

IDENTIFICATION ET SUIVI DE MOUVEMENTS DE TERRAIN A PARTIR DE DONNEES INSAR - PRESENTATION ET RESULTATS DU PROJET MOMPA

IDENTIFICATION AND MONITORING OF LANDSLIDES BASED ON INSAR DATA – PRESENTATION AND RESULTS OF THE MOMPA PROJECT

Muriel GASC¹, Anna BARRA², Jordi MARTURIA³, Laura TRAPERO, Ivan FEBREGAT³, Pere BUXO³, Anna ECHEVERRIA⁴, Michele CROSETTO²

¹ GeoCoD, Cerema, Aix-en-Provence, France

² CTTC, Barcelone, Espagne

³ ICGC, Barcelone, Espagne

⁴ ARI, Andorre la vieille, Andorre

RÉSUMÉ – MOMPA est un projet européen, co-financé par le programme Interreg V POCTEFA 2014-2020 (<https://momp.eu>), qui vise à identifier puis suivre les mouvements de terrain dans une zone transfrontalière entre l'Espagne, l'Andorre et la France. L'objectif est d'améliorer l'anticipation et la réponse des acteurs territoriaux au risque mouvement de terrain et à la gestion des risques naturels, et d'unifier les pratiques transfrontalières.

ABSTRACT – MOMPA is a European project, co-funded by the Interreg V POCTEFA 2014-2020 program (<https://momp.eu>). Its aim is to identify and monitor landslides in a cross-border area between Spain, Andorra and France. The objective is to improve the anticipation and response of territorial actors to the risk movement of ground and to the management of natural risks, and to unify cross-border practices.

1. Introduction

Les mouvements de terrain ont un impact important sur le cout direct et indirect des infrastructures. Néanmoins, pour les gestionnaires, il est impossible de tous les surveiller, d'une part parce que certains glissements peuvent survenir dans des zones non initialement identifiées et d'autre part parce que le coût élevé de la surveillance in situ peut souvent sembler prohibitif. La gestion du risque associé est alors souvent réactive : des mesures sont prises lorsque des problèmes sont survenus. En outre, les inventaires des glissements de terrain existants ne sont ni complets ni exhaustifs et ne couvrent souvent pas des zones éloignées des structures humaines. En parallèle, de plus en plus d'images satellites couvrant de vastes zones sont accessibles à un coût raisonnable, mais des questions demeurent aussi bien sur leur résolution que sur leur précision : peut-on les utiliser pour l'identification et/ou la surveillance des mouvements de terrain ?

L'objectif du projet MOMPA est d'améliorer la gestion des risques géologiques, de passer d'une approche réactive à une approche proactive. L'élément d'innovation du projet consiste à appliquer la technique interférométrique SAR (InSAR), basée sur l'imagerie satellitaire, pour améliorer la gestion des risques géologiques. Cette technique, sensible aux petites déformations du terrain, peut être utilisée pour une détection précoce des mouvements, la surveillance et l'évaluation des risques (Barra et al., 2018 ; Solari et al., 2018, 2020).

Le projet MOMPA a débuté le 1er décembre 2019 et se terminera en mai 2022. Cet article se concentre sur la méthodologie développée et les premiers résultats obtenus sur la zone d'étude française.

2. Présentation du projet et méthodologie développée

MOMPA est un projet européen, co-financé par le programme Interreg V en France-Espagne-Andorre (POCTEFA) 2014-2020 (<https://momp.eu>), qui vise à suivre les mouvements de terrain connus, ou non encore identifiés, dont les impacts peuvent être visibles sur les infrastructures ou les habitations, en se basant sur le traitement et l'analyse de données provenant de Sentinelle et CosmoSkymed. Il couvre une zone transfrontalière entre l'Espagne, l'Andorre et la France, d'environ 4 000 km² (figure 1). Le choix a été fait de traiter uniformément l'ensemble de la zone, quel que soit le pays concerné, et ce, bien que les supports cartographiques ne soient pas homogènes, ce qui a demandé un travail d'adaptation supplémentaire.

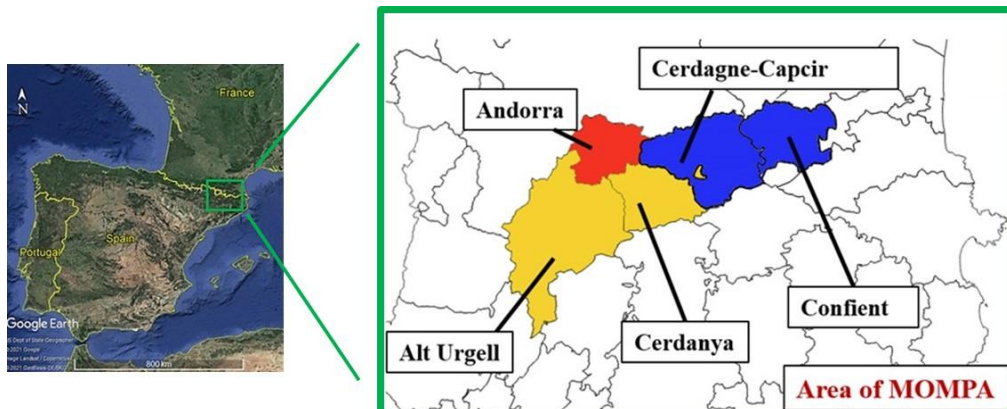


Figure 1. Zone étudiée : en bleu, la française, en jaune l'espagnole et en rouge, Andorre.

2.1. Cartographie des zones de déformations actives

Grâce à son expertise dans le domaine de l'interférométrie satellitaire (InSAR), le Centre Technologique de Télécommunication de Catalogne (CTTC) a fourni sur l'ensemble de la zone d'étude, 2 types de cartes : les DAM et les ADA. La méthodologie utilisée est décrite dans (Solari et al., 2020) et nous ne reprendrons ci-après que les éléments principaux.

La carte d'activité de déformation, (DAM- *Deformation Activity Map*), est une carte qui rend compte de vitesses de déplacement. Elle est générée à partir de données Sentinel-1 prises à différentes dates. Le traitement est automatisé grâce à une chaîne de traitement développée par au sein du CTTC (Devanthery et al, 2014). La DAM est donc une carte de points de mesure géoréférencés, chaque point étant caractérisé par une vitesse annuelle estimée et un mouvement cumulé entre chaque acquisition de satellite. Toutes les vitesses et les déplacements sont mesurés dans la direction de la ligne de visée (LOS) du satellite. Le niveau de bruit général de la carte des vitesses est évalué à l'aide de l'écart type des valeurs de vitesse.

La carte des zones de déformation active (ADA – *Active Deformation Area*) est générée grâce à une extraction semi-automatique à partir du DAM, qui se concentre sur les zones actives les plus importantes (Tomás et al., 2019 ; Navarro et al., 2018, 2020). Une ADA est un regroupement d'au moins 5 points dits « adjacents » avec une vitesse de déplacement supérieure à un seuil fixé par l'opérateur. Pour déterminer si deux points sont adjacents, la distance entre eux doit être inférieure à 2 fois leur rayon d'influence. Ici, le rayon d'influence des points a été fixé à 26 m, et le seuil de vitesse pour sélectionner les points actifs a été défini par 3 fois l'écart-type de la carte de vitesse. Pour chaque ADA, on donne : le nombre de points actifs agrégés, les valeurs moyennes, maximales et minimales des vitesses, et la valeur moyenne des déformations cumulées.

La période couverte par les images Sentinelle utilisées lors du projet, va du 4 juillet 2015 au 28 décembre 2020. Le traitement a permis d'identifier 878 ADA sur l'ensemble de la zone couverte.

2.2. Croisement automatique avec les données cartographiques et géologiques

L'Institut Géologique et Cartographique de Catalogne a ensuite proposé une méthodologie, à réaliser sous le logiciel libre QGIS, pour identifier des zones à risque :

1. séparation des ADA en classe de vitesse : Class_0, si la vitesse est inférieure à 5 mm / an; Class_1 si la vitesse est supérieure ;
2. préparation d'une carte géologique simplifiée à partir des données du site infoterre.brgm.fr côté français. L'ensemble des terrains de la zone sont classés en fonction de leur aptitude aux glissements (2 classes) ou aux chutes de blocs (3 classes) ; une carte des pentes également simplifiée en 6 classes de pente est préparée, ces 2 cartes sont ensuite croisées pour identifier la susceptibilité des terrains ;
3. croisement de cette carte résultante avec la carte des ADA pour obtenir une carte de susceptibilité globale, compte-tenu des mouvements estimés ;
4. et enfin, croisement de cette carte de susceptibilité avec une carte d'occupation des sols, au préalable simplifiée en quelques classes : enjeux élevés (zones urbanisées), enjeux moyens (voies de communications, zones sportives...) enjeux faibles (cultures...), pas d'enjeux (sols nus, prairies, forêts...).

Ces croisements successifs permettent d'identifier quelques zones présentant à la fois des mouvements non négligeables et des enjeux potentiels. Quelques-unes de ces zones (une en Espagne et en France et deux en Andorre) ont alors été suivies à l'aide des données CosmoSkymed (constellation de petits satellites radar italiens, pour l'observation du bassin méditerranéen).

3. Résultat sur la zone française

3.1. Traitement des données InSAR

Le traitement réalisé par le CTTC a fourni un ensemble de 300 ADA (figure 2a) sur une surface d'analyse de 1600km². Sur la zone d'étude, 109 ADA sont de classe 0 et 191 de classe 1.

3.2. Géologie et morphologie de la zone d'étude

La géologie et la géomorphologie du Conflent et du Capcir et plus généralement de la vallée de la Têt sont fortement liées à l'orogénèse pyrénéenne. Une première vallée d'abord creusée dans la base de l'ère primaire composée principalement de granites, de gneiss, de schistes, de marbres a ensuite été comblée par un dépôt marin continental du Miocène. L'actuelle vallée de la Têt s'est creusée parallèlement et est marquée par des cônes de progradation du Pliocène et des dépôts glaciaires quaternaires (figure 2b, infoterre.brgm.fr).

A partir de la carte de pente simplifiée (figure 2c) et de la méthodologie rapidement décrite en 2, nous avons identifié sur les 300 ADA, 48 à risque de glissements, 0 à risque de chutes de bloc et 252, non identifiées.

3.3. Croisement avec les données d'occupation des sols

La carte d'occupation des sols fournie par l'IGN donne, dans la zone, 12 classes différentes. Conformément à la méthodologie préconisée par l'ICGC, ces classes ont été regroupées (figure 2d). Comme une ADA peut contenir des classes d'occupation des sols

différentes, nous avons 80 « sous-ADA », qui se découpent en 5 avec un enjeu élevé, 32, un enjeu moyen, 16 un enjeu faible et 27, sans enjeu.

A partir de la carte de pente simplifiée (Fig 2c) et de la méthodologie rapidement décrite en 2, nous avons identifié sur les 300 ADA, 48 à risque de glissements, 0 à risque de chutes de bloc et 252, non identifiées.

3.4. Bilan

Un tableau synthétique est finalement dressé qui reprend les différents éléments, et à partir duquel 6 sites ont été identifiés (figure 3), pour lesquels un travail de vérification sur le terrain a été réalisé. On remarquera que 4 d'entre eux sont le long de la RN 116.

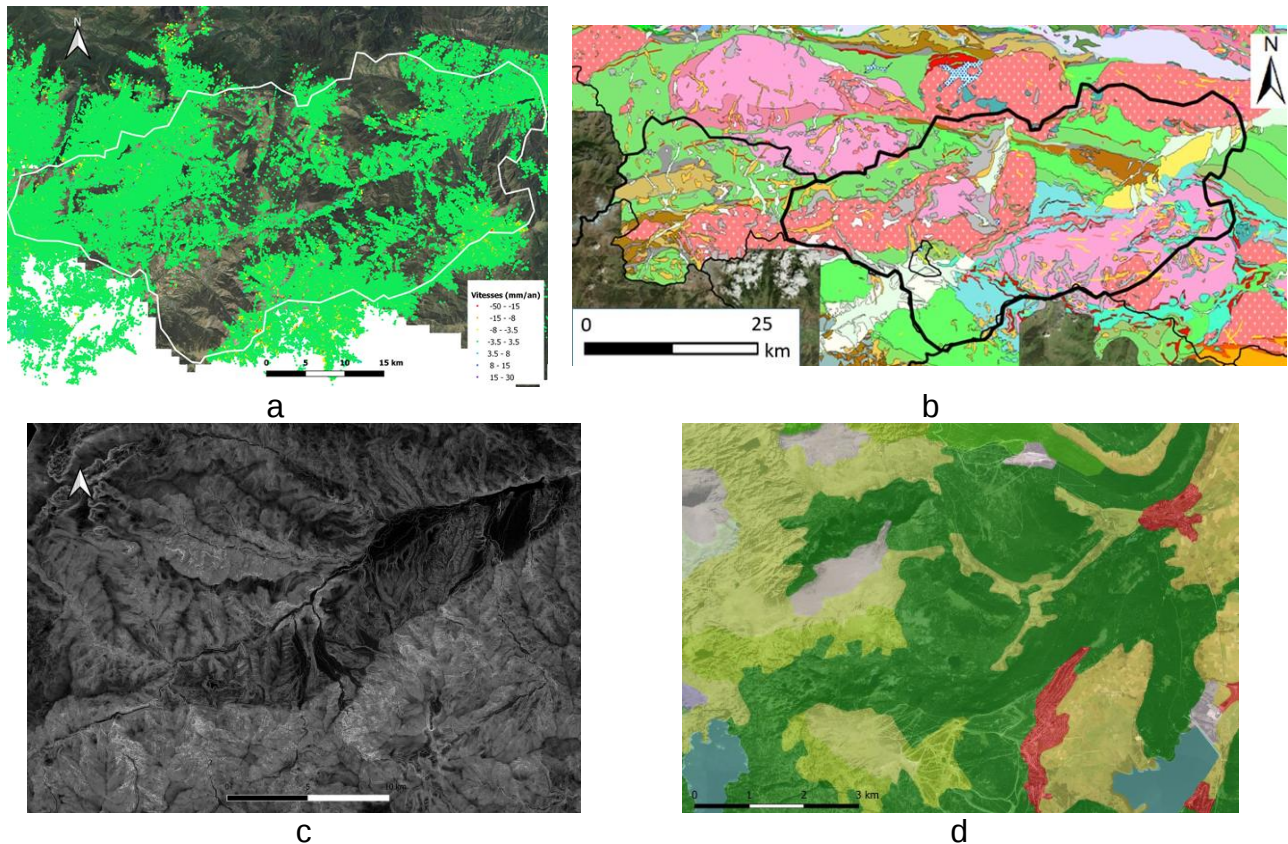


Figure 2. Cartes de travail. a- DAM, b- carte géologique (extrait infoterre.brgm.fr) , c- carte de pente simplifiée, d- carte d'occupation des sols simplifiée.

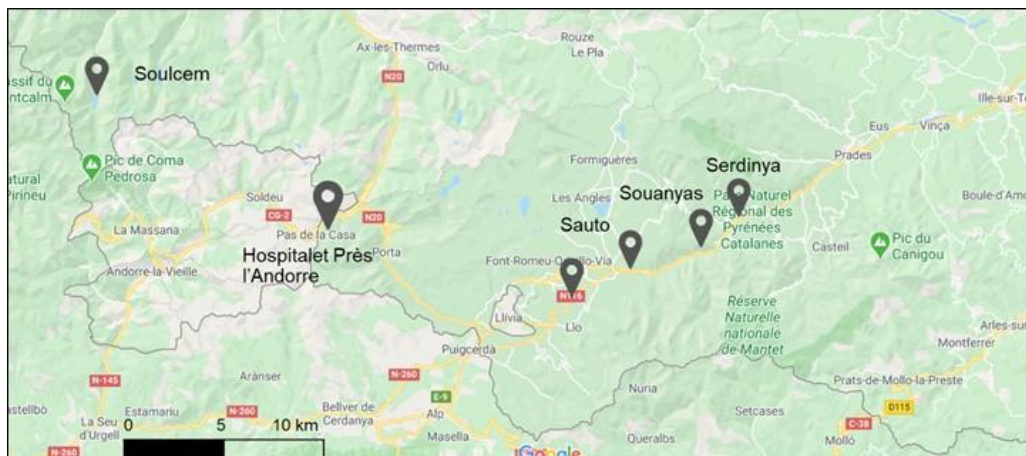


Figure 3. Sites étudiés sur le terrain. Fond Google Maps.

4. Confrontation à la vérité terrain

Les 6 sites de la figure 3 ont donc été analysés à partir de données bibliographiques et historiques, et en s'appuyant sur les connaissances des sites des experts du Cerema Occitanie. Comme il n'est pas possible de tous les décrire dans le détail, nous nous concentrerons uniquement sur 2 sites.

4.1. Glissement du Pallat

Le glissement du Pallat est localisé le long de la route RN 116, près du village de Sauto (figure 3). Ce glissement est connu depuis les années 2000, suite à la décision d'agrandir la RN 116 pour créer un créneau de dépassement. De nombreux petits mouvements se sont produits pendant les travaux, suivis d'un, plus important, en 2007 (figure 4). D'après les investigations géotechniques menées, il s'agirait d'un mécanisme de glissements imbriqués, avec un rôle important du canal d'irrigation de Canaveilles situé en amont du versant. Ce glissement est régulièrement réactivé (dernièrement, lors de la tempête Gloria, en janvier 2020).

La zone en mouvement identifiée grâce aux données Sentinelle est présentée sur la figure 5. L'ADA identifiée correspond à un ensemble de 11 points (figure 5 b), avec des vitesses estimées comprises entre 3 et 10 mm/an. La visite sur le terrain a permis de montrer que, si l'enveloppe de la zone glissée correspond bien au volume observé, en revanche, sa localisation est décalée de 30 m sur le linéaire (figure 5c). Au-delà de la zone en mouvement et de son décalage, nous avons également essayé d'identifier si les points de l'ADA correspondent à des « points » sur le terrain. Cela n'a pas été le cas.



Figure 4. Lacets du Pallat, avant et après le glissement de terrain de 2007.

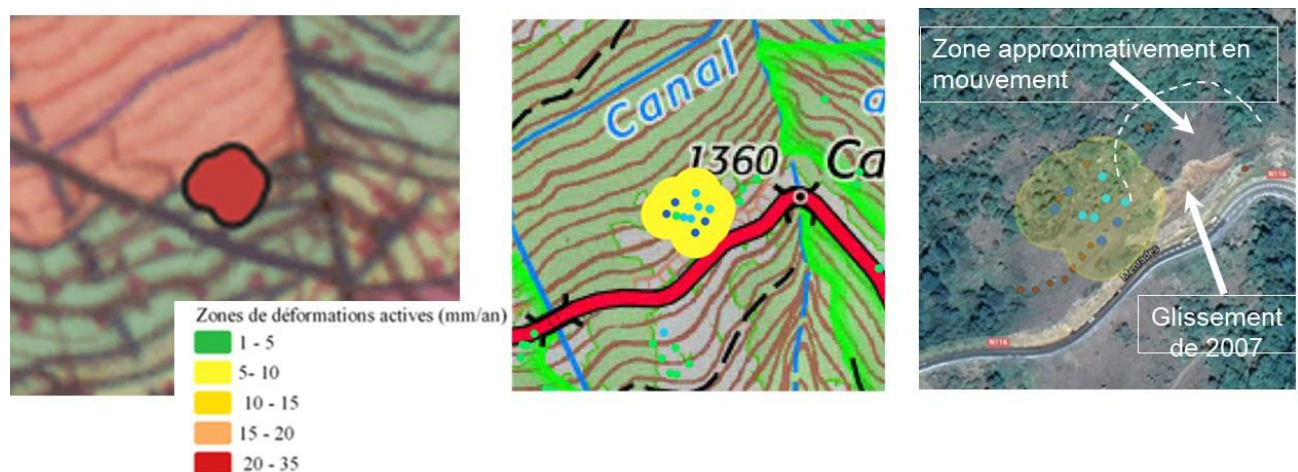


Figure 5. Site du Pallat. ADA, DAM et image du mouvement

Le décalage de la zone en mouvement s'explique très probablement par le fait que la vallée de la Têt est très encaissée, et présente une orientation sub-parallèle à la direction de la ligne de visée du satellite (LOS), ce qui ne constitue pas une utilisation optimale des données satellitaires. Aucune des zones identifiées le long de la RN116 ne sont donc recommandées pour un suivi dans le temps.

4.2. Glissement du Picôt

Le traitement des images Sentinelles a permis d'identifier un glissement de terrain lent en aval du barrage hydroélectrique de Soulcem, sur la rive droite. L'ADA rassemble un ensemble de 3253 points mobiles avec une vitesse allant jusqu'à 23,4 mm/an (figures 6 et 7). La zone est essentiellement constituée de gneiss et de micaschiste, injectés de nombreuses veines de pegmatites, ainsi que de zones d'éboulis (Thomaïdis, et al., 2001). Ce site n'est pas dans la zone d'étude de MOMPA, mais faisait partie de l'emprise de l'image Sentinelles, d'où son traitement initial. Il se trouve que l'orientation du versant est optimum par rapport à la technologie développée, et ainsi, son évolution a pu être suivie sur les 6 dernières années, grâce au traitement des images CosmoSkymed (figure 7). On observe que dans la zone la plus en mouvement (points rouges) les déplacements estimés sont de l'ordre de 12 à 20 mm/an, ce qui correspond, en cumulé (encart de la figure 7) à près de 100 mm depuis 2015.

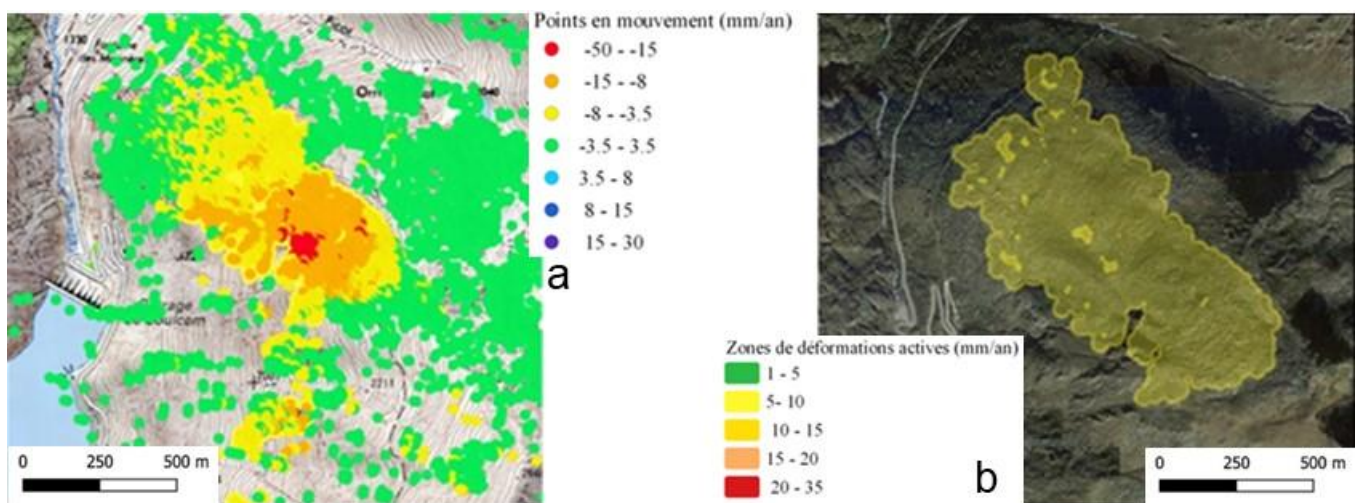


Figure 6. Vue cartographique de la zone en mouvement identifiée sur le site du Picôt. a- DAM, b- ADA.

5. Conclusions

L'objectif de MOMPA est d'améliorer la gestion des risques, de contribuer à tenter de passer d'une approche réactive à une approche proactive. Pour cela, nous avons proposé l'application de la technique interférométrique SAR (InSAR), basée sur l'imagerie satellitaire, pour améliorer la gestion des risques géologiques. Cette technique, sensible aux petites déformations du terrain, peut être utilisée pour une détection précoce des mouvements.

Un traitement systématique des images Sentinelles a été réalisé par le CTTC, sur l'ensemble de la zone inter frontalière couverte. Le filtrage géologie – pente- occupation des sols à l'aide de QGis proposé par l'ICGC a ensuite été appliqué l'équipe « locale » de chaque pays. Sur la zone française, nous sommes ainsi passés de 300 ADA à l'identification de 6 sites potentiellement à risque élevé.

L'analyse menée sur le terrain a montré les limites de la méthode, lorsque les vallées sont encaissées ou que la direction du satellite est proche de l'axe de la vallée.

Néanmoins, lorsque l'orientation est favorable, cette technique permet de suivre avec une grande précision de nombreux glissements comme le glissement du Picôt en France, mais également la Portalada et le Canillo en Andorre.

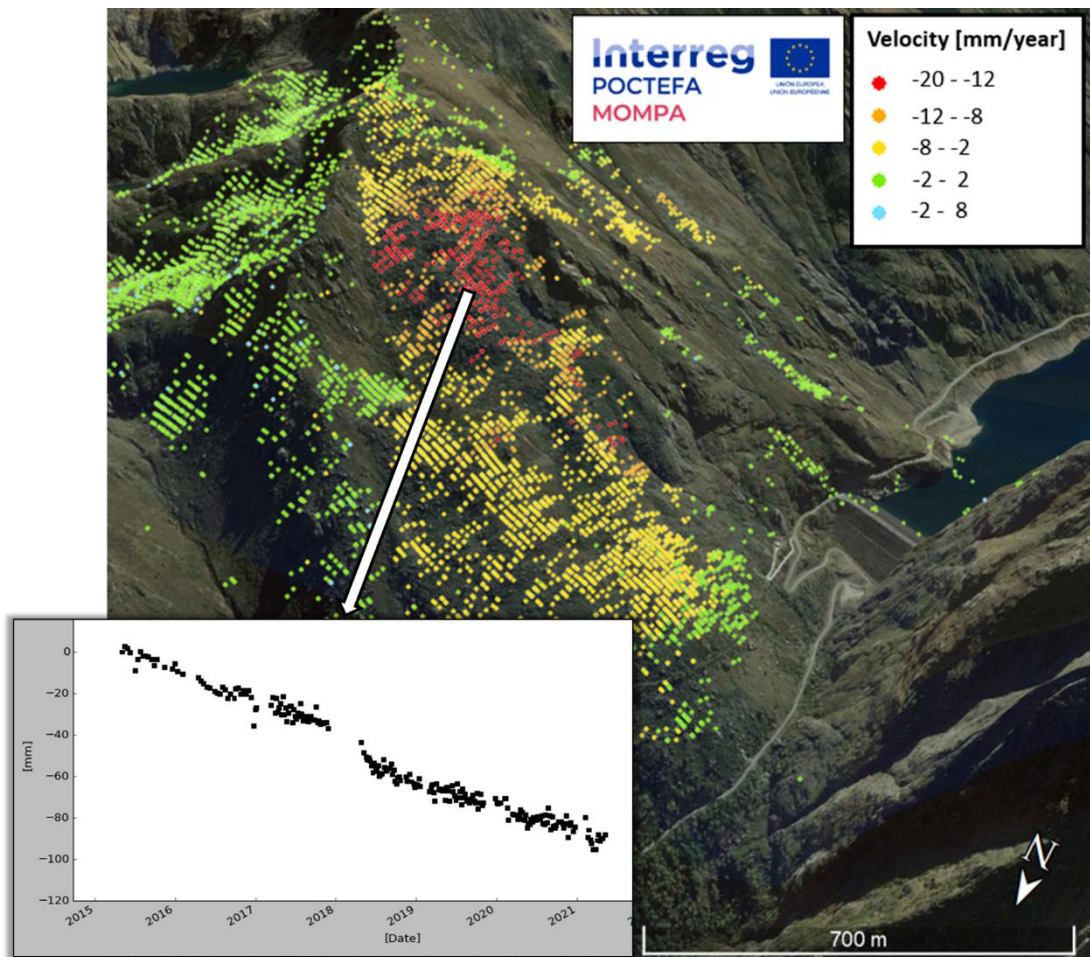


Figure 7. Déplacements et vitesses estimés, plaqués sur le glissement Picôt – vue pseudo 3D – fond google Earth.

6. Références bibliographiques

- Barra A., Monserrat O., Solari L., Herrera G., Lopez C., Onori R., Reichenbach P., González Alonzo E., Mateos R.M., Bianchini S., Crosetto, M. (2018). The safety project: Sentinel-1 for the management of geological risk. WIT Transactions on Eng Sc 121: 247-258.
- Barra A., Solari L., Bejar M., Monserrat O., Bianchini S., Herrera G., Crosetto M., Sarro R., Alonso E., Mateos R., Ligüerzana S., Lopez C., Moretti S. (2017). A Methodology to Detect and Update Active Deformation Areas Based on Sentinel-1 SAR Images. Remote Sensing, 9. Doi: 10.3390/rs9101002.
- Devanthery N., Crosetto M., Monserrat O., Cuevas-González M., Crippa B. (2014) An approach to Persistent Scatterer Interferometry: the PSIG chain, Remote Sensing , 6662-6679. doi:10.3390/rs6076662.
- Navarro J.A., Cuevas-González M., Barra A., Crosetto M. (2018) Detection of Active Deformation Areas based on Sentinel-1 imagery: An efficient, fast and flexible

- implementation." Proc. of the 18th Int. Scientific and Technical Conference, Crete, Greece. 2018.
- Navarro J.A., Tomás R., Barra A., Pagán J.I., Reyes-Carmona C., Solari L., Vinielles J.L., Falco S., Crosetto M. (2020) ADAtools: Automatic detection and classification of active deformation areas from PSI displacement maps. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 9.10: 584.
- Solari L., Barra A., Herrera G., Bianchini S., Monserrat O., Béjar-Pizarro M., Crosetto M., Sarro R., Moretti S. (2018) Fast detection of ground motions on vulnerable elements using Sentinel-1 InSAR data. *Geomatics, Natural Hazards and Risk* 9.1: 152-174.
- Solari L., Bianchini S., Franceschini R., Barra A., Monserrat O., Thuegaz P., Bertolo D., Crosetto M., Catani F. (2020) Satellite interferometric data for landslide intensity evaluation in mountainous regions. *Int J of Applied Earth Observation and Geoinformation* 87: 102028.
- Thomaïdis C., Devezé G., Dubie J.Y. (2001) Mouvements de versants des retenues hydroélectriques - Retour d'expérience et gestion du risque. *Revue Française de Géotechnique*, 95–96, 165-176. Doi: 10.1051/geotech/2001095165.
- Tomás R, Pagán J.P., Navarro J.A., Cano M, Pastor J.L., Riquelme A., Cuevas-González M., Crosetto M, Barra A., Monserrat O., et al. (2019) Semi-automatic identification and pre-screening of geological–geotechnical deformational processes using persistent scatterer interferometry datasets. *Remote Sensing* 11.14: 1675.