



L'expérience Litto3D du BRGM à l'échelle nationale et en Région PACA : bilan et perspectives

Alexis Stépanian¹, Sylvestre Leroy², Rodrigo Pedreros²

¹BRGM, Direction Régionale PACA, Marseille

²BRGM DRP/R3C, Unité Risques Côtiers et Changement Climatique, Orléans



Utilisation des données Litto3D au BRGM

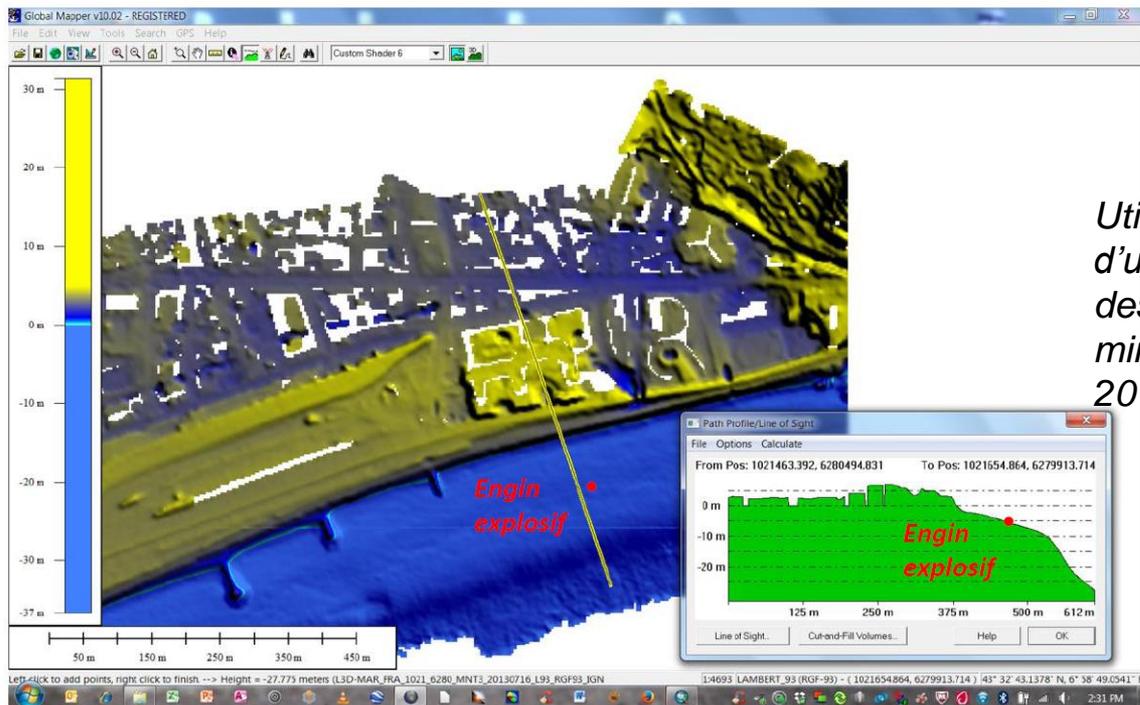
- > 1 - Représentation directe du milieu sous-marin**
- > 2 - Géomorphologie des falaises côtières**
- > 3 - Evaluation de l'exposition à la submersion marine par analyse SIG**
- > 4 - Modélisation dynamique des phénomènes de submersion marine et tsunami à haute-résolution**

1 – Représentation directe du milieu

> But de visualisation

- Topographie - bathymétrie
- Rapide diagnostic de la vulnérabilité du littoral (largeur des plages, distance des objets à la plage)

> Données MNT avec Global Mapper

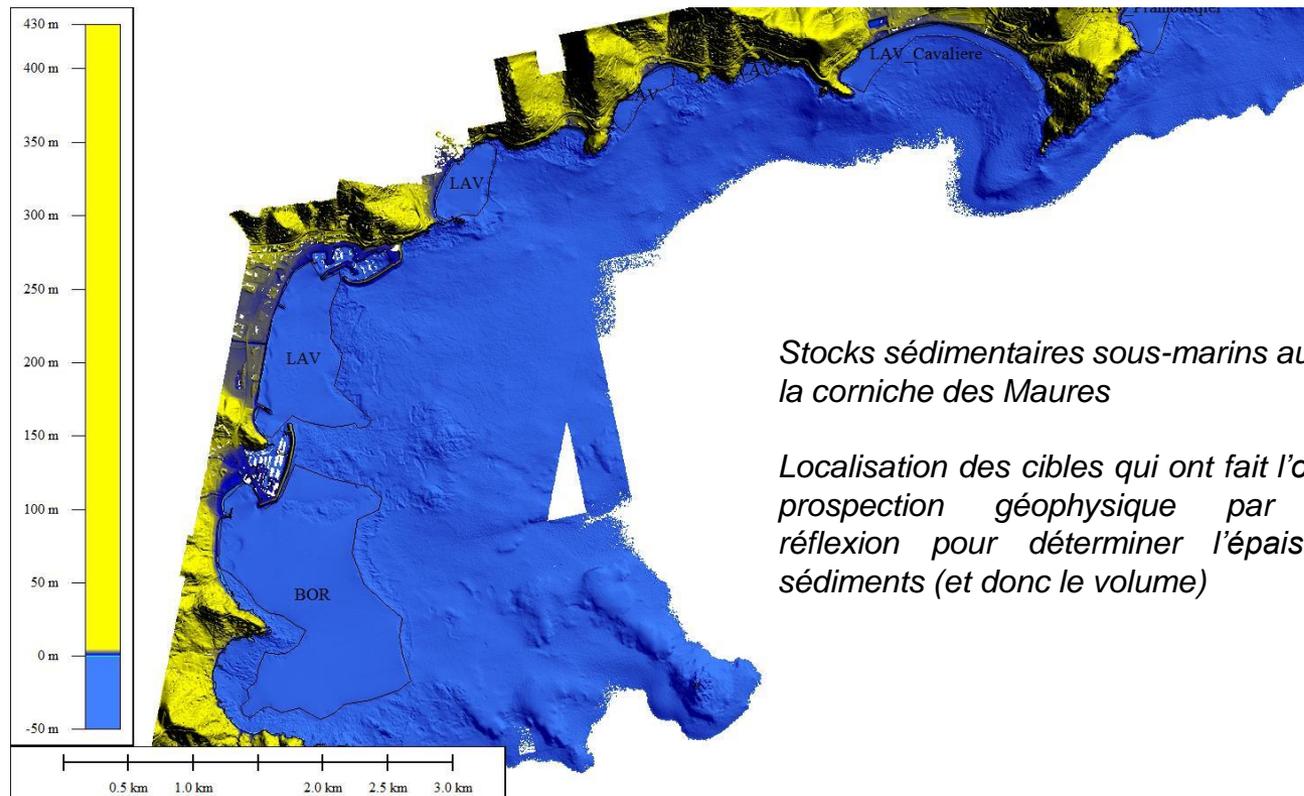


Utilisation dans le cadre d'une expertise BRGM pour des opérations de contre-minage (Marine Nationale, 2015)

1 – Représentation directe du milieu

> Cartographie sous-marine

- Localisation des ensembles sableux sous-marins (Projet partenarial avec le SM SCoT Provence - Méditerranée)
- Données cohérentes et complémentaires avec la cartographie des biocénoses marines (CG83)



Stocks sédimentaires sous-marins au large de la corniche des Maures

Localisation des cibles qui ont fait l'objet d'une prospection géophysique par sismique réflexion pour déterminer l'épaisseur des sédiments (et donc le volume)

2 - Erosion/évolution multi-échelle des falaises côtières

> Thèse J. Giuliano (2015) CEREGE/GEOAZUR/BRGM

- Financement : CR PACA / BRGM – Projet APRF VALSE
- Apport des données Litto 3D à la compréhension de la morphologie côtière

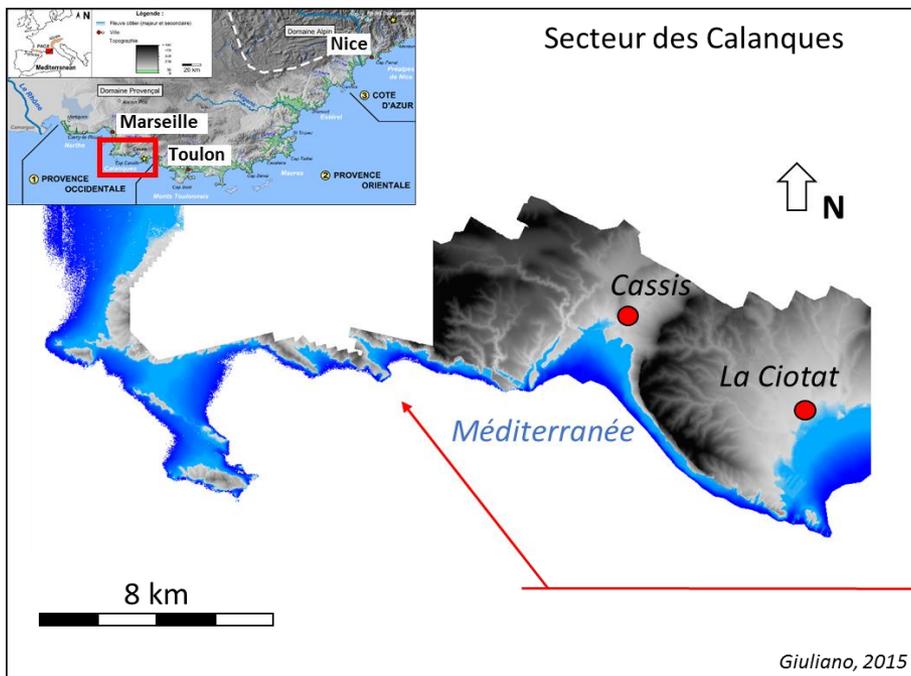
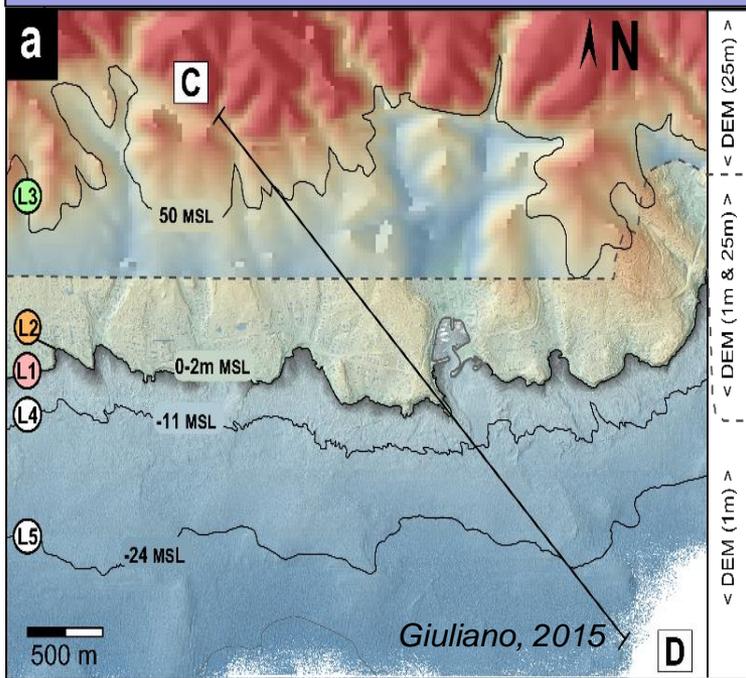


Photo Collinad-Girard

Exemple de l'analyse de la rugosité de la côte des Calanques (13)

Indentification des morpho-lignes

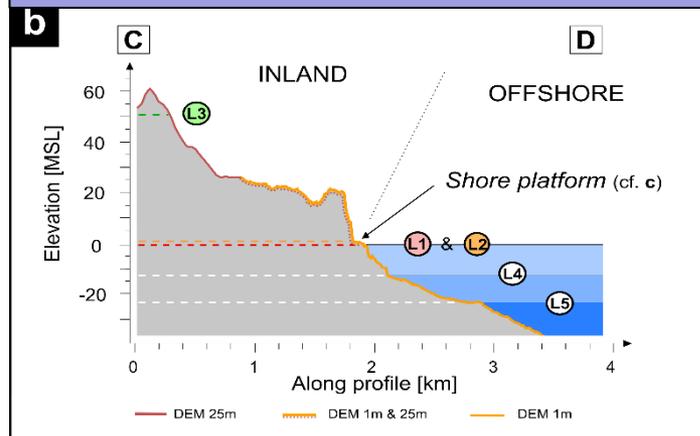


MNT 25m

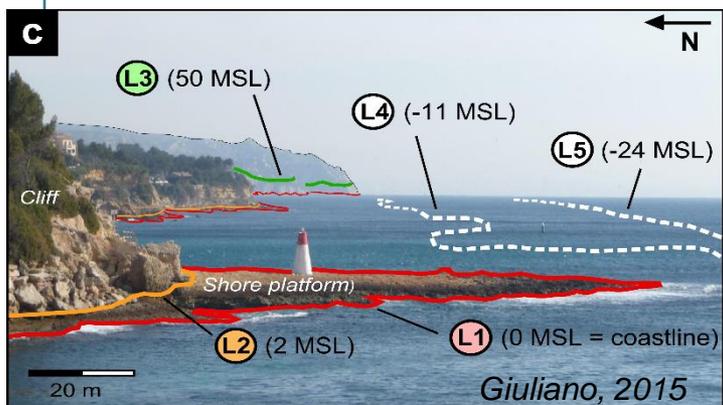
Litto 3D et MNT 25m

Litto 3D

Analyse de profils topographiques et bathymétriques



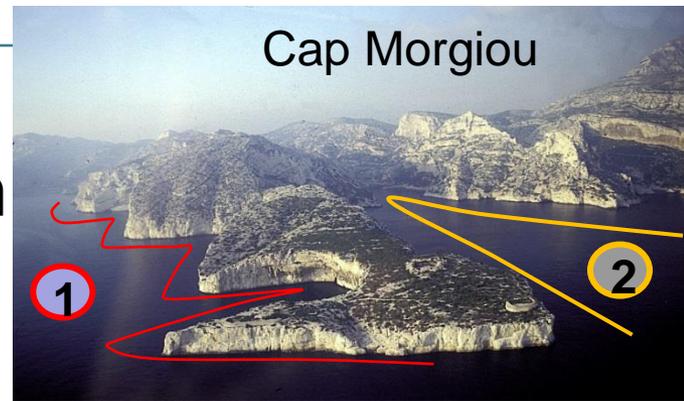
Giuliano, 2015



Comparaison

L1 traits de côte (MNT 25 & Litto 3D)

Morphologie des traits de côte (comparaison MNT 25m vs Litto3D)



Cap Morgiou

Photo Collinad-Girard

Forme d'érosion 0-500 m

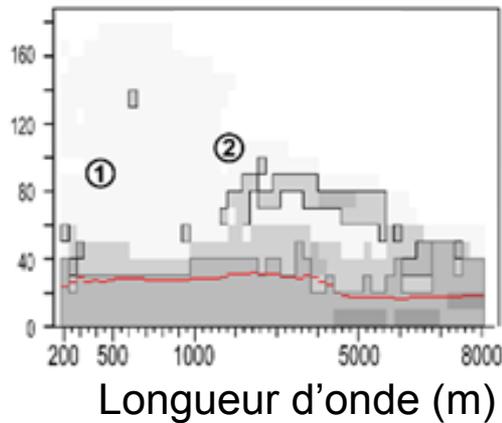
Forme d'érosion 1-5 km

MNT 25m

Litto 3D

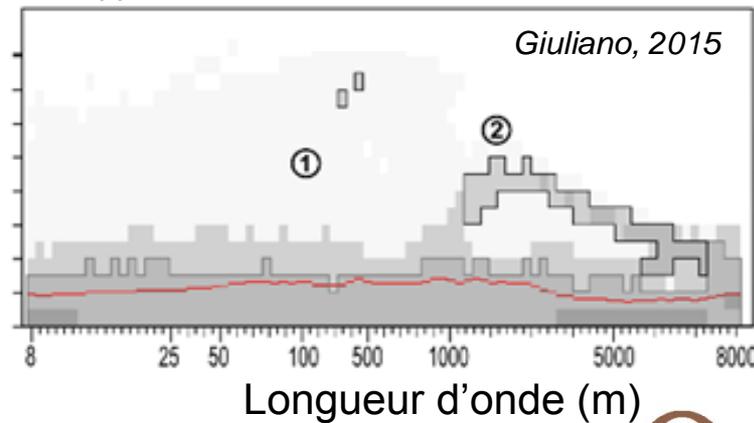
Résolution supplémentaire

+



$N = 2 \cdot 10^3$ pts

Giuliano, 2015



$N = 52 \cdot 10^3$ pts

<<



Géosciences pour une Terre durable

brgm

3 - Evaluation de l'exposition à la submersion marine par analyse SIG

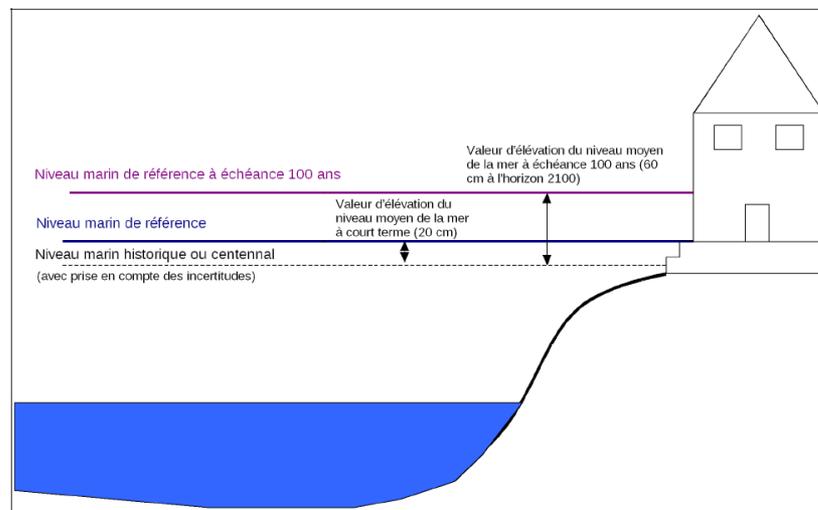
> **Projet « Risques Naturels Littoraux » sur le territoire du SCoT Provence - Méditerranée**

- Partenaire : Syndicat Mixte du SCoT Provence-Méditerranée
- AMO : Au[DAT]
- Financeurs : CR PACA, CG83, FEDER, BRGM (SCSP)

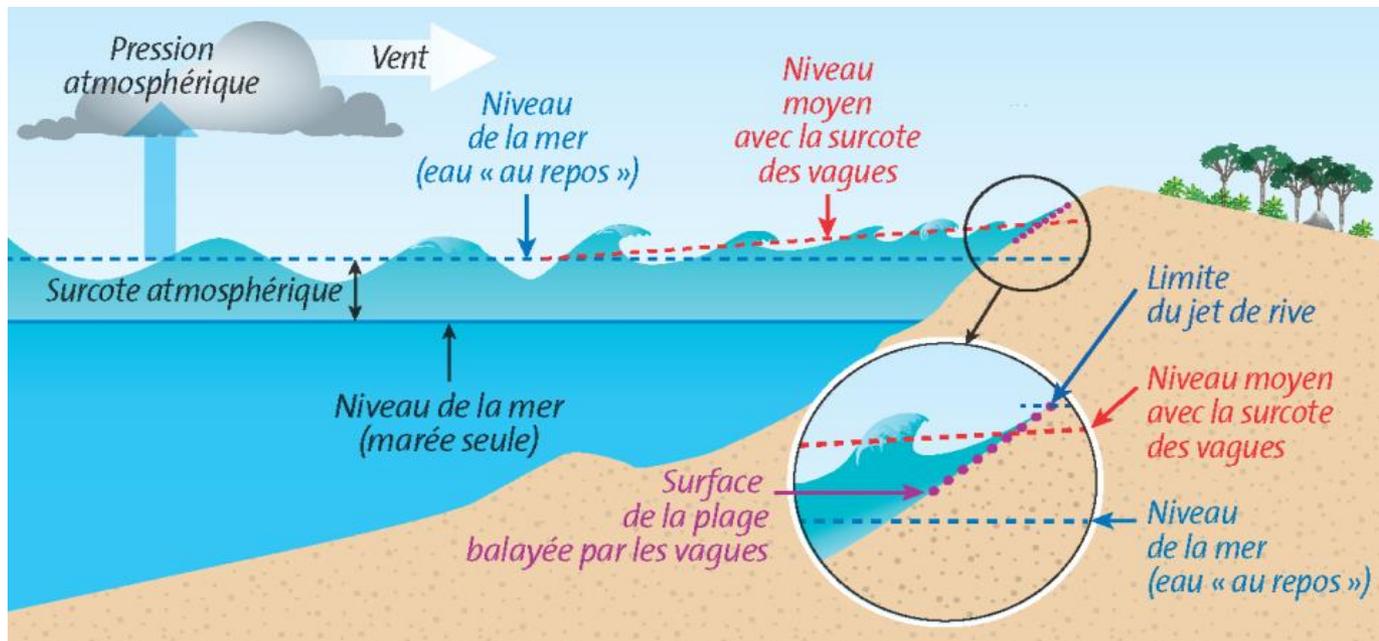
> **Cartographier les zones situées au dessous d'un niveau d'aléa submersion marine**

- Situation « actuelle » sans élévation du niveau de la mer
- Situation à échéance 2100 avec +0.6 m d'élévation du niveau de la mer (ONERC)
- Cohérent avec les démarches nationales du MEDDE (PPRL, Directive Inondation)

Quels niveaux d'aléa pour le territoire du SCoT ?



Processus physiques lors d'une tempête



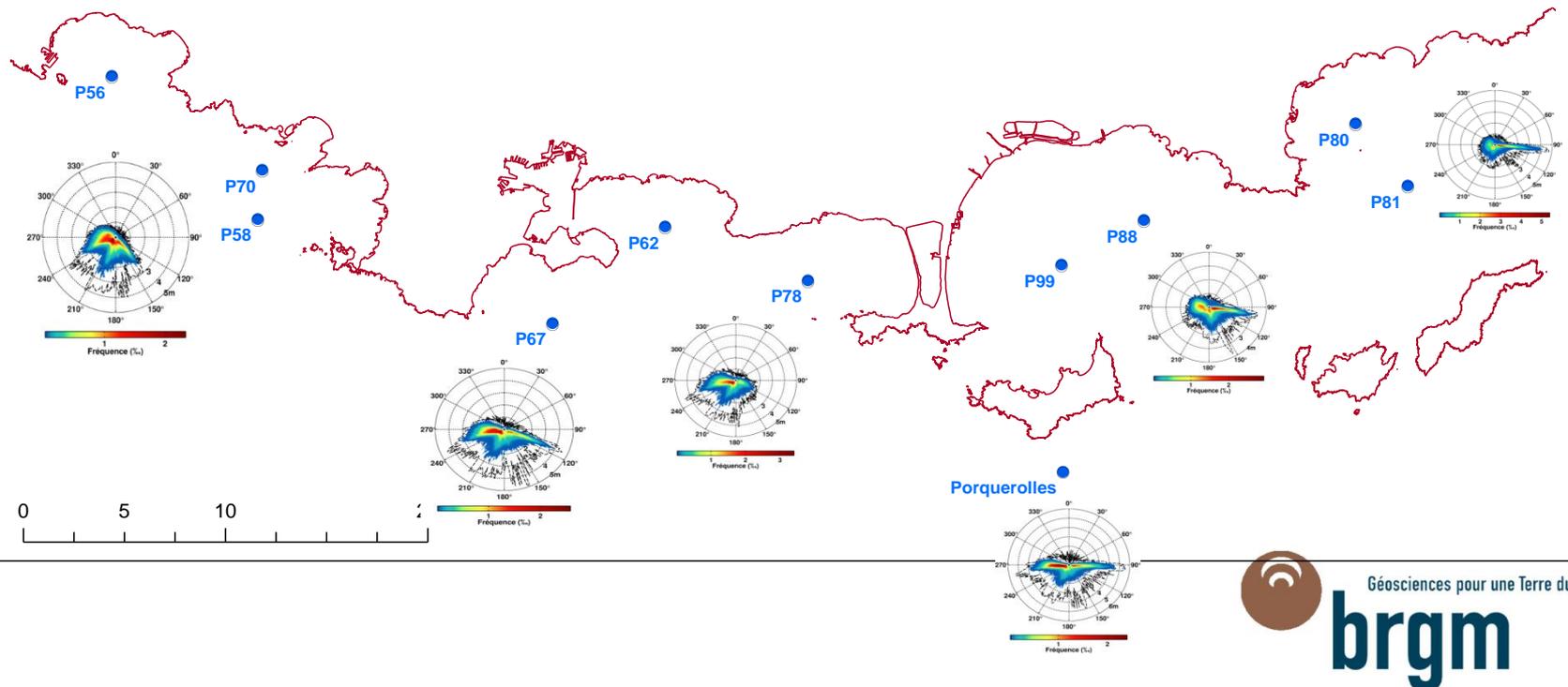
> Données nécessaires pour le calcul des niveaux

- Valeurs de marée et surcote (SHOM-CEREMA)
- Caractéristiques de la houle au large (BRGM)
- Pente de la plage (Litto3D)



> Statistiques des vagues au large du littoral varois

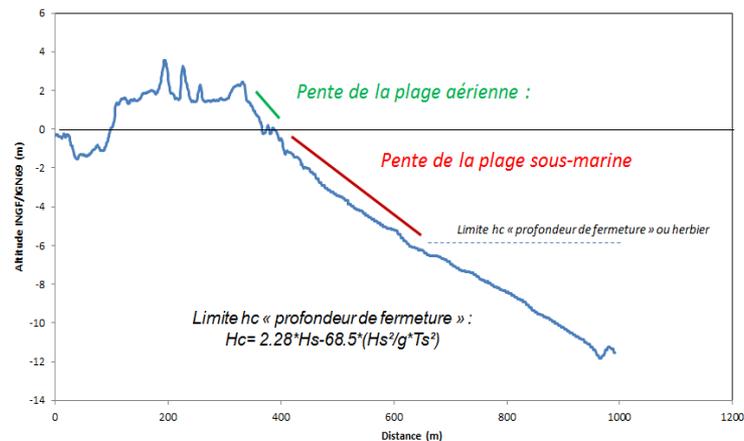
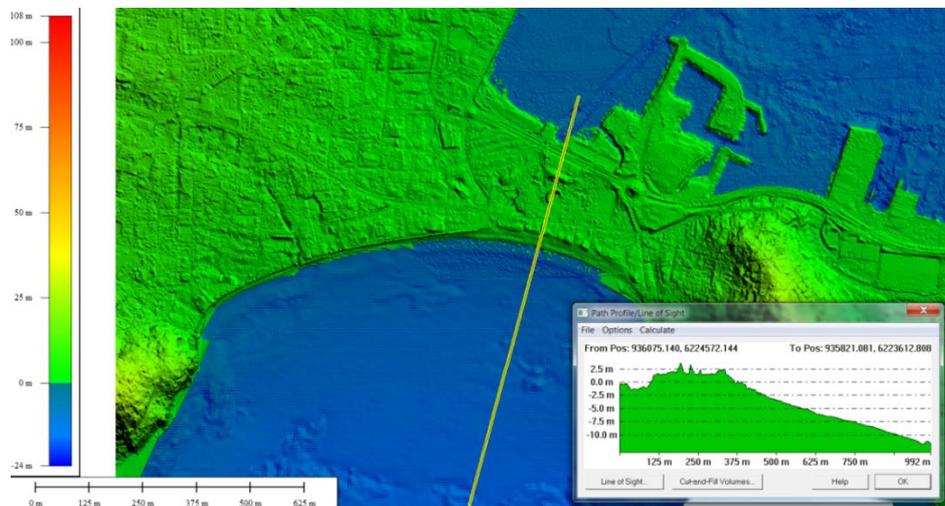
- Re-analyse des vents 1979-2009 (CSFR)
- Pas de temps horaire
- Détermination des périodes de retour des évènements de tempête sur les bouées virtuelles pour chacune des grandes baies
- Période de retour centennale retenue



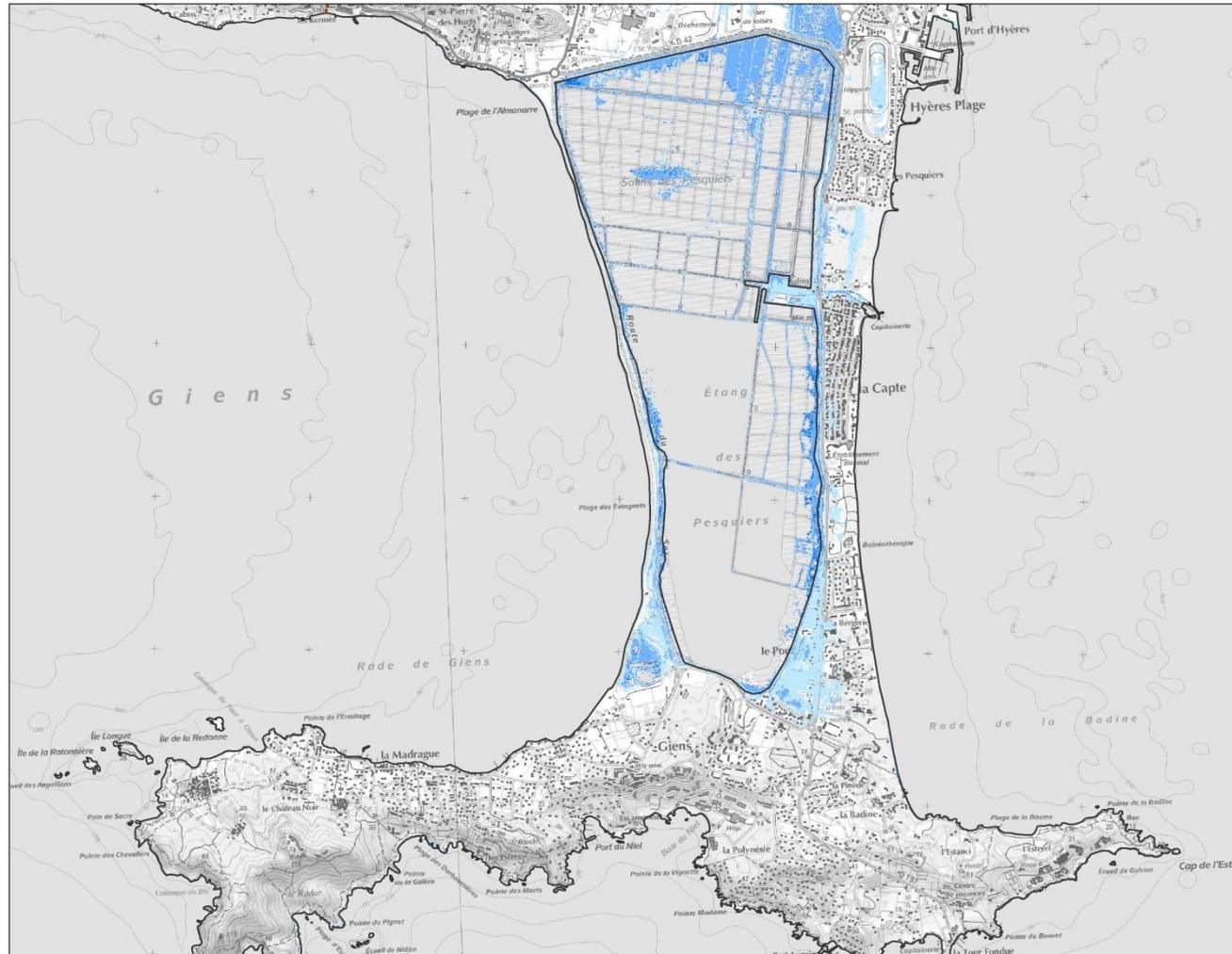
Calcul des pentes

> Calcul semi-automatique le long des profils (espacement = 50 m)

- MNT 1 m
- ArcGIS (v10)
- Module DSAS (USGS)
- Limite terre-mer et en Mer



- > Calcul des zones exposées à l'aléa submersion
- > Contrôles avec connaissance locale et analyse historique pour la situation actuelle



Cartographie de l'aléa submersion marine

SCoT Provence Méditerranée

Aléa pour la situation actuelle

- Surcote centennale
- Vagues de période de retour 100 ans
- Pas d'élévation du niveau marin liée au changement climatique global

Légende

Hauteur d'eau du niveau statique

- 0 - 0.5 m (aléa faible)
- 0.5 - 1 m (aléa moyen)
- > 1 m (aléa fort)

- Trait de côte HISTOLITT (SHOM)
- Limite de commune

0 0,25 0,5 1 1,5 2 Km

Sources : © IGN-Scan 1/25 000 © (2010) - © IGN-BD CARTO © limites des communes (1/100 000) - 2010

CARQUEIRANNE - PRESQU'ILE DE GIENS (HYERES)



Cartographie de l'aléa submersion marine

SCoT Provence Méditerranée

Aléa à l'horizon 2100

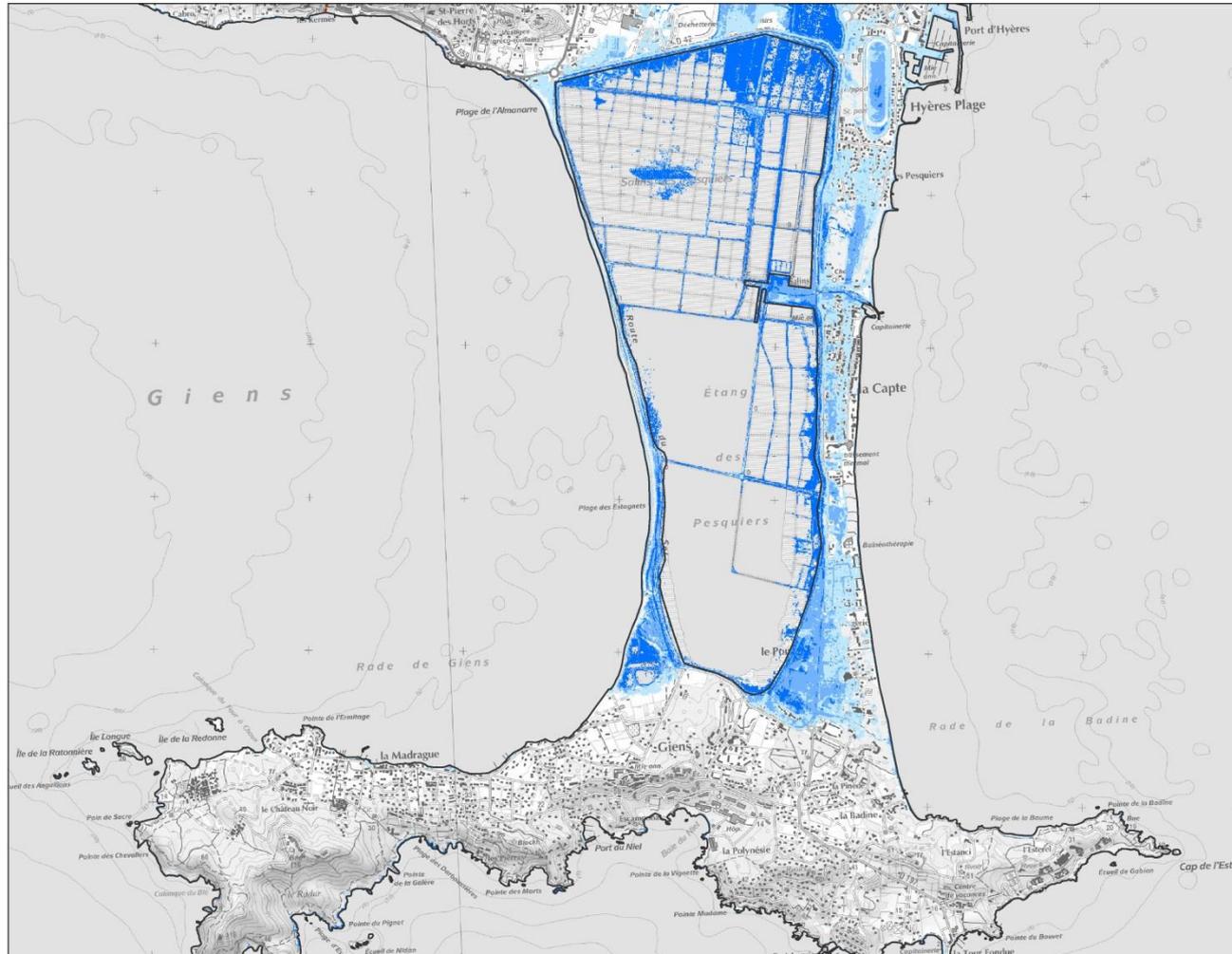
- Surcote centennale
- Vagues de période de retour 100 ans
- élévation de +0.60 du niveau marin liée au changement climatique global

Légende

Hauteur d'eau du niveau statique

- 0 - 0.5 m (aléa faible)
- 0.5 - 1 m (aléa moyen)
- > 1 m (aléa fort)

- Trait de côte HISTOLITT (SHOM)
- Limite de commune



Sources : © IGN-Scan 1/25 000 © (2010) - © IGN-BD CARTO © limites des communes (1/100 000) - 2010



4 – Modélisation dynamique de la submersion marine à haute résolution (en milieu urbain)

> **Spécificités:**

- Données topographiques fines (MNE): description détaillée du bâti, murs, murets, etc... Il n'existe pas de produit standard
- Description fine de l'occupation de sol : plage, forêts, pelouses, chemin (asphalte, terre, ..). Pas de produit standard
- Submersion marine/inondation fluviale : nécessite également la prise en compte des vagues (franchissement par paquets de mer) Formules semi-empiriques/modélisation vague à vague
- Ecoulements complexes à cause des interactions avec le bâti: variations rapides des écoulements (vitesses et directions), pentes importantes, traitement interface sèche/mouillée.. . Nécessite des modèles spécifiques.

> **En PACA**

- Projet ALDES (Alerte Descendante – MI/DGSC, CEA, Ifremer, BRGM...) — Nice, Antibes et Bandol
- Projet Modélisation de la submersion sur le Ceinturon (Ville d'Hyères, lauréate Appel à Projet MEDDE - Relocalisation des activités et des biens)

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

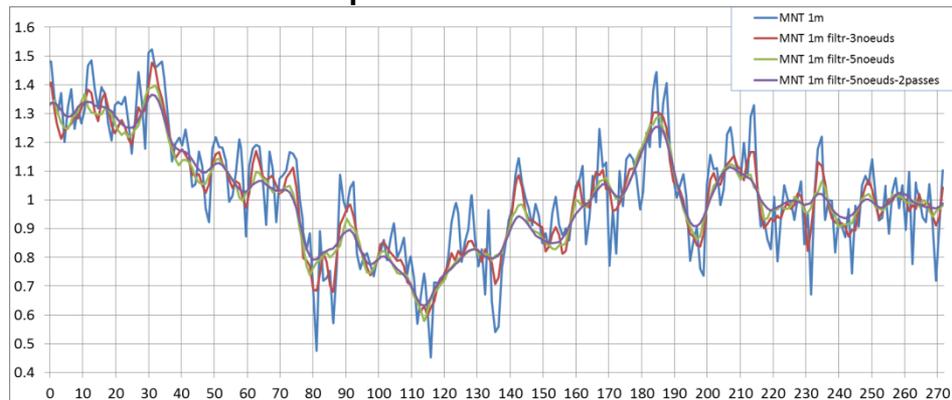
> **Limites**

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

Traitements

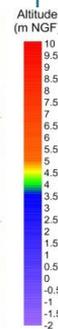
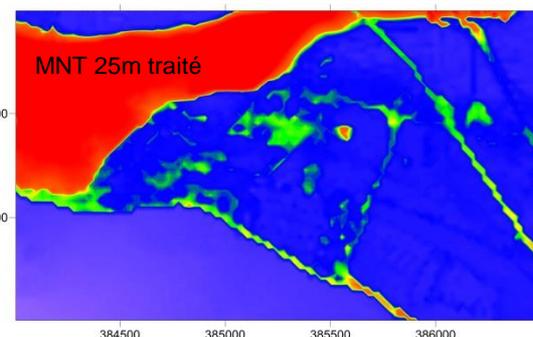
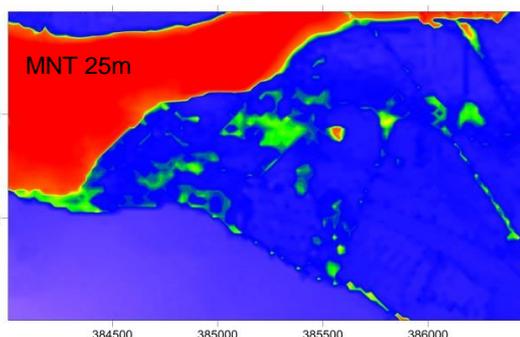
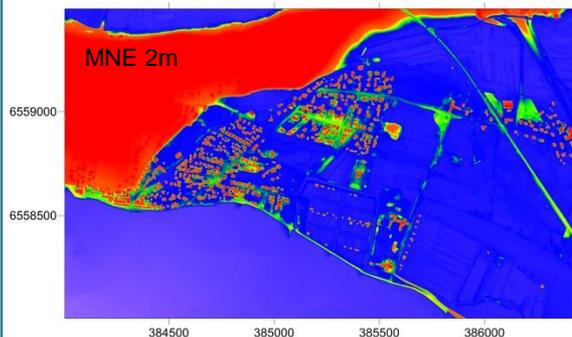
> Traitements spécifiques

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



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

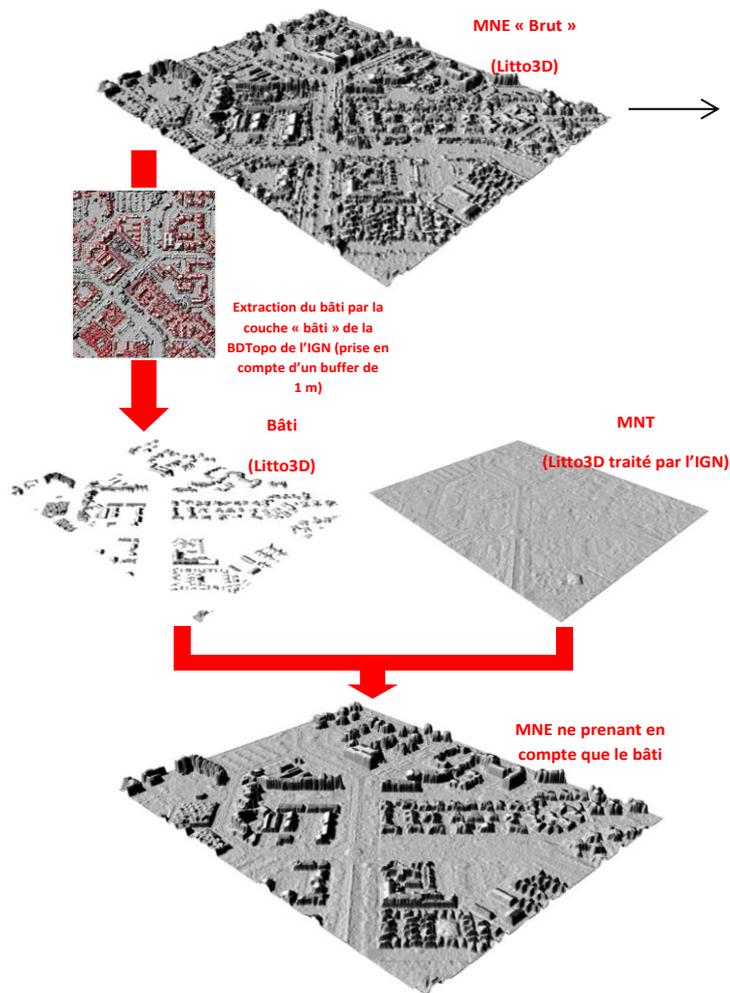
- Contrôle directement le volume franchissant / débordant
- Généralement sous-estimée lors d'un rééchantillonnage direct
- Nécessité de traitement spécifique



Traitements

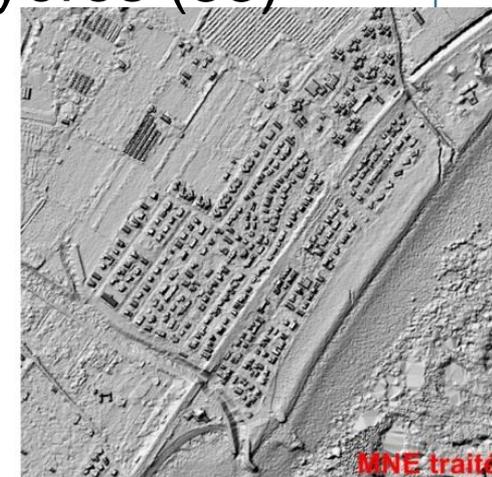
> Traitements spécifiques

- 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

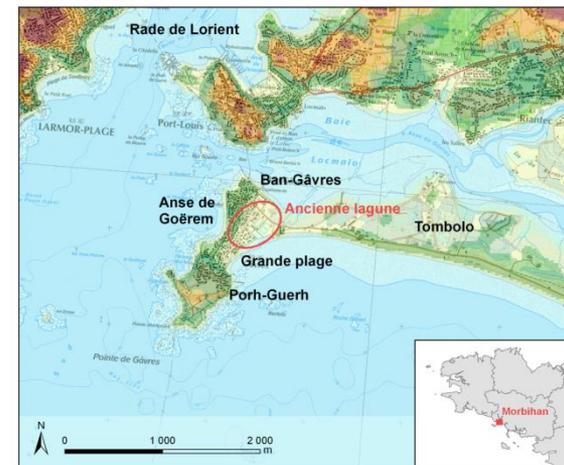
> Tempête Johanna (10 mars 2008)

- 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



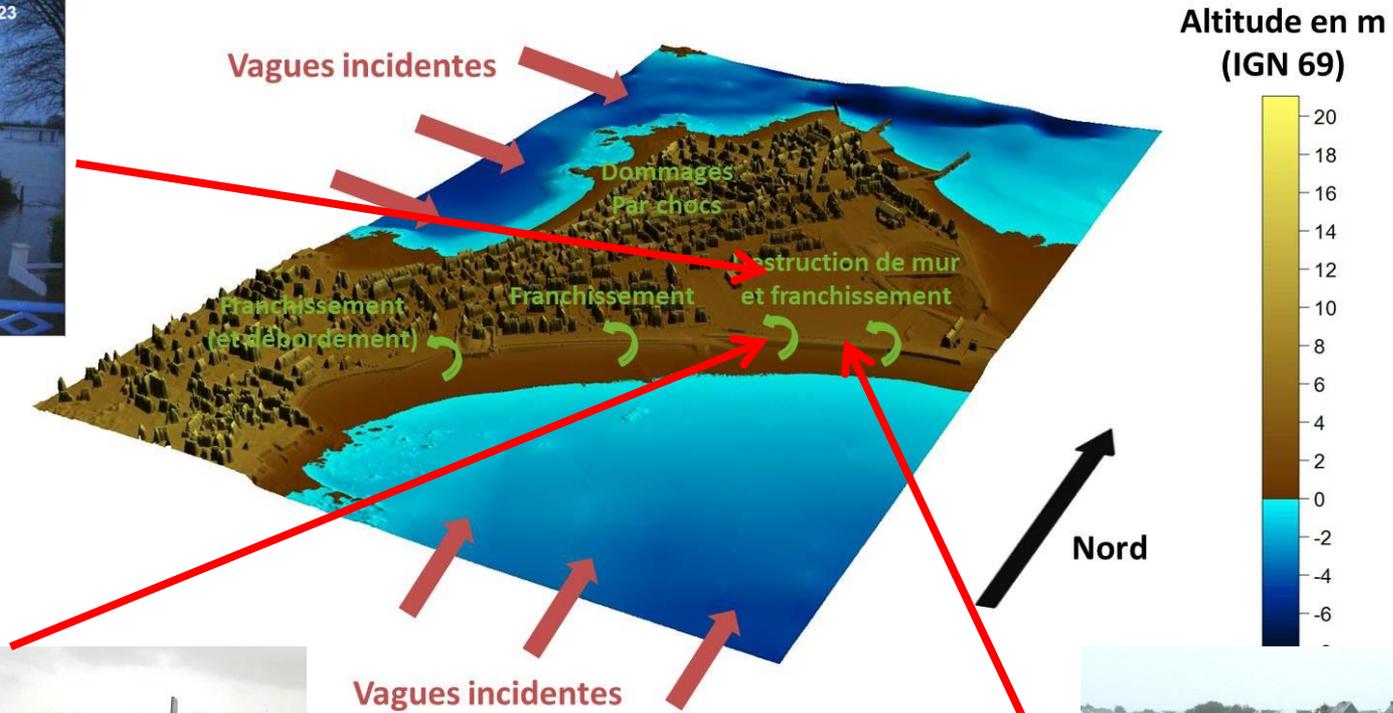
Photographie DDTM 56

Projet
Johanna

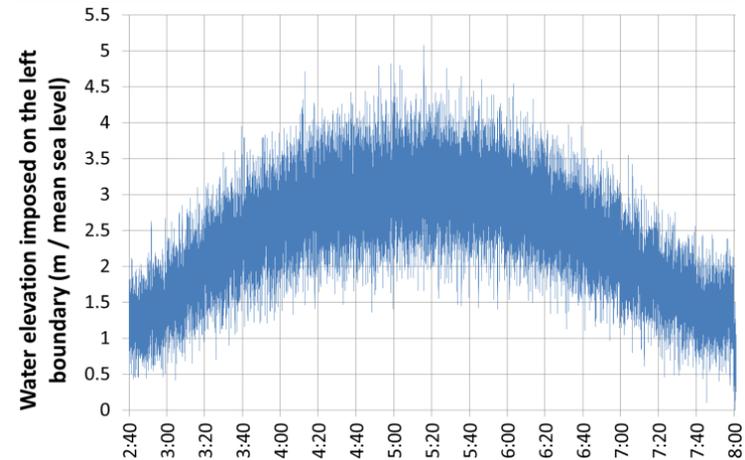
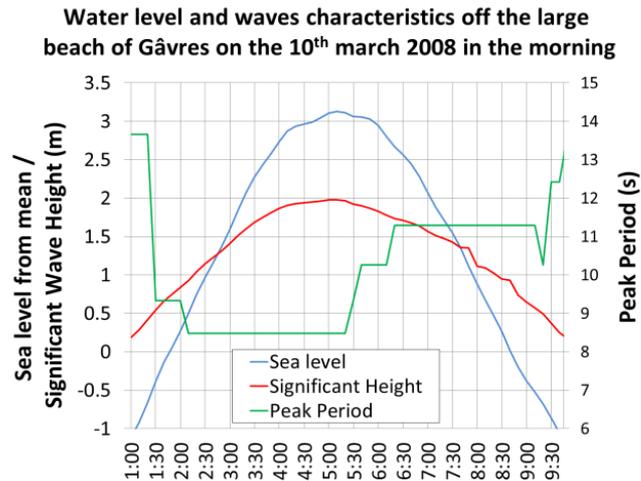


Tempête Johanna à Gâvres: Vagues et Franchissement (2/5)

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:

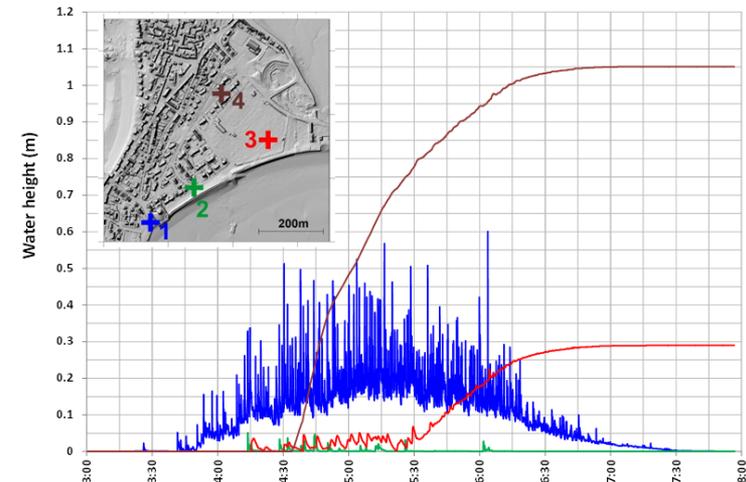
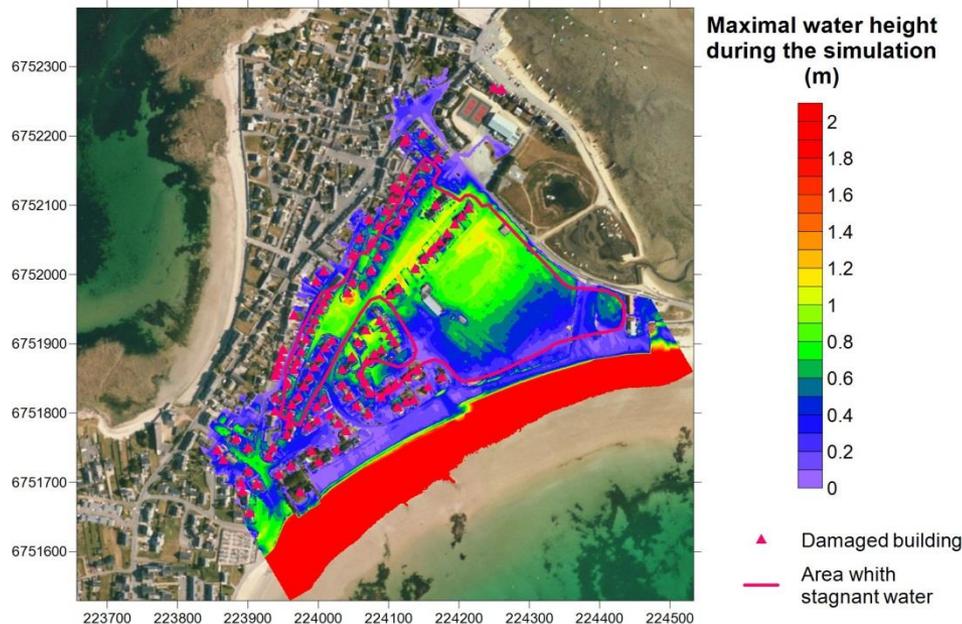
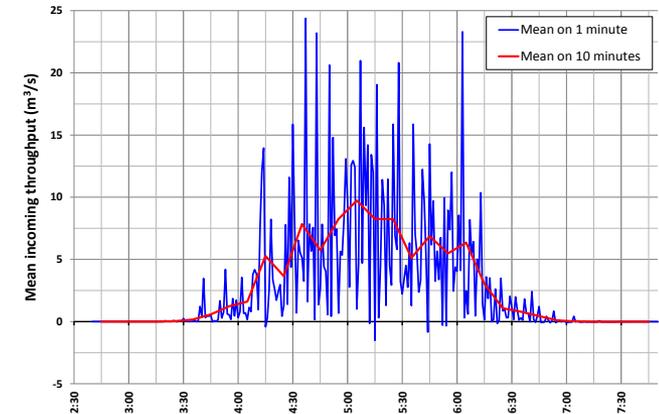
- Homogènes le long de la limite
- Parallèles à la limite

Le Roy et al. (2014a)

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

> Dynamique des franchissements et de l'inondation

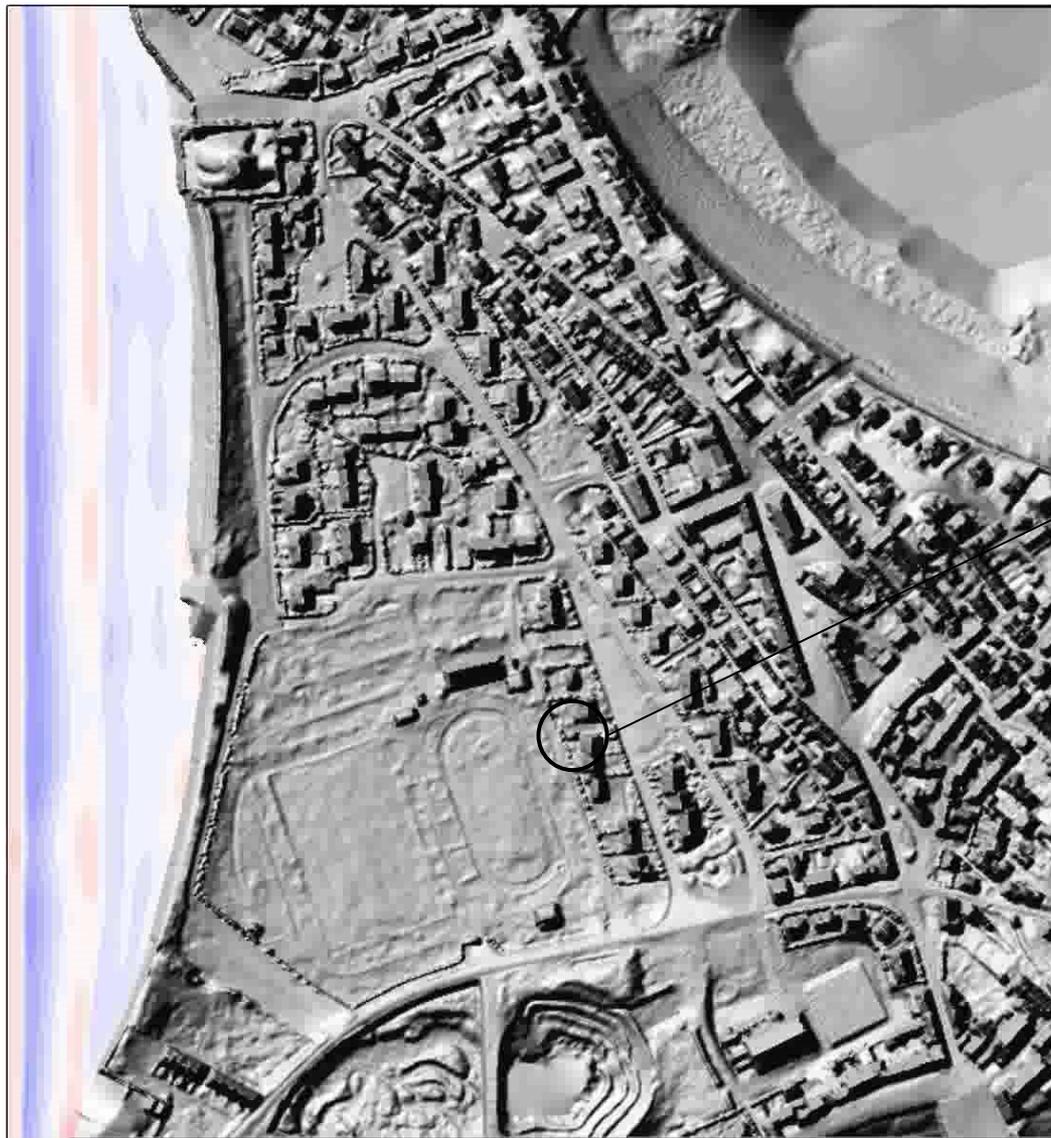
- À partir de 03h20 par la rue de le Plage, et 03h40 par la digue
- Maximum de franchissement vers 05h00
- Fin des franchissements vers 06h40
- Ruissellement de l'eau le long de la rue du Parc des Sports et du terrain de foot



Le Roy et al. (2014a)

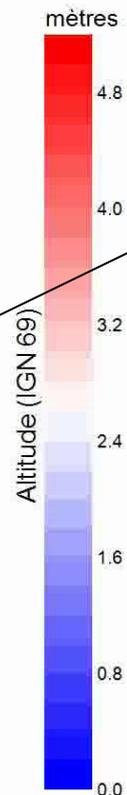


Tempête Johanna à Gâvres: Vagues et Franchissement (5/5)



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'Aiguade

> **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



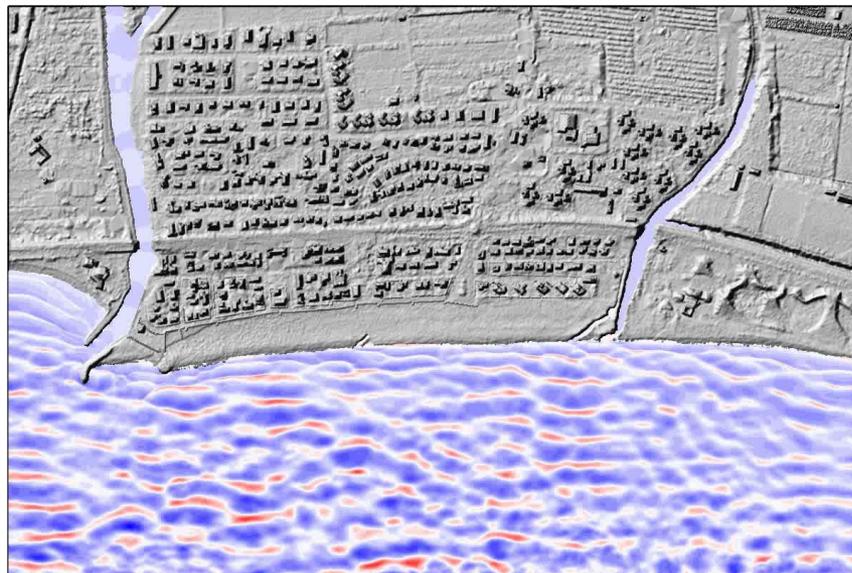
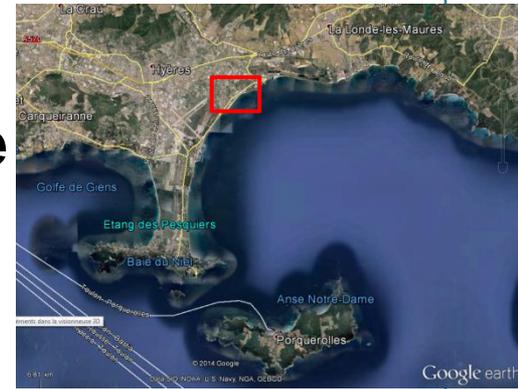
Photographies Ville d'Hyères



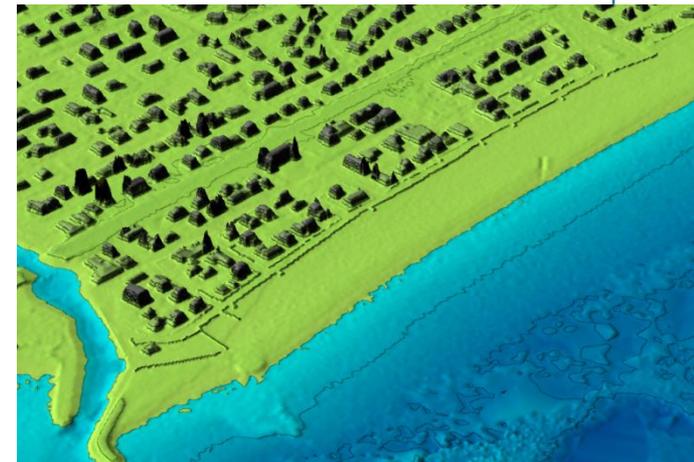
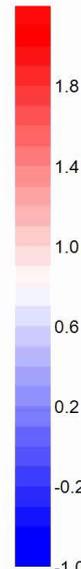
Submersion à Hyères: Vagues et Franchissement (2/2)

> 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)

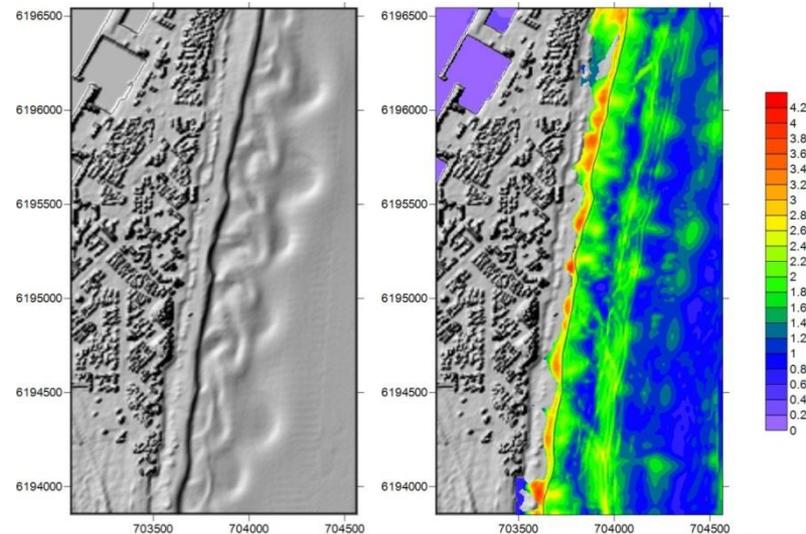


Tsunami à Barcarès: Vagues / Franchissement

- 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

sciences pour une Terre durable

brgm

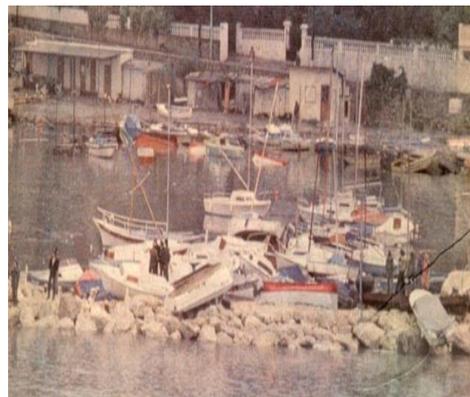
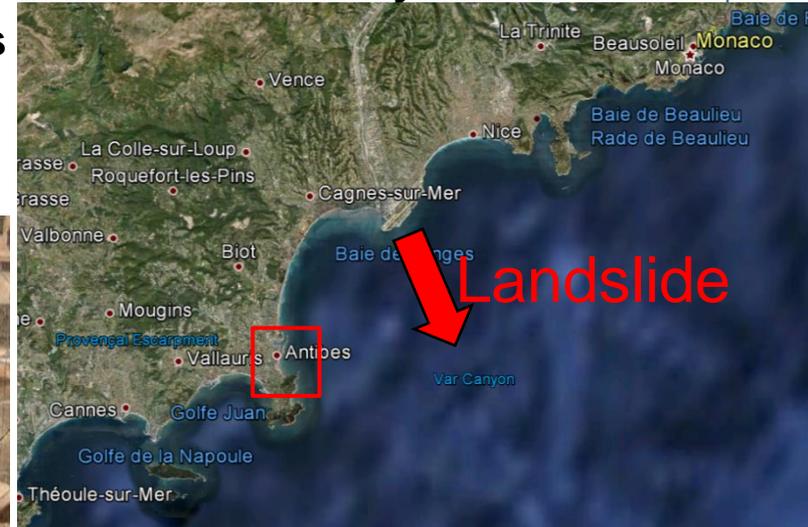
Tsunami à Antibes: Milieu urbain (1/2)

> 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



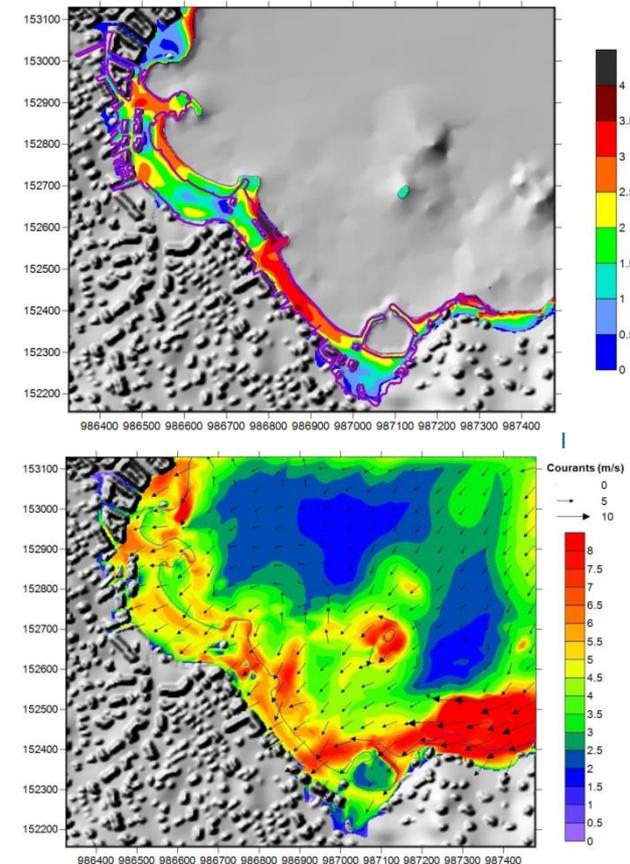
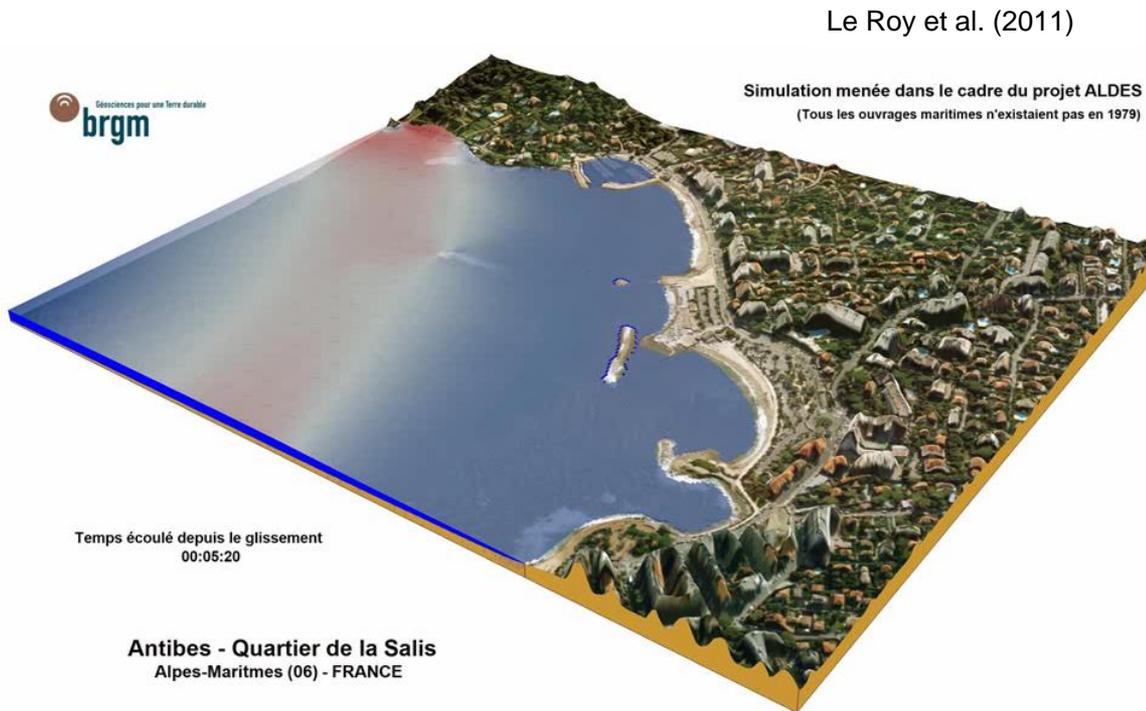
Photographies

Nice-Matij Le Roy et al. (2011)

Tsunami à Antibes: Milieu urbain (2/2)

> Simulation du tsunami de Nice en 1979 à Antibes

- Génération – propagation du tsunami avec le modèle GEOWAVE^{*}
- Submersion avec le modèle SURF-WB^{**}
- Validation de la modélisation BRGM avec la reconstitution de la zone inondée observée^{***}



(*) 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

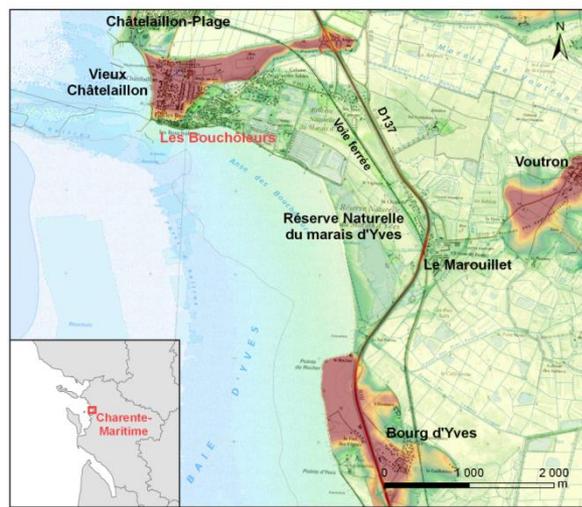
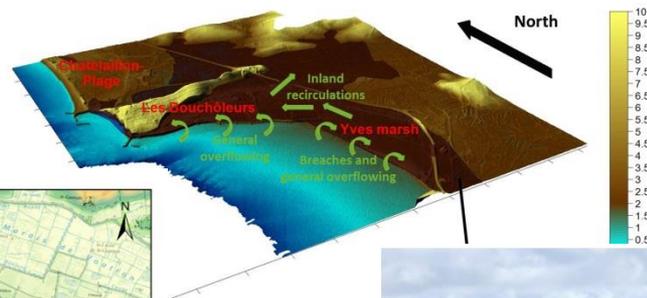
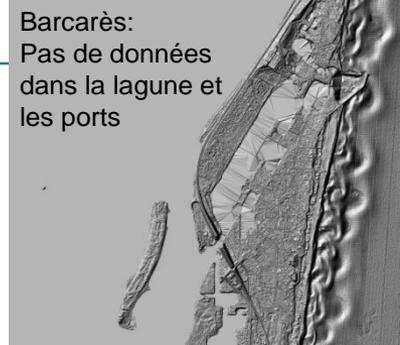
- Simulation des vagues et du franchissement
- Effets de la bathymétrie
- Représentation explicite du bâti

> 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)



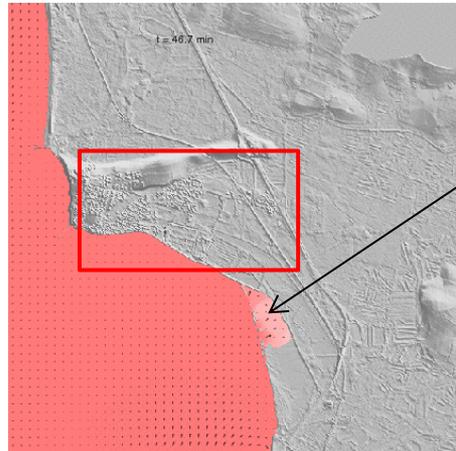
2. Brèche (6) Gaveau – Photo P. Sauvage (Cdl)



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

Limites: érosion / défaillance

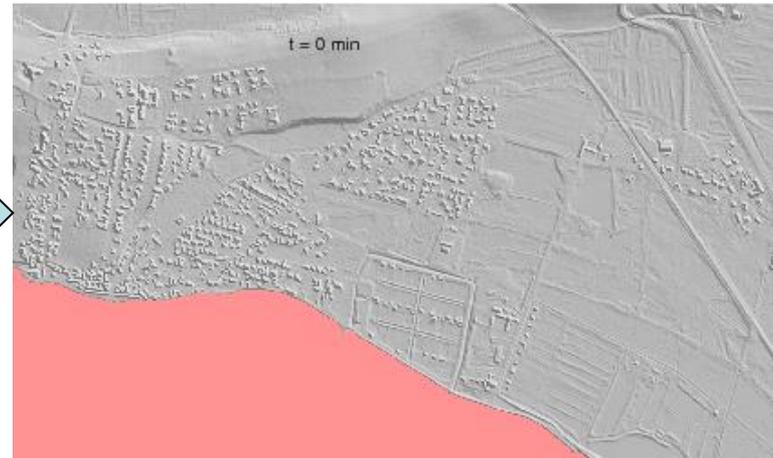
> Exemple des Bouchôleurs (17) pendant Xynthia



Débordement à 10m de résolution

Erosion et brèches
intégrées dès le
début de la
simulation

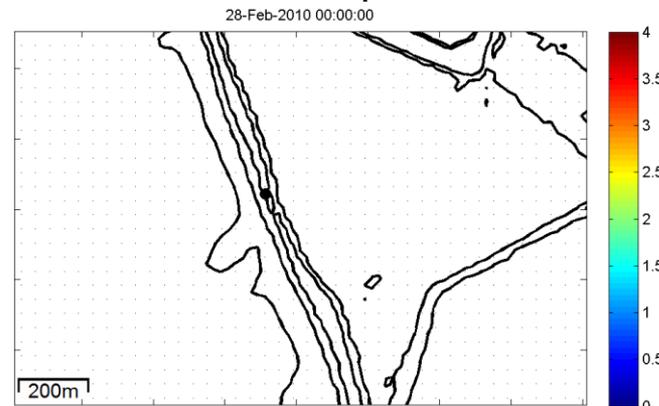
Conditions
Aux
Limites



Débordement à 2m de résolution sur le village

> Solutions alternatives

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

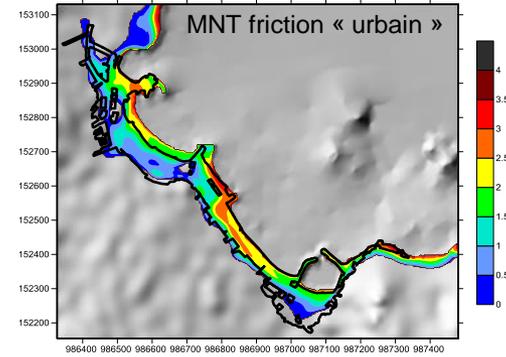
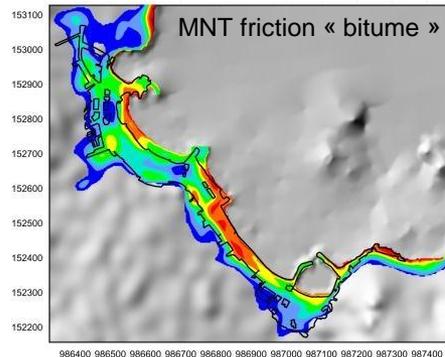
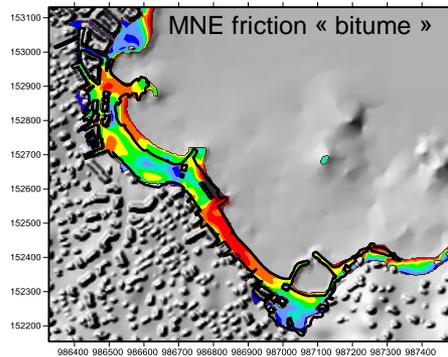


Muller et al. (2014)

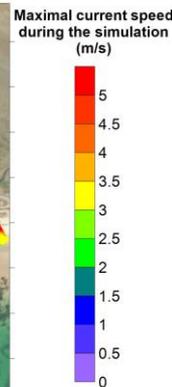
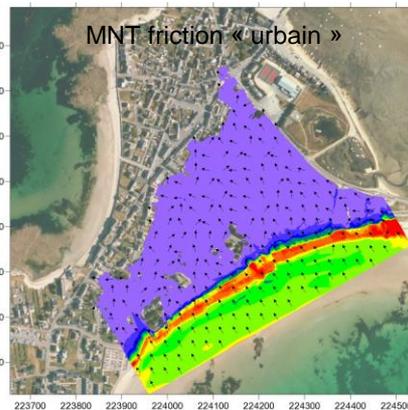
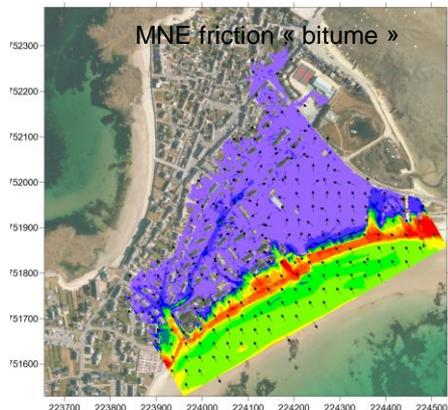
Conclusion

- > 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



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

> **Projet en cours 2015-2016 sur la Camargue pour développer des solutions (BRGM/DDTM13)**