

LES ÉTUDES INSAR APPLIQUÉES AUX GLISSEMENTS DE TERRAIN

BASES THÉORIQUES ET PRATIQUES



Service des Forêts
et de la Nature

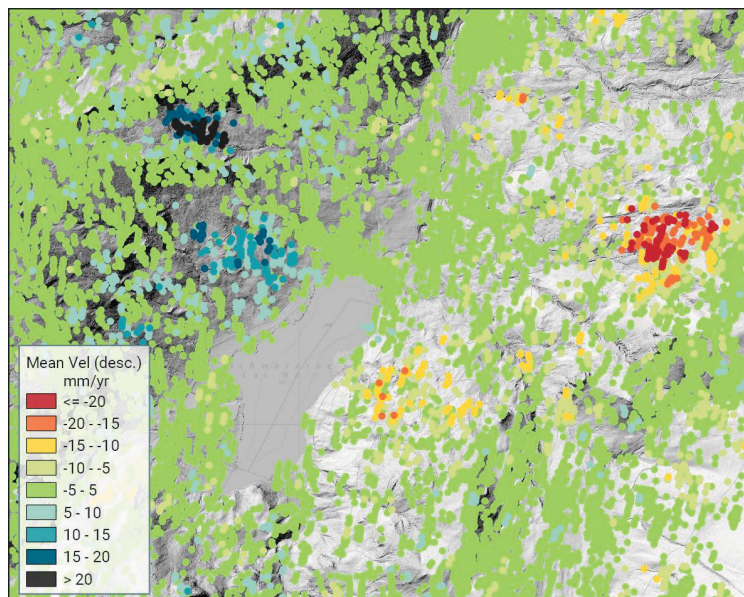
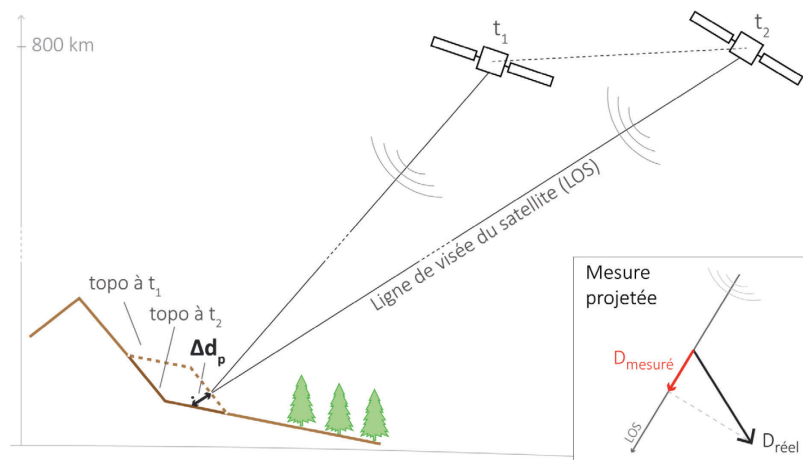
ETAT DE FRIBOURG
STAAT FREIBURG

ÉTUDES INSAR ET GLISSEMENTS

Les études InSAR sont particulièrement indiquées à échelles régionales pour **détecter et monitorer de grandes instabilités actives lentes et continues**, comme des glissements de terrain ou rocheux lents permanents, des déformations gravitaires profondes de versants, et autres tassements.

MESURES PROJÉTÉES

Il est important de noter que les **mesures InSAR sont une projection sur la ligne de visée du satellite RaDAR (*line-of-sight*, LOS)** des mouvements réels survenus entre deux acquisitions.



AVANTAGE PRINCIPAL

Détection de très grands glissements et instabilités lents et permanents à des échelles régionales

PRINCIPALE LIMITATION

Perte significative de signal si déplacements trop rapides ou accélérations soudaines, si trop de végétation ou si déplacement orienté Nord/Sud

CAPACITÉ DE DÉTECTION

Excellente en zones urbaines ou sur infrastructures humaines, moyenne en terrain naturel

CAPACITÉ DE MONITORING

Très bonne si images régulièrement disponibles sur la zone d'intérêt et pour des glissements lents

CAPACITÉ D'ALERTE EN TEMPS RÉEL

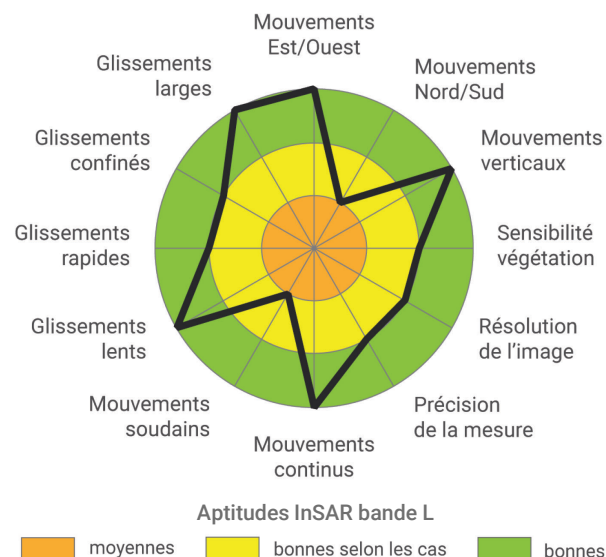
Très limitée car mesures non-continues dans le temps

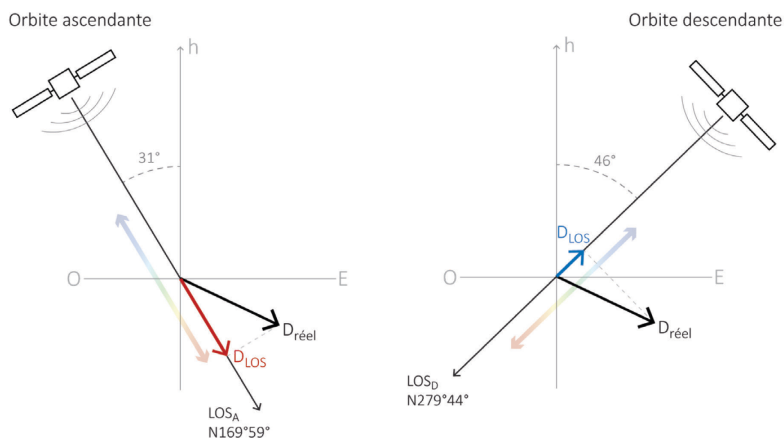
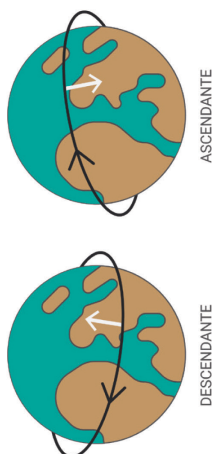
IMAGES RADAR EN BANDE C VERSUS BANDE L

Les images en bande C (longueur d'onde ~5.6 cm) sont les données les plus abondantes, voire gratuites avec les archives Sentinel-1 de l'ESA. Elles mesurent des mouvements entre 1 et 25 mm/an, mais sont très sensibles à la végétation (forêts comme pâturages).

Les images en bande L (longueur d'onde ~24 cm) sont des données plus restreintes et l'archive est payante. Elles mesurent des mouvements entre 10 et 50 mm/an, mais sont moins sensibles à la végétation. Sur le Canton de Fribourg, où les forêts, les pâturages et les glissements de terrain permanents sont nombreux, la bande L est donc bien indiquée.

En complément aux longueurs d'onde, **plus la période d'observation et plus le nombre d'images sources sont importantes**, meilleure sera la précision des résultats.

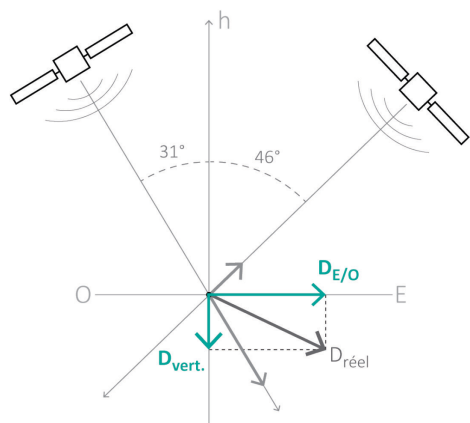




ORBITE ASCENDANTE OU DESCENDANTE

Avec les trajectoires satellitaires Nord/Sud, une même zone peut être acquise lors d'un passage en orbite ascendante, captant vers l'Est, puis descendante, captant vers l'Ouest. La direction supposée du déplacement recherché dicte le choix de l'orbite. En effet, afin de mesurer un vecteur projeté le plus proche du déplacement réel :

- les **orbites ascendantes** sont généralement indiquées pour les **versants orientés vers l'Est**.
- les **orbites descendantes** sont généralement indiquées pour les **versants orientés vers l'Ouest**.
- les **versants Nord-Sud** sont **quasi-orthogonaux au LOS**; les déplacements NS ne sont donc pas mesurables.



DÉCOMPOSITION DE VECTEURS PROJÉTÉS

À partir des vecteurs projetés mesurés sur les 2 orbites ascendantes et descendantes, il est possible de décomposer les déplacements :

- selon ses composantes Est/Ouest et verticales en faisant l'hypothèse que le déplacement réel suit l'axe Est/Ouest.
- selon ses composantes en 3D, en faisant l'hypothèse que le déplacement réel suit l'orientation générale du versant.

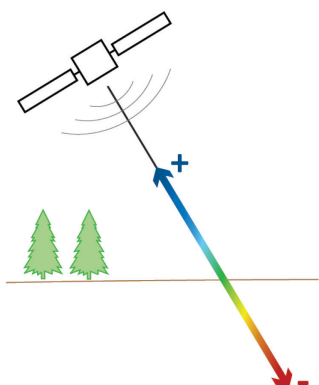
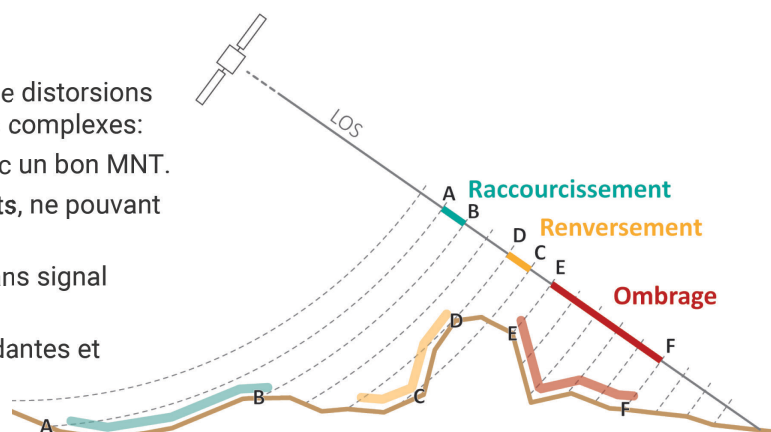
De plus, à partir d'un vecteur projeté mesuré sur une orbite, il est aussi possible de calculer l'amplitude réel des mouvements avec un simple facteur correctif, en faisant l'hypothèse que le déplacement réel suit l'orientation et la pente générale du versant.

DISTORSIONS GÉOMÉTRIQUES

Du fait de LOS incliné (et non vertical), trois types de distorsions géométriques apparaissent dans des topographies complexes:

- Les raccourcissements peuvent être corrigés avec un bon MNT.
- Les renversements, ou **layover**, sont **contraignants**, ne pouvant être que localement et difficilement corrigés.
- Les **ombrages** sont un **problème insoluble**, car sans signal retour, toute correction est impossible.

Seules les acquisitions via plusieurs orbites ascendantes et descendantes limitent ces artéfacts.



PAR CONVENTION

- un **mouvement projeté positif** signifie que le réflecteur se rapproche du capteur. Il est représenté par un dégradé de bleu.
- un **mouvement projeté nul** (zone stable ou déplacement orthogonal au LOS) est représenté dans les tons verts.
- un **mouvement projeté négatif** signifie que le réflecteur s'éloigne du capteur. Il est représenté par un dégradé jaune-rouge.

ETUDE INSAR EN BANDE-L SUR LE CANTON DE FRIBOURG

DONNÉES ALOS DE 2014 À 2023



Service des Forêts
et de la Nature

ETAT DE FRIBOURG
STAAT FREIBURG

Une étude InSAR en bande L a été réalisée à l'automne 2023 sur l'ensemble du Canton de Fribourg, par les entreprises Gamma Remote Sensing AG (traitements InSAR) et Terranum Sàrl (direction des travaux), sous mandat du Service des Forêts et de la Nature de l'État de Fribourg.

IMAGES SOURCES : ARCHIVES DISPONIBLES DU CAPTEUR PALSAR-2 DU SATELLITE ALOS-2

- 22 images en orbite ascendante A199-F2-5, modes ScanSAR et Stripmap, de septembre 2014 à juillet 2023
- 15 images en orbite descendante D095, mode ScanSAR, de juin 2015 à août 2023
- les images hivernales sont exclues dans les 2 orbites pour filtrer le bruit de la couverture neigeuse

ORIENTATION DES LOS

- Selon convention géologique dip dir.°/dip° : orbite ascendante N169°/59°, orbite descendante N279°/44°

TRAITEMENT INSAR APPLIQUÉ

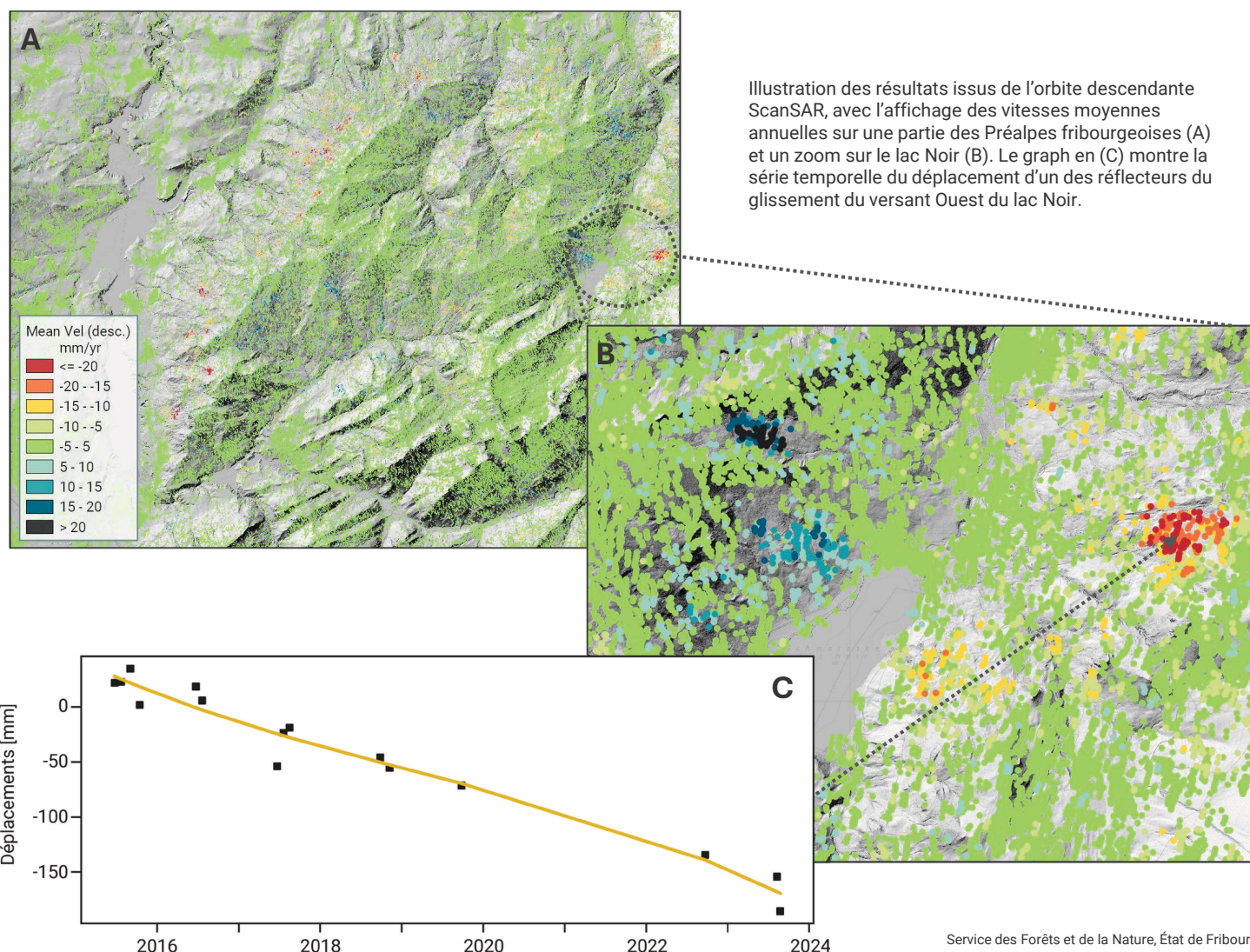
- Méthode d'analyse sur des diffuseurs ponctuels persistants IPTA, développée par Gamma Remote Sensing AG
- Correction des composantes InSAR topographiques, atmosphériques et géométriques par MNT-HR SwissAlti3D

RÉSOLUTION SPATIALE

- Orbite ascendante (StripMap) : ~10 m | - Orbite descendante (ScanSAR) : ~30 m

PRÉCISION DE LA MESURE

- Vitesses moyennes annuelles : ~9 mm/an sur plus de 4 ans | - Mesures individuelles : ~14-15 mm



RECOMMANDATIONS D'UTILISATION ET D'INTERPRÉTATION

1. ÊTRE CONSCIENT DE CE QUE L'ON MESURE ET DE CE QUE L'ON NE MESURE PAS

- Les traitements InSAR IPTA en bande L sont optimisés pour :
 - détecter et mesurer les déplacements des grands glissements de terrain lents permanents, ainsi que les glissements rocheux, DGPV et tassements actifs, ayant des vitesses > cm/an.
- Les traitements InSAR IPTA en bande L ne sont pas prévus pour :
 - détecter des instabilités extrêmement lentes (ayant des vitesses < cm/an), voire dormantes.
 - détecter des événements rapides et soudains, tels que les glissements spontanés, coulées de boue, laves torrentielles, chutes de blocs, zone d'érosion, etc.
 - détecter les glissements trop petits, de l'ordre de quelques m².

2. JOUER AVEC LES ORBITES ASCENDANTES ET DESCENDANTES

- En général, privilégier l'orbite ascendante pour les versants Est et la descendante pour les versants Ouest.
- Dans une zone d'ombrage ou de renversement, analyser les résultats de l'autre orbite.
- Si un glissement est trop rapide pour l'orbite généralement conseillée, analyser les résultats de l'autre orbite. Le mouvement projeté mesuré sur ce 2nd LOS est souvent plus petit et peut donc être détecté.

3. DÉPLACEMENTS MESURÉS SUR UN PIXEL

- Le mouvement mesuré est une projection du déplacement réel sur le LOS.
- Dans les études InSAR en bande C, les pixels de mesure correspondent à des diffuseurs ponctuels tels que des bâtiments, des pylônes, des infrastructures ou des objets naturels solides comme des roches.
- Dans les études InSAR en bande L, les pixels de mesure ne peuvent pas être facilement interprétés comme des objets individuels; il faut plutôt les considérer comme la mesure de la moyenne des déplacements des réflecteurs ponctuels et diffus compris dans la surface du pixel.
- La présence et la localisation exacte d'un réflecteur naturel est déterminée par le traitement des données, sans que cela ne s'explique toujours clairement. Le pixel mesuré est là où il est.

4. RÈGLES GÉNÉRALES POUR L'INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

- Préférer l'analyse des vitesses moyennes d'un groupe de réflecteurs et se méfier des pixels isolés.
- Analyser la série temporelle des mesures de déplacement pour s'assurer :
 - que la tendance des mouvements est cohérente dans le temps.
 - de l'absence de saut soudain de déplacements (pouvant être causés par un artefact de traitement).
- Un point mesuré avec une vitesse nulle peut être causé par plusieurs raisons :
 - la zone est stable.
 - l'instabilité est trop petite pour être mesurée.
 - le mouvement réel est proche de l'orthogonalité avec le LOS (surtout pour les orientations N/S).
 - l'activité a lieu uniquement pendant les périodes hivernales, pour lesquelles nous n'avons pas de données.
 - l'activité du glissement n'est pas constante, avec des phases de dormance entrecoupées d'accélération soudaines sur de courtes périodes. Ce type de mouvement a tendance à être filtré par les traitements InSAR (ce qui est même exacerbé quand il y a peu d'images sources).
 - plus rare, la topographie est plane, sans rugosité macroscopique, et le mouvement est parallèle à la pente.
- Une absence de réflecteurs ne signifie pas qu'il n'y a pas de mouvements. En effet, les causes d'absences de réflecteurs peuvent être liées aux :
 - vitesses trop lentes ou rapides et aux accélérations soudaines.
 - aux distorsions géométriques de renversements et d'ombrages.
 - à la couverture du sol, trop végétalisée ou trop humide.
 - à des modifications d'utilisation du sol.
- Les déplacements se rapprochant de l'orthogonalité engendrent une sous-estimation significative voire une suppression des déplacements réels. Vérifier si cela peut être le cas dans vos zones d'études.
- Avec ses limites fondamentales, les études InSAR ne sont pas suffisantes pour réaliser un inventaire complet des glissements de terrain sur une région ou un monitoring sans faille d'une instabilité; elles sont à considérer comme un support à toute étude, en complément des autres données disponibles.