



UNION EUROPÉENNE  
Fonds Européen de  
Développement Régional



RÉGION  
SUD  
PROVENCE  
ALPES  
CÔTE D'AZUR



l'Europe  
s'engage  
sur  
le Massif Alpin

Avec le soutien de



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE  
Liberté  
Égalité  
Fraternité

FONDS NATIONAL  
D'AMÉNAGEMENT  
ET DE DÉVELOPPEMENT  
DU TERRITOIRE  
Massif des Alpes

EN PARTENARIAT AVEC LA RÉGION AUVERGNE-RHÔNE-ALPES

## PROJET MIROIR

# Synthèse et analyse des données existantes sur le glissement de terrain du Pas de l'Ours (Commune d'Aiguille) Rapport RTM Hautes Alpes



ASSOCIATION DÉVELOPPEMENT RECHERCHE GLISSEMENTS DE TERRAIN



Géosciences pour une Terre durable

brgm



Parc  
naturel  
régional  
du Queyras



Vue générale du glissement (aout 2018)

Avril 2021

## Parc Naturel Régional du Queyras

# Synthèse et analyse des données existantes sur le glissement de terrain du Pas de l'Ours (Commune d'Aiguilles)

## RAPPORT



Agence RTM des Alpes du Sud, Service RTM des Hautes-Alpes



5, rue des Silos – CS 36003 - 05007 GAP CEDEX - Tél : 04.92.53.61.12 - [rtm.gap@onf.fr](mailto:rtm.gap@onf.fr)



## SUIVI DOCUMENTAIRE

### Historique de la publication

<i>Version</i>	A
<i>Date du rapport</i>	Avril 2021
<i>Auteur du rapport</i>	Bernard LAGET
<i>Service</i>	ONF, service RTM des Hautes-Alpes
<i>Commentaires</i>	

### Contrôles

<i>Nom – Prénom</i>	Marie-Pierre MICHAUD
<i>Entité et Fonction</i>	Cheffe du service RTM des Hautes-Alpes
<i>Date</i>	8 juin 2021
<i>Signature</i>	

### Vérification

### Approbation

Marie-Pierre MICHAUD
Cheffe du service RTM des Hautes-Alpes

### Interlocuteur

<i>Nom – Prénom</i>	Marie-Pierre MICHAUD
<i>Entité et Fonction</i>	Cheffe du service RTM des Hautes-Alpes
<i>Coordonnées</i>	Tel : 06.32.64.78.50

# Sommaire

<b>1</b>	<b>CONTEXTE - OBJECTIFS</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>CARACTERISATION DU GLISSEMENT DU PAS DE L'OURS</b>	<b>6</b>
2.1	GEOMORPHOLOGIE ET HYDROLOGIE	6
2.2	CONSTATS A PARTIR DU DIAGNOSTIC GEOTECHNIQUE DE LA SAGE	8
2.2.1	ZONAGE MORPHOLOGIQUE	8
2.2.2	HORIZONS GEOTECHNIQUES	9
<b>3</b>	<b>COMPREHENSION DE LA CINEMATIQUE DU GLISSEMENT</b>	<b>12</b>
3.1	DISPARITE DE LA DYNAMIQUE DES COMPARTIMENTS EST ET OUEST	13
3.2	DYNAMIQUE DU COMPARTIMENT EST	13
3.3	DYNAMIQUE DU COMPARTIMENT OUEST	15
3.4	MASSE ROCHEUSE AU CENTRE DU GLISSEMENT	16
3.5	PARTIE SOMMITALE	17
3.6	SYNTHESE SUR LES DONNEES DISPONIBLES : RELATIONS ENTRE L'ACTIVITE DU GLISSEMENT, LA PLUVIOMETRIE ET LES ECOULEMENTS ISSUS DE LA FONTE NIVALE	19
3.6.1	INFLUENCE DE LA FONTE NIVALE	19
3.6.2	INFLUENCE DES PRECIPITATIONS	21
3.6.3	ETUDE HYDROGEOLOGIQUE	23
3.7	PROPOSITION DES DIFFERENTS SCENARIOS PROSPECTIFS LES PLUS PLAUSIBLES DANS LE TEMPS	24
3.7.1	DUREE PREVISIBLE DU GLISSEMENT	24
3.7.2	PROBABILITE D'OCCURRENCE DES DIFFERENTS SCENARIOS D'OBSTRUCTION DU GUIL	24
<b>4</b>	<b>SYNTHESE DE L'ACTIVITE DU GLISSEMENT - MISE EN ŒUVRE DE DISPOSITIFS OPERATIONNELS DE SUIVI</b>	<b>27</b>
4.1	HISTORIQUE DES DISPOSITIFS DE SUIVI ET D'ALERTE SUCCESSIVEMENT MIS EN ŒUVRE – SYNTHESE DES DEPLACEMENTS OBSERVES	27
4.1.1	2015-2016	27
4.1.2	2017	27
4.1.2.1	SUIVI TOPOGRAPHIQUE	27
4.1.2.2	SYSTEME D'ALERTE	29
4.1.2.3	SUIVI PAR UNISTRA	31
4.1.2.4	SYNTHESE DES DEPLACEMENTS OBSERVES SUR L'ANNEE 2017	32
4.1.3	2018	33
4.1.3.1	SUIVI TOPOGRAPHIQUE	33
4.1.3.2	SYSTEME D'ALERTE	33
4.1.3.3	METHODE DE SUIVI DU GLISSEMENT PAR LA CORRELATION D'IMAGES	33
4.1.3.4	SUIVI PAR UNISTRA	34
4.1.3.5	SYNTHESE DES DEPLACEMENTS OBSERVES SUR L'ANNEE 2018	34
4.1.4	2019 ET 2020	37
4.1.4.1	SUIVI TOPOGRAPHIQUE	37
4.1.4.2	SYSTEME D'ALERTE	37
4.1.4.3	METHODE DE SUIVI DU GLISSEMENT PAR LA CORRELATION D'IMAGES	38
4.1.4.4	SUIVI PAR UNISTRA	38
4.1.4.5	SYNTHESE DES DEPLACEMENTS OBSERVES SUR LES ANNEES 2019-2020	39
4.2	PROPOSITION DES MODALITES DE SUIVI A LONG TERME	42
4.2.1	NECESSITE DE POURSUIVRE LE SUIVI DU SYSTEME D'ALERTE MIS EN PLACE PAR LA CCGQ	42
4.2.2	INSTRUMENTATION EN PROJET PAR L'UNISTRA	42
4.2.2.1	RADAR INTERFEROMETRIQUE	42
4.2.2.2	AUTRES ELEMENTS DU DISPOSITIF DE SURVEILLANCE	43
4.2.3	SUIVI PHOTOGRAPHIQUE PAR DRONE (ONF-RTM)	43
4.2.4	SUIVI DE LA PIEZOMETRIE	44

# 1 CONTEXTE - OBJECTIFS

Le PNR du Queyras est partenaire dans un programme de recherche plus global à l'échelle du massif des Alpes sur les instabilités rocheuses porté par le BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) et l'ADRGT (Association pour le Développement des Recherches sur les Glissements de terrain).

Il s'agit d'un projet « MIROIR » (Morpho-dynamique de deux tronçons de vallées instables dans les Alpes Occidentales : cinématique et suivi-opérationnel). Deux sites ont été choisis : les Gorges de l'Arly et le Haut Guil et en particulier le glissement du Pas de l'Ours.

Le projet de recherche répond à deux types de besoins : d'une part un besoin de recherche pour approfondir les connaissances techniques sur les glissements de terrain, et d'autre part un besoin plus opérationnel pour adapter le comportement des gestionnaires du risque au vu des connaissances acquises sur ces phénomènes et des événements qui pourraient y survenir. Ce programme d'actions est essentiellement financé par les fonds Européens FEDER et par le FNADT.

Le PNR du Queyras est maître d'ouvrage d'un état des lieux des connaissances sur le glissement de terrain du « Pas de l'Ours ».

Dans ce cadre, le service RTM des Hautes-Alpes a été missionné pour établir une collecte, compilation et synthèse de toutes ces données disponibles, avec un prétraitement, **pour mettre à disposition de manière opérationnelle ces connaissances aux partenaires du présent projet POIA.**

Le prétraitement vise notamment à mettre au format standard les données SIG .

De plus, le service RTM a pour mission d'apporter des éléments de connaissances sur les thématiques suivantes :

- Caractérisation du glissement (chronologie depuis 2015 de l'activité, synthèse de données géologiques et géophysiques...);
- Compréhension de la cinématique du glissement (synthèse des données sur les relations entre l'activité et les conditions météorologiques), au regard des autres instabilités de versant constatées sur le Haut Guil ;
- Mise en œuvre de dispositifs opérationnels de suivi (historique des dispositifs, analyse des évolutions possibles des mesures de gestion préventives...).

C'est l'objet du présent rapport.

## 2 CARACTERISATION DU GLISSEMENT DU PAS DE L'OURS

### 2.1 GEOMORPHOLOGIE ET HYDROLOGIE

Le versant rive droite du Guil présente, au Pas de l'Ours, un balcon en replat intermédiaire accueillant le hameau pastoral des Eyglis à 1985 m d'altitude au flanc oriental du versant du Serre de L'Aigle - 2496 m d'altitude. Le rebord de ce balcon sur le Guil est accidenté par un compartiment affaissé par un décrochement quasi vertical haut d'une dizaine de mètres en moyenne et découpé en surface par des fissures allongées parallèlement au décrochement dont certaines ouvertes avec présence de cavité.

Le rebord de ce compartiment sur la vallée du Guil constitue la couronne de décrochement du glissement du Pas de l'Ours, haute localement de 30 m et qui :

- alimente un dérochoir en partie Ouest vers la piste pastorale du Lombard serpentant en lacets superposés sur le lobe d'un ancien glissement ;
- domine une longue pente en glissement rapide avec formation de coulées de matériaux jusqu'à la RD947 et jusqu'au Guil à 1485m d'altitude.

Deux bombements frontaux avec en pied la RD947 en proximité directe du Guil marquent le défilé du Pas de l'Ours, dès l'aval du pont de Gouret, jusqu'au pont de la centrale hydro-électrique à l'entrée Nord d'Aiguilles.

Le versant ne présente pas de source en contre-bas du replat des Eyglis. Des suintements d'eau ont été notés sur la marge Est et en tête du compartiment Est, canalisés par une fissure de tension gagnant le thalweg sans nom.

Lors des multiples visites effectuées par le service RTM entre 2014 et 2019, aucune source ou circulation d'eau n'a été mise en évidence dans la majeure partie du glissement, à l'exception des nombreuses sources présentes au niveau de la zone active coté Est (Zone D du plan SAGE), entre 1550 et 1700 m d'altitude.

Ces venues d'eau ont d'ailleurs joué un rôle actif dans la cinématique du glissement au niveau de cette zone D. Elles ont provoqué la formation de coulées boueuses qui ont atteint la RD947 à partir du mois d'avril 2017 jusqu'à juin 2018.

Enfin, le drainage du versant est assuré à l'Est du site du Pas de l'Ours en glissement, par le ravin de Choudane.

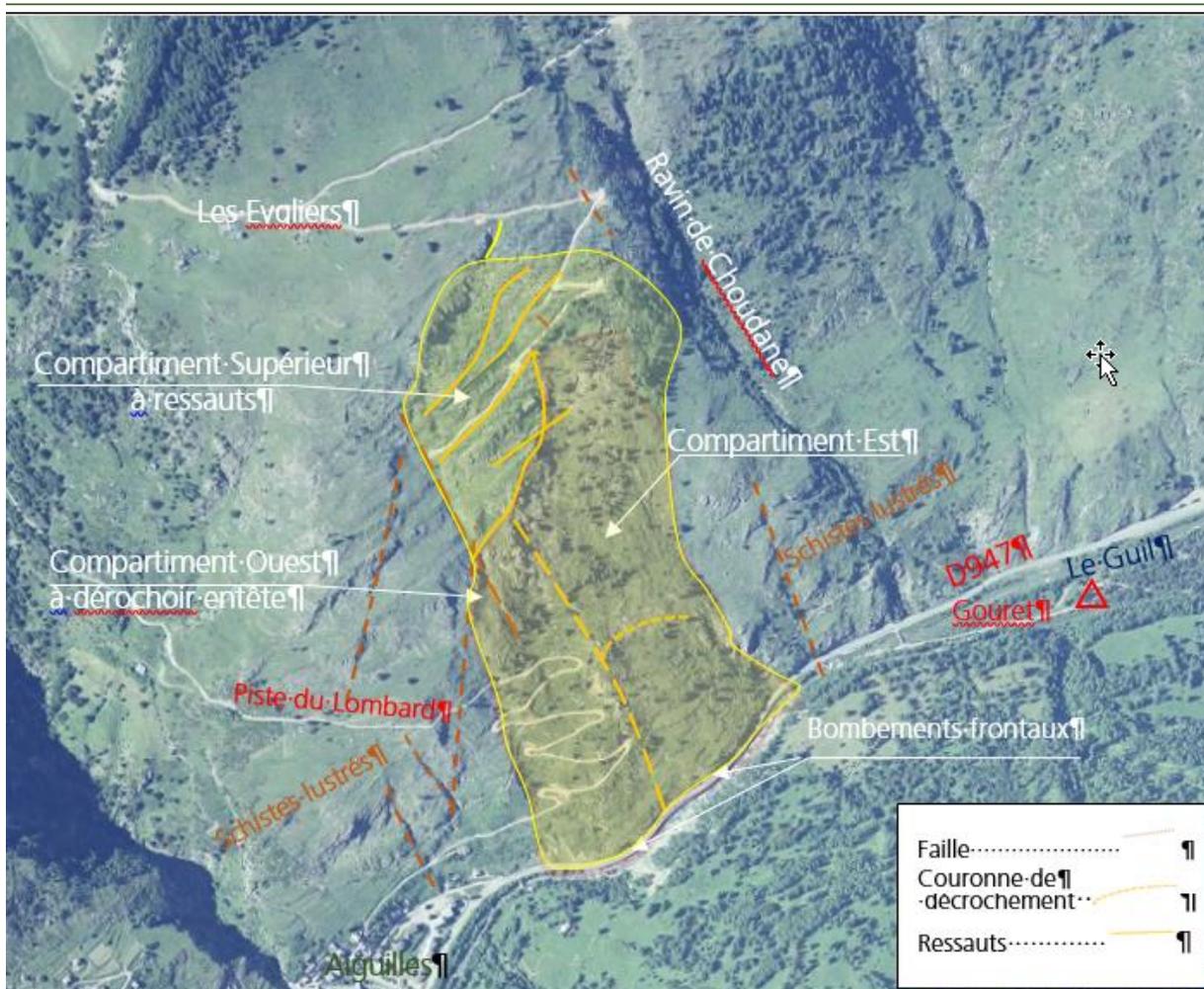


fig. 1 : données géomorphologiques caractéristiques du glissement du Pas de l'Ours en 2019

## 2.2 CONSTATS A PARTIR DU DIAGNOSTIC GEOTECHNIQUE DE LA SAGE

### 2.2.1 Zonage morphologique

Ce diagnostic géotechnique a permis une actualisation du zonage morphologique initialement réalisé en 2017 par le BE SAGE. Il s'agissait en effet de délimiter des surfaces présentant une homogénéité d'un point de vue cinématique. Cette carte est fournie en annexe au format A3.

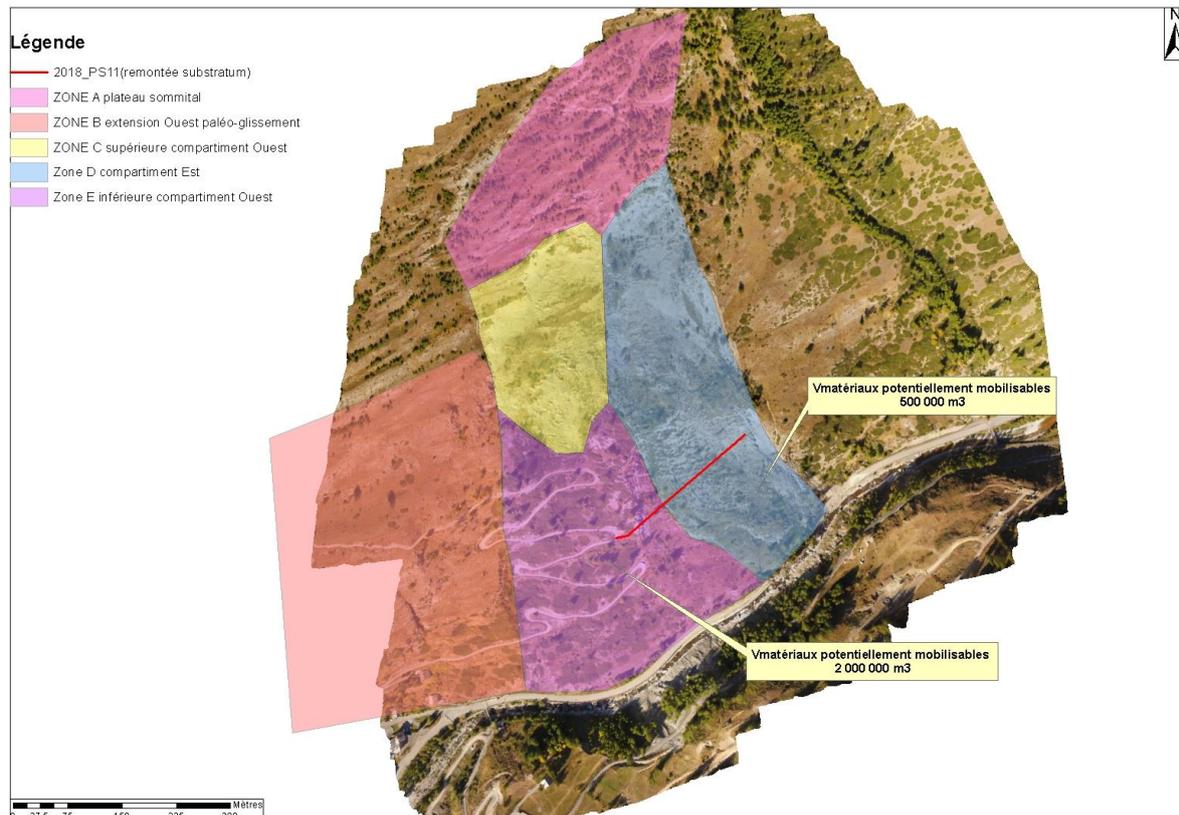


fig. 2 : zonage morphologique du glissement du Pas de l'Ours – source : diagnostic géotechnique du glissement de terrain du Pas de l'Ours – SAGE – CCGQ – mai 2019

Le plateau sommital est inclus dans la **zone A**.

A l'ouest, la **zone B** correspond à une extension Ouest du paléo-glissement. Cette zone, dont les limites latérales ne sont pas connues de manière précise, caractérise l'emprise Ouest du paléo-glissement. La morphologie de surface est composée de terrasses et d'anciennes failles décrochantes.

La zone B ne présente pas d'indice de mouvement actif en surface. Cette zone est donc actuellement considérée comme extérieure à l'emprise du glissement actif.

Au centre, la **zone E** montre une activité significative, elle fait donc partie intégrante de l'emprise du glissement : cette zone correspond au compartiment Ouest du glissement actif.

La **zone C** correspond à la partie supérieure de ce compartiment Ouest et comportent d'importantes niches d'arrachement situées en tête.

À l'est, **la zone D** qui correspond au compartiment Est est celle qui a connu une évolution très significative depuis 2017. Le long de la pente du versant, on observe une succession de plusieurs zones d'affaissement en tête et bourrelets de pied, traduisant possiblement des processus de glissements imbriqués.

Ainsi, la comparaison des nuages de points issus des LIDAR du 13/04/2017 et du 30/05/2017 montre une analyse très fine des déplacements verticaux observés sur cette zone. On constate dans cette zone **la présence d'au moins deux glissements circulaires imbriqués**. Le glissement supérieur montre un bourrelet de pied à environ 1630 m d'altitude. Le glissement inférieur montre quant à lui un bourrelet de pied à environ 1530 m d'altitude.

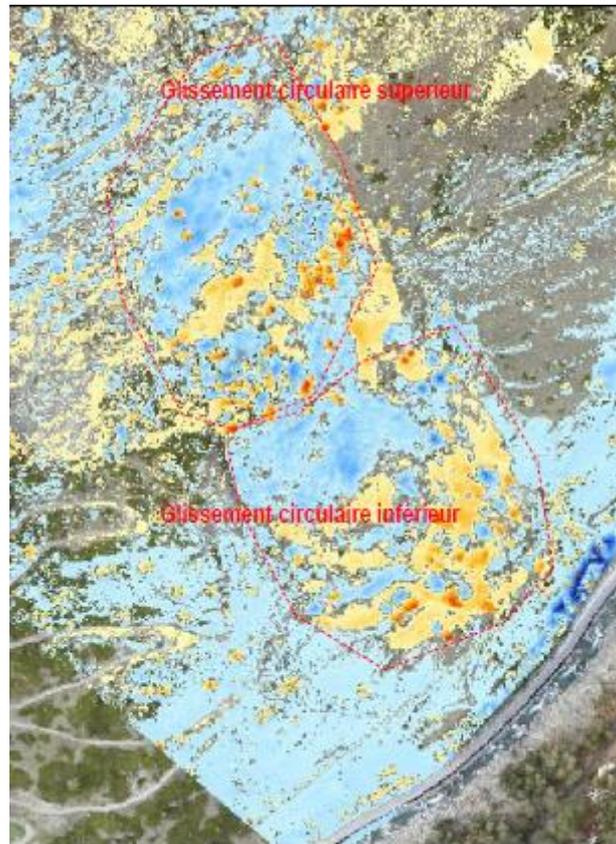


fig. 3 : Comparaison LIDAR 13/04/2017 – 30/05/2017 – source : diagnostic géotechnique du glissement de terrain du Pas de l'Ours – SAGE – CCGQ – mai 2019

Enfin, notons que sur la carte de zonage du BE SAGE (fig. 2), le coin Ouest du compartiment Est, avec son front raidi, est relié au compartiment Ouest (zone E). D'après l'observation des failles de tension/cisaillement qui le délimitent, il devrait plutôt appartenir au compartiment Est, c'est-à-dire à la zone D (voir plan des éléments morphologiques donné au début du chapitre 3).

## 2.2.2 Horizons géotechniques

Le diagnostic géotechnique a également mis en évidence des horizons géotechniques composés **de trois couches successives** :

- Une couche superficielle de terrains très déstructurés de faible épaisseur, en moyenne de 5 m : schistes lustrés très altérés et extrêmement déstructurés.
- Une couche intermédiaire pouvant correspondre à un matériau rocheux fracturé d'une épaisseur variant entre 20 et 45 m : schistes lustrés fracturés et altérés (éléments de taille variable) au sein d'une matrice argilo-limoneuse encore présente.

- Le substratum rocheux sain en dessous : schistes lustrés sains.

Au bilan, le BE SAGE a fourni les volumes approximatifs des matériaux en mouvement et potentiellement mobilisables :

- **Zone D** : épaisseur moyenne de 10 m, largeur 170 m et extension 300 m le long de la pente ; pour un volume d'environ 0,5 Mm<sup>3</sup>.
- **Zone E** : épaisseur moyenne de 30 m, largeur 230 m, extension 320 m le long de la pente, soit un volume approximatif d'environ 2 Mm<sup>3</sup>.

La géométrie de cette couche intermédiaire est clairement visible sur les deux coupes géotechniques suivantes données par le rapport 2018 du BE SAGE, la couche étant indiquée en couleur rose : AA' (dans le compartiment Est) et BB' dans le compartiment Ouest) :

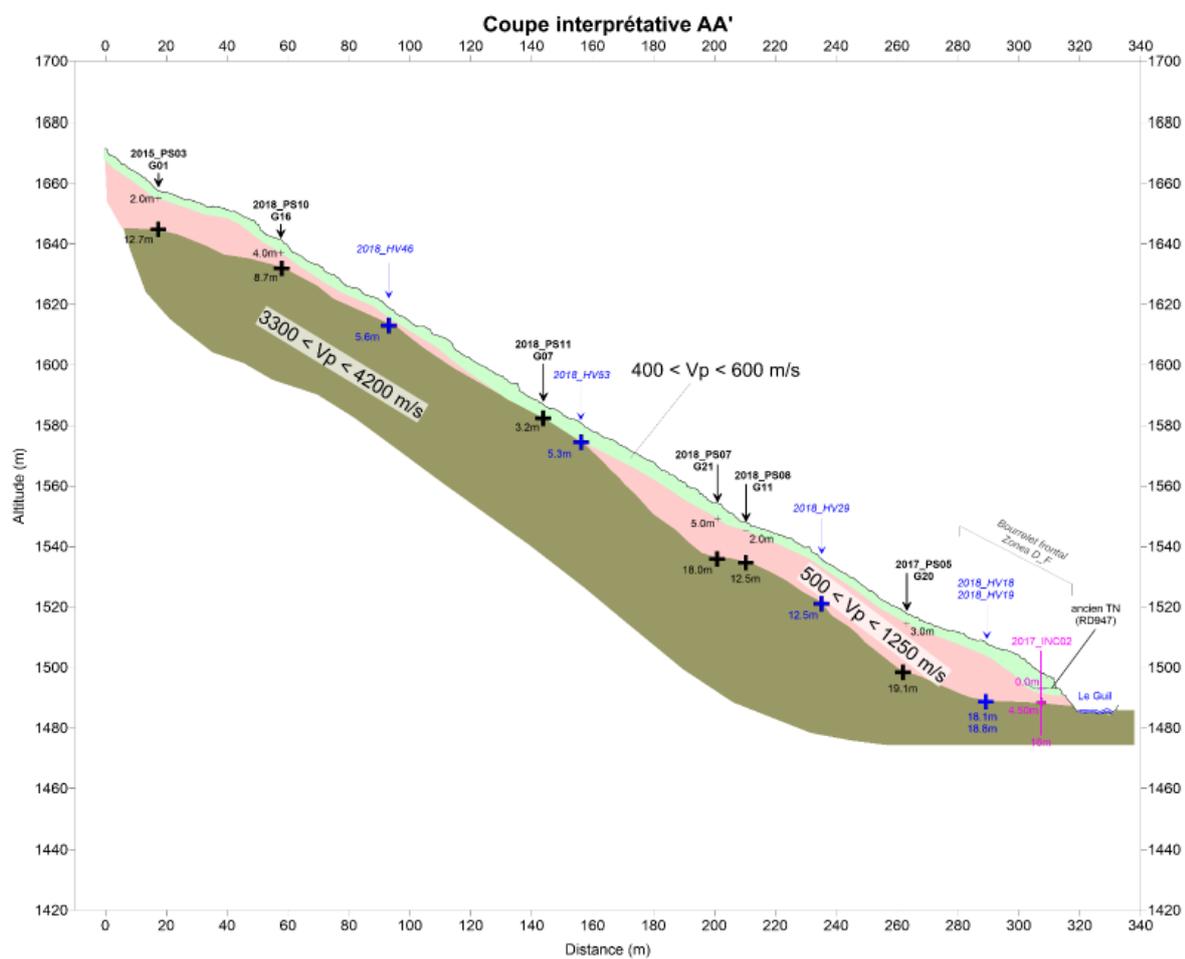


fig. 4 : Profils sismiques – Coupe interprétative AA' – Source : diagnostic géotechnique du glissement de terrain du Pas de l'Ours – SAGE – CCGQ – mai 2019

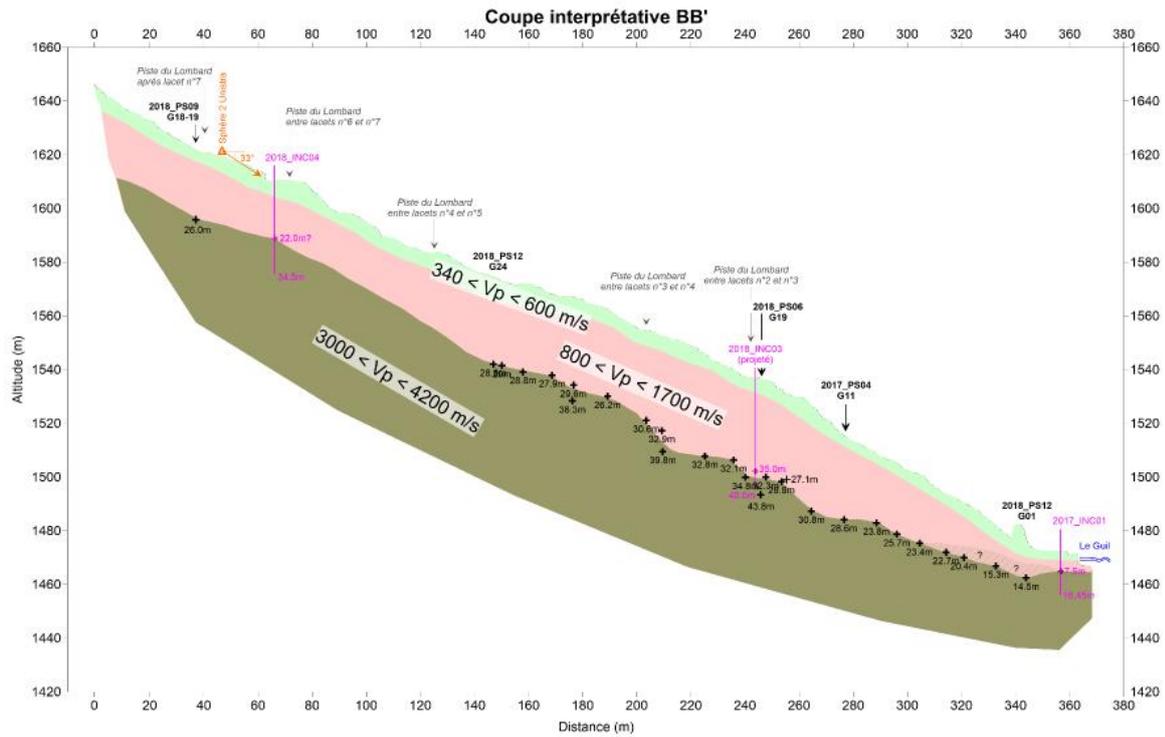
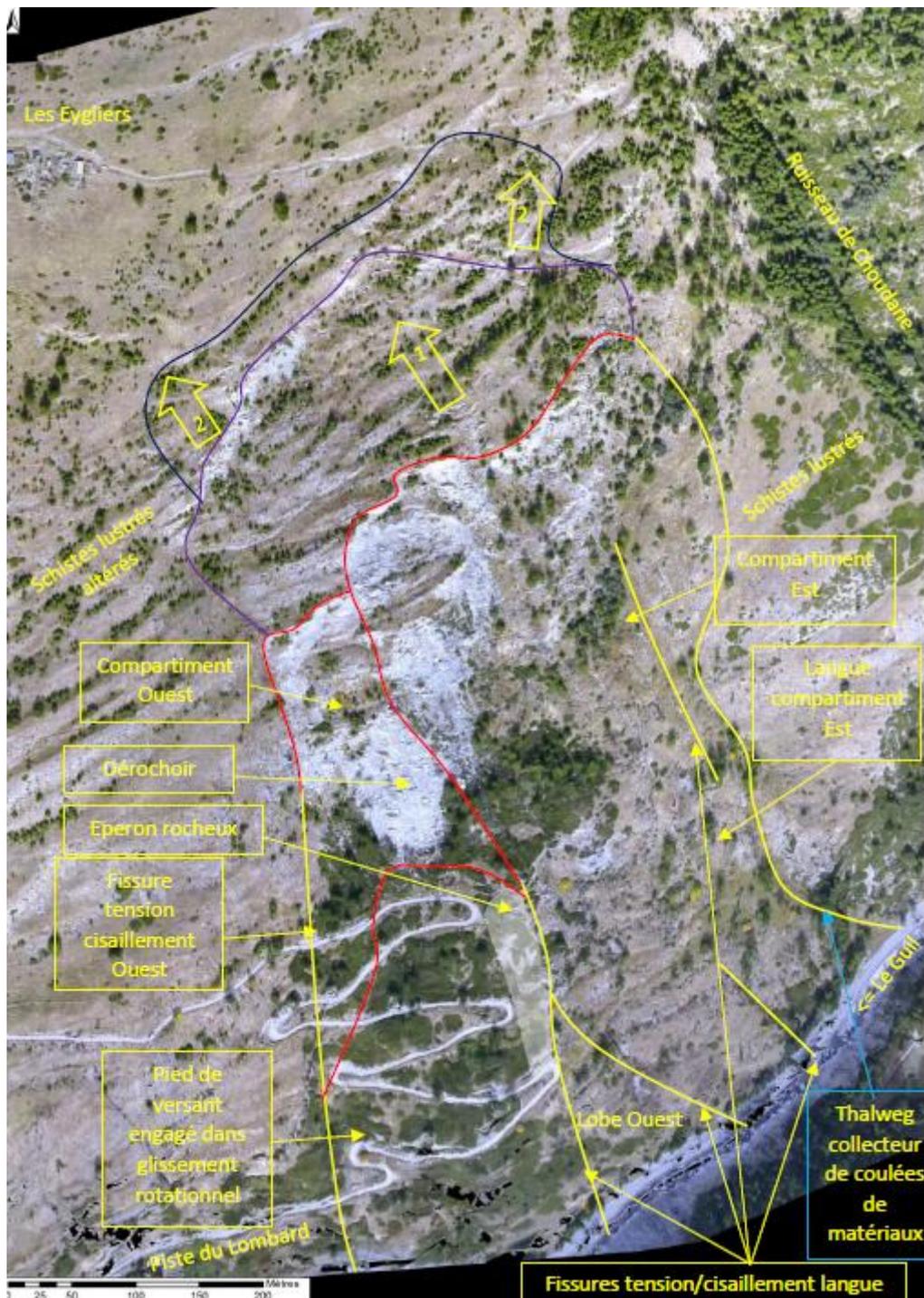


fig. 5 : Profils sismiques – Coupe interprétative AA' – source : diagnostic géotechnique du glissement de terrain du Pas de l'Ours – SAGE – CCGQ – mai 2019

### 3 COMPREHENSION DE LA CINEMATIQUE DU GLISSEMENT

Nous donnons ci-dessous un plan des éléments morphologiques les plus marquants et des régressions prévisibles sur fond ortho de juillet 2017 :



### 3.1 DISPARITE DE LA DYNAMIQUE DES COMPARTIMENTS EST ET OUEST

Sur l'ensemble du glissement se superposent le substratum rocheux, la couche en glissement en profondeur à l'Ouest, et à l'Est une couche superficielle aux mouvements nettement plus rapides.

La couche intermédiaire de matériaux potentiellement mobilisable n'apparaît pas homogène, ni dans sa répartition spatiale, ni dans sa composante verticale, ce qui pourrait limiter le risque de départ en grande masse au profit de désordres plus localisés dans l'emprise du glissement.

En effet, le diagnostic géotechnique de la SAGE met en évidence une forte disparité des deux compartiments Est et Ouest : la couche intermédiaire a une épaisseur limitée sur le compartiment Est, le substratum sismique étant atteint à une relative faible profondeur : 10 ,15 voire 20 m. On observe aussi nettement une remontée du substratum rocheux du côté Est (cette remontée est peu ou pas observée du côté Ouest).

A contrario, sur le compartiment Ouest, cette épaisseur atteint des valeurs de 30 m jusqu'à 45 m, le substratum s'approfondissant donc nettement.

Ces différences d'épaisseurs sont à l'origine des différences de comportement constatées.

La partie Est possède une aptitude forte à être saturée en eau, alors qu'à l'Ouest ce phénomène est moins marqué, sans doute à cause de l'épaisseur de la couche intermédiaire, mais probablement aussi à cause de moindres circulations d'eau à cet endroit.

Cela explique en partie la dynamique différenciée des compartiments Est et Ouest:

- une activité plus importante du compartiment Est, avec des terrains instables sur une plus faible épaisseur, plus facilement saturés par les eaux de fonte nivale ou mieux alimenté, le compartiment Est perdant toute activité à partir de la fin du mois de juin.
- des mouvements plutôt lents et sans doute plus profonds, sans instabilité marquée en surface pour le compartiment Ouest (si ce n'est les fissures de cisaillement bien visibles sur la piste du Lombard), mais qui semblent perdurer pendant la période estivale comme en témoignent l'évolution des fissures encore à ce jour sur la RD 947 et l'évolution des mesures apportées par le clinomètre ouest (voir paragraphe 4.1.4.5).

### 3.2 DYNAMIQUE DU COMPARTIMENT EST

Cette zone a subi les plus importants déplacements et déformations en 2017 et 2018. Il s'agit de la zone la plus active du glissement à l'heure actuelle, avec une cinématique forte, elle a fini par atteindre le lit du Guil, emportant ainsi les ouvrages de soutènement et la RD947 au cours du mois de mars 2018.

L'activité de ce compartiment s'est notamment traduite sur le plan des évolutions morphologiques de surface, visibles en octobre 2018 sur les photos ci-dessous prises par drone, par :

- des fissures de cisaillement et un parcours de coulées de boue en marge Est, aboutissant à un cône d'épandage à fortes accumulations de matériaux,
- en front, l'extension du bourrelet frontal vers l'Ouest chevauchant et bousculant le soutènement de la RD947 en aval de la rupture,
- un bombement et une lacération longitudinale des terrains au-dessus du talus amont de la RD détruite.



fig. 6 : Compartiment Est : zoom sur le front du glissement au droit de la rupture du soutènement D947 :

- étroiture du lit du Guil

- glissement du soutènement gabion du talus amont

- bombement et lacération longitudinale des terrains dominant le talus amont (entouré en rouge)



fig. 7 : Marge Est du compartiment Est avec cône d'épandage à fortes accumulations de matériaux

**Il est probable que les mouvements à l'Est continueront à être rapides lors des futures périodes de circulations d'eau intenses, lors de la fonte des neiges par exemple.**

On peut distinguer deux types de glissements sur cette zone :

- un glissement très superficiel sur 4 à 5m de profondeur, occasionnant des coulées,
- un glissement des terrains en dessous qui bougent aussi et qui affectent la couche intermédiaire.

Sur la partie Est, le scénario le plus probable consiste à voir arriver dans le Guil des volumes modérés (difficiles à estimer) par bouffée, qui serait dû à la rupture de bourrelets avançant plus vite que le reste, même si on ne peut pas exclure une arrivée plus importante, capable d'obstruer le lit du Guil.

En effet, globalement, sur cette partie Est, on ne peut éliminer une mobilisation de l'ensemble de la couche intermédiaire, ce qui donnerait de gros volumes lors d'un évènement violent, comme un retour d'Est (potentiellement 500 000 m<sup>3</sup> pourraient être mobilisés).

On remarque toutefois que cette couche intermédiaire n'apparaît pas au niveau du profil sismique PS 11 donné dans la graphique ci-dessous (cf diagnostic géotechnique SAGE 2018). Ce profil est situé en grande partie en travers du compartiment Est, depuis le deuxième lacet de la piste des Lombards (voir carte de zonage au § 2.2.1). La couche superficielle déstructurée repose en effet directement sur le substratum sismique qui semble atteint relativement rapidement (3 m de profondeur à l'est, une dizaine de mètres à l'ouest).

Or, le PS 11 est situé entre les glissements rotationnels amont et aval, au droit des affleurements visibles dans la partie haute de la ravine Est. **Cela pourrait être un point dur susceptible d'éviter un départ en grande masse des terrains de la partie supérieure du glissement.**

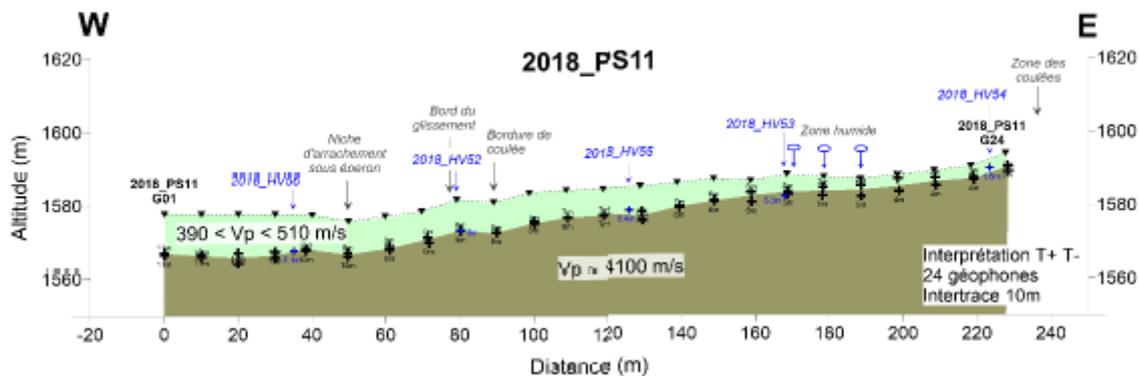


fig. 8 : Profils sismiques – coupe au niveau du PS 11 : absence de couche intermédiaire épaisse – Source : diagnostic géotechnique du glissement de terrain du Pas de l’Ours – SAGE – CCGQ – mai 2019

### 3.3 DYNAMIQUE DU COMPARTIMENT OUEST

La partie Ouest, en raison de l’épaisseur du glissement et de la relative absence d’eau, est moins susceptible de mouvements violents mais **pourrait rester active de nombreuses années et avec des mouvements plus lents, plus profonds, mais possibles toute l’année**. Il paraît plutôt improbable que ce compartiment se mette en mouvement d’un seul coup, sous l’effet d’une rupture rapide de l’ensemble de la masse, la vitesse probable du mouvement en cas de réactivation étant de quelques dizaines de cm par an.

Du fait de l’absence d’eau, ce compartiment ne génère pas de coulée.

Ce compartiment est aussi le lieu potentiel de chutes de blocs de taille importante. Même si ce phénomène n’est plus celui qui inquiète le plus depuis la fermeture de la RD 947, il faut le garder en mémoire, ne serait-ce que pour l’utilisation de la piste des Lombards.

Sur le plan des évolutions morphologiques, on observe à l’automne 2018 :

- en marge de glissement l’apparition de nouvelles fissures de cisaillement notamment en amont et entre les lacets de la piste du Lombard,
- l’extension du bourrelet frontal vers l’Ouest chevauchant et bousculant le soutènement de la RD947 en aval de la rupture, traduit par des fissures en échelon et un nouveau bourrelet sur chaussée.



fig. 9 :vue du lobe ouest du compartiment Est (tronçon de l'oratoire) avec fissures en échelon (entourées en ovale) et bourrelet sur chaussée (accolade)

### 3.4 MASSE ROCHEUSE AU CENTRE DU GLISSEMENT

Depuis le début du glissement, la masse rocheuse affleurante présente à peu près au centre du glissement, entre le deuxième et le troisième lacet de la piste des Lombards et délimitant les deux compartiments Est et Ouest, a été baptisée **éperon rocheux**. Cette dénomination est impropre, car cette masse sans doute incluse dans le compartiment Ouest est en mouvement par rapport au substratum. Il faut plutôt parler de simple paquet rocheux.

Son rôle sur les différents compartiments n'est pas simple à définir. Il est probable qu'il devrait se désagréger sur le long terme : le dérochoir du compartiment Ouest qui s'était activé en 2015 pousse et déstructure ce paquet rocheux avec un risque de dislocation à terme (plusieurs dizaines d'années). Sa déstructuration pourrait engendrer des phénomènes de chutes de blocs (à surveiller).

**Ce paquet rocheux et les affleurements sont englobés dans la couche intermédiaire, et ne constituent pas des points stables, avec une régression possible des mouvements vers le compartiment Ouest.**



fig. 10 : vue du corps du glissement (prise de vue 2019) :

- fissures latérales (entourées en ovale) en marge Ouest du compartiment Ouest en amont de la piste du Lombard,
- déstructuration du paquet rocheux allongé (entouré par un rectangle) par surcharge amont et glissement aval
- langue du compartiment Est avec fissures de cisaillement et parcours de coulées de boue en marge Est (flèches)

### 3.5 PARTIE SOMMITALE

La partie sommitale (entre l'arrachement du paléo glissement et celui du glissement actuel, au droit du replat sous le hameau des Eygliers) a montré depuis 2018 des évolutions inquiétantes avec des fissures de grande taille. Durant l'hiver 2017/2018, des mouvements actifs se sont produits au-delà de la niche d'arrachement actuel, visibles jusqu'à la barre rocheuse sous le plateau des Eygliers, ce qui accroît les volumes potentiellement mobilisables.

A terme, une déstructuration du plateau amont supérieur en contrebas du replat des Eygliers est à craindre, avec des fissures d'extension et un apport potentiel en grande masse de matériaux sur les compartiments Est et Ouest : cette surcharge viendrait alors déstabiliser les terrains glissés dans la partie médiane par chargement en tête.

On observe un découpage par fissures de pans de terrain en ressaut susceptibles de produire des chutes de blocs.

ce phénomène d'extension amont mérite d'être surveillé, même si les matériaux de cette partie ont assez peu de chances d'arriver en masse jusqu'en bas (hors blocs et que la dégradation devrait être progressive).

**Il serait fort utile de réaliser une analyse plus fine des terrains de cette partie et de mettre en place un suivi afin de surveiller l'évolution de la zone (reprise des mouvements ou stabilisation prolongée).**

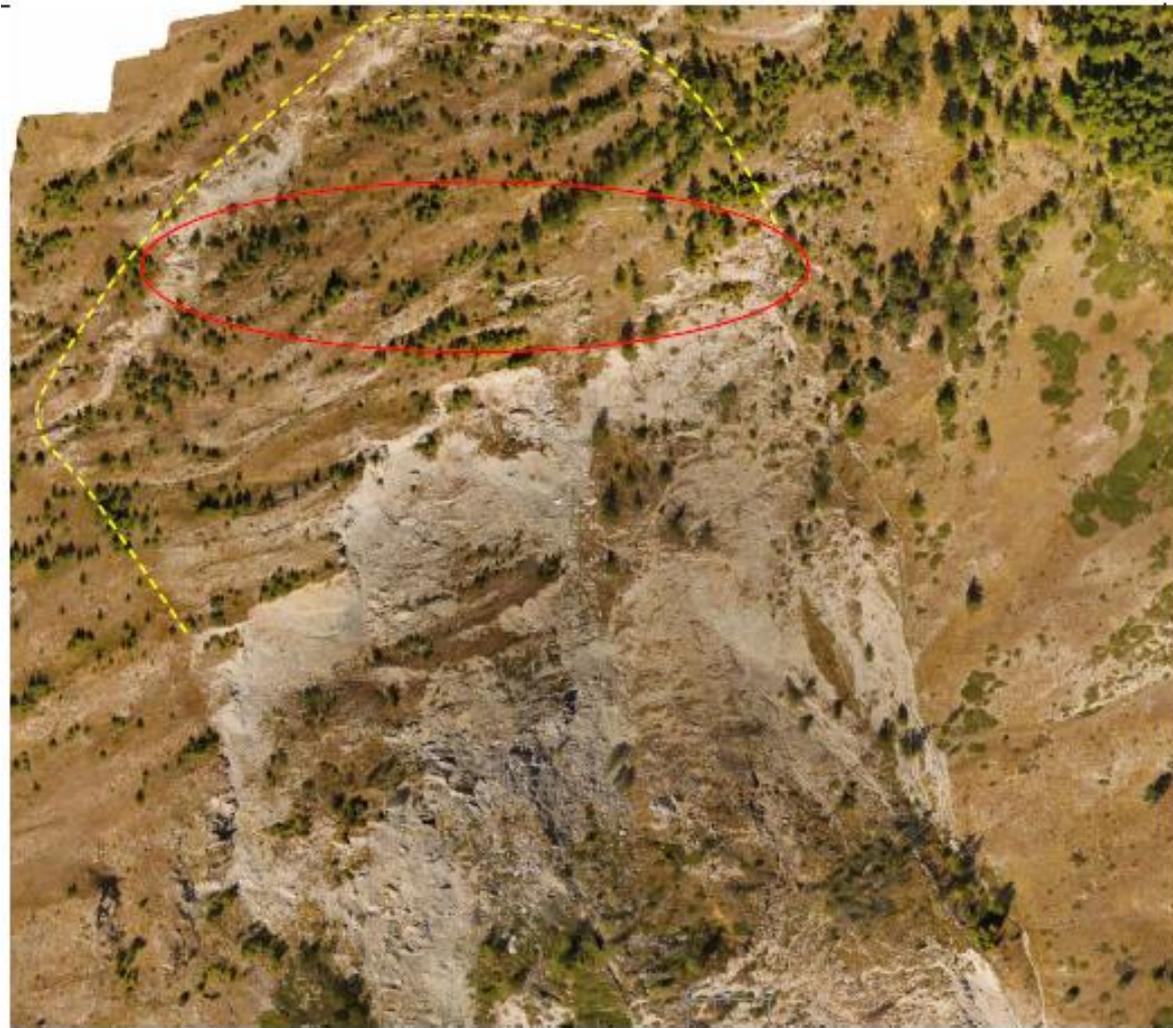


fig. 11 : vue du secteur du replat affaissé en contrebas du hameau pastoral des Eyglies avec fissures de tension (sortes de lanières) lacérant le replat (4,9 ha) en arrière des zones de décrochement des compartiments

(prise de vue 2019)

---

### 3.6 SYNTHÈSE SUR LES DONNÉES DISPONIBLES : RELATIONS ENTRE L'ACTIVITÉ DU GLISSEMENT, LA PLUVIOMETRIE ET LES ÉCOULEMENTS ISSUS DE LA FONTE NIVALE

Rappelons que le diagnostic géotechnique de la SAGE de 2018 a tenté d'estimer les caractéristiques mécaniques des terrains en place, à partir d'un calcul de rétro-calage.

Au vu des résultats des reconnaissances déjà réalisées sur la zone et des valeurs géo-mécaniques classiquement rencontrées dans les schistes lustrés altérés à très altérés, les paramètres suivants ont été retenus :

Type de terrain	Poids volumique $\gamma$	Angle de frottement $\varphi'$	Cohésion $c'$
Terrains de couverture	19 kN/m <sup>3</sup>	25°	0 kPa
Rocher compact sous-jacent (*)	22 kN/m <sup>3</sup>	35°	15 kPa

(\*) : En accord avec les observations de terrain et la compacité du substratum mesurée, aucun cercle de glissement intersectant cette couche n'a été modélisé. En conséquence, la prise en compte de ces paramètres géomécaniques dans cette couche de sol n'a pas d'influence sur les résultats de calcul présentés ci-après.

fig. 12 : paramètres géo-mécaniques retenus pour les terrains de couverture - source : diagnostic géotechnique du glissement de terrain du Pas de l'Ours – SAGE – CCGQ – mai 2019

Des hypothèses hydrogéologiques ont alors été émises dans le but de comparer deux situations au droit de la coupe de calcul AA' (= la plus défavorable vis-à-vis des surfaces de rupture étudiées) :

- La première en ne considérant aucun niveau d'eau dans les terrains en place,
- La deuxième en tenant compte d'un niveau de nappe dans les terrains de couverture, arbitrairement fixé à environ 5 m au-dessus du toit supposé du substratum rocheux compact en partie basse du versant (= zone intéressée par la surface de glissement considérée).

Les calculs de stabilité générale, réalisés avec la méthode traditionnelle, ont alors montré que la présence d'eau dans le versant entraîne bien une diminution du facteur de sécurité global de celui-ci (perte d'environ 8 % sur le facteur de sécurité obtenu).

**Les circulations d'eau dans le versant, même ponctuellement, participent donc bien à dégrader sa stabilité.**

#### 3.6.1 Influence de la fonte nivale

##### 📍 ZONE E : Zone inférieure du compartiment Ouest

On constate que les déplacements sur cette zone en 2017-2018 sont de l'ordre de 60 cm sur une saison. Ces déplacements sont essentiellement concentrés sur la période printanière allant de mars à juin.

En effet, l'évolution des cibles topographiques de haut et de pied de compartiment Ouest d'octobre 2017 à juin 2018 montre clairement une accélération franche lors de la fusion du manteau neigeux (cf suivi topographique robotisé par Géolithe/Myotis).

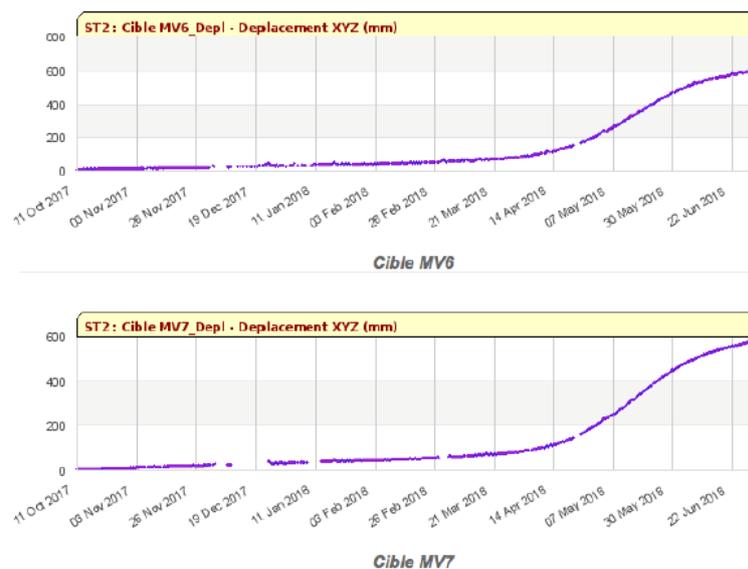


fig. 13 : Déplacement des cibles MV6 et MV7 d’octobre 2017 à juillet 2018 – source Géolithe

#### 📍 ZONE D : Glissement compartiment Est actif

De même, les déplacements maximums mesurés au théodolite automatique sur cette zone au cours de la période printanière 2018 (mars à juin 2018) ont atteint 60 m environ (cibles HV1 à HV4), soit des vitesses de l’ordre de 50 cm par jour en moyenne. Les mouvements ont également été importants au printemps 2017, mais de moins grande amplitude.

A contrario, à partir de 7 juin 2017, on observe un net ralentissement de l’activité du versant couvert par le radar, ce qui peut corroborer l’hypothèse d’une corrélation de son activité avec la diminution de la fonte nivale. Il en est de même à partir du début du mois de juin 2018, où le comportement du glissement était entré dans une phase de rémission sans activité notable.

**La fonte nivale (de mars à juin) a donc sans conteste joué un rôle certain dans l’activité saisonnière du glissement en 2017 et 2018. On peut penser que l’eau de la fonte s’est infiltré dans les fissures et qu’elle est venue saturer en profondeur la couche intermédiaire de matériaux mobilisables.**

Il peut être intéressant de regarder les statistiques sur l’enneigement dans cette partie du Queyras, pour voir si on peut expliquer les variations du rythme d’activité du glissement d’une année sur l’autre.

Faute d’avoir accès aux données historiques de la nivose du Col Agnel, nous donnons à titre d’information le tableau ci-dessous qui représente l’évolution sur plusieurs saisons de l’**indice d’enneigement** « snowydex », repris sur le site « Avalanche.net » et calculé pour **la station de ski d’Abrïès** (alt. 1550 m - 2450 m) : il s’agit d’un indicateur d’enneigement et de skiabilité. Il est calculé du 15 décembre au 15 avril, en fonction des bulletins fournis par les stations de sport d’hiver et des altitudes de celles-ci. Il s’exprime sans unité.

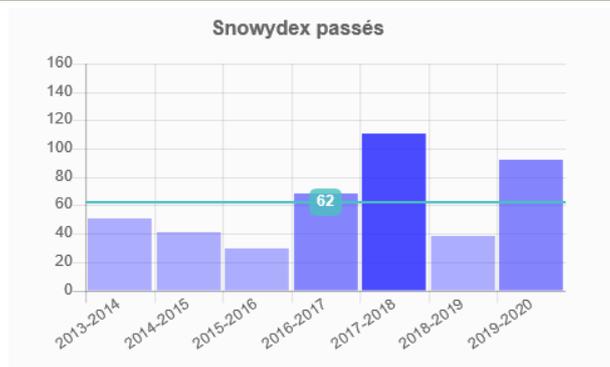


fig. 14 : statistiques des hauteurs annuelles d'enneigement représentées par l'indice « snowyder » à la station de ski d'Abriès - source avalanche-net

On peut remarquer que l'enneigement de l'hiver 2017-2018 fut très important, c'est le plus enneigé des 7 dernières saisons, l'hiver 2015-2016 étant le moins enneigé. Cela pourrait expliquer la forte reprise d'activité au printemps 2018.

Toutefois, l'enneigement de l'hiver 2019-2020 apparaît également important, c'est la deuxième saison la plus enneigée sur les 7 dernières années, et le glissement a été marqué par une faible activité au printemps 2020.

On peut alors émettre l'hypothèse d'apparition de modifications dans les circulations d'eau souterraine entre 2017 et 2019, qui aient pu infléchir l'activité du glissement à partir de 2019.

### 3.6.2 Influence des précipitations

Faute de relevés pluviométriques dans la zone en glissement, aucune corrélation fiable précipitations/vitesse de déplacement n'a été mise en place jusqu'à présent.

D'après les synthèses hebdomadaires produites par le service RTM pour la Préfecture, on note toutefois quelques réactions ponctuelles des déformations du glissement aux précipitations :

→ Ainsi, au mois de mai 2017, si les déplacements semblent globalement avoir lieu à vitesse constante sur la période de mesure, sans accélération, ni décélération constatée, on observe sur la période du 19/20 mai une accélération notoire ponctuelle. Cette accélération coïncide avec les pluies survenues le 19 mai.

→ Le 6/09/2017, il est fait état d'une stabilité globale sur la période malgré une accélération soudaine de 5 à 10 mm suite à l'épisode pluvieux du 31 août 2017, surtout au niveau de la route, suivie d'une stabilité relative malgré des artefacts difficiles à interpréter le 4 septembre. Les épisodes pluvieux semblent se traduire très rapidement par une pression exercée par les terrains sur les murs de soutènement qui peuvent engendrer une rupture brutale.

→ Le 24/01/2018, cinq cibles enregistrent une accélération marquée de l'ordre de 10 à 20 mm/semaine depuis les précipitations du 8 janvier : MV2, HV5, HV2 et MV3 sur le compartiment Est et BV 13 sur le compartiment Ouest.

→ Pour le printemps 2018, l'influence de la pluviométrie est plus difficilement explicable :

Ainsi, malgré un fort épisode pluvieux du 3 au 4 mai qui a pourtant totalisé 96 mm de pluie en 48h, cela n'a pas provoqué d'évolution spectaculaire sur les mouvements observés, même si une légère augmentation de l'activité du glissement est notée sur les données interférométriques. Le compartiment Est poursuit une activité similaire à ce qui est observé depuis un mois.

Le graphique suivant montre aussi que deux épisodes pluvieux survenus le 25/02/2018 (cumul de 12 mm de pluie en 24 h), puis du 1<sup>er</sup> au 4 mars (cumuls 24 h de 19 mm puis de 11 mm) n'ont pas eu d'influence notable sur l'activité du glissement, alors que celui du 11 au 13 mars (cumuls de 15 et 14 mm) a coïncidé avec le fort déplacement du 13 mars (jusqu'à 45cm/j).

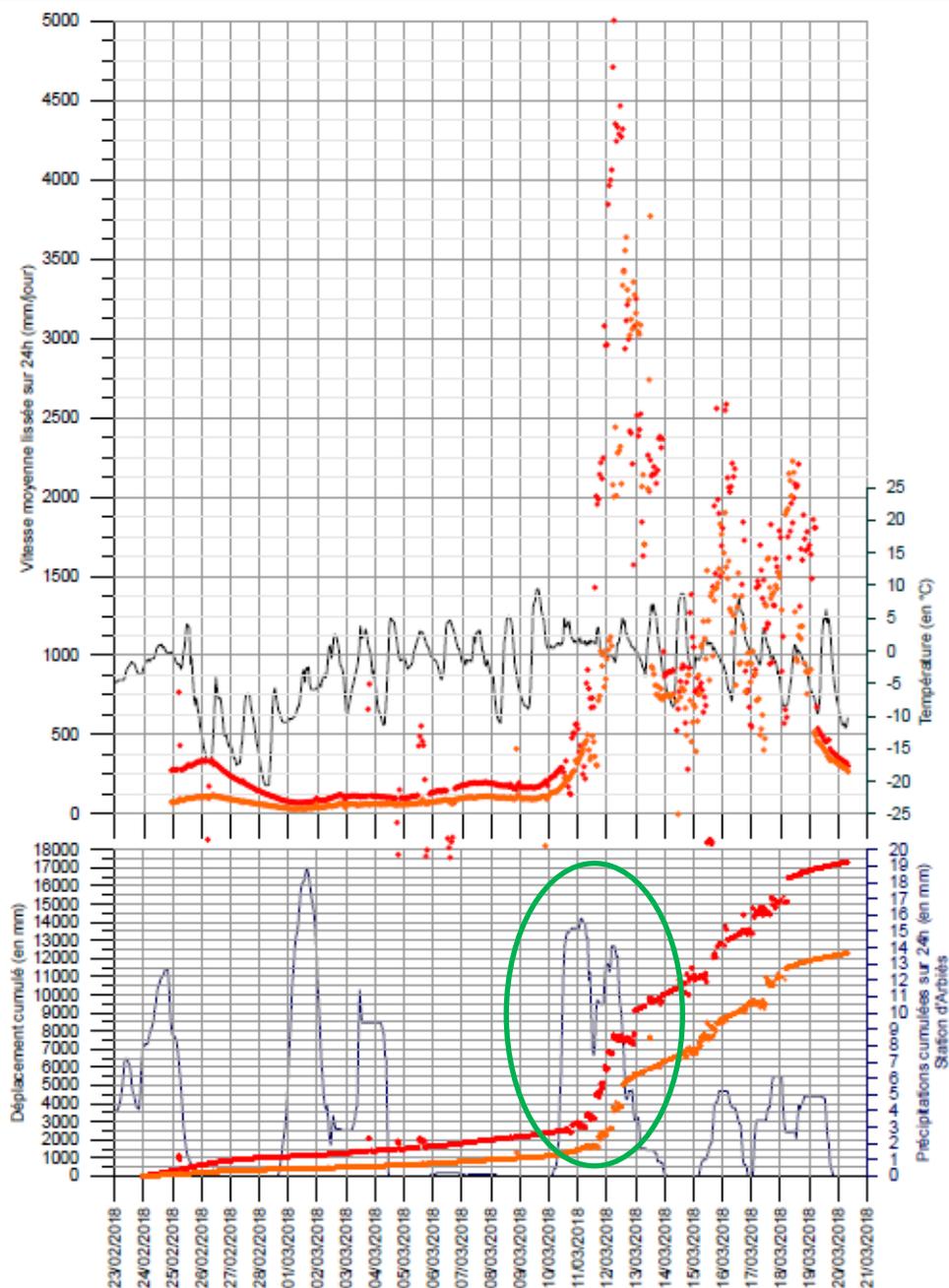


fig. 15 : Evolution au mois de mars 2018 des vitesses en mm/j et des déplacements cumulés en mm des deux géocubes positionnés en pied et bordure de compartiment Est en fonction des précipitations et de la température relevées à la station d'Abriès 05 – Source : Géolithe

### 3.6.3 Etude hydrogéologique

Lors du diagnostic géotechnique effectué par le BE SAGE, un sondage carotté (appelé 2018\_SC01) a été réalisé au niveau du premier lacet de la piste du Lombard, en marge de la zone E (compartiment Ouest). Il a été descendu à 25 m de profondeur.

Ce sondage a été équipé d'un piézomètre en début d'année 2019. Les mesures piézométriques s'effectuent de manière automatique, permettant l'enregistrement du niveau d'eau si celui-ci s'installait dans l'ouvrage en cours de printemps.

Malheureusement, à ce jour, les mesures n'ont pas mis en évidence de niveau d'eau dans le tube. Selon le BE SAGE, plusieurs explications sont possibles, sans qu'il soit possible d'en privilégier une à l'heure actuelle :

- Circulations d'eau situées plus en profondeur que le linéaire de sondage réalisé ;
- Niveau d'eau dans le glissement anormalement bas en cet hiver/printemps 2019, peu riche en précipitations ;
- Chenalisation des écoulements d'eau dans le versant, rendant très aléatoire leur interception par un ouvrage du type piézomètre.

D'autre part, il était prévu depuis octobre 2018 qu'une étude hydrogéologique du bassin versant (Pas de l'Ours/Eyglis/Choudane) soit réalisée par les laboratoires Chrono-Environnement (C. Bertrand de l'Université de Besançon) et EMMAH (V. Marc, Avignon).

Elle devait se dérouler en deux phases. La première phase avait pour objectif de caractériser les masses d'eau en présence par une analyse hydrochimique de l'ensemble des sorties d'eau identifiées sur le massif (prélèvements d'eau de surface et prélèvements en profondeur dans un forage profond à réaliser par CNRS OMIV). La deuxième phase devait se réaliser en période de hautes eaux (à partir du mois de mars).

Nous n'avons pas à ce jour de plus amples précisions sur l'avancement de ce programme d'étude sur l'hydrogéologie du glissement du pas de l'Ours.

**En l'absence de données piézométriques utilisables collectées à ce jour, il ne nous est pas possible de mener des corrélations entre l'activité du glissement et le niveau piézométrique.**

**Conclusion : Le Pas de l'Ours a un comportement très saisonnier, assez peu sensible aux précipitations orageuses, mais sans doute fortement influencé par des circulations d'eau profondes, de mars à juin, lors de la fonte nivale. La connaissance et la localisation de ces circulations restent à ce jour totalement méconnues.**

**Cependant, l'activité du glissement en 2019 et en 2020 a été sans commune mesure avec celle observée aux printemps 2017 et 2018. Depuis 2019, on ne constate plus de mouvements significatifs.**

### 3.7 PROPOSITION DES DIFFERENTS SCENARIOS PROSPECTIFS LES PLUS PLAUSIBLES DANS LE TEMPS

#### 3.7.1 Durée prévisible du glissement

La durée prévisible des évolutions notables du glissement devrait être de plusieurs années : ce type de mouvement de versant est en effet susceptible d'évoluer par à-coups (par crises) dont la durée est relativement longue, typiquement de quelques années.

En l'absence de connaissances approfondies sur l'hydrogéologie du glissement, et les circulations d'eau en son sein, il paraît difficile de prédire une stabilisation en l'état. Seule une connaissance du modèle hydrogéologique du glissement et la possibilité d'intervenir pour modifier les écoulements susceptibles de saturer les terrains pourrait éventuellement permettre d'envisager une modification sensible de sa dynamique.

#### 3.7.2 Probabilité d'occurrence des différents scénarios d'obstruction du Guil

L'étude des risques hydrauliques de juin 2017, établie par le service RTM, envisageait cinq scénarios mobilisant les compartiments Est et Ouest du glissement, sur une surface plus ou moins importante, avec des volumes compris entre 1,8 Mm<sup>3</sup> et plus de 11 Mm<sup>3</sup>.

L'observation de l'évolution du glissement depuis le mois de mars 2018 et les connaissances géotechniques acquises sur son mécanisme permettent de préciser les scénarii possibles impliquant (du plus probable ou moins probable) :

- **une poursuite de la progression du bourrelet frontal du lobe côté Ouest du compartiment Est (zone D)** jusqu'à ce qu'il atteigne le lit du Guil et affecte finalement les ouvrages qui ont été épargnés jusqu'ici (RD947 et murs de soutènement). La rupture brutale de ce bourrelet frontal paraît néanmoins peu probable compte-tenu du comportement post-rupture du matériau.  
C'est le scénario le plus probable retenu avec des conséquences variables :
  - le Guil serait repoussé sur sa rive gauche dont le pied de berge comporte des matériaux de surface déjà en limite d'équilibre, ce qui la fragiliserait davantage ;
  - peu de conséquence vraisemblable durant la période hivernale, avec une obstruction du Guil sur une hauteur qui ne devrait pas dépasser 10 m et qui peut n'être que partielle ;
  - la suppression de la butée de pied du glissement peut provoquer un mouvement de plus grande ampleur ; actuellement le niveau de rupture reconnu au niveau de inclinomètres installés par le BE SAGE en front du compartiment Est est de -4,5m/TN et de -7,5m/TN en front du compartiment Ouest, soit au niveau du fond de lit du Guil.
  - même si la butée de pied se reconstitue rapidement par obstruction du Guil, l'affouillement des terrains avec un débit important du Guil (travail de sape) risque d'entretenir le mouvement de terrain qui serait observé. Il paraît peu vraisemblable que le niveau d'obstruction du Guil dépasse une hauteur de 20 m.
- l'apport de matériaux au Guil par des **coulées de boue qui mobilisent la frange superficielle des terrains remaniés** et déstabilisés par les mouvements du printemps 2017 ; en mars et avril 2018 ce sont des coulées d'abord boueuses qui se sont produites depuis l'amont d'un seuil rocheux cote 1600 m, puis de matériaux avec sédimentation sur la chaussée de la RD947, puis dans le Guil, le flux de hautes eaux de printemps ayant repris le dépôt. Cependant là aussi et malgré la réserve en matériaux en amont en zone de décrochement, les hauteurs potentielles d'obstruction du Guil ont été jugées faibles, inférieures au scénario « barrage de hauteur 20 m ».

- **un glissement d'ensemble mobilisant tout ou partie des compartiments Est et Ouest.**

Les hypothèses de mouvement d'ensemble selon les compartiments mobilisés sont plus délicates à analyser. Elles font intervenir la pente transversale de dépôt entre 10 à 30 % et le pourcentage du volume du glissement formant le barrage qui a été définie entre 30 et 50 %, en sachant que la fourchette probable est bien plus large.

Sur la base des évolutions observées du glissement depuis mars 2017, et pour une période à court terme, de l'ordre d'une année avec une évolution similaire à celle observée en 2017-2018, les scénarii **impliquant la déstabilisation brutale du compartiment Ouest sont jugés très peu probables.**

**L'hypothèse la plus plausible retenue est une mobilisation du compartiment Est** au vu de l'évolution rapide de la couronne de décrochement supérieure, du découpage en compartiments existant à l'arrière de cette couronne, de la mobilisation de matériaux glissés en partie médiane sensibles à une imprégnation rapide lors de précipitations. La progression de la masse glissée supérieure venant en surcharge de la zone de replat déjà en mouvement délimitée par les deux fissures de cisaillement latéral engendre un déplacement par glissement, rotationnel et translationnel, large d'environ 200 m.

Le volume mobilisé dans ce cas avait été estimé à 1,8 Mm<sup>3</sup> (10 ha avec une profondeur de glissement de 18 m), soit des hauteurs de barrage de 33 à 41 m avec une pente de dépôt de 10 %, 23 à 28 m pour une pente de 30 %.

Ces valeurs sont vraisemblablement pessimistes car elles mobilisent de manière uniforme la totalité du compartiment Est.

La coupe interprétative proposée par le cabinet SAGE au niveau de l'inclinomètre 2 indiquait une surface de rupture potentielle d'environ 4.5 m au niveau de la RD 947, et d'environ 20 m en partie médiane du glissement.

La prévision de la forme du barrage généré par un grand glissement rocheux est un exercice très difficile qui dépend de la morphologie de la vallée et du comportement du volume de la masse éboulée. Elle peut être réalisée par des modélisations complexes en 3D basées sur différents modèles nécessitant de nombreux paramètres d'entrée, notamment ceux développés par le CEREMA :

- Modélisation des grands éboulements rocheux par épandage, appliqués aux sites de la Clapière (Alpes-Maritimes) et de Séchilienne (Isère)-(Jean-François Serratrice) ;
- Propagation en grande masse (Louis et Isabelle Rochet) ;
- D'autres modèles développés par des bureaux d'études ou universitaires.

La mise en œuvre de ces modèles nécessite de mieux connaître les caractéristiques géotechniques des terrains susceptibles de glisser (granularité, caractéristiques mécaniques,...) et l'état de saturation des sols, données dont on ne dispose pas actuellement.

Pour les mêmes raisons, une approche simplifiée des coefficients de stabilité à l'aide du logiciel TALREN est apparue très hypothétique.

Les hypothèses sur les volumes mobilisés qui atteindraient effectivement le Guil varient selon les secteurs considérés dans une fourchette allant de 200 000 à 850 000 m<sup>3</sup>. Selon les hypothèses retenues, la hauteur du barrage formé varie entre 5 m pour le plus petit secteur et 34 m pour le plus grand, à l'aplomb de la rive gauche du Guil, point probable de surverse.

Cette approche simplifiée confirme toutefois que **la mobilisation du seul compartiment Est (à partir d'un volume mobilisé et formant le barrage de l'ordre de 500 000 m<sup>3</sup>) peut engendrer des barrages d'une hauteur supérieure à 20 m pour une pente de dépôt supposée inférieure à 20 %** selon les caractéristiques mécaniques de la masse glissée.



fig. 16 : localisation vraisemblable de l'obstruction du Guil par glissement du compartiment Est

**Conclusion** : L'épaisseur des couches instables potentielles identifiées (couche superficielle et intermédiaire) suffit amplement à obstruer le Guil sur une hauteur importante (supérieure à 20 m) si on envisage une mobilisation de ces couches sur une certaine surface, que ce soit à l'aplomb des compartiments Est ou Ouest.

Toutefois, la présence d'une remontée du substratum repérée sur le PS 11, et l'hétérogénéité de la couche intermédiaire semblent indiquer **une faible probabilité d'un départ en masse de grande ampleur, sauf évènement très exceptionnel de type séisme de forte amplitude.**

## 4 SYNTHÈSE DE L'ACTIVITÉ DU GLISSEMENT - MISE EN ŒUVRE DE DISPOSITIFS OPERATIONNELS DE SUIVI

### 4.1 HISTORIQUE DES DISPOSITIFS DE SUIVI ET D'ALERTE SUCCESSIVEMENT MIS EN ŒUVRE – SYNTHÈSE DES DEPLACEMENTS OBSERVÉS

#### 4.1.1 2015-2016

Aucun dispositif de suivi ni d'alerte n'était alors en place.

Rappelons qu'à l'époque, la partie active du glissement était **la partie amont**, au-dessus de 1600 m d'altitude. Ces terrains connaissaient alors une activité qui se traduisait par :

- des chutes de blocs de plus d'un m<sup>3</sup> à partir d'un ressaut rocheux déstabilisé sur 70 m de long, formant un éboulis de pente jusqu'au chemin communal et blocs isolés au-delà ;
- de nombreuses niches d'arrachement visibles entre 1700 m et 1800 m, certaines faisaient 6 à 8 m de haut et découpaient le terrain en de multiples endroits selon une orientation générale sud-ouest/nord-est. On remarquait également des fissures profondes plus ou moins ouvertes ;
- une déstructuration importante, des décrochements d'environ 3 m avec fissures ouvertes, des niches d'arrachement pouvant atteindre localement 10 à 20 m de hauteur, des déformations de sols avec basculement des arbres et l'avancée d'une langue de glissement en direction d'un thalweg sans nom à l'ouest du ravin de Choudane.

#### 4.1.2 2017

##### 4.1.2.1 Suivi topographique

En mai 2017, le réseau de suivi topographique était constitué de cibles relevées manuellement et de façon bi-hebdomadaire par le cabinet POTIN et comportait :

- 14 points sur le mur de soutènement (101 à 114);
- 15 points sur la route (n°202 à 306);
- 14 points répartis sur la base du versant (bande de 40 m en amont de la RD).



fig. 17 : carte des cibles relevées manuellement par le géomètre POTIN

A partir du mois d'août 2017, le glissement de terrain (parties basse et médiane des compartiments Ouest et Est) a été mis sous surveillance topographique automatisé (BE Géolithe-Myotis) par le Conseil Départemental des Hautes-Alpes : il s'agissait de deux tachéomètres automatiques (installés dans le versant opposé et abrités dans des guérites en bois), c'est-à-dire d'appareils de mesure constitués d'un théodolite et d'un distancemètre qui fonctionnaient de manière continue et automatisée.

Le fonctionnement de ces appareils a nécessité la mise en place des cibles installées sur le terrain (prismes). Pour un bon suivi de déplacement, une cinquantaine de cibles ont ainsi été implantées entre le sentier de la piste du Lombard à Choudane et la RD 947 :

- en haut de versant (HV),
- à mi-versant (MV), en replat de bas de versant
- avant talus RD (BV),
- sur chaussée (CA)
- et sur le mur de soutènement aval de la RD (MS).

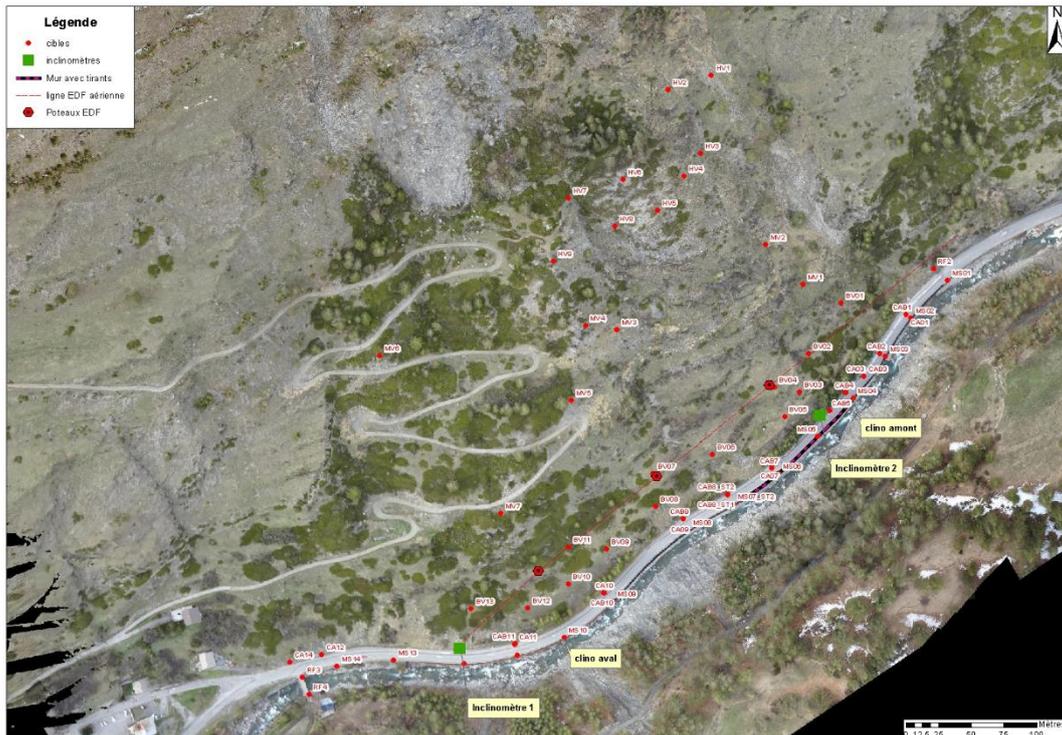


fig. 18 : carte des cibles installées par le BE Géolithe sur fond ortho de septembre 2017 (carte disponible en format A3 en annexe)

#### 4.1.2.2 Système d'alerte

De plus, sous maîtrise d'ouvrage de la CCGQ au titre de la compétence GEMAPI, **un système d'alerte a été mis en place à partir du mois d'octobre 2017.**

Ce dispositif d'alerte avait initialement pour but :

1. de détecter un mouvement important du glissement avec obstruction partielle (ou totale) du Guil, grâce à la mise en place de **différents capteurs adaptés** : câble de détection de rupture le long du mur de soutènement aval de la RD, deux clinomètres pour détecter le gîte du mur de la RD 947, deux capteurs de niveau d'eau : l'un sous le pont de la microcentrale (pour détecter une diminution du débit en cas de formation d'un barrage dans le Guil), et l'autre sous le pont du GOURET (pour détecter une montée du niveau en cas de barrage).
2. de disposer d'un **dispositif d'enregistrement vidéo des parties inférieures des compartiments Est et Ouest**, à l'aide de deux caméras de surveillance avec optique infra rouge pour vision nocturne du front et du versant jusqu'à sa zone de décrochement, installées depuis le versant opposé en rive gauche, de façon à pouvoir restituer des images parfaitement exploitables, avec fourniture d'une image à pas de temps horaire.
3. de transmettre l'information automatiquement :
  - a. aux feux de la Route Départementale ;
  - b. aux autorités compétentes en charge de récupérer l'information, de la vérifier et de la diffuser ;
4. d'aider à la prise de décision et à la surveillance du glissement,
5. de développer les moyens sonores d'alerte à Aiguilles et Château Ville Vieille.

Ce dispositif faisait partie du système de surveillance inter-services mis en place par le Préfecture des Hautes-Alpes, puisque plusieurs services (DDT, RTM, SDIS, Gendarmerie, Préfecture) consultaient à horaires fixes (H24 7j/7) les images des caméras installées sur site et étaient amenés, après une visite sur site de levée de doute, à déclencher une alerte relative à l'obstruction du Guil et à la formation d'une vague de submersion.

Notons que les éléments du dispositif cités dans les points 1 et 2 et 5 sont toujours en service et opérationnels actuellement, c'est à dire le matériel suivant : capteurs (à l'exception du câble de détection de rupture qui a rompu avec le mur de soutènement aval de la RD), caméras de surveillance et sirènes.

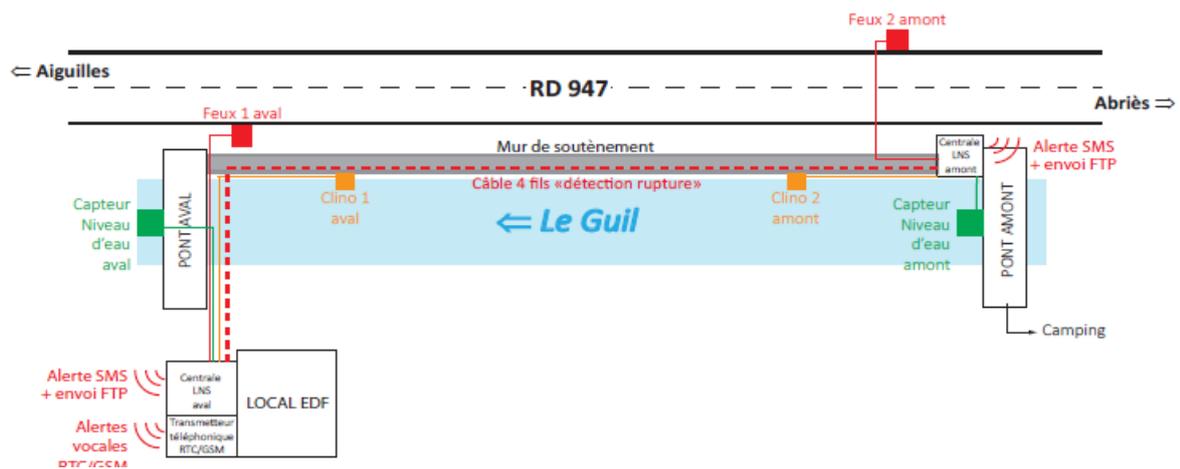


fig. 19 : schéma du système d'alerte mis en place par la CCGQ en octobre 2017 (hors caméras de surveillance)



fig. 20 : capteur de niveau sous le pont du Gouret



fig. 21 : clinomètre sur mur de soutènement aval de la RD

### 4.1.2.3 Suivi par UNISTRA

A partir du début mai 2017, le glissement de terrain a fait également l'objet d'un suivi scientifique EOST UNISTRA par mesure de la composante perpendiculaire à la ligne de visée du **radar interférométrique GB InSAR**, essentiellement du compartiment Est, entre le sentier de la piste du Lombard à Choudane et la RD 947, donc toujours dans sa partie basse et médiane.

Le but était de mettre en œuvre une méthode d'acquisition des séries temporelles par le radar interférométrique GB Ibis InSAR pour suivre l'évolution des déplacements du compartiment Est.

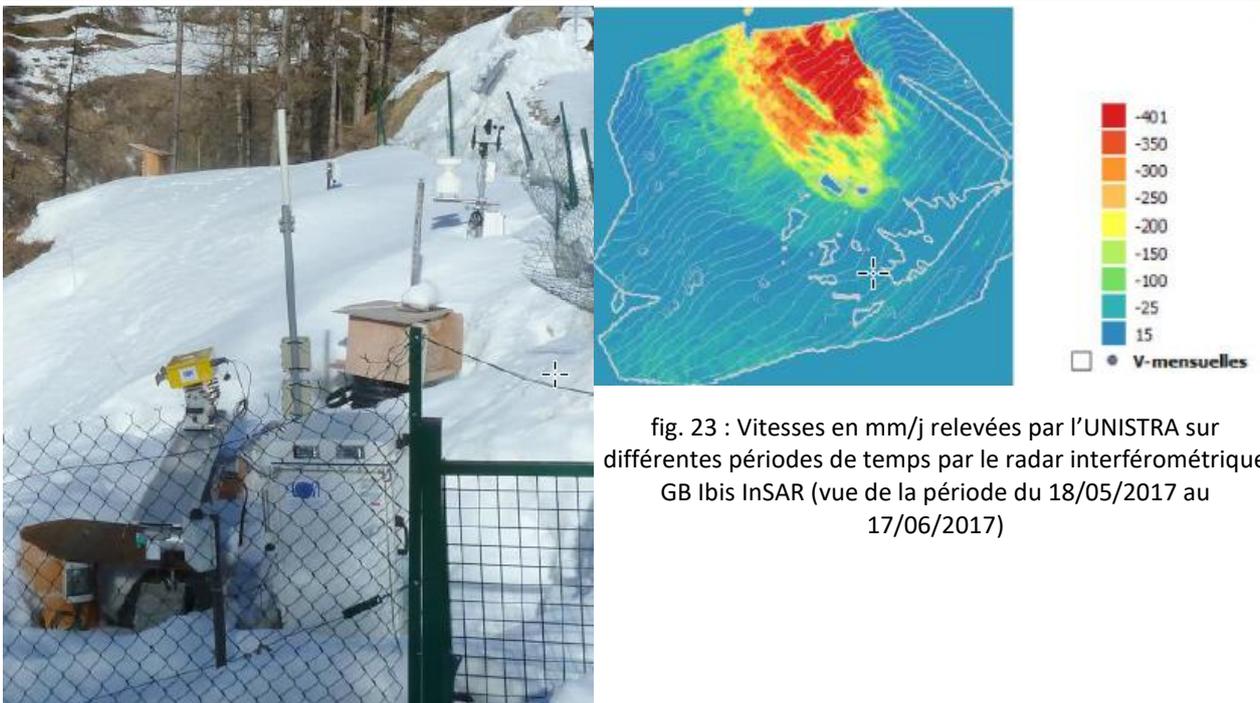


fig. 22 : Station de suivi des déplacements par radar interférométrique, géomoteurs (GEOMON) et LiDAR terrestre

fig. 23 : Vitesses en mm/j relevées par l'UNISTRA sur différentes périodes de temps par le radar interférométrique GB Ibis InSAR (vue de la période du 18/05/2017 au 17/06/2017)

D'autre part, en parallèle aux travaux de l'UNISTRA (Lidar, radar interférométrique), la société INFRA SURVEY a installé un système GEMON à partir du 19 mai 2017 : il s'agissait de 4 balises GNSS (appelées GEOMON) installées sur le glissement et d'une station de base, avec des données relevées deux fois par jour, qui ont permis aussi, par l'intermédiaire d'un site internet dédié et fonctionnel, de confirmer les tendances des déformations enregistrées par les autres dispositifs de mesure.

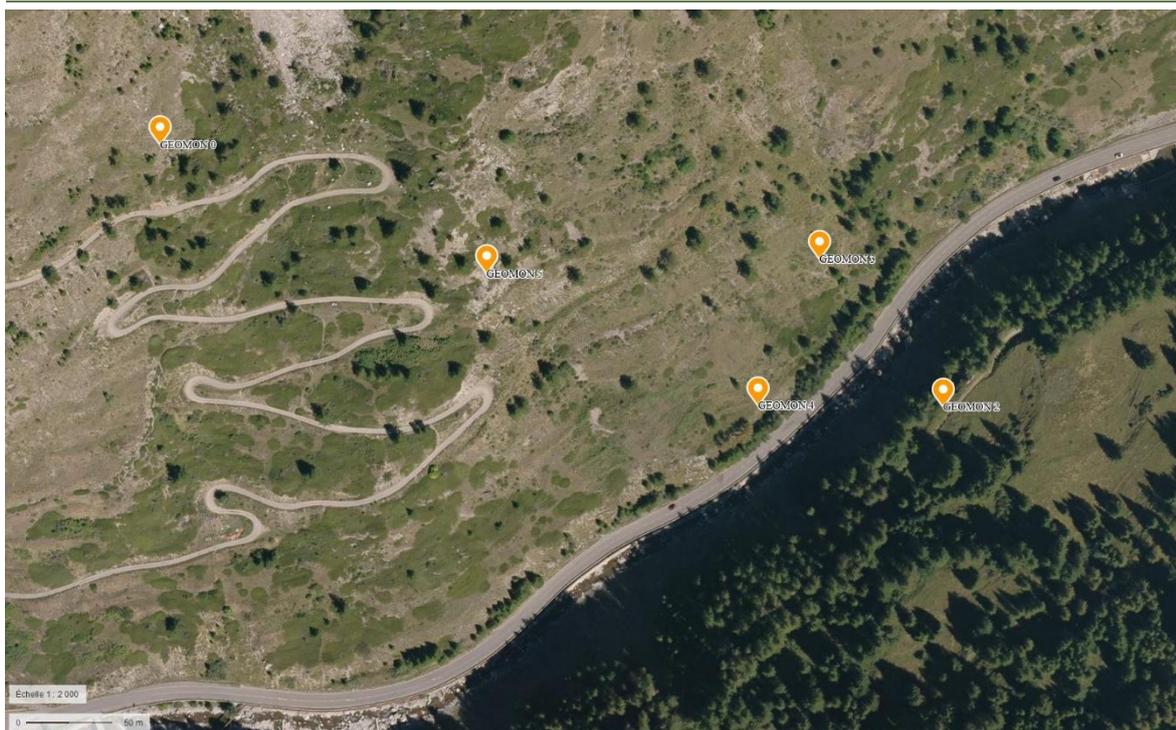


fig. 24 : position des 4 balises GNSS « GEOMON » à la date du 19 mai 2017

Ces balises GEOMON sont aujourd'hui détruites ou non fonctionnelles.

#### 4.1.2.4 Synthèse des déplacements observés sur l'année 2017

L'examen des données du printemps 2017 indique des déplacements de **28 à 48 mm/j** (données du cabinet POTIN) dans le versant en moyenne journalière sur la période du 27/04/2017 au 10/07/2017.

Les déplacements relevés en GB InSAR par l'UNISTRA ont atteint des valeurs proches de **70 cm/j les 18,19 et 20 mai 2017**, dans la zone médiane la plus active (zone située environ 50 m au-dessus de la RD).

Depuis la mise en station du radar en mai jusqu'au 17 juin, la vitesse de déplacement fut soutenue sur le compartiment Est en haut et à mi versant, ainsi qu'en bordure Ouest de l'éperon rocheux allongé. Le sentier de Choudane s'est affaissé.

A partir du mois de juin 2017, on a constaté un net ralentissement, voire une stabilisation de l'activité du versant couvert par le radar en partie haute et médiane..

**Un répit dans l'évolution des déplacements s'est donc installé de juin à fin décembre 2017.**

### 4.1.3 2018

#### 4.1.3.1 Suivi topographique

En 2018, et notamment à partir du mois de janvier, date à laquelle les premiers signes de réactivation du glissement sont apparus, le glissement de terrain était toujours sous surveillance topographique automatisé (BE Géolithe-Myotis).

Suite à une nette accélération de la partie supérieure du compartiment Est du glissement, apparue au début du mois de février 2018, et qui pouvait se traduire par des coulées boueuses plutôt qu'un mouvement en profondeur, une surveillance renforcée quotidienne du glissement est devenue indispensable. Ainsi 4 géocubes ont été rajoutés au dispositif de surveillance par le CD 05, notamment dans l'axe de la ravine Est. Ces géocubes sont des balises GNSS équivalents aux GEOMON installés quelques temps auparavant.

Les critères d'alerte techniques devant éclairer sur la fermeture de la RD 947 ont par ailleurs été arrêtés : 5 cibles avec un déplacement de 1,5 cm/j ou 2 cibles à 2,5 cm/j.

La décision de fermeture de la RD947 qui a eu lieu le 13 mars 2018 (de façon d'abord préventive puis définitive) s'est donc appuyée sur un dispositif topographique opérationnel en totalité.

Ce suivi par théodolites automatisés s'est arrêté 2 juillet 2018 lorsque le CD05 a décidé que, l'enjeu de la RD 947 n'étant plus présent, il n'était plus nécessaire d'assurer un suivi topographique du glissement.

#### 4.1.3.2 Système d'alerte

Ce système était toujours opérationnel en 2018, à savoir les capteurs (à l'exception du câble de détection de rupture), et les deux caméras de surveillance.

#### 4.1.3.3 Méthode de suivi du glissement par la corrélation d'images

A partir de début juillet 2018, une nouvelle méthode de suivi a été mise en place : **la corrélation d'images terrestres** qui est une méthode optique permettant de mesurer les déplacements entre deux images dans le plan de l'image. Elle est effectuée à partir de photographies numériques prises par les appareils installés à demeure, fixés et protégés dans les deux guérites en bois.

Ce traitement, selon un protocole établi par le CEREMA (les images doivent être ortho rectifiées) et réalisé régulièrement par le RTM (hebdomadaire ou bi-hebdomadaire selon l'activité du glissement), permet de connaître les directions des déplacements (en degrés) et les valeurs des déplacements (en pixels) sur les images prises par les caméras, c'est à dire pour les parties inférieures des compartiments Est et Ouest.

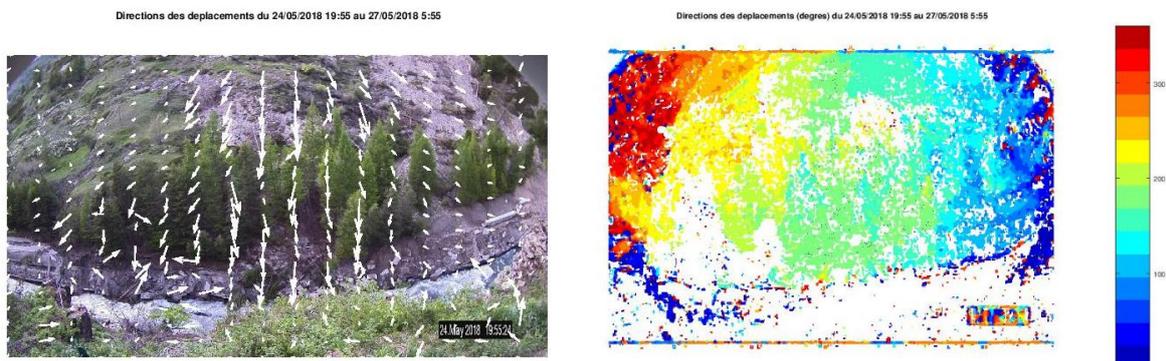


fig. 25 : exemple de résultats de corrélation d'images prises sur 3 jours entre le 24/05 et le 27/05/2018

#### 4.1.3.4 Suivi par UNISTRA

Jusqu'au mois de juillet 2018, le glissement de terrain a continué à faire l'objet d'un suivi scientifique EOST UNISTRA, grâce au radar interférométrique GB Insar.

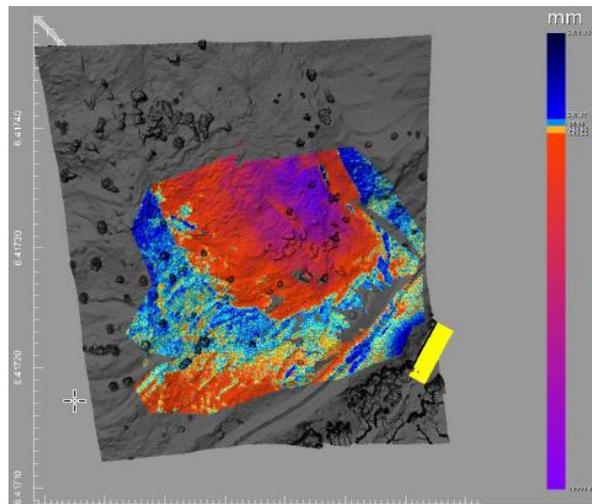


fig. 26 : Suivi scientifique UNISTRA : déplacements enregistrés entre le 18 mai 2017 et le 27 fév. 2018 par le radar interférométrique Ibis InSAR

#### 4.1.3.5 Synthèse des déplacements observés sur l'année 2018

Des déplacements se déclenchent en tête et en bordure Est du compartiment fin 2017, début 2018, s'intensifient et se propagent vers l'Ouest, apparaissent sur les fentes de tension entre compartiments.

Ainsi, à partir de fin février 2018, on observe le développement d'un mouvement rapide et localisé dans le secteur Est. Les cibles de haut de versant ont enregistré des déplacements importants compris entre 100 et 200 mm/jour. On observe aussi une augmentation des vitesses vers l'aval du versant.

Au mois de mars, on note une accélération des déplacements à proximité de la ravine Est se traduisant par des coulées boueuses et des chutes de blocs et aboutissant à **la situation de crise qui a conduit à la fermeture puis à la destruction de la RD 947 le 13 mars 2018.**

Six cibles ont dépassé le seuil d'alerte dans le bas du versant sur le compartiment Est (dont BV1, BV2, BV3, BV4) avec des vitesses respectives comprises entre 3 et 20 cm/jour.

Les cibles dans le versant du compartiment Ouest n'ont pas connu d'évolution significative.

Le mois d'avril correspond à une période d'intense activité : les cibles dans la partie médiane et supérieure (MV1, MV2, HV2, HV3, HV4) connaissent des déplacements compris entre 40 cm et 1 m par jour ; **des déplacements de plus d'un mètre par jour sont observés dans la partie haute.** Les secteurs en glissement actifs se propagent vers l'Ouest avec la mise en mouvement des cibles HV5 et HV6 avec des vitesses de l'ordre de 50 à 80 cm/jour.

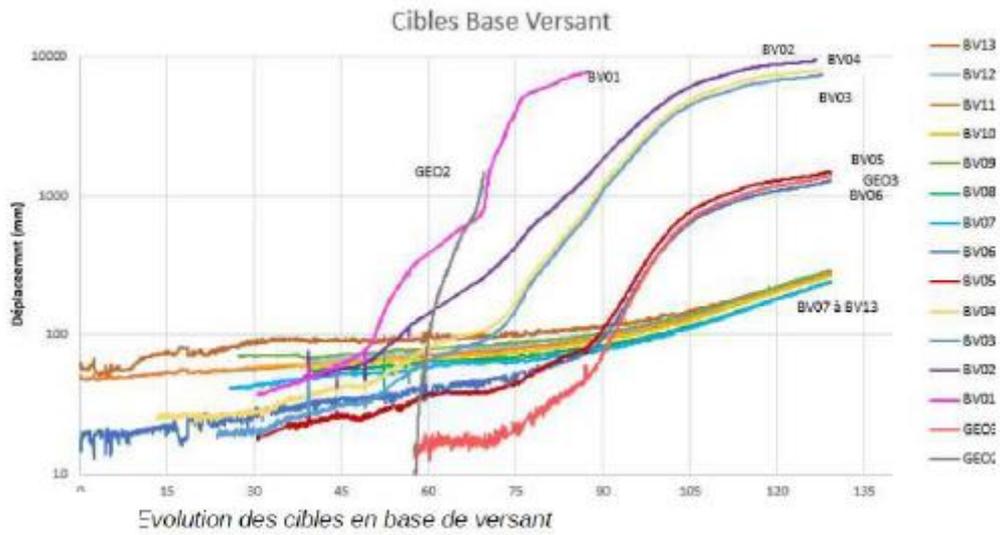


fig. 27 : Déplacements des cibles de bas de versant du 1er janvier à mi-avril 2018 – source Géolithe

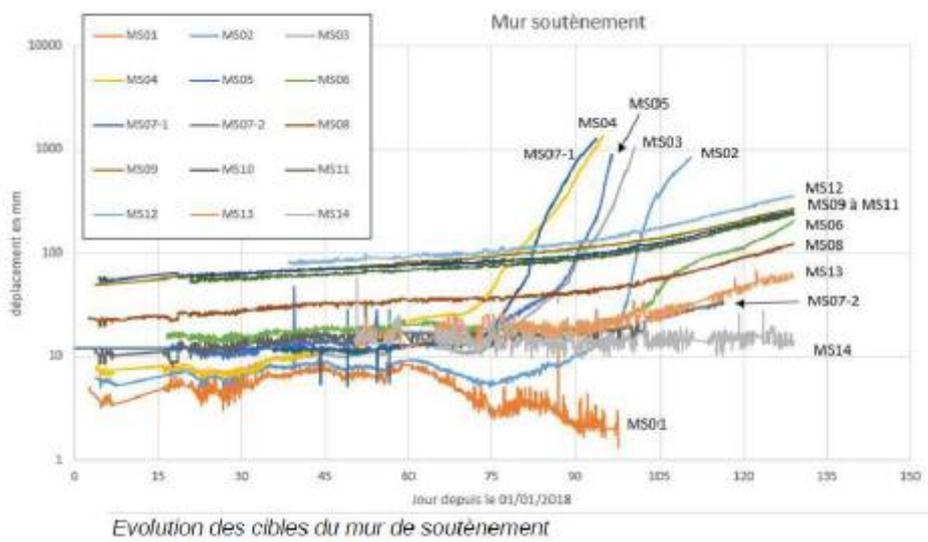


fig. 28 : Déplacements des cibles du mur de soutènement du 1er janvier à mi-avril 2018 – source Géolithe

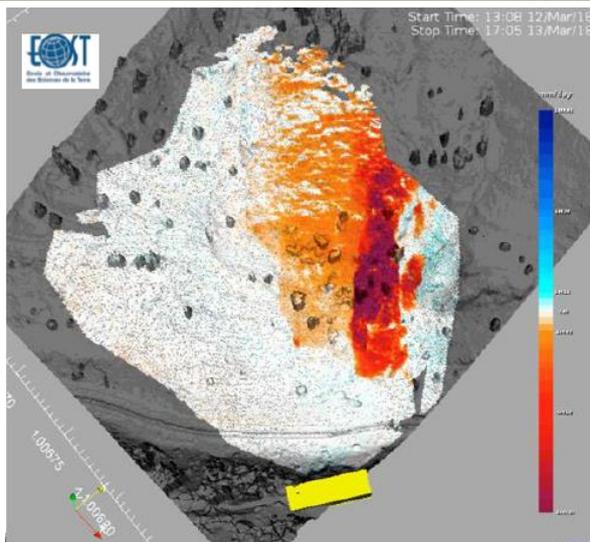


fig. 29 : Progression rapide de la langue de glissement avec génération de coulées de matériaux entre le 12 et 13 mars 2018



fig. 30 : vues de la rupture progressive du mur de soutènement de la RD 9847 par la caméra du dispositif de surveillance

Les cibles dans la partie médiane et basse connaissent des déplacements compris entre 20 cm à 40 cm par jour en dehors des zones de coulées boueuses.

La réactivation du compartiment Ouest apparaît, notamment en raison de mouvements observés sur la piste du Lombard, et se traduit par des déplacements sur l'ensemble des cibles qui atteignent des valeurs proches du cm par jour, sans augmentation par la suite, traduisant une réelle mais faible activité.

Au mois d'août, l'observation de déformations importantes sur le RD 947 entre les balises MS10 et MS13 qui avaient pourtant connu des déplacements non négligeables jusqu'au 2 juillet suscite des interrogations sur la dynamique du compartiment Ouest, qui pourrait différer de celle du compartiment Est et connaître des déplacements lents mais continus.

**En conclusion, tout le compartiment Est a été mobilisé au printemps 2018, l'avancée du front a entraîné la destruction du mur de soutènement de la RD et des coulées de matériaux se sont enchaînées de mars à avril, atteignant la RD947 et le Guil.**

**Du 1er au 5 avril l'ensemble du compartiment Est s'est mis en mouvement ; une atténuation des déplacements est apparue fin avril, s'est accentué en mai, avant arrêt des déformations de surface en juillet.**

**Pour ce qui concerne le compartiment Ouest, les déplacements ont été lents mais continus avec un démarrage plus tardif.**

#### 4.1.4 2019 et 2020

##### 4.1.4.1 Suivi topographique

Rappelons que les parties médiane et inférieure du glissement ne font plus l'objet de suivi topographique d'aucune sorte depuis le mois de juillet 2018.

##### 4.1.4.2 Système d'alerte

A partir de janvier 2019, l'évolution des modalités de surveillance et d'alerte du glissement de terrain du Pas de l'Ours a été la suivante :

- Maintien à l'identique des capteurs de niveau d'eau du Guil amont et aval (sous les ponts de la microcentrale d'une part et du GOURET d'autre part), du clinomètre aval reliés à la centrale d'acquisition permettant une consultation en temps réel des données par internet sur le serveur du cabinet SAGE.

Ce dispositif permet de déclencher une alerte relative à l'obstruction du Guil. Il a été complété par un clinomètre complémentaire, côté Ouest.

- Redéploiement des deux caméras de surveillance et ajout d'une troisième caméra dans les deux abris réalisés pour les théodolites automatisés, de manière à ce que leur champ de vision recouvre le Guil et la paroi aval des compartiments Est et Ouest du glissement : 2 caméras (existantes) coté Abries, 1 nouvelle caméra coté Aiguilles. **On dispose ainsi (et encore à ce jour) d'une caméra Est aval, d'une caméra Est amont et d'une caméra Ouest.**



fig. 31 : déplacement des caméras de surveillance dans les guérites en bois

#### 4.1.4.3 Méthode de suivi du glissement par la corrélation d'images

Pas de changement par rapport à 2018, les données issues cette fois des trois caméras de surveillance nouvellement installées étaient traitées par l'ONF-RTM05 selon une périodicité fonction de l'activité du glissement par la technique de corrélation d'image mis au point par le CEREMA et testée à la fin du printemps 2018.

Ce dispositif permettait un premier constat en cas d'alerte « obstruction du Guil », et un suivi de l'évolution de l'activité du glissement en partie basse.

#### 4.1.4.4 Suivi par UNISTRA

Le radar interférométrique de l'UNISTRA a été réinstallé et est opérationnel depuis le mois de mars 2019 depuis un point de vue permettant de surveiller les parties médianes et hautes à l'Est mais également à l'Ouest du glissement, secteurs non visibles depuis l'implantation initiale, et sur un site à l'écart des travaux réalisés pour la création de la nouvelle route.

Cela a nécessité la construction d'un abri adapté et d'une alimentation électrique.

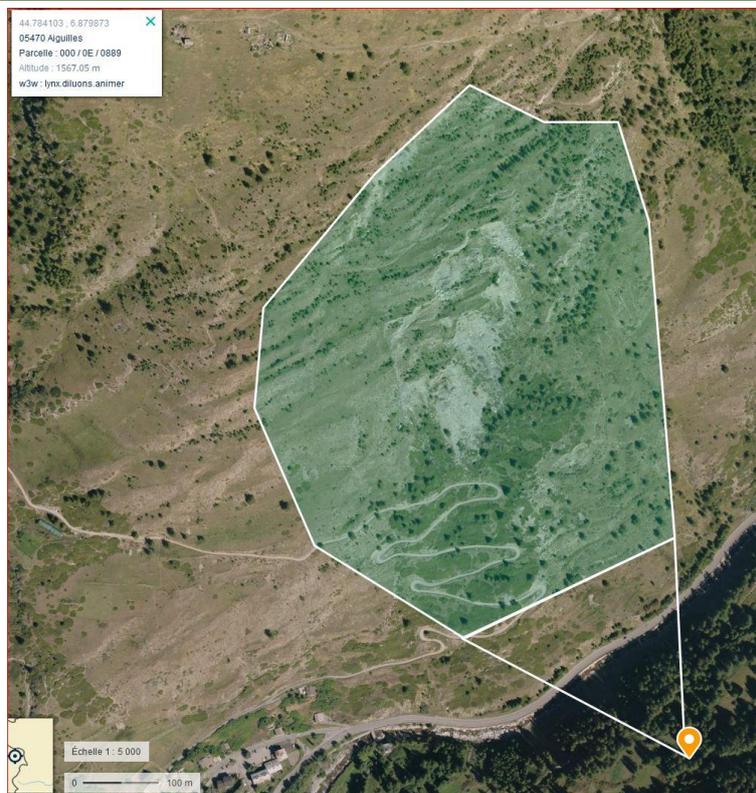


fig. 32 : zone balayée actuellement par le radar dans sa nouvelle installation

Depuis le mois d'avril 2020, les coordonnées d'un certain nombre de points d'intérêt majeur au sein du glissement ont été communiquées à l'UNISTRA afin qu'elles soient intégrées dans le traitement GB-InSAR et que cela permette de faire des séries temporelles de vitesse automatiquement.

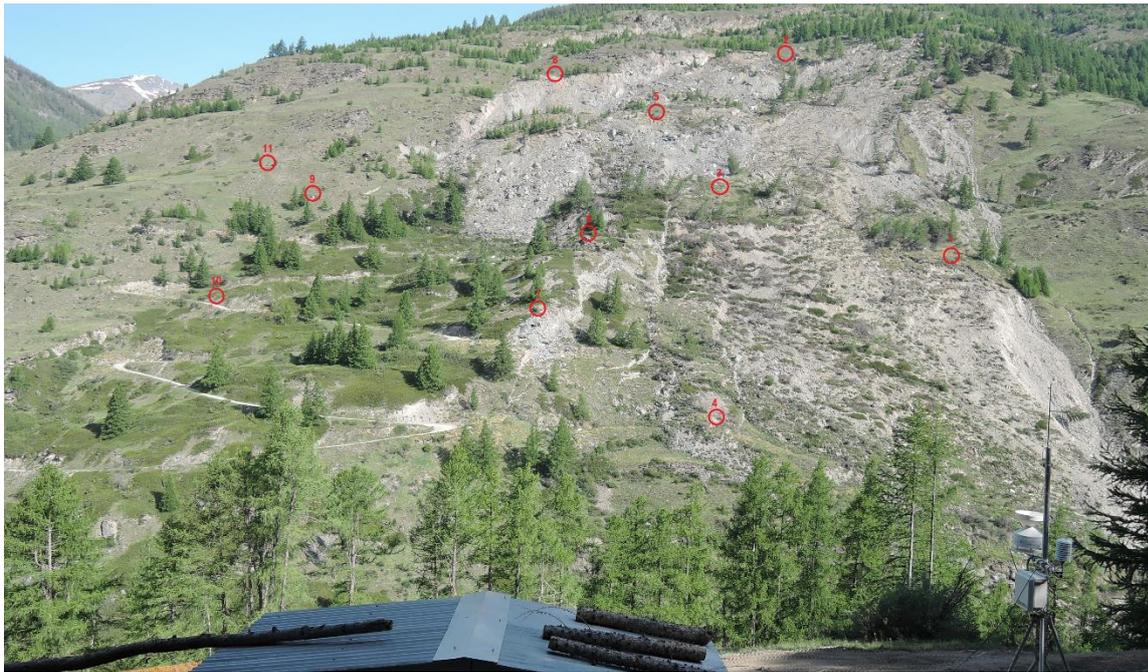


fig. 33 : vue des 11 points d'intérêt au sein du glissement dont le suivi a été demandé à l'UNISTRA

De plus, un nouveau relevé LIDAR a été réalisé par l'UNISTRA en mai 2020 et deux stations météo ont été installées (l'une à proximité du radar, l'autre dans le versant en glissement),

Enfin, l'UNISTRA a entrepris en 2019 la mise en place de capteurs sismologiques à partir du mois de mai et une campagne géophysique 3D sur le haut du glissement en juillet.

#### 4.1.4.5 Synthèse des déplacements observés sur les années 2019-2020

Les corrélations d'images caméra effectuées au mois d'avril 2019 ont indiqué des mouvements superficiels du compartiment Est (zone E du plan SAGE), notamment vers l'extrémité Est du mur de soutènement restant, ainsi que des mouvements superficiels au sein même du glissement. Des ravinements superficiels ont également été observés.

Les premiers indices de mouvement sont apparus dans le courant du mois de mars, et ont eu tendance à s'accélérer, mais sans mouvement de grande ampleur et l'activité du glissement a été sans aucune mesure avec celle observée en 2017 et 2018.

Les images caméras de la CCGQ montraient ainsi encore à l'automne 2019, lors des fortes pluies, des évolutions en front sur le Guil et de la langue Est : raidissement du bourrelet frontal (glissement dans le Guil de pratiquement tous les blocs visibles sur le front de langue), apports de coulées de boues/matériaux par la ravine du compartiment Est (turbidité des eaux du Guil).

Sur le compartiment Ouest (zone E du plan SAGE), il apparaissait également des signes de mouvement vers le trottoir supérieur de la RD 947 qui semblaient traduire un mouvement lent mais réel.

Vers la mi-décembre 2019 un léger agrandissement des fissures en partie médiane du compartiment Est a été constaté.

On notait aussi en partie haute du glissement une évolution importante du plateau supérieur en contrebas des Eyglies depuis l'automne 2017 : déstructuration du plateau supérieur au-dessus de la niche d'arrachement en contrebas du replat des Eyglies avec une figure d'extension en horst graben.

L'examen du clinomètre aval (sur mur de la RD face au compartiment Ouest) sur une longue période (décembre 2019 au printemps 2020), montre que celui-ci poursuit aussi **une lente progression continue, ce qui traduit un mouvement lent mais réel pour le compartiment Ouest.**

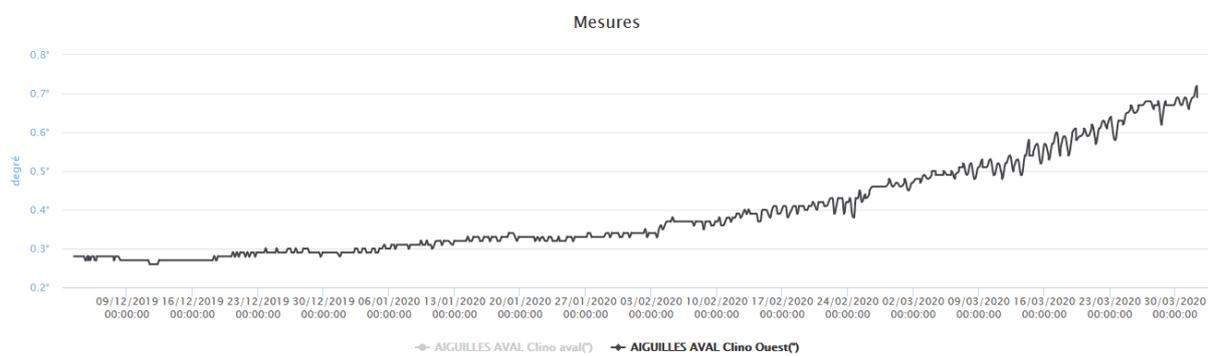


fig. 34 : suivi du mur de soutènement de la RD 947 par le clinomètre aval : de décembre 2019 à avril 2020, passage de 0,3° à 0,7°

Au printemps 2020, les corrélations d'image caméra ont montré encore de petits déplacements en partie Est et en bas de versant, correspondant à des mouvements superficiels notamment vers l'extrémité Est du mur de soutènement restant, mais sans reprise d'activité d'ensemble de ce compartiment.

Le clinomètre aval enregistre encore une poussée en molle croissance sur la deuxième partie de l'année 2020, en marquant toutefois un ralentissement à partir de la fin de l'année.

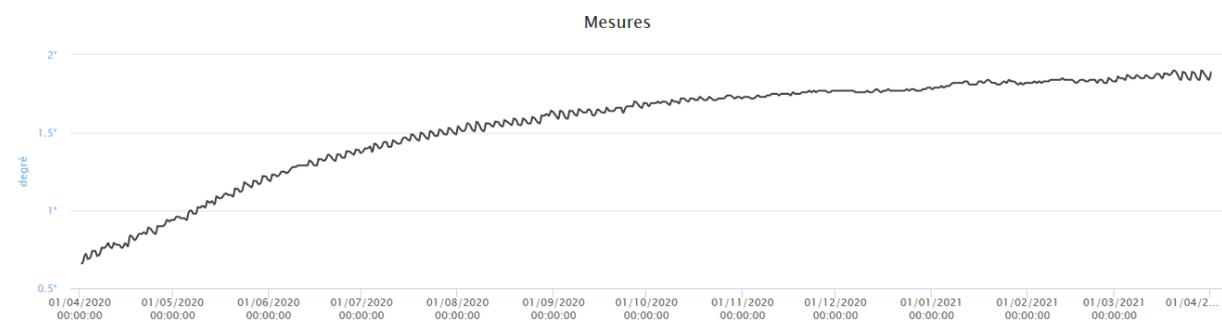


fig. 35 : suivi du mur de soutènement de la RD 947 par le clinomètre aval : d'avril 2020 à avril 2021, passage de 0,7° à 1,9°

Enfin, l'examen successif de trois images, issues de la caméra Est prenant le lit du Guil, entre octobre 2019 et avril 2021 permet de visualiser un léger mouvement en gonflement du front du glissement

Elles traduisent pendant cette période une légère avancée du compartiment Est au niveau du front sur le Guil, et donc **une étroiture encore un peu plus marquée du lit du Guil sur le front du glissement, au droit de la rupture du soutènement de la RD947.**



fig. 22 : 3 photos de la caméra Est (lit du Guil) prises sur le site de surveillance (SAGE) :

- novembre 2019 (en haut à gauche)
- avril 2020 (en haut)
- avril 2021 (à gauche)

## 4.2 PROPOSITION DES MODALITES DE SUIVI A LONG TERME

A ce jour, le glissement est rentré, depuis le mois de juillet 2018, dans une phase de latence, avec une faible activité. De plus, l'enjeu de la RD 947, présent au début de la crise, n'est plus concerné : nous proposons donc un suivi minimal et adapté à la situation actuelle.

### 4.2.1 Nécessité de poursuivre le suivi du système d'alerte mis en place par la CCGQ

Les modalités de surveillance du glissement de terrain du Pas de l'Ours se composent actuellement de :

- deux capteurs de niveau d'eau du Guil amont et aval, permettant une consultation en temps réel des données par internet sur le serveur du cabinet SAGE ;
- deux clinomètres aval reliés à la centrale d'acquisition permettant une consultation en temps réel des données par internet sur le serveur du cabinet SAGE. ;
- trois caméras de surveillance depuis le versant opposé en rive gauche, de manière à ce que leur champ de vision recouvre le Guil d'une part, et la partie aval des compartiments Est et Ouest du glissement d'autre part.

**L'objectif général de surveillance du site reste à ce jour inchangé : s'assurer avec la plus grande réactivité possible que le Guil n'est pas obstrué au droit du glissement.**

**Ce dispositif permet un premier constat en cas d'alerte « obstruction du Guil » et un suivi de l'évolution de l'activité du glissement en partie basse. Ce dispositif permet de déclencher une alerte relative à l'obstruction du Guil, risque toujours présent. Il doit être absolument conservé et entretenu.**

Il pourrait être complété par un ou deux clinomètres complémentaires installés sur le mur de soutènement de la route encore debout, pour confirmer les évolutions constatées sur le clinomètre Ouest.

A terme, la gestion du dispositif pourrait être reprise par la commune d'Aiguilles, la CCGQ n'ayant pas vocation à assurer celui-ci sur plusieurs années.

De plus, ce dispositif présente l'avantage de pouvoir exploiter les images issues des caméras qui seraient ainsi toujours traitées par le service ONF-RTM selon le principe de la corrélation d'images terrestres, mise au point par le CEREMA et testée avec succès depuis la fin du printemps 2018.

La périodicité de traitement de ces photos terrestres serait fonction de l'activité du glissement : périodicité sans doute à rapprocher (bi-mensuelle) pendant les phases de fonte des neiges, c'est-à-dire de mars à juin et à espacer pendant le reste de l'année.

Les autres dispositifs décrits ci-après permettront d'améliorer la connaissance sur le glissement.

### 4.2.2 Instrumentation en projet par l'UNISTRA

L'UNISTRA propose un suivi (et non pas de la surveillance) scientifique à long terme, avec un focus sur les parties médiane et haute du glissement, en partie ouest et en partie est.

#### 4.2.2.1 Radar interférométrique

La réinstallation radar interférométrique de l'UNISTRA depuis 2019 permet de surveiller les parties médianes et hautes à l'Est mais également à l'Ouest du glissement.

L'interféromètre a vocation à être sur site sur le long terme (quelques années), même si les périodes d'observations ne sont pas permanentes, mais adaptées à l'activité du glissement et aux besoins d'observation d'autres sites par l'UNISTRA.

Cependant, les données ne sont pas forcément récupérables et exploitables en temps réel. Ce dispositif ne nous paraît pas pouvoir faire partie du système de suivi pérenne à envisager, mais il peut le compléter le cas échéant.

#### 4.2.2.2 Autres éléments du dispositif de surveillance

Le dispositif de surveillance CNRS-OMIV sur le glissement devait également intégrer l'installation de 4 GPS permanents (3 en partie haute- escarpement principal, 1 en partie médiane du compartiment Ouest), tous combinés à des stations sismologiques (sismomètres large bande en point central amont, et réseau de sismomètre haute-fréquence en antenne sur les côtés).

A ce jour, nous n'avons pas d'autre précision sur l'avancement dans la mise en place de ce dispositif de surveillance.

#### 4.2.3 Suivi photographique par drone (ONF-RTM)

La partie supérieure du glissement de terrain ne fait l'objet d'aucune observation régulière pour le moment, même si des évolutions sont perceptibles.

S'il ne paraît pas indispensable de l'instrumenter de manière similaire aux secteurs bas et médians, la mise en place d'un suivi régulier semble souhaitable, car il aiderait à mieux évaluer la possibilité d'un départ en grande masse susceptible d'obstruer le Guil ou la possibilité de départs de coulées de boue.

Parmi les différentes technologies d'observations des glissements de terrain, l'exploitation des données fournies par prises de vue aériennes, à l'aide d'un appareil photographique monté sur drone, à des fins de suivi visuel, paraît peu onéreuse et bien adaptée au problème posé : les images sont prises orthogonalement au sol, géoréférencées, par couples stéréographiques.

Des prises de vues successives et automatisées prises depuis le drone pourraient ainsi fournir des informations visuelles de type photographique, riches en informations, d'autant plus qu'elles sont lisibles directement par l'œil de l'observateur.

Cette méthode de suivi du glissement pourrait prendre deux formes :

- en cas de mouvement restreint : **la corrélation d'images**, qui est un traitement en 2D de l'image,
- en cas de mouvements importants (plusieurs dizaines de cm), et notamment d'évolutions régressives en partie supérieure du glissement : **la photogrammétrie**, qui permet de reconstruire des modèles 3D du terrain.

La prise de clichés interprétables pourrait s'envisager de manière biannuelle sur le long terme, avec une augmentation de la périodicité en cas d'accélération des mouvements..

Le service ONF-RTM 05 pourrait assurer cette mission au titre de ses missions d'appui au préfet, pour la surveillance biannuelle. ,

**Cette méthode pourrait être utilisée par exemple pour identifier des zones de comportements différents au sein d'un même glissement et ainsi mieux dimensionner l'instrumentation à mettre en œuvre par la suite, en cas de reprise notable de l'activité** : dans ce cas, la mise en place de balises GNSS semi-permanentes type GEOMON ou GEOCUBE en un certain nombre de points répartis sur le glissement paraît un très bon complément.

En complément de ce suivi d'activité du glissement, il nous paraît important **de disposer de séries de données météorologiques sur site**, notamment la pluviométrie afin d'étudier d'éventuelles corrélations pluie/déplacement. **L'accès aux données des deux stations météo de l'UNISTRA serait donc très utile.**

#### 4.2.4 Suivi de la piézométrie

Compte tenu de l'absence de circulations d'eau mesurées dans le piézomètre installé par la SAGE en 2018 (sans doute pas assez profond), et des interrogations qui subsistent sur l'influence des eaux souterraines, nous préconisons la réalisation d'un nouveau forage, équipé d'un nouveau piézomètre plus profond que l'actuel.

L'objectif serait d'atteindre 50 m de profondeur, en destructif, et la réalisation de diagraphies. Il serait intéressant d'équiper ce forage avec **une instrumentation automatique** (sonde piézométrique, inclinomètre). L'objectif est de collecter des informations intéressantes sur les circulations d'eau, corrélées avec les données des deux stations météo.

L'Unistra nous avait fait part de ce projet de nouveau forage profond au mois de mars 2019, sur ses propres crédits, mais il n'est pas encore réalisé.

## Annexes

Annexe 1 : carte de zonage morphologique du glissement du Pas de l'Ours

Annexe 2 : carte des cibles installées par le BE Géolithe lors du suivi topographique automatisé

**Agence RTM des Alpes du Sud**

**Service RTM des Hautes-Alpes**

5, rue des Silos – CS 36003 - 05007 GAP CEDEX

Tél : 04.92.53.61.12

[rtm.gap@onf.fr](mailto:rtm.gap@onf.fr)



**Office National des Forêts**

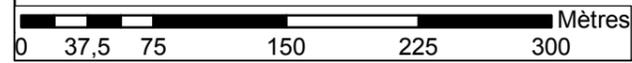
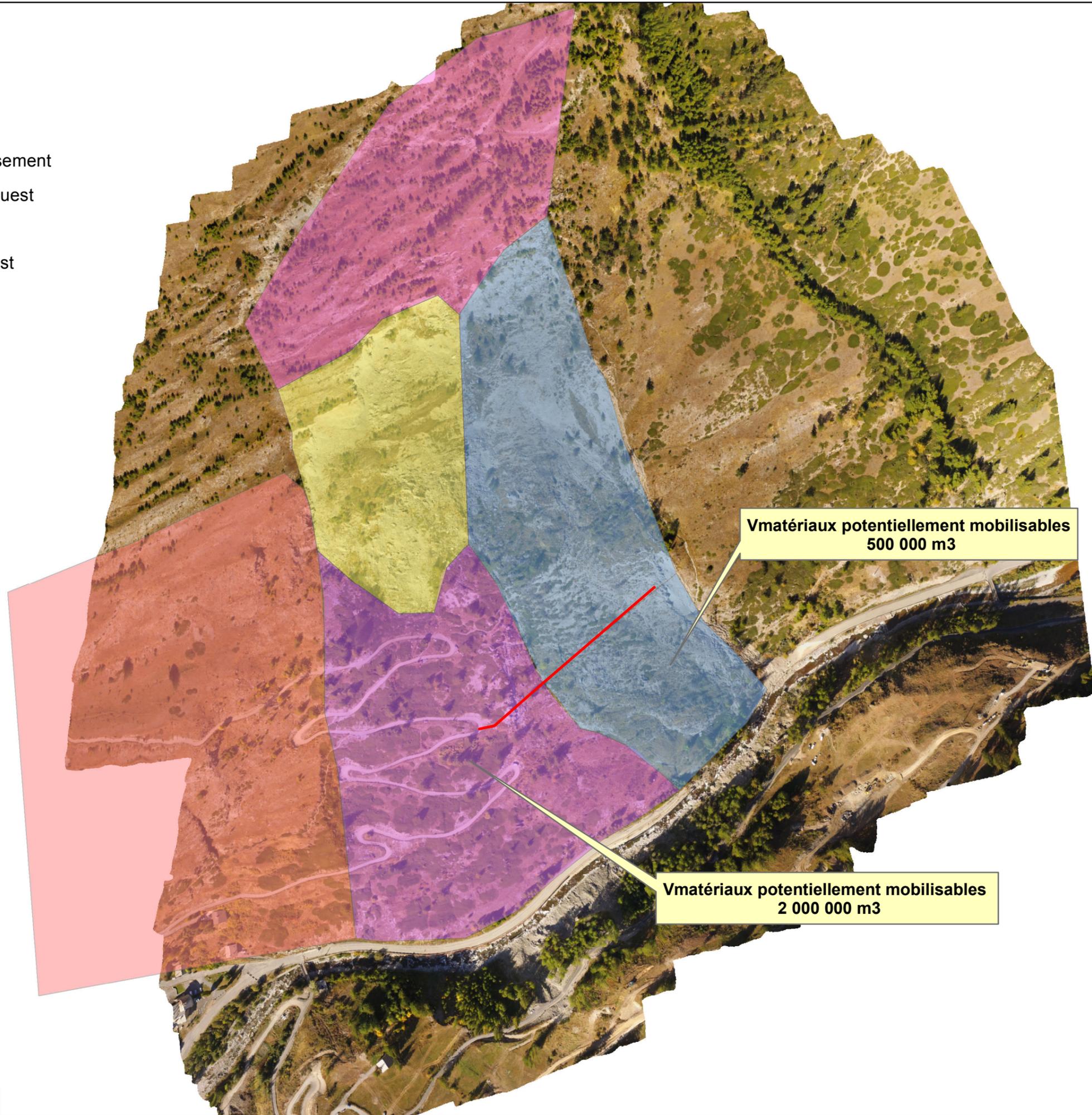
[www.onf.fr](http://www.onf.fr)



PEFC 10-4-4 / Promouvoir la gestion durable de la forêt / [pefc-france.org](http://pefc-france.org)

# Légende

- 2018\_PS11(remontée substratum)
- ZONE A plateau sommital
- ZONE B extension Ouest paléo-glissement
- ZONE C supérieure compartiment Ouest
- Zone D compartiment Est
- Zone E inférieure compartiment Ouest



# Légende

- cibles
- inclinomètres
- ▬ Mur avec tirants
- - - ligne EDF aérienne
- ⬡ Poteaux EDF



Echelle : 1/2000

