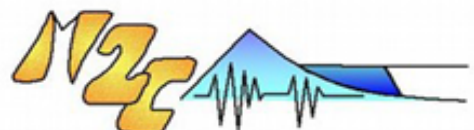


Un couplage d'approches multi-capteurs et de modélisation numérique pour l'étude des risques d'inondation et de submersion du littoral Normand : de la côte vers l'estuaire de Seine.

Laboratoire M2C, UMR CNRS 6143

E. Imen TURKI;
Maître de Conférences HDR
Rouen Normandie Université

Disciplines: Océanographie Côtière/Dynamique du Littoral/Changement Climatique



Les Inondations et les Submersions Marines: PROGRAMMES DE RECHERCHE EN COURS

1. Projet CIES: These Romain Gilbert (M2C, BRGM);
2. Projet DYNSEEC: Thèse Carlos Lopez Solano (M2C, AESN, IRSN);
3. Projet SWOT 3MC (PI: B. LAIGNEL, I. TURKI)



Contexte



Zône côtière Normande

Milieux **complexes** (hydro., morpho., sed., bio.), anthropisés, en contexte de **changement climatique**

Rencontre des **forçages** :

- Continentaux
- Marins

Nombreux **enjeux** :

- Démographiques
- Economiques
- Ecologiques

Soumise à de **multiples aléas** :

- Erosion des côtes
- Tempêtes
- Crues
- Pollutions
- Élévation du niveau marin

Contexte



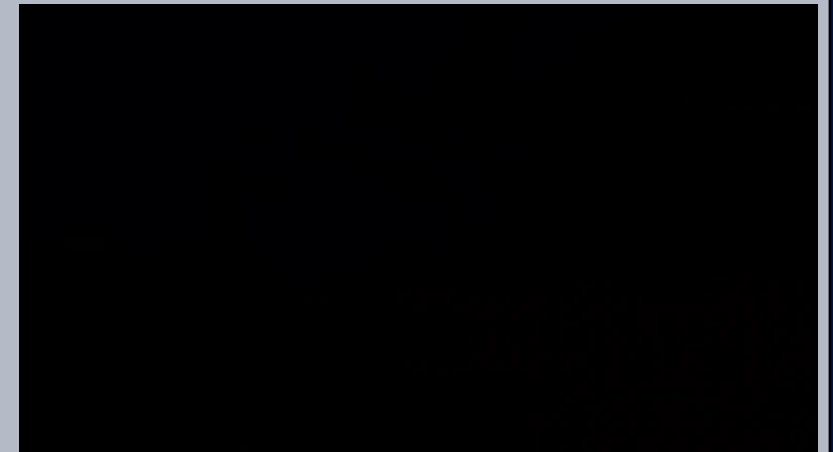
**Submersion marine à
Etretat durant la
tempête Eleanor, le 2
janvier 2018**

*Crédit : Marie-Agnès
Godin*



**Vagues de
franchissement à
Etretat le 13
décembre 2019**

*Crédit : Département
de Seine-Maritime &
ROL (2019)*



APPROCHES

MULTI-CAPTEURS

Altimétrie Satellitaire

Imagerie Vidéo/Drone

NUMERIQUE

MODELISATION

PROBABILISTES

Machine/Deep
Learning



APPLICATIONS:
Etude d'inondations et
de submersions
marines



APPROCHES MULTI-CAPTEURS

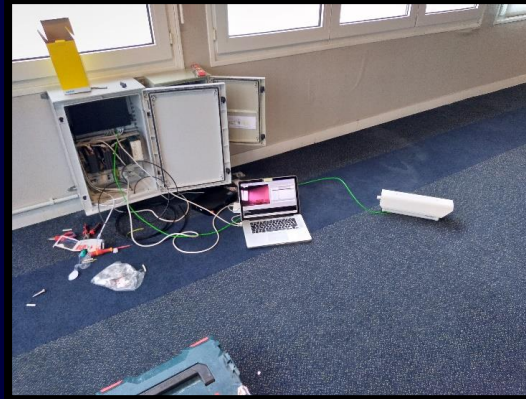
Drone et photogrammétrie



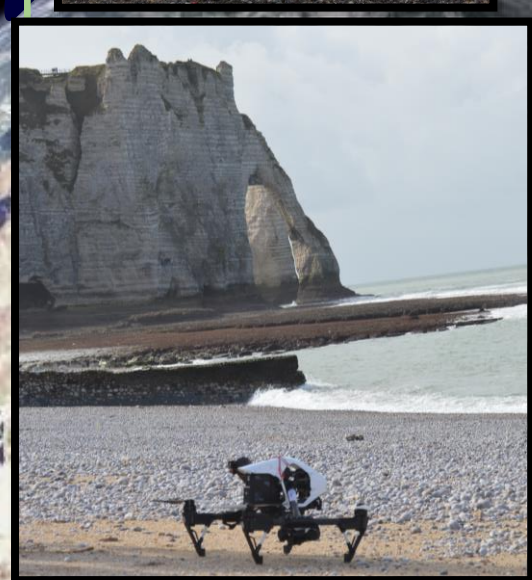
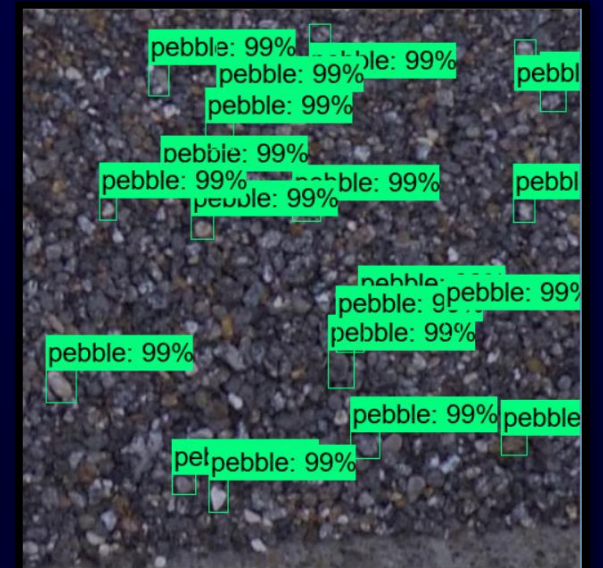
Géodésie

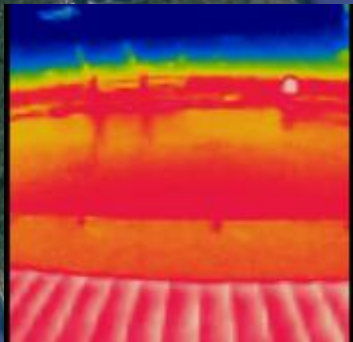


Installation des caméras



Dev. Algo. D'apprentissage Deep Learning





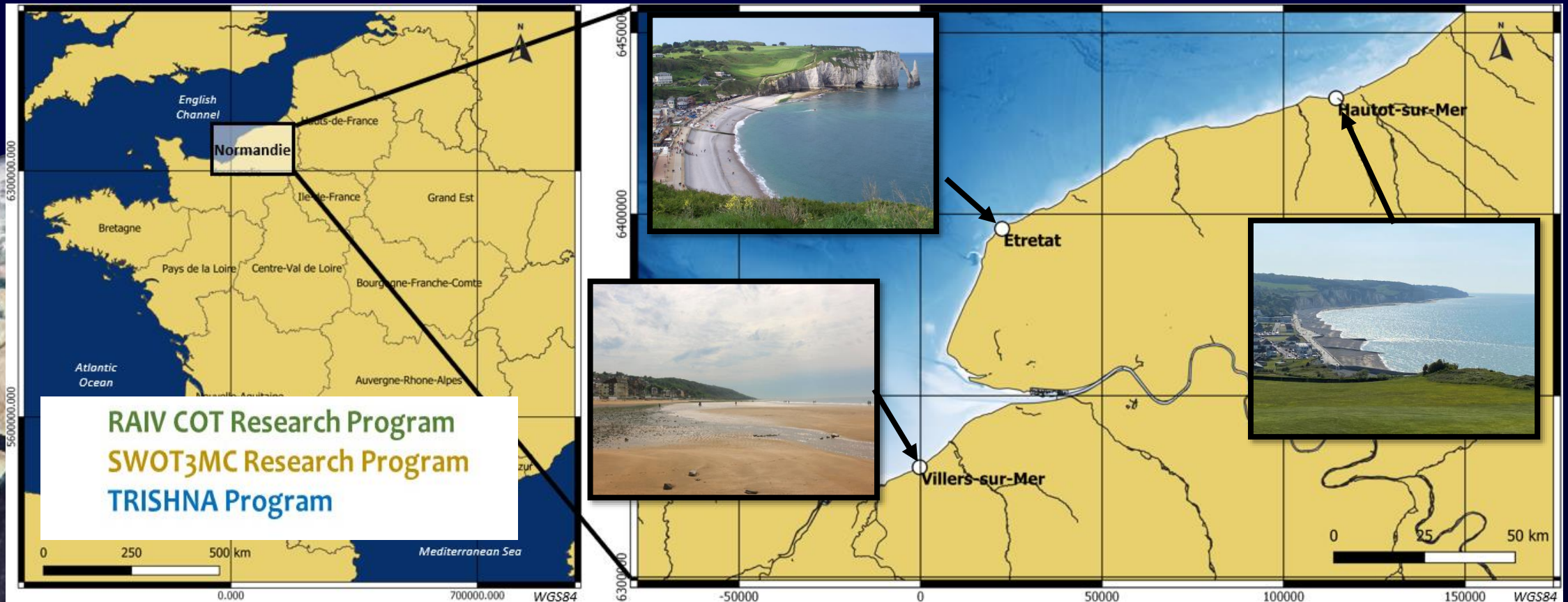
STATIONS COTIERES DE CAMERAS VIDEO

Installation dans 6 sites Normands:

- 2 Stations à Villers-sur-Mer
- 1 Station à Hautot-sur-Mer
- 1 Station à Etretat
- 2 Stations à l'estuaire de Seine

Organismes/Institutions Impliquées:

- Syndicat Mixte.
- Mairies de Hautot-sur-Mer, Villers-sur-Mer, Etretat.
- AESN, Ports Autonomes de Rouen/Le Havre, Maison de l'Estuaire.
- Université de Caen (S. COSTA, O. Maquaire).



STATION COTIERE A ETRETAT



Resolution:
~ 5 cm

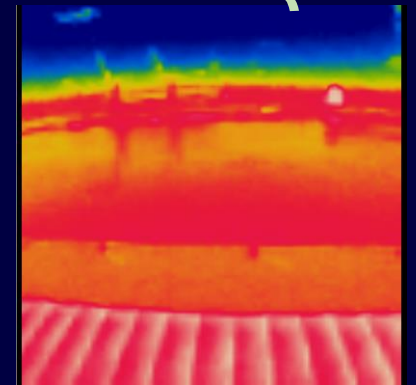


STATIONS ESTUARIENNES DE CAMERAS VIDEO



Station 1: Risle

THERMIQUE



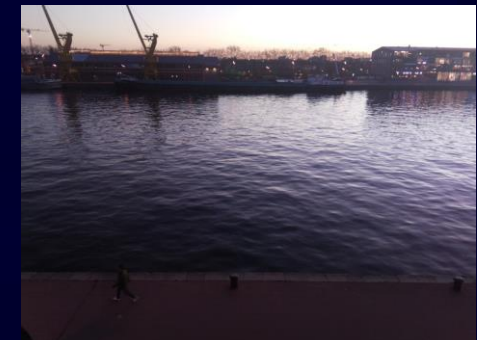
+

Proche Infra-rouge



+

VISIBLE RGB



Station 2: Rouen

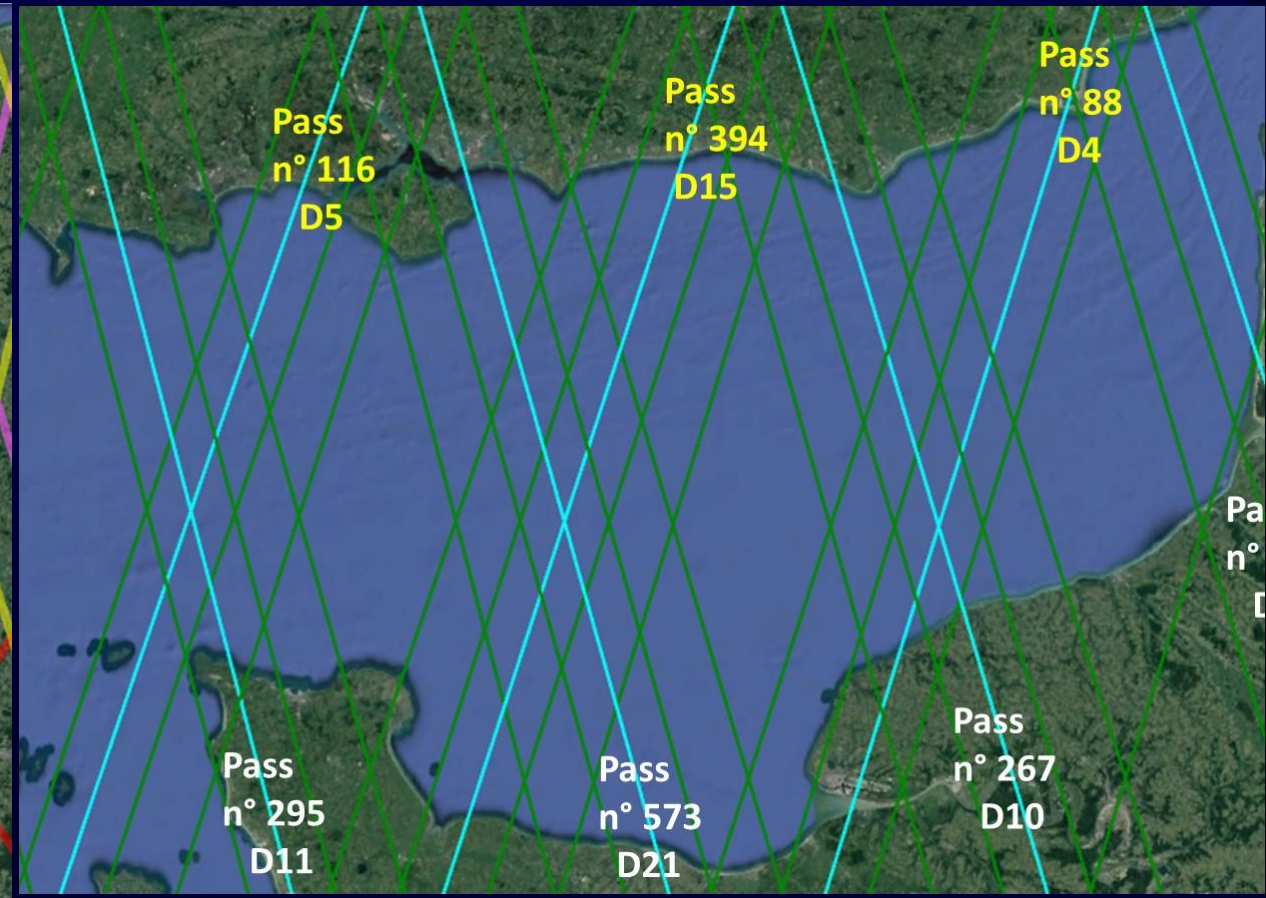
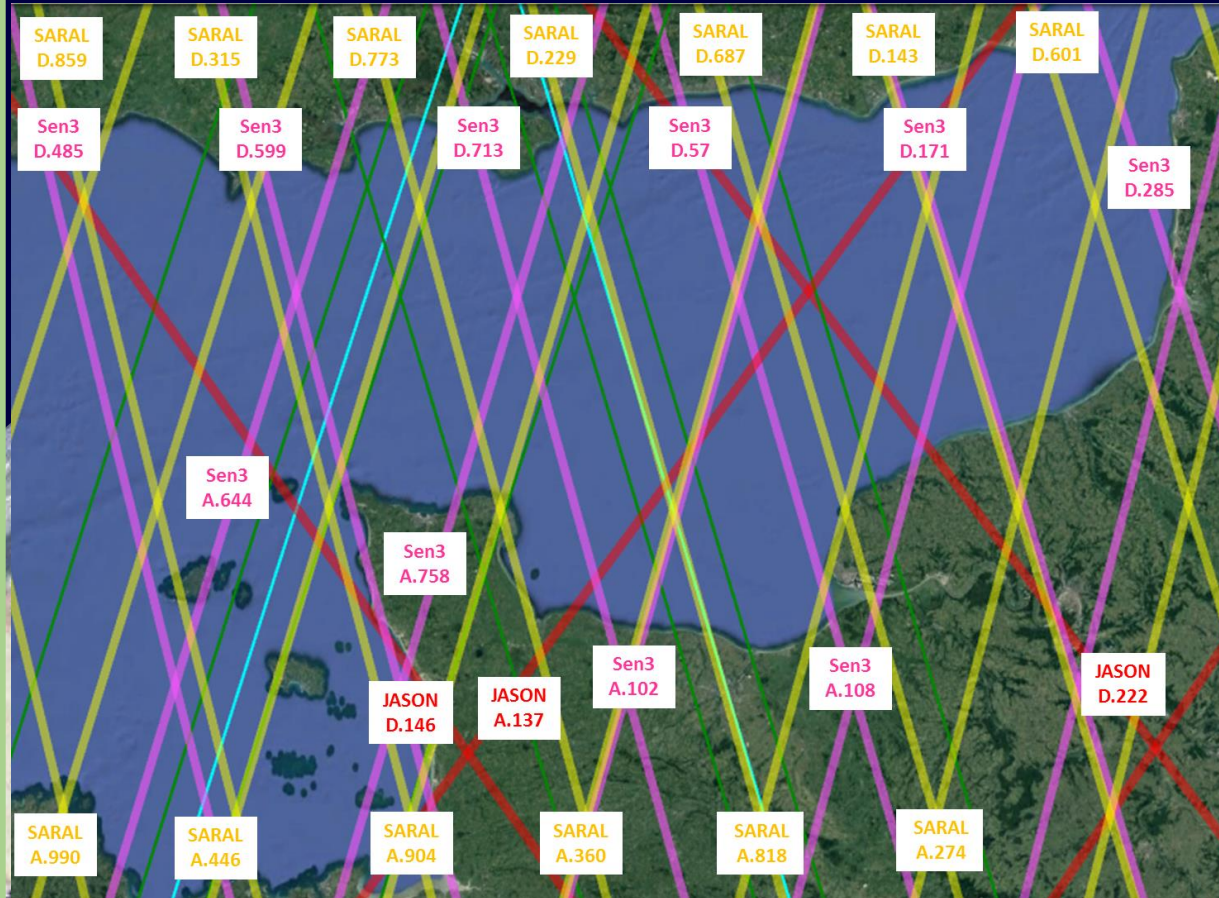
APPROCHES MULTI-CAPTEURS: Altimétrie Satellites

Dynamique des Evènements Extrêmes



SARAL, Sentinel 3, Jason 2 Tracks

SWOT Tracks



Extraits d'activités de la Thèse DYNSEEC

Dynamiques des Extrêmes de Manche vers les Côtes Normandes et les risques de Submersions Marines

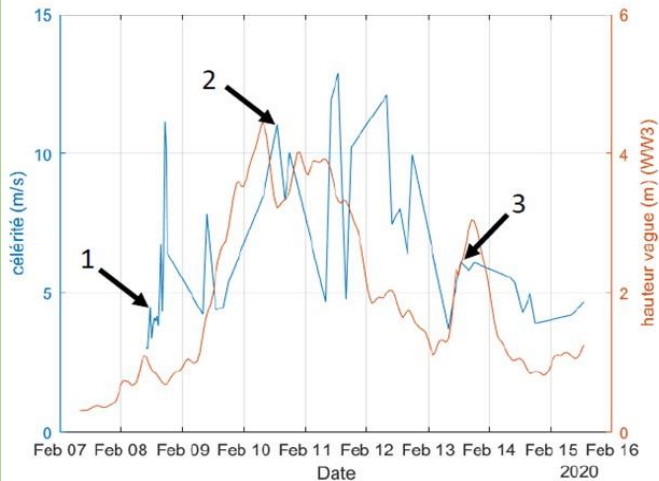


Franchissement à Etretat lors de la tempête Ciara

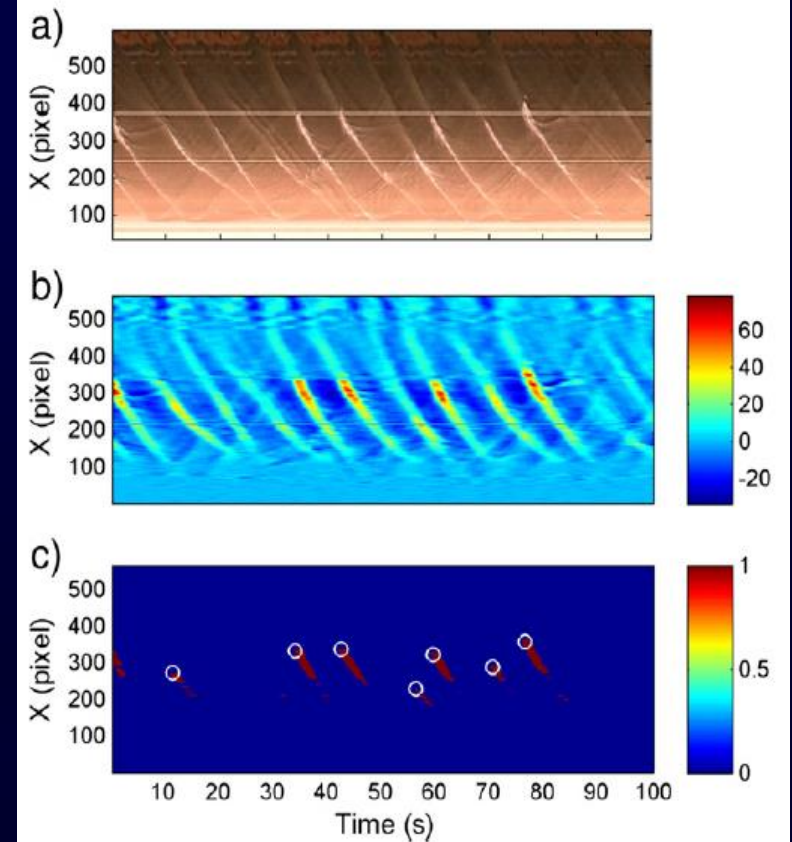
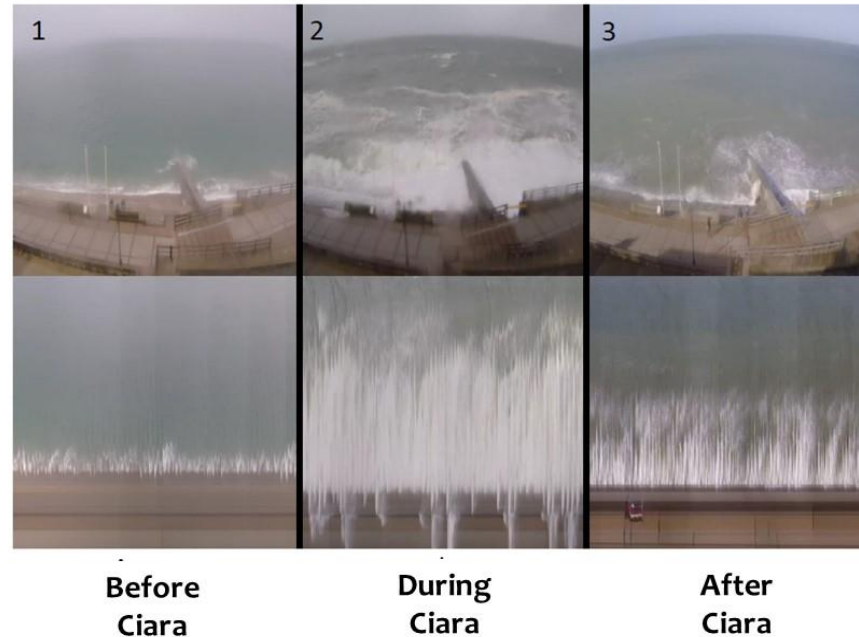
Caractéristiques de la Houle Déferlante à la côte

Identification des zones de déferlement et de dissipation d'énergie

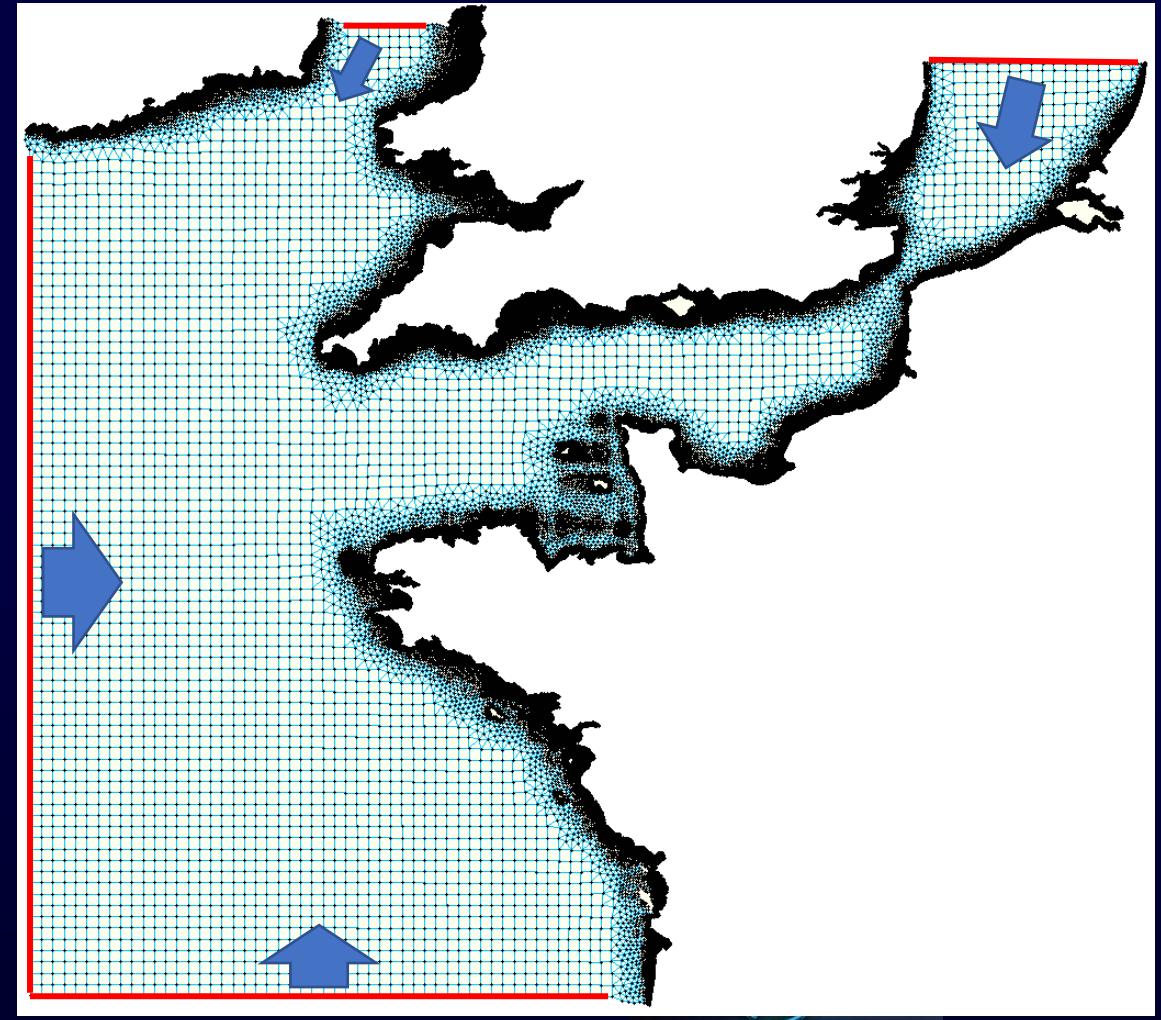
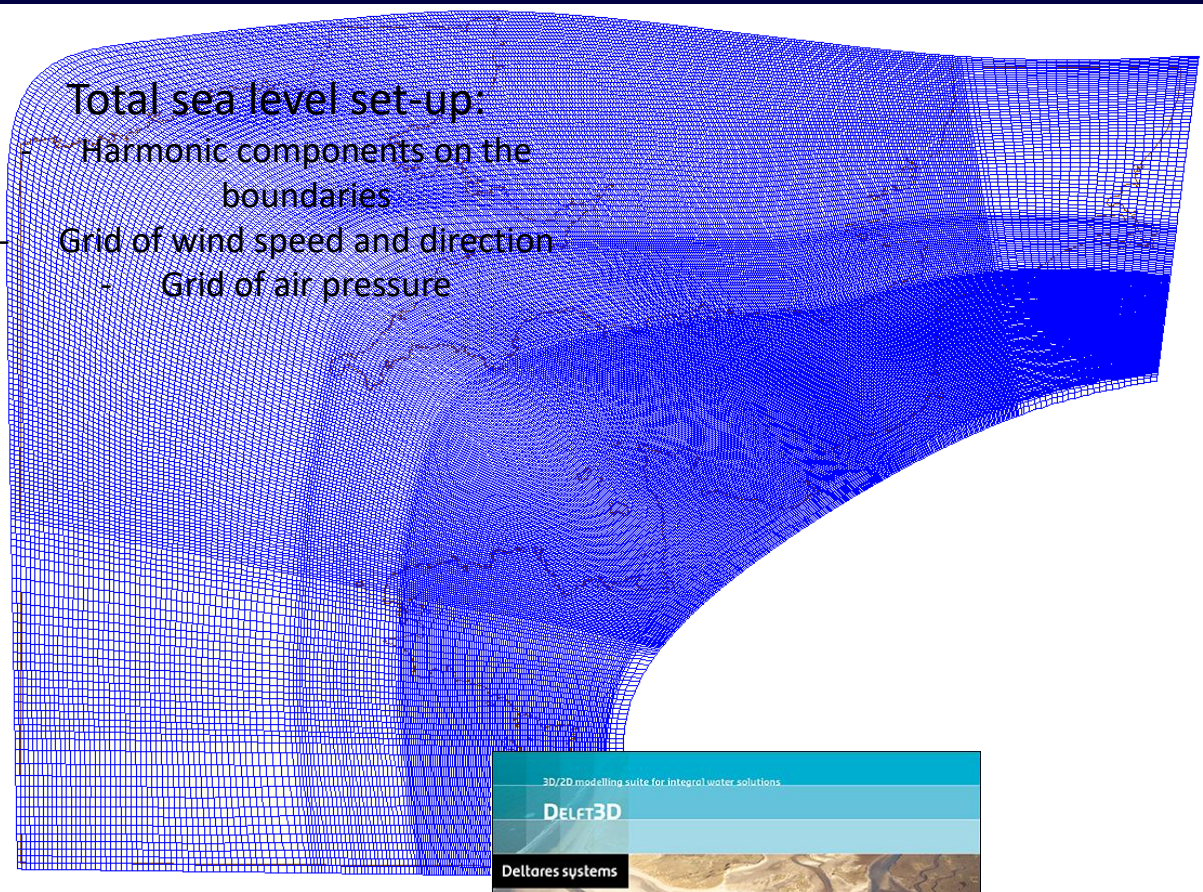
WAVE CELERITY (CIARA STORM)



Timestack extracted from video imagery systems, Etretat

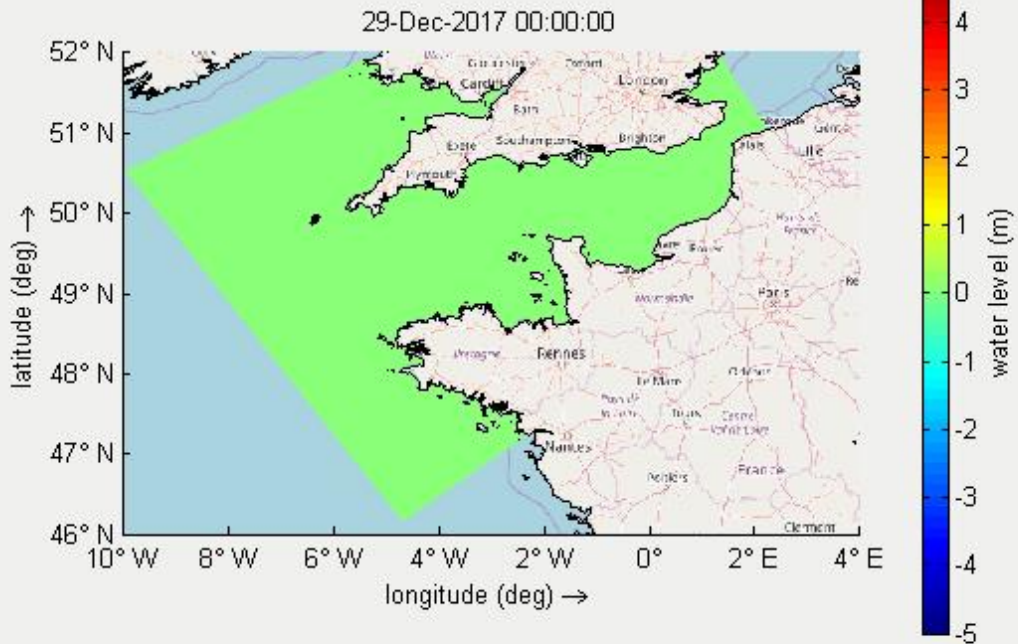


D-Flow Flexible Mesh

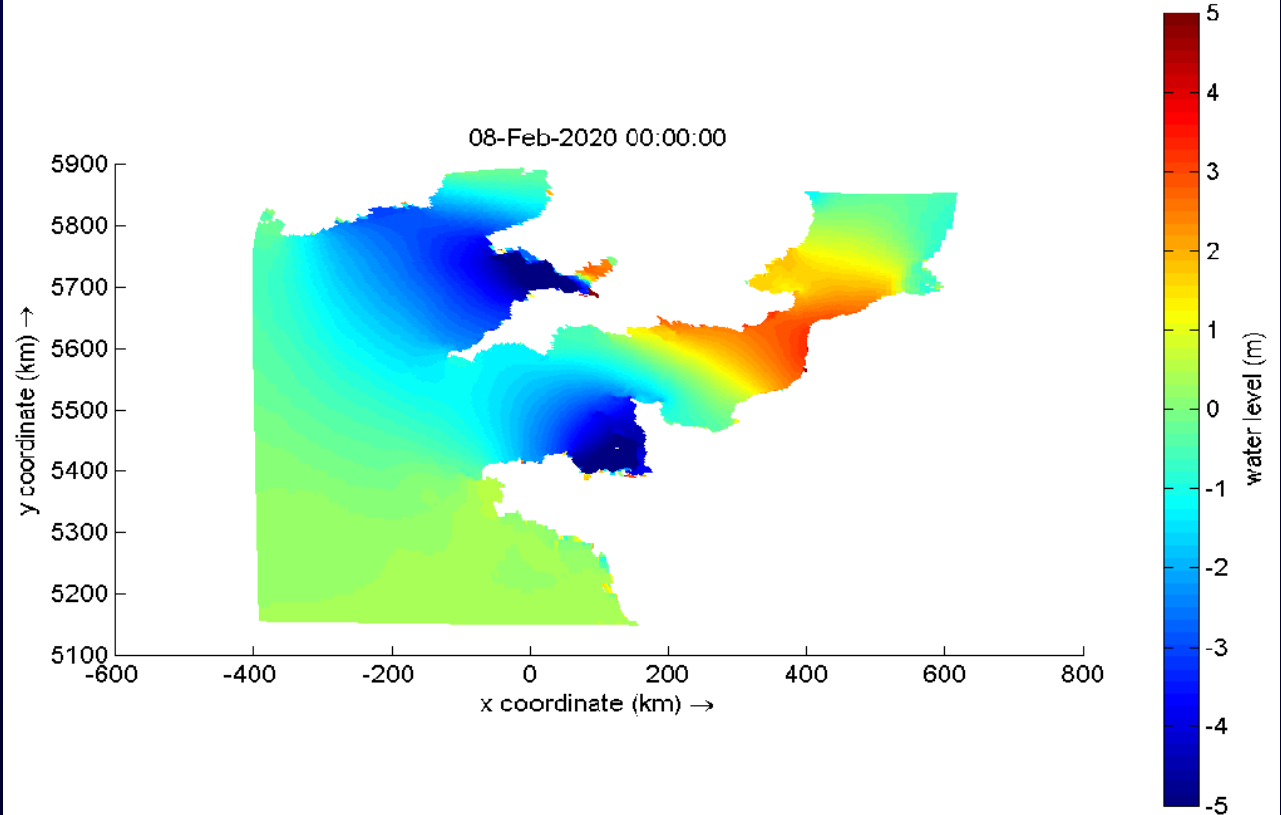


Dynamique des Evènements Extrêmes

Calibration avec la Tempête Eleanor: Janvier 2018



Tempête Ciara: Fevrier 2020



Extraits de d'activités du projet de thèse CIES

Evènements Extrêmes Concomitants dans l'Estuaire de Seine et les risques d'inondations



Evolution de la Topographie et de la Végétation à la Risle

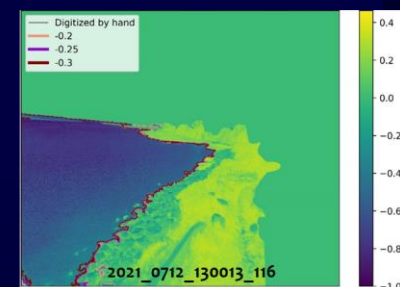
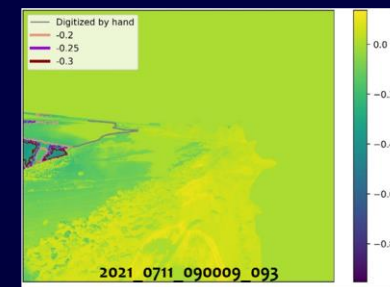
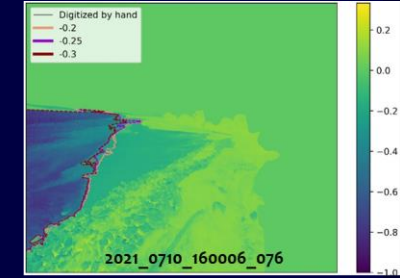
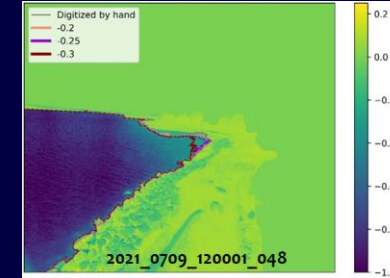
Vidéo Images NIR



Valeurs NDVI



Seuils NDVI pour Classification



Reconstructions des
DEM topographiques

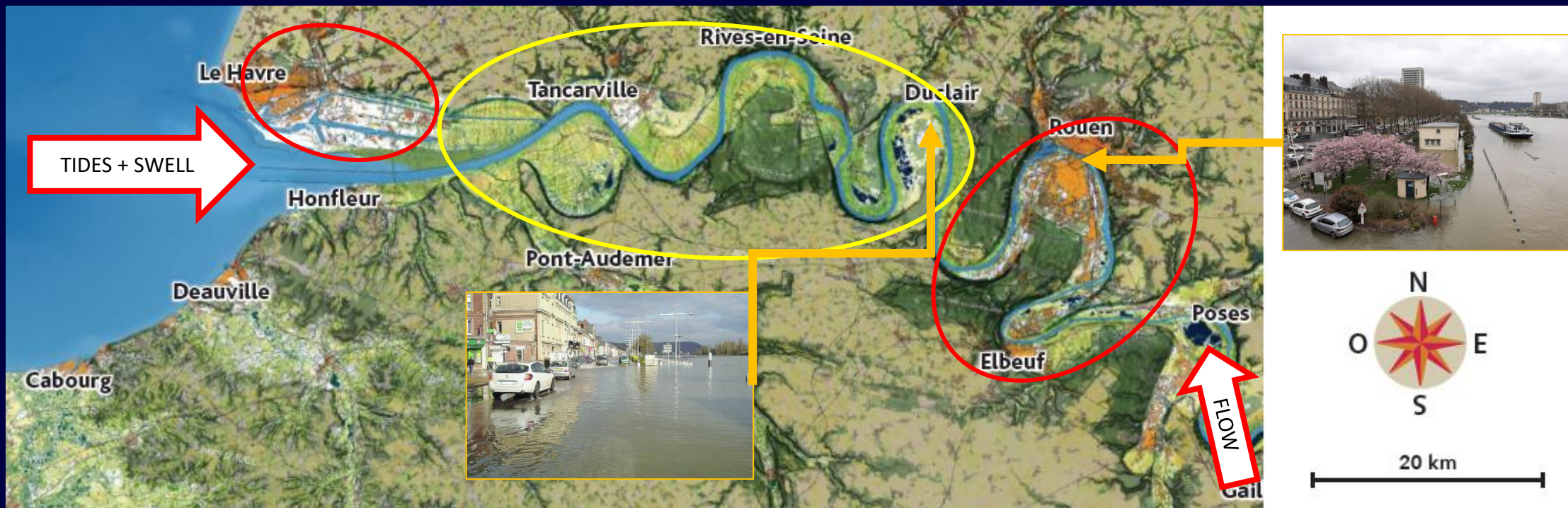


Quantification de
l'extension du Couvert
Végétal

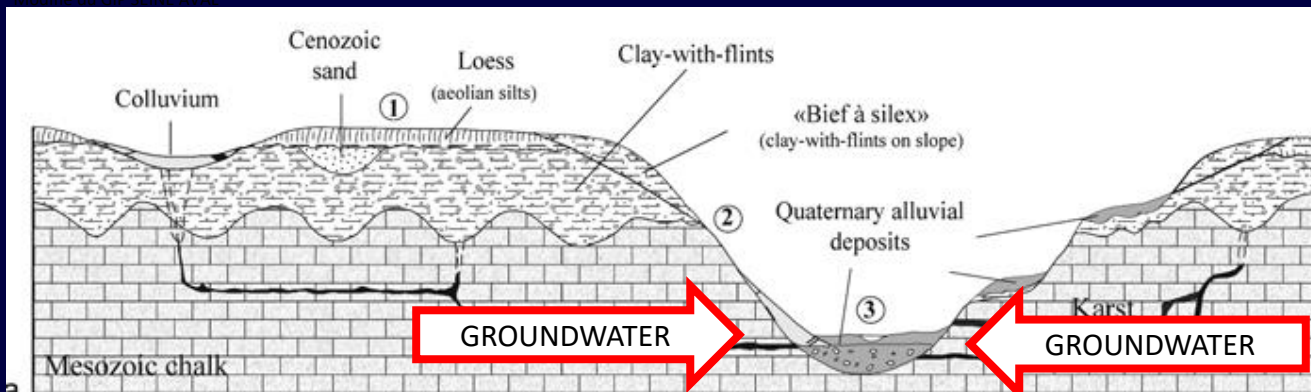


Evolution des niveaux d'eau en réponse aux événements concomitants: Projet CIES

Direction: M2C – BRGM ; Implications: GIPSA, CEREMA



Modifié du GIP SEINE AVAL



Sea + River + Groundwater influences

→ Non-linear interaction of water bodies and processes

Floods can threaten the balance of the Seine axis

→ Groundwater flooding, river flooding, storm surges, tides and sea level rise

Evolution des niveaux d'eau en réponse aux des évènements concomitants: Projet CIES

Direction: M2C – BRGM ; Implications: GIPSA, CEREMA

A. Classification des scénarios d'inondations historiques simples et composées de l'amont vers l'aval de l'estuaire en fonction de l'interaction des forcages:

1. rivière-surcotes; nappe-rivière; nappe-rivière-surcotes.
2. rivière-houle; houle-surcote; houle-rivière-surcote.

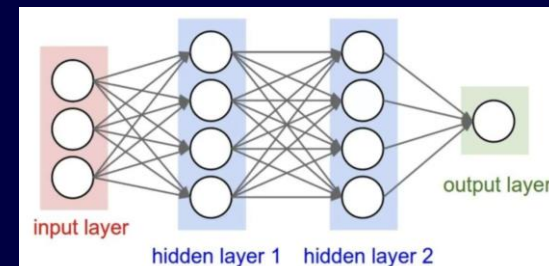
B. Détermination et prédiction des scénarios d'inondations composées (SIC) et leur périodes de retour (évolution des *Re* dans le contexte du changement Climatique)

C. Modélisation Numérique des SIC historiques.

1. Dynamique superficielle (rivière-marée-surcote) avec TELEMAC2D
2. Interaction Superficielle-hydrogéologie (rivière-nappe) avec MARTHE

D. Simulation des SIC prédits.

1. Couplage (indirect) MARTHE- TELEMAC2D
2. Développement des approches de Deep Learning



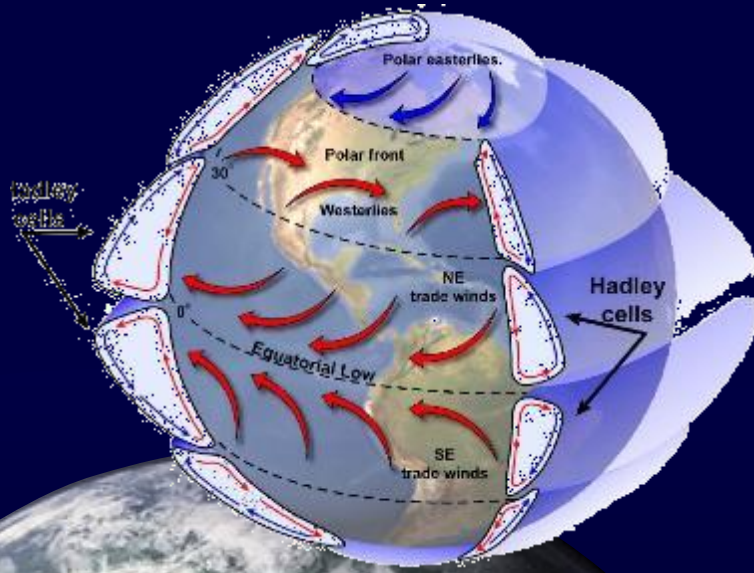
Modélisation
Stochastique

Modélisation
Numérique

Modélisation
Deep Learning

Interaction des Echelles

Echelle Globale



Echelle Régionale



Echelle Locale



L'interaction des Echelles et les Effets des Oscillations Climatiques sont considérées pour :

1. La caractérisation et la détermination des événements extrêmes.
1. La simulation du comportement non-stationnaire des extrêmes et des risques induits.

Exemple de modélisation des Scenarios d'inondations composées

ALEAS COMPOSES

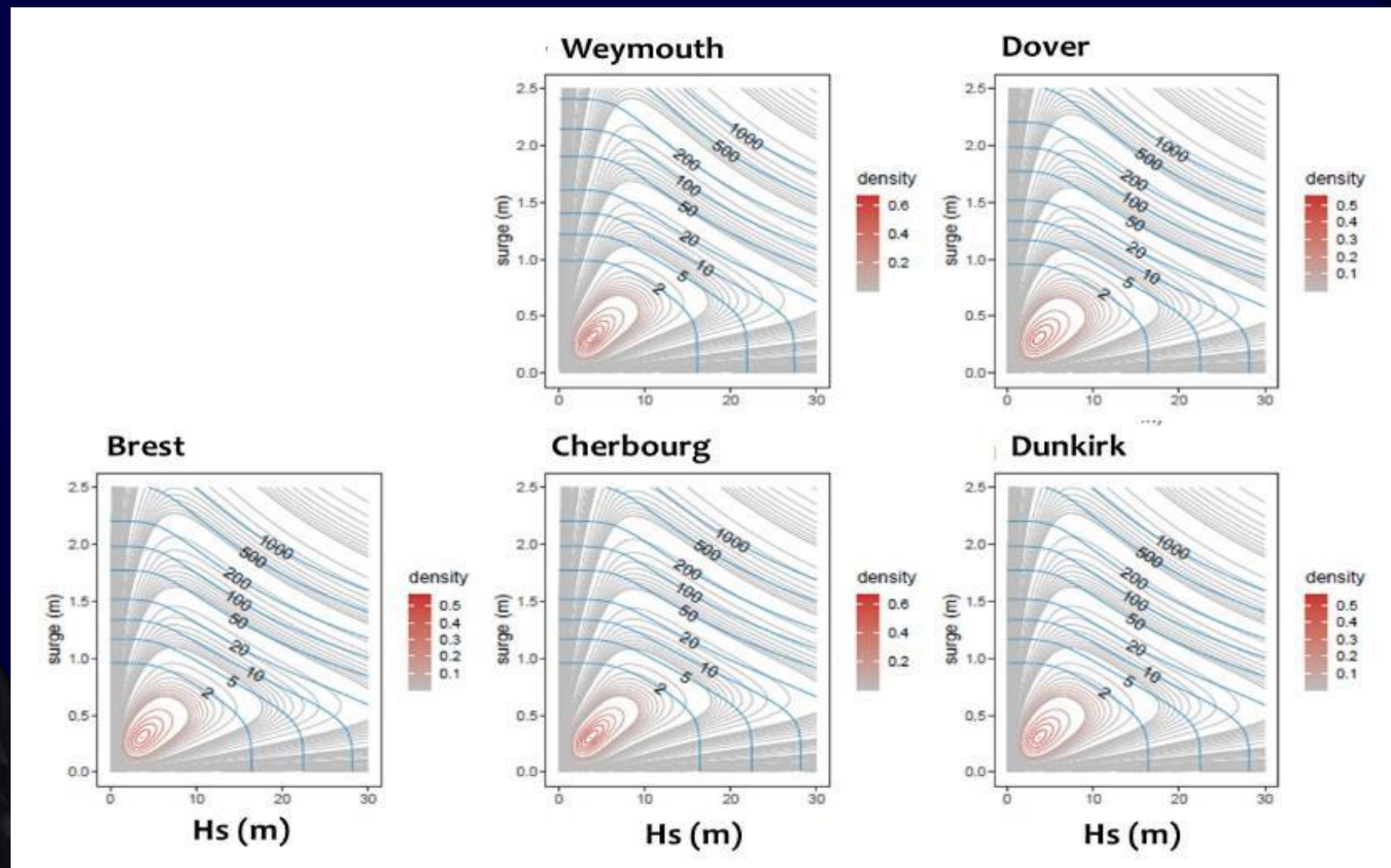
Chapon, Turki et al., EVAN 2022

Interaction des Forcages
Météorologiques:

Surote – Houle Extreme



**GENERATION DE
SCENARIOS COMPOSES
DE RISQUES**



Densité bivariee de Hs et des surcotes extremes mensuelles pour différentes périodes de retour en Manche.

Perspectives et priorités du laboratoire à moyen terme

Vers une meilleure exploitation de l'information climatique, hydrologique, hydrogéologique pour la simulation des niveaux d'eau moyens et extrêmes

→ Le problème:

une grande complexité pour la prise en compte de toutes les interactions entre les masses d'eau à l'interface BV/aquifère/estuaire.

→ *L'apprentissage automatique en renfort de la modélisation à base physique:*

→ un moyen alternatif efficace pour tirer parti de l'information disponible sans avoir recours au raccordement de différents modèles avec une mauvaise gestion des mécanismes aux interfaces

→ L'objectif:

→ produire des simulations, prédictions et projections/scénarios des niveaux moyens et extrêmes (crues et étiages sévères) à court (quelques jours) et long terme (pluriannuel à décennal)

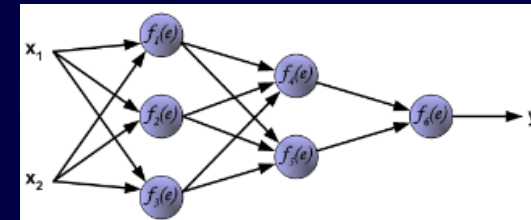
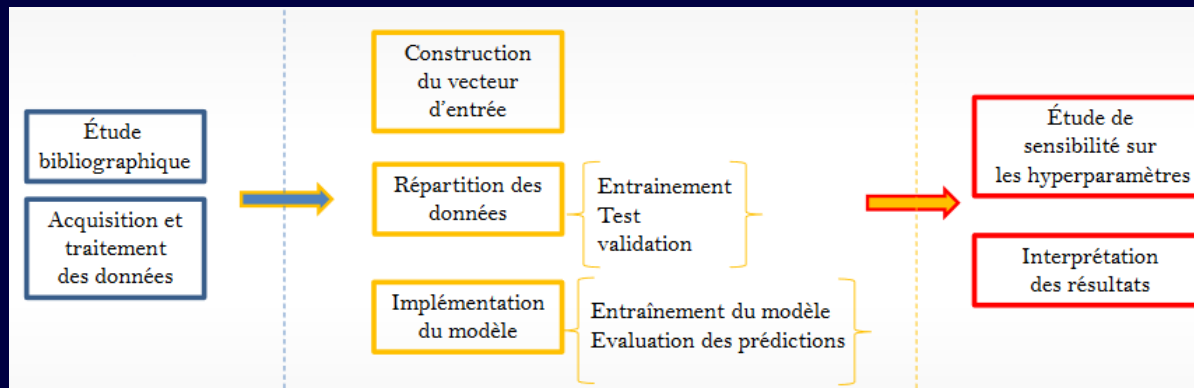
- > à partir de modèles d'apprentissage automatique ou profond
- > en utilisant les algorithmes d'apprentissage pour optimiser/débiaiser les résultats de simulations de modèles à base physique (ici Telemac 2D)
- > générer des projections à partir de scénarios de changement/variabilité climatique

Perspectives et priorités du laboratoire à moyen terme

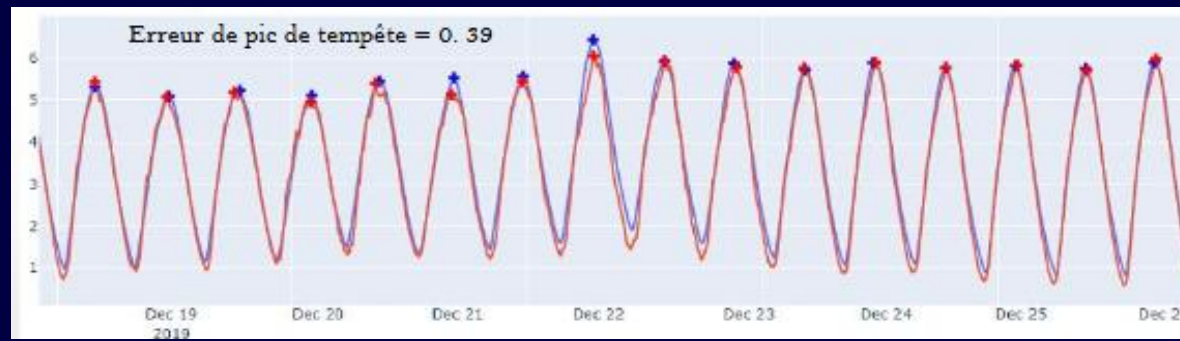
Exemple d'outils à mobiliser:

Amélioration de la prévision des niveaux d'eau à court terme (estuaire Gironde) par MLP / LSTM (Laborie, 2020; Laborie et al., 2020 - JoCompGeo)

- VS 1 : quelles variables contributives spatialement et temporellement au niveau d'eau en une station donnée ?
- VS 2 : quelles données d'observation pour faciliter la simulation des événements extrêmes ?
- VS 3 : quelle méthode d'apprentissage choisir pour simuler des variables corrélées temporellement et spatialement ?



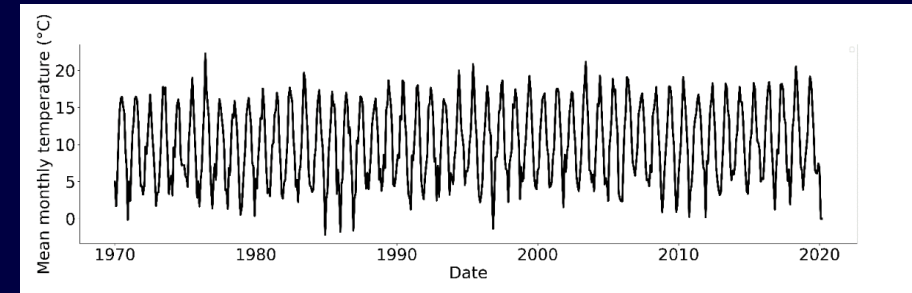
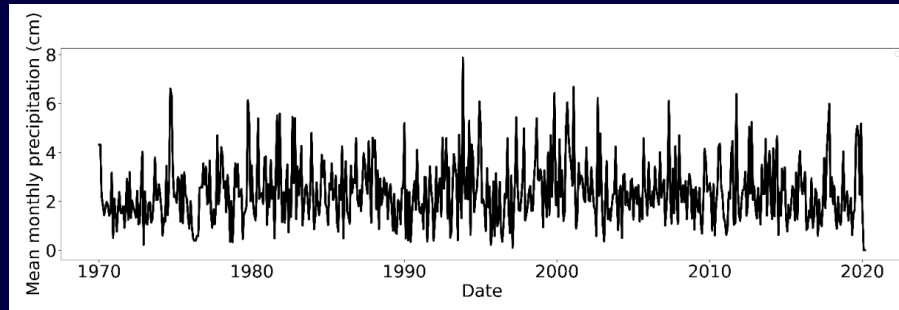
$$y = f(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b).$$



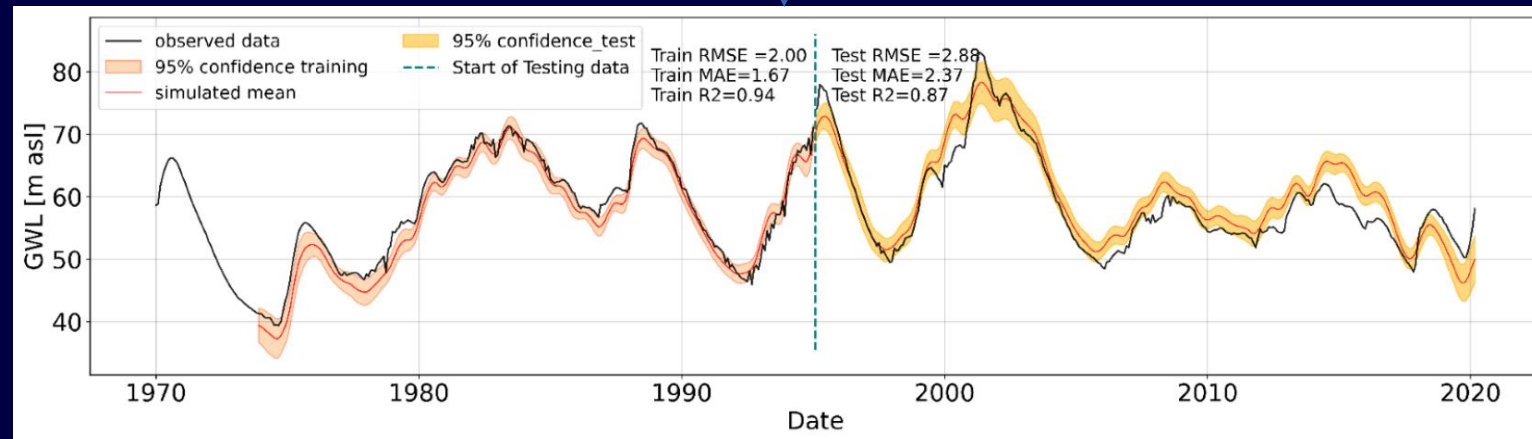
Perspectives et priorités du laboratoire à moyen terme

Exemple d'outils à mobiliser:

Simulation de niveaux piézométriques à partir de pluies et température avec pré-traitement par transformée en ondelettes discrètes (Chidepudi et al., accepté, Sc.Tot.Env.)



Décomposition multirésolution



Perspectives et priorités du laboratoire à moyen terme

Exemple d'outils à mobiliser:

Prévisions à 30 jours de niveaux de nappes, niveaux et débits de rivière

