



## Projet POIA SIMOTER 1

*Mise au point d'un Système d'Instrumentation de MOuvements de TERRain pour l'aide à la décision dans les territoires de montagne*

Responsable scientifique : D. Jongmans, professeur, Université Grenoble Alpes



## Rapport avancement 31 décembre 2018



## I. Introduction

Le projet SIMOTER 1 s'inscrit dans cette démarche de gestion intégrée des risques naturels en montagne, en privilégiant des interventions non structurelles telles que les systèmes de surveillance et en associant les acteurs locaux (autorités, population) avec un transfert de connaissance sur les outils et techniques proposés et une information sur les risques gravitaires pour les populations concernées. Il s'inscrit dans un contexte où l'occurrence de mouvements de terrain est susceptible d'augmenter dans les prochaines années, selon les scénarios de changement climatique proposés. Le projet SIMOTER 1 s'articule sur le site pilote du Rieu Benoit (hameau des Verneys, commune de Valloire ; Savoie), appelé glissement de Beaujournal. Ce projet (SIMOTER 1) fait partie d'un Meta projet (SIMOTER) qui inclut deux projets respectivement portés par ISTERre (Grenoble ; SIMOTER 1) et IRSTEA (Grenoble ; SIMOTER 2), avec la participation de communes, et associant les services RTM concernés, un département et un bureau d'études.

L'objectif général de SIMOTER 1 est d'étudier l'interaction entre l'érosion de versant et les laves torrentielles et d'expérimenter un système de surveillance permettant une stratégie de gestion intégrée des risques.

Il peut être découpé selon les 3 sous-objectifs suivants :

1. Analyser les interactions entre l'érosion des versants (par ravinement ou glissement) et le remplissage des chenaux, susceptibles de créer les conditions pour l'occurrence de laves torrentielles, en vue de comprendre les mécanismes.
2. Proposer et tester des méthodes de surveillance permettant de suivre l'évolution de l'érosion/instabilité des versants et le remplissage du chenal
3. Etablir des scénarios de glissements de terrain pour évaluer les volumes susceptibles de remplir le chenal et le risque associé aux laves torrentielles

Le projet SIMOTER 1 a officiellement commencé au 1<sup>er</sup> janvier 2018. Des contacts avec la Mairie de Valloire ont été établis dès 2015.

Durant l'année 2018, les actions suivantes ont été menées :

- Des prises de vues photogrammétriques réalisées en 2015, 2016 et 2018 pour évaluer l'activité du mouvement de terrain
- Une campagne de reconnaissances géophysique pour estimer la géométrie du glissement et, en particulier, son volume.
- Des tests sur du matériel sismique (capteurs sans fil) et la portée de matériel utilisant la technologie RFID ont été menés au laboratoire d'ISTERre.
- La préparation du matériel météorologique, photogrammétrique, sismique et RFID pour l'installation sur site
- Une instrumentation RFID au col de Porte a été effectuée depuis novembre 2018 pour comprendre l'influence de la neige sur les mesures

Le site d'étude se situe dans la combe de Beaujournal (figure 1a) au sud-ouest de la commune de Valloire. La structure géologique est constituée de terrains morainiques (déposés par les glaciers), d'épaisseur inconnue, surmontant un substratum de flysch gréseux intensément déformés (voir extrait de la carte géologique, figure 1b).

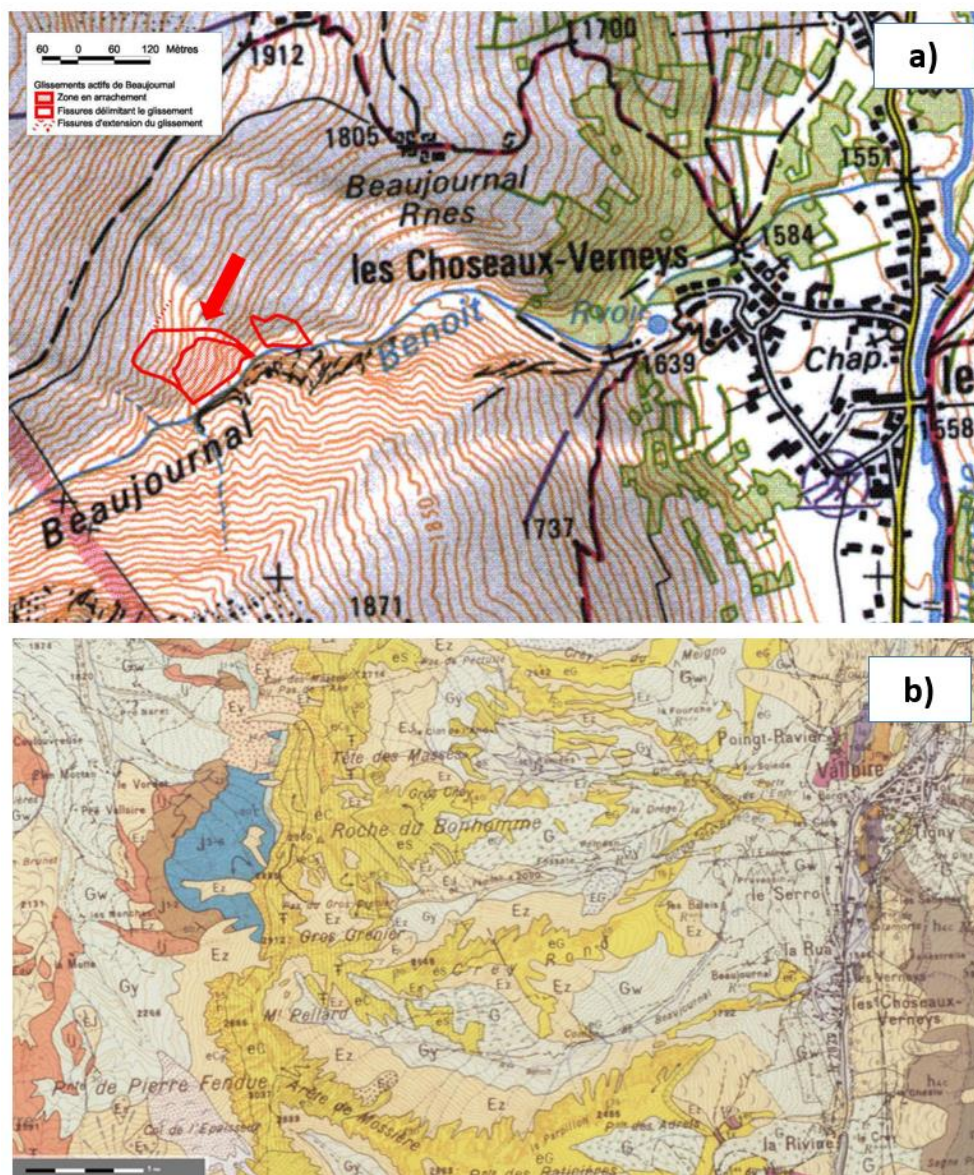


Figure 1 : Site d'étude dans la Combe de Beaujournal. A) Localisation des instabilités en rouge (document RTM). B) contexte géologique : Gw : moraines (Würm) ; Ez : éboulis ; eG : flyschs gréseux. Le glissement de terrain étudié est indiqué par une flèche rouge.

Sur la base des reconnaissances réalisées, des sites ont été choisis pour l'implantation de deux stations photogrammétriques permanentes. Les socles en béton qui recevront ces stations ont été coulés au début de l'hiver. Dès que les conditions climatiques le permettront, les stations seront installées durant le printemps, ainsi qu'une station météo.

## II. Compte-rendu d'opérations

Durant l'année 2018, des études photogrammétriques et des reconnaissances géophysiques ont été effectuées sur le site (travaux réalisés par le laboratoire ISTERre et la société Géolithé).

## II.1 Etudes photogrammétriques

Des prises photographiques ponctuelles ont démarré dès l'écriture de ce projet en 2015. Trois campagnes de mesures ont été effectuées en 2015, 2016 et 2018 sur la crête du versant au nord du glissement (figure 2). Il a donc été possible d'étudier l'évolution du glissement sur les 3 années de 2015 à 2018.

Les photographies d'une même campagne de mesures ont été traitées pour obtenir un modèle numérique de terrain (surface du mouvement en 3 dimensions). La comparaison des modèles numériques de terrain aux différentes dates de mesures permet d'étudier la cinématique de l'objet.

La figure 3 présente la comparaison des modèles numériques de terrain entre 2015 et 2018. On peut estimer que, dans la zone active, un volume d'environ 230m<sup>3</sup> s'est éboulé durant ces trois dernières années. Ces éboulements sont principalement concentrés au niveau de la zone très active dépourvue de pelouse et à pente très raide.

L'objectif étant de surveiller en continu la cinématique du mouvement de terrain de Beaujournal, il est prévu d'installer deux appareils photographiques sur la crête du versant nord de la combe durant le printemps 2019. A partir des trois relevés photogrammétriques (2015, 2016 et 2018), il a été possible d'obtenir les positions optimales des deux points de vue des futurs appareils photographiques et de choisir la distance focale.

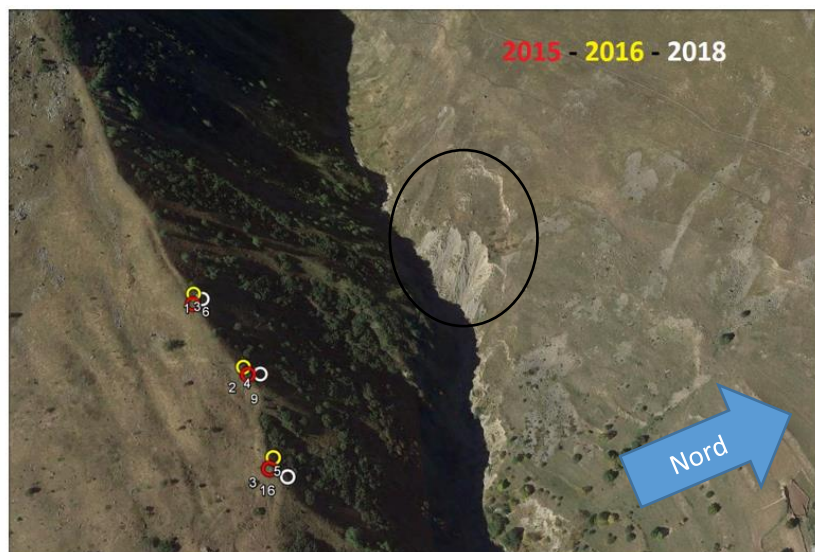


Figure 2 : Localisation des prises photographiques en 2015, 2016 et 2018 (cercles de couleur blanc, rouge, jaune). Le glissement de terrain étudié est à l'intérieur de la zone entourée.

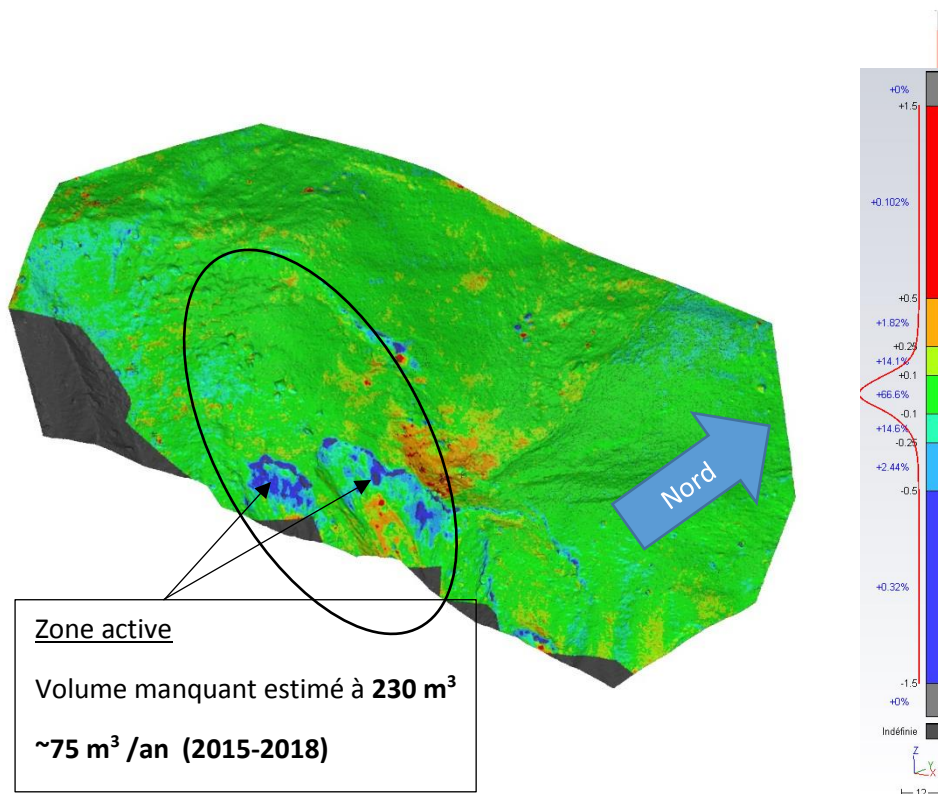


Figure 3 : Comparaison des modèles numériques de terrain de 2015 et de 2018. Le glissement de terrain étudié est à l'intérieur de la zone entourée. Bleue : perte de matériau.

## II.2. Reconnaissances géophysiques sismiques et électriques

La prospection géophysique a été réalisée par société Géolithe durant l'été 2018. Cette campagne de mesures avait pour objectif de préciser la géométrie (volume) du glissement et de localiser d'éventuelle venues d'eau. Cinq profils sismiques et trois profils électriques ont été réalisés (figure 4).

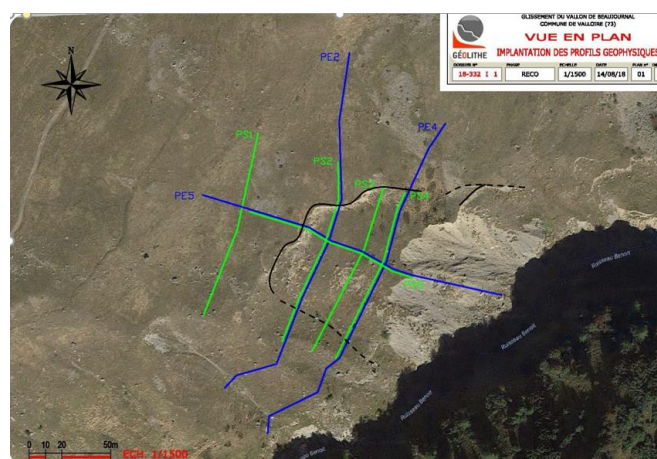


Figure 4 : Traces des 5 profils sismiques PS (vert) et des trois profils électriques PE (bleue) réalisés sur le glissement de terrain de Beaujournal par la société Géolithe.

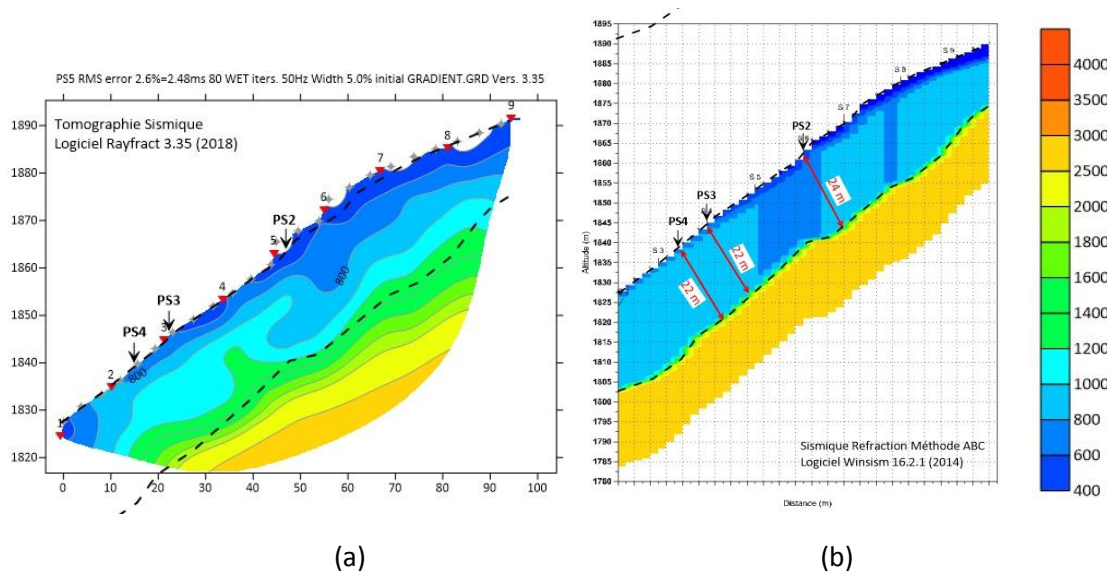


Figure 5 : Tomographie sismique (a) et sismique réflexion (b) pour le profil PS5.

L'analyse des mesures sismiques (figure 5) a mis en évidence une épaisseur de terrains peu consolidés ( $V_p \sim 300$  à  $1200\text{m/s}$ ) de l'ordre de 20-25 m surmontant un bedrock fracturé (calcschistes) ( $V_p \sim 2100$  à  $2800\text{m/s}$ ). Les profils sismiques perpendiculaires au profil PS5 ne montrent pas de différences de vitesses sur la profondeur lorsque l'on passe à l'intérieur de la zone affaissée.

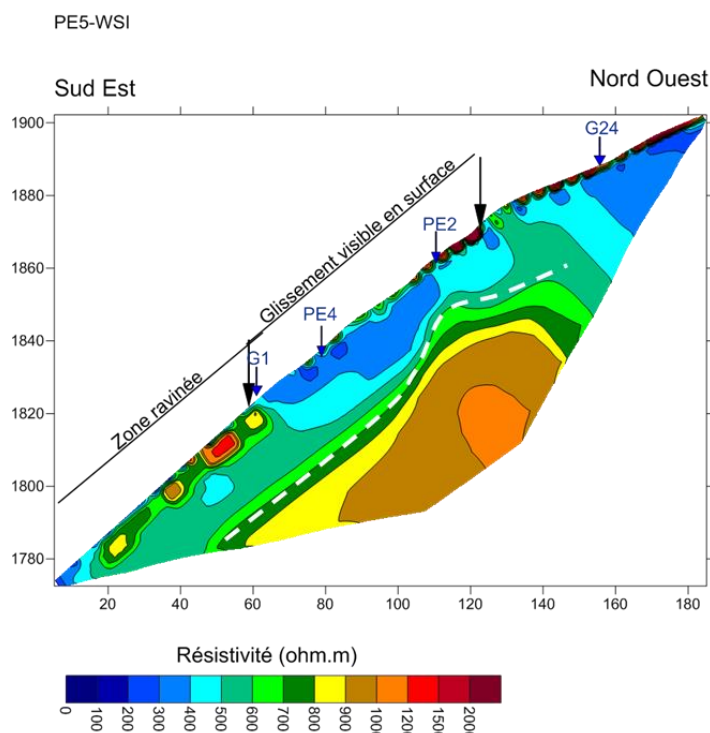


Figure 6 : Profils électriques sur le profil PE5

L'analyse des mesures électriques (figure 6) a mis en évidence comme pour les mesures sismiques une épaisseur de terrains peu consolidés ( $\rho \sim 300 - 600$  (ohm.m)) de l'ordre de 20-25 m surmontant un bedrock fracturé (calcschistes) ( $\rho \sim 800 - 1000$  (ohm.m)).

La prospection géophysique a permis d'établir un modèle géologique du glissement de Beaujournal avec 3 couches bien distinctes (tableau 1). La présence de nappe n'est pas évidente à partir des mesures, le versant doit être bien drainé. On n'observe pas non plus de différences de comportements

du sol en profondeur au niveau des frontières séparant la zone affaissée qualifiant le mouvement de terrain de Beaujournal.

Couche	Vp (m/s)	r (ohm.m)	Epaisseur (m)	Nature des terrains
1	300 – 500	Très variable	1 – 4	Terre végétale et terrains peu compacts
2	800 - 1200	300 - 600	15 - 25	Moraines non saturées
3	2100 - 2800	800 - 1000	-	Flyschs gréseux

Tableau 1 : Modèle géologique du mouvement de terrain de Beaujournal obtenu à partir des mesures sismiques et électriques.

Une estimation du volume mobilisable en couplant les mesures de prospections géophysique (informations dans le volume) et de photogrammétrie (informations surfaciques) est de 7200 m<sup>2</sup> au sol sur 20 à 25 m d'épaisseur, ce qui donne un volume de 145 000 à 180 000 m<sup>3</sup>.

### III. Tests et préparation de matériel

#### III.1 Tests de matériel sismique et de la technologie RFID

Outre la photogrammétrie, le projet prévoit l'installation de capteurs sismiques et de tags RFID permettant respectivement, de suivre l'évolution de la rigidité du matériau en glissement et des déplacements en surface. L'avantage de ces deux matériels est qu'ils fournissent des mesures pour tous types de conditions météorologiques et d'éclairage (jour/nuit). L'évolution technologique récente permettait d'espérer pouvoir bénéficier de capteurs sans fil pour le matériel sismique, ce qui constitue un avantage certain pour l'instrumentation de glissements de terrain.

Le matériel sismique (capteurs sans fil) acquis en début de projet a fait l'objet d'une phase de développement avec le travail d'un informaticien et d'un stagiaire ingénieur. Contrairement aux spécifications techniques annoncées par le constructeur Sarcel du matériel sismique, il a été impossible de réaliser le transfert des données mesurées par les capteurs pour l'application d'une surveillance continue du mouvement de terrain de Beaujournal. Il a donc été décidé de revenir vers une solution classique avec des communications entre les capteurs et la station sismique par des câbles, nécessitant l'achat d'une station sismique.

Le matériel issu de la technologie RFID a été testé durant l'année 2018 avant d'être installé à Valloire où les tags RFID disposés sur le mouvement de terrain mesureront les déplacements surfaciques de celui-ci. Une portée maximale entre l'antenne (installée sur la partie stable) et le tag RFID (installé sur le mouvement de terrain) de 80 mètres a été déterminée à partir des essais. Pour comprendre l'influence de la neige sur la mesure du déplacement enregistré au niveau du tag RFID, une instrumentation au col de Porte a été effectuée depuis novembre 2018, précédant l'installation à Valloire. Les résultats issus de cette expérimentation serviront ensuite à l'interprétation des mesures effectuées sur le glissement de terrain de Beaujournal recouvert d'un manteau neigeux durant une partie importante de l'année.

## III.2 Préparation de matériel et du site

### Matériel

Le matériel météorologique, photogrammétrique, sismique et RFID a été acquis, conditionné et testé en laboratoire pour la mise en place de l'étude de ce glissement de terrain. Du retard a été pris lors de la commande et du dédouanement du matériel photogrammétrique (venant des États-Unis), ce qui a empêché la mise en place avant l'hiver.

Le matériel se compose des ensembles suivants :

- Station météo Davis Vantage Pro II (figure 7)
- Photogrammétrie
  - Boitiers Canon T6 : x2
  - Boitiers Cyclapse étanches : x2
  - Calculateurs Digisnap Pro : x2
- Mesure de bruit sismique :
  - Centrale sismique d'acquisition : Nanometrics Centaur (figure 8)
- Antennes et reader RFID
- Alimentation/communication : Armoires électriques en cours de réalisation
  - Panneaux solaires : x3
  - Packs batteries + matériel électrique permettant la répartition de la charge des packs batteries
  - Modem 3G + antennes WiFi



Figure 7 : Météorologie : station météo Davis Vantage Pro II et son conditionnement





Figure 8 : Station acquisition sismique Centaur

- Stockage de données : achat d'espace sur le serveur Summer

Le matériel est en cours de conditionnement et de test, en particulier pour fonctionner dans les conditions météorologiques difficiles du site de Valloire.

#### Missions pour préparation du site

L'ensemble du matériel sera mis en place, en deux phases, dès que les conditions d'enneigement du site de Valloire le permettront :

- Phase 1 : matériel photogrammétrique et station météorologique
- Phase 2 : matériel sismique et RFID

Plusieurs missions de terrain ont été réalisées :

- 05 octobre 2018 : Première mission pour visualiser les possibles emplacements des capteurs et faire quelques essais de communication mobile pour la transmission des données.
- 05 novembre 2018 : Vérification de l'emplacement et la géométrie des trous creusés. Ces trous vont être remplis de béton dans lequel seront coulées les embases supportant des trépieds et mats

- 21 novembre 2018 : Coulage du béton et implantation des embases pour l'installation des matériels photogrammétrique et météorologique, en collaboration avec la commune de Valloire (figure 9).



*Figure 8 : Installation des embases sur socle en béton pour installation des mats supportant les appareils photos*

### Publicité des fonds européens

Un projet de panneau d'affichage a été réalisé en collaboration avec la commune (Figure 10). Des panneaux seront mis en place lors de l'installation de matériel sur le site.





**Nom de l'opération :**  
SIMOTER (Système d'Instrumentation de Mouvements de terrain pour l'aide à la décision dans les Territoires de montagne)

**Objectif de l'opération :**  
Etudier les risques de l'interaction entre un glissement de terrain et un torrent produisant des laves torrentielles

**UNION EUROPÉENNE**  
Fonds Européen de Développement Régional

**Montant Européen Accordé :**  
202 keuros



Le projet **SIMOTER** (Système d'Instrumentation de Mouvements de terrain pour l'aide à la décision dans les Territoires de montagne) a pour objectif scientifique d'étudier les risques résultant de l'interaction entre un glissement de terrain et un torrent produisant des laves torrentielles. Il a pour objectif opérationnel d'expérimenter un système de surveillance permettant une stratégie de gestion intégrée des risques.



① érosion de versants  
② écoulements (laves torrentielles)  
enjeux

Le ravin du Rieu Benoit situé sur la commune de Valloire (Savoie) est le site pilote principal de ce projet.

Le projet est un **partenariat** entre deux laboratoires scientifiques : **ISTerre** (Institut des Sciences de la Terre, Université de Grenoble Alpes) et **ETNA** (Erosion Torrentielle, Neige et Avalanches, IRSTEA), et la commune de Valloire.

Il est financé par des fonds FEDER (Fonds européen de développement régional) de la Communauté européenne, gérés par la Région Provence Alpes Côtes d'Azur, et par l'Etat français via le Fonds national d'aménagement et de développement du territoire dans le cadre de la CIMA (Convention Interrégionale du Massif des Alpes).



Figure 10 : Panneau d'affichage prévu sur le site de Valloire

#### IV. Indicateurs

Deux réunions ont eu lieu en 2018 avec la Mairie de Valloire, les responsables du projet SIMOTER 1 et le responsable du projet SIMOTER 2.

<b>INDICATEURS</b>	<b>UNITE DE MESURE</b>	<b>Situation Initiale</b>	<b>Résultats 2018</b>
Réunions de projet avec les acteurs locaux	Montage et tenue	0	2