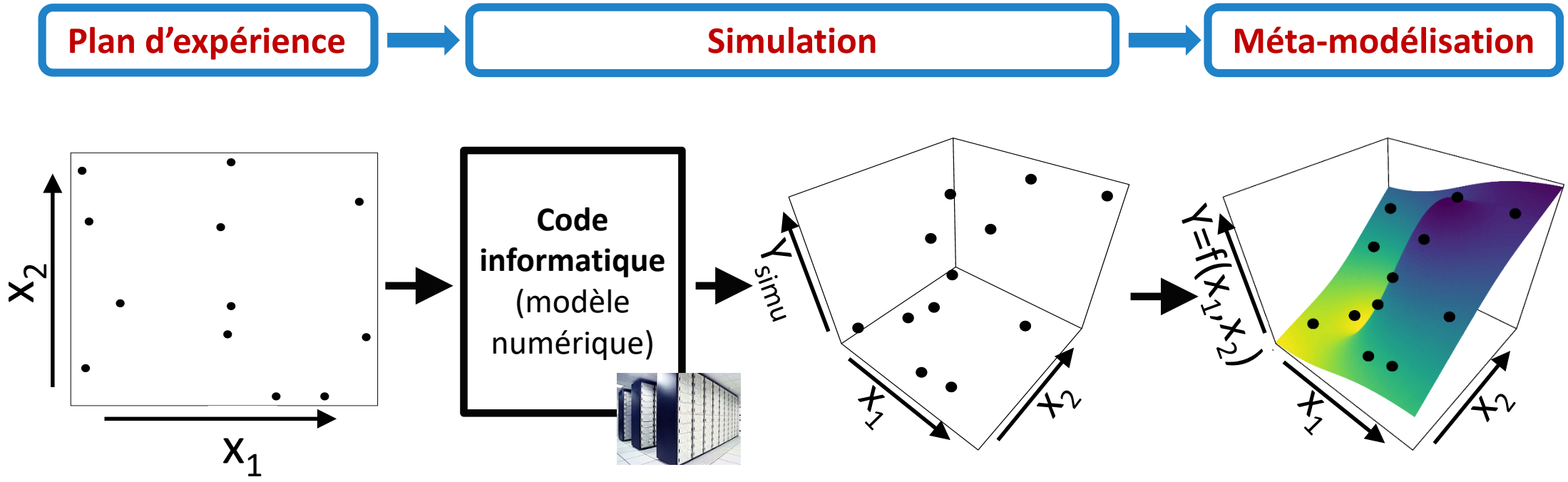
Approche « classique » pour modéliser finement la submersion à terre



Approche développée dans RISCOPE



Solution explorée

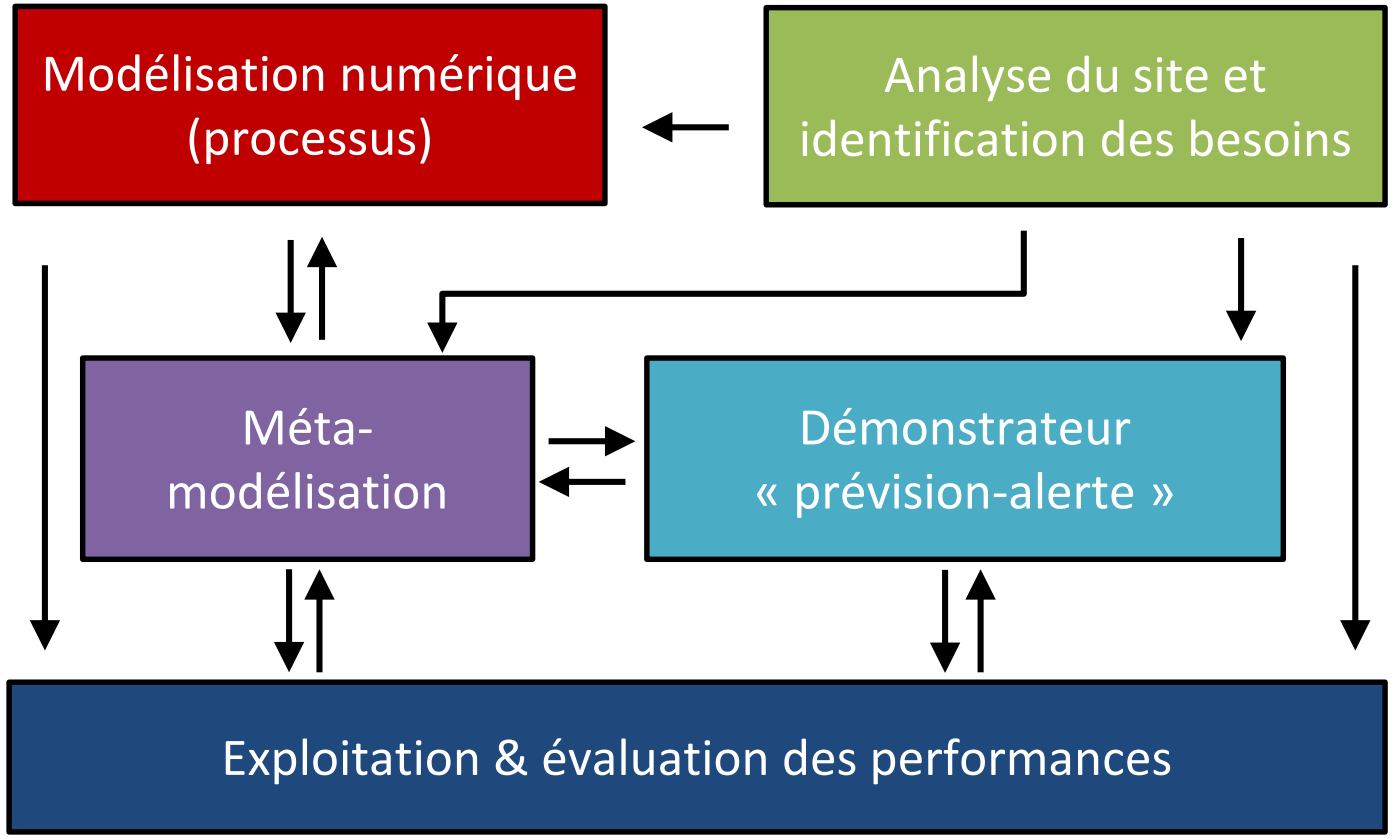


Dans RISCOPE : nombre limité (~100 à 200) de simulations numériques lourdes en temps de calcul

Site de développement

- Régime **macro-tidal**
- Dernière submersion majeure: tempête **Johanna** (2008), ~120 maisons inondées
- Submersion principalement par **franchissements** par paquet de mer

Organisation



Comité de suivi

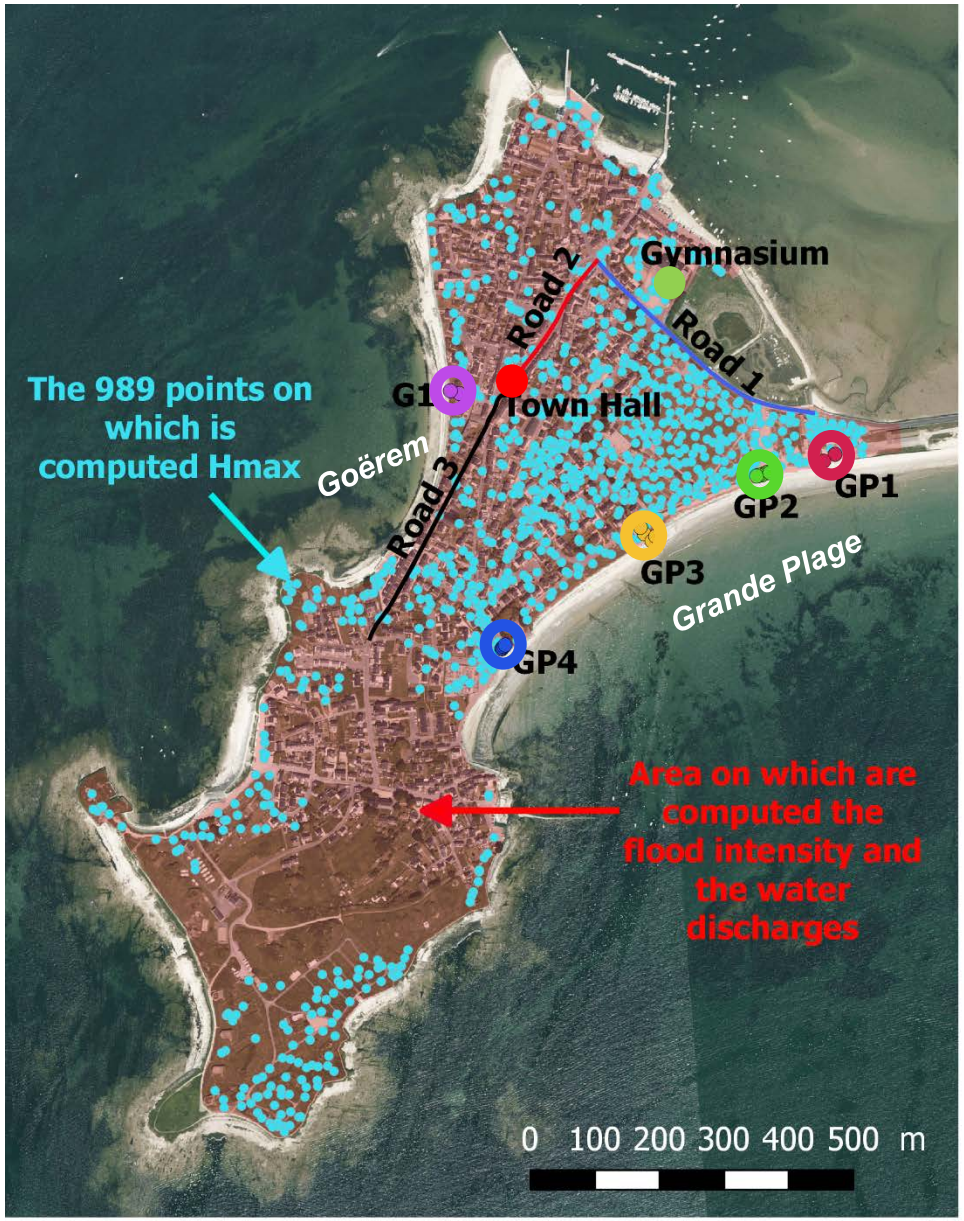
C. Meur Ferrec (UBO), L. Pineau-Guillou (IFREMER/LOPS), F. Marche (Uni. Montpellier), D. Ginsbourger (Uni. Bern), J. Beckers (Deltares), O. Piotte (SCHAPI*), D. Paradis (Météo-France), C.M. Duluc (IRSN).

Comité utilisateurs locaux

- Mairie de Gâvres, DDTM56, Lorient Agglo, SDIS56, Association de Sauvegarde et de Protection du Littoral de la Presqu'île de Gâvres.
- Accès au démonstrateur.

Etapes clés : quels besoins ?

Analyse du site et identification des besoins



Source: Idier et al. (2021)

Besoin de savoir :

- S'il y aura une inondation ou non ? Quelle intensité ?
- Si la hauteur d'eau à terre dépassera 10 cm ?
- Si les bâtiments de gestion de crise seront encore accessibles / en fonction ?
- Si Gâvres sera toujours accessible ?
- Quel matériel de pompage doit être préparé et pré-positionné sur place avant la crise ?
- …

Traduction en indicateurs (et gammes)

- Intensité de la submersion
- Risque humain aux points de surveillance
- Débits d'eau entrant à terre
- Hauteur d'eau devant les bâtiments de gestion de crise
- Praticabilité de la route (uniquement portion, juste pour la démonstration)
- « Cartes » de hauteur d'eau

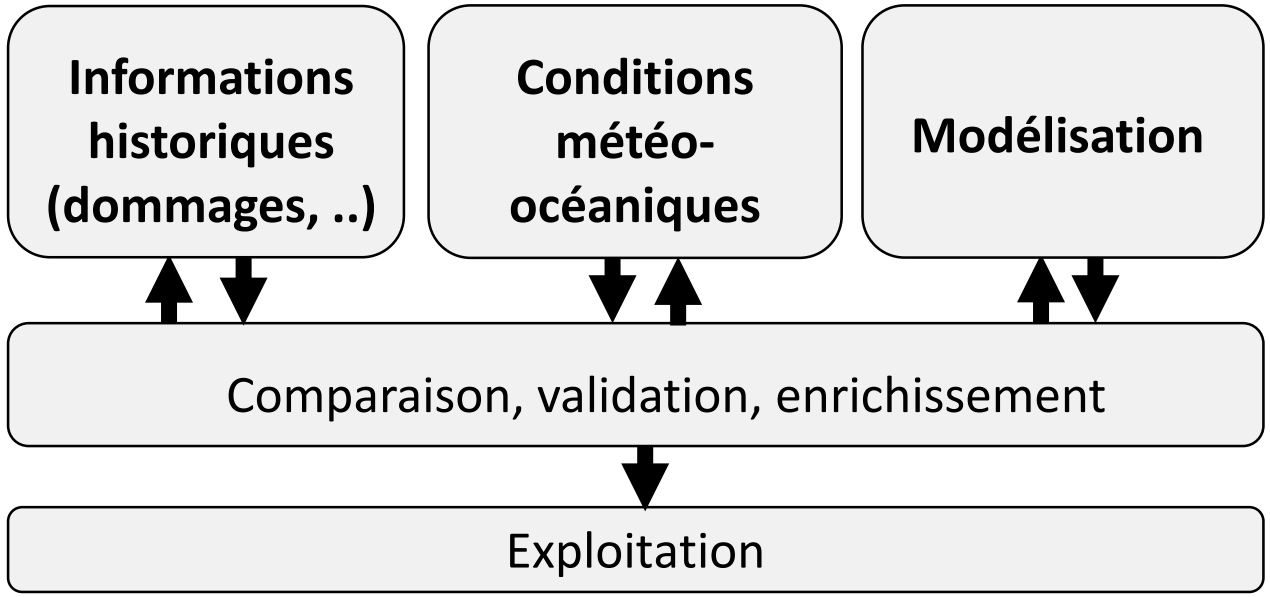
➡ **14 indicateurs**

Session « Méthode et démonstrateur Riscope-D », 1er février

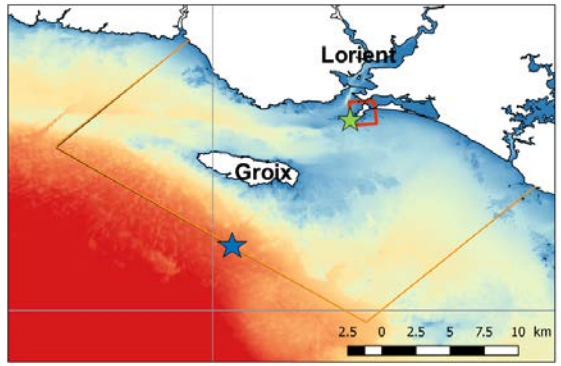
Etapes clés : évènements historiques de submersion

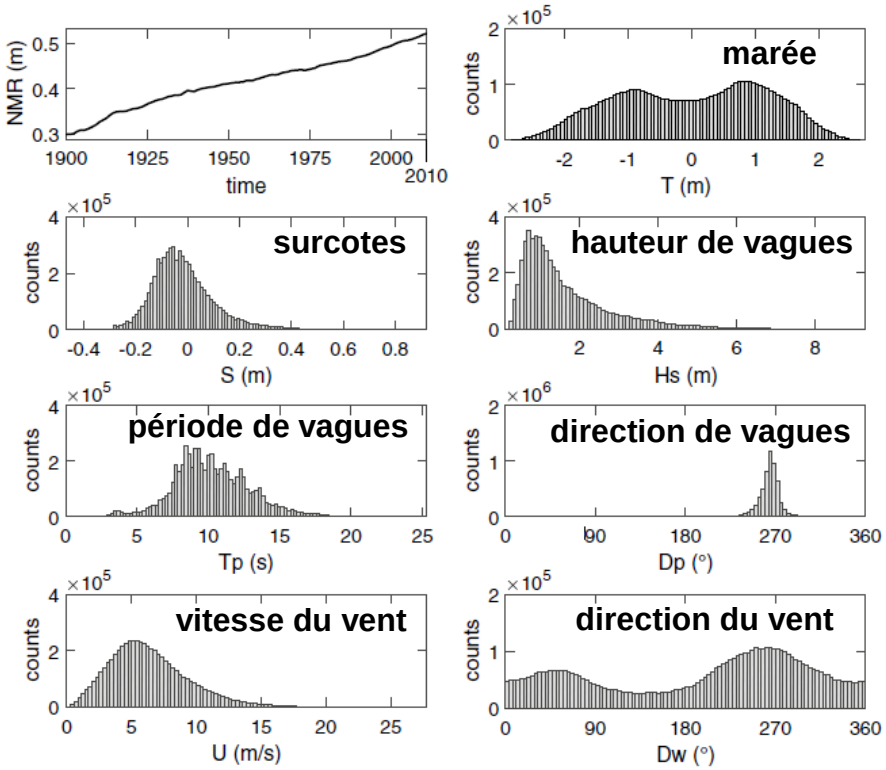
Analyse du site et identification des besoins

- Période couverte : 1900-2010
- Méthode



★ Marée (T), surcote (S), (t)
★ Vagues (Hs, Tp, Dp), (t)
□ Vent (U,Dw), (t)
\+ Niveau moyen (NMR), (t)





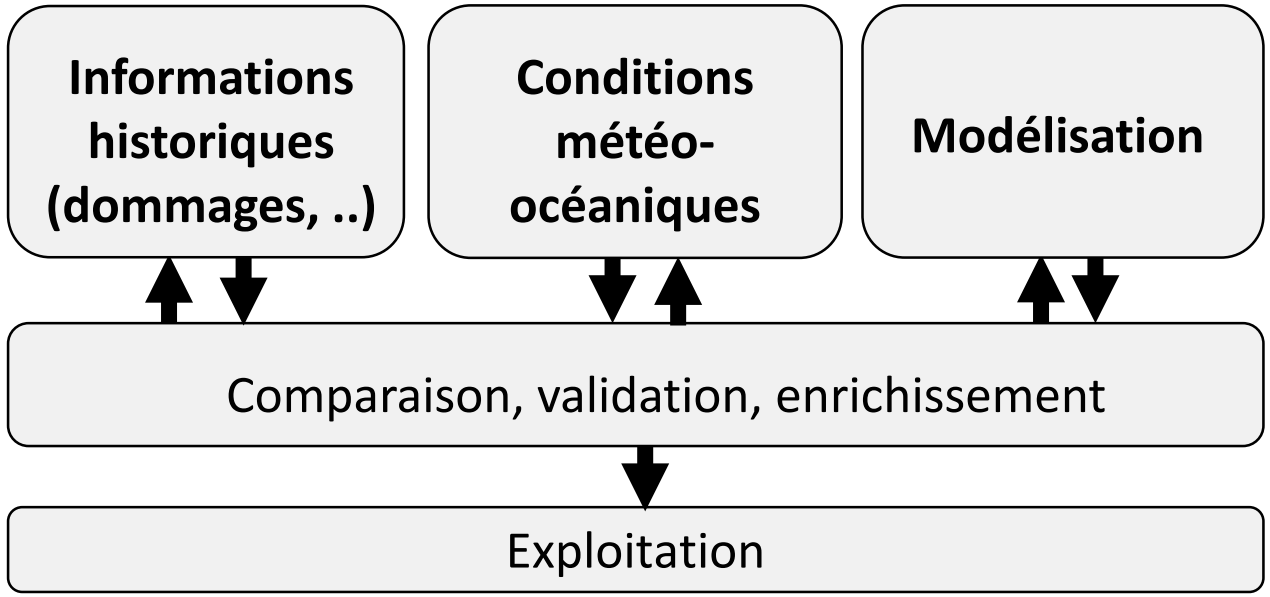
Source: Idier et al. (2020b)

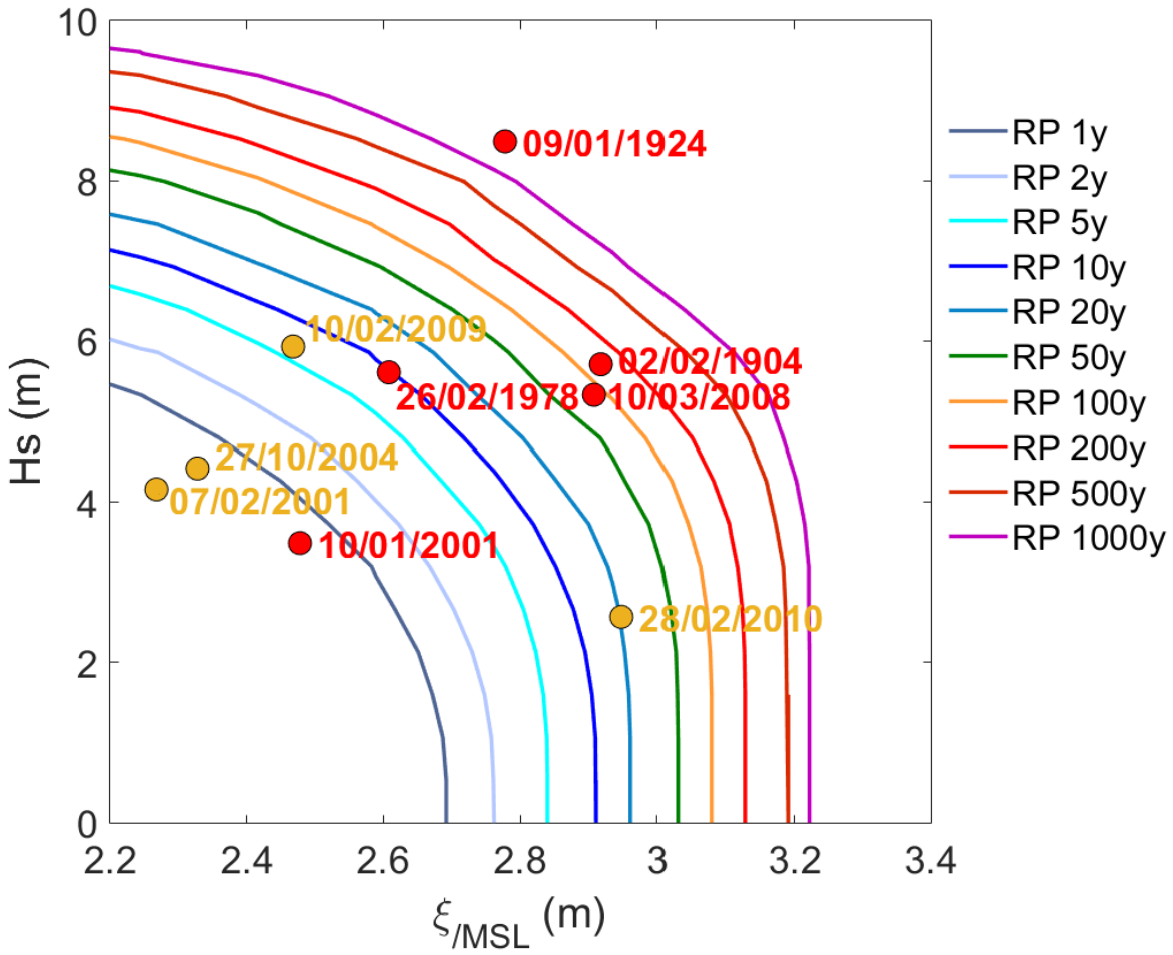
Etapes clés : évènements historiques de submersion

Analyse du site et identification des besoins

- Période couverte : 1900-2010

- Méthode



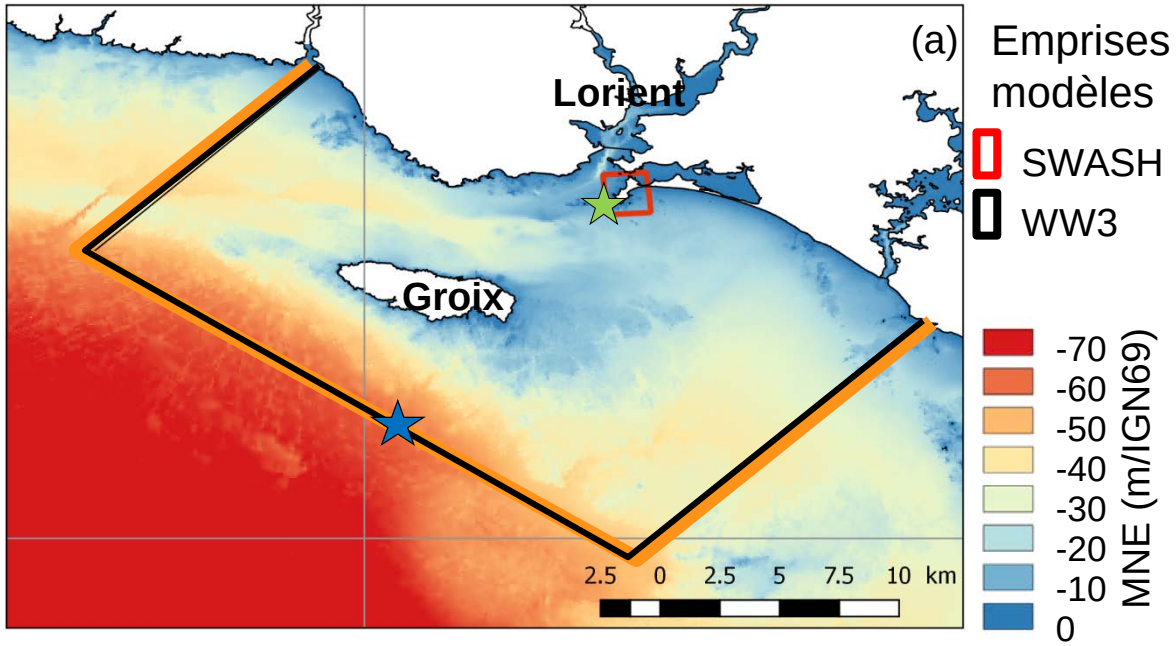


Session « Modélisation numérique de la submersion et bases de données », 1er février

Source: Idier et al. (2020b)

Etapes clés : modèle numérique & forçages X(t)

Modélisation numérique

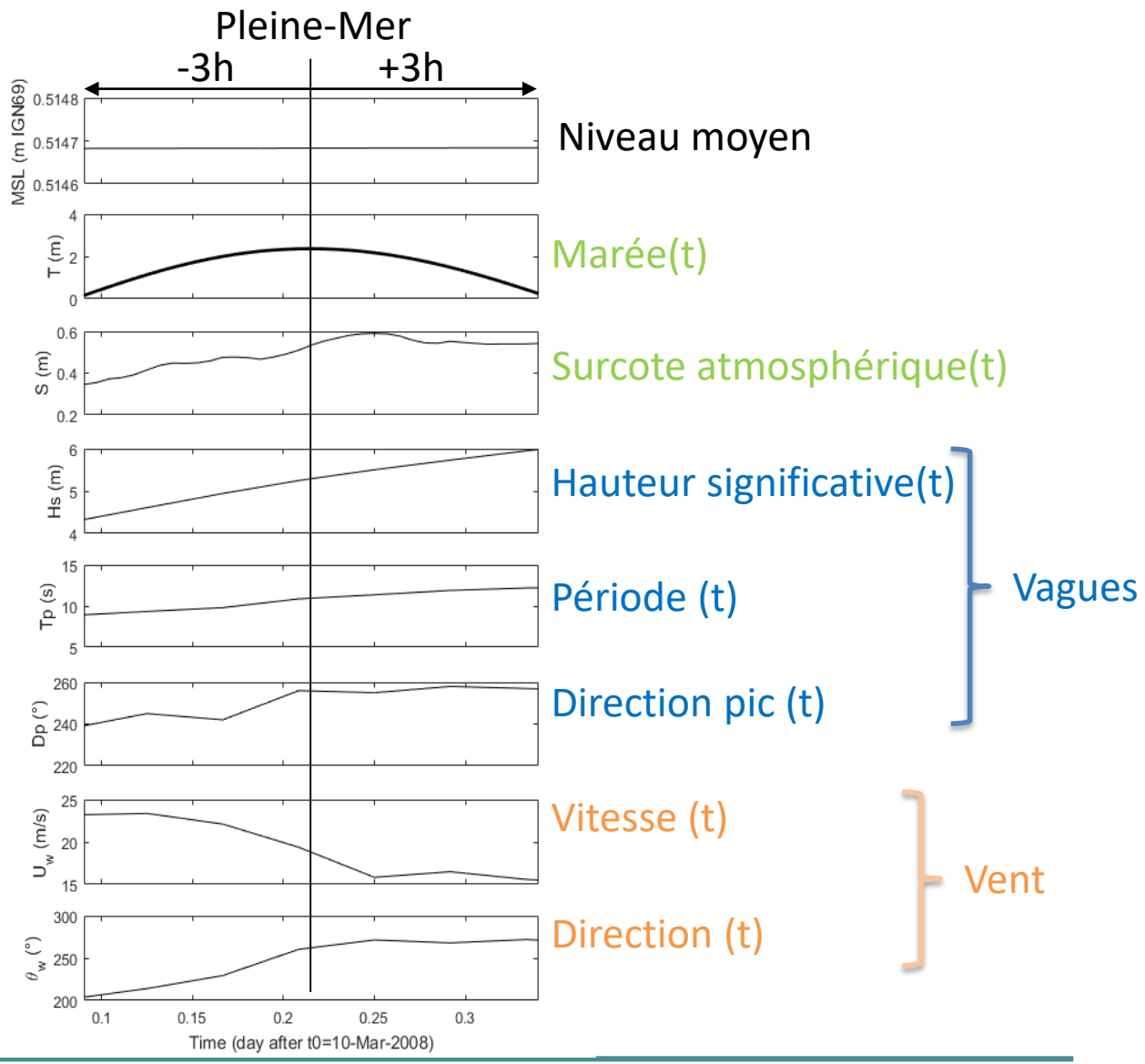


Marée (T), surcote (S)

Vagues (Hs, Tp, Dp)

Vent (U,DU)

\+ Niveau moyen (NMR)

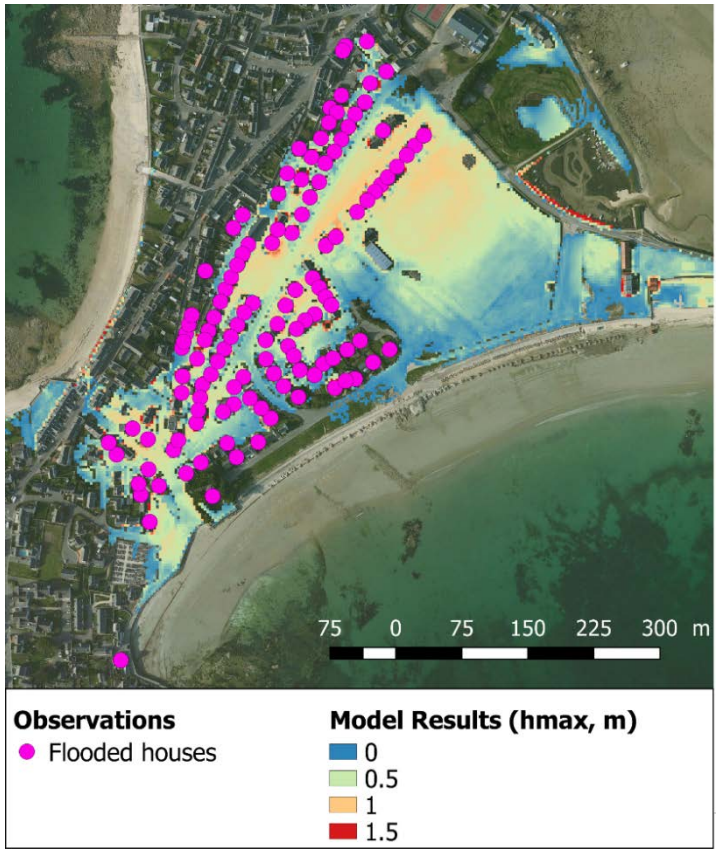


Etapes clés : modèle numérique et validation

Modélisation numérique

- Plusieurs types de validation, avec MNE2008
- Exemple : évènement Johanna (10/03/2008)

Hauteurs maximales d'eau à terre simulées et maisons inondées (d'après les données de la mairie)



Source: Idier et al. (2020b)

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

Etapes clés : modèle numérique et BDD d'apprentissage

Modélisation numérique

- Depuis 2008, des modifications topographiques (plage et ouvrages) → mise à jour du MNE (représentatif de la topo-bathy de 2015 et des ouvrages de 2018)

- Création de 2 jeux de données pour l'apprentissage des méta-modèles via 2 types de simulations
  - Sur 6h, centré sur la pleine-mer, avec conditions océano-météo (X) instationnaires (n=174)
  - Sur 15 minutes avec conditions océano-météo (X) constantes (n=144).

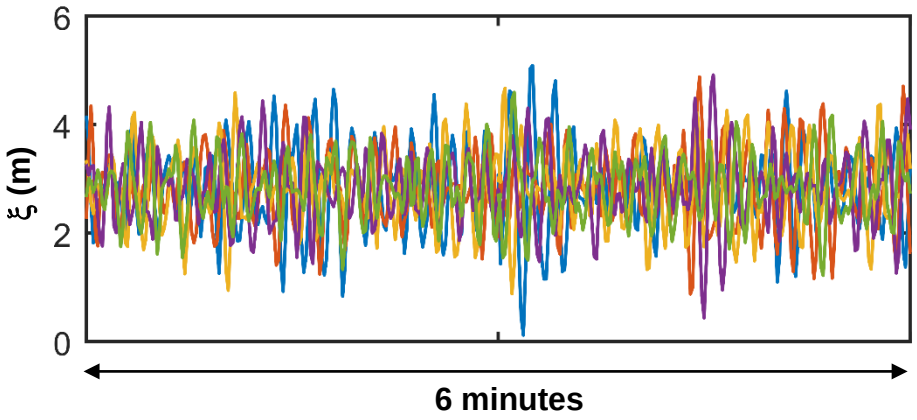
Modélisation numérique de l'évènement du 10 mars 2008 (tempête Johanna) MAIS sur la topo-bathymétrie de 2015 (configuration hiver) et les ouvrages de 2018

Etapes clés : modèle numérique et BDD d'apprentissage

Modélisation numérique

- Depuis 2008, des modifications topographiques (plage et ouvrages) → mise à jour du MNE (représentatif de la topo-bathy de 2015 et des ouvrages de 2018)

- Création de 2 jeux de données pour l'apprentissage des méta-modèles via 2 types de simulations
  - Sur 6h, centré sur la pleine-mer, avec conditions océano-météo (X) instationnaires (n=174)
  - Sur 15 minutes avec conditions océano-météo (X) constantes (n=144), répété 20 fois pour prendre en compte le caractère stochastique des vagues.

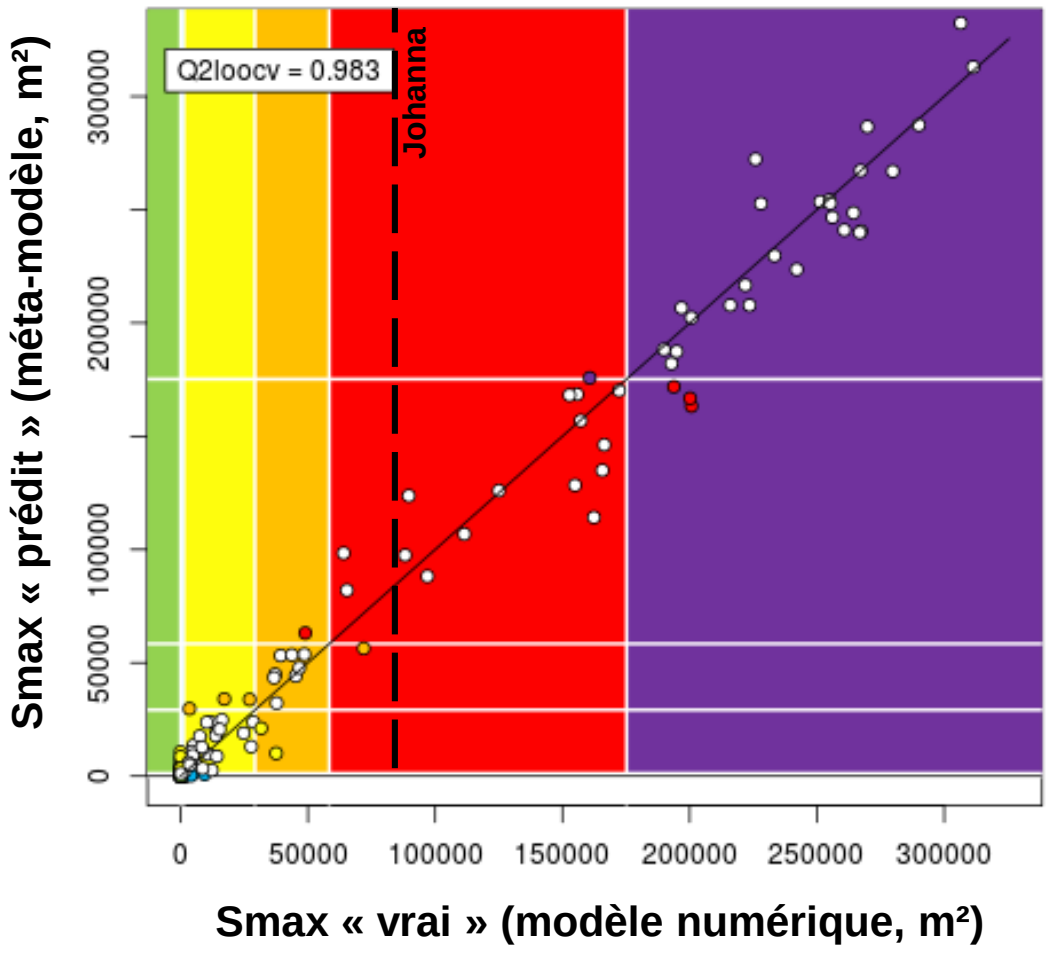


Session « Modélisation numérique de la submersion et bases de données », 1er février

Etapes clés : méta-modèles

Méta-Modélisation

- Parmi les méta-modèles mis en place : exemple de qualité de prédiction du méta-modèle « Superficie inondée » (pour évènements de 6h, X instationnaire centré sur la PM)



Validation croisée

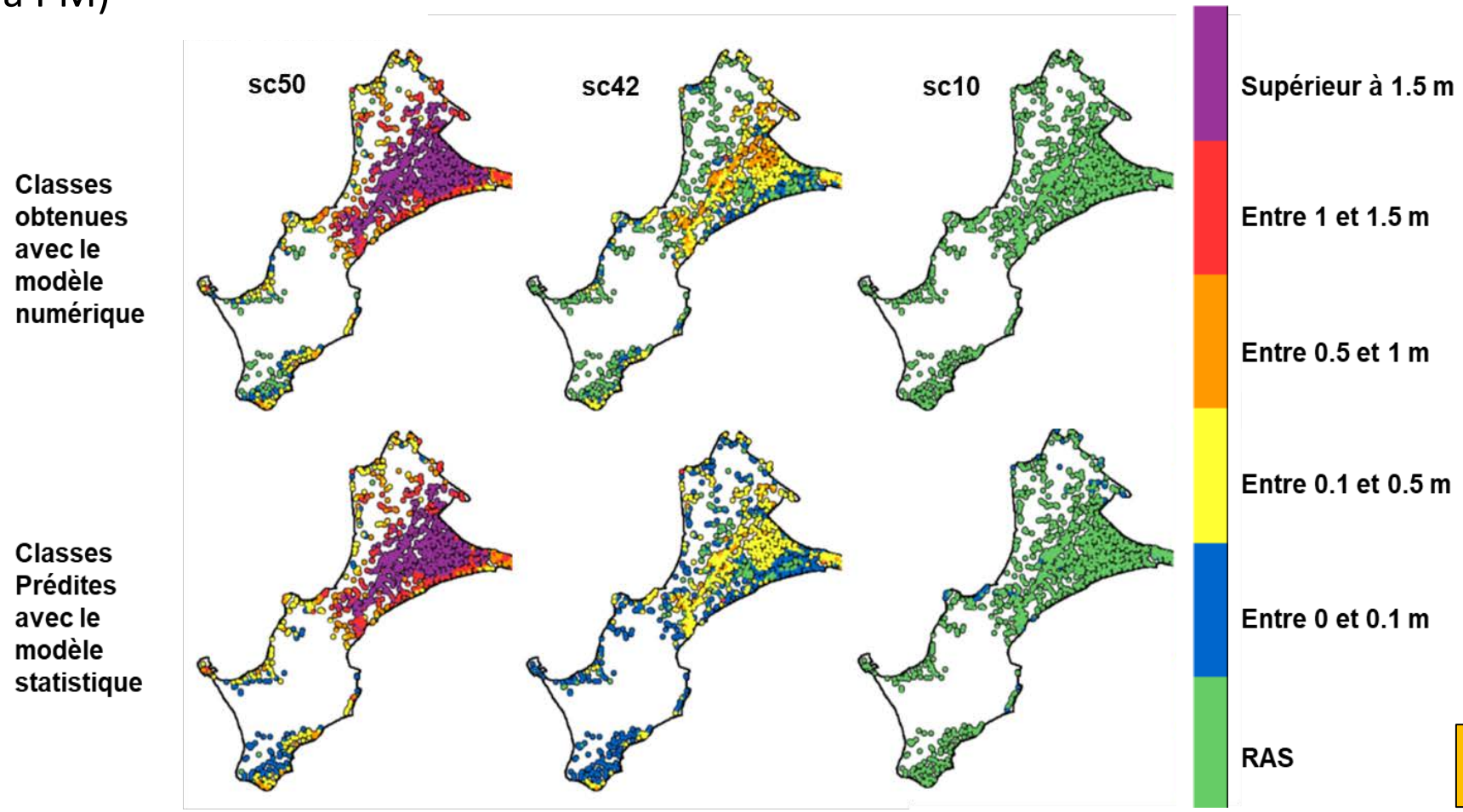
→ **indicateur intensité**

Source: Idier et al. (2021)

Etapes clés : méta-modèles

Méta-Modélisation

- Parmi les méta-modèles mis en place : exemple de qualité de prédiction du méta-modèle « carte » de hauteurs d'eau maximales à terre (pour évènements de 6h, X instationnaire centré sur la PM)



Validation croisée

Session « Modélisation rapide de la submersion », 2 février

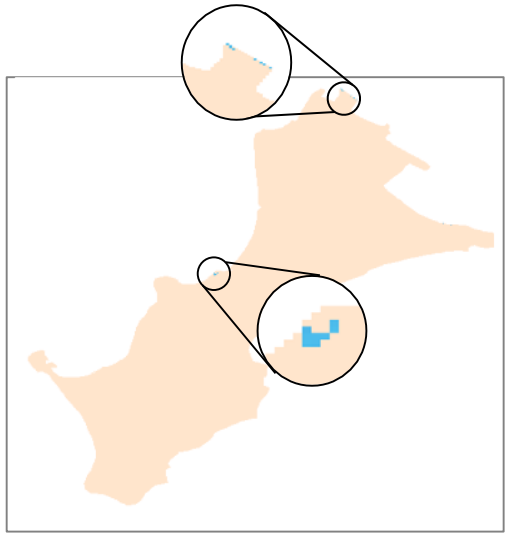
Source: Idier et al. (2021)

Etapes clés : méta-modèles → indicateurs

Démonstrateur « prévision-alerte »

Exploitation & Evaluation des performances

- Tous les méta-modèles n'ont pas les mêmes capacités de prédiction, en particulier pour les évènements sans inondation ou à la limite de l'inondation
  - → Mise en place de règles pour le calcul et affichage des indicateurs sur le démonstrateur à partir des prévisions fournies par les méta-modèles
  - → Validation des indicateurs prédits en terme de
    - Prédiction des classes simulées avec le modèle numérique sur des scénarios non inclus dans les bases de données d'apprentissage
    - Détection des évènements de submersion majeurs sur 1900-2010, et minimisation des fausses alertes
    - Prédiction des classes « observées » sur 2019-2021 (aucun évènement de submersion, pas de fausse alerte)



Session « Utilisation des méta-modèles pour la prédiction des submersion à Gâvres », 2 février

Démonstrateur prévision-alerte : information calculée

Démonstrateur « prévision-alerte »

- Prévision pour les 6 marées à venir
- Données X prédites (marée, surcotes, vagues, vent) issues de : MARC, DATASHOM
- Information (i.e. indicateurs) calculée pour chaque « marée »

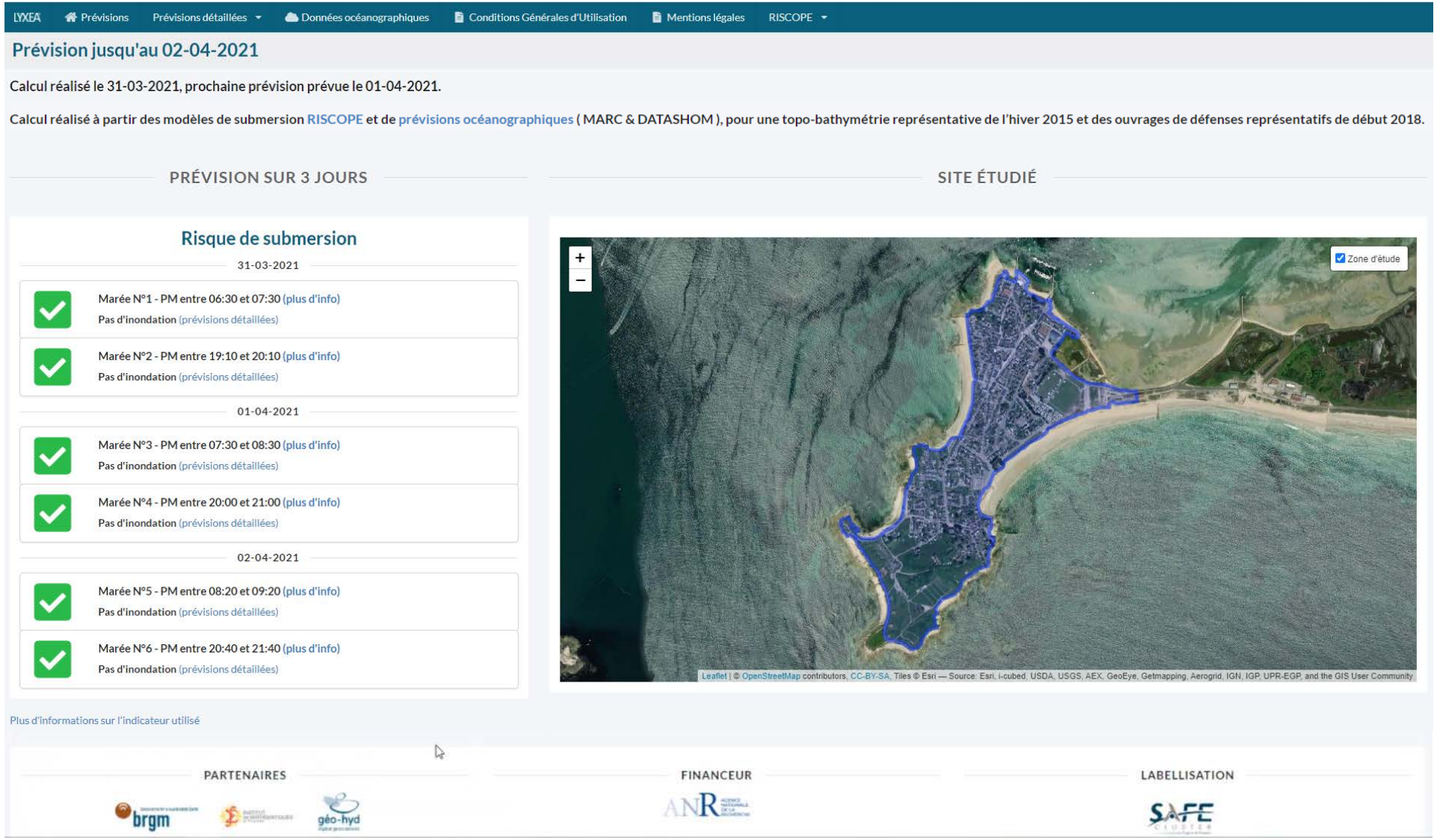
Johanna

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 entrant à terre	RAS	Inférieur à 60m³/h	Entre 60 et 120 m³/h	Entre 120 et 480 m³/h	Entre 480 et 1200 m³/h	Supérieur à 1200 m³/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

Session « Méthode et démonstrateur RISCOPE-D », 1er février

Le démonstrateur RISCOPE-D

Démonstrateur
« prévision-alerte »



Mis à disposition du comité utilisateur en décembre 2020

Session « Méthode et démonstrateur RISCOPE-D », 1er février

Une autre exploitation : probabilités de submersion

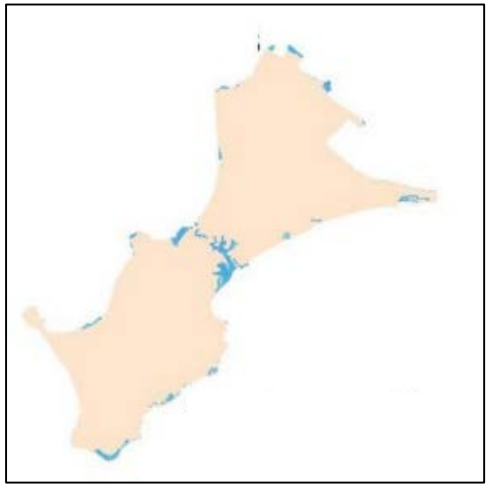
Exploitation & Evaluation des performances

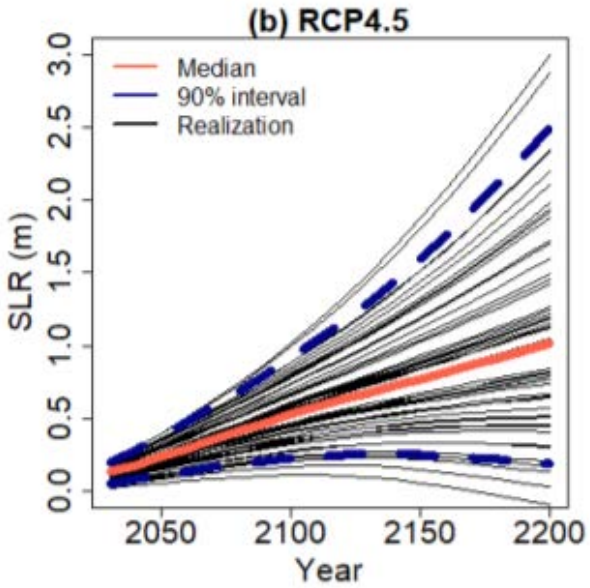
Sous l'effet de la remontée du niveau marin

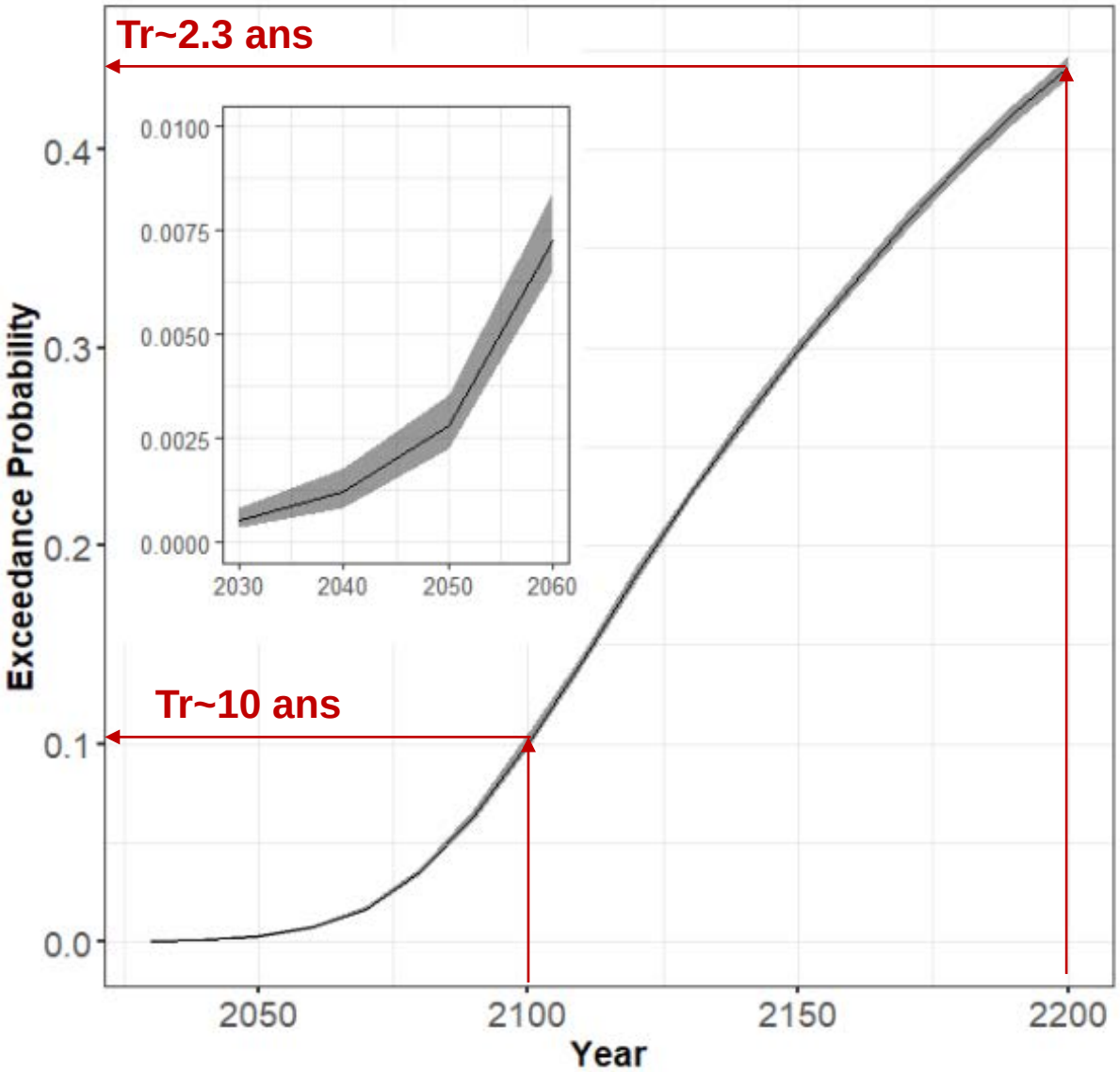
Projections futures probabilistes de la submersion

Ex: pour des évènements modérés

(Vol > Yc=2000m3 en 15 minutes) et RCP4.5





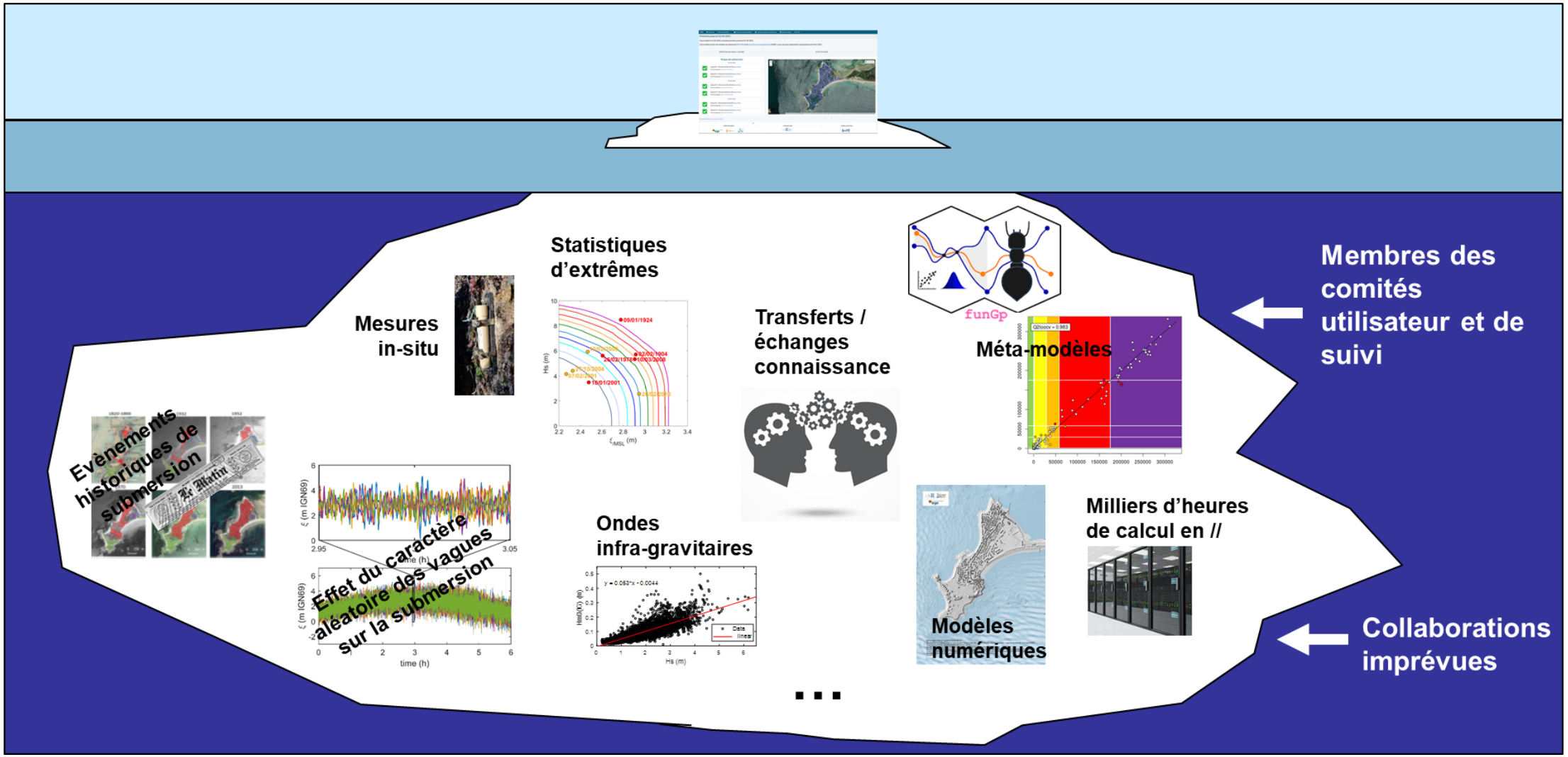


Session « Utilisation des méta-modèles pour la prédiction des submersion à Gâvres », 2 février

Source: Rohmer et al. (nhessd)

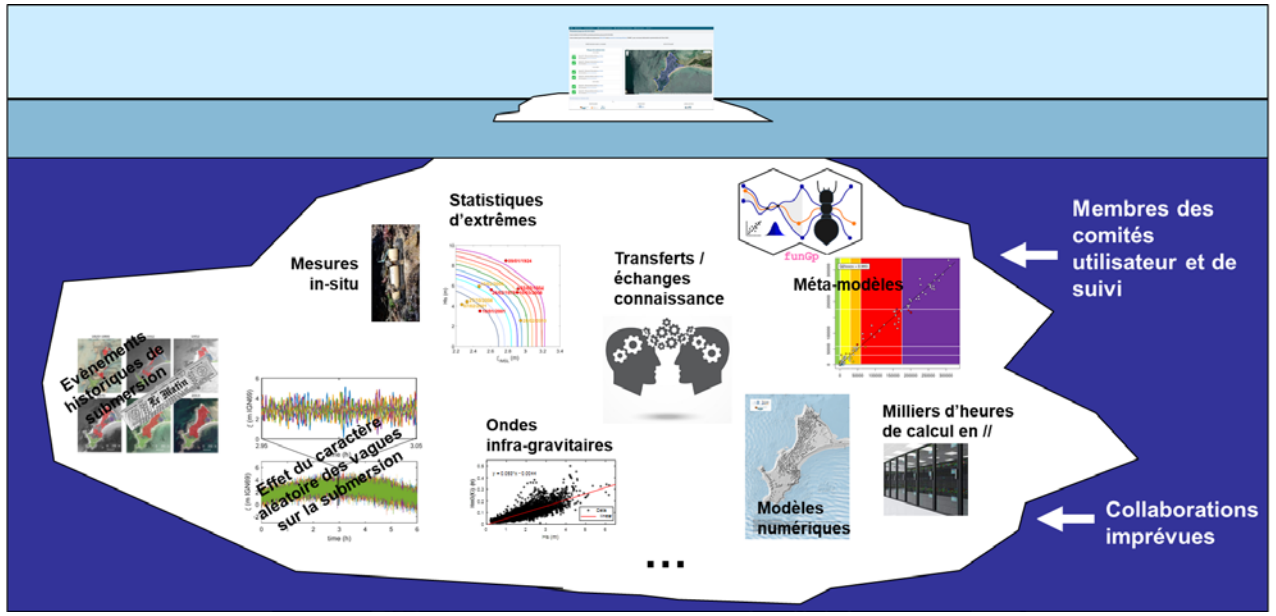
Conclusions & perspectives : « productions » RISCOPE

- Le démonstrateur RISCOPE-D … « partie immergée de l'iceberg »



Conclusions & perspectives : « productions » RISCOPE

- Le démonstrateur RISCOPE-D
- Données et bases de données
  - Évènements historiques submersion 1900-2010
  - Conditions « océano-météo » 1900-2016
  - Jeux (centaines) de simulation post-traités « X-Y »
  - Mesures in-situ (topo, hydro)
- Des packages (R, python; github, CRAN)
  - funGP (Gaussian Process Regression for Scalar and Functional Inputs with funGp)
  - spatfGPs (Multi-output Gaussian processes with functional data)
- Des modèles et métamodèles mis en place pour le site de Gâvres
- Communication
  - 13 articles, 7 présentations en conférence
  - 1 manuscrit de thèse



Conclusions & perspectives : messages clés

- Une approche centrée sur les besoins
- 1 méta-modèle pour chaque besoin
- Une visualisation simple, avec des classes plutôt que des valeurs
- Des prédictions en accord avec les observations
- On peut faire de la prévision-alerte submersion locale
- Ce n’est qu’une démonstration :
  - Pas de maintien pérenne assuré du démonstrateur après la fin du projet
  - Des pistes d’amélioration identifiées : qualité de prédiction (amélioration des méta-modèles, mise à jour du MNE, prévision d’ensemble), ...
  - Approche à tester sur d’autres sites

Session « Perspectives », 2 février

Pour en savoir plus

- Site web RISCOPE : https://perso.math.univ-toulouse.fr/riscope/

Articles

Bachoc et al. (2020) **Asymptotic properties of the maximum likelihood and cross validation estimators for transformed Gaussian processes**. *Electronic Journal of Statistics.*

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*.

de Michele et al. (2021) **Shallow bathymetry from Sentinel 2, by joint estimation of waves celerity-wavelengths.** *Remote Sens.*

Dodet et al. (2019) **The Contribution of Wind-Generated Waves to Coastal Sea-Level Changes**. *Surveys In Geophysics*.

Idier et al. (2020a) **Toward a user-based, robust and fast running method for coastal flooding forecast, early warning, and risk prevention**. *Journal of Coastal Research, SI*.

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

Idier et al. (2020b) **Coastal flood: a composite method for past events characterisation providing insights in past, present and future hazards—joining historical, statistical and modelling approaches**. *Nat Hazards*.

Idier et al. (2020c) **The effect of the stochastic character of waves on coastal flood and its variations with sea-level rise**. *JMSE.*

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

Pedreros et al. (2020) **Infragravity waves in a complex macro-tidal environment: High frequency hydrodynamic measurements and modelling**. *Journal of Coastal Research, SI*.

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*.

Rohmer et al. (in review) **Partitioning the uncertainty contributions of dependent offshore forcing conditions in the probabilistic assessment of future coastal flooding at a macrotidal site**, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.*

Thèse

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

Packages

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

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

Merci pour votre attention