



# Séminaire scientifique du ROLNP

## Exploitation des données Lidar pour la modélisation de la submersion marine

S. Le Roy, R. Pedreros (et collaborateurs)

Caen, le 17 octobre 2014

# Les données LiDAR

## > LiDAR topographique aéroporté

- Acquisition de la topographie
- Application de traitements pour filtrer les éléments d'occupation du sol (bâti, végétation...)

=> Modèle Numérique de Terrain (MNT)

## > Litto3D: Produit SHOM-IGN

- Continuité terre-mer
  - Levers LiDAR topographiques à terre, dont l'estran (IGN), précision 15-20 cm
  - Levers LiDAR bathymétriques en mer (SHOM), précision 50 cm
  - Complément sondeur multifaisceaux (précision 40 cm)
- MNT de résolution 1m sous forme de dalles 1km x 1km

# Modélisation de la submersion marine et données LiDAR

## > Traitements spécifiques des données LiDAR

- Filtrage
- Cote des protections et lignes de crêtes
- Prise en compte du bâti

## > Avantages de la haute résolution

- Simulation des vagues et du franchissement
- Effets de la bathymétrie
- Représentation explicite du bâti

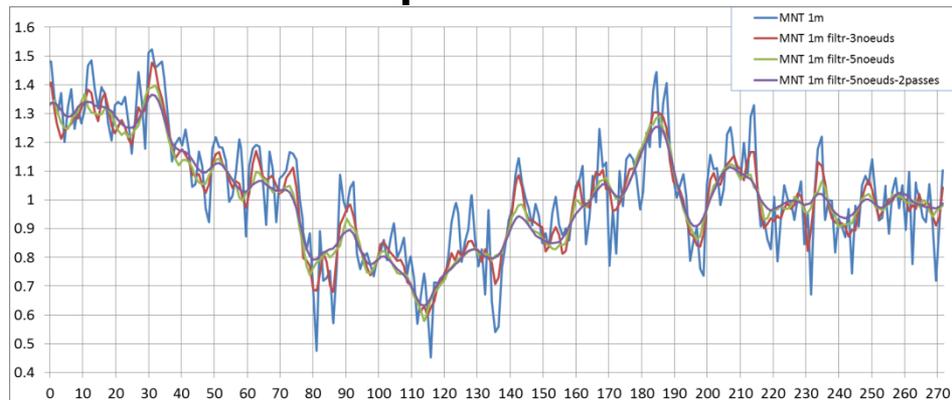
## > Limites

- Estuaires et eaux intérieures
- Bathymétrie figée (« instantané »)
- Erosion / transport / défaillance d'ouvrages

# Traitements

## > Traitements spécifiques

- Filtrage du bruit sur le MNT: Exemple du Litto3D à Pointe-à-Pitre

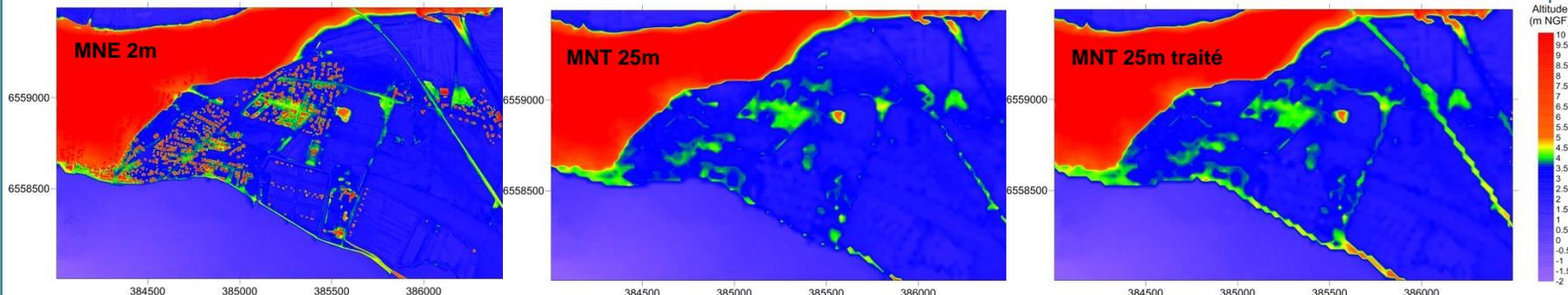


- Crêtes ouvrages: Ex. du LiDAR topographique (DDTM 17) aux Boucholeurs (17)

- Contrôle directement le volume franchissant / débordant
- Généralement sous-estimée lors d'un rééchantillonnage direct
- Nécessité de traitement spécifique



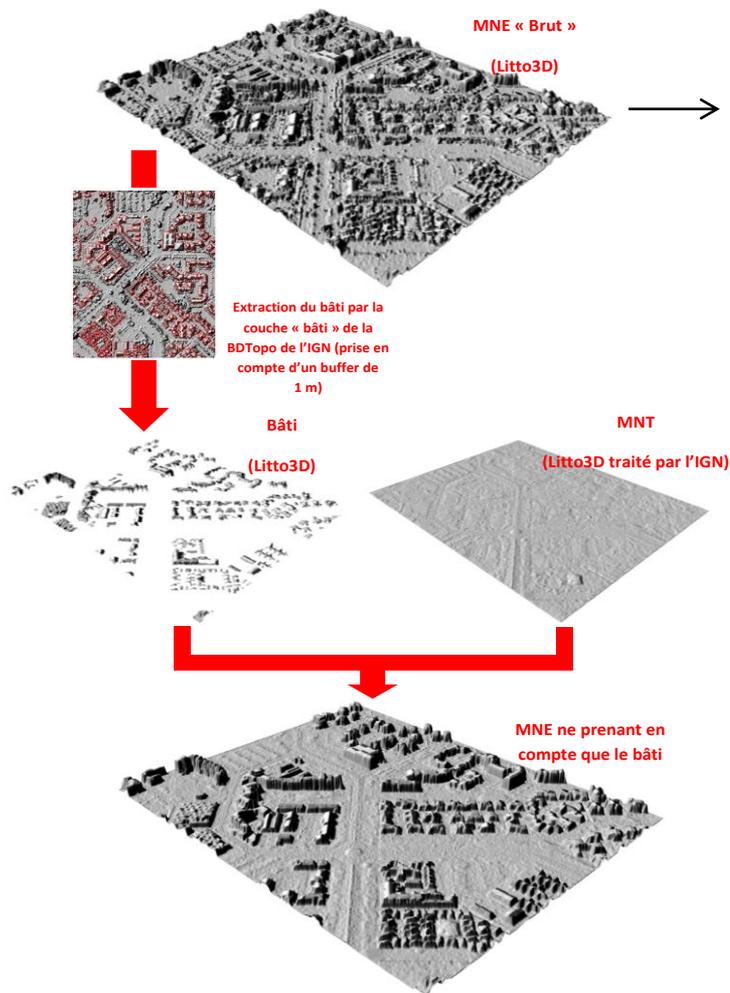
Rehaussement du mur aux Bouchôleurs (photo C. André)



# Traitements

## > Traitements spécifiques

- Intégration du bâti dans un MNE (Modèle Numérique d'Élévation)



Fourni avec Litto3D ou reconstitué à partir des fichier LAS avec des outils spécifiques (par LASTools: Hug et al., 2004)

### Exemple d'application au Litto3D sur Hyères (83)



# Modélisation de la submersion marine et données LiDAR

## > Traitements spécifiques des données LiDAR

- Filtrage
- Cote des protections et lignes de crêtes
- Prise en compte du bâti

## > Avantages de la haute résolution

- Simulation des vagues et du franchissement
- Effets de la bathymétrie
- Représentation explicite du bâti

## > Limites

- Estuaires et eaux intérieures
- Bathymétrie figée (« instantané »)
- Erosion / transport / défaillance d'ouvrages

# Tempête Johanna à Gâvres: Vagues et Franchissement (1/5)

## > Données à très haute résolution

- ⇒ Simulation des vagues avec modèles à résolution de phase
- ⇒ Simulation du franchissement par paquets de mer

## > Gâvres: tombolo à la sortie du port de Lorient

## > Ancienne zone humide poldérisée et régulièrement submergée

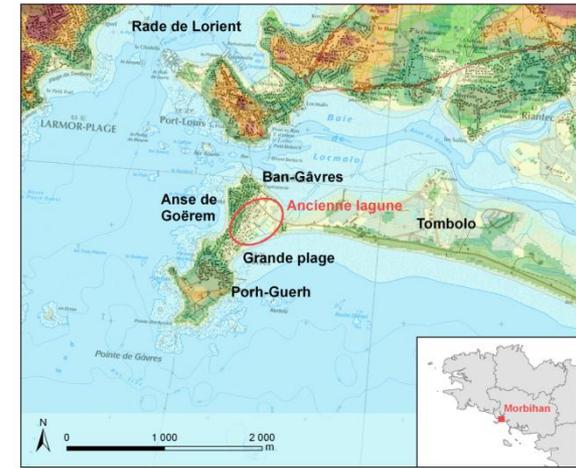
## > Tempête Johanna (10 mars 2008)

- Concomitance grandes marées (106)
- Pleine mer du matin (~05h00 UTC):  
Destruction du mur sur la digue de la  
Grande Plage

Submersion de la zone basse

(franchissements par paquets de mer)

## > LiDAR topographique fourni par la DDTM 56



Submersion de la Grande Plage de Gâvres lors de la tempête de 2008



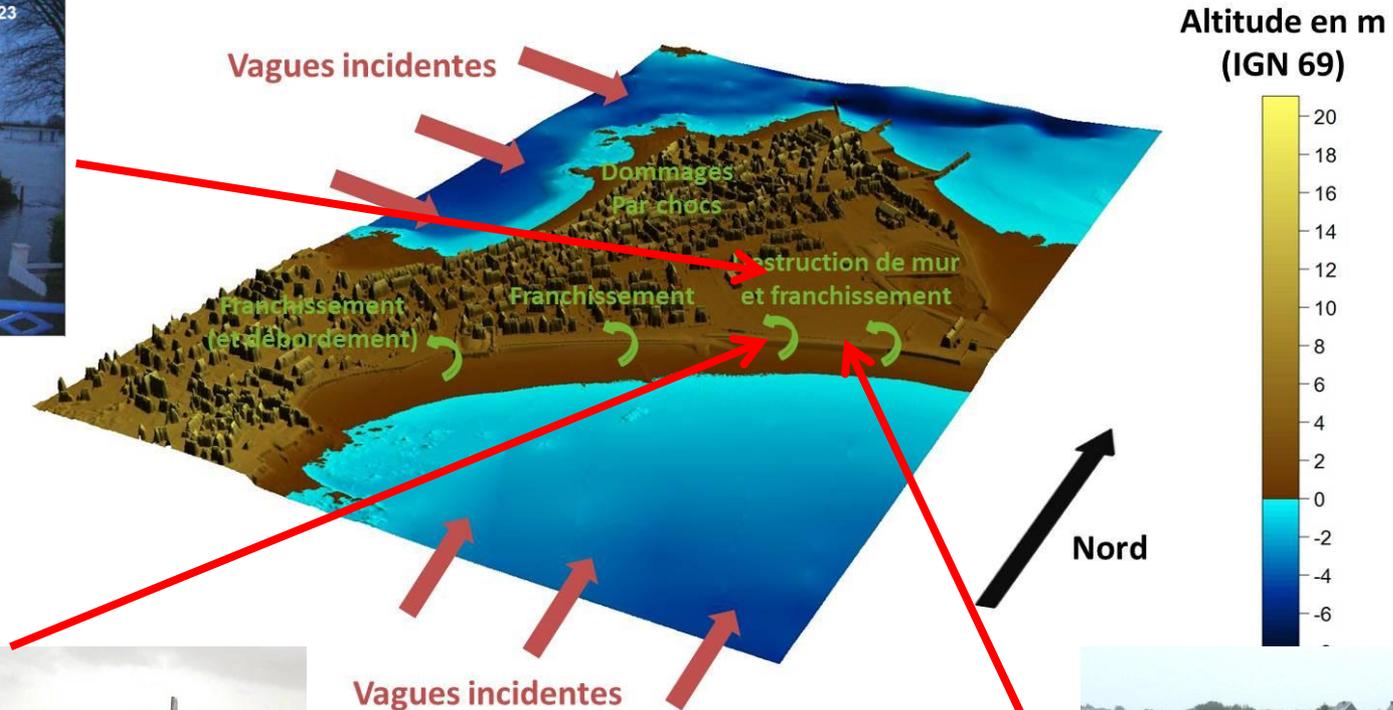
Photographie DDTM 56

Projet Johanna

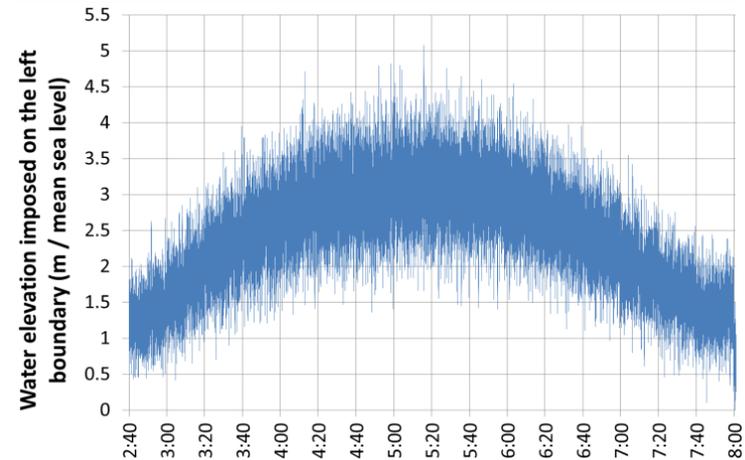
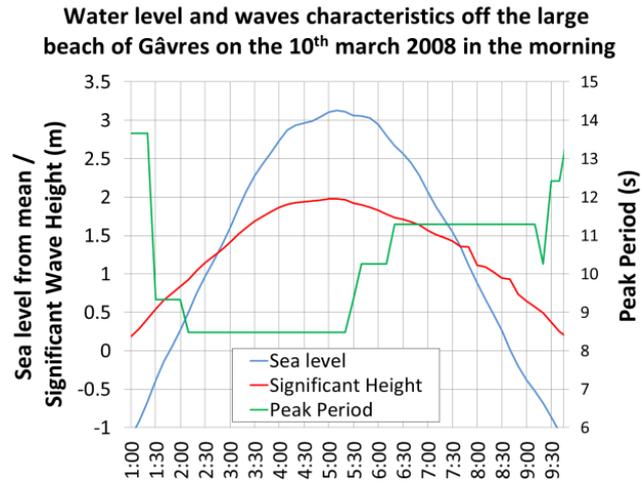


# Tempête Johanna à Gâvres: Vagues et Franchissement (2/5)

Le Roy et al. (2014a)



# Tempête Johanna à Gâvres: Vagues et Franchissement (3/5)



## ➤ Série temporelle imposée sur le bord sud-est de la zone



Modèle SURF-WB  
(Marche et al., 2007)

Vagues supposées:

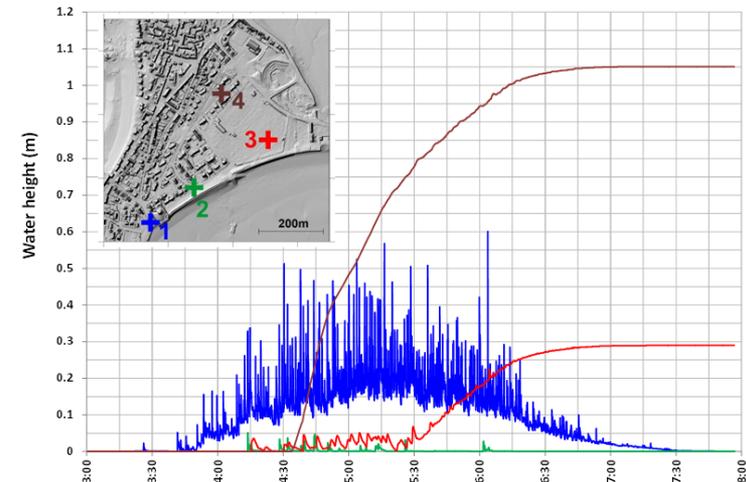
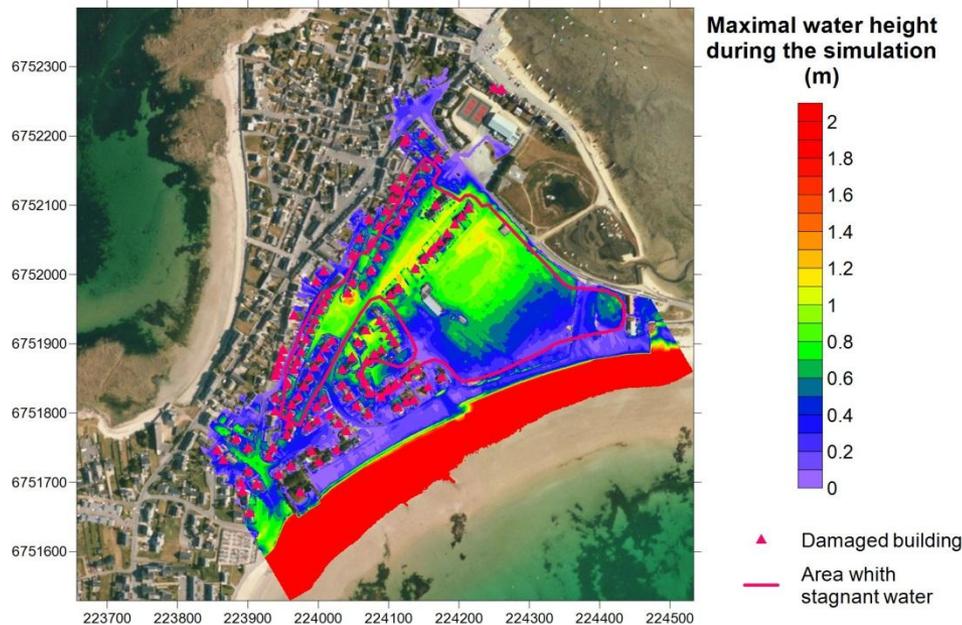
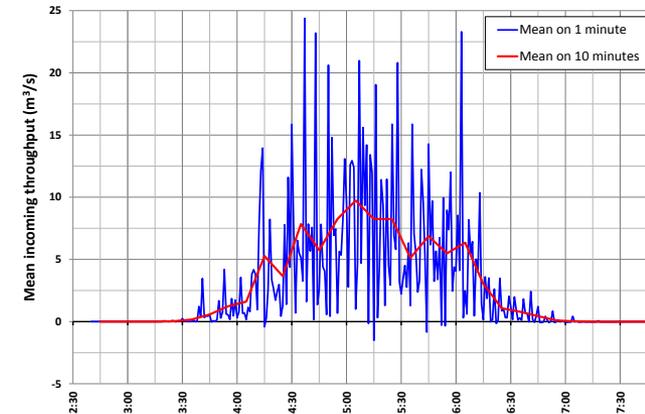
- Homogènes le long de la limite
- Parallèles à la limite

Le Roy et al. (2014a)

# Tempête Johanna à Gâvres: Vagues et Franchissement (4/5)

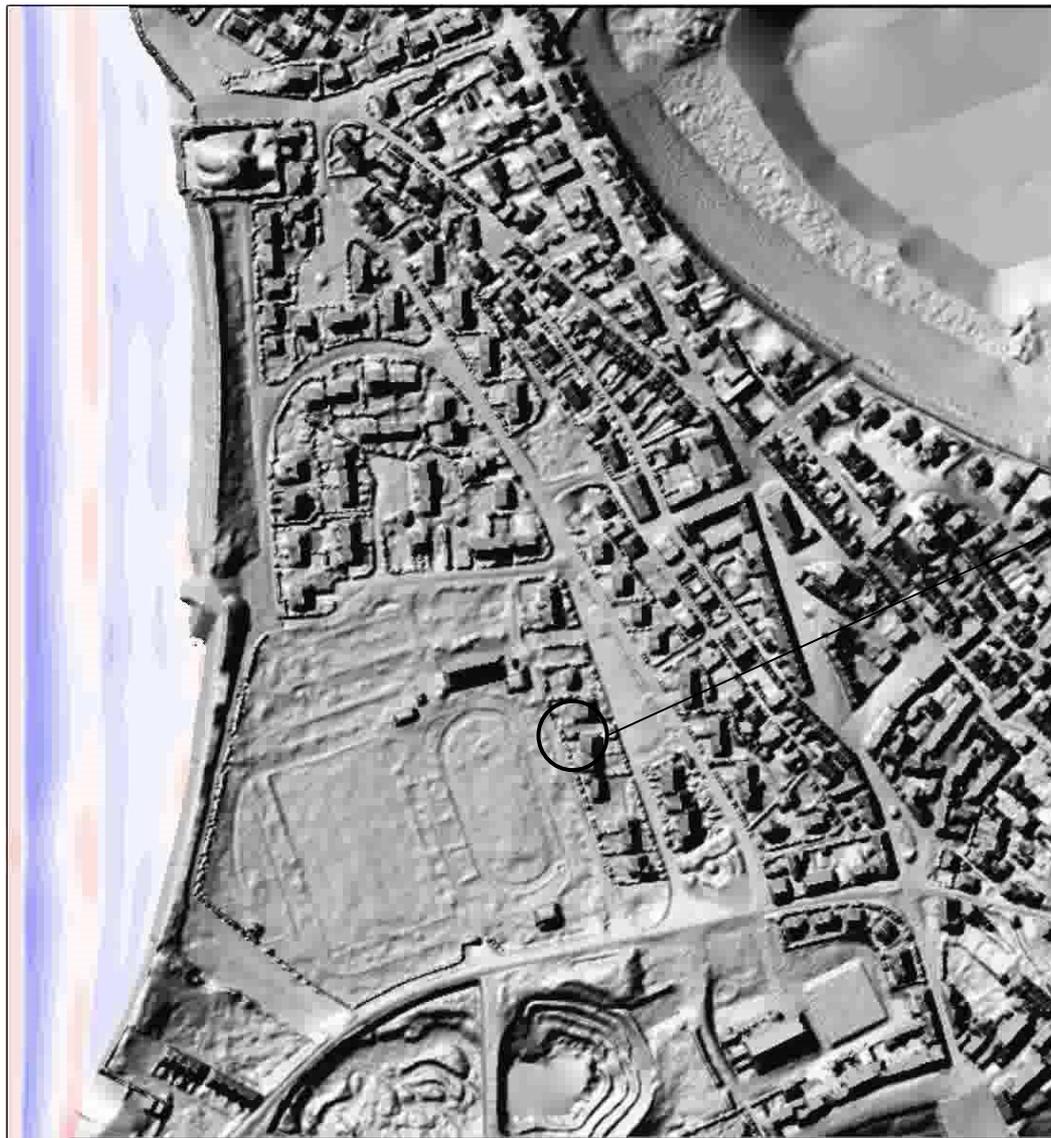
## > Dynamique des franchissements et de l'inondation

- À partir de 03h20 par la rue de le Plage, et 03h40 par la digue
- Maximum de franchissement vers 05h00
- Fin des franchissements vers 06h40
- Ruissellement de l'eau le long de la rue du Parc des Sports et du terrain de foot



Le Roy et al. (2014a)

# Tempête Johanna à Gâvres: Vagues et Franchissement (5/5)



Heure T.U.  
(10/03/2008)

03:15:00



**Chronologie (rapport DHI) :**

- 04h00 : pas d'eau
- 04h50 : pas d'eau
- 05h00 : eau par la rue du Parc des Sports
- 05h10 : eau à flots par terrain de foot
- 05h30–05h45 : 65 cm dans la maison (max)
- 06h16 : une photo montre plus d'eau qu'à 05h46

Le Roy et al. (2014a)

# Submersion à Hyères: Vagues et Franchissement (1/2)

AAP « Relocalisation »



> **Données à très haute résolution**

⇒ **Prise en compte des obstacles à l'écoulement**

Le Roy et al. (2014b)

## Exemple: Submersion sur le hameau de l'Ayguade

> **Présence d'un mur en haut de plage avec passages pour piétons**



> **Exemple de la tempête du 14 décembre 2008:**

**Franchissement par les ouvertures**

**Légère submersion dans les zones basses en arrière**



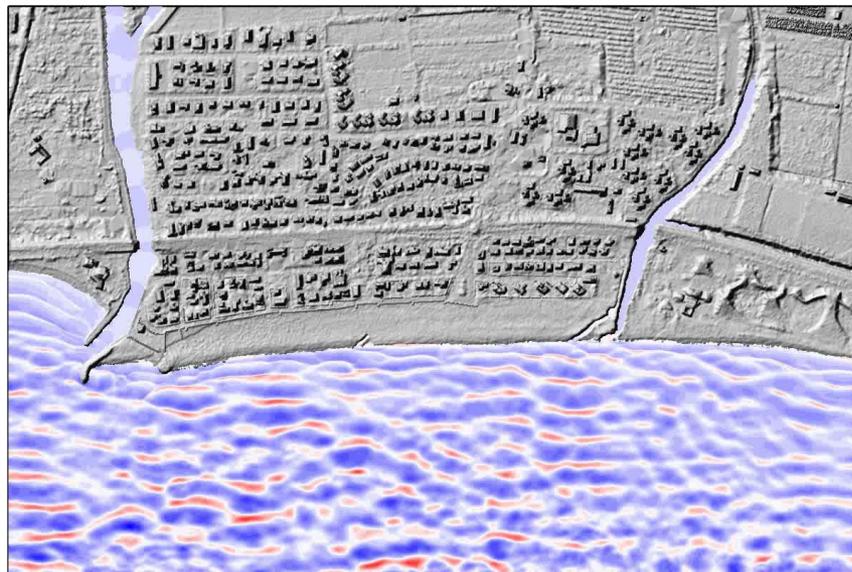
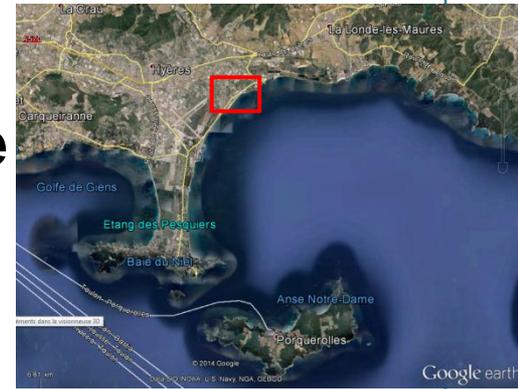
Photographies Ville d'Hyères



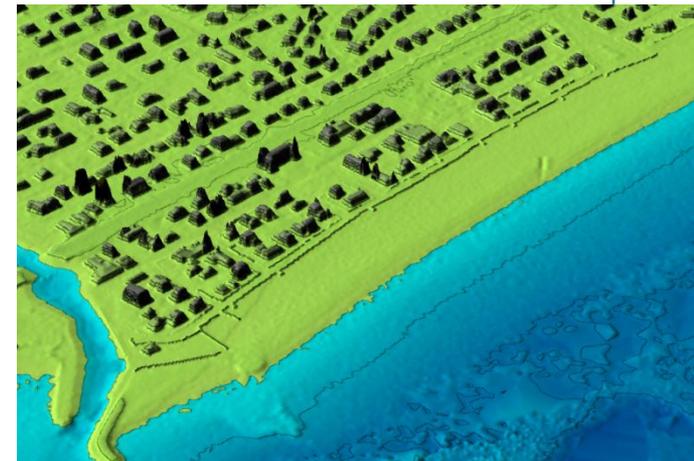
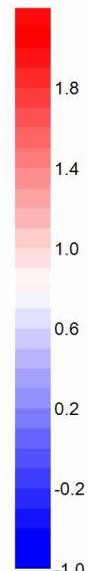
# Submersion à Hyères: Vagues et Franchissement (2/2)

## > Submersion sur le hameau de l'Ayguade

- > LiDAR Litto3D
- > Intégration du mur dans un MNE de résolution 1m
- > Exemple d'une tempête trentennale à échéance 2030 (élévation du niveau de la mer de 20cm),  
Modèle SWASH (Zijlema et al., 2011)



Cote IGN (m)



Le Roy et al. (2014b)

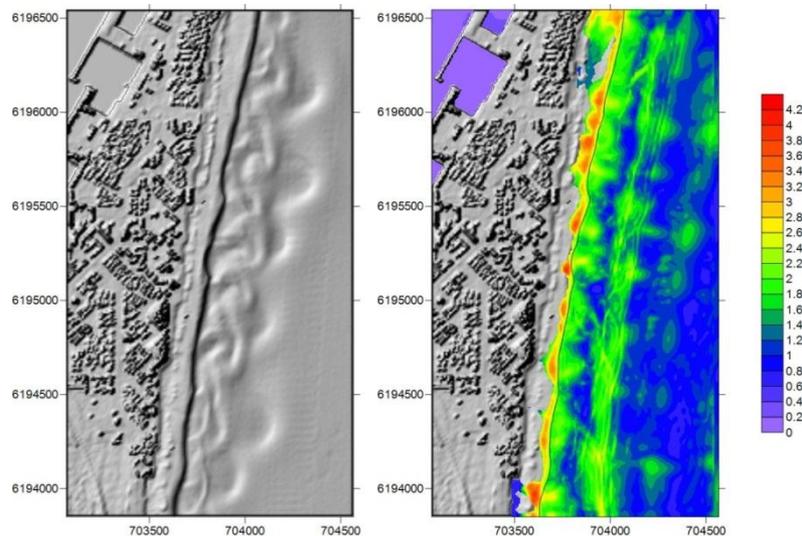


# Tsunami à Barcarès: Vagues / Franchissement

- LiDAR bathymétrique: Effet des structures sous-marines sur le comportement des vagues
- Exemple des barres sableuses en croissant devant Barcarès (66) – Litto3D
- Simulation d'un tsunami gravitaire (glissement de Lacaze-Hérault), modèle GEOWAVE (développé par Watts et al., 2003)

Le Roy et al. (2012)

Effet de « rempart naturel » des barres sous-marines (gonflement / déferlement des vagues)



Résolution 9m

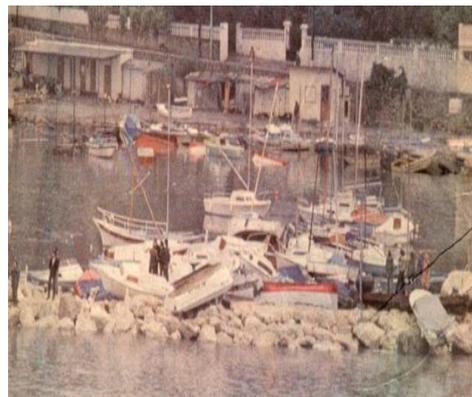
# Tsunami à Antibes: Milieu urbain (1/2)

## > Données à très haute résolution

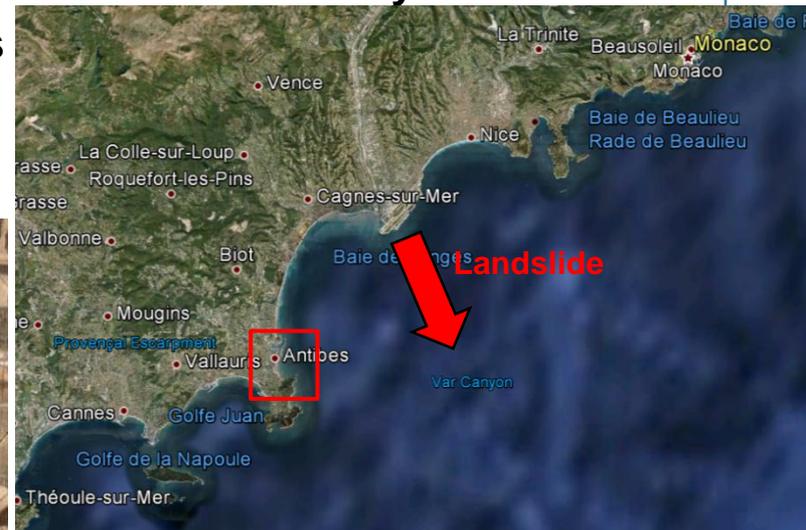
⇒ Prise en compte de la complexité topographique (bâti) en zone urbaine

## Exemple: Tsunami généré par le glissement de terrain de l'aéroport de Nice en 1979 à Antibes (06)

- > Travaux d'extension de l'aéroport de Nice
- > Déclenchement d'un glissement de terrain sous-marin vers le canyon du Var
- > Tsunami ressenti dans toute la Baie des Anges
- > Importants dommages à Antibes



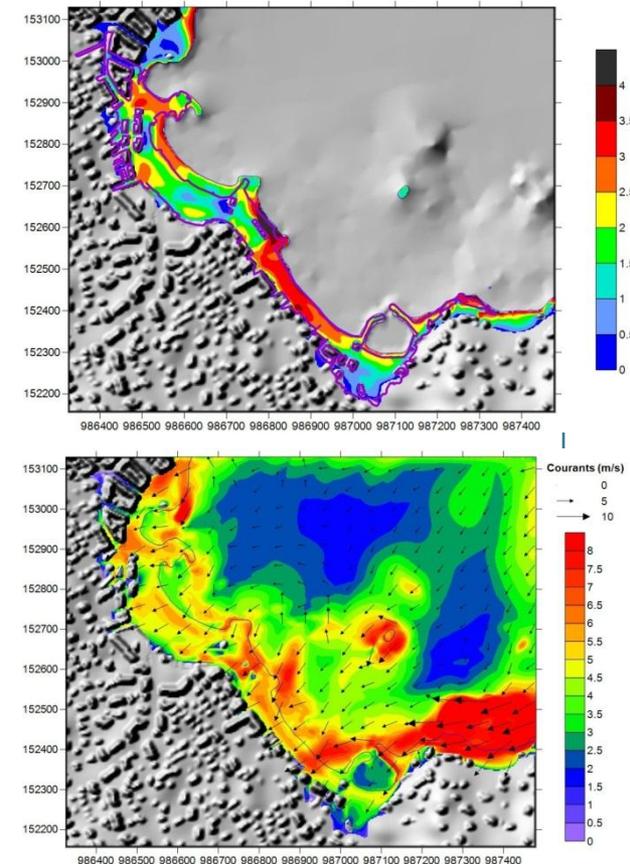
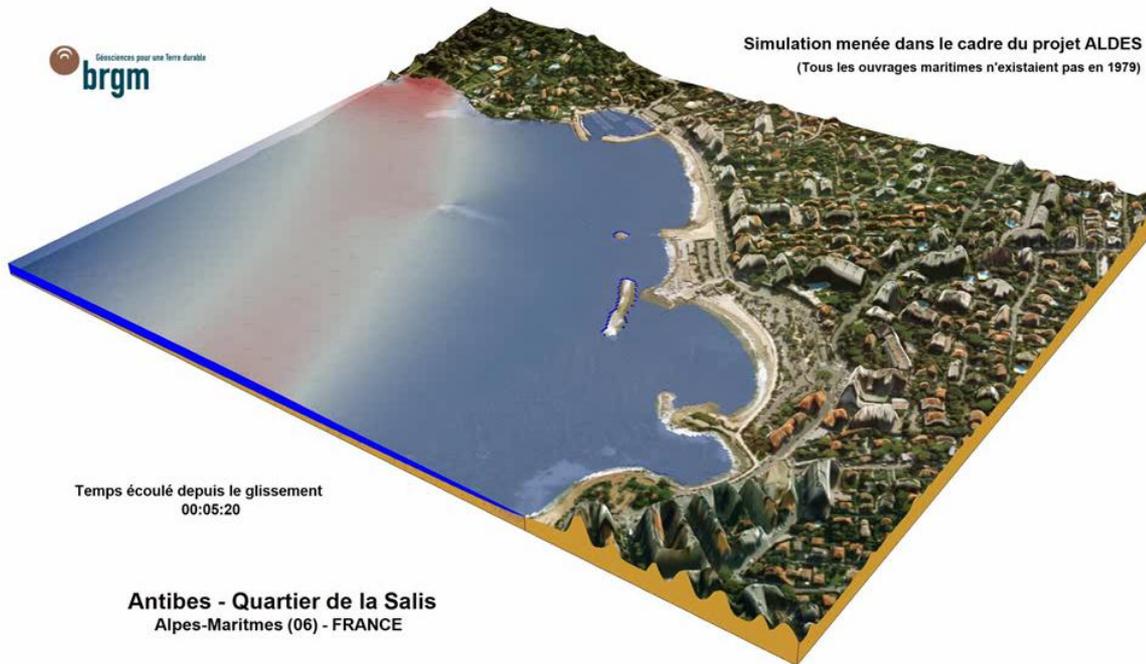
Photographies Nice-Matin



# Tsunami à Antibes: Milieu urbain (2/2)

## > Simulation du tsunami de Nice en 1979 à Antibes

- Génération – propagation du tsunami avec le modèle GEOWAVE<sup>\*</sup>
- Submersion avec le modèle SURF-WB<sup>\*\*</sup>
- Validation de la modélisation BRGM avec la reconstitution de la zone inondée observée<sup>\*\*\*</sup>



(\*) Watts et al. (2003)

(\*\*) Marche et al. (2007)

(\*\*\*) Sahal et Lemahieux (2010)

# Modélisation de la submersion marine et données LiDAR

## > Traitements spécifiques des données LiDAR

- Filtrage
- Cote des protections et lignes de crêtes
- Prise en compte du bâti

## > Avantages de la haute résolution

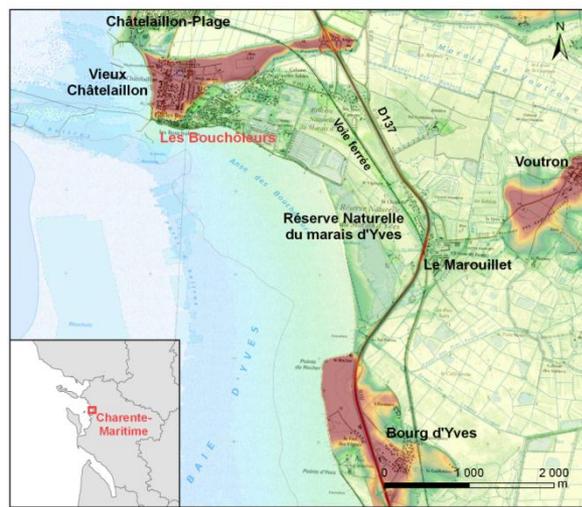
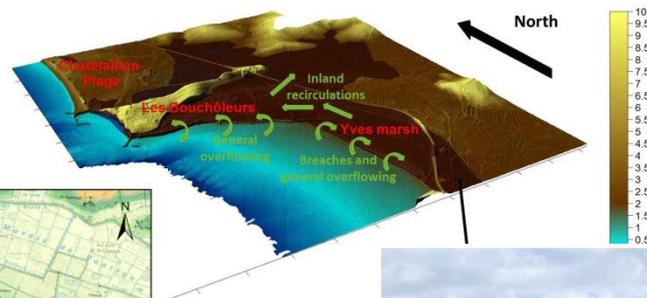
- Simulation des vagues et du franchissement
- Effets de la bathymétrie
- Représentation explicite du bâti

## > Limites

- Estuaires et eaux intérieures
- Bathymétrie figée (« instantané »)
- Erosion / transport / défaillance d'ouvrages

# Limites

- > Estuaires et eaux intérieures généralement non-levés au LiDAR bathymétrique
- > Topo-bathymétrie « figée » (en l'absence de suivi régulier)
- > Défaillances d'ouvrages et érosion encore difficiles à intégrer dans les modèles
- > Exemple des Bouchôleurs (17) pendant Xynthia (2010)



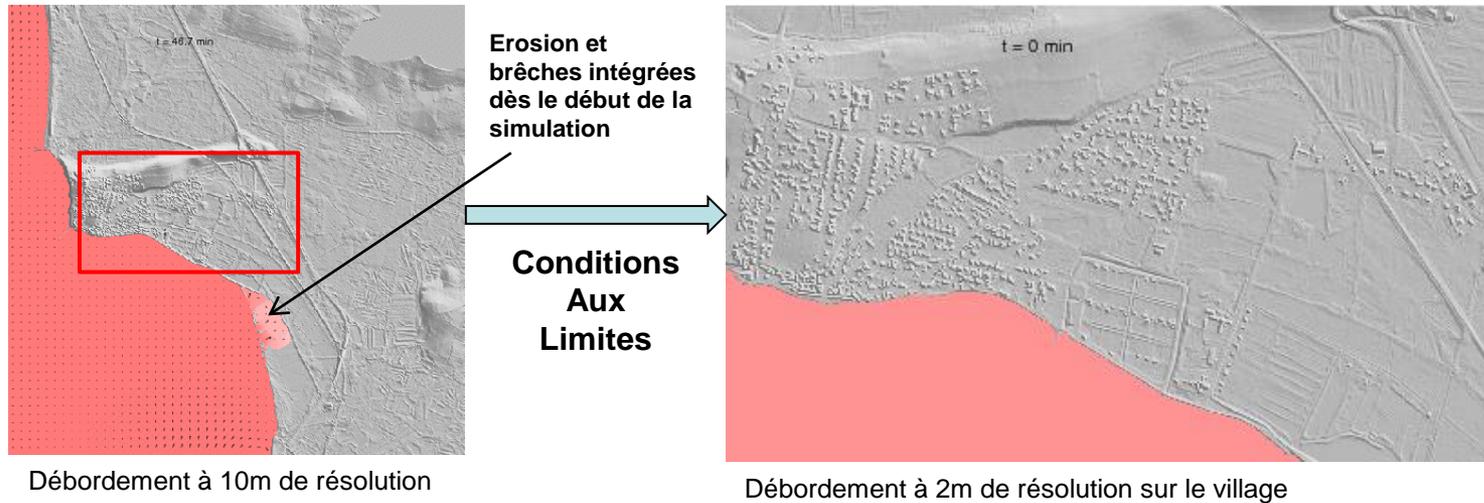
2. Brèche (6) Gaveau – Photo P. Sauvage (Cdl)



Digue SACOM – Point d'érosion majeure – Photo S. Travichon

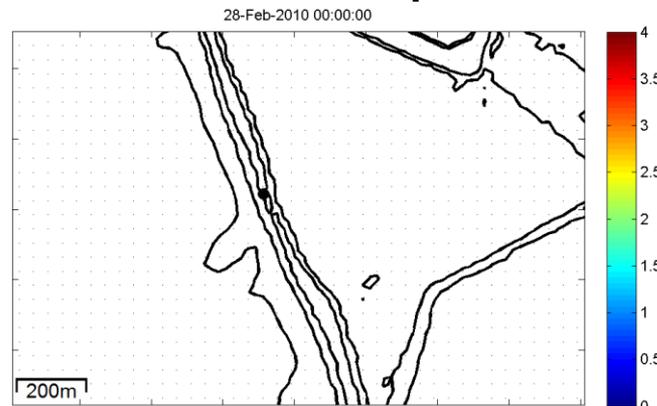
# Limites: érosion / défaillance

## > Exemple des Bouchôleurs (17) pendant Xynthia



## > Solutions alternatives

- Paramétrage de la défaillance
- Modèle intégrant l'érosion: exemple avec X-BEACH

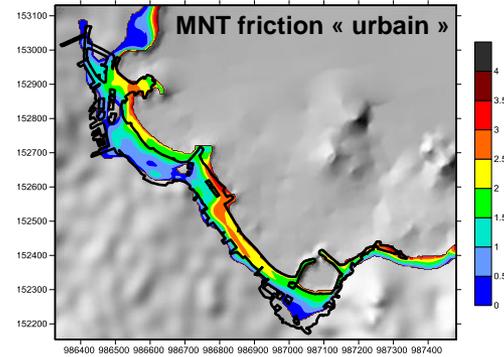
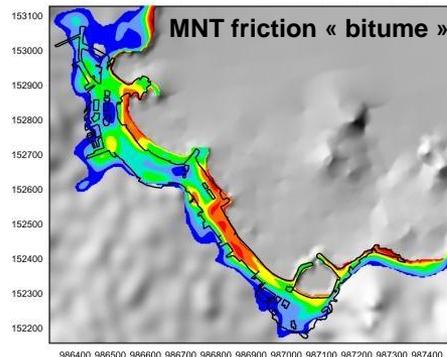
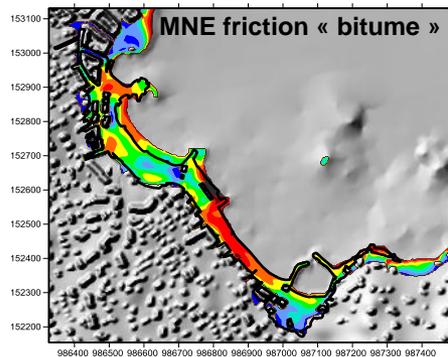


Muller et al. (2014)

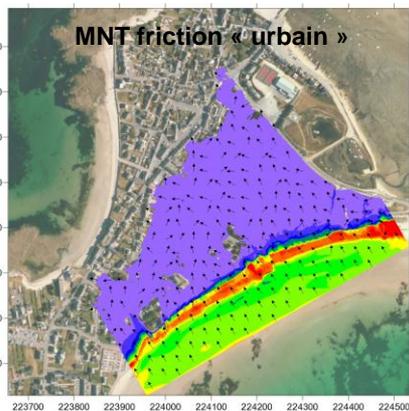
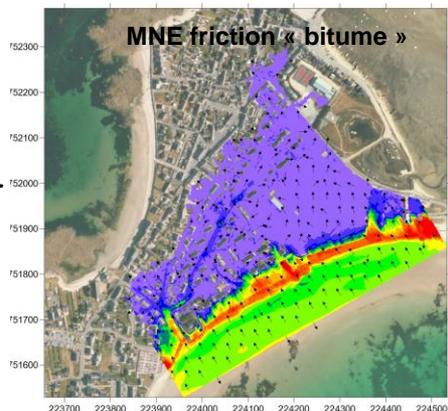
# Conclusion

- > Un outil essentiel pour la modélisation de la submersion marine à haute résolution en milieu urbain
- > Par rapport aux méthodes « classiques »
  - Accumulation contre les bâtiments
  - « Canalisation » des écoulements par les rues
  - Représentation réaliste des vitesses

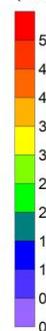
Exemple sur Antibes



Exemple sur Gâvres



Maximal current speed during the simulation (m/s)



# Conclusion

- > Grâce aux progrès en simulation numérique, possibilité de travailler à très haute résolution:**
  - Simulation des vagues, des franchissements associés et des écoulements à terre
  - Prise en compte du milieu urbain pour une meilleure représentation des écoulements
  
- > Principales limites actuelles:**
  - Prise en compte de l'érosion et des ruptures d'ouvrages
  - Temps de calcul pour des emprises étendues

# Merci...

Hug C., Krzystek P., and Fuchsc W. (2004) - Advanced LiDAR data processing with LasTools. *XXth ISPRS Congress, 12-23. July 2004, Istanbul, Turkey, 2004.*

Le Roy S., Pedreros R., André C., Paris F., Lecacheux S., Marche F., Vinchon C. (2014a) – Coastal flooding of urban areas by overtopping: dynamic modelling application to the Johanna storm (2008) in Gâvres (France). *Natural Hazards and Earth System Sciences. Submitted.*

Le Roy S., Stepanian A., Pedreros R. avec la collaboration de Bulteau T., Nicolae-Lerma A., et Balouin Y. (2014b) – Modélisation de la submersion marine sur la Plaine du Ceinturon (Hyères-les-Palmiers). *Rapport final. BRGM/RP-63945-FR, 103 p., 75 ill., 4 ann., 8 cartes hors-texte. A Paraître.*

Le Roy S., Monfort D. et Pedreros R., (2012) – Projet ALDES: Simulations numériques de tsunamis en Méditerranée Occidentale. *Rapport BRGM/RP-61473-FR, 101 p., 62 ill.*

Le Roy S. et Pedreros R. coll. Monfort-Climent D. (2011) – ALDES: Modélisation numérique du tsunami survenu à Antibes en 1979. *Rapport BRGM/RP-60353-FR, 80 p., 61 ill.*

Marche F., Bonneton P., Fabrie P. and Seguin N. (2007) - Evaluation of well-balanced bore-capturing schemes for 2D wetting and drying processes. *International Journal for Numerical Methods in Fluids, 53, 867-894.*

Muller H., Idier D., Pedreros R., Le Roy S. (2014) – Storm Impact on a French Coastal Dune System: Morphodynamic Modeling using X-BEACH. *JONSMOD, 12-14 May 2014, Bruxelles.*

Sahal A. et Lemahieux A. (2010) – The 1979 Nice airport tsunami: mapping of the flood in Antibes. *Natural Hazards, Vol. 56, n)3, p. 833-840.*

Watts P., Grilly S.T., Kirby J.T., Fryer G.J. and Tappin D.R. (2003) – Landslide tsunami case studies using a Boussinesq model and a fully nonlinear tsunami generation model. *Natural Hazards and Earth System Sciences 3, p. 391-402.*

Zijlema, M., Stelling, G., and Smit, P. (2011) - SWASH: An operational public domain code for simulating wave fields and rapidly varied flows in coastal waters. *Coastal Engineering, 58, 992–1012, doi:10.1016/j.coastaleng.2011.05.015.*