

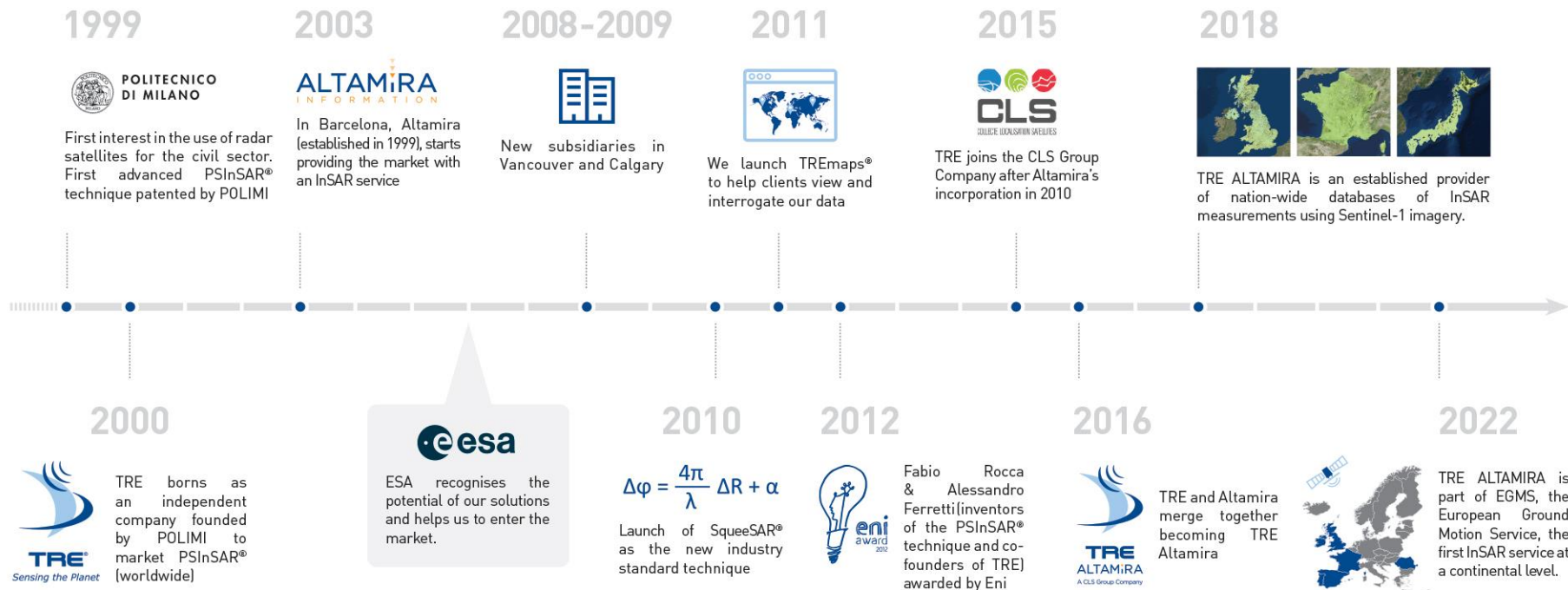


TRE
ALTAMIRA
A CLS Group Company

Application de l'InSAR au suivi du creusement d'ouvrages souterrains



TRE ALTAMIRA – GROUPE CLS



Nos secteurs d'activités

MINING



- Open pit mines and slopes
- Infrastructures: dump areas, tailing dams, etc.
- Underground mines

OIL & GAS



- Reservoir monitoring
- CCS and gas storage
- LNG terminals, pipelines etc.

GEOTHERMAL



- Tectonics and active faults
- Production related issues
- Risk assessment

CIVIL ENGINEERING

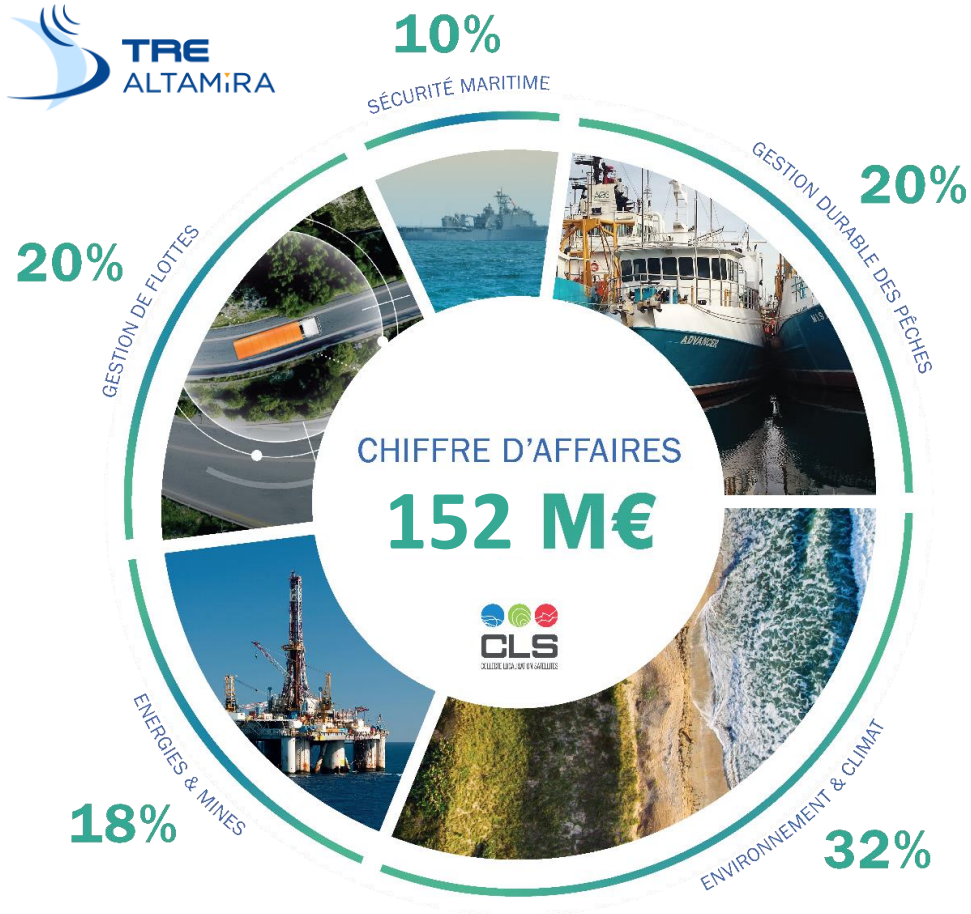


- Design, construction and operation
- Infrastructure monitoring such as tunnels, railways, ports, bridges, etc.

INSTITUTIONAL



- Geohazards mitigation
- Safety improvement
- Hazard information services for floods, etc.



Le Groupe CLS

CNP
66%



cnes
CENTRE NATIONAL
D'ÉTUDES SPATIALES

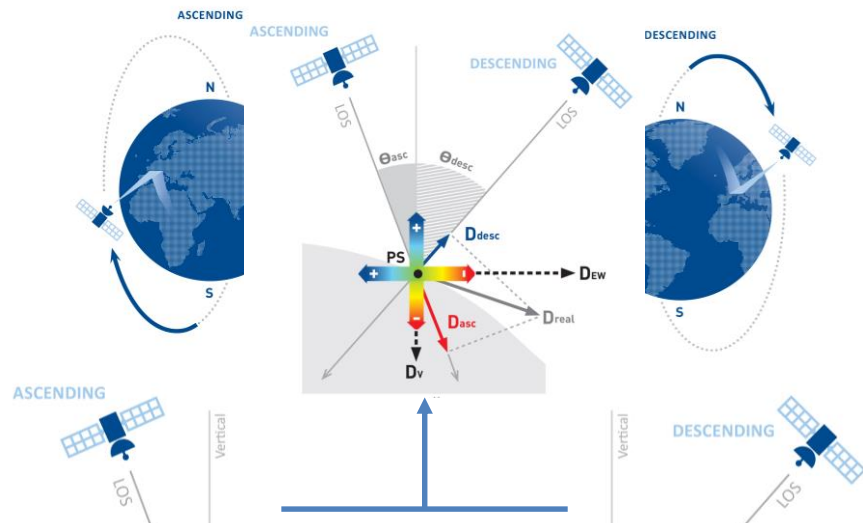
34%



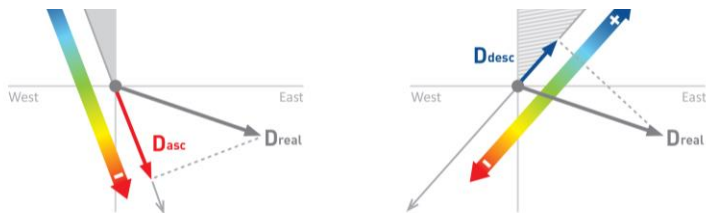
LA TECHNOLOGIE INSAR – SqueeSAR®

L'interférométrie radar via des satellites SAR

Que mesure-t-on ?



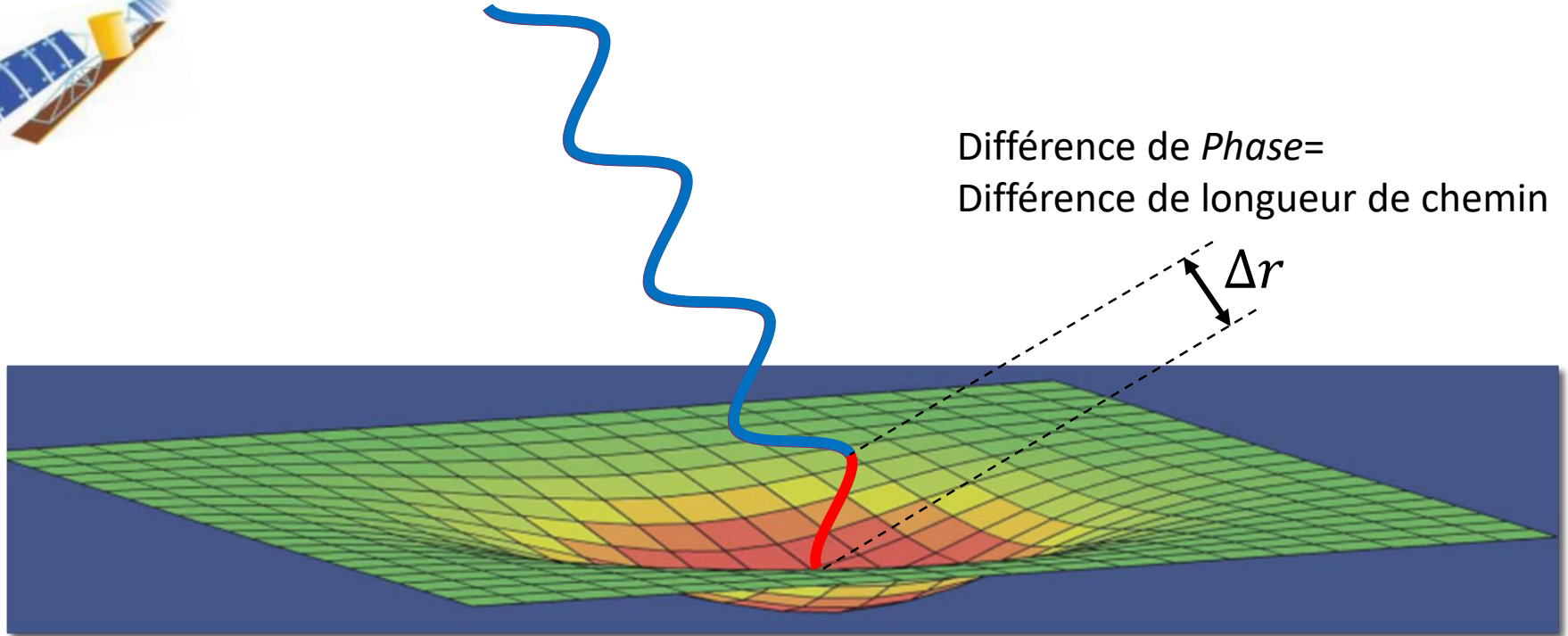
Décomposition 2D pour estimer les composantes verticales (Est-Ouest) et horizontales du mouvement



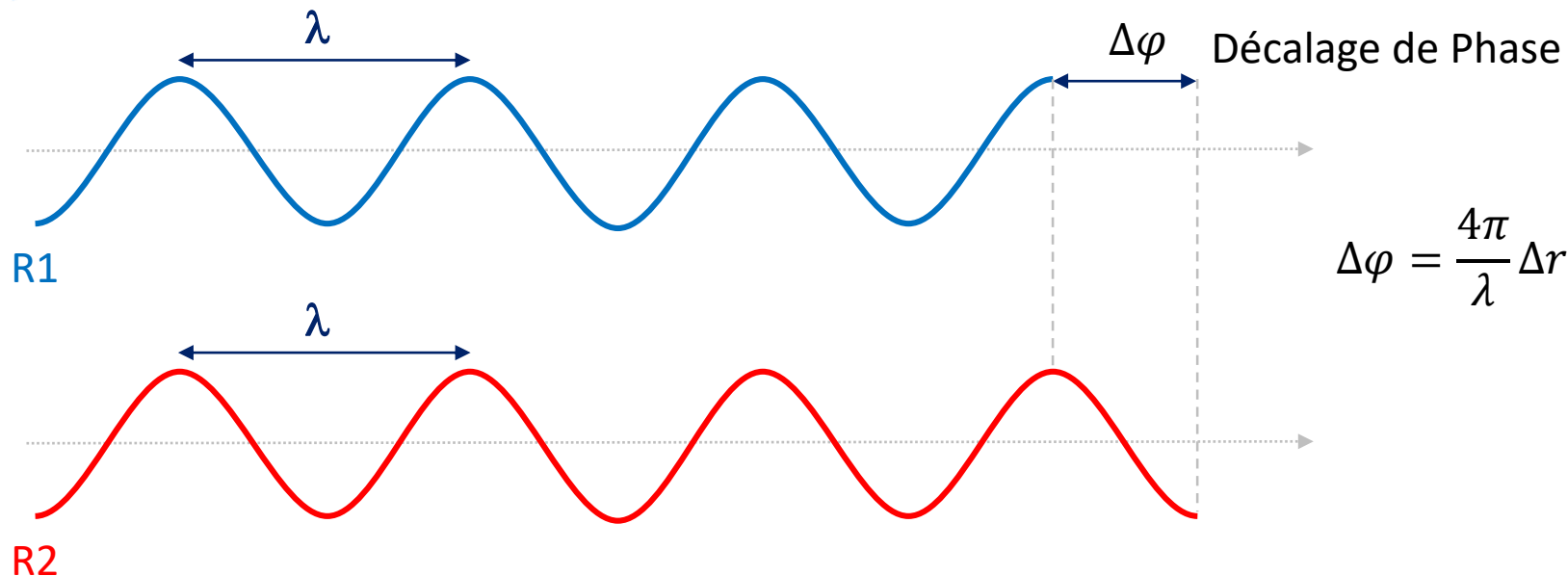
Mesures 1D selon la ligne de visée du satellite



Le principe de la mesure InSAR



De la mesure de Phase à la déformation de surface

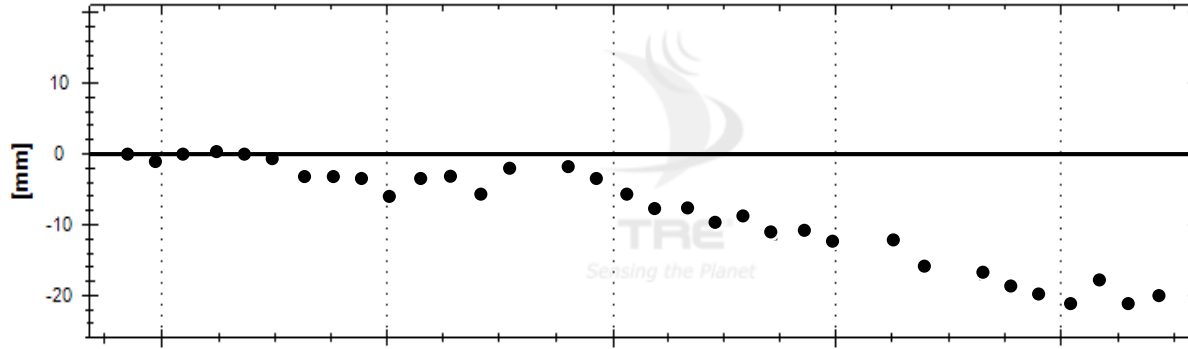


$$\Delta\phi = \frac{4\pi}{3 \cdot 10^{-2}} 10^{-3} \approx 0.4 \text{ rad}$$

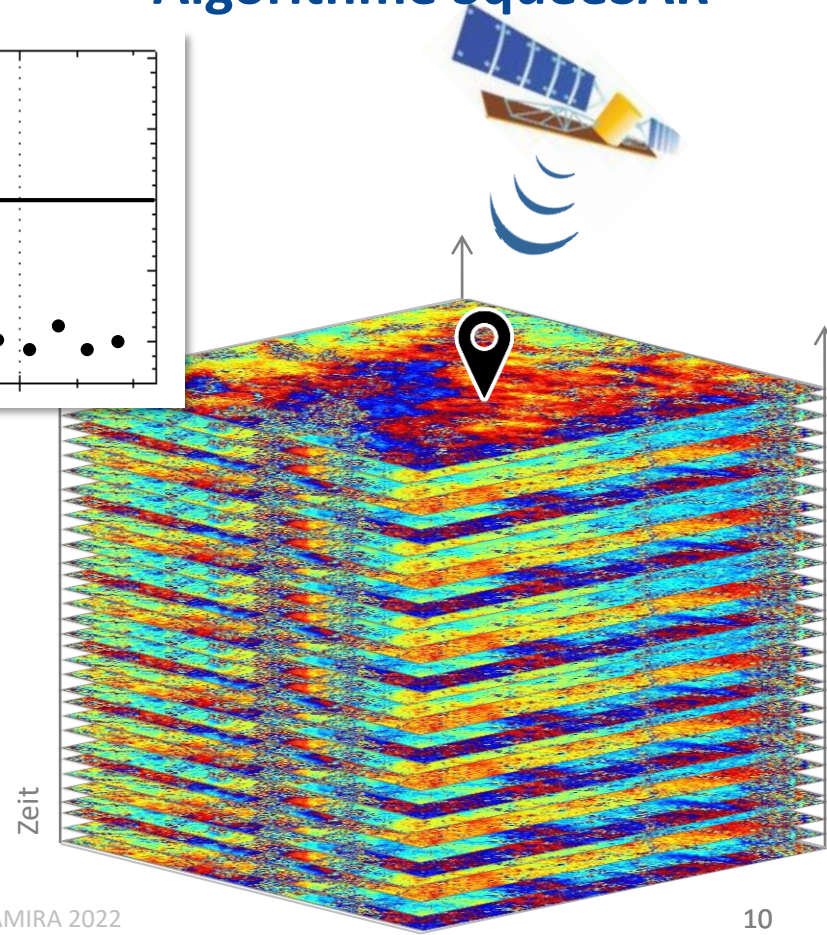
Différence de trajet $\left\{ \begin{array}{l} \Delta r = 10^{-3} \text{ m} \quad (1 \text{ mm}) \\ \lambda = 3 \cdot 10^{-2} \text{ m} \quad (\text{X-Band}) \end{array} \right.$

Longueur d'onde utilisée

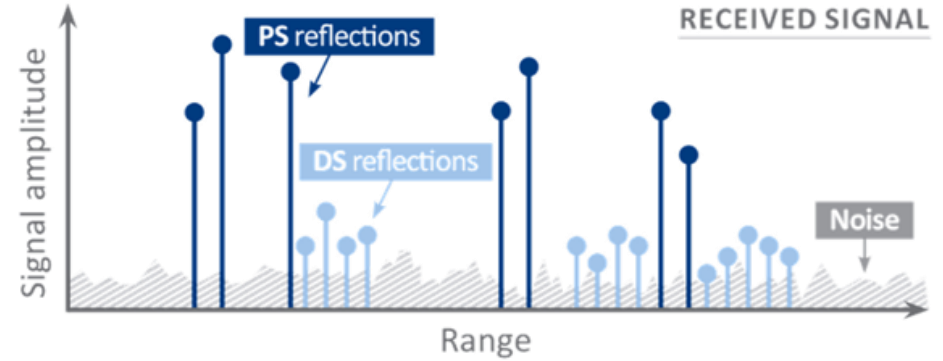
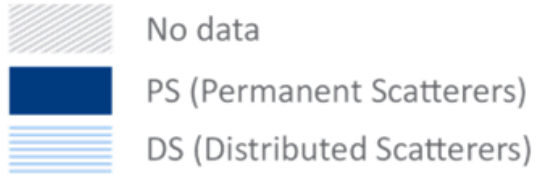
Mesures précises au millimètre près sont (théoriquement) possibles.



- » Approche multi-images
- » Compilation d'interférogrammes
- » Géolocalisation des points détectés
- » Analyse des séries temporelles

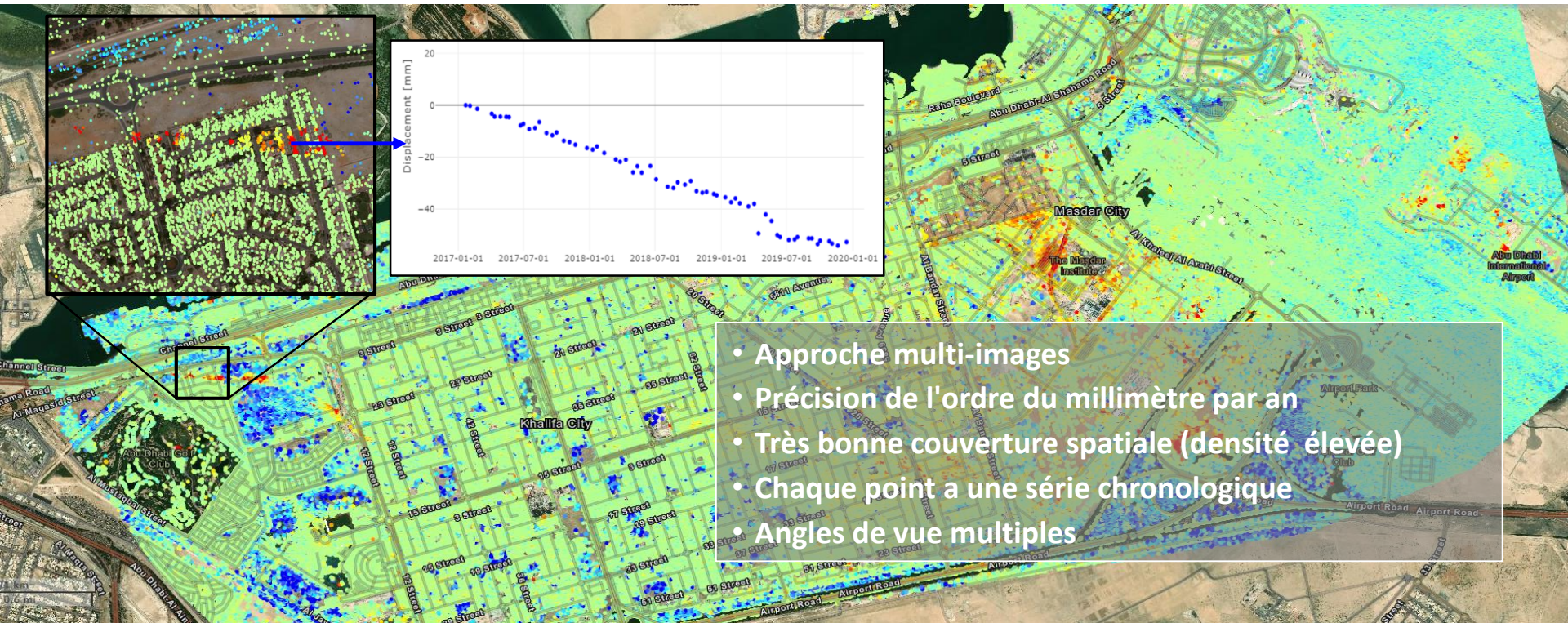


Les points de mesures (MP)



L'interférométrie radar via des satellites SAR

Carte des Vitesse moyennes et Séries temporelles





LES AVANTAGES DE L'INSAR DANS LE SUIVI DE CREUSEMENT D'OUVRAGES SOUTERRAINS

TRE Altamira peut suivre le client dans toutes les phases de son projet



Planification du Projet

- » Reconstitution des déplacements historiques
- » Identification des zones instables
- » Planification des études à mener



Construction

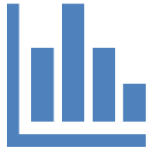
- » Cartographier la deformation locale du sol
- » Déformation directement due aux activités d'excavation
- » Favorise l'adhésion du public



Opération et Maintenance

- » Surveiller et évaluer les zones présentant un risque élevé de glissement de terrain, d'affaissement du sol ou de problèmes d'intégrité structurelle
- » Mettre en évidence les zones de mouvements de terrain anormaux

Pourquoi suivre les travaux des tunneliers par satellite ?



Manque de données géotechniques avant la construction



Le dépassement de budget en cas de retard du planning



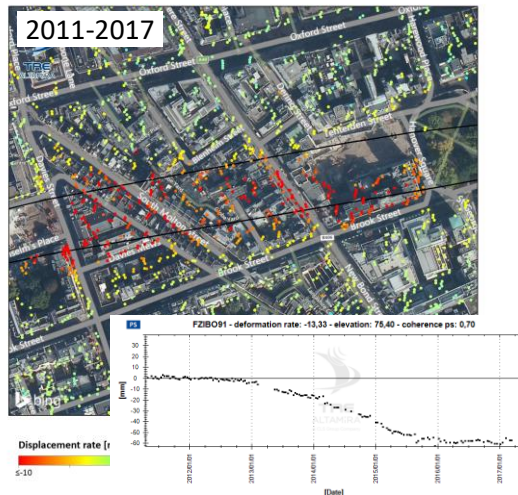
Les litiges potentiels avec les riverains concernés associés aux éventuels risques de procès



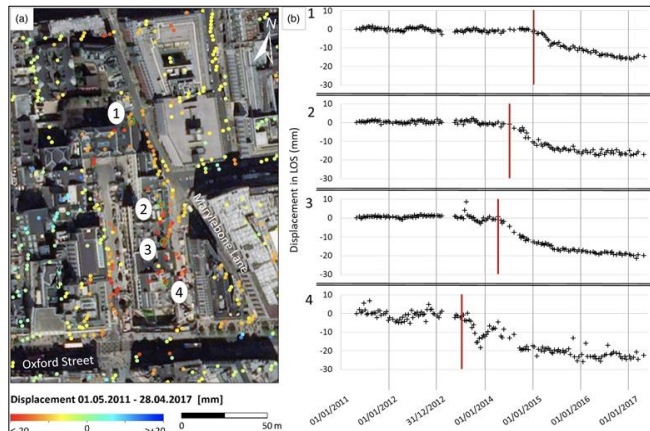
Les mouvements du sol induits par les travaux peuvent causer des dommages aux bâtiments et aux infrastructures

Démontrer l'impact des travaux

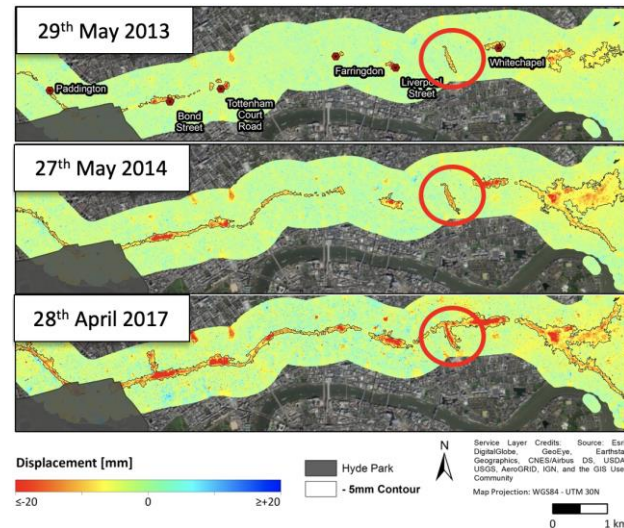
Où & Quand ?



Montrer quand le creusement a commencé et s'est arrêté & son influence en surface



Séries temporelles InSAR de déplacements du bâti
Montrer l'avancement du forage des tunnels



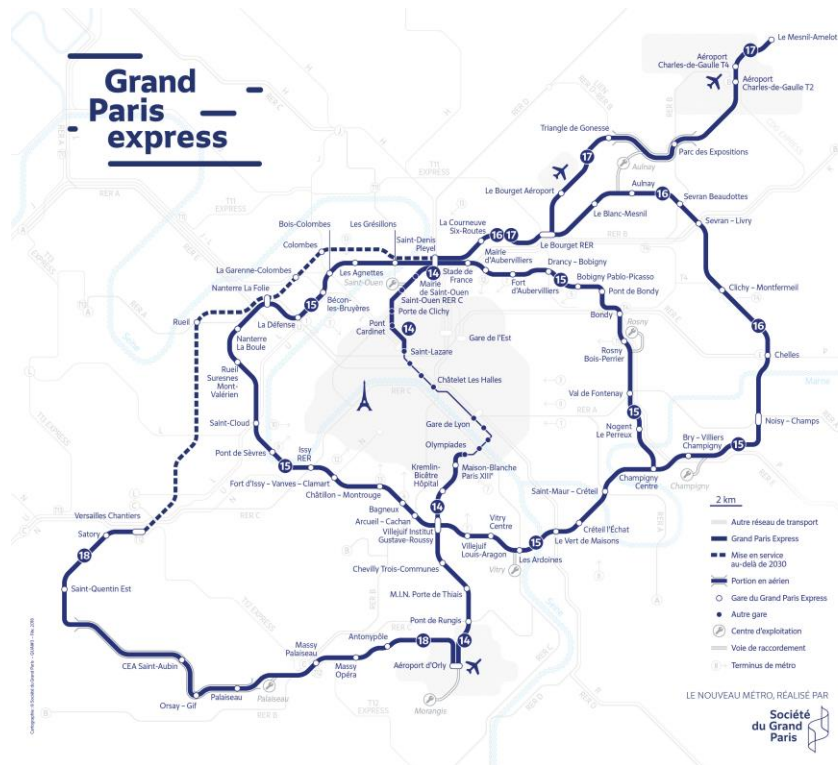
Anomalie imprévue détectée lors du creusement du tunnel principal de CrossRail (projet d'infrastructure distinct à Brick Lane)

Les avantages de l'InSAR : prouver la responsabilité, détecter les anomalies, voire les précurseurs de nature à causer des dégâts sur les infrastructures existantes



EXEMPLE DE PROJET GRAND PARIS EXPRESS SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS

Grand Paris Express



Calendrier de mises en service

2020 - 2021



2024



2027



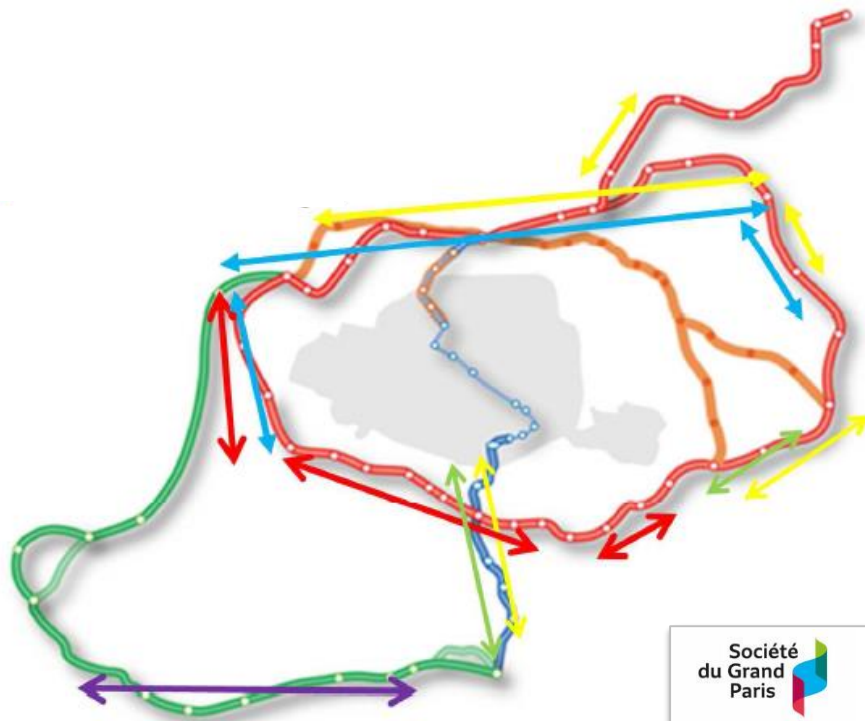
2030



- Le Grand Paris Express consiste en une refonte fondamentale du réseau de transport public de l'ensemble de l'agglomération parisienne.
- 68 nouvelles gares et 200 kms de voies supplémentaires
- Les travaux de construction ont débuté mi-juin 2016 avec la ligne 15 et pour une durée d'environ 15 ans.

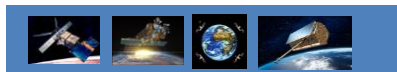
Risques géologiques et hydrogéologiques majeurs le long du tracé du GPE

- Dissolution du gypse,
- Explosion des matériaux (Sable de Fontainebleau, Gypse, Calcaire grossier, Craie, Alluvions de la Marne et de la Seine, Meulière).
- Sable de Fontainebleau
- Aquifères captifs
- Expansion - Contraction des sols argileux



Utilisation des résultats InSAR durant toutes les phases du projet

- L'analyse historique a permis de créer un inventaire du comportement de la surface du sol d'avril 1992 à mars 2015, avant le début de tout travail de construction.
- Pendant la phase de construction, des mises à jour mensuelles des mesures InSAR basées sur des acquisitions d'images tous les 11 jours complètent l'auscultation in-situ en temps réel en surveillant à distance une zone plus étendue.
- La ligne de base fournit un état de l'art sur une période de 18 mois (Phase à blanc), juste avant le début des travaux de construction.



Etude Historique globale



Etudes annuelles



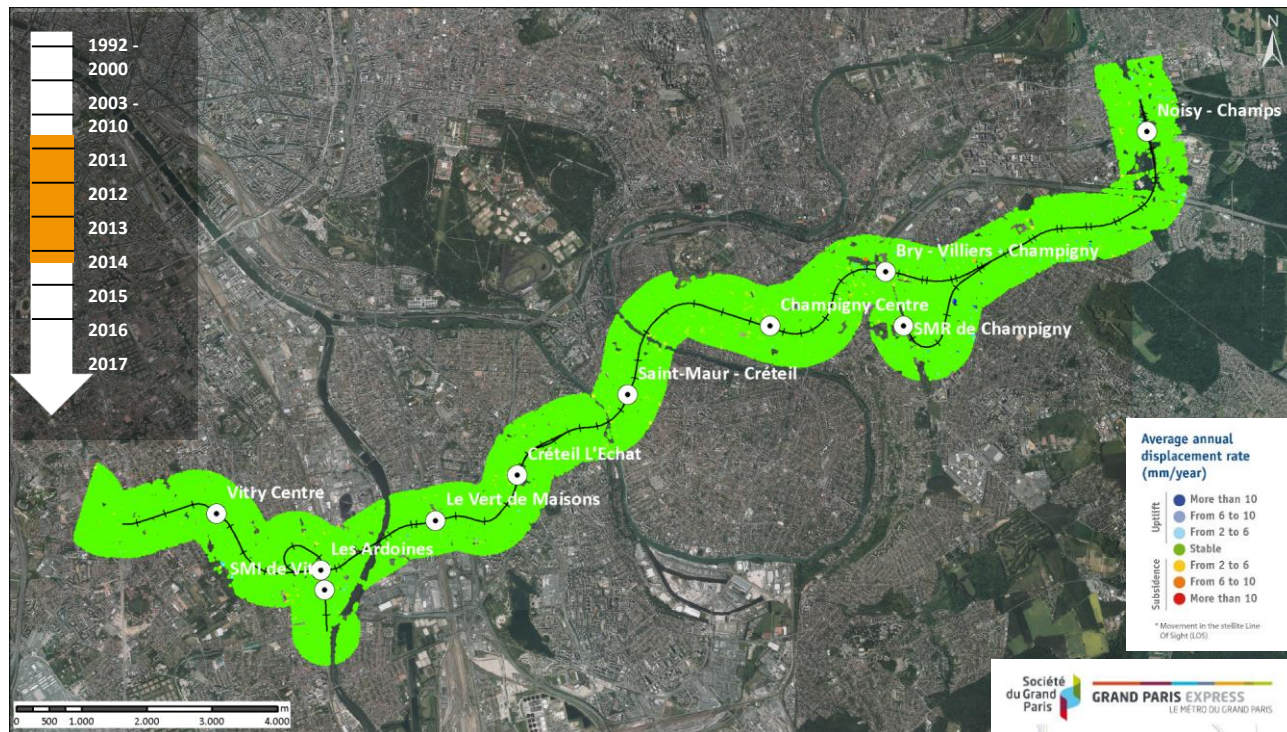
Baseline



Phase de construction

Un outil clé en main de visualisation et d'exploitation des données est mis à disposition afin de faciliter l'accès aux résultats à tous les acteurs du projet GPE : TREmaps®

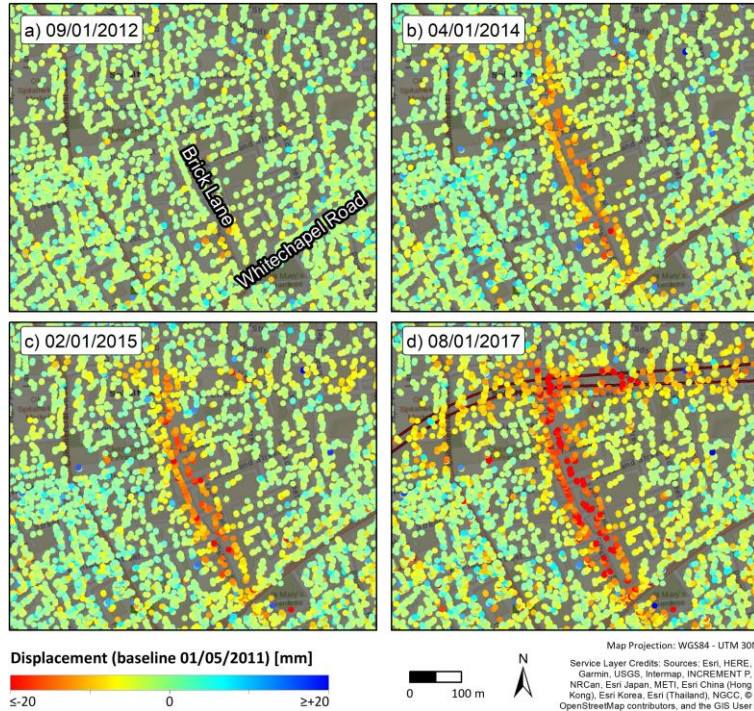
Exemple de résultats d'étude historique



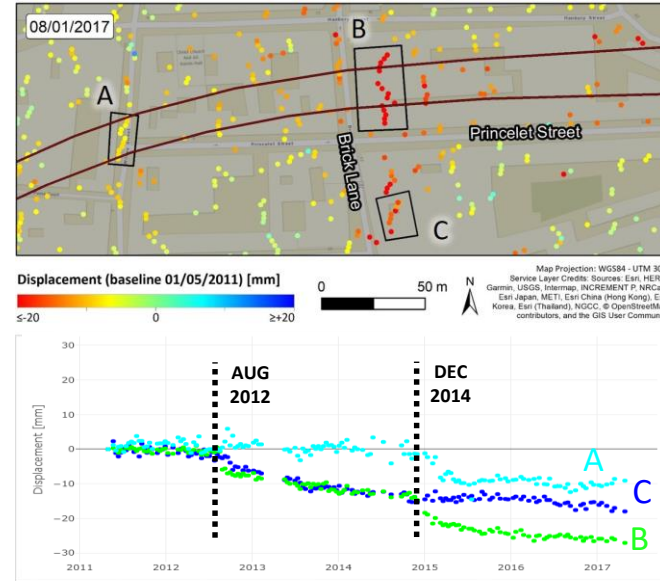
SqueeSAR® a fourni un inventaire complet du comportement de la surface du sol d'avril 1992 à mars 2015 et a permis d'identifier les structures vulnérables avant le début de tout travail de construction.



EXEMPLE DE PROJET LONDON CROSSRAIL

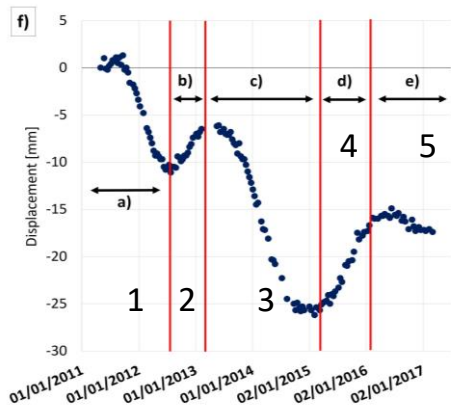
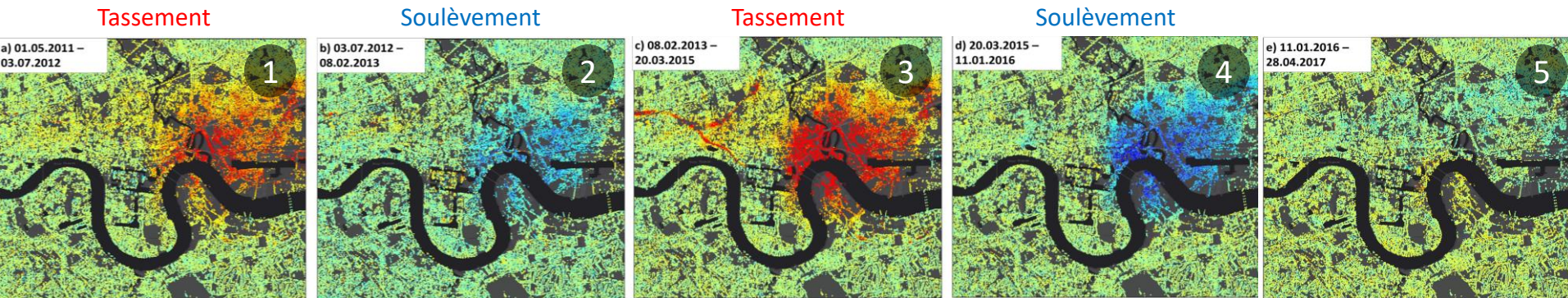


L'InSAR pour répondre à un litige



- » Mise en garde contre un conflit potentiel avec les actifs existants
- » Évaluation de la responsabilité : Séparer les déplacements dus à des travaux de construction différents.

Résultats InSAR dans les phases de pompage

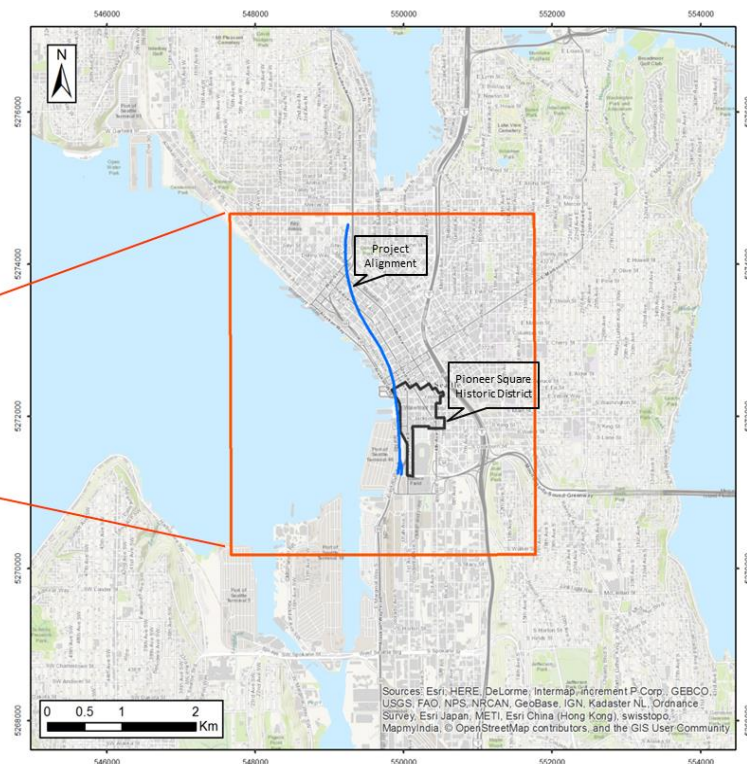
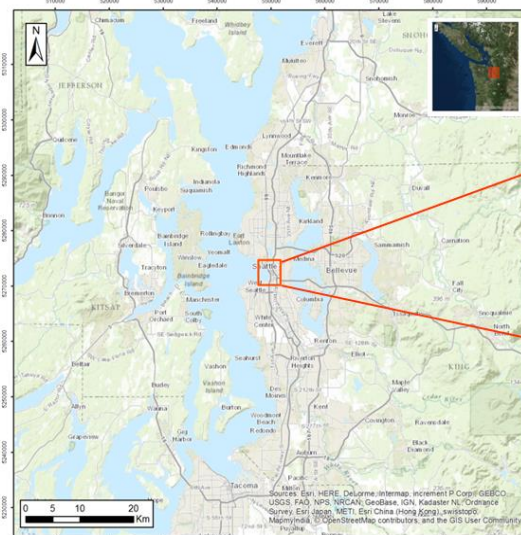


- » **Pompage:** la diminution de la pression coïncide avec le tassement (rouge) ; l'augmentation de la pression induit un rebond (bleu).
- » **Tendances saisonnières à grande échelle** par rapport aux travaux de construction

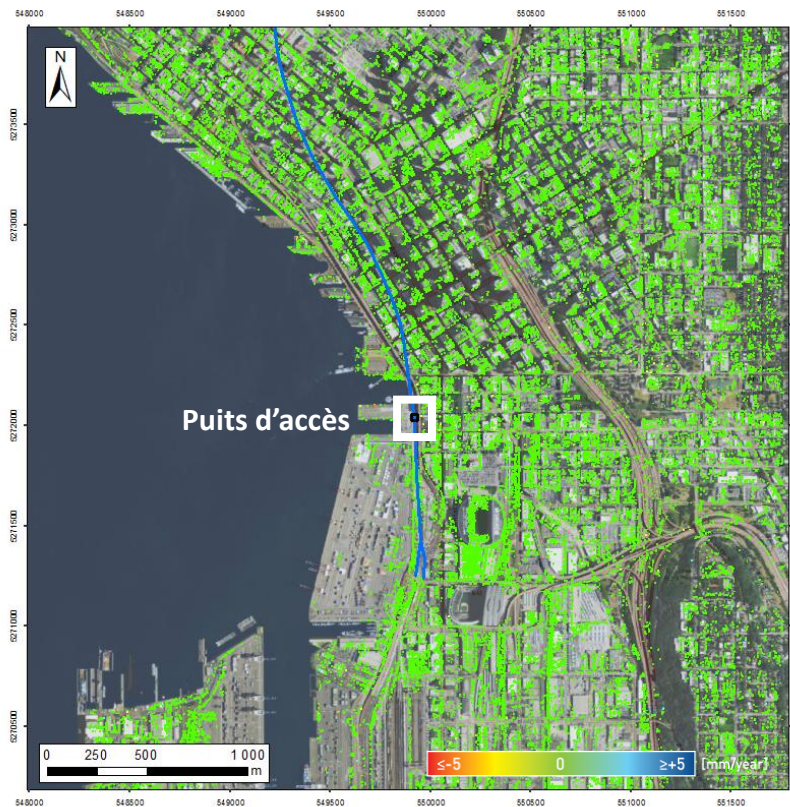


EXEMPLE DE PROJET ALASKAN WAY – SEATTLE

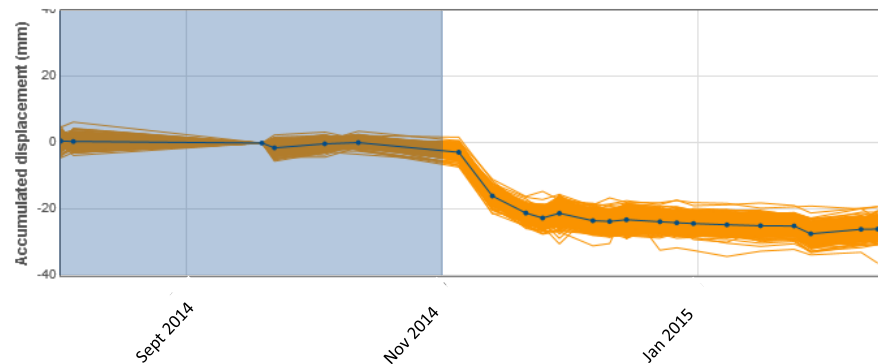
- » Évaluer le mouvement du sol **avant, pendant et après la construction** d'un puits d'accès au tunnel de la route nationale 99.
- » Travaux entre août 2014 et février 2015



Résultats InSAR avant la phase de construction

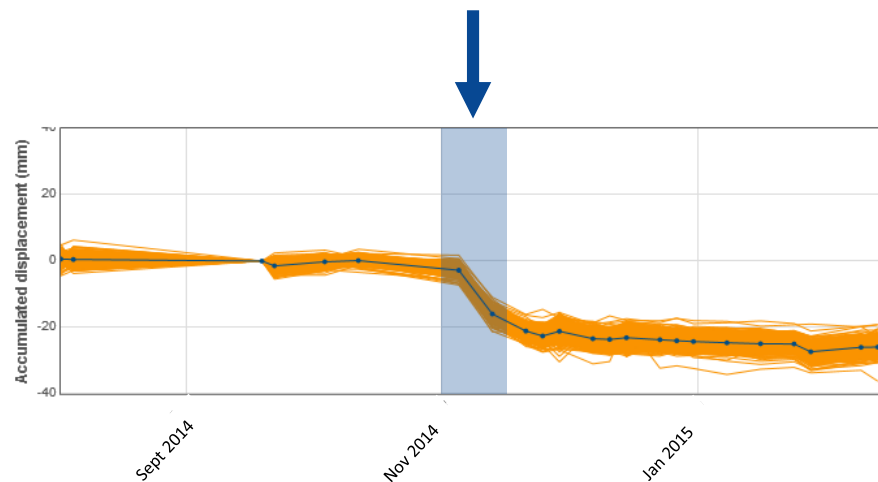
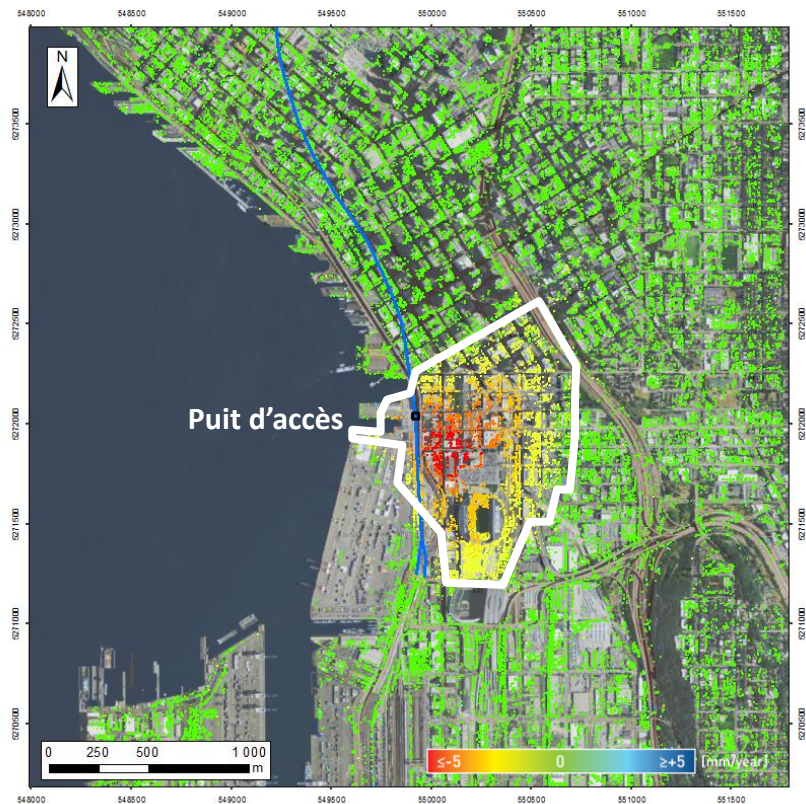


» Une reconstitution unique des déplacements dans le temps : les Séries Temporelles de déplacements près du puits d'accès montre peu de mouvement avant novembre 2014.



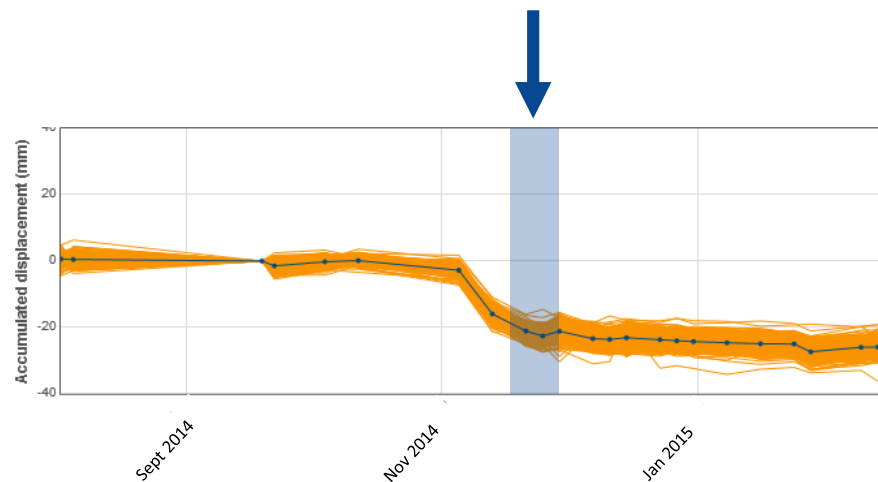
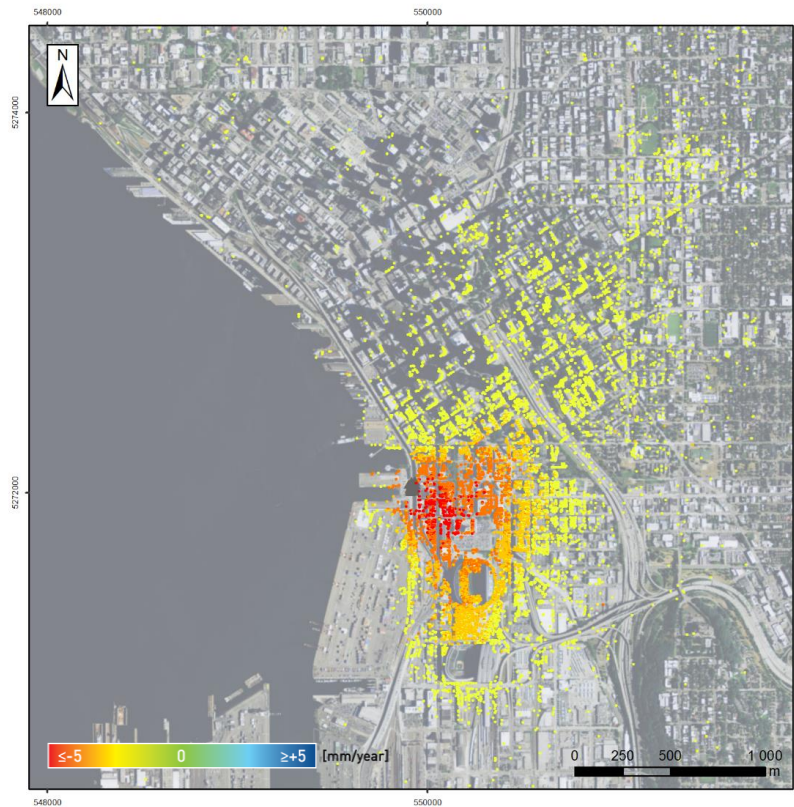
L'InSAR durant la phase de pompage

» En Novembre 2014, un tassement > 20 mm est constaté pendant la phase de pompage

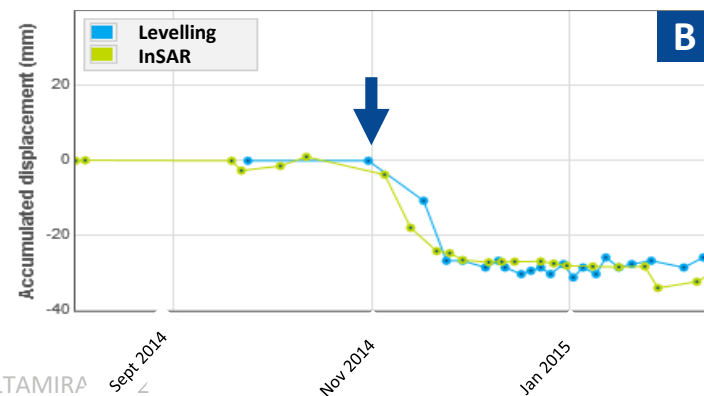
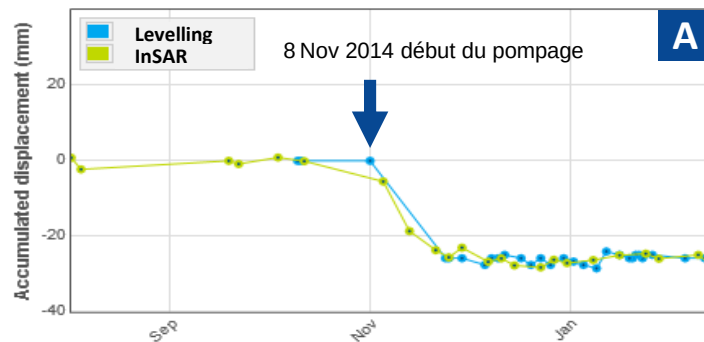


L'InSAR pour montrer l'étendue de la deformation

» **Révélation du véritable impact spatial de la déformation du sol**, qui devait initialement rester dans un rayon d'un pâté de maisons autour du puits d'accès.

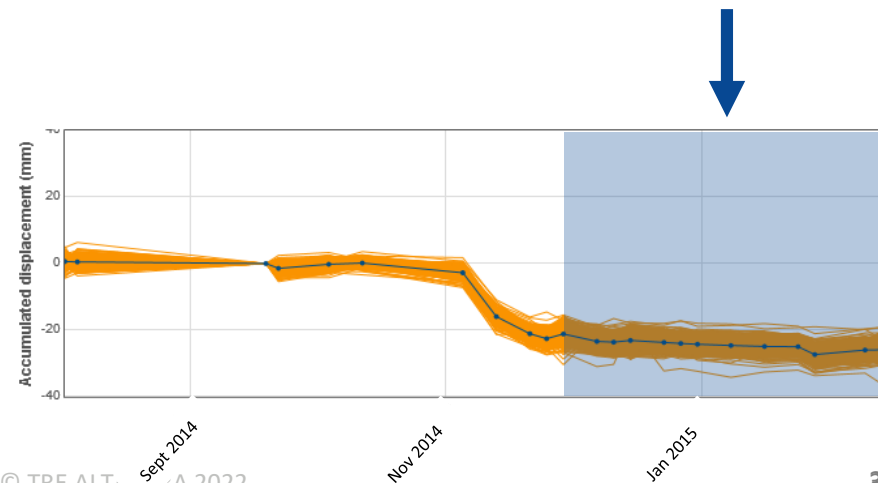


» Confirmation des données in-situ de nivellement



L'InSAR après la construction

- » Défense contre les réclamations de tiers **non valides** au-delà de la fin des exigences de surveillance.
- » Après novembre 2014, le tassement **ralentit considérablement** mais reste supérieur à la valeur de base initiale.





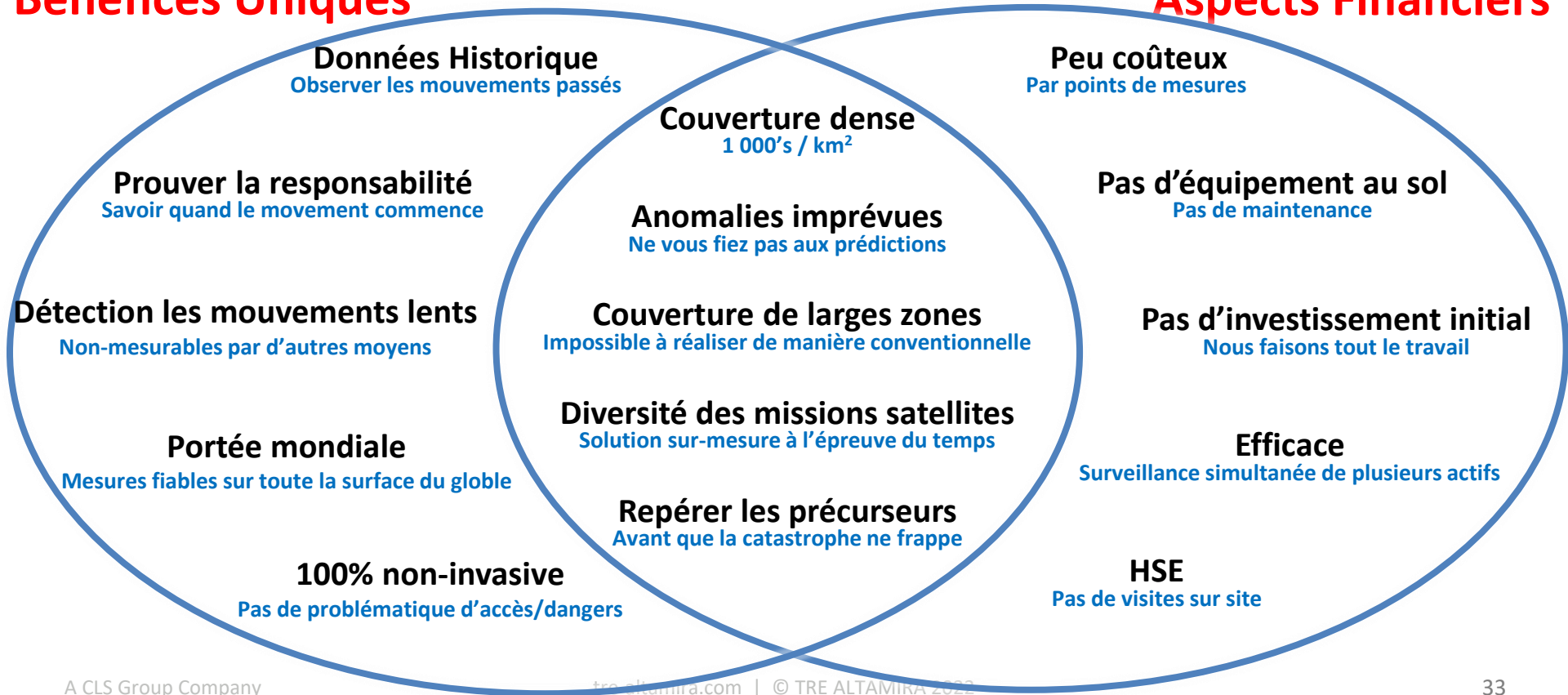
TRE
ALTAMIRA
A CLS Group Company

DISCUSSION

Résumé des avantages de l'InSAR

Bénéfices Uniques

Aspects Financiers



~5,000,000 km²
analysed everywhere in the world



1mm
PRECISION
on single displacement
measurements



SAR satellites
PAST AND PRESENT
Ready for future platforms

1,000+ InSAR
PROJECTS



in different market sectors

International
PATENTS



on radar data processing

SqueeSAR® DespecKS®

Double-Geometry Corner Reflectors

**Le leader mondial reconnu
dans la mesure du
mouvement de la surface de
la Terre depuis l'espace**

21 an en opération

100 personnes

Liens universitaires solides



- Un nouvel élément du **Programme Copernicus** de surveillance de la terre
- Le premier service de cartographie de la deformation du sol par l'InSAR à l'**échelle continentale**
- Basé sur **toutes les données** passées et futures du satellite Sentinel-1.
- Le premier produit sera publié au **Q2 2022**.
 - Etude de base 2015-2020, suivie de mises à jour annuelles.
- Les produits seront mis à la disposition des utilisateurs **gratuitement et librement** via le portail [Copernicus Land Monitoring Service](#).



MILANO

Ripa di Porta Ticinese, 79
20143 Milano - ITALY
Tel: +39 02 4343 121

BARCELONA

Carrer de Còrsega, 381-387
08037 Barcelona - SPAIN
Tel: +34 93 183 57 50

VANCOUVER

Suite 410, 475 West Georgia Street
Vancouver, BC V6B 4M9 - CANADA
Tel: +1 604 331 2512

Questions?



sales@tre-altamira.com

Regional offices

FRANCE

Parc Technologique du Canal
11, Rue Hermès
F-31520 Ramonville St Agne
Tel: +33 561 39 47 19

PERU

Av. Angamos Oeste 537
Miraflores, Lima
Tel: +51 1 4402717

AUSTRALIA

Suite 207 – 122 Toorak Road | South Yarra
Melbourne
Tel: +61 455 154552