

Quantifier un séisme à l'aide de satellites

Lorsque l'on veut quantifier un séisme, la première idée qui vient à l'esprit est d'utiliser les ondes sismiques mesurées par un sismomètre. Cependant, il est également possible d'utiliser les satellites pour caractériser les mouvements liés à un séisme si celui-ci se manifeste en surface.

Interférométrie SAR

L'interférométrie SAR (InSAR ; Interferometric Synthetic Aperture Radar) est une méthode basée sur la comparaison d'images satellites radar acquises avant et après un séisme. En comparant l'altitude du terrain sur les deux photos, il est possible d'obtenir une véritable image du séisme !

La méthode est basée sur l'émission d'une onde **radar** (de longueur d'onde généralement entre 1 et 20 cm) par un satellite, qui est réfléchi par la surface terrestre puis captée à nouveau par le satellite (**figure 1**). Par convention, les satellites visent toujours vers leur droite. Ces aller-retours permettent de former une **image de phase**, qui dépend de l'altitude (phase de trajet) et de la nature du terrain (végétation, sol nu, etc. : phase pixellaire). Si la nature du sol ne change pas, alors la vitesse v de l'onde étant connue, la mesure du temps t de l'aller-retour permet de déduire la distance d entre la surface terrestre et le satellite ($v=d/t$).

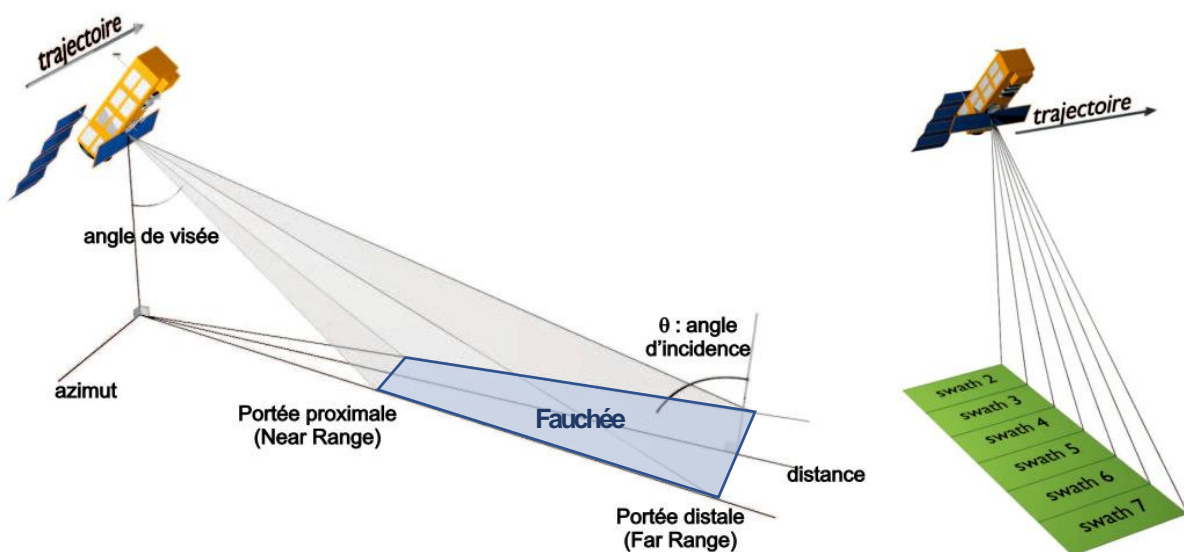


Figure 1 : Quelques paramètres du faisceau radar. Source : Augier, 2019

L'image de phase doit ensuite être comparée à une autre image de phase de la même zone géographique prise à une date différente ; leur différence donne un **interférogramme**. Après un traitement complexe qui permet de s'affranchir des imprécisions orbitales, topographiques et atmosphériques, l'image interférométrique résultante indique la quantité de déplacement du sol entre les deux passages du satellite (*figure 2*).

Cette quantité de déplacement est matérialisée par des **franges** de couleur sur l'interférogramme. Une interfrange correspond à un déplacement cumulé d'une demi-longueur d'onde, et l'ordre des couleurs détermine s'il s'agit d'un rapprochement ou d'un éloignement. En connaissant l'orbite du satellite, il est possible d'en déduire le sens du déplacement.

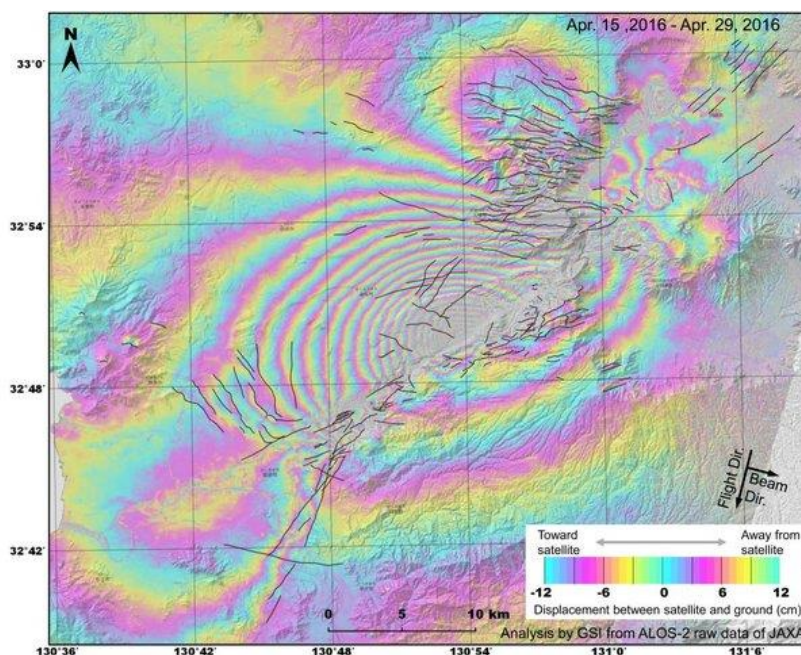


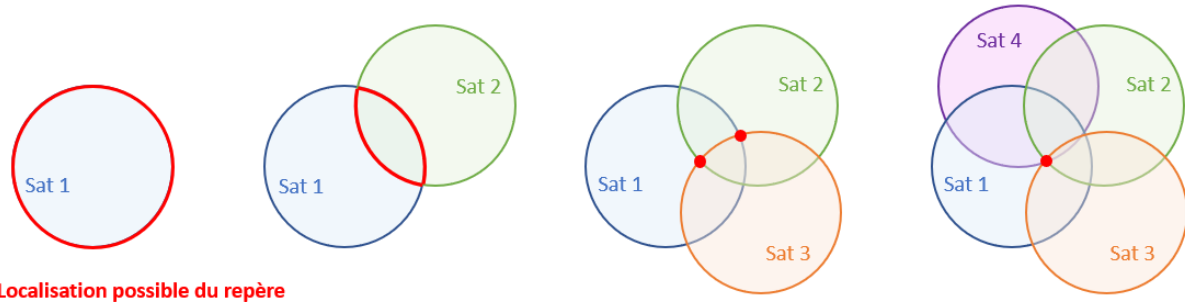
Figure 2 :

Interférogramme des séismes de Kumamoto (Japon) en 2016. Les lignes noires correspondent aux surfaces de rupture. L'image a été réalisée en superposant des images de phase prises le 15 et le 29 avril 2016. *Source : Fujiwara et al., 2016*

GPS

Le Global Positioning System (GPS) est un système de géolocalisation par satellite. Il repose sur la localisation précise d'un point sur Terre, matérialisé par un **récepteur**, à partir de quatre satellites (*figure 3*). Un repère de contrôle communique en outre avec les satellites pour calculer leur position précise à chaque instant.

Chaque satellite envoie une onde électromagnétique et mesure le temps qu'elle met à se réfléchir sur le récepteur et revenir. Il est alors possible de remonter à la distance entre le récepteur et le satellite et le récepteur. La mesure effectuée par quatre satellites en même temps permet une trilatération, et donc une localisation précise (*figure 3*). Afin de s'assurer qu'au moins quatre satellites soient au-dessus de l'horizon à chaque instant, une **constellation** de 24 satellites est actuellement déployée en orbite.



Localisation possible du repère

Figure 3 : Principe de localisation du GPS par 4 satellites. Un nombre inférieur de satellites mène à une incertitude sur la localisation du repère.

En géophysique, les repères sont ancrés dans le sol et ne sont donc pas mobiles. En comparant la position de repères placés de part et d'autre de la faille ayant rompu avant et après un séisme, il est donc possible de calculer très précisément la quantité de déplacement engendrée par le séisme. L'analyse de ce déplacement peut fournir des informations sur la rupture (longueur du/des segment(s) actif(s), hypocentre, zones de fort risque de répliques, etc.). Des repères sont mis en place autour de la plupart des failles actives connues dans le monde.

Conclusion : comparaison InSAR – GPS

	InSAR	GPS
Résolution spatiale	Très élevée : quelques m	Dépend du réseau, jusqu'à quelques dizaines de m
Résolution temporelle	Faible : quelques semaines	Jusqu'à 5 Hz
Résolution géométrique	1 à 3 composantes	3 composantes
Précision	Autour de 1 mm/an	Autour de 0,1 mm/an
Couverture	Globale	Dépend de l'accessibilité de la zone pour l'installation des récepteurs
Coût d'utilisation	Faible : données publiques	Moyen : proportionnel au nombre de repères
Potentiel d'amélioration	Élevé : nouveaux concepts	Modéré