



Journée scientifique et technique du CFMS du 21 mars 2019

« *Grands projets d'infrastructures en Région Parisienne* »

L'interférométrie satellite radar au rendez-vous des grands projets de Paris

Fifamè KOUDOGBO et Anne URDIROZ – TRE ALTAMIRA



A CLS Group Company



Agenda



- » Présentation TRE ALTAMIRA
- » La mesure des mouvements de surface
- » Cas d'étude : L'InSAR à toutes les étapes du GPE
- » Cas d'étude : Surveillance InSAR des réseaux RATP
- » Discussions

Présentation TRE ALTAMIRA

Leader mondial dans le domaine de l'InSAR

Leader mondial dans la mesure millimétrique de mouvement du sol
à partir d'images satellite radar



Présentation TRE ALTAMIRA

Les secteurs d'activité

Infrastructures



- Planification, construction et maintenance.
- Suivi de projets d'infrastructures (voie ferrées, barrages, ponts..)



Mines



- Surveillance mines à ciel ouvert
- Surveillance mines souterraines
- Abandon minier



Pétrole et gaz



- Gestion et surveillance des réservoirs (exploitation et stockage de gaz) et infrastructures
- Plateformes offshore, Terminal GNL.



Institutionnel



- Réduction des risques naturels
- Optimisation de la sécurité
- Service d'Information des risques naturels (inondations, chargement climatique..)





Agenda



- » Présentation TRE ALTAMIRA
- » La mesure des mouvements de surface
- » Cas d'étude : L'InSAR à toutes les étapes du GPE
- » Cas d'étude : Surveillance InSAR des réseaux RATP
- » Discussions

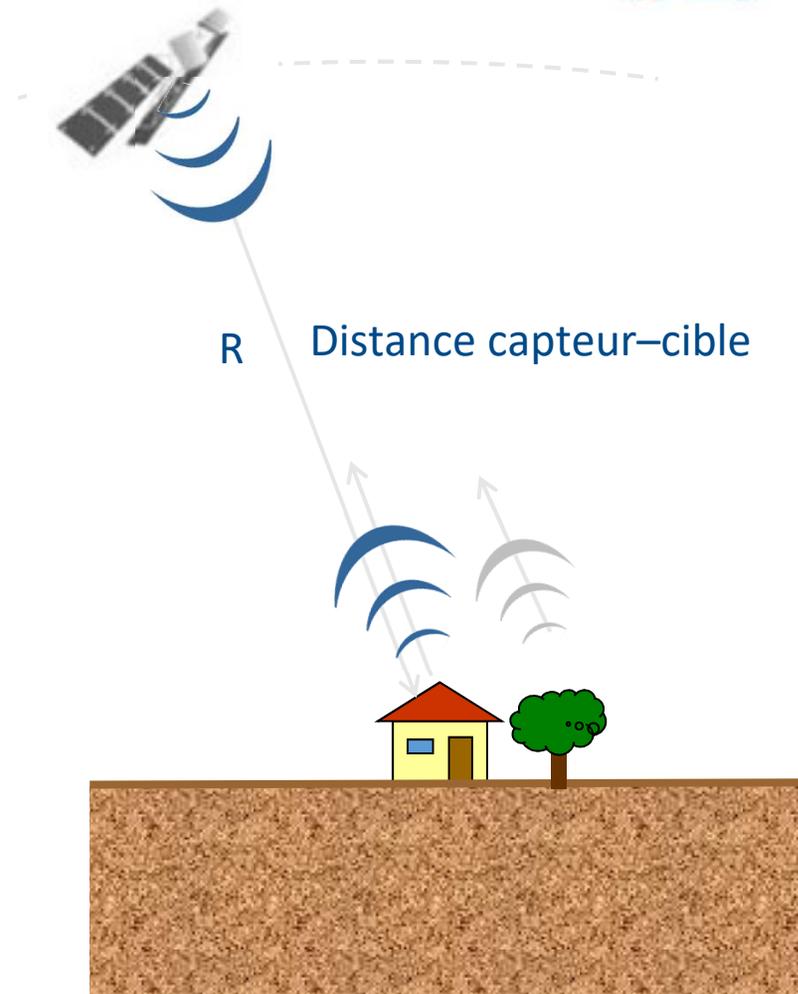


TRE
ALTAMIRA
A CLS Group Company



La mesure des mouvements de surface

Distance cible-capteur



R Distance capteur-cible

Tout changement de la distance capteur-cible peut être mesuré avec précision.



TRE
ALTAMIRA
A CLS Group Company

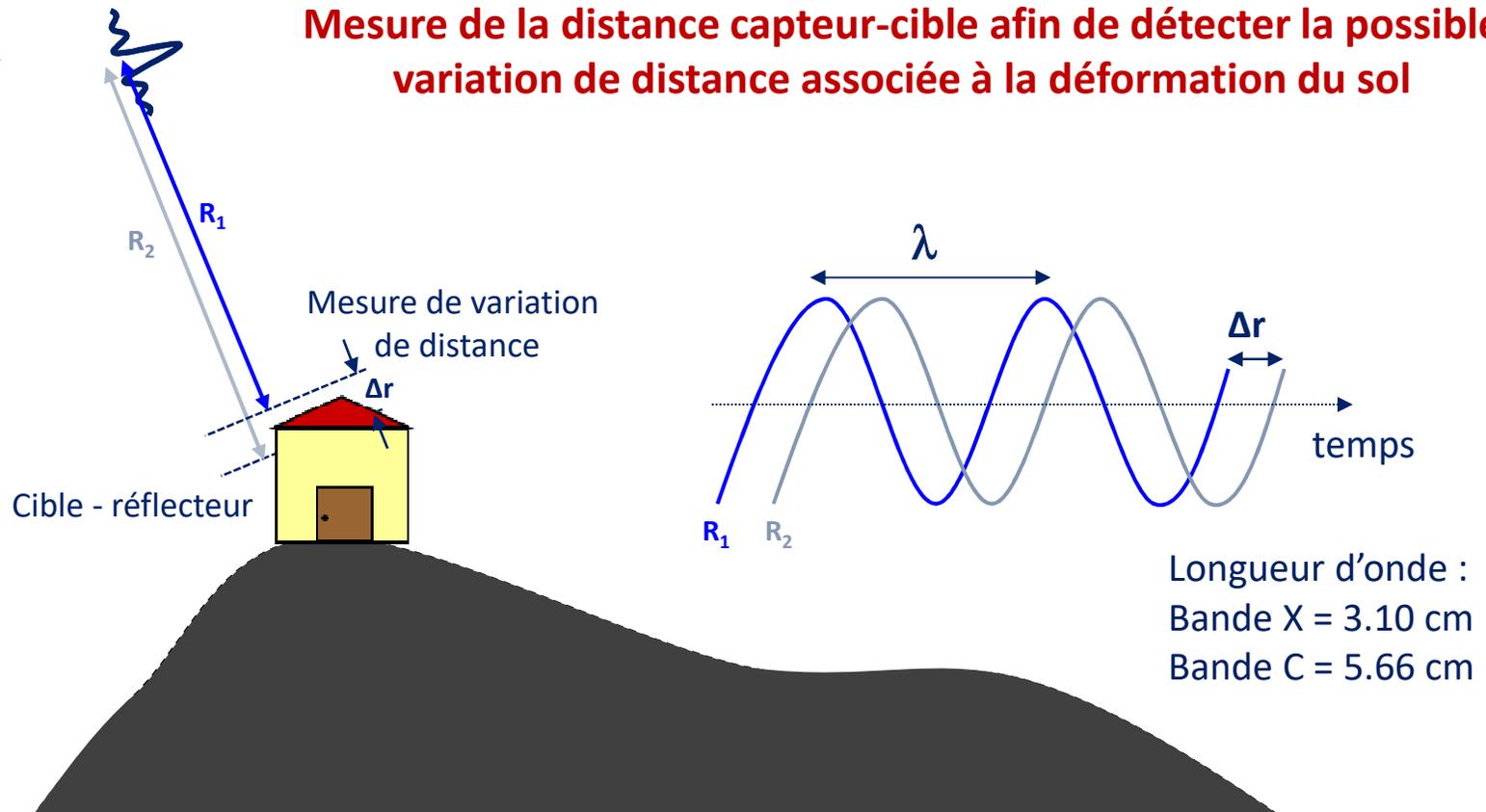


La mesure des mouvements de surface

Variation de distance associée à la déformation



Mesure de la distance capteur-cible afin de détecter la possible variation de distance associée à la déformation du sol

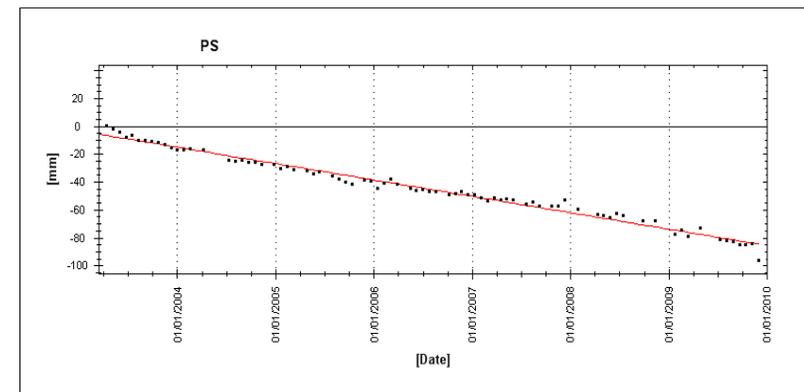
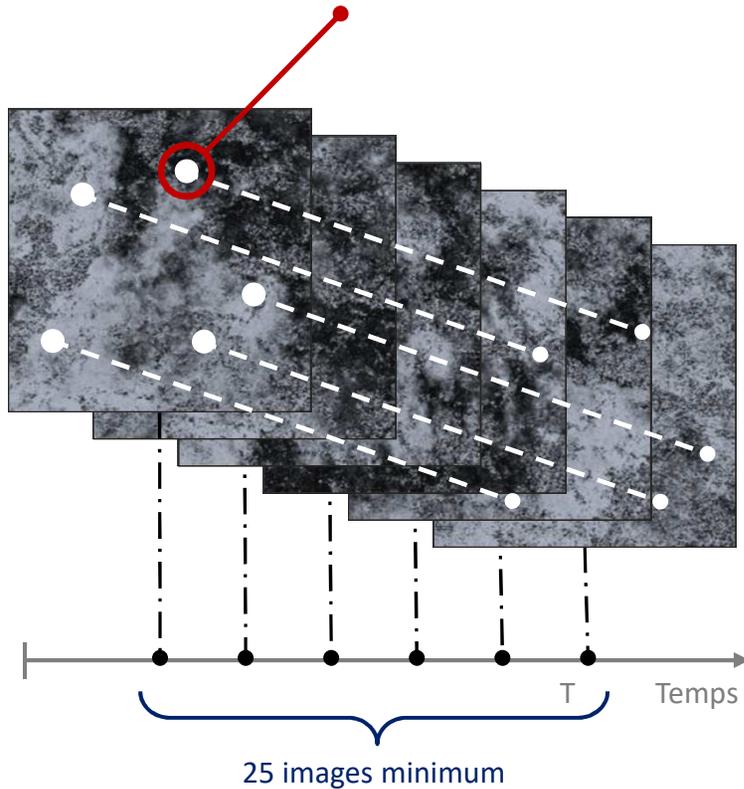


Interférométrie (InSAR): comparaison entre images radar --> variation de distance.

La mesure des mouvements de surface

La technologie d'interférométrie sur points stables

Points de mesure stables au sol



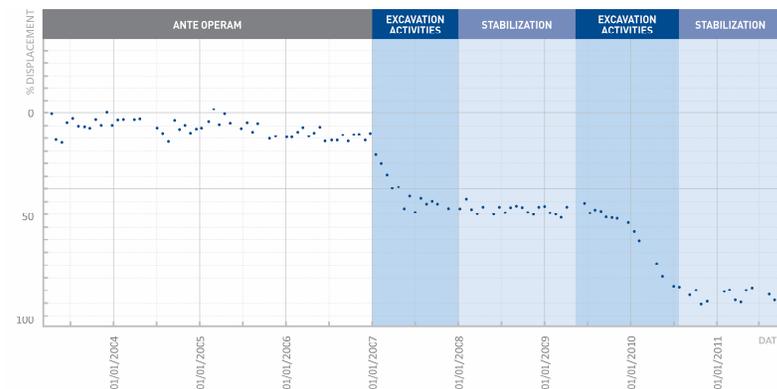
Série temporelle présentant l'évolution du mouvement dans le temps

La mesure des mouvements de surface

La carte de mouvement

Une analyse SqueeSAR® fournit les informations suivantes pour chaque point de mesure :

- » **Position** dans un système de coordonnées spécifique [m],
- » **Vitesse moyenne de déplacement** [mm/an],
- » **Paramètres de qualité** des points de mesure [diverses unités],
- » **Séries temporelles de déplacement** qui montrent l'évolution du déplacement du point de mesure sur la période considérée [mm].



Série temporelle de déplacement

La mesure des mouvements de surface

Points de mesures naturels et réflecteurs artificiels

Réflecteurs naturels



- Sont distribués sur les infrastructures et le bâti en zone urbaine.
- Permettent de réaliser des études historiques.

Coins Réflecteurs



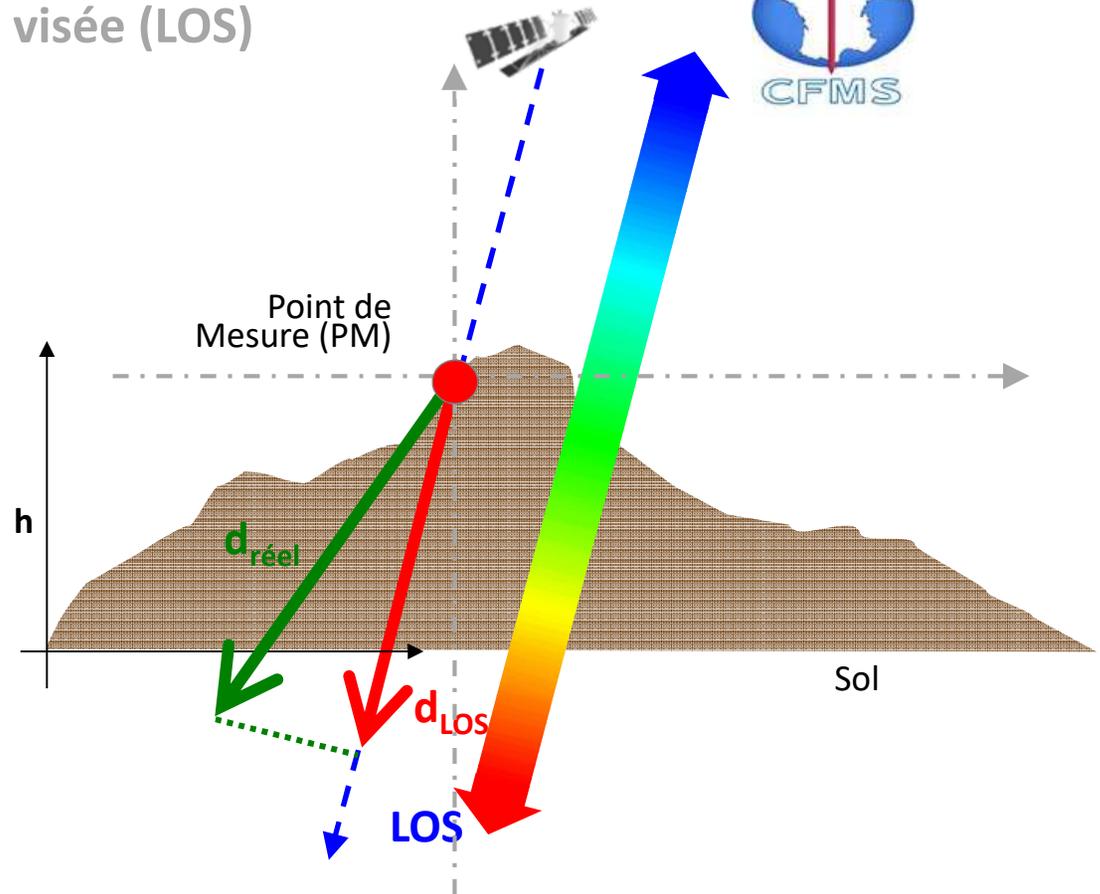
- Garantissent des points de mesure dans les contextes défavorables (présence de végétation)
- Permettent ainsi de densifier le réseau de mesures.

Certaines zones présentent des réflecteurs naturels.
Dans les zones sans réflecteurs naturels, des coins réflecteurs artificiels peuvent être déployés.

La mesure des mouvements de surface

Mesure dans la ligne de visée (LOS)

- » Les satellites radar mesurent les mouvements dans le plan image du radar, c'est-à-dire dans la direction de leur ligne de visée (*Line-of-Sight* en anglais ou *LOS*).
- » La *LOS* est la direction en laquelle le capteur regarde la surface de la Terre.



- Les points de mesure qui se déplacent en direction du radar sont représentés à partir d'une échelle de couleur variant du **cyan au bleu foncé**.
- Les points de mesure qui ne montrent aucun mouvement sont codés en **vert**.
- Les points de mesure qui s'éloignent du satellite sont représentés à partir d'une échelle de couleur variant du **jaune au rouge**.

La mesure des mouvements de surface

Référence et précision de la mesure

- » L'InSAR est un instrument → les mesures de mouvement sont **relatives à une référence**.
- » Les mesures SqueeSAR® sont faites en référence à un point de mesure (REF) sélectionné durant le traitement à partir de ses caractéristiques (bonne rétrodiffusion, bons paramètres de qualité...).
- » Il est à noter que la stabilité de REF ne peut être vérifiée qu'à partir de l'usage de données extérieures telles que des mesures GPS.
- » La précision de la mesure est mesurée à partir de la **valeur d'écart-type**.

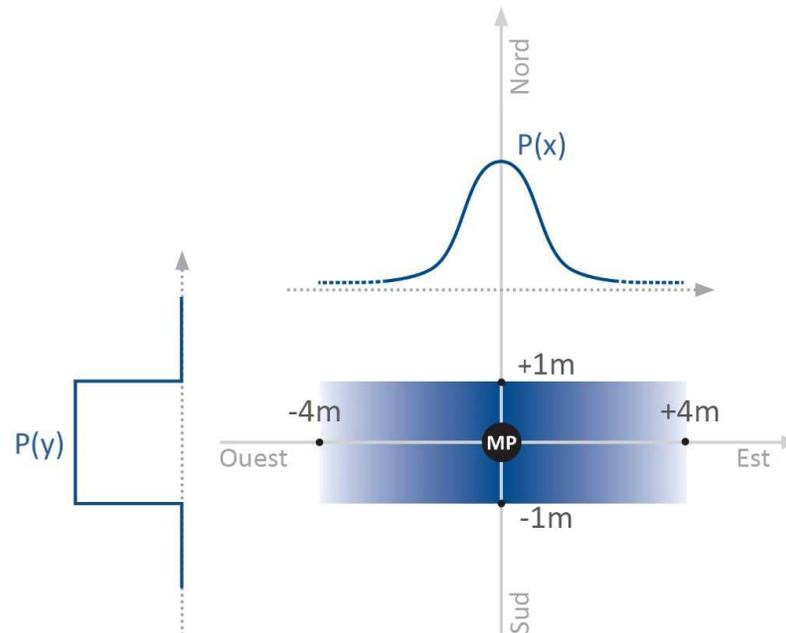
Ecart-type	
Vitesse moyenne de déplacement	± 1-2 mm/an
Mesure individuelle de déplacement	± 3-4 mm

Valeurs théoriques pour un jeu de données de plus de 40 images acquies sur une période minimale de 2 ans

La mesure des mouvements de surface

Précision de la géolocalisation

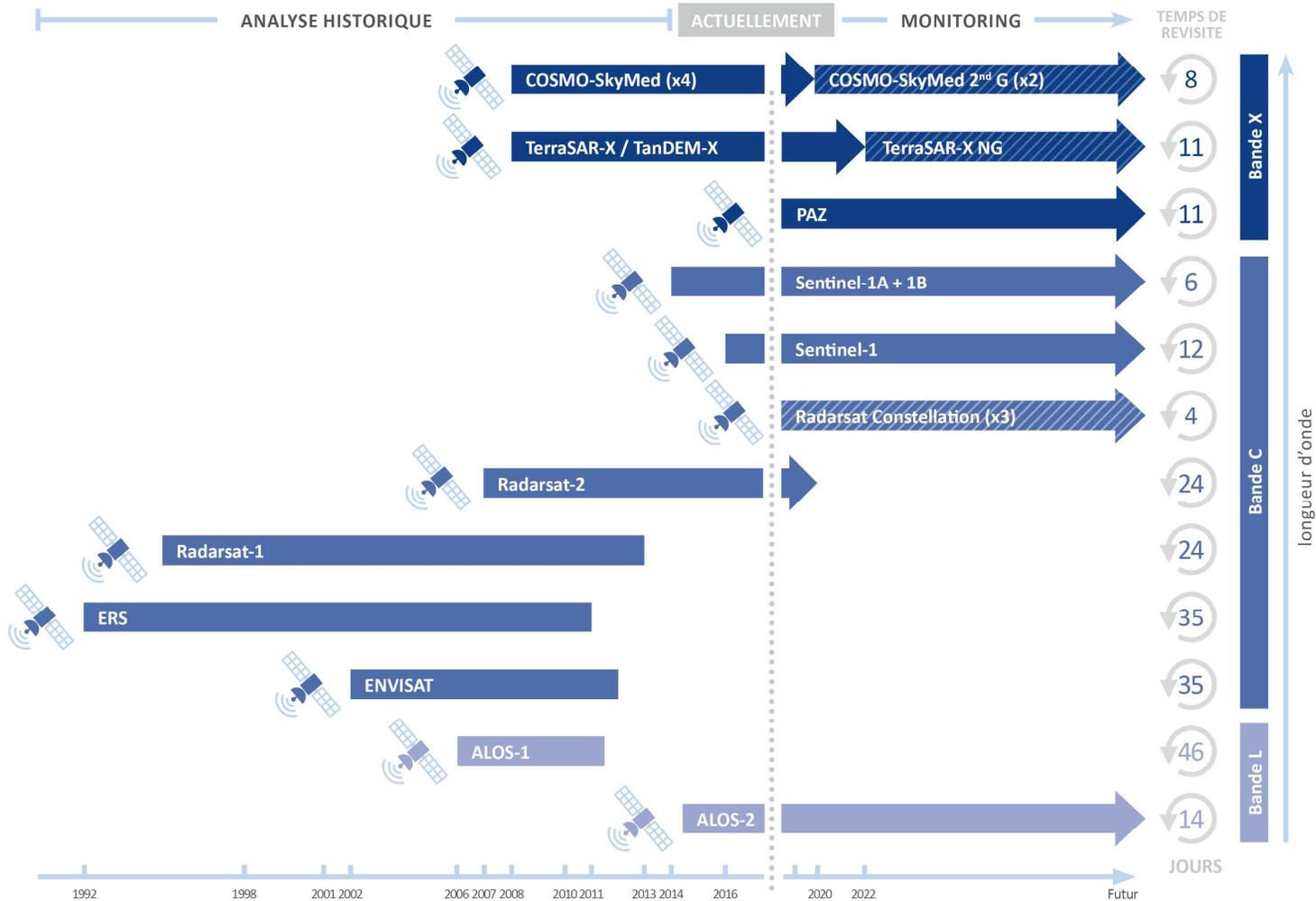
Localisation du point de mesure	Position Nord	Position Est	Hauteur ellipsoïdale
Satellites bande X	± 1 m	± 4 m	± 1.5 m



Valeurs théoriques pour un jeu de données de plus de 30 images acquies sur une période minimale de 2 ans pour 1 pt de mesure localisé à un max de 4km de REF

La mesure des mouvements de surface

Les missions radar





Agenda



- » Présentation TRE ALTAMIRA
- » La mesure des mouvements de surface
- » Cas d'étude : L'InSAR à toutes les étapes du GPE
- » Cas d'étude : Surveillance InSAR des réseaux RATP
- » Discussions

L'InSAR à toutes les étapes du GPE

De la planification à la maintenance

Avant travaux



- **Avant travaux** : Etat des lieux afin de mieux connaître les zones à risque et lancer des campagnes de reconnaissance complémentaires si nécessaire

Construction



- **Durant la construction** : Surveillance InSAR de l'impact en surface des travaux souterrains. Densification des mesures d'auscultation sur la ZIG (Zone d'Influence Géotechnique) et contrôle des déformations sur les avoisinants grâce à la couverture satellite
- **Phase post-construction** : Contrôle de la stabilité. Rapprochement des mesures de tassement des nouvelles infrastructures et des modèles

Maintenance



Prévention des risques :

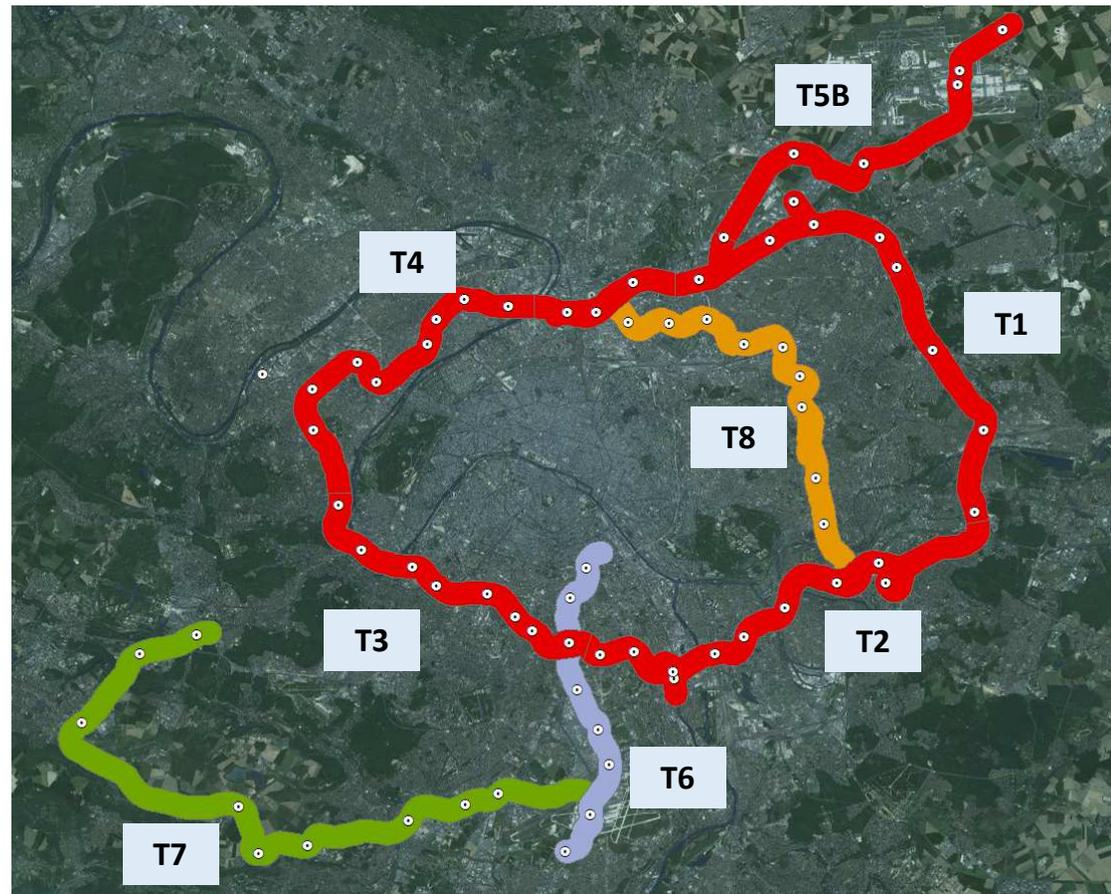
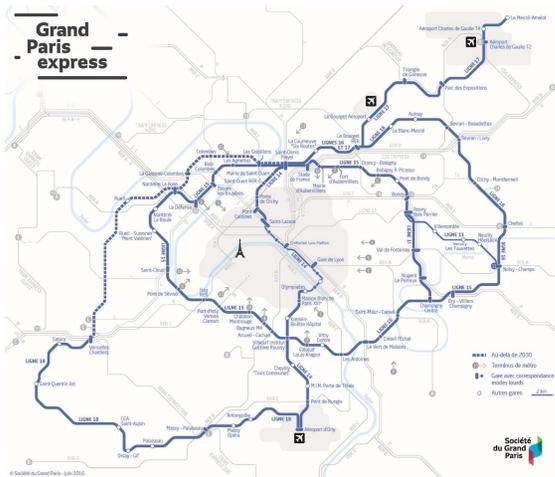
- **Surveillance du réseau et de son environnement** sans intervention in-situ. De grands linéaires sont considérés grâce à la couverture satellite
- **Suivi des glissements de terrain** à proximité du réseau

La technologie InSAR s'inscrit dans toutes les phases des projets de construction, elle permet d'analyser la dynamique des mouvements des zones concernées sur de grands linéaires.

L'InSAR à toutes les étapes du GPE

Réseau du Grand Paris Express

- » La zone d'étude est composée par un fuseau de 1 km de large qui s'étend de part et d'autre du réseau.



L'InSAR à toutes les étapes du GPE

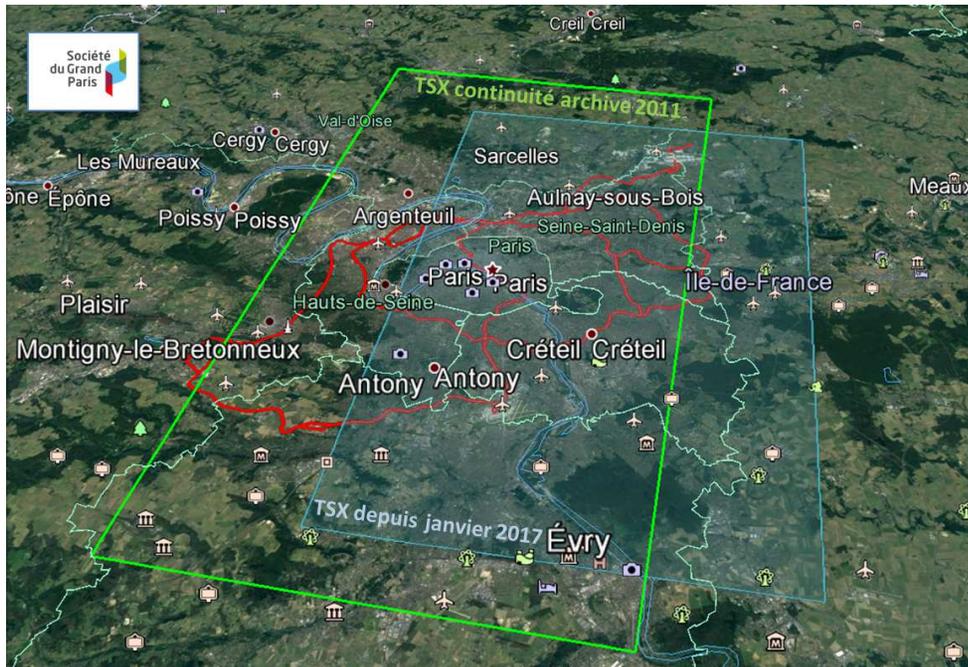
Les différentes phases du projet

- » L'InSAR est déployé à toutes les phases du projet
- » L'historique a permis de réaliser une cartographie des mouvements du sol entre avril 1992 et mars 2015, avant le démarrage de toute construction.
- » Durant la phase de construction, les mesures sont mises à jour sur une base mensuelle à partir des images acquises tous les 11 jours. Ces mesures complètent les données in-situ sur un périmètre plus étendu.
- » La phase à blanc fournit un état des lieux avant travaux sur une période de 18 mois afin de maximiser la densité de points de mesure.
- » Le suivi régulier assure le lien entre l'étude historique et la phase à blanc .



L'InSAR à toutes les étapes du GPE

Volet surveillance phase travaux

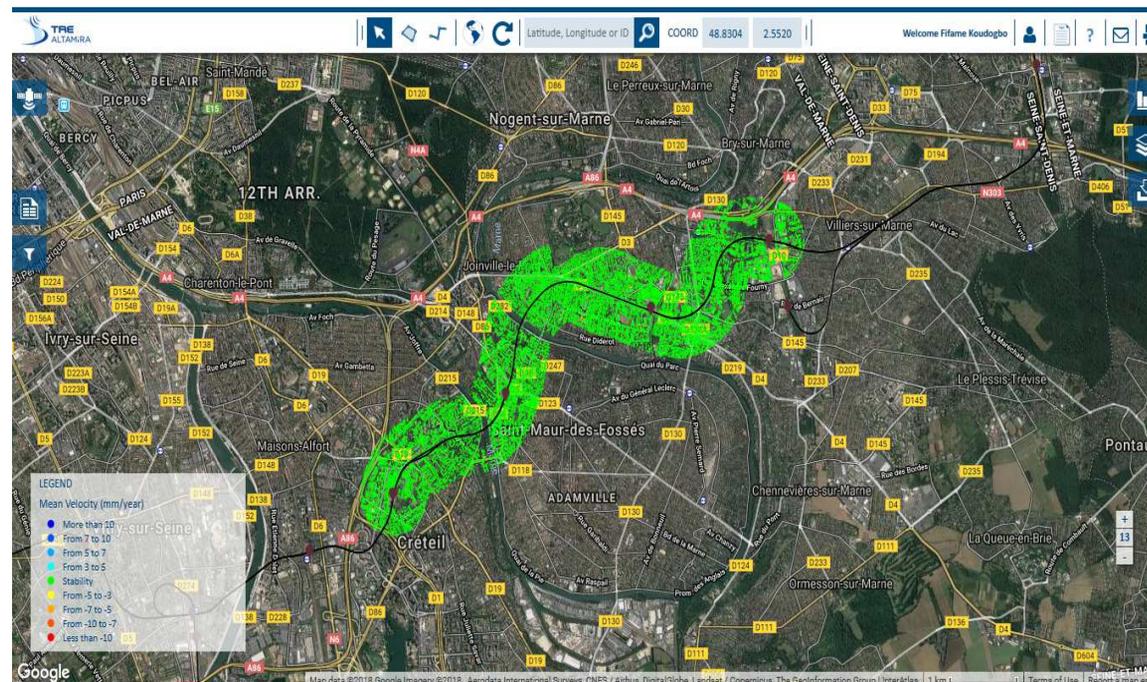


<https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:6509454321971798016>

L'InSAR à toutes les étapes du GPE

Volet surveillance phase travaux

- » La phase travaux a débuté en septembre 2016 avec l'amorce des travaux de la gare de Fort d'Issy Vanves Clamart.
- » Les résultats sont redistribués via le WebGIS aux Maitres d'oeuvre et entreprises, suivant les lots qui les concernent.
- » Une centaine de comptes a été créée pour l'instant.



L'InSAR à toutes les étapes du GPE

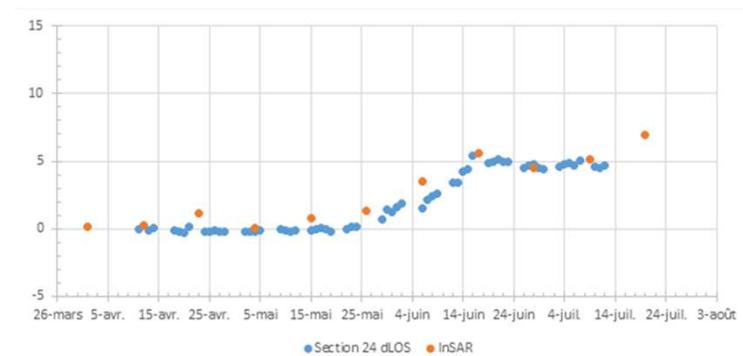
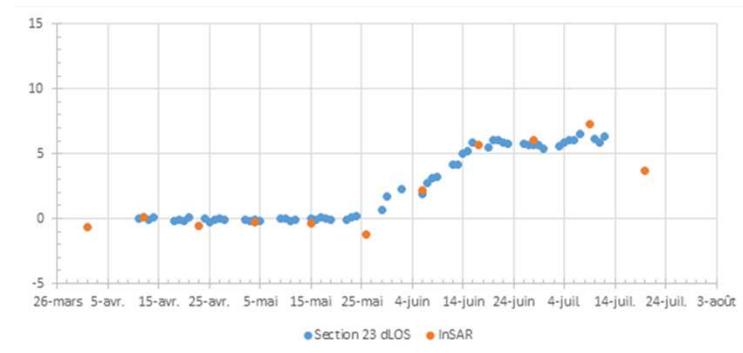
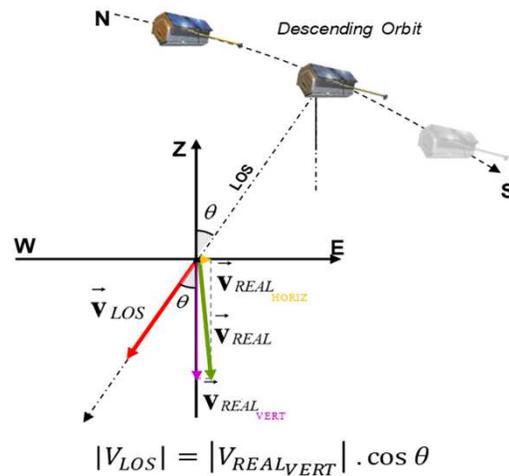
Comparaison avec l'instrumentation



Koudogbo et al., "Radar interferometry as an innovative solution for monitoring the construction of the Grand Paris Express metro network – First results", WTC 2018



- » Dans le cadre des travaux préparatoires de construction des gares, des traitements divers ont été réalisés.
- » L'interférométrie a été capable de détecter le mouvement induit par ces traitements.
- » Les mesures interférométriques ont été comparées aux mesures provenant de l'auscultation en place.





Agenda



- » Présentation TRE ALTAMIRA
- » La mesure des mouvements de surface
- » Cas d'étude : L'InSAR à toutes les étapes du GPE
- » Cas d'étude : Surveillance InSAR des réseaux RATP
- » Discussions

Surveillance InSAR des réseaux RATP

Réseaux RATP (métro, tramway RER)

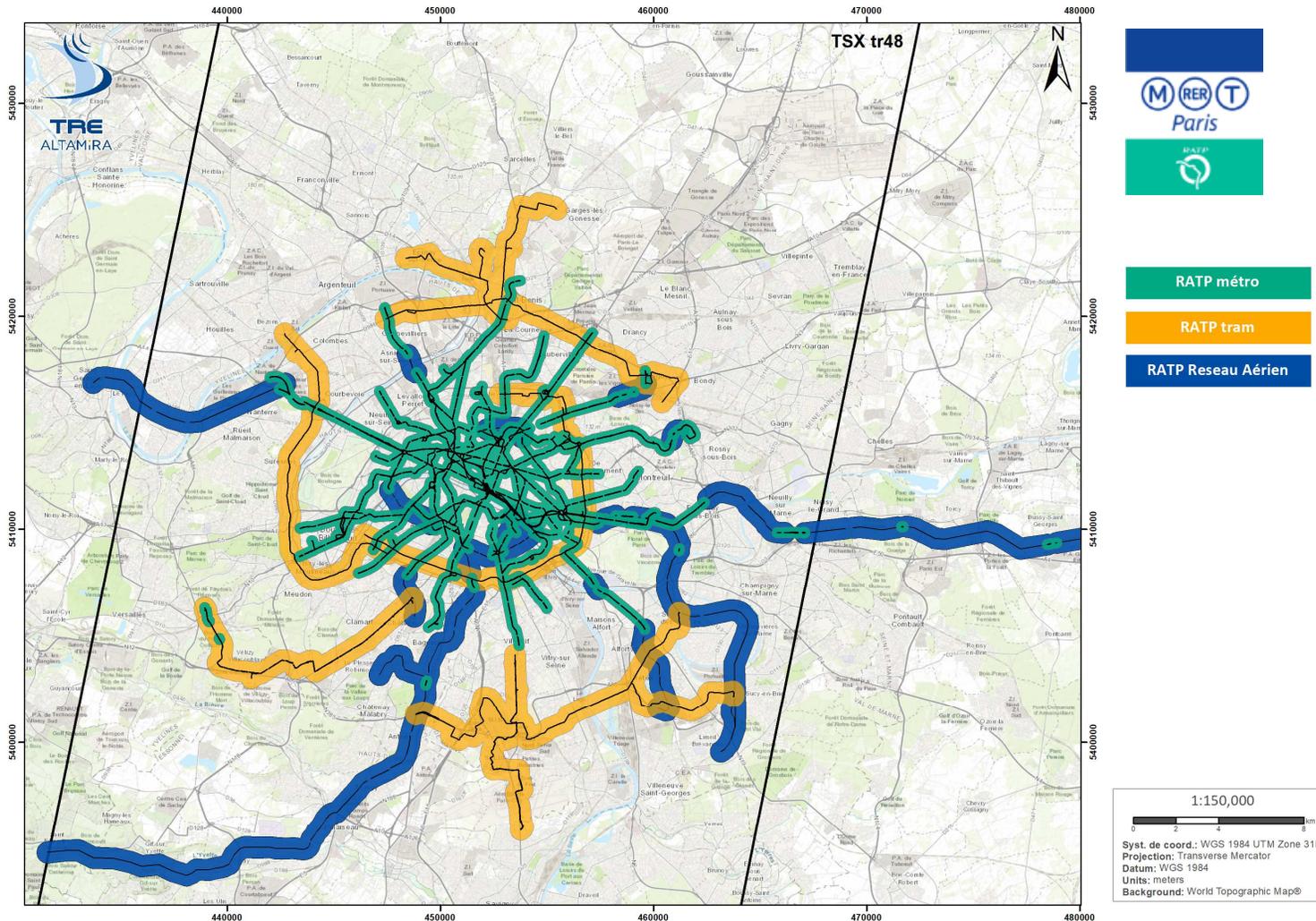


©RATP

- » Dans le cadre de la surveillance réglementaire de son patrimoine, le département gestion de l'infrastructure de la RATP réalise une auscultation (mensuelle à quinquennale) des ouvrages aériens sensibles du réseau existant.
- » L'utilisation de la technologie InSAR a fait ses preuves comme outil de surveillance opérationnel du réseau aérien du métro et du RER.
- » Un programme de surveillance pluri-annuelle (2017-2020) avec une actualisation semestrielle des résultats a été mis en place.
- » Le périmètre d'étude a été étendu aux réseaux du métro souterrain ainsi que du tramway qui font l'objet d'une surveillance annuelle.
- » Ces mises à jour régulières des données permettent à la RATP de contrôler l'apparition de déformations susceptibles de fragiliser les infrastructures.

Surveillance InSAR des réseaux RATP

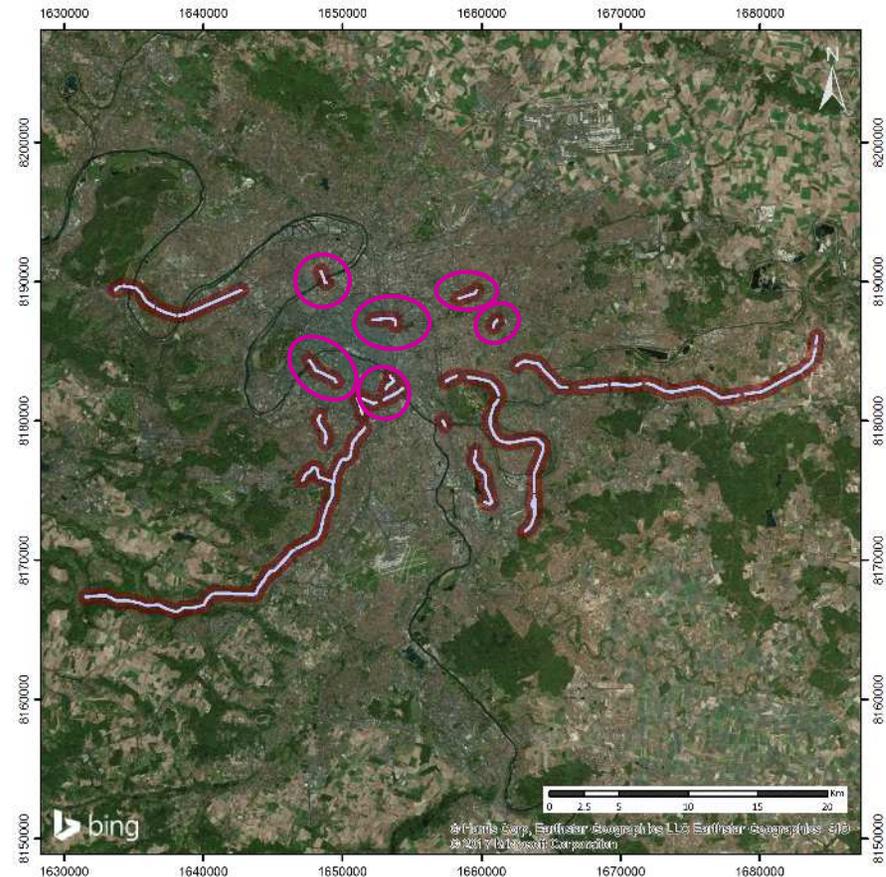
Programme de surveillance pluri-annuelle



Surveillance InSAR des réseaux RATP

La réseau aérien – périmètre de l'étude

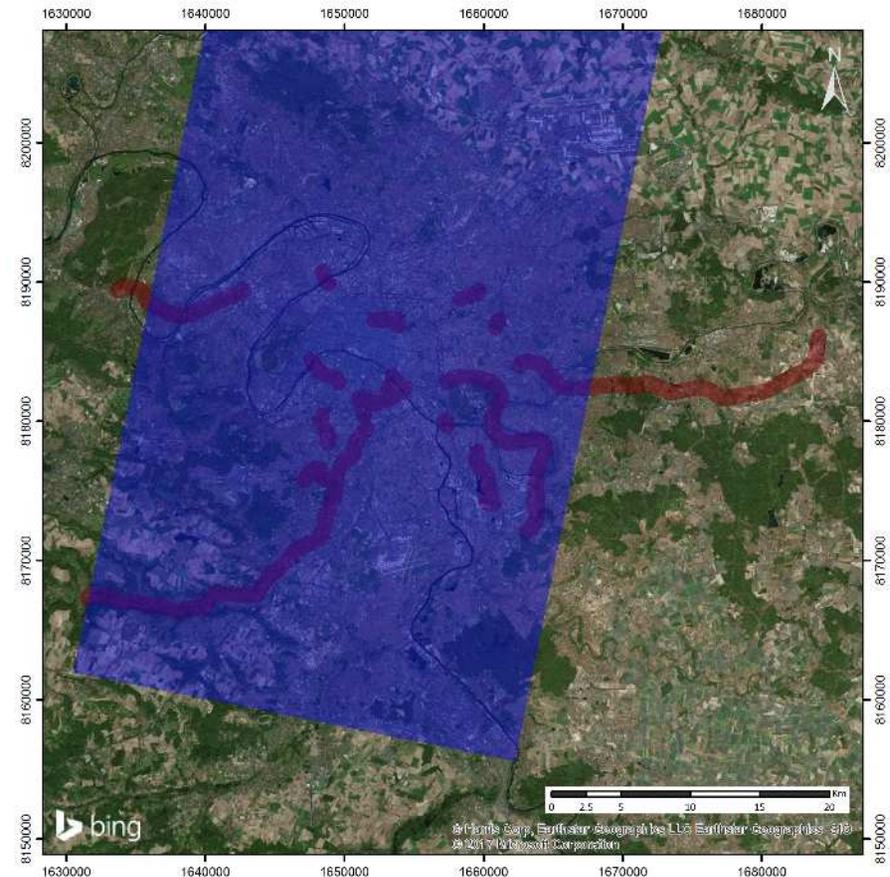
- » L'étude historique porte sur le réseau aérien de la RATP.
- » Une attention particulière a été portée aux ponts et viaducs du métro et du RER.
- » La zone d'intérêt totale s'étend sur environ 97 km, les ouvrages aériens représentent un linéaire total de 8 km pour le métro et de 7 km pour le RER.
- » La zone d'étude est définie par une zone tampon de 1 km centrée sur la trace du réseau.



Surveillance InSAR des réseaux RATP

Etude historique sur le réseau aérien – jeu de données

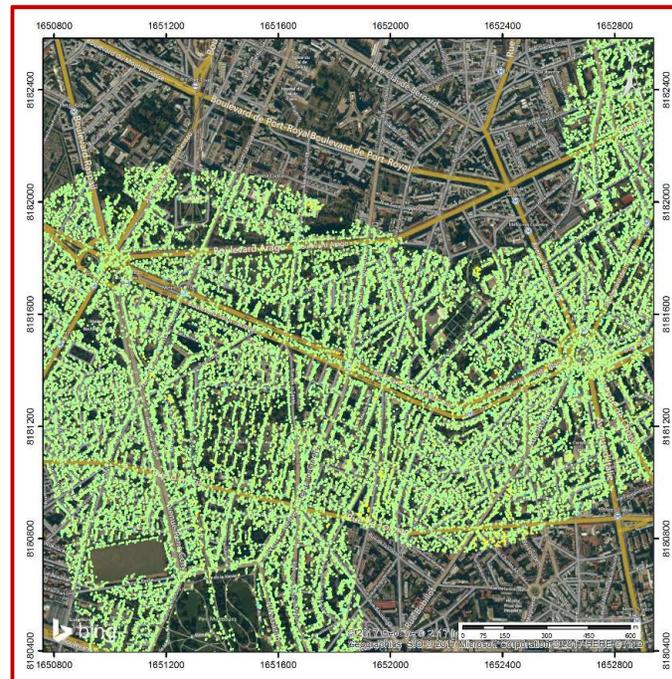
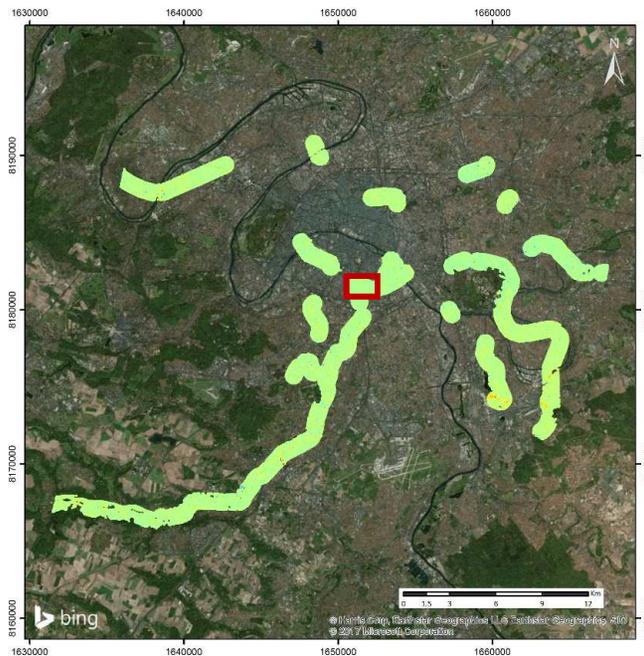
- » Paris fait l'objet d'une couverture systématique dans le cadre du projet Grand Paris Express, l'archive de 102 images TerraSAR-X acquises sur 5 ans, entre le 23 juillet 2011 et le 23 décembre 2016 a été utilisée pour réaliser l'étude historique.
- » On note que la trace du satellite ne couvre pas la ligne de RER A à l'est et à l'ouest.
- » Le linéaire finalement considéré pour l'étude est de 77 km.



Surveillance InSAR des réseaux RATP

Etude historique sur le réseau aérien – les résultats

- » Un total de 1.2 M de points de mesure a été détecté.
- » Les points de mesure sont en majorité distribués sur les zones de bâti, le long des rails et les infrastructures environnantes.
- » La zone est globalement stable.





Agenda



- » Présentation TRE ALTAMIRA
- » La mesure des mouvements de surface
- » Cas d'étude : L'InSAR à toutes les étapes du GPE
- » Cas d'étude : Surveillance InSAR des réseaux RATP
- » Discussions

Discussions

Aujourd'hui la France et demain, l'Europe avec Sentinel-1, mission ESA de moyenne résolution





TRE
ALTAMIRA
A CLS Group Company

MILANO

Ripa di Porta Ticinese, 79
20143 Milan - Italy
Tel: +39 02 4343 121

BARCELONA

C/ Corsega, 381-387
E-08037 Barcelona - Spain
Tel.: +34 93 183 57 50

VANCOUVER

Suite #410 475 W. Georgia Street
Vancouver, BC V6B 4M9 - Canada
Tel: +1 604 331 2512



Regional offices

FRANCE

Parc Technologique du Canal
11, Rue Hermès
F-31520 Ramonville St Agne
Tel: +33 5 61 39 47 19

CHILE

Almirante Señoret 70, Oficina 74
Valparaíso
Tel: +56 32 225 2843

AUSTRALIA

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

tre-altamira.com