

## Surveillance des mouvements du sol à partir d'images satellite radar



# Agenda

---

## Présentation ALTAMIRA INFORMATION

### Introduction à la technique radar InSAR

### Exemples projets INSAR

- Infrastructures portuaires : digues, terrain gagné sur la mer (plateformes)
- Villes côtières : projets EOWORLD Jakarta et Guyana
- Subsidence dans les estuaires Gironde et Loire : Projet EIB/ESA

### Conclusion

## ALTAMIRA INFORMATION

est une société bénéficiant d'une grande expérience acquise dans  
l'observation de la terre  
proposant des mesures de mouvement du sol d'une précision  
millimétrique  
à partir d'images satellites radar, technologie InSAR.





**ALTAMIRA INFORMATION & Groupe CLS**  
**Une offre de service intégrée pour l'industrie, l'environnement  
et la sécurité.**



# Agenda

---

## Présentation ALTAMIRA INFORMATION

### Introduction à la technique radar InSAR

#### Exemples projets INSAR

- Infrastructures portuaires : digues, terrain gagné sur la mer (plateformes)
- Villes côtières : projets EOWORLD Jakarta et Guyana
- Subsidence dans les estuaires Gironde et Loire : Projet EIB/ESA

#### Conclusion

# Introduction à la technologie InSAR

## InSAR et les satellites

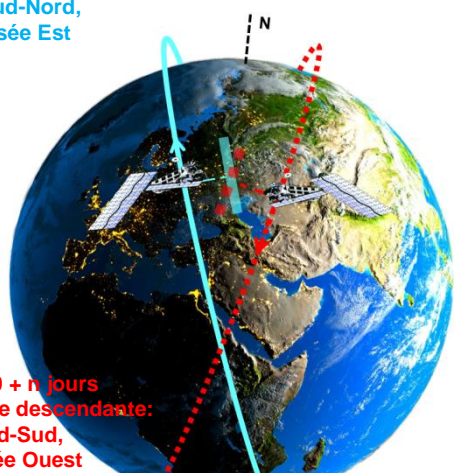
**I**n terferometric =

Superposition  
d'ondes pour  
détecter les  
différences

**S**ynthetic  
**A**pertura  
**R**adar =

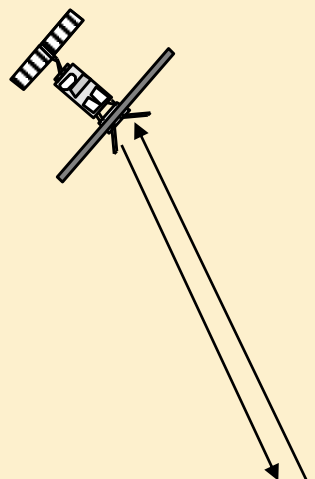
Système radar  
haute résolution

$t = T_0$   
Orbite ascendante:  
- Sud-Nord,  
- visée Est



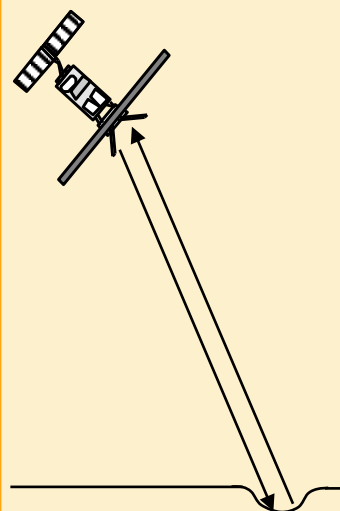
$t = T_0 + n$  jours  
Orbite descendante:  
- Nord-Sud,  
- Visée Ouest

## Mesure Temps 1



Le temps mesuré entre  
l'émission et la  
réception du signal  
donne une distance  
d'une précision  
millimétrique

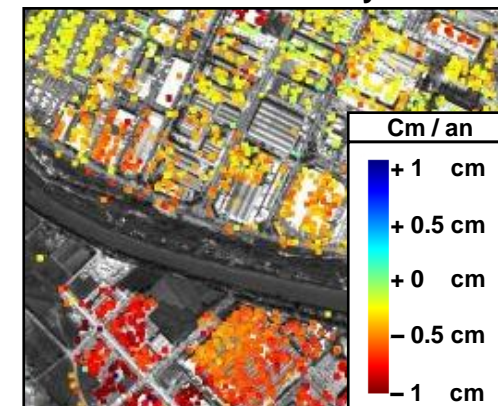
## Mesure Temps 2



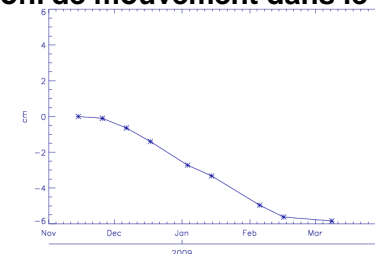
La différence  
mesurée entre T1  
et T2 indique un  
mouvement du  
sol

## Résultats

Carte de mouvement moyen annuel



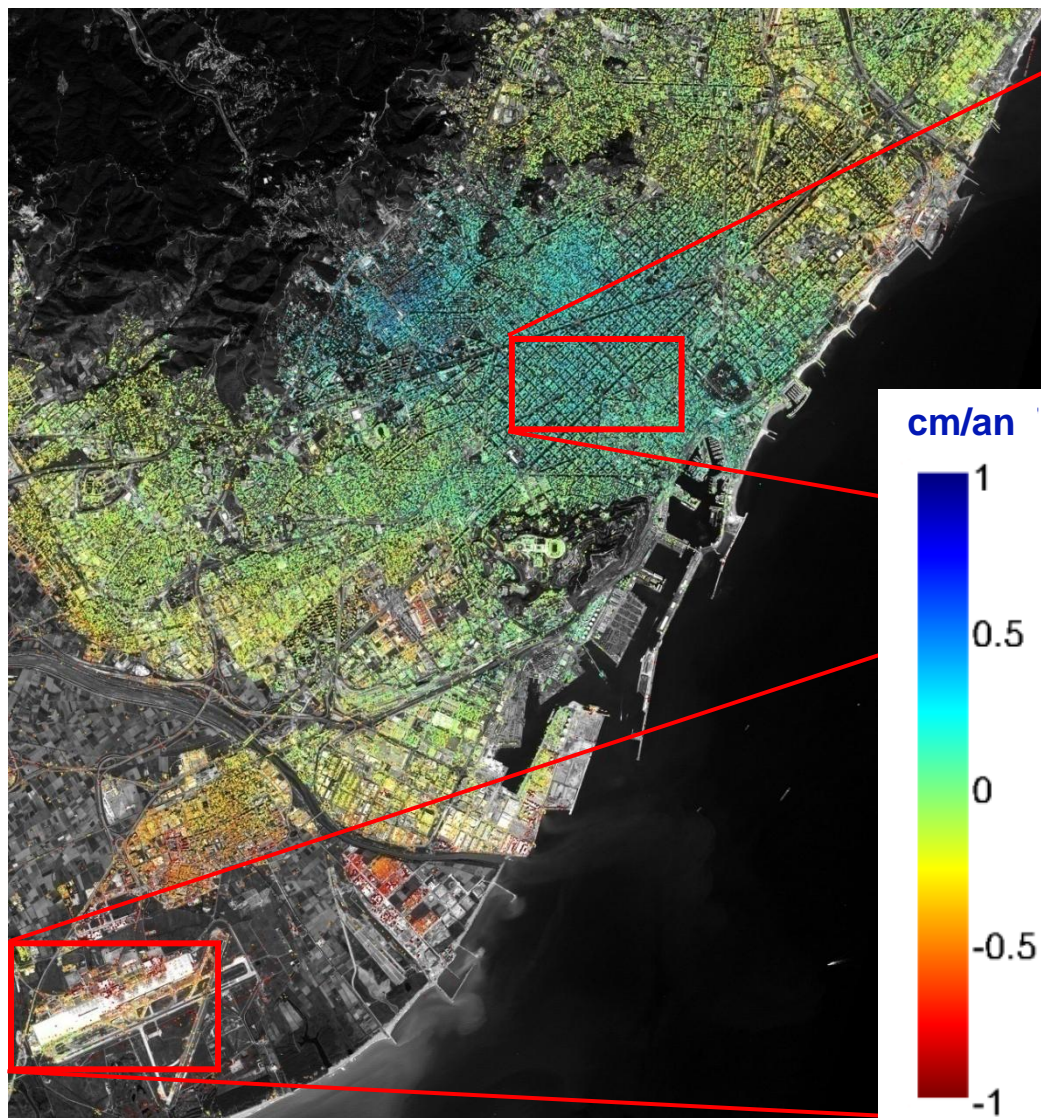
Profil de mouvement dans le temps



Pour un point spécifique

**Les mouvements du sol sont mesurés par les satellites radar, en comparant le temps entre l'émission et la réception du signal à différents moments.**

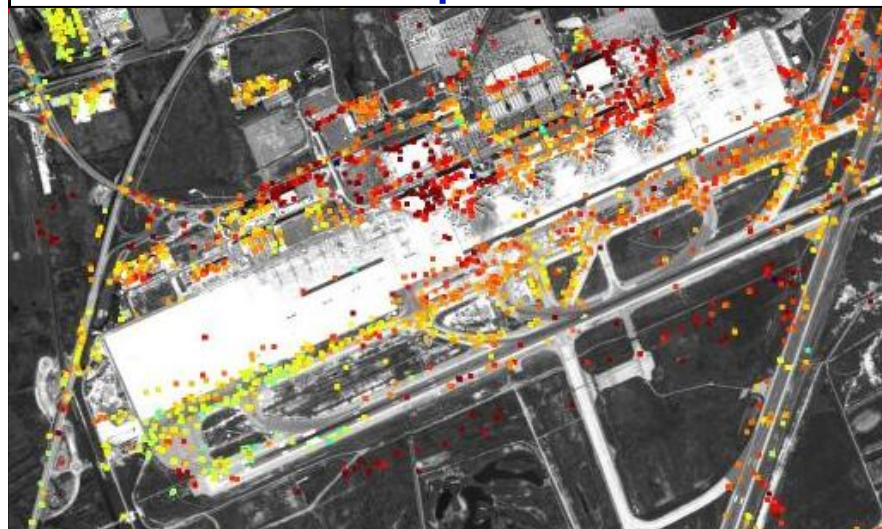
# Subsidence moyenne du sol mesurée à Barcelone entre 2003-2007



Zoom: Centre de Barcelone



Zoom: Aéroport de Barcelone



# Introduction à la technique radar InSAR

## Les missions satellite radar

### ERS-1



Lancement: Juillet 1991  
Opérateur: Agence Spatiale Européenne  
Longueur d'onde: Bande C

### ERS-2



Lancement: Avril 1995  
Opérateur: Agence Spatiale Européenne  
Longueur d'onde: Bande C

### Radarsat-1



Lancement: Novembre 1995  
Opérateur: Agence Spatiale Canadienne  
Longueur d'onde: Bande C

### ENVISAT



Lancement: Mars 2002  
Opérateur: Agence Spatiale Européenne  
Longueur d'onde: Bande C

### ALOS



Lancement: Janvier 2006  
Opérateur: JAXA  
Longueur d'onde: Bande L

### TerraSAR-X x 2



Lancement: Juin 2007, 2010  
Opérateur: Agence Spatiale Allemande  
Longueur d'onde: Bande X

### Radarsat-2



Lancement: Décembre 2007  
Opérateur: Agence Spatiale Canadienne  
Longueur d'onde: Bande C

### COSMO-SkyMed x 4



Lancement: 2007, 2008, 2010  
Opérateur: Agence Spatiale Italienne  
Longueur d'onde: Bande X

# Agenda

---

## Présentation ALTAMIRA INFORMATION

## Introduction à la technique radar InSAR

### Exemples projets INSAR

- Infrastructures portuaires : digues, terrain gagné sur la mer (plateformes)
- Villes côtières : projets EOWORLD Jakarta et Guyana
- Subsidence dans les estuaires Gironde et Loire : Projet EIB/ESA

## Conclusion

# Applications dans le domaine des infrastructures

## Tunnels



- Tassements occasionnés par la construction de tunnels dans un contexte urbain: trains à grande vitesse, métro...
- Suivi des mouvements au delà du strict tracé de l'ouvrage instrumenté

## Infrastructures réseau



- Suivi des tassements et glissements de talus le long des tracés et zones adjacentes
- Contrôle de la stabilité des ponts et viaducs

## Barrages et canaux



- Suivi de micro sismicité et glissements de terrain générés par les retenues d'eau
- Contrôle des déformations de terrain affectant les canaux

## Ports et aéroports



- Suivi des digues, plateformes et terminaux GNL, terrain gagné sur la mer
- Contrôle des installations aéroportuaires situées sur des terrains instables

## Constructions et bâtiments



- Suivi de l'impact sur les bâtiments de travaux d'infrastructures, activité d'exploitation ou abandon minier
- Etude des déformations passées pour déterminer les responsabilités en cas de désordres

# Agenda

---

## Présentation ALTAMIRA INFORMATION

## Introduction à la technique radar InSAR

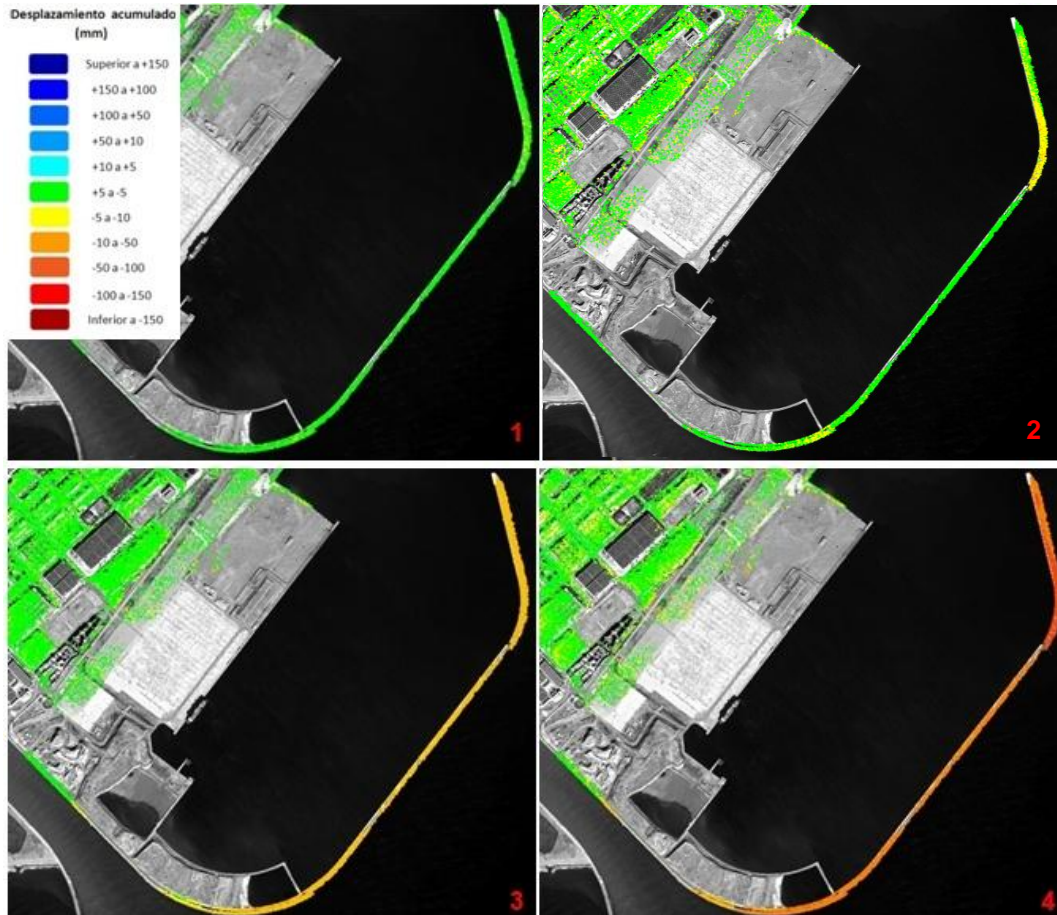
### Exemples projets INSAR

- Infrastructures portuaires : digues, terrain gagné sur la mer (plateformes)
- Villes côtières : projets EOWORLD Jakarta et Guyana
- Subsidence dans les estuaires Gironde et Loire : Projet EIB/ESA

## Conclusion

# Exemple de résultat : suivi déformations des digues

## Evolution du tassement d'une digue récente (Haute Résolution - bande X)

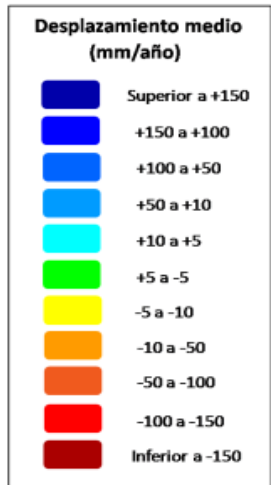


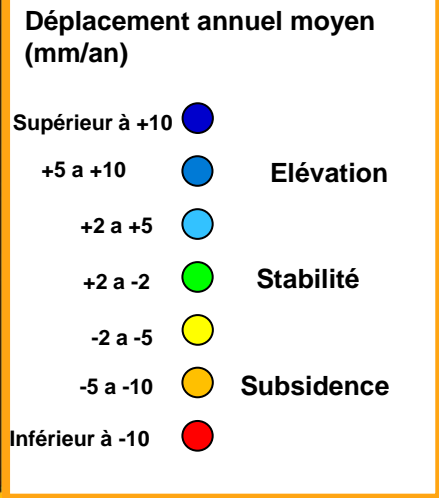
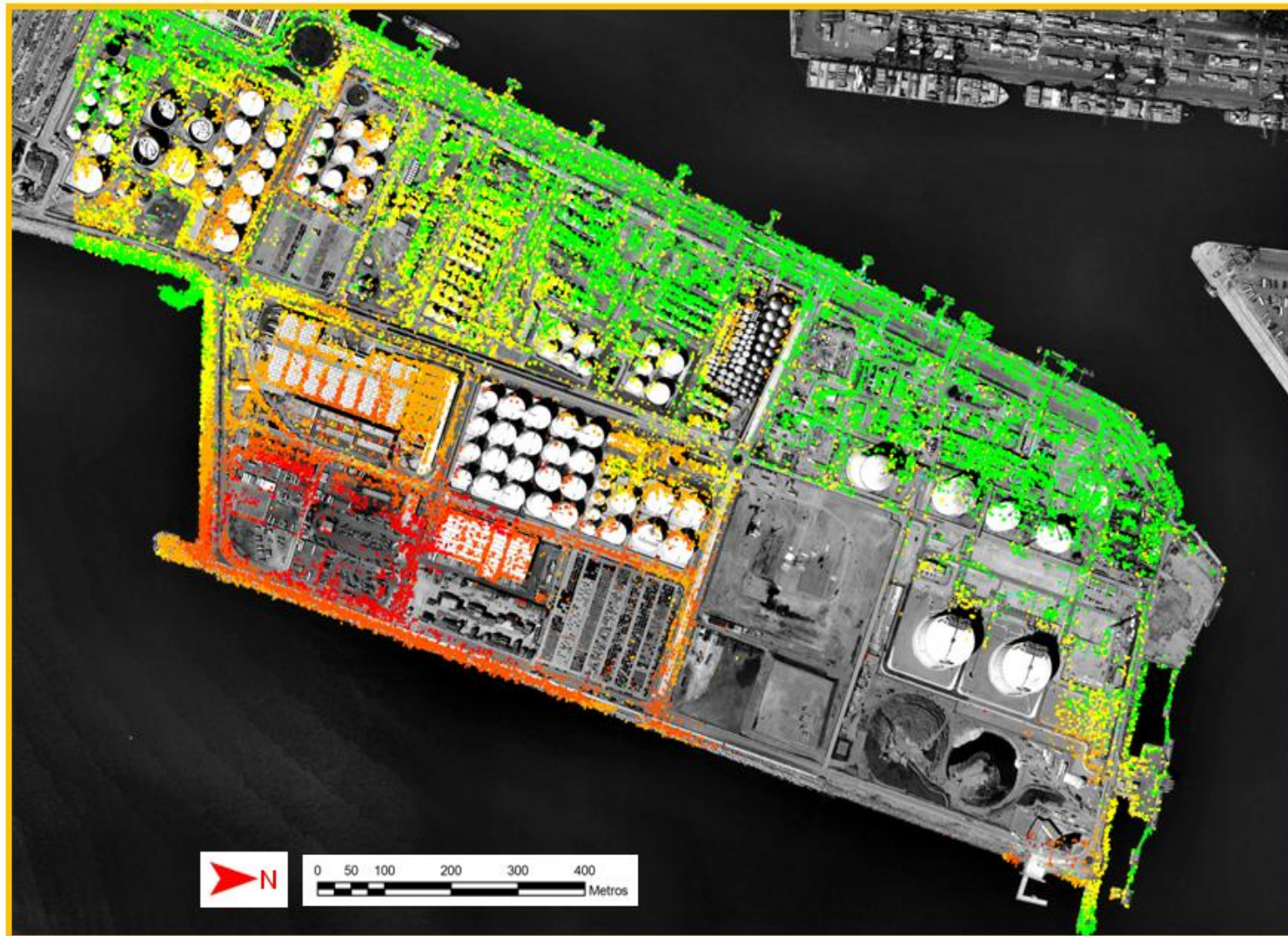
### Contrôle de l'infrastructure janvier - novembre 2009

- Chaque fenêtre montre le taux de déformation cumulé sur les périodes : janvier (1), janvier-février (2), janvier-mars (3) et janvier-novembre (4).
- Le taux le plus élevé (15 cm par an) est mesuré sur la zone de remblais.

# Exemple de résultat : infrastructures portuaires

## Taux moyen annuel de déformations (Haute Résolution - bande X)





# Agenda

---

## Présentation ALTAMIRA INFORMATION

## Introduction à la technique radar InSAR

### Exemples projets INSAR

- Infrastructures portuaires : digues, terrain gagné sur la mer (plateformes)
- Villes côtières : projets EOWORLD Jakarta et Guyana
- Subsidence dans les estuaires Gironde et Loire : Projet EIB/ESA

## Conclusion

- Les projets EOWorld ont pour objectif de démontrer l'utilité des services réalisés à partir de données d'Observation de la Terre
- Altamira a conduit divers projets pilotes dont Jakarta, Indonésie et Georgetown, Guyana
- La thématique principale est la gestion des risques face à des problématiques de subsidence urbaine en zone côtières et contrôle des systèmes de protection (digues...) face aux inondations.

Zones d'étude	Projet
Amérique latine et Caraïbes	Mise en place d'un système de contrôle des moyens de protection face aux inondations en Guyana
Asie du Sud-Est Pacifique	Analyse de la subsidence affectant Jakarta, Indonésie

# Exemple projet : EOWorld, Jakarta, Indonésie

## Analyse des déformation du sol : contexte



Jakarta, Indonésie

- Jakarta est la capitale de l'Indonésie avec une population d'environ 9 million d'habitants, résidants sur une zone d'environ 660 Km<sup>2</sup>.
- La subsidence du sol qui affecte Jakarta est principalement due à la surexploitation des eaux souterraines profondes.
- La subsidence dans la zone au nord de Jakarta atteint 15-25 cm/an.
- Cette subsidence a été mesurée par des méthodes in-situ depuis les années 80.



# Exemple projet : EOWorld, Jakarta, Indonésie

## Analyse des déformations du sol : observations terrain



### Conséquences de la subsidence, observées à Jakarta... Infrastructures

Crack on the house at Mutiara

Crack on the house at Mutiara

Crack on the wall at Muara baru

Crack on the house at Muara baru

Crack on the street at Priok

Crack on the street at Priok

Dysfunction of drainage

Crack on the house at Tongkol

Lowering House at Pluit

Crack on the House at Pluit

Lowering house level at Tongkol

Dysfunction of Drainage at Tongkol

Crack on the bridge at Tongkol

# Exemple projet: EOWorld, Jakarta, Indonésie

## Analyse des déformation du sol : archives satellite

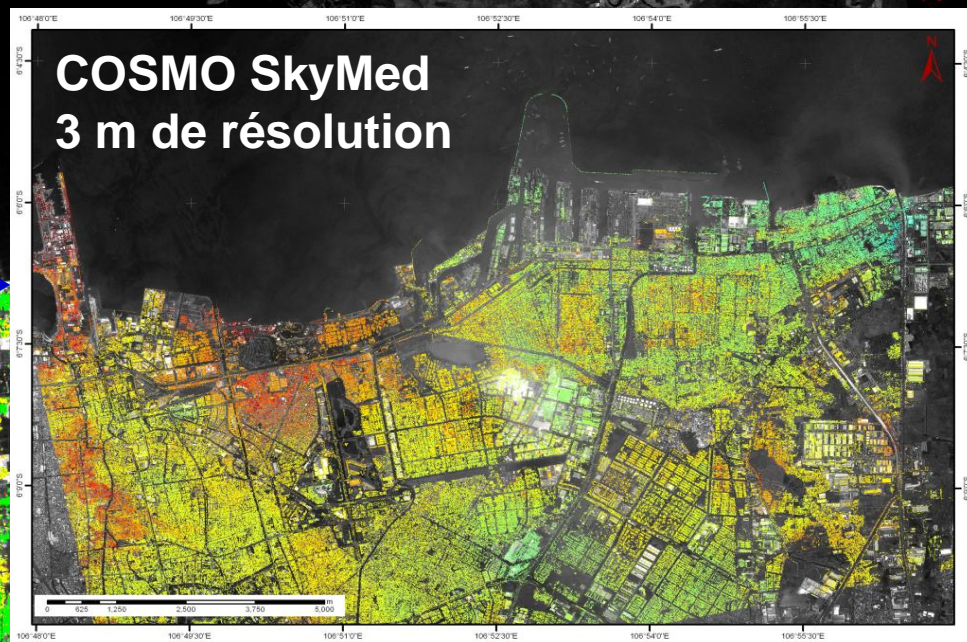
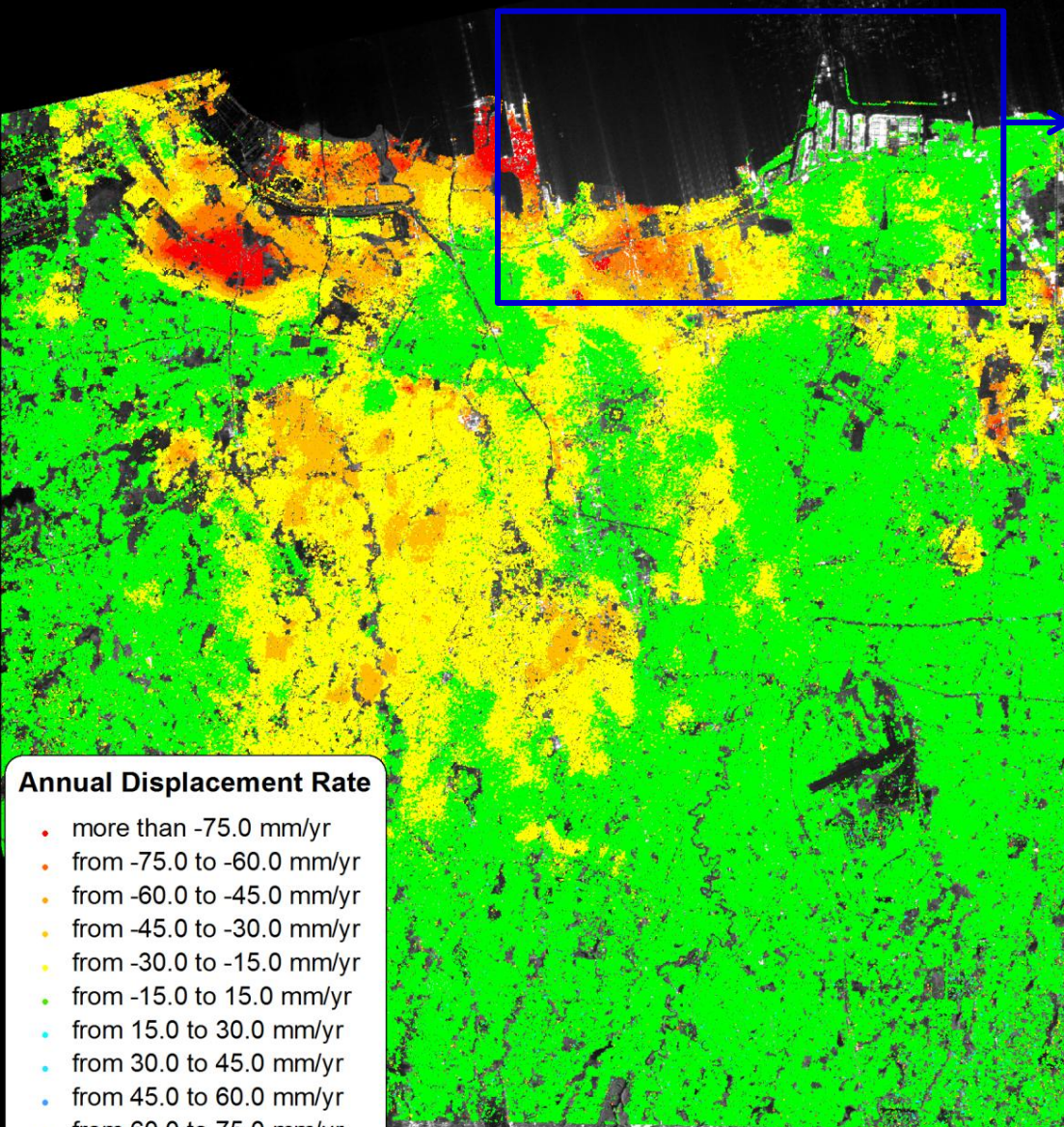


- Deux études ont été conduites en parallèle à partir de différents satellites, missions optimales dans des contextes urbains avec des mouvements de forte magnitude :

- Superficie analysée : **1700 km<sup>2</sup>**
- ALOS : mesure de fortes déformations et couvre 4 années d'observation (2007-2011)
- COSMO-SkyMed : forte densité de points de mesure obtenue en zone urbaine.

	ALOS PALSAR	COSMO-SkyMed
Résolution spatiale	30 m	12 m
Précision localisation absolue	>1-2 m	
Précision mesure de vitesse	5 mm/an	3 mm/an
Précision absolue (séries temporelles)	7 mm	5 mm

# ALOS PALSAR 30m de résolution



### Annual Displacement Rate

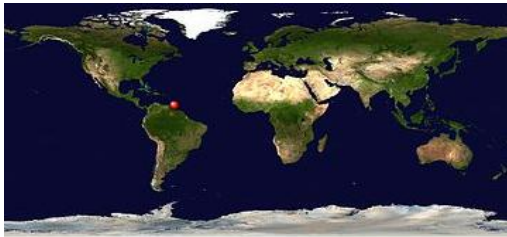
- more than -75.0 mm/yr
- from -75.0 to -60.0 mm/yr
- from -60.0 to -45.0 mm/yr
- from -45.0 to -30.0 mm/yr
- from -30.0 to -15.0 mm/yr
- from -15.0 to 15.0 mm/yr
- from 15.0 to 30.0 mm/yr
- from 30.0 to 45.0 mm/yr
- from 45.0 to 60.0 mm/yr
- from 60.0 to 75.0 mm/yr
- more than 75.0 mm/yr



### ❖ Mesures à partir des données Haute Résolution

- **Meilleure résolution spatiale des missions Haute Résolution pour:**
  - Une information plus précise sur l'évolution spatiale de la subsidence
  - Une évaluation des mouvements affectant une infrastructure en particulier (bâtiment, infrastructure stratégique, monument historique...) est possible
  - Une l'identification des zones à risques non connues car ne faisant pas l'objet d'une surveillance in-situ.
  
- **Plus grande répartition temporelle des mesures grâce à la haute fréquence de revisite des missions haute résolution.**
  - Une information précise des changements de tendance de la subsidence (accélération, stabilisation, soulèvement du sol...)
  - Des mouvements rapides peuvent être surveillés.
  
- **Haute fréquence de revisite :**
  - Constitution rapide du jeu de données nécessaire au démarrage du monitoring.
  - Mise à jour aisée des changements sur les zones affectées par les déformations.

## Evaluation du système de protection contre les inondations : contexte



Georgetown, Guyana

- Environ 90% de la population se concentre sur la plaine côtière située à 1.4 mètres en dessous du niveau de la mer.
- La ville de Georgetown est protégée des inondations par un système de protection formé de digues, canaux de drainage, murs de blocs, etc.
- Nécessité d'évaluer les dommages causés par les inondations précédentes, problèmes liés à la remontée du niveau de la mer et adaptation aux changements climatiques



## Evaluation du système de protection contre les inondations : données



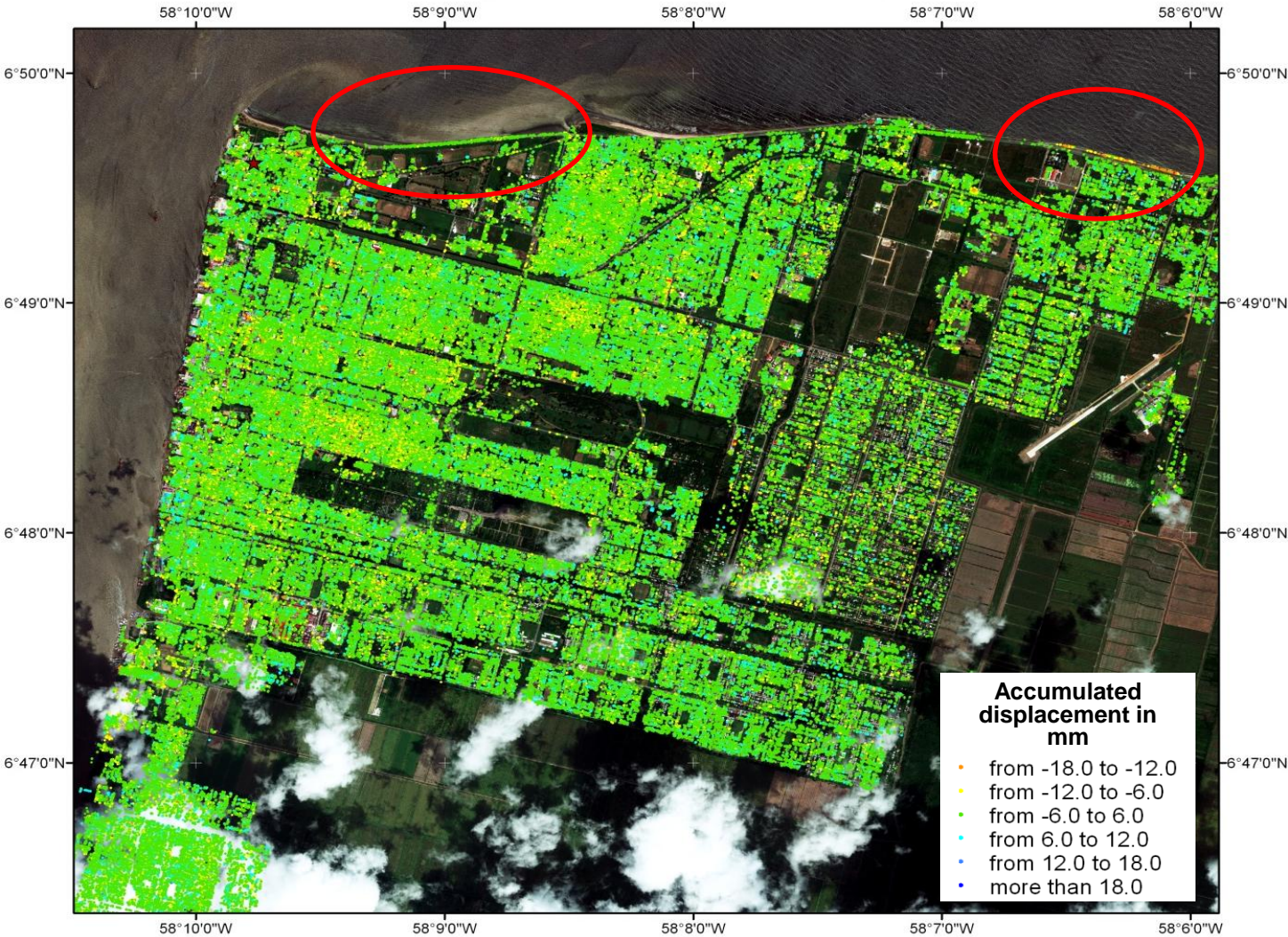
- Etude InSAR réalisée à partir de données Haute Résolution du satellite TerraSAR-X - les caractéristiques de ces données permettent d'obtenir une bonne densité de points de mesure sur les zones de construction.

- 22 images acquises entre août 2010 et avril 2011

	TerraSAR-X
Résolution spatiale	3 m
Précision localisation absolue	Better than 1-2 m
Précision mesure de vitesse	3 mm/year
Précision absolue (séries temporelles)	5 mm

# Exemple résultats : Projet EOWorld, Georgetown, Guyana

## Evaluation du système de protection contre les inondations : résultats



- 1.2 M de points de mesure détectés.
- 3 m de resolution → possibilité de mesurer des déformations sur un bâtiment en particulier
- Possibilité d'évaluer la stabilité des systèmes de protections : digues, murs...

# Agenda

---

## Présentation ALTAMIRA INFORMATION

## Introduction à la technique radar InSAR

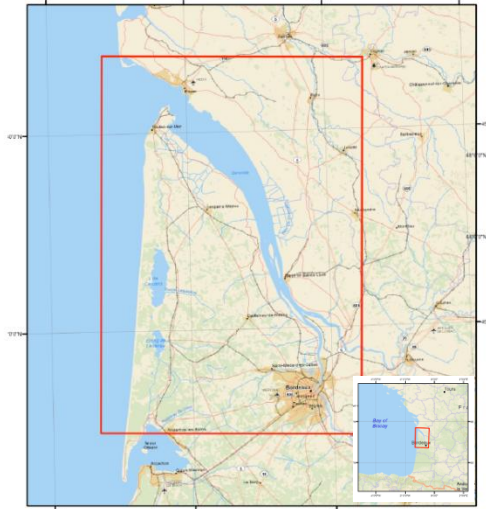
### Exemples projets INSAR

- Infrastructures portuaires : digues, terrain gagné sur la mer (plateformes)
- Villes côtières : projets EOWORLD Jakarta et Guyana
- Subsidence dans les estuaires Gironde et Loire : Projet EIB/ESA

## Conclusion

## Zones d'étude

### Estuaire de la Gironde



### Estuaire de la Loire



## Altamira Information leader du Consortium

### Principaux services:

#### **Cartographie des mouvements du sol:**

- Identification et caractérisation des déformations à partir des données d'archive
- Analyse de la stabilité des infrastructures (systèmes de protection contre les crues).



#### **Interpretation des résultats:**

- Comparaison avec les évènements historiques (inondations tout particulièrement)
- Analyse d'une possible corrélation entre les activités humaines et les déformations de terrain.



- **Implication des acteurs locaux dans l'évaluation des services**

# Agenda

---

## Présentation ALTAMIRA INFORMATION

## Introduction à la technique radar InSAR

## Exemples projets INSAR

- Infrastructures portuaires : digues, terrain gagné sur la mer (plateformes)
- Villes côtières : projets EOWORLD Jakarta et Guyana
- Subsidence dans les estuaires Gironde et Loire : Projet EIB/ESA

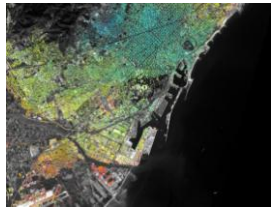
## Conclusion

# Conclusions

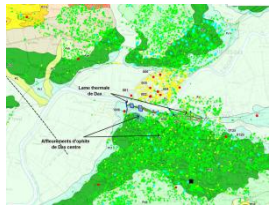
## Pourquoi l'INSAR ?



**Approche globale du territoire de responsabilité**



**Analyse historique depuis 1992**



**Données objectives corréllées par le terrain**



**Solution économiquement viable**



**Surveillance sur le long terme 2012 .....**

- La couverture satellite permet de couvrir des territoires et de disposer d'une grande quantité de points de mesure
- L'étude multi-disciplinaire répond au large éventail de responsabilités des élus (urbanisme, infrastructures, prévention des risques)

- L'analyse des déformations passées permet:
  - Une quantification des déformations sur de longues périodes
  - Une meilleure compréhension des phénomènes en jeu afin d'établir des diagnostics

- Etudes INSAR= données objectives qui requièrent une expertise du traitement SAR apportée par Altamira Information
- L'interprétation et la validation des mesures requièrent une expertise terrain apportée par les partenaires

- La solution satellite permet une approche multi-disciplinaire et optimise le travail de terrain (relevés topographiques, sondages...)
- Les résultats participent à une gestion dynamique des risques et enjeux immobiliers

- Nouvelle génération de missions SAR
- Opérationnalité et résultats significativement améliorés grâce à la haute résolution et la fréquence de revisite accrue

**Anne Urdiroz – Responsable commercial**  
(anne.urdiroz@altamira-information.com)

## Barcelona

C/ Còrsega, 381-387  
E - 08037 Barcelona, Spain

T.: +34 93 183 57 50

## Toulouse (France)

8-10 Rue Hermès  
31520 Ramonville Saint-Agne, France

T.: +33 5 61 39 47 19

## Calgary

Bankers Hall, West Tower, 10<sup>th</sup> floor,  
888 – 3<sup>rd</sup> Street SW  
Calgary – AB T2P 5C5, Canada

T.: +403 444 6861

[www.altamira-information.com](http://www.altamira-information.com)

