

Bureau des Mines et de l'Energie par rapport au Mouvement de terrain

Microzonage sismique

- ▶ Zone métropolitaine de Port-au-Prince (PNUD, BME, LNBTP et CNIGS)
- ▶ Gand Nord (Port-de-Paix, Cap-Haitien, Fort-Liberté, Ouanaminthe (PNUD, BME, LNBTP et CNIGS))

- ▶ Création de la Direction de la Géologie et des risques géologiques
- ▶ Etude de mouvement de terrain dans le cadre de la construction du micro barrage sur la rivière Marion
- ▶ Cartographie du mouvement de terrain de Jean Rabel suite aux fortes pluies du 2 au 8 janvier 2018





- ▶ Participation à la cartographie multirisque du Nord-ouest et de l'arrondissement de Gros-Morne (PNUD)
- ▶ Cartographie du Mouvement de terrain de la commune de Jacmel avec la coopération suisse: cartes d'alea et de risque pour la gouvernance locale



Committee on Earth Observation Satellites

Recovery Observatory (RO)

Produits scientifiques à venir:

Détection de Changement et Mouvement de Terrain

Atelier RO Port-au-Prince

Port-au-Prince, Haiti, 3 Mai 2019

Deodato Tapete
Francesca Cigna
Scientific Research Unit
Italian Space Agency - ASI





Agenzia Spaziale Italiana

L'équipe ASI travaillant sur le RO

Chercheurs en Observation de la Terre, de l'unité de recherche scientifique

Compétences et expertise

- analyse d'images satellitaires, données optiques et radar (SAR), techniques interférométriques (InSAR), méthodes de détection de changement
- analyse géo-spatiale, cartographie géologique, évaluation des dangers et des risques

Objectifs Scientifiques

- 1) Développer des produits scientifiques expérimentaux conçus pour obtenir des informations utiles sur la stabilité du sol et les mouvements des zones cibles du RO
- 2) Tester les données satellite SAR à très haute résolution pour "cartographier les points chauds" des changements du paysage, des mouvements du sol et de l'instabilité





Données d'entrée → Satellite SAR (*Synthetic Aperture Radar*) data

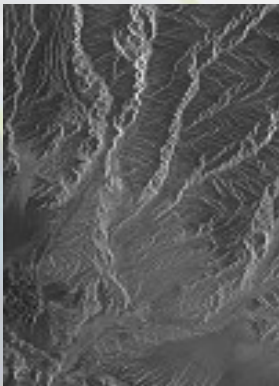
capteur actif; fréquence: $\sim 0,3\text{-}300$ GHz; longueur d'onde: $0,001\text{-}1$ m (le plus commun $\sim 3\text{-}23$ cm);
résolution spatiale: jusqu'à <1 m; résolution temporelle (visite du site): tous les jours - mois

Méthode 1 → Détection de Changements

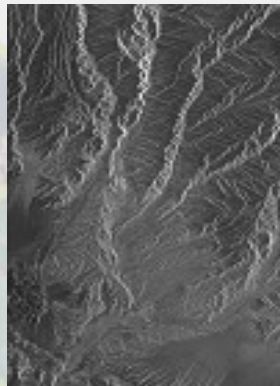
Comparaison de 2 (ou plus) images SAR pour identifier les changements intervenus entre les acquisitions

Changements pouvant être identifiés: inondations, variations de l'humidité du sol, glissements de terrain, nouvelle urbanisation

Image#1
 t_1

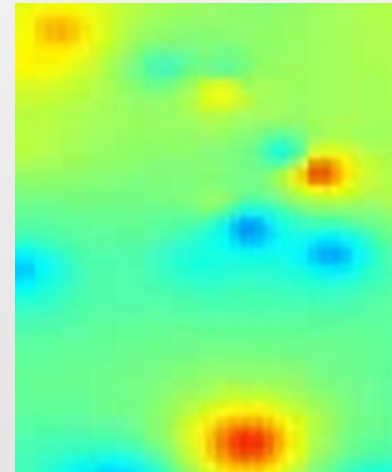


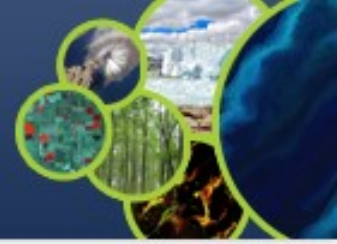
Image#2
 t_2



Carte de changements

Exemple : $Image\#2 - Image\#1$





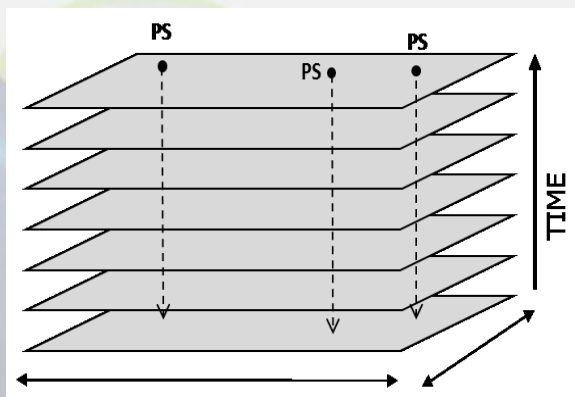
Données d'entrée → Satellite SAR (Synthetic Aperture Radar) data

capteur actif; fréquence: $\sim 0,3\text{-}300$ GHz; longueur d'onde: $0,001\text{-}1$ m (le plus commun $\sim 3\text{-}23$ cm);
résolution spatiale: jusqu'à <1 m; résolution temporelle (visite du site): tous les jours - mois

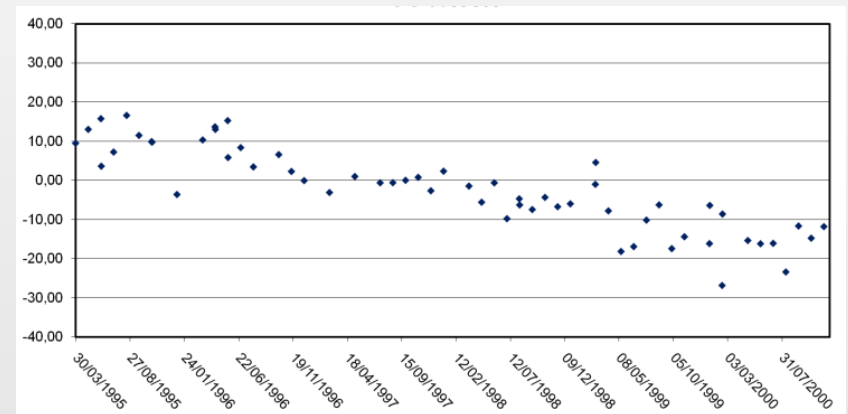
Méthode 2 → Interférométrie (InSAR)

Analyse multi-temporelle de 20 images SAR (ou plus) afin d'estimer la vitesse de déplacement annuelle et de mesurer les déplacements survenus à chaque acquisition

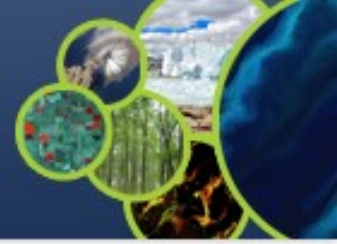
Mouvements du sol pouvant être identifiés: affaissement urbain, mouvements de glissement de terrain, glissements de terrain côtiers, instabilité du sol



N Images (#1, #2... #N)
 $t_1, t_2 \dots t_N$



Série temporelle de déplacement
(précision jusqu'à ~ 1 mm)



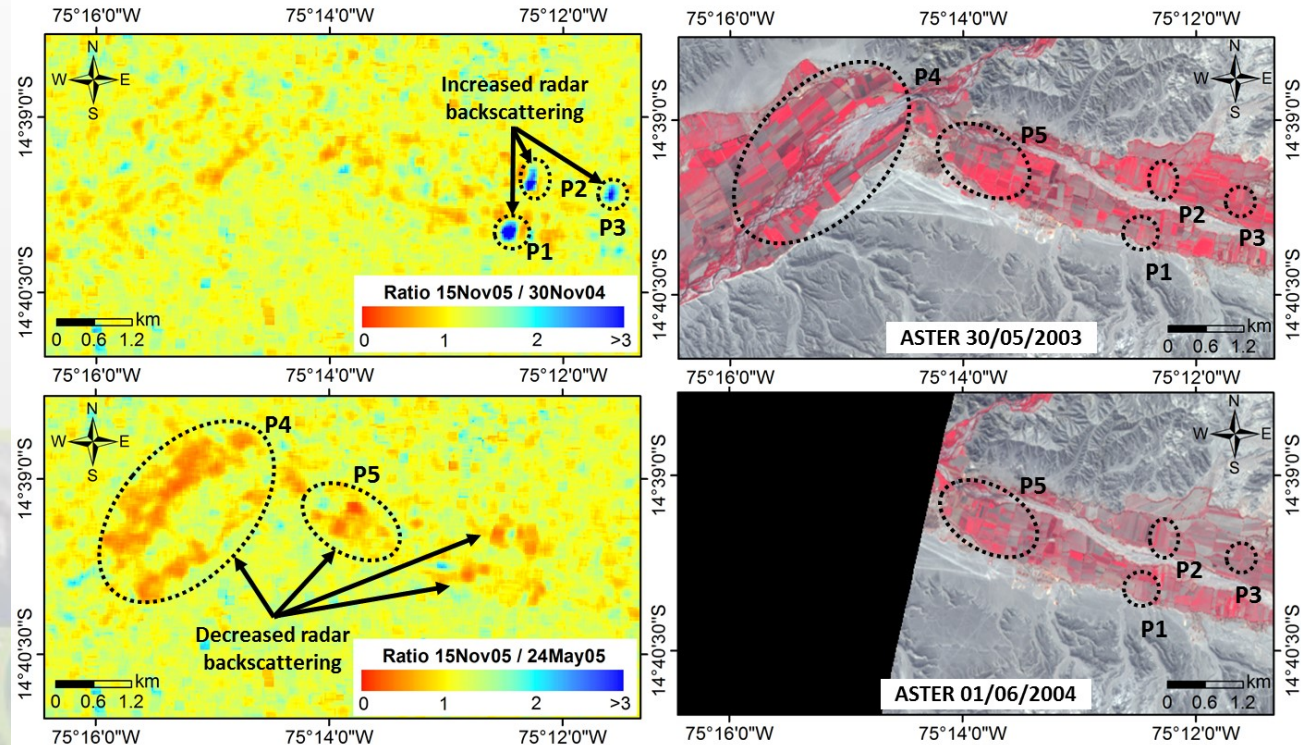
Exemple de détection de changement → Humidité du paysage et du sol

Comparaison d'images radar pour identifier l'humidité du sol et les modifications de la végétation (culture) dans le bassin fluvial péruvien

- **Nov 2004 vs. Nov 2005:**
augmentation de l'humidité du sol à certains endroits le long de la plaine fluviale (P1-P3)

- **Mai vs. Nov 2005:**
diminution de l'humidité du sol sur les zones agricoles (P4-P5)

- **Mai 2003 vs. Juin 2004:**
diminution de la couverture végétale et de l'humidité du sol dans plusieurs cultures le long de la plaine fluviale



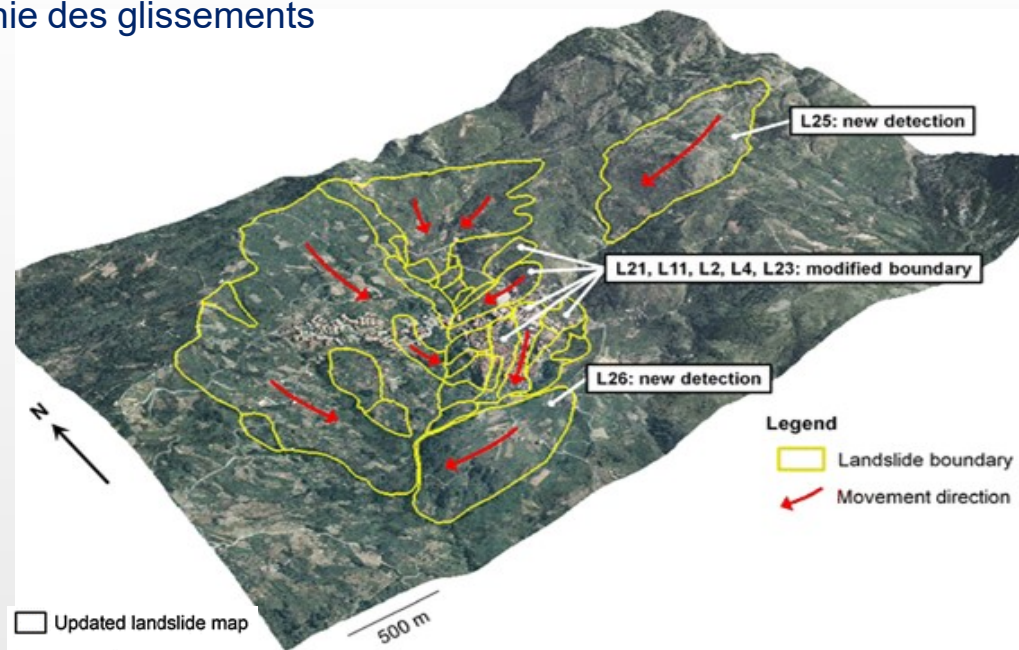
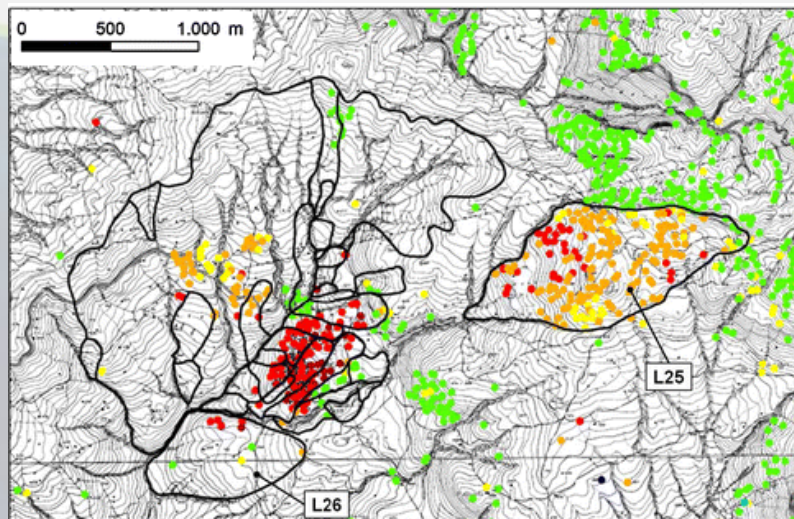
CIGNA et al. (2013) *Archaeological Prospection* 20(2):117-131. doi: [10.1002/arp.1451](https://doi.org/10.1002/arp.1451)



Exemple d'estimation des mouvements de sol → Cartographie et inventaire des glissements de terrain

Analyse InSAR multi-temporelle pour estimer les déplacements de glissements de terrain et améliorer la cartographie des glissements de terrain en Italie

- Estimation de la **vitesse de déplacement** pour les glissements de terrain déjà cartographiés
- Détection de 2 **nouveaux mvt de terrain** (L25-L26)



Updated landslide map

Persistent Scatterers

LOS velocity [mm/yr]

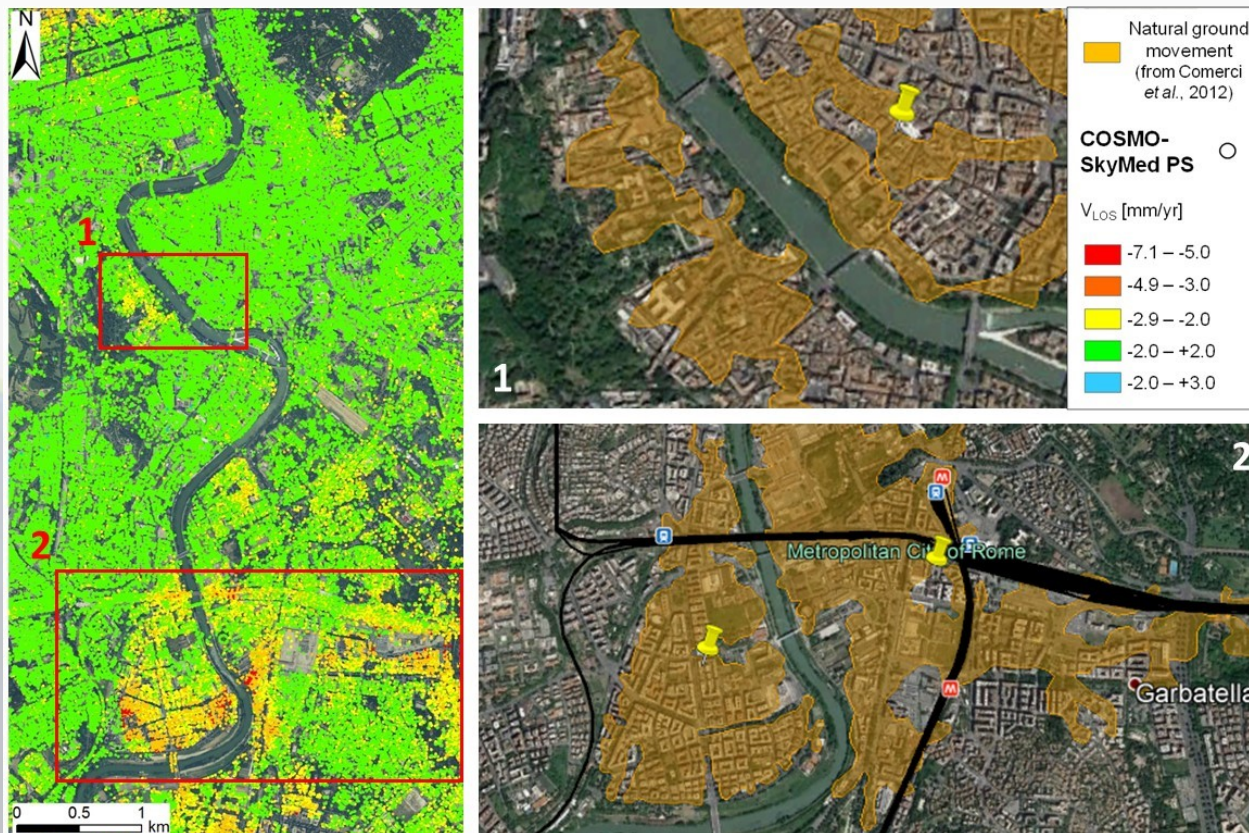
- -65.4 - -20.0
- -19.9 - -10.0
- -9.9 - -5.0
- -4.9 - -2.0
- -1.9 - 2.0
- 2.1 - 5.0
- 5.1 - 20.0

CIGNA *et al.* (2013) *Landslides* 10: 267-283.
doi: [10.1007/s10346-012-0335-7](https://doi.org/10.1007/s10346-012-0335-7)



Exemple d'estimation des mouvements de sol → Cartographie de la subsidence du sol

Analyse InSAR multi-temporelle pour étudier l'instabilité naturelle et anthropique des sols dans les zones urbaines en Italie



- Identification des **zones d'éboulements** et de leurs vitesses annuelles
- Corrélation des informations InSAR avec les **données géologiques** et la **vérité terrain**
- Évaluation des dangers et des risques pour les infrastructures urbaines

Sentinel-1 → European constellation of the Copernicus programme; C-band (longueur d'onde 5.6 cm)
Data for the RO: spatial resolution: **~20-25 m**; site revisit: **12 jours**

TerraSAR-X → German Space Agency (DLR)'s constellation; X-band (longueur d'onde 3.1 cm)
Data for the RO: spatial resolution: **~3 m**; site revisit: **6 mois**

COSMO-SkyMed → Italian Space Agency (ASI)'s constellation; X-band (longueur d'onde 3.1 cm)
Data for the RO: spatial resolution: **~1 m**; site revisit: **16 jours**



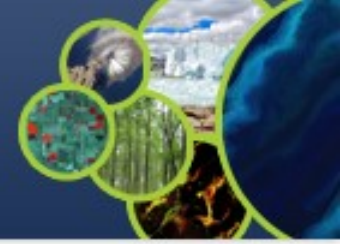
Sentinel-1

DLR's TerraSAR-X

ASI's COSMO-SkyMed

Le Scénario d'Observation de la mission inclut Haïti depuis 2014

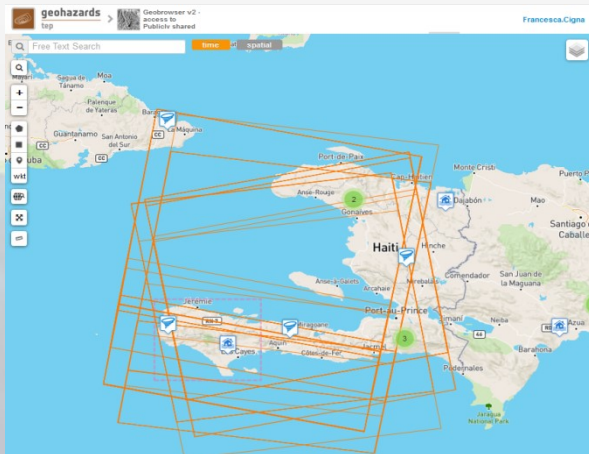
Campagnes d'acquisition SAR dédiées pour la durée du RO



Sentinel-1 → European constellation of the Copernicus programme; C-band (longueur d'onde 5.6 cm)
Data for the RO: spatial resolution: **~20-25 m**; site revisit: **12 jours**

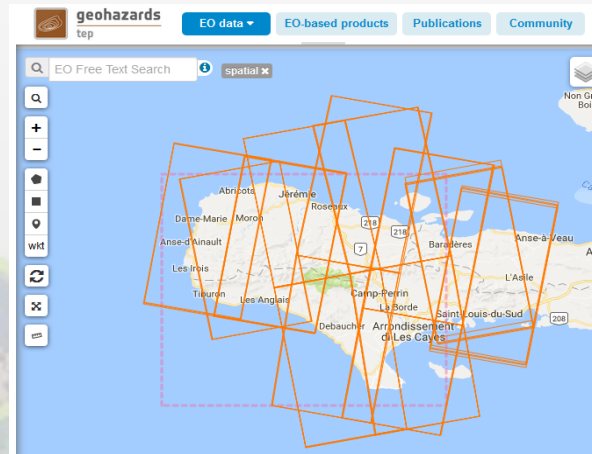
TerraSAR-X → German Space Agency (DLR)'s constellation; X-band (longueur d'onde 3.1 cm)
Data for the RO: spatial resolution: **~3 m**; site revisit: **6 mois**

COSMO-SkyMed → Italian Space Agency (ASI)'s constellation; X-band (longueur d'onde 3.1 cm)
Data for the RO: spatial resolution: **~1 m**; site revisit: **16 jours**



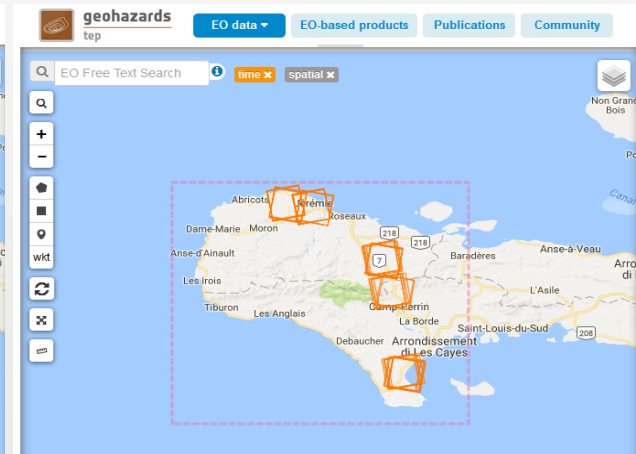
Sentinel-1 IW TOPS

Couverture **Nationale Complète**
 résolution spatiale moyenne



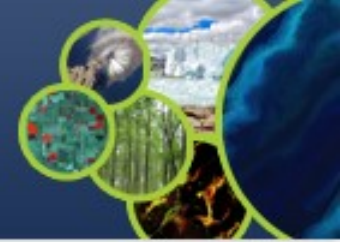
TerraSAR-X StripMap

Couverture **RO Complète**
 Haute résolution spatiale



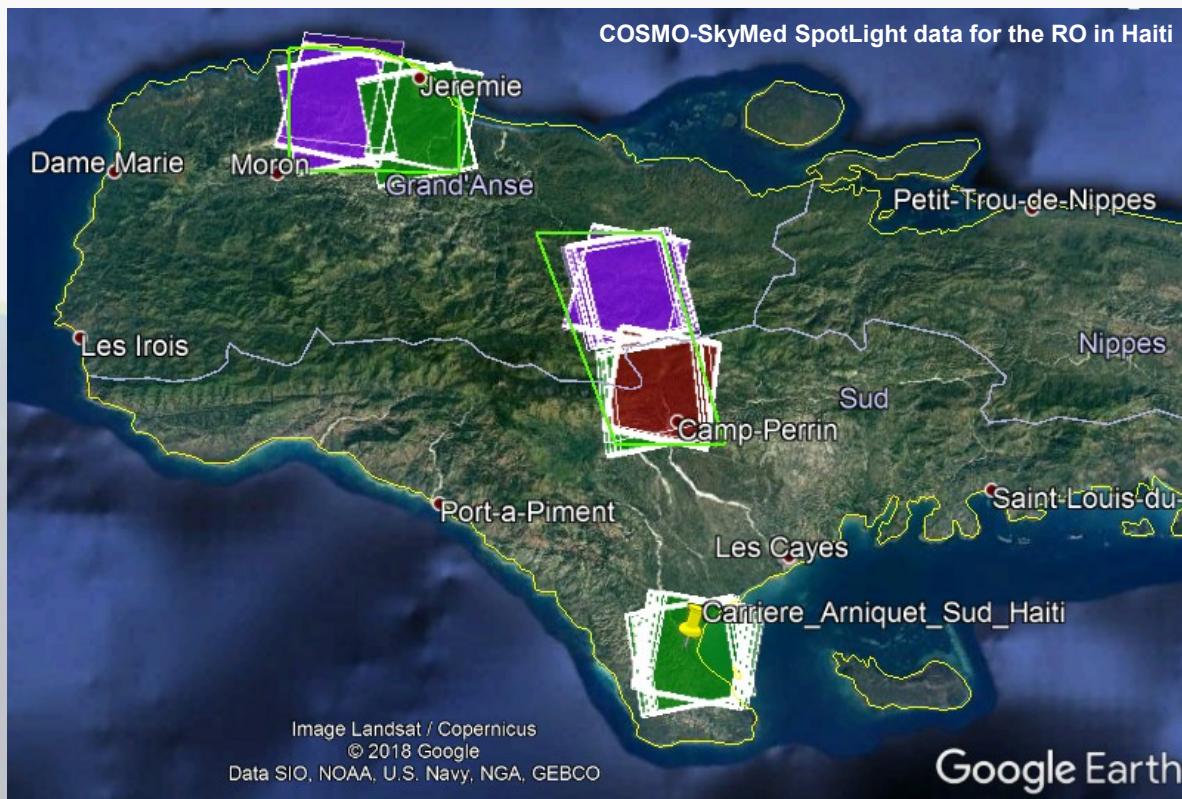
COSMO-SkyMed SpotLight

Couverture **Zone prioritaire**
 Jérémie, Camp Perrin, Carrière Arniquet
 Très Haute résolution spatiale



Campagne ASI de surveillance dédiée COSMO-SkyMed dans les domaines prioritaires

- 3 ans de campagne de surveillance sur mesure [démarrée le 1^{er} Dec 2017]
- Images SpotLight à très haute résolution spatiale (1 m)
- Géométries d'acquisition en mode ascendant et descendant, temps de revisite des sites de 16 jours



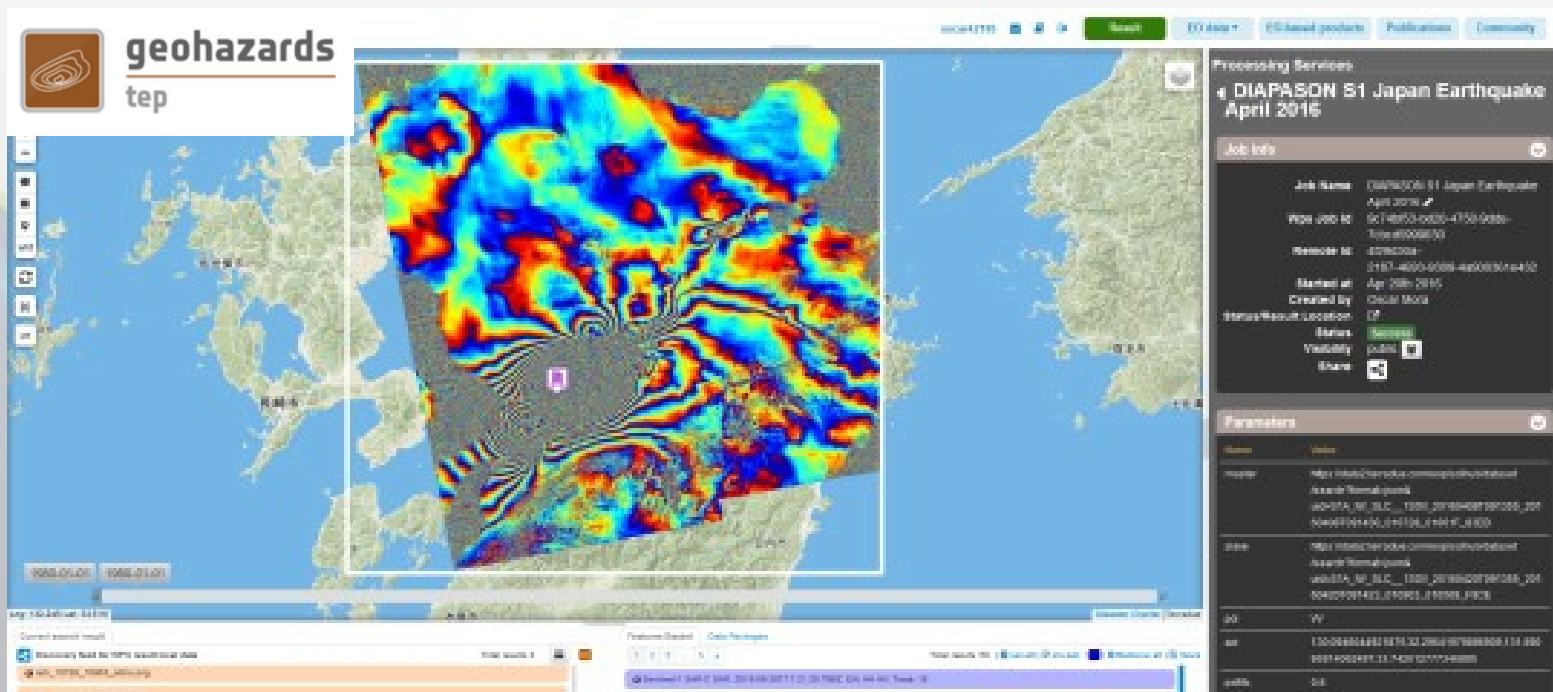
Plus de 270 COSMO-SkyMed
Scènes SpotLight déjà acquises
pour les zones ciblées

~27 scènes par site, par
géométries
(fin Avril 2019)



Exploitation de la plateforme de l'ESA's Geohazards Exploitation Platform (GEP)

- Une plate-forme d'exploitation thématique développée par l'Agence spatiale européenne (ESA) en 2014 pour soutenir l'exploitation de l'observation de la Terre par satellite pour les géo-risques
- Capable d'héberger des données satellitaires (ex. SAR, optique), fournir des outils et des services de traitement pour la détection des changements et la surveillance des mouvements de terrain
- Les sorties de traitement des données au format numérique (ex. GEOTIFF, DBF) peuvent être intégrés aux SIG



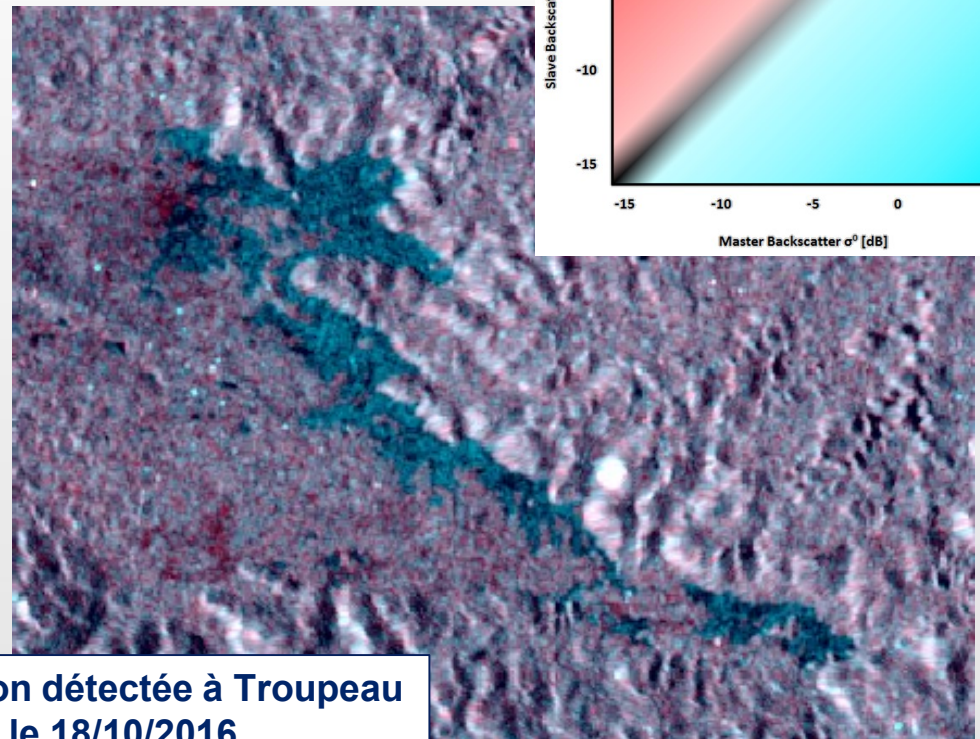
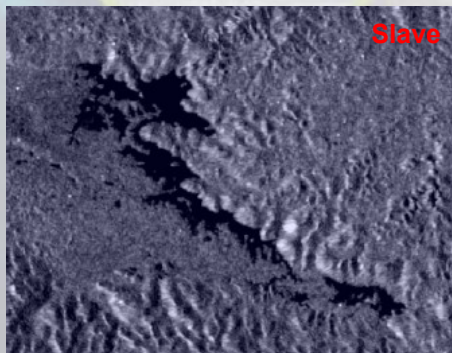
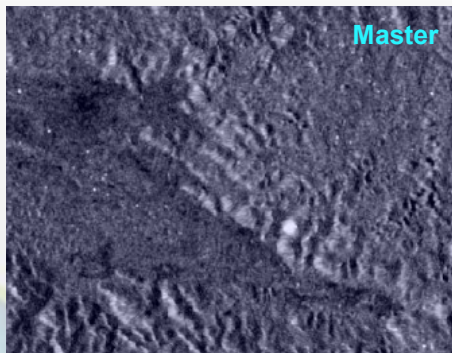


Exemple de carte de détection Sentinel-1 générée avec ESA GEP

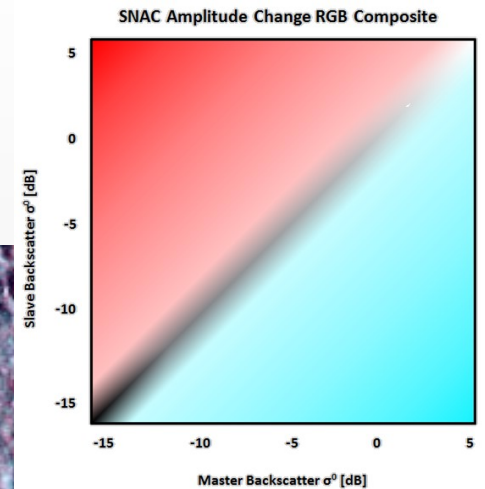
Entrées [pre vs post Ouragan Matthew]

- 1) Sentinel-1 image 24/09/2016 (**master**)
- 2) Sentinel-1 image 18/10/2016 (**slave**)

Sortie → Red-Cyan color composite

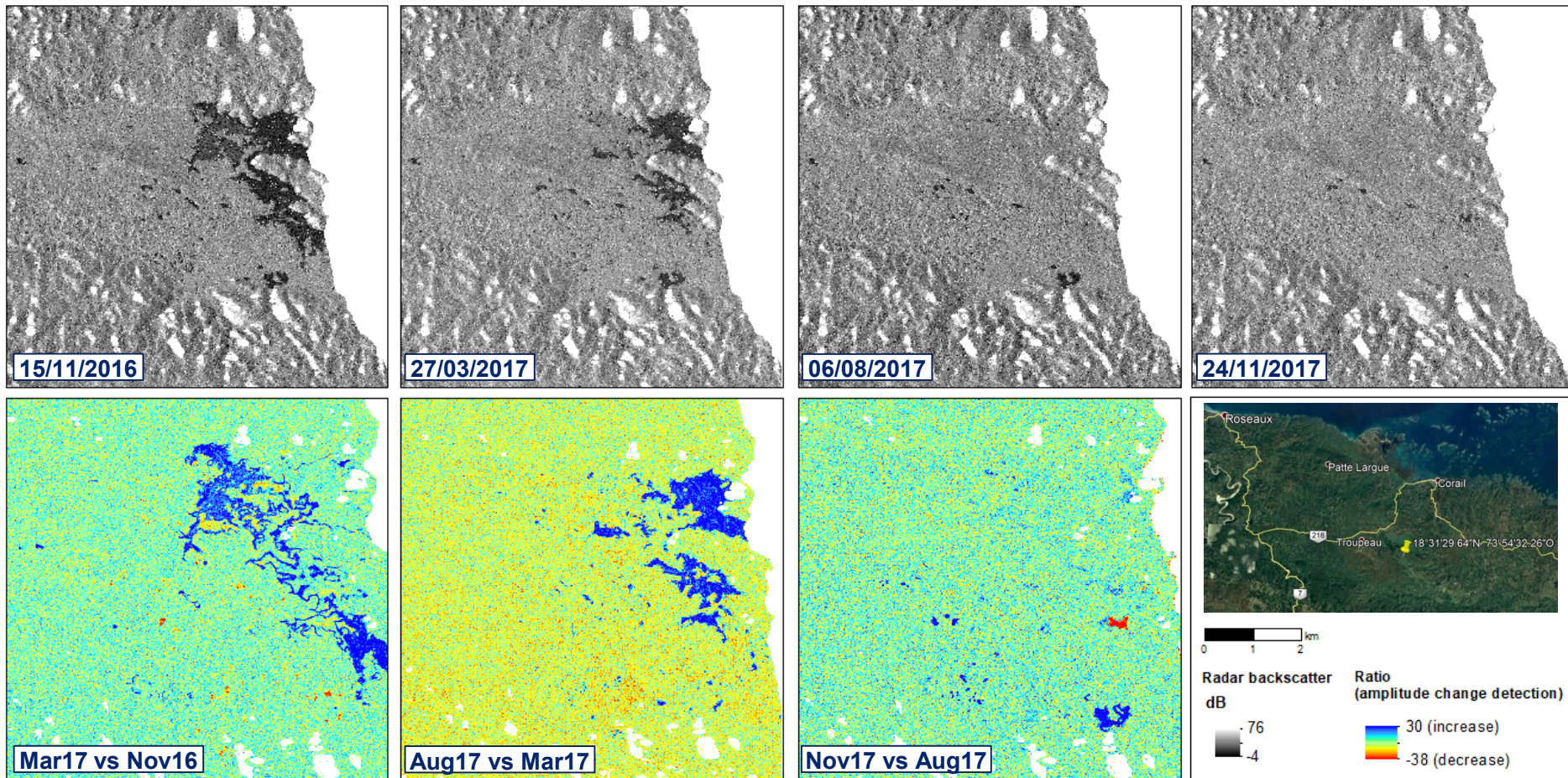


Inondation détectée à Troupeau
le 18/10/2016



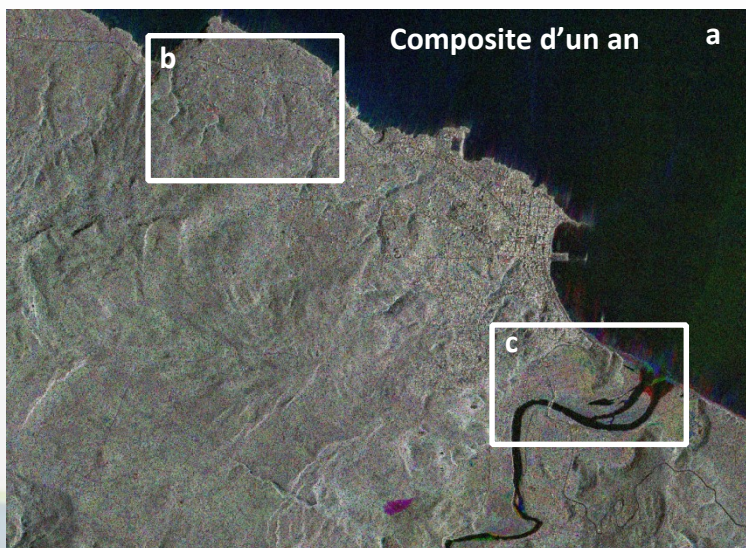


Carte de détection de changements TerraSAR-X – évolution temporelle de l'inondation à Troupeau (1 an)

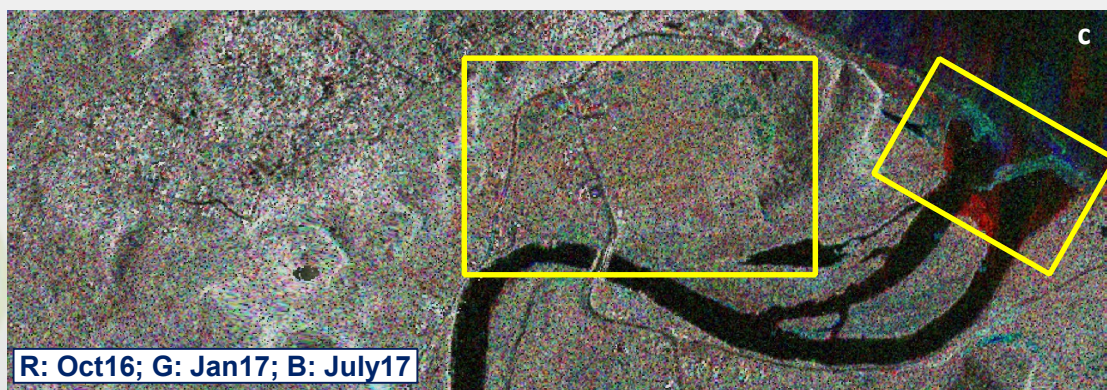
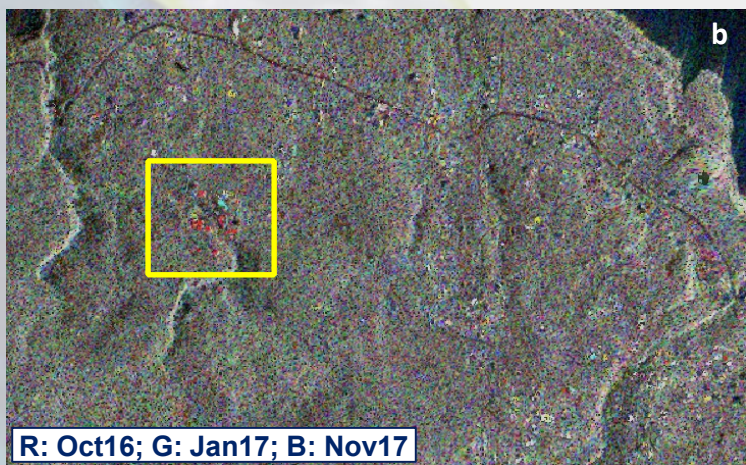




Cartes TerraSAR-X RVB en fausse couleur - changements intervenus dans les zones urbaines de Jérémie (1 an)



- Dans l'année qui a suivi l'ouragan Matthew (octobre 2016 - novembre 2017), une surveillance tous les six mois à l'échelle régionale a permis de suivre temporellement les principaux changements dans les caractéristiques urbaines.
- Des changements urbains locaux ont été observés dans:
 - ❑ les zones rurales entourant Jérémie (img **b**)
 - ❑ les périphéries sud-est proches de la rivière Grande-Anse, y compris la dynamique fluviale et côtière (img **c**)





Exemple de carte de détection de changement COSMO-SkyMed - nord-ouest de Jérémie

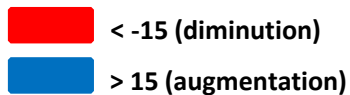
Changements dus à la
nouvelle urbanisation

COSMO-SkyMed SpotLight data (resolution 1 m)
December 2017 vs. January 2019

Background image: Pléiades 18/10/2017

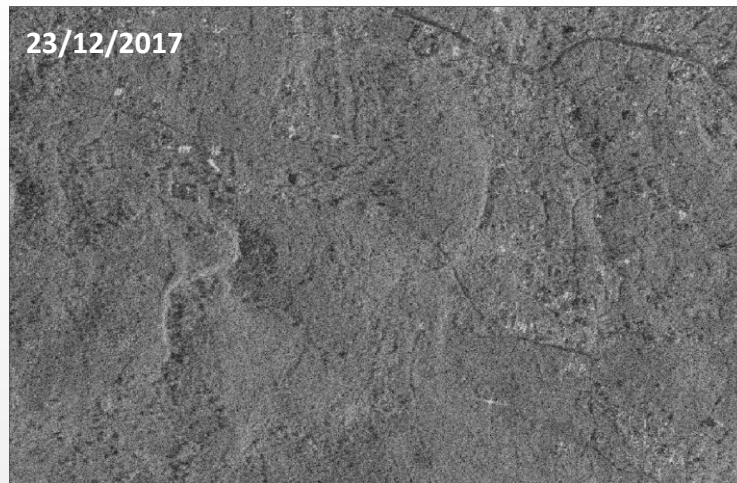
Urbanization

Ratio (2019 vs 2017)



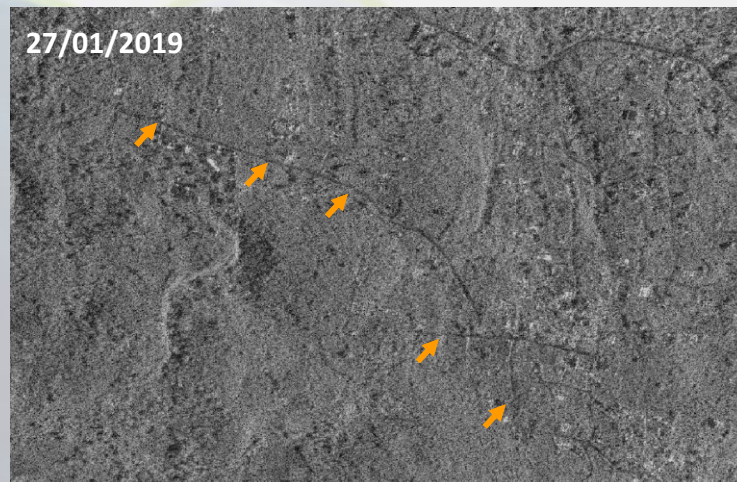


Exemple de carte de détection de changement COSMO-SkyMed - nord-ouest de Jérémie



Rétro-diffusion
Radar [dB]

91
3



- Changements en raison de nouvelles constructions et de routes
- Nouvelles caractéristiques urbaines (par exemple, les routes) très visibles dans les images d'amplitude
- Confirmation avec les données Sentinel-2

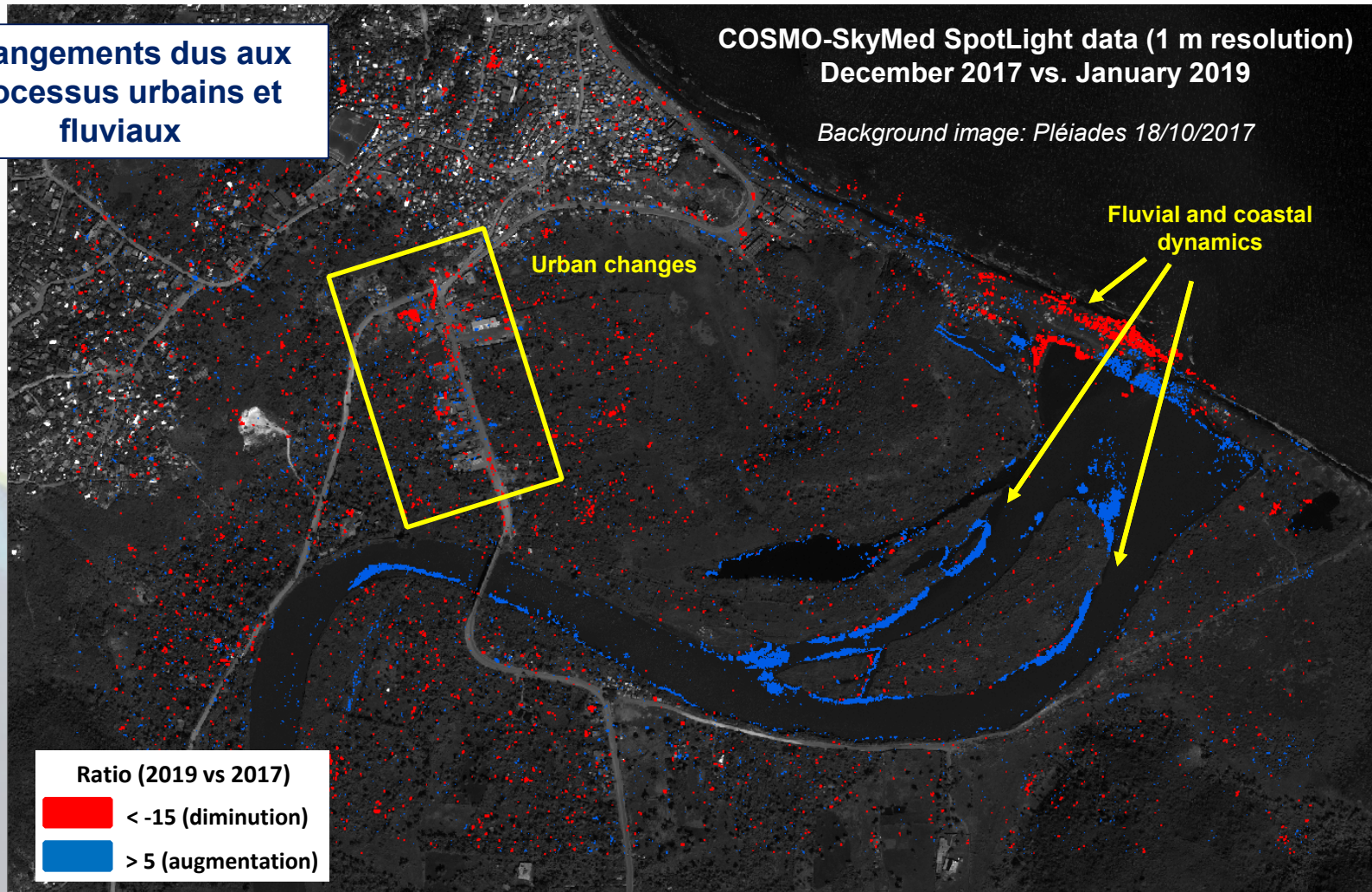


Exemple de carte de détection de changement COSMO-SkyMed – sud-est de Jérémie

Changements dus aux
processus urbains et
fluviaux

COSMO-SkyMed SpotLight data (1 m resolution)
December 2017 vs. January 2019

Background image: Pléiades 18/10/2017





Exemple de carte de détection de changement COSMO-SkyMed – sud-est de Jérémie



Radar backscatter
[dB]

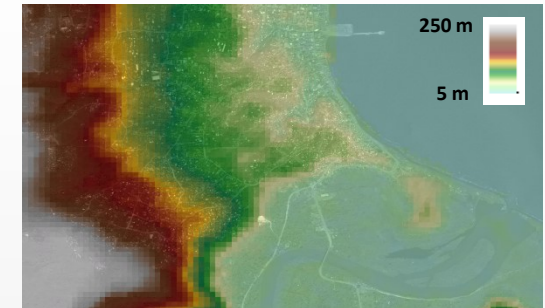


- Changements fluviaux et côtiers près de l'embouchure de la rivière Grande-Anse
- Changements observés dans les caractéristiques urbaines le long de la route menant au pont
- Confirmation dans les données Sentinel-2

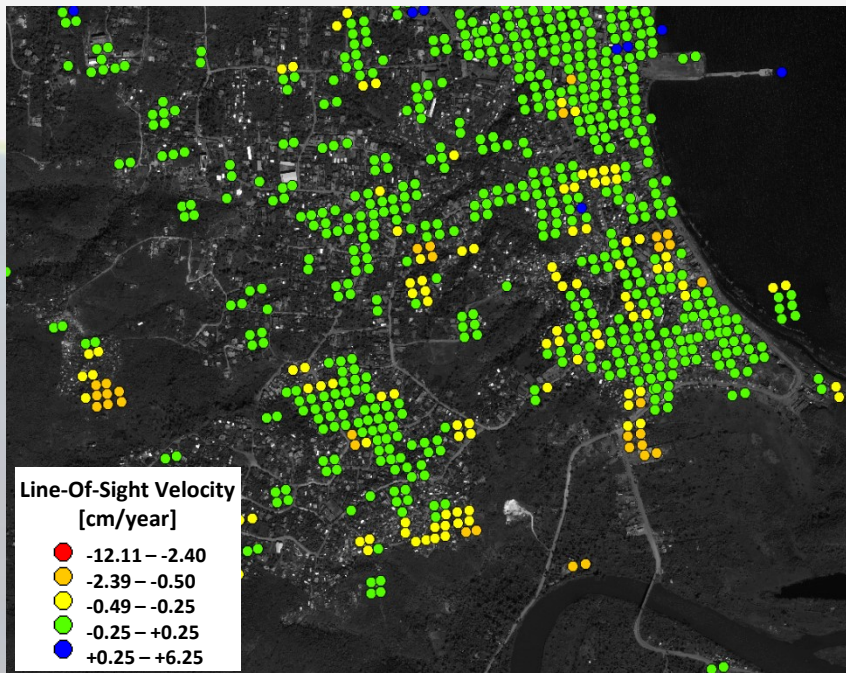


Exemple de suivi des mvts de terrain Sentinel-1 – ville de Jérémie

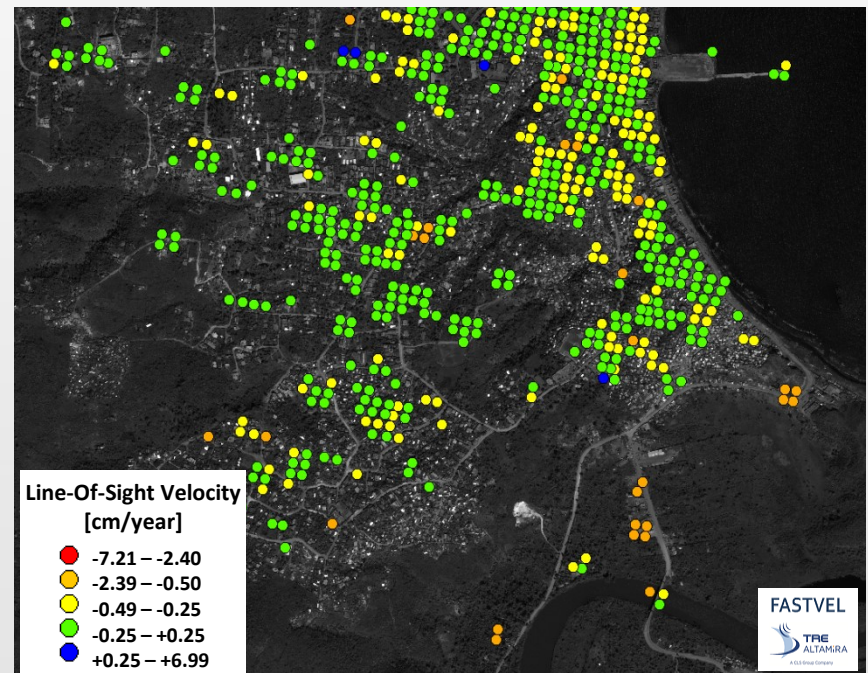
- Mouvements du sol observés avec les séries chronologiques Sentinel-1 InSAR (2017-2018), dans les géométries ascendante et descendante
- Mouvements également dans les zones inondables de la banlieue sud de Jérémie, sujettes aux inondations



Sentinel-1 PS-InSAR results - **ascending** mode data (2017-2018)



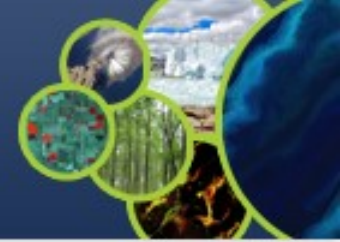
Sentinel-1 PS-InSAR results - **descending** mode data (2017-2018)





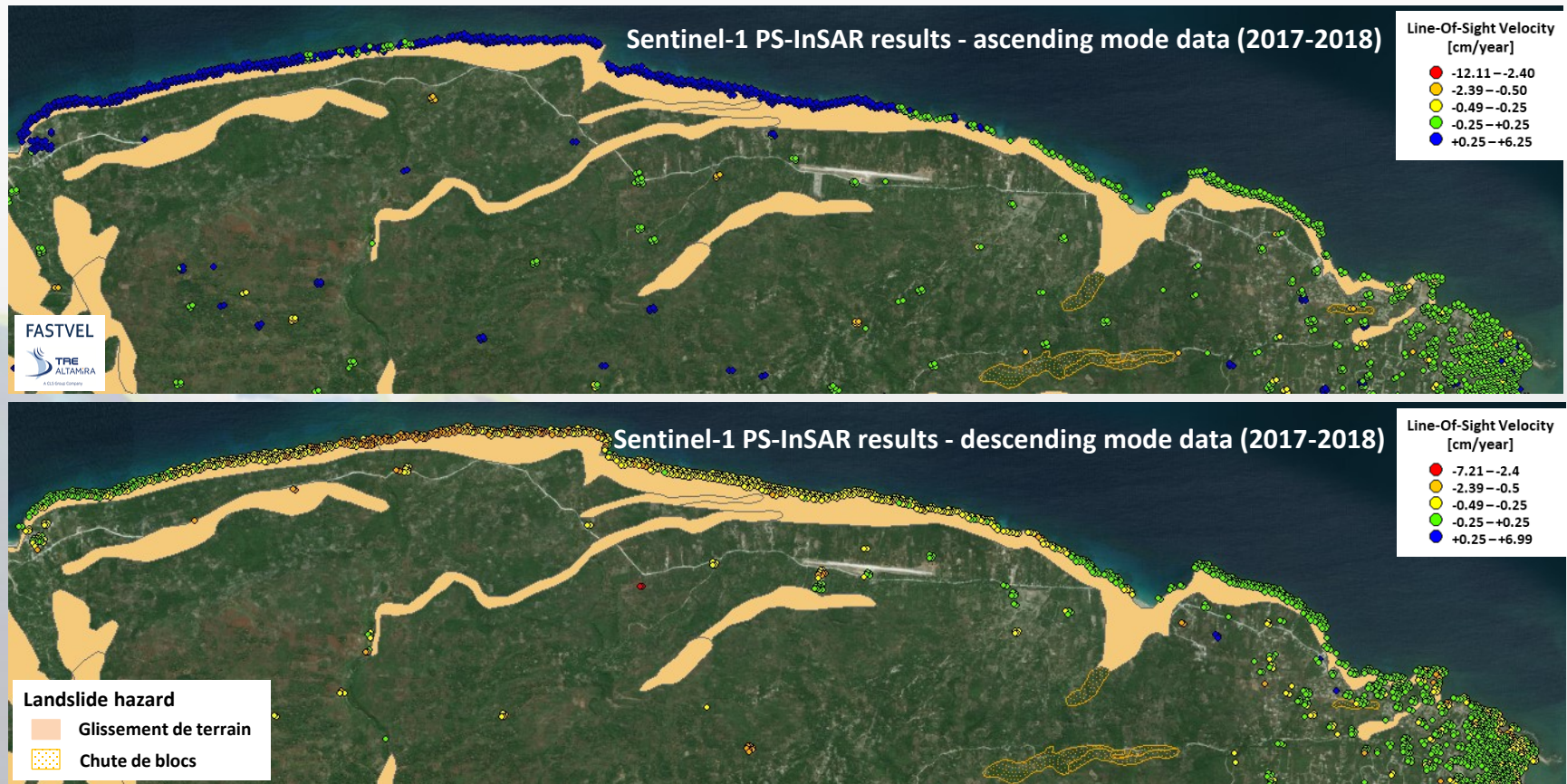
**Nouvelle urbanisation
sur terrain instable**





Exemple de suivi des mvts de terrain Sentinel-1 – coastal processes

- Les mouvements du sol ont également été observés le long de la côte sujette aux glissements de terrain
- Les résultats InSAR suggèrent une différenciation entre les secteurs de la côte - besoin de validation sur le terrain





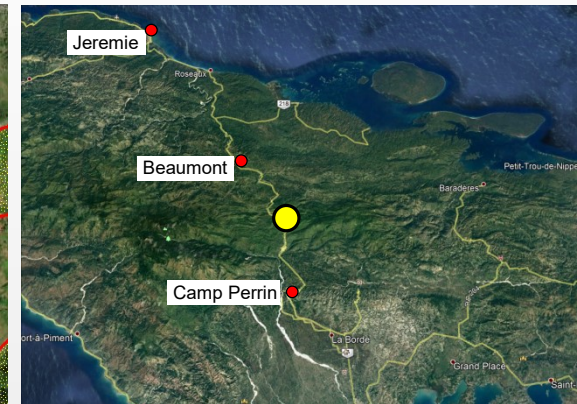
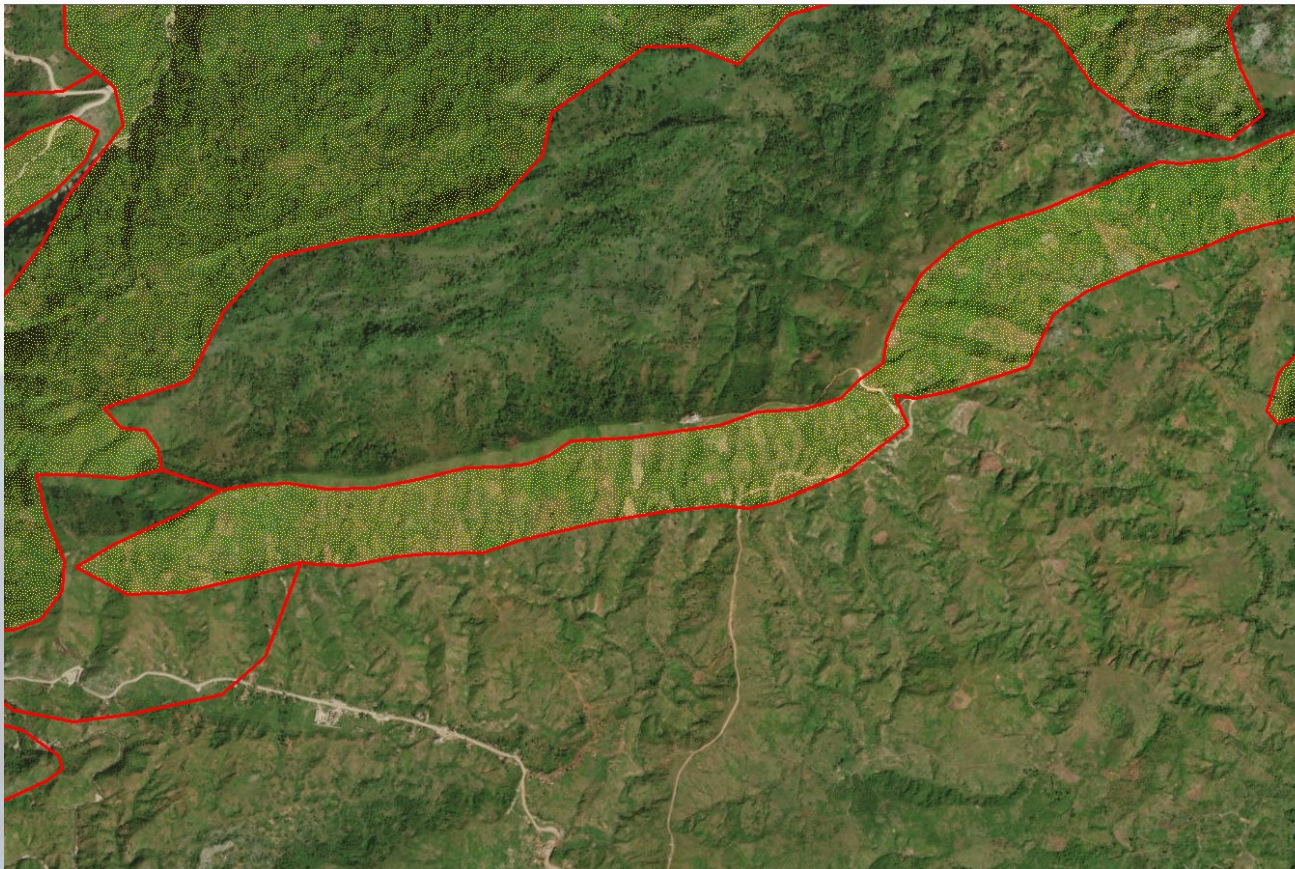
**Chute de blocs – calcaires récifaux,
terrasses d'abrasion marine**





Exemple de carte de détection de changement COSMO-SkyMed - Camp Perrin

- Région montagneuse sujette aux glissements de terrain, le long de la route nationale n° 7 entre La Source et Duchity



● Coord.: 18°25'13.62"N, 73°53'18.18"O

Landslide hazard

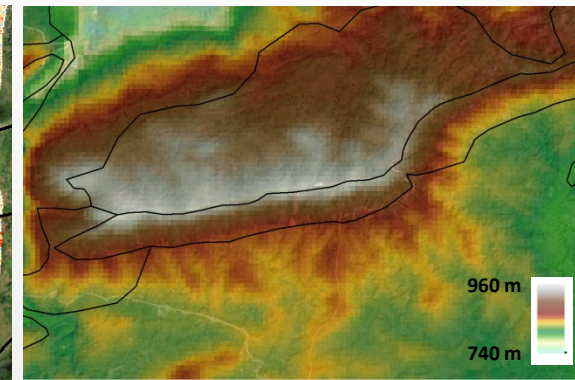
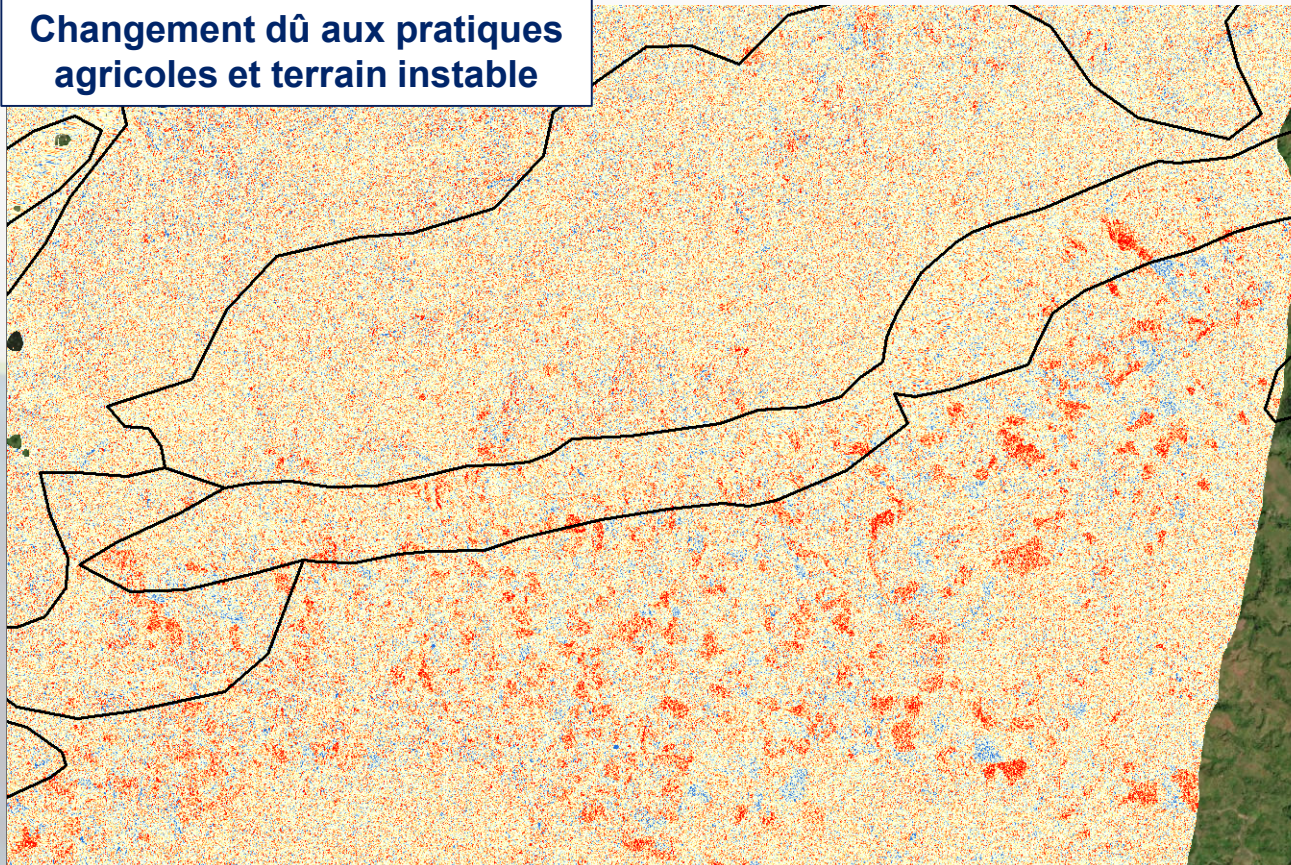
- Glissement de terrain
- Chute de blocs



Exemple de carte de détection de changement COSMO-SkyMed - Camp Perrin

- Région montagneuse sujette aux glissements de terrain, le long de la route nationale n° 7 entre La Source et Duchity

Changement dû aux pratiques agricoles et terrain instable



Landslide hazard

☐ Glissement de terrain

Ratio (Nov 2018 vs Dec 2017)

25 (increase)

-23 (decrease)



Exemple de carte de détection de changement COSMO-SkyMed - Camp Perrin



- La série chronologique Sentinel-2 (2015-2019) montre des plaques de surface brunes récurrentes



a



b



Pratiques agricoles et érosion du sol





Résultats attendus de l'analyse des données RSO pour le RO

- L'histoire des changements (paysage, urbanisation, inondations) qui s'est produite après l'ouragan Matthew
- Aperçu des changements récents et de leurs causes naturelles et anthropiques
- Identification de la stabilité et de l'instabilité du sol (mouvements du sol) dues aux processus géologiques, par ex. glissements de terrain, processus côtiers, subsidence urbaine, compactage des alluvions
- Fourniture d'informations justificatives pour l'identification des zones d'urbanisation et de développement urbain futurs et pour l'évaluation du risque résiduel

Activités futures de formation et de renforcement des capacités

- Contribution à des séminaires / ateliers techniques en Haïti afin de dispenser une formation de base sur les données SAR et les applications des risques géologiques
- Visite en Italie du personnel haïtien pour apprendre à analyser les données SAR satellitaires Sentinel-1 avec la plate-forme d'exploitation des géo-risques de l'ESA, à l'aide de méthodes de détection des changements et d'InSAR