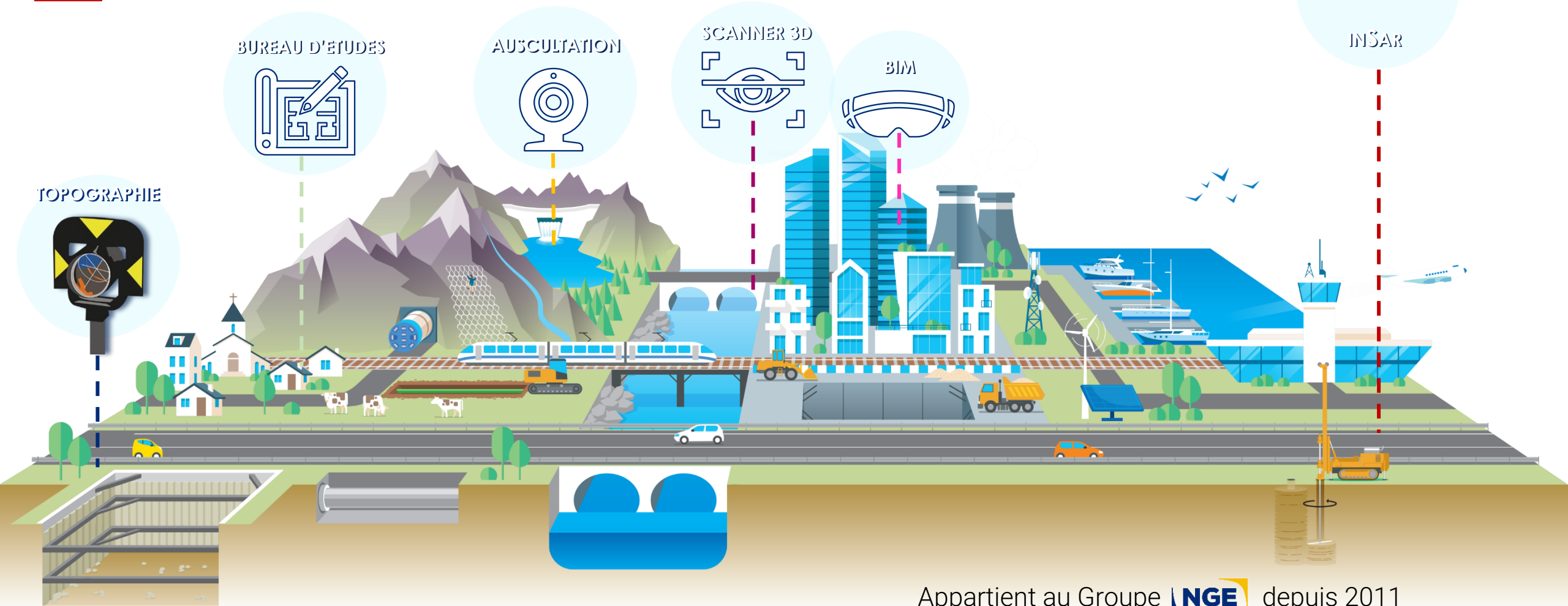
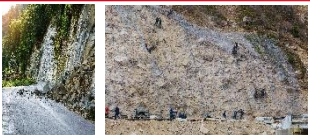


L'interférométrie radar satellitaire pour les déformations gravitaires

Atelier télédétection pour les aléas gravitaires – Jardin du Lautaret



Appartient au Groupe  depuis 2011

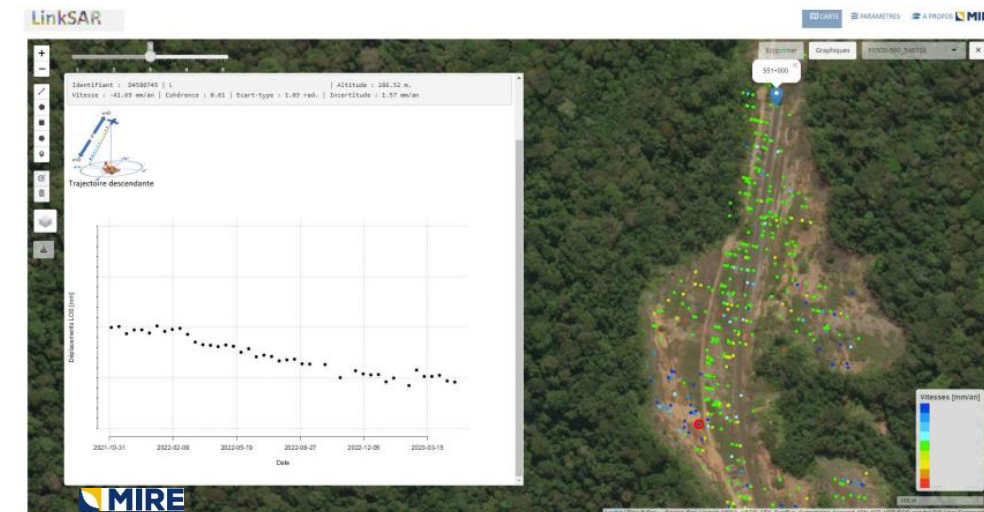
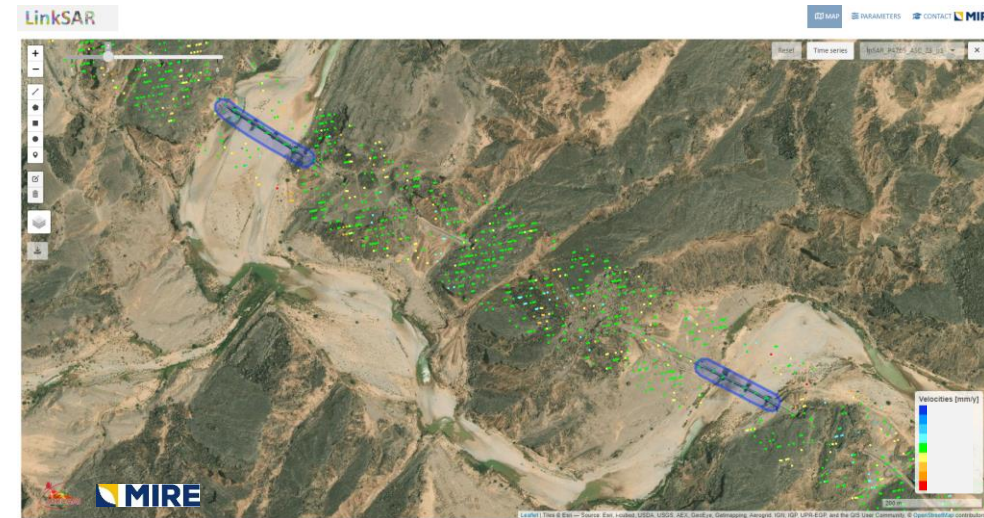




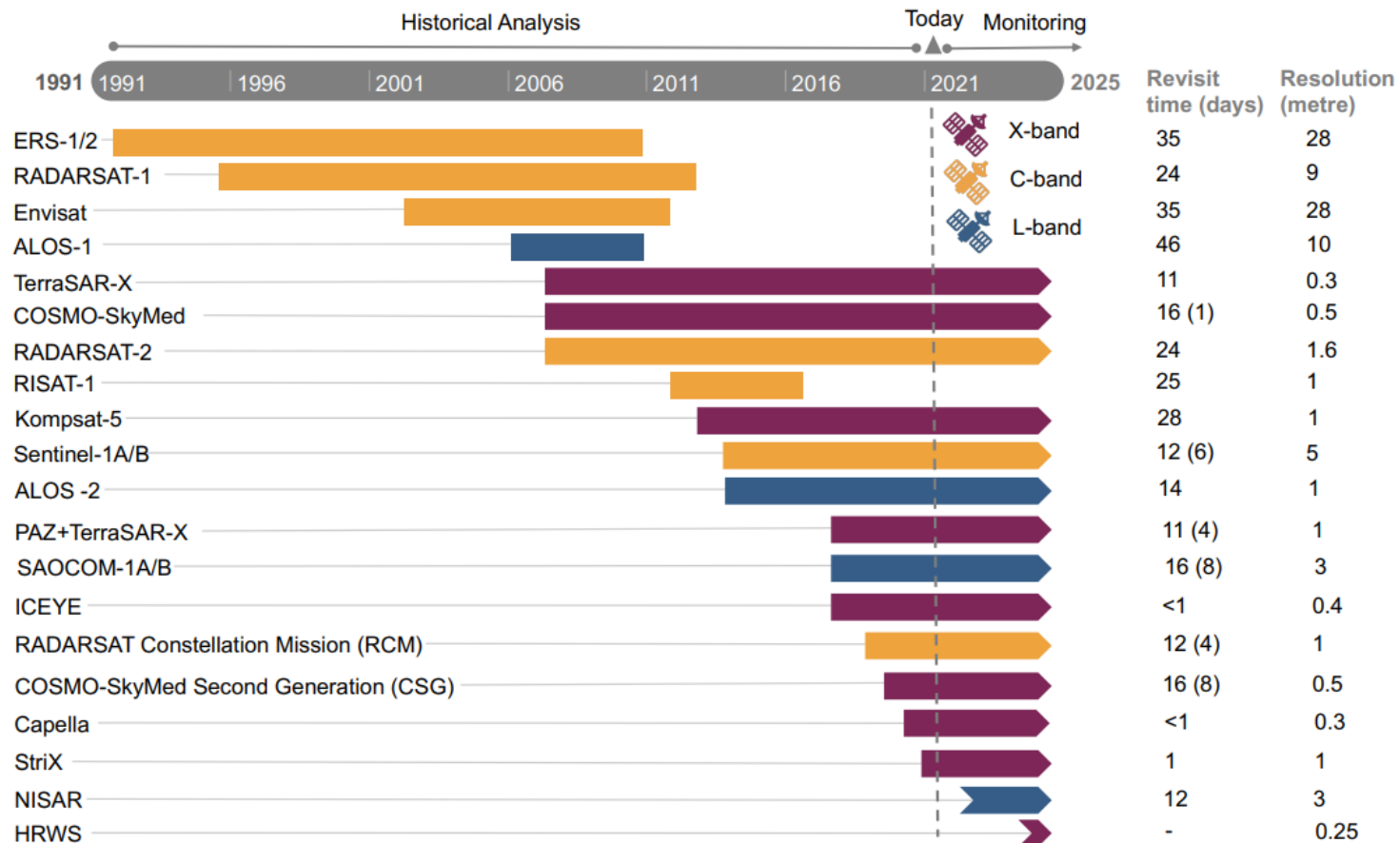
est un bureau dédié à l'**InSAR** de la société MIRE

Exemples de références sur des sujets de déformations gravitaires

- 20 ans de rétro-analyse pour TELT
- 5 ans d'étude historique en amont de projet de construction pour caractériser un glissement lent pour EGIS
- Suivi d'instabilités gravitaires qui impactaient un ouvrage pour le compte de la SFTRF
- Suivi des talus et des pentes environnantes sur 560 km de VF au Gabon et sur 1000 km de VF au Pakistan



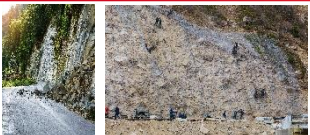
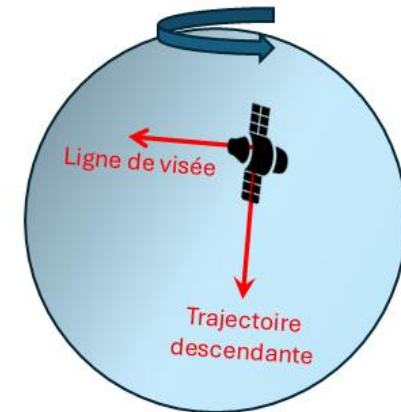
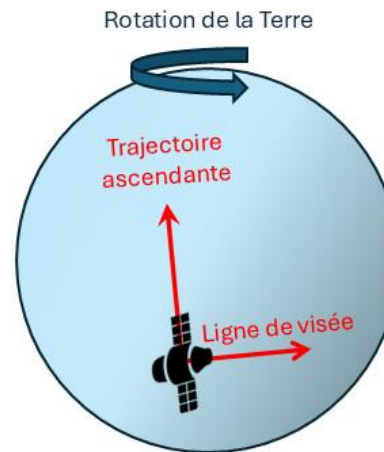
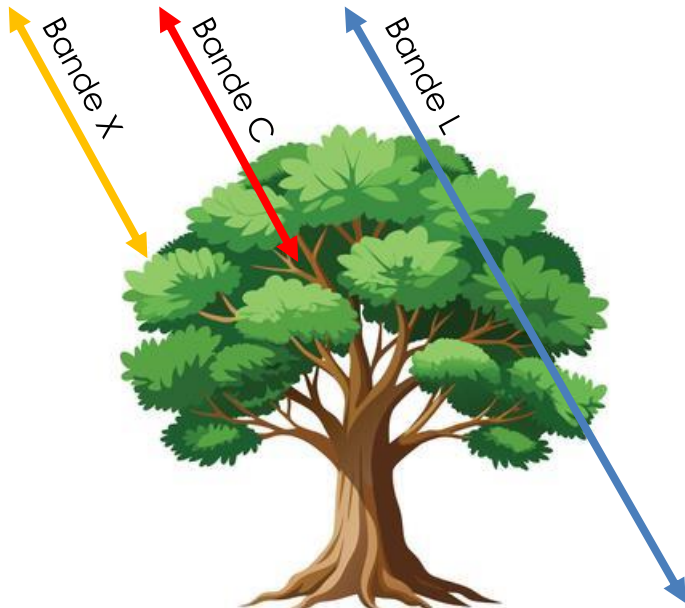
Plus de 30 ans d'archive



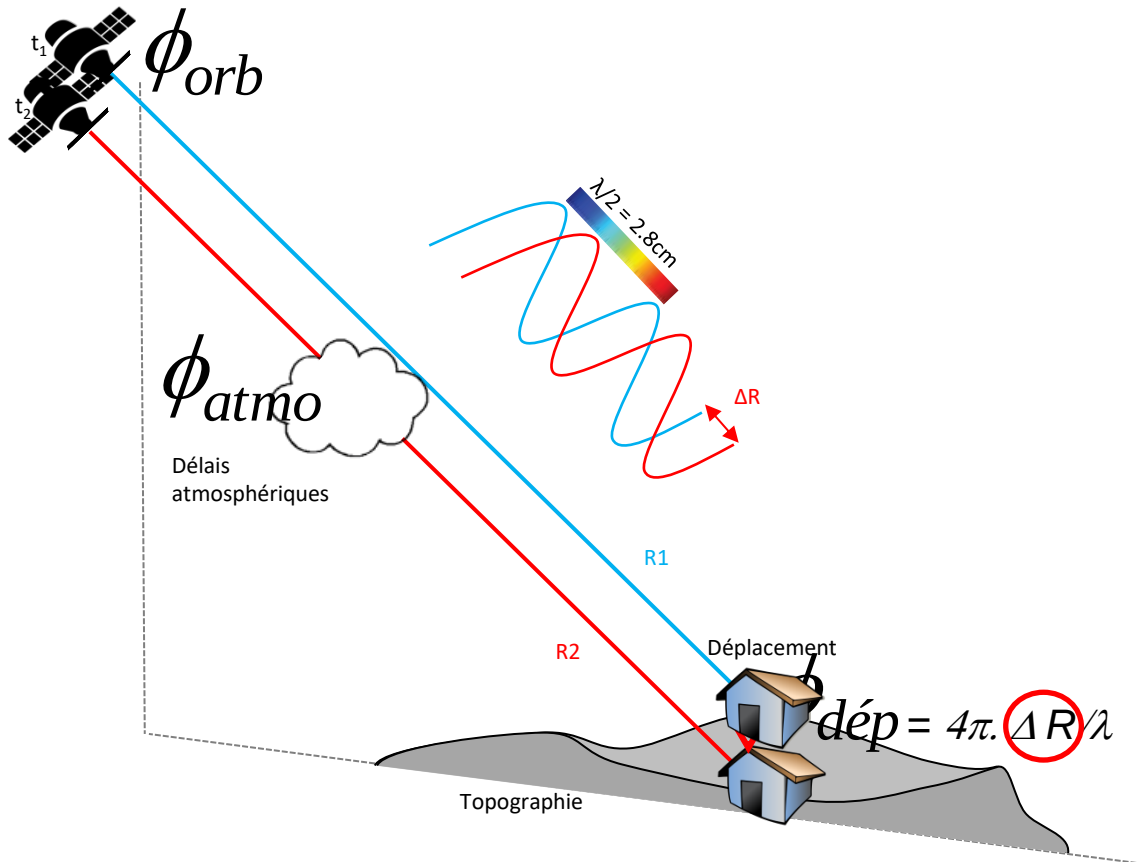
Macchiarulo, et al. (2021). Multi-Temporal InSAR for transport infrastructure monitoring: Recent trends and challenges.



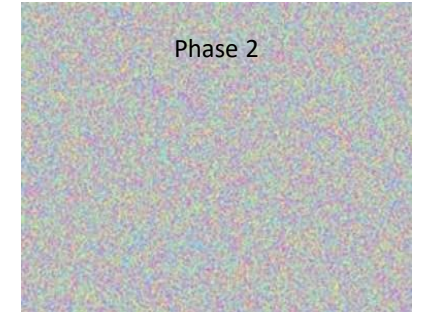
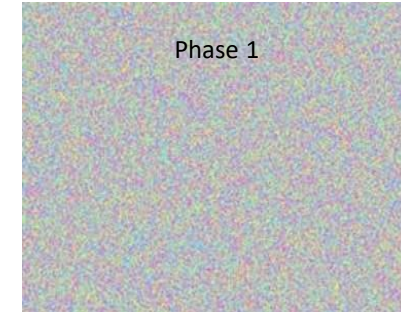
- Capteurs actifs : opérationnels de jour comme de nuit
- Courtes longueurs d'ondes : mesures possibles même avec une couverture nuageuse importante
- Couverture spatiale : une seule image couvre une très grande superficie
- Couverture quasi-globale : accessibilité des données



$$\phi_{int} = \phi_{orb} + \phi_{topo} + \phi_{dép} + \phi_{atmo} + \phi_{bruit}$$

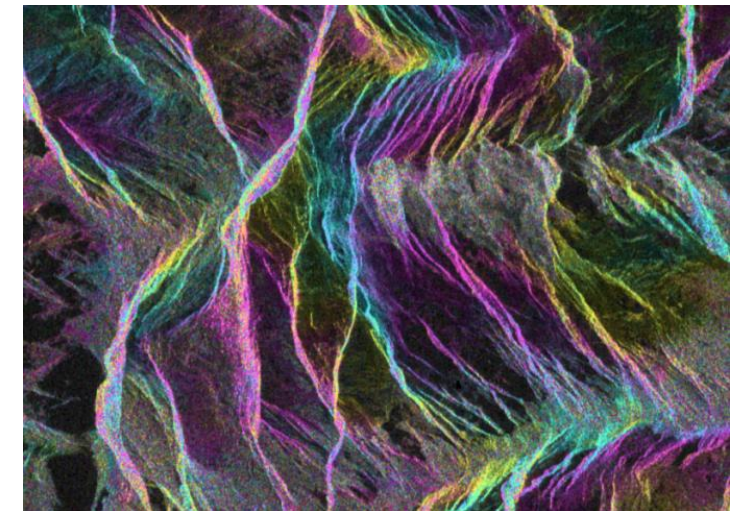


Mesure du déplacement relatif dans la ligne de visée



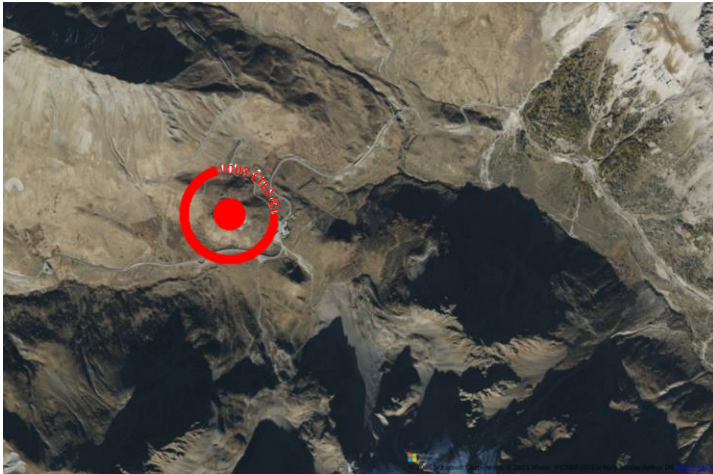
Phase 1 – Phase 2

$$\phi_{int} = \phi_{orb_{res}} + \phi_{topo_{res}} + \phi_{dép} + \phi_{atmo} + \phi_{bruit}$$

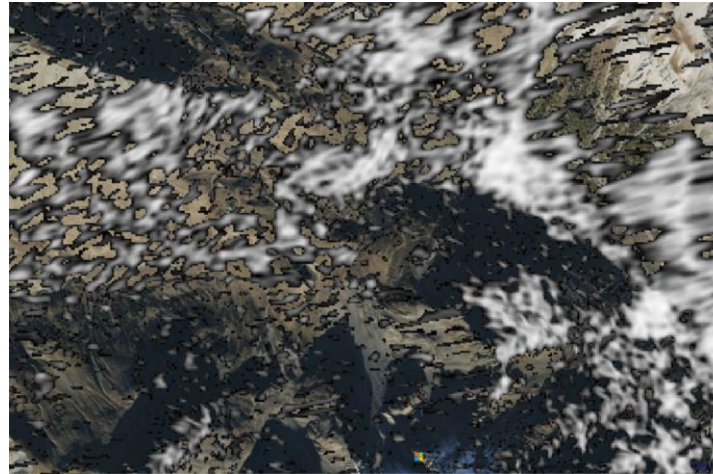


Interférogramme différentiel

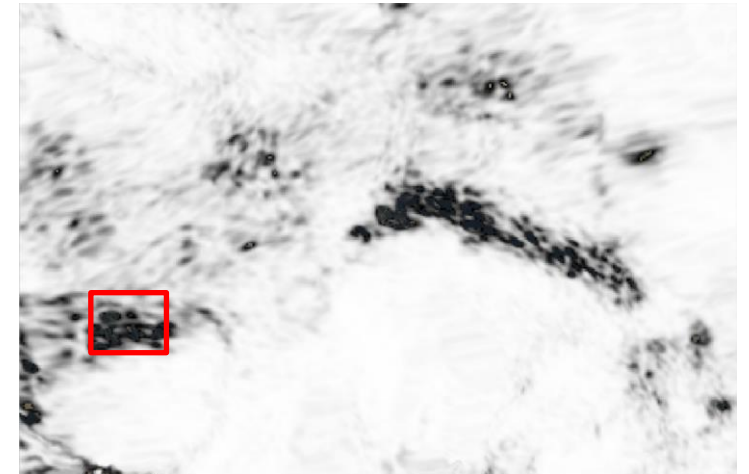




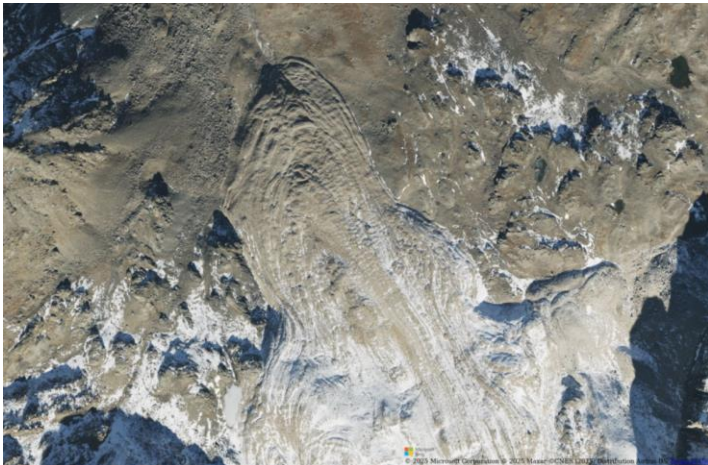
Jardins du Lautaret



S1A/S1C - CC - 28/04/2025-04/05/2025



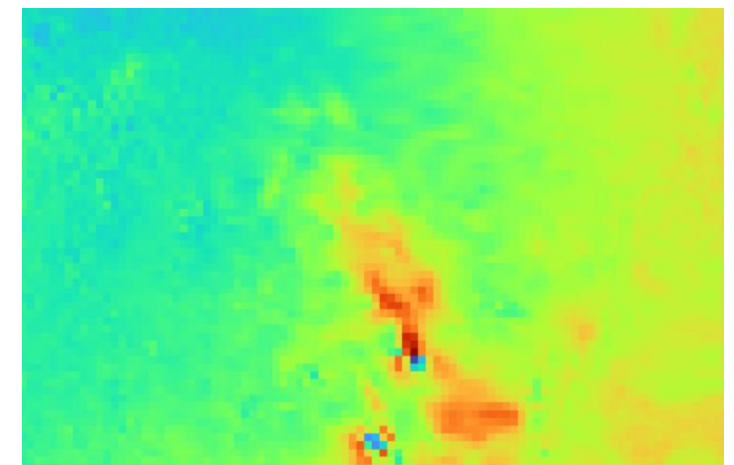
S1A/S1C - CC - 05/08/2021-11/08/2021



Glacier rocheux du Thabor-Cheval Blanc

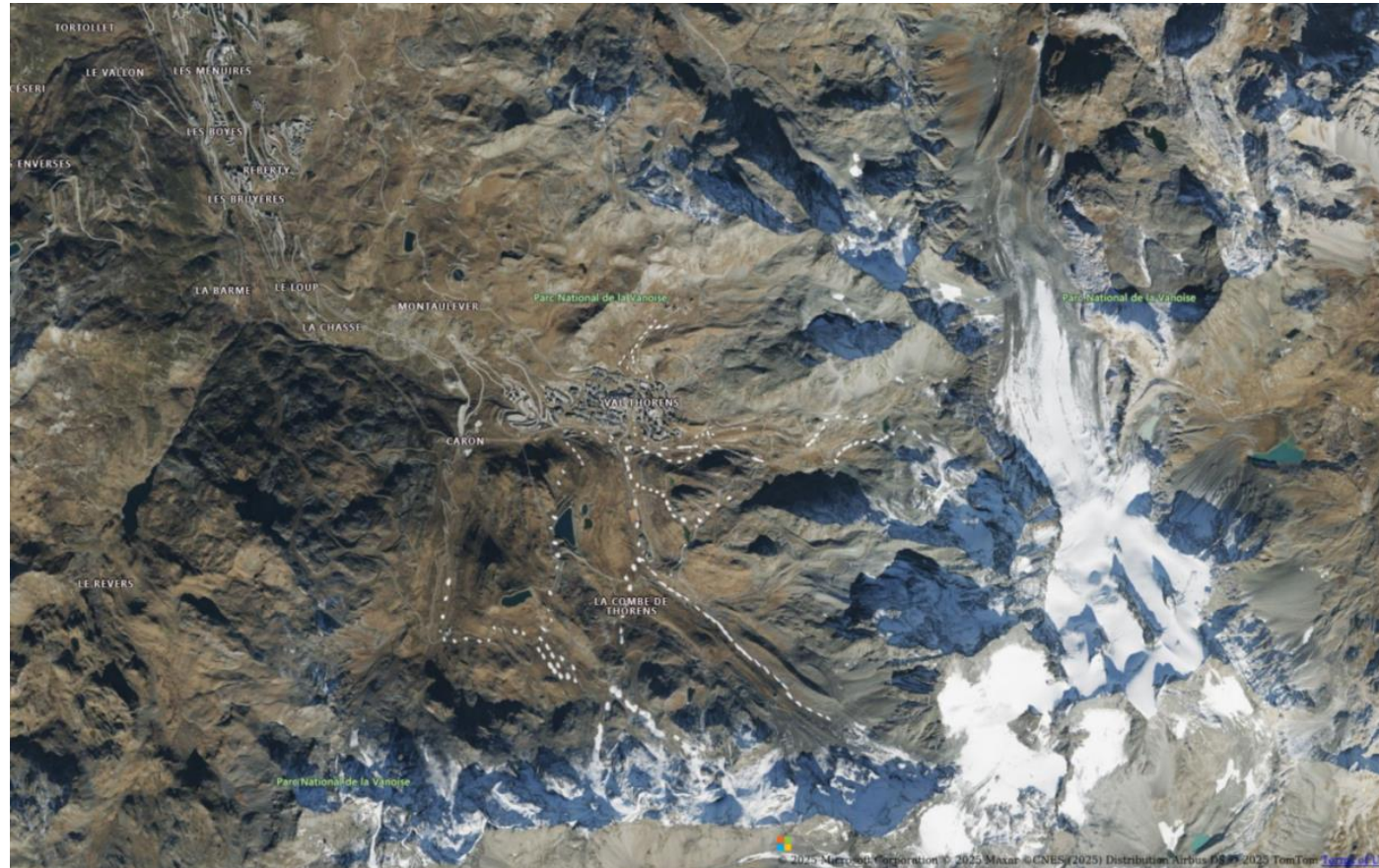


S1A/S1C - CC - 05/08/2021-11/08/2021



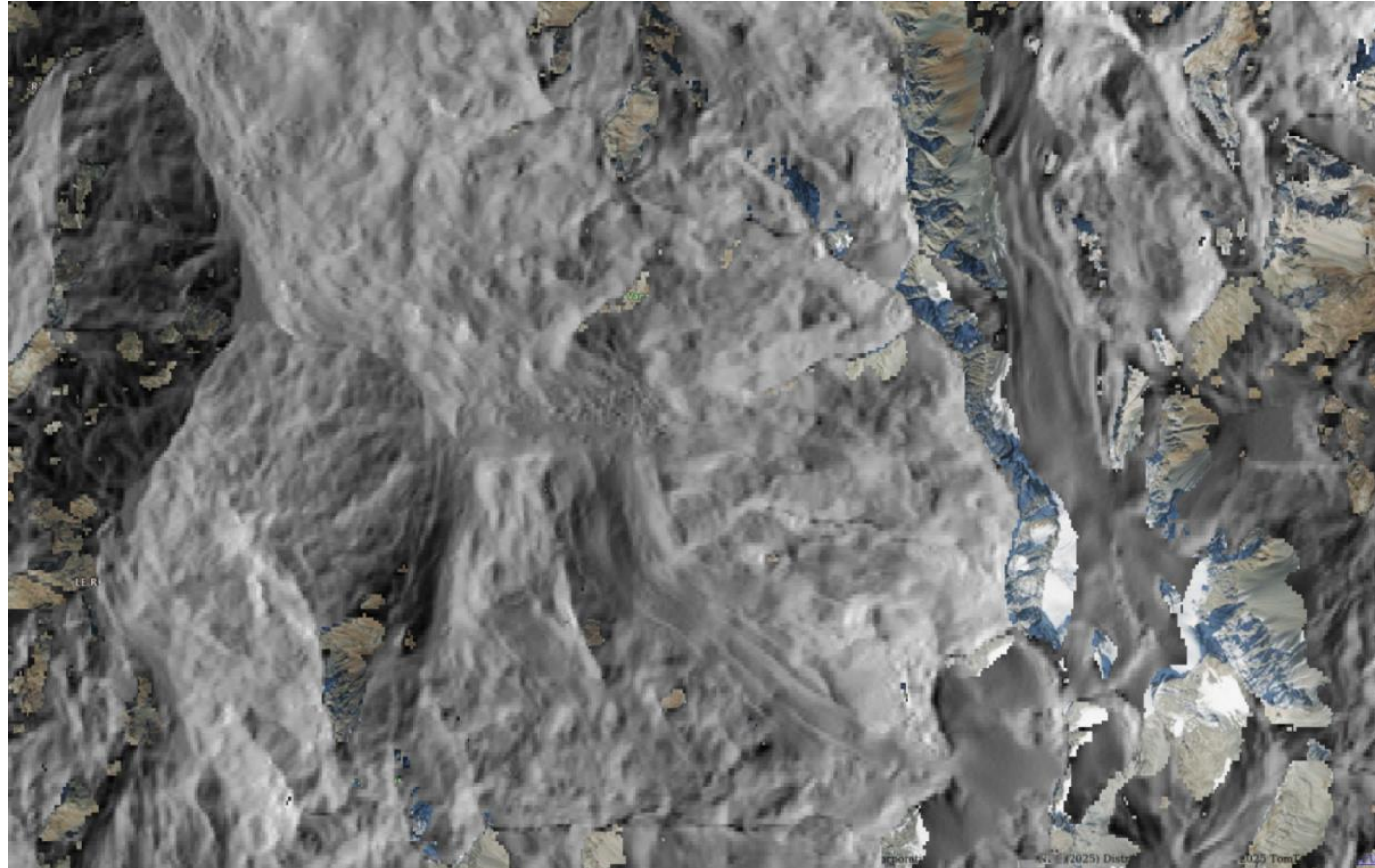
S1A/S1C - INT - 05/08/2025-11/08/2025





Secteur de Val Thorens





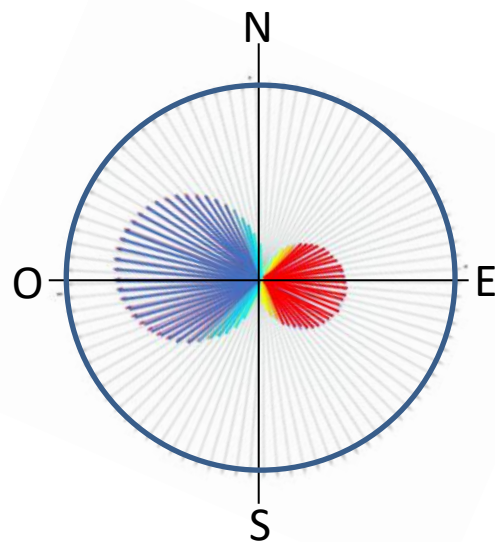
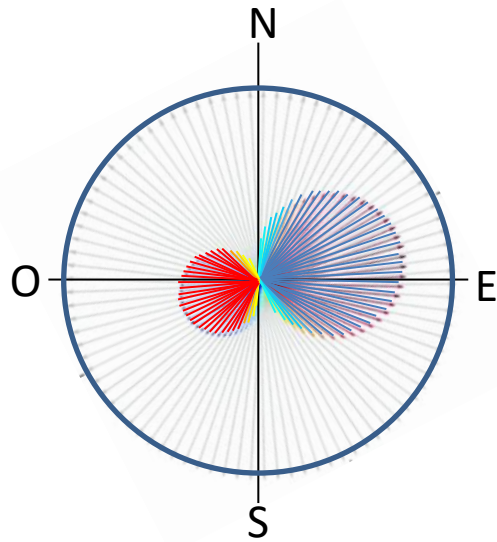
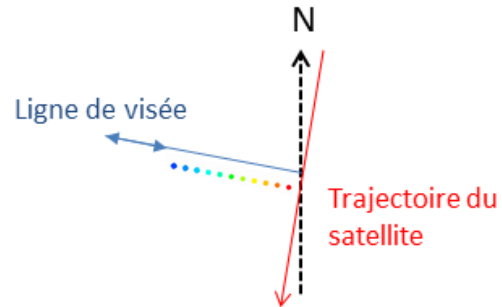
Carte angle d'incidence (bande X, haute résolution) avec masque zones d'ombre et de repliement – Secteur de Val Thorens



Trajectoire ascendante

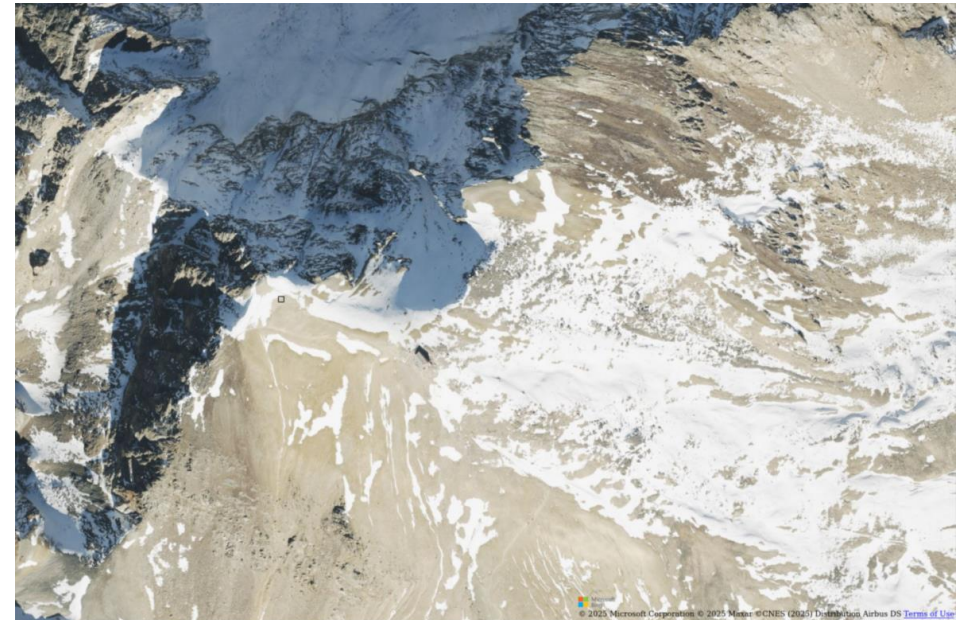


Trajectoire descendante

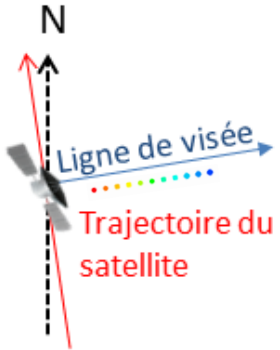


BRGM : Version modifiée de Aqlan G. et al., Landslide Mapping and Monitoring Using Persistent Scatterer Interferometry (PSI) Technique in the French Alps

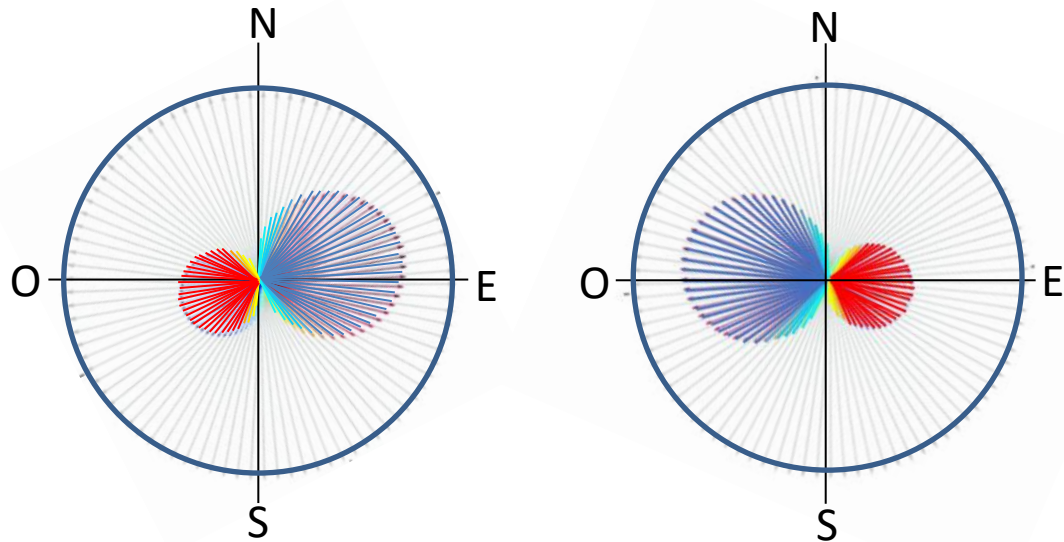
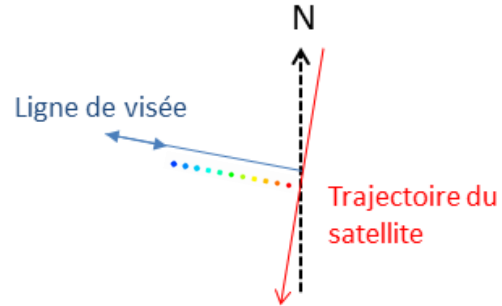
- L'InSAR n'est pas sensible aux déplacements horizontaux Nord/Sud
- Les valeurs LOS sur deux pentes d'orientations différentes ne doivent pas être comparées directement entre elles



Trajectoire ascendante

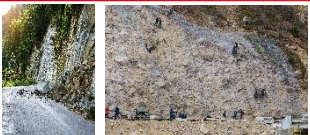
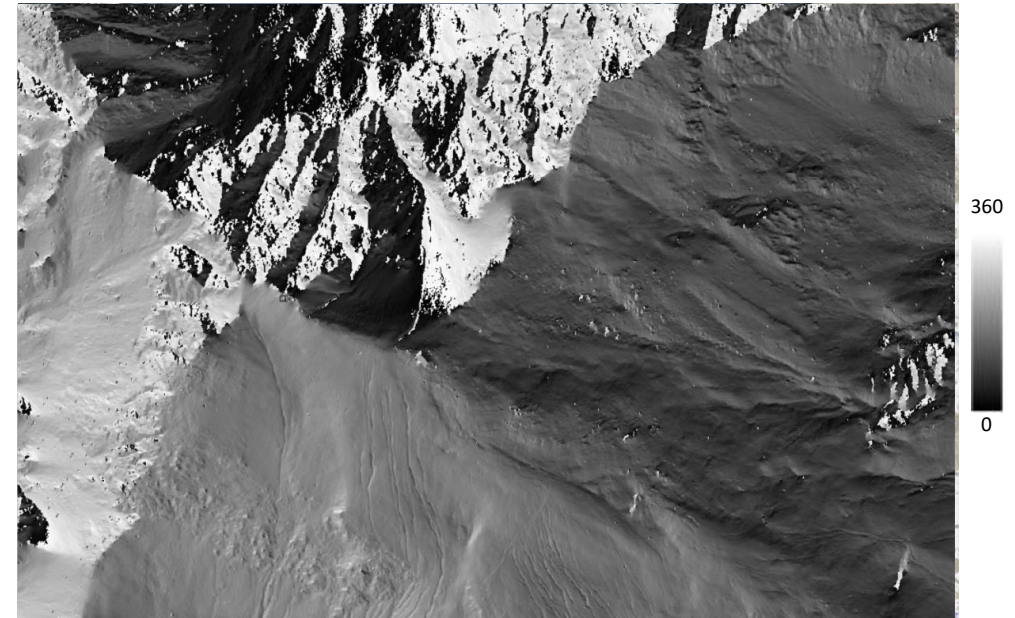


Trajectoire descendante



BRGM : Version modifiée de Aslan G. et al., Landslide Mapping and Monitoring Using Persistent Scatterer Interferometry (PSI) Technique in the French Alps

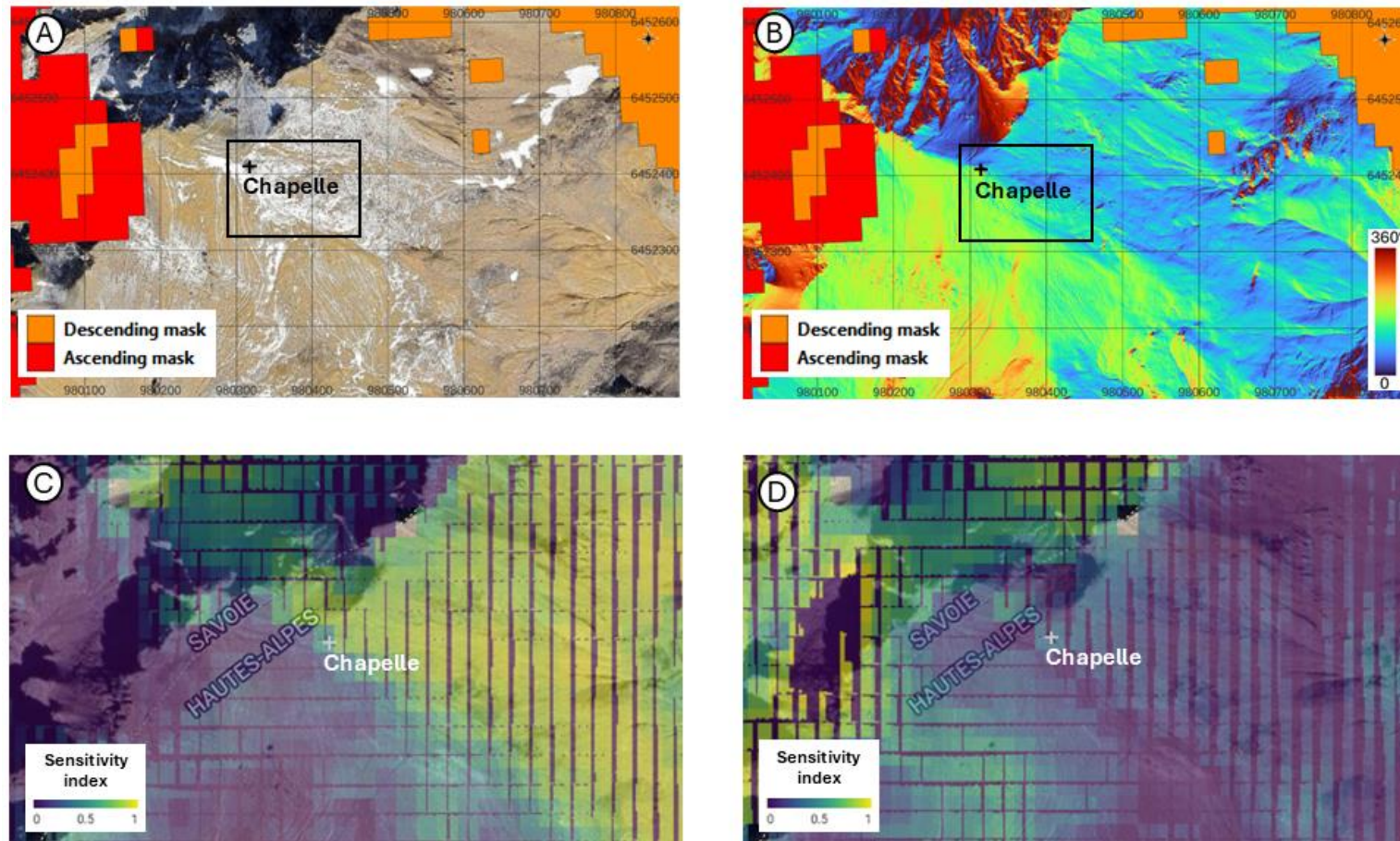
- L'InSAR n'est pas sensible aux déplacements horizontaux Nord/Sud
- Autrement dit : deux déplacements de même amplitude sur deux pentes d'orientation et/ou d'inclinaison différentes peuvent donner des mesures LOS différentes
- Livrable : il faut fournir une explication détaillée et pas seulement des résultats InSAR « brutes »



La chapelle du Thabor (3165 m, Hautes-Alpes), un patrimoine sensible à l'évolution du permafrost de montagne

Jan. 2025. Géomorphologie Relief Processus Environnement 30(3)

Pierre-Allain Duvillard, Matthias Jauvin, Hubert Lempereur, Ahmad Ghorbani, Laurent Le Corroller, Jessy Richard, André Revil, Ludovic Ravanel et Pierre Vaudelet



Extrait carte d'indice mondial de sensibilité InSAR pour le suivi de la déformation des glissements de terrain (van Natijne et al., 2022)

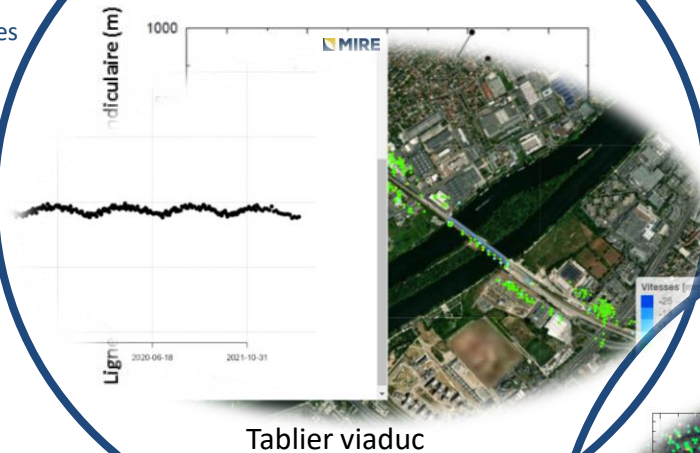


Sélection des diffuseurs

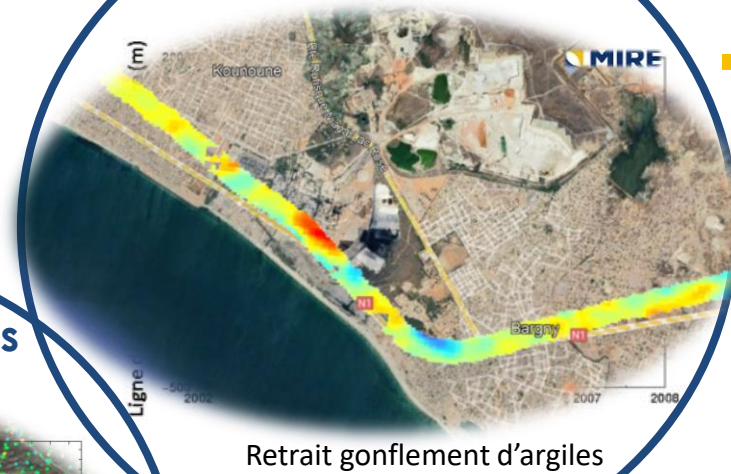
Pleine résolution

Suivi d'infrastructures

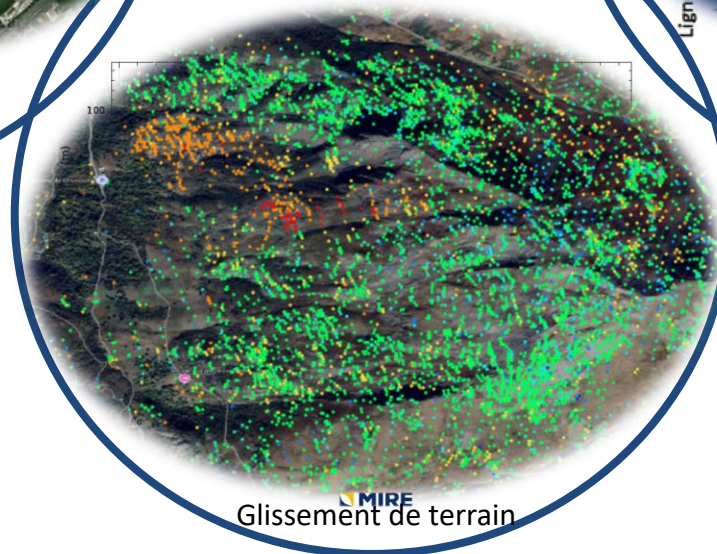
Méthodes PS



Méthodes SB



Méthodes hybrides



Sélection d'images

Résolution moyennée

Phénomènes géophysiques

LIVRABLES

Cartes de vitesses

Cartes de déplacements cumulés

Séries temporelles de déplacements



Satellite	Bande	Resolution	Emprise	Temps de revisite	Potentiel avec Végétation	Précision vitesse annuelle
TerraSAR-X	X	3 m	30 km x 50 km	4–11	Faible	1 mm/an
Cosmo	X	3 m	40 km x 40 km	1–16	Faible	1 mm/an
Sentinel	C	20 m	250 km x 250 km	6–12	Modéré	~2 mm/an
ALOS-2	L	3 m	55 km x 70 km	14	Excellent	1 cm/an

- Référence < 2km
 - Zone relativement plane
 - Déplacement « lent » et comportement linéaire
- ⇒ nécessité de fournir des indicateurs qualité/précision pour chaque mesure et les expliciter



Satellite	Bande	Resolution	Emprise	Temps de revisite	Potentiel avec Végétation	Précision vitesse annuelle
TerraSAR-X	X	3 m	30 km x 50 km	4–11	Faible	1 mm/an
Cosmo	X	3 m	40 km x 40 km	1–16	Faible	1 mm/an
Sentinel	C	20 m	250 km x 250 km	6–12	Modéré	~2 mm/an
ALOS-2	L	3 m	55 km x 70 km	14	Excellent	1 cm/an

- Référence < 2km
- Zone relativement plane
- Déplacement « lent » et comportement linéaire
- ⇒ nécessité de fournir des indicateurs qualité/précision pour chaque mesure et les expliciter

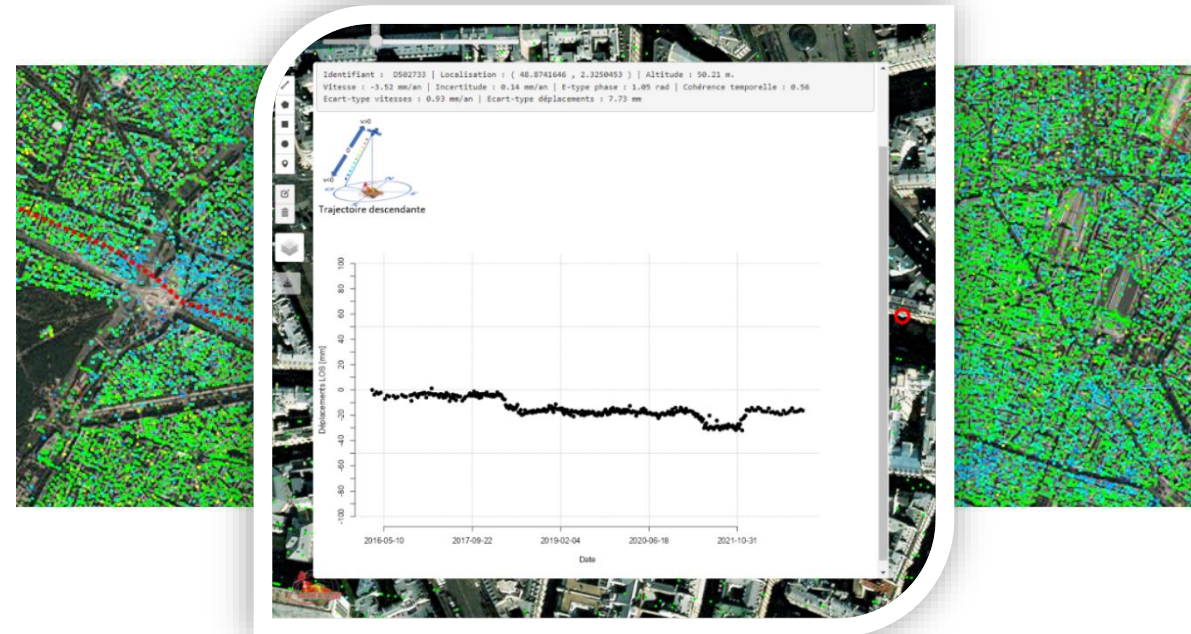
■ Déplacement max. mesurable sans ambiguïté : $\lambda/2$

Type de mesure	Intervalle 1	Intervalle 2	Intervalle 3
Prismes	-0.4	-11.9	-8.5
InSAR	0.1	-11.3	-9.5

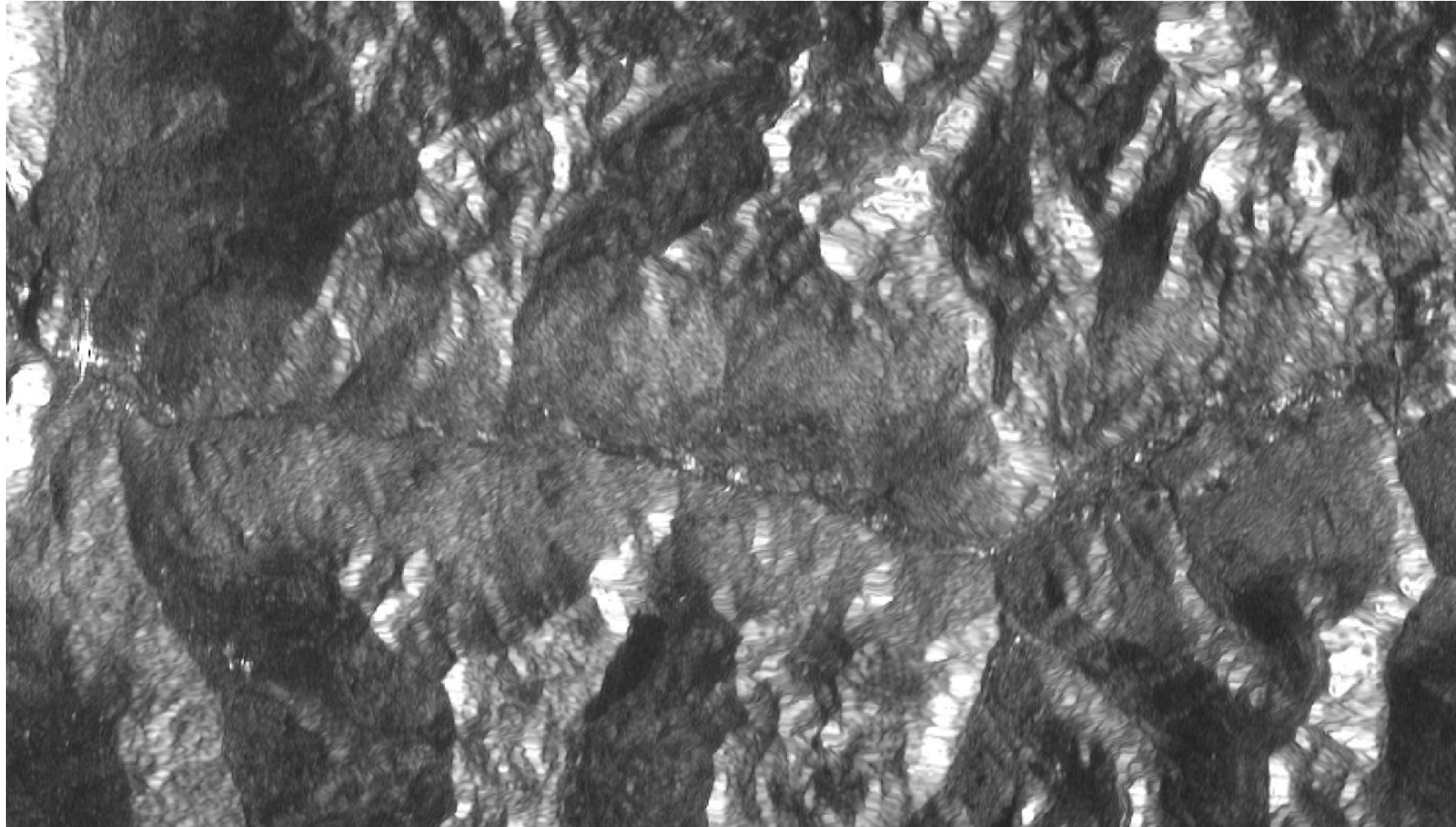
Estimation de la moyenne locale des vitesses linéaires de déformation (mm/an) sur 3 intervalles de temps à partir des mesures terrestres et des mesures satellitaires

- Précision centimétrique à millimétrique
- Précision % longueur d'onde, méthode de traitement et de la zone d'étude

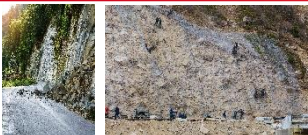
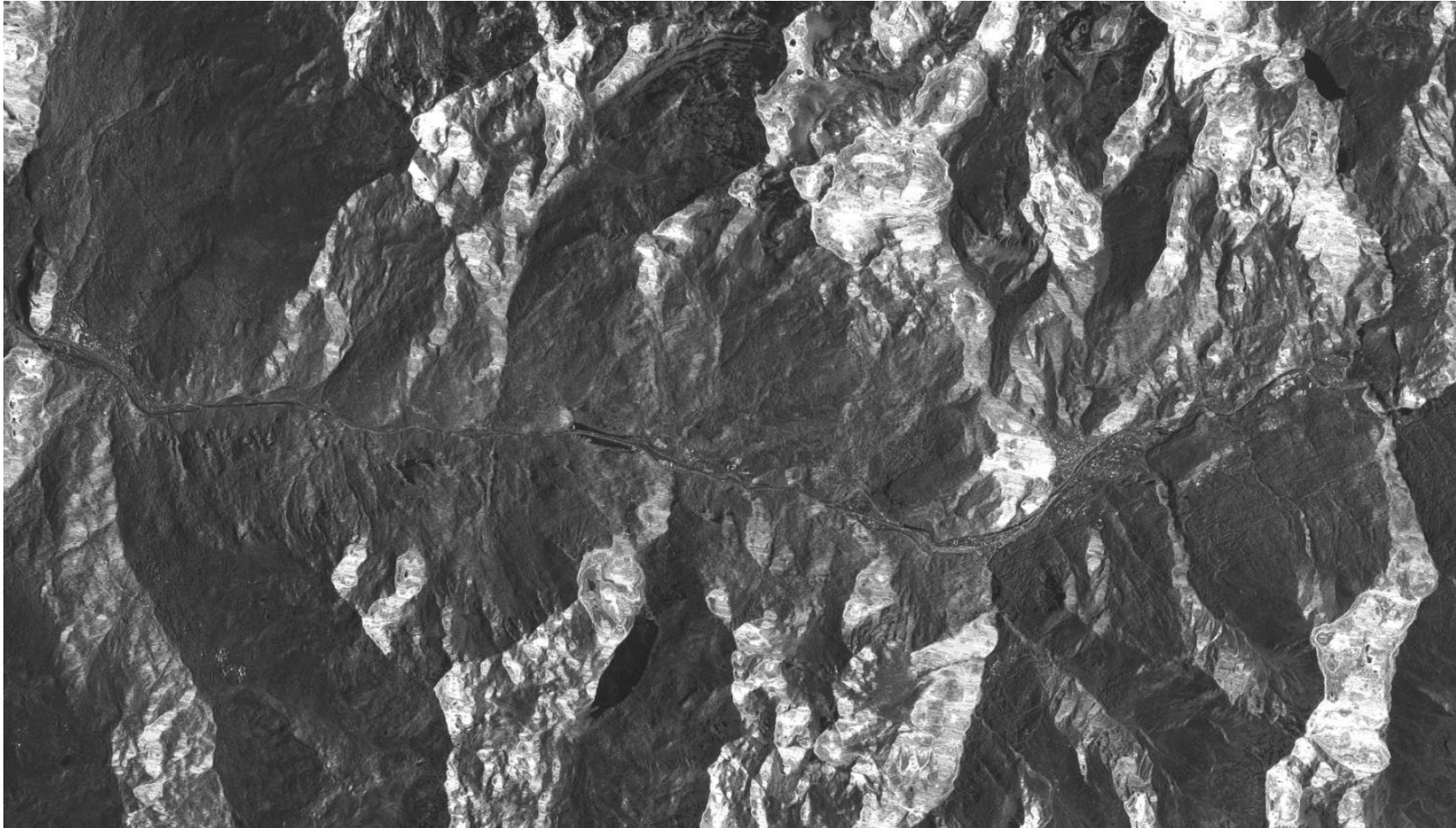
=> CHOIX DES DONNES ET ADAPTATION DE LA METHODE EN FONCTION DE L'OBJECTIF



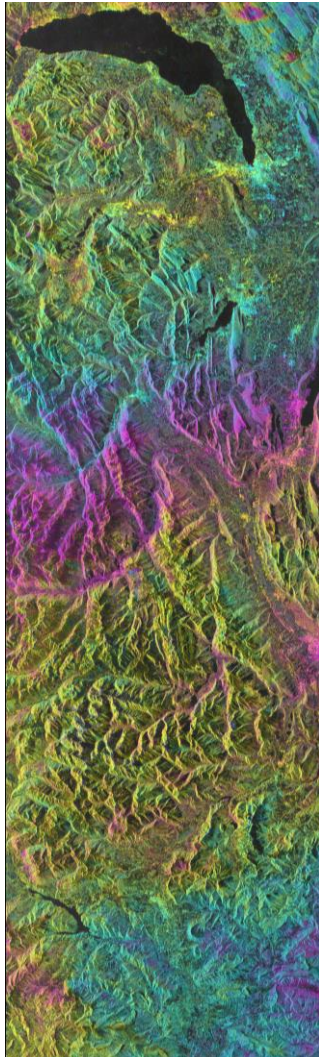
■ Bande L – rés. 60m



■ Bande X – rés. 3m

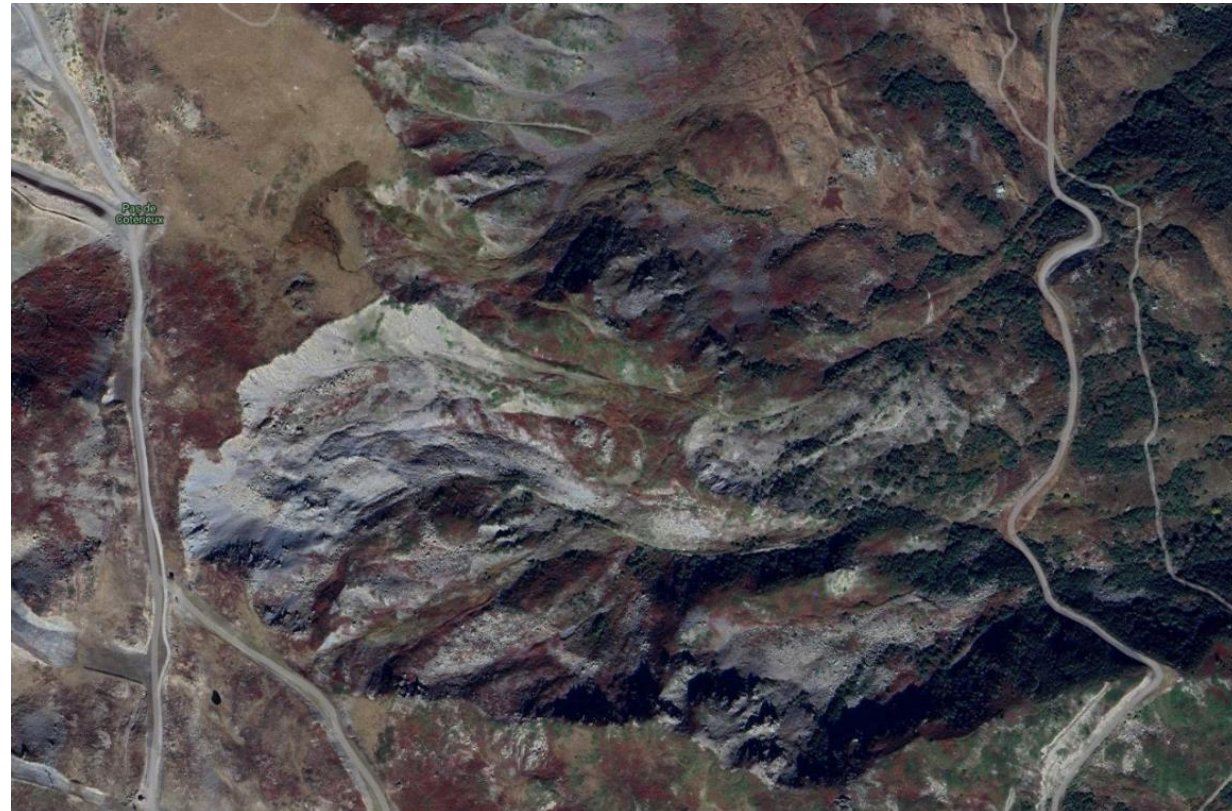


1/5 ALOS-2



Interf. 21/07/2016-20/07/2017

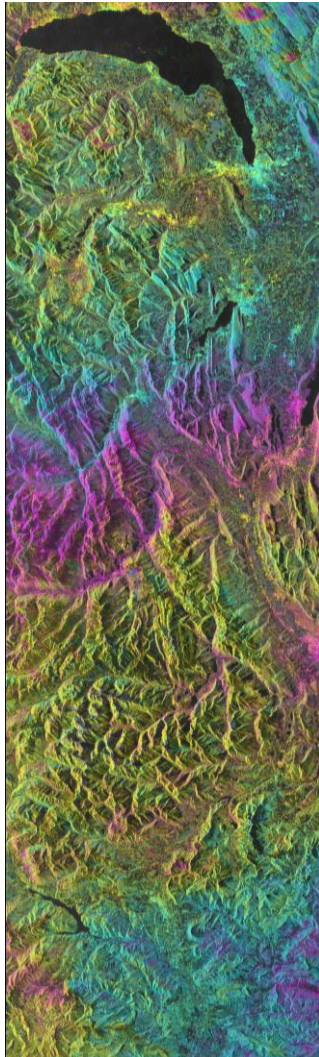
■ La bande L pour cartographier les aléas



Interf. 21/07/2016-20/07/2017 – Vals de Côtierieux

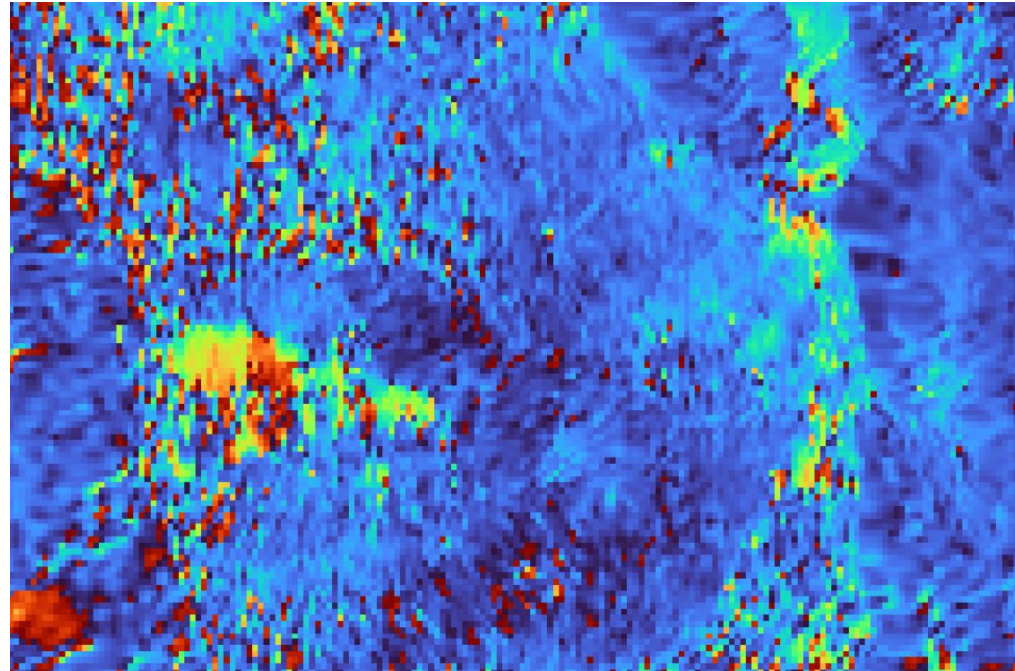


1/5 ALOS-2



Interf. 21/07/2016-20/07/2017

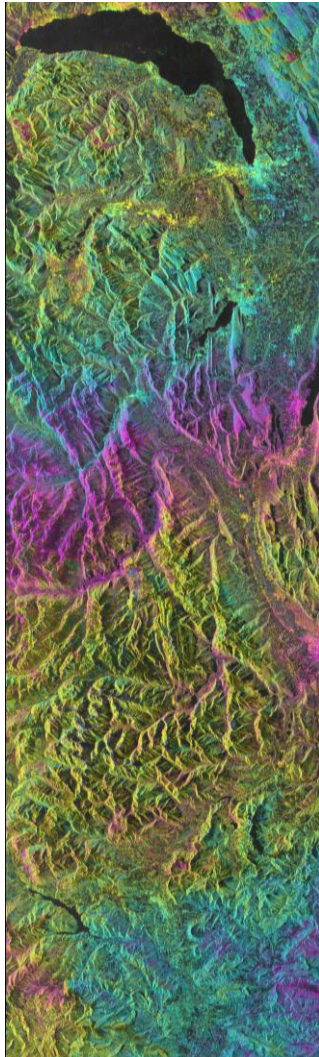
■ La bande L vs bande C



Interf. ALOS-2 21/07/2016-20/07/2017 - Valmeinier

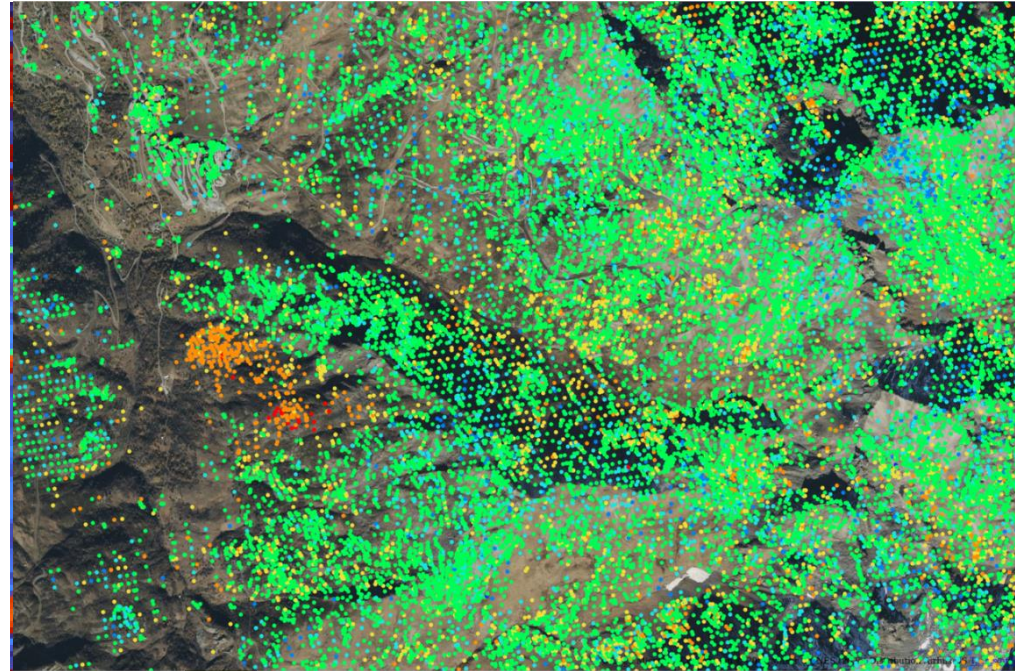


1/5 ALOS-2



Interf. 21/07/2016-20/07/2017

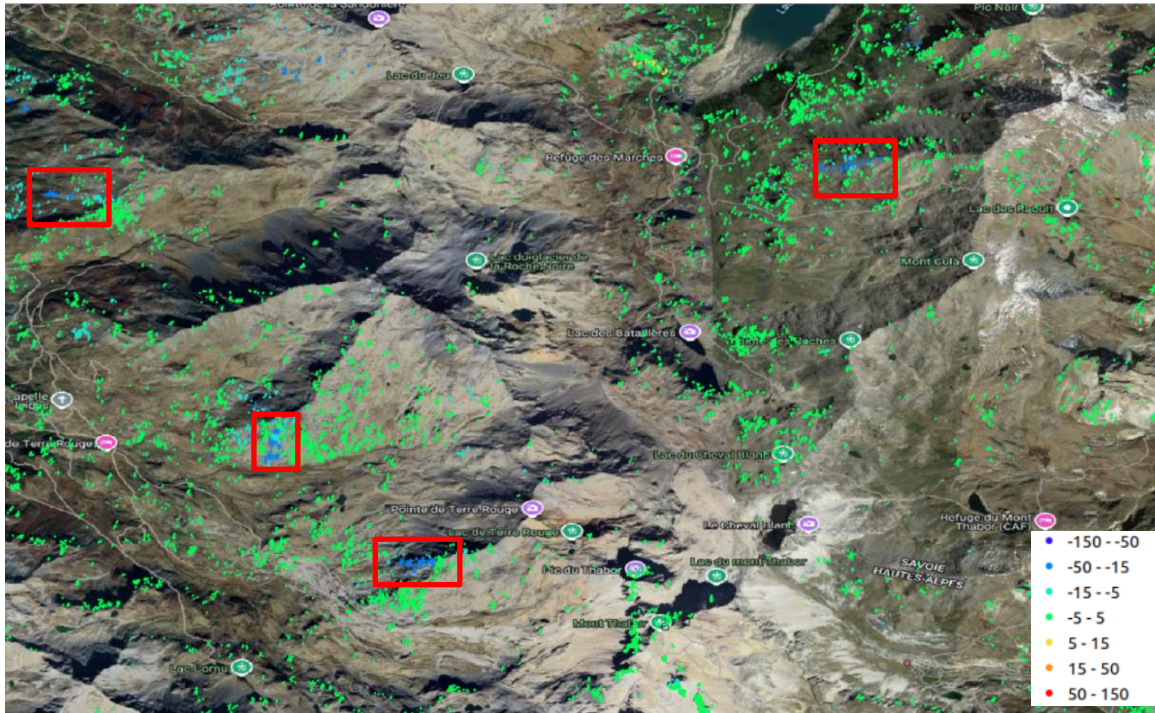
La bande L vs bande C



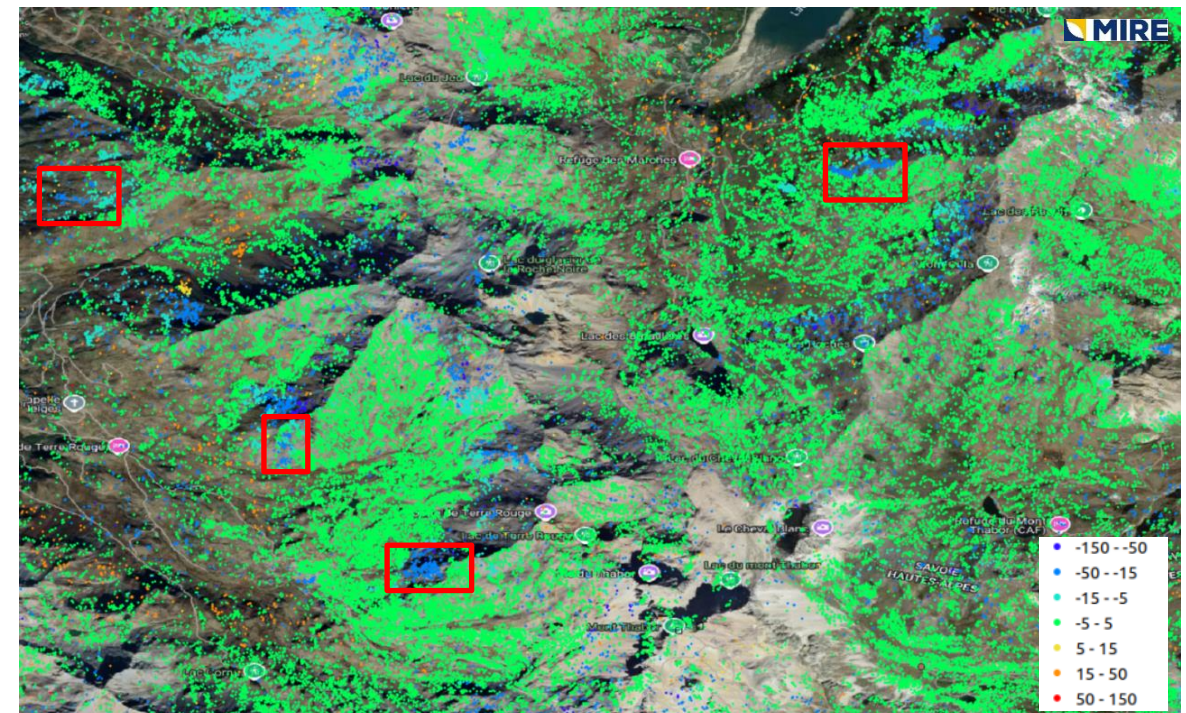
S1 - Carte des vitesses LOS 06/2021 – 10/2021 - Valmeinier



■ Traiter moins pour obtenir plus...



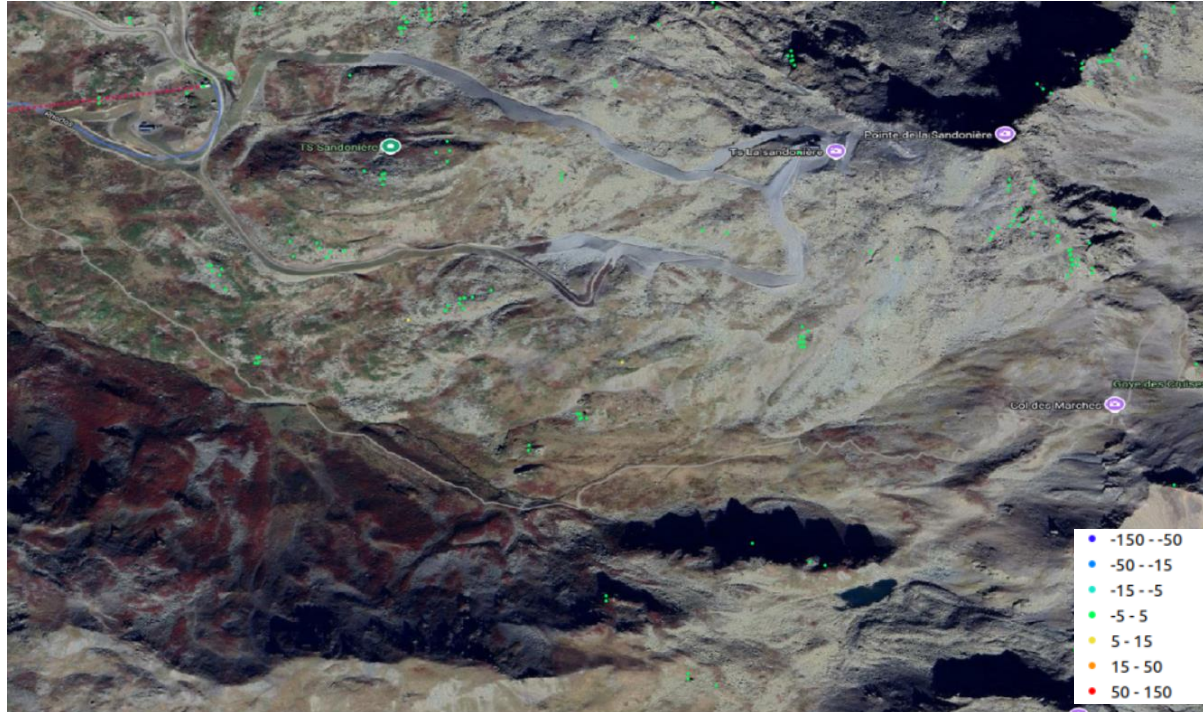
Carte des vitesses moyennes LOS entre 2019 et 2023 - EGMS



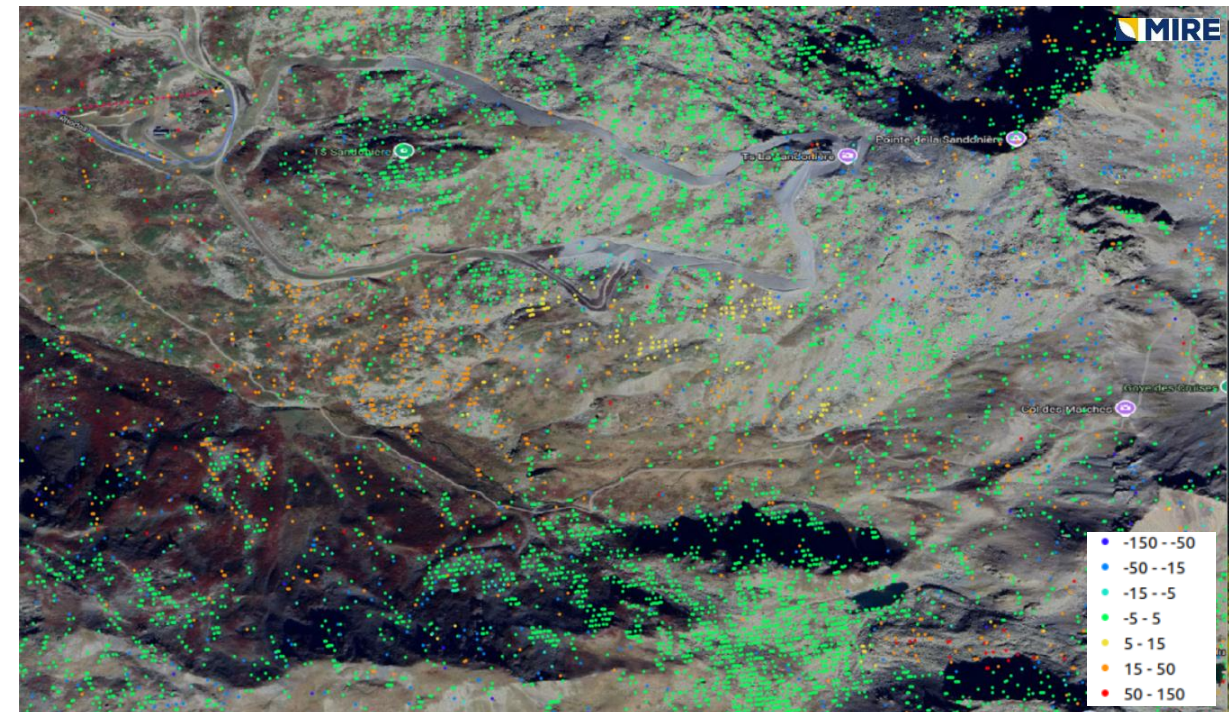
Carte des vitesses moyennes LOS entre 2015 et 2023 - MIRE



■ InSAR, un outil pour les stations de skis



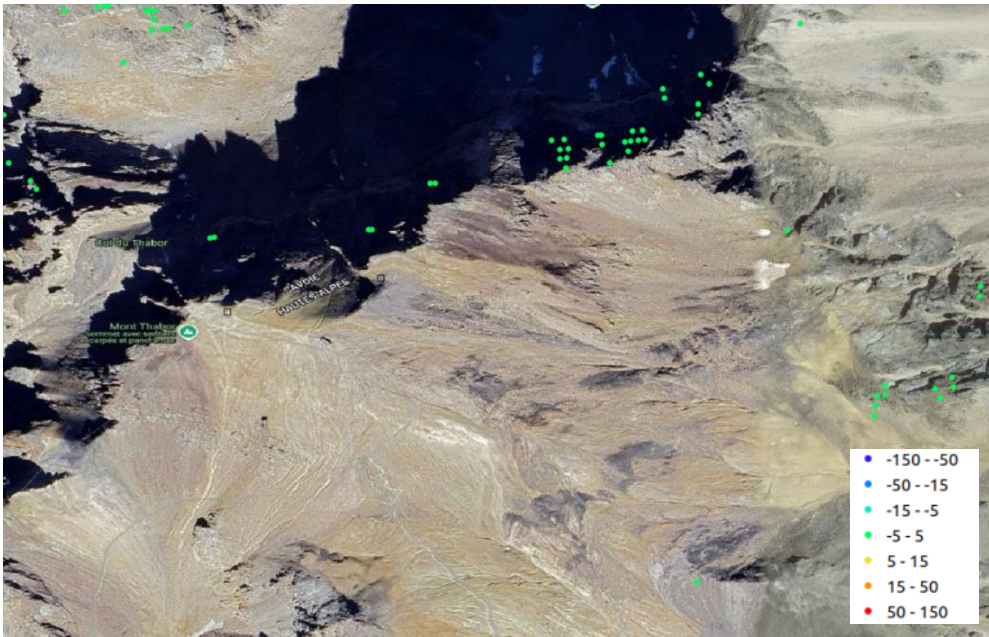
Carte des vitesses moyennes LOS entre 2019 et 2023, Valmeinier - EGMS



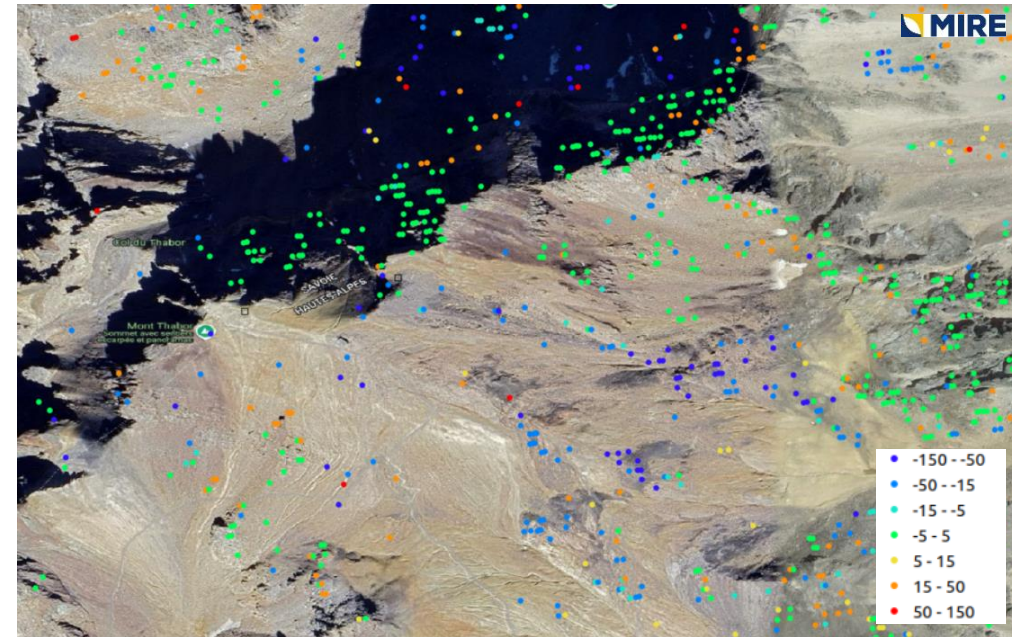
Carte des vitesses moyennes LOS entre 2015 et 2023, Valmeinier - MIRE



Potentiel d'application pour la haute montagne



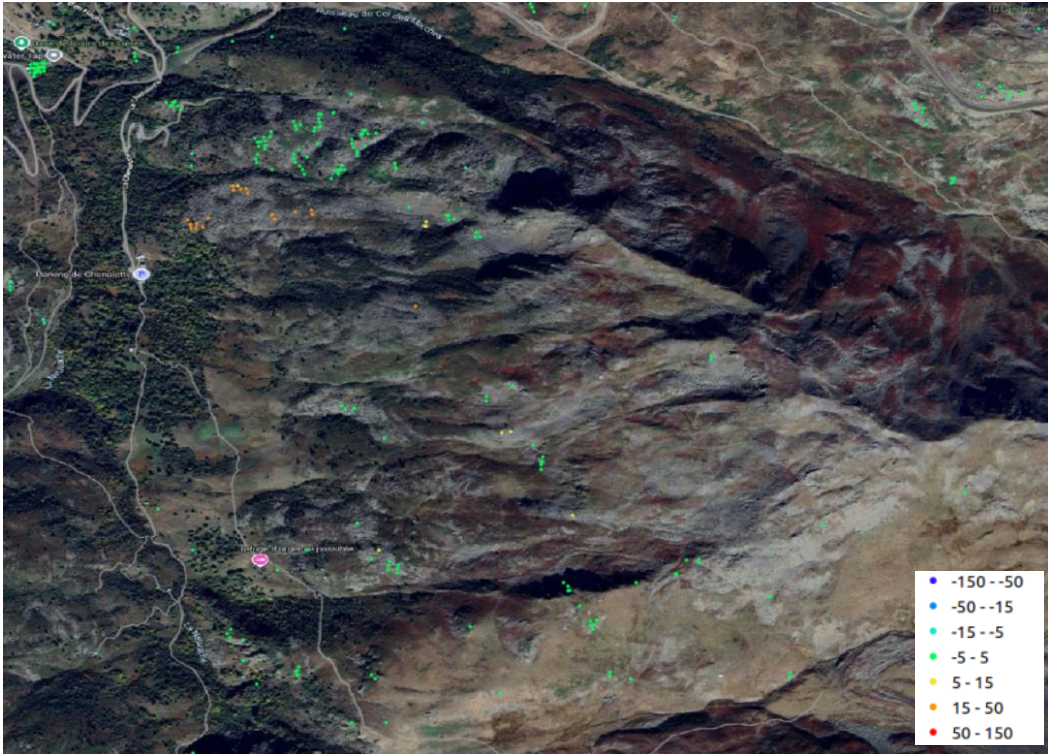
■ Carte des vitesses moyennes LOS entre 2019 et 2023 - EGMS



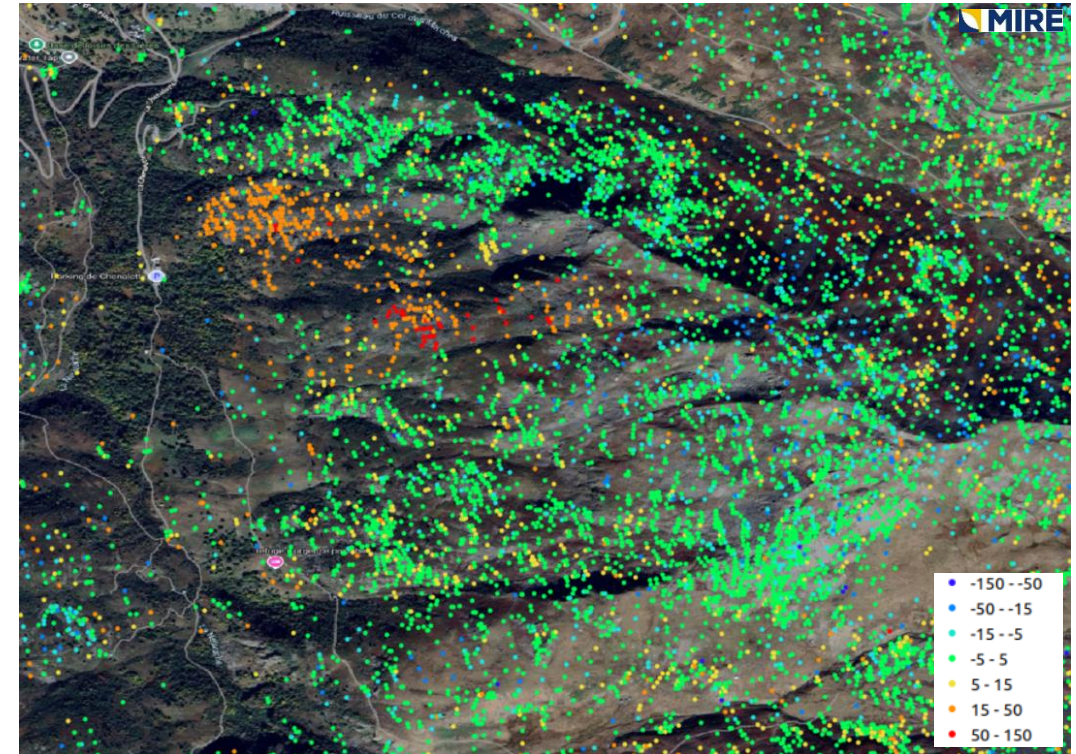
■ Carte des vitesses moyennes LOS entre 2015 et 2023 - MIRE



■ S1A/S1C : temps de revisite court = +20 images sur 5 mois



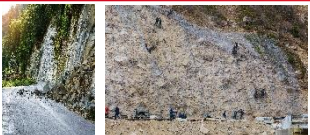
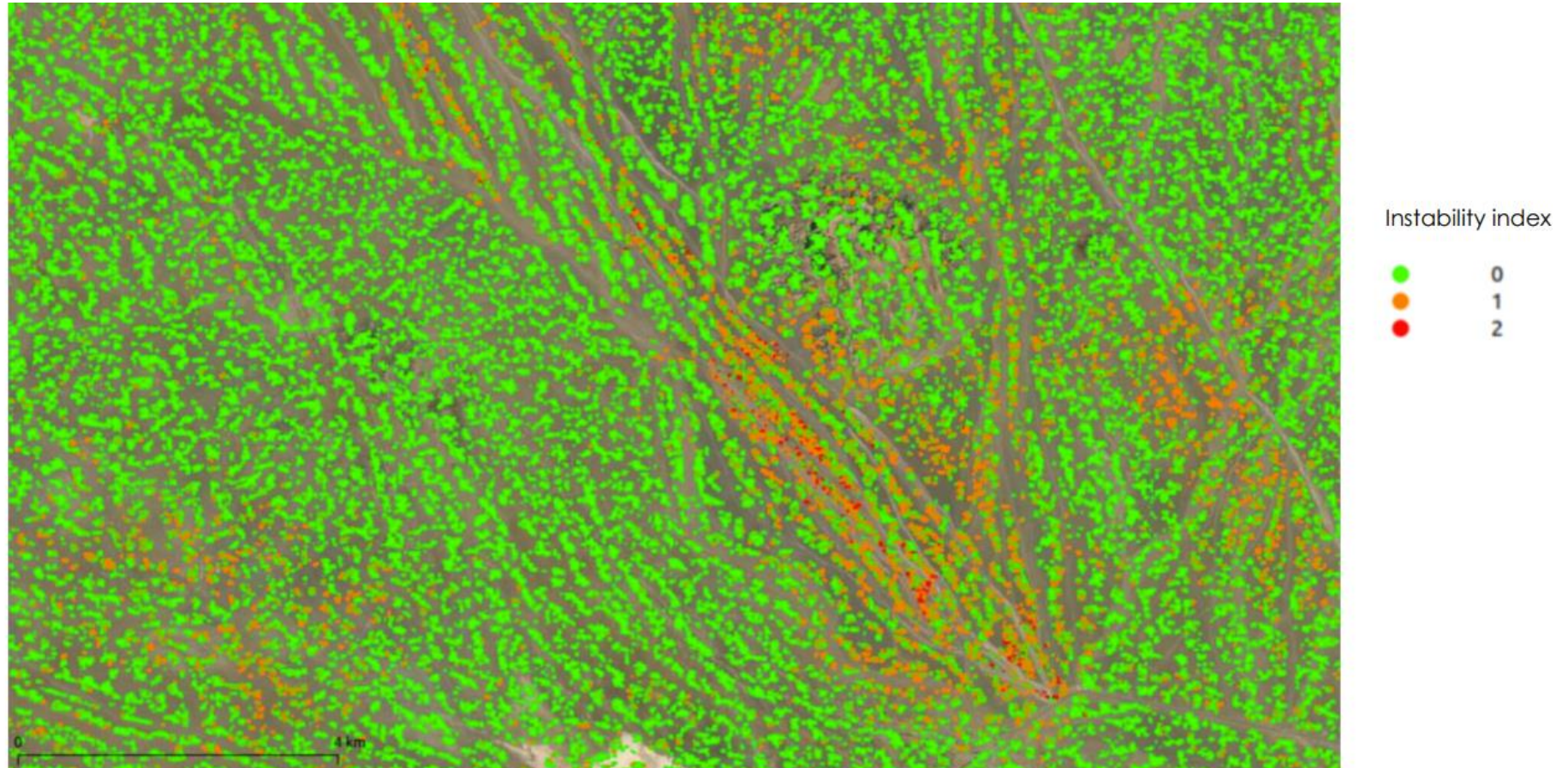
■ Carte des vitesses moyennes LOS entre 2019 et 2023 - EGMS



Carte des vitesses moyennes LOS entre Juin 2021 et Octobre 2021 - MIRE



- Information de stabilité simplifiée
- Index calculé à partir des déplacements verticaux et horizontaux



Potentiel d'utilisation de l'InSAR

- Outil ***tout temps*** d'une grande précision - mesures 1D – Interprétation déplacement horizontal & vertical possible intervalles de plusieurs jours
- Cartographie des aléas et suivi de l'évolution des vitesses de déformations – phénomènes +/- lents
- Le choix des données (longueur d'onde, résolution, période d'acquisition) et des méthodes doit être adapté au contexte des déplacements gravitaires
- Un suivi de la qualité des résultats doit être fourni
- Sentinel-1C : retour de la disponibilité à 6 jours

L'InSAR de demain

- **Bande X** : NIMBUS X-Band - Orbite relativement verticale, sensibilité déplacement Nord Sud
- **Bande L** : lancement de NISAR en 2025 et Rose-L en 2028



MERCI DE VOTRE ATTENTION

MIRE

22-24 RUE LAVOISIER BAT C
2EME ETAGE - 92000 NANTERRE
T : +33 (0)1 41 91 50 60

www.mire-sas.com

Matthias JAUVIN
Responsable InSAR - AURIGAMI

M : +33 (0)6 37 26 12 91

T : +33 (0)4 27 19 46 80

MIRE s.a.s

Europarc Bâtiment B1
1 place Berthe Morisot
69800 Saint Priest



Rejoignez-nous sur
les réseaux sociaux

