

Soutiens et partenaires :



Avec le soutien de



FONDS NATIONAL D'AMENAGEMENT ET DE DEVELOPPEMENT DU TERRITOIRE Massif des Alpes



Pied de glissement de Cohennoz



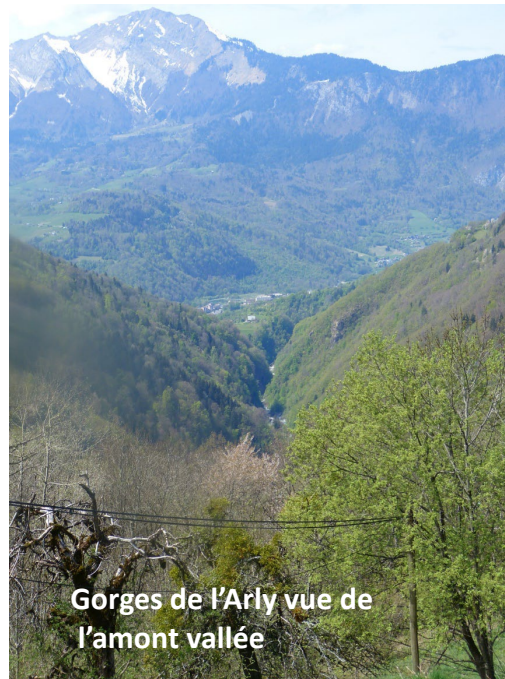
RD 71 sous Malatrait



## Projet Science-Décision-Action



## Résultats du projet MIROIR relatif aux Gorges de l'Arly



Gorges de l'Arly vue de l'amont vallée



Gorges de l'Arly vues du plateau des Saisies

# Projet MIROIR et les Gorges de l'Arly



- Évènements de mai 2015 à l'origine du projet. Esquisse préliminaire sur les glissements de versant des gorges de l'Arly (Rapport BRGM RP-65675-FR)
- Montage d'un projet sur 3 ans en 2018 (validé au second semestre 2020). Juste avant le dépôt, le partenaire prévu sur le risque torrentiel s'était désisté (problématique de fait absente ensuite du projet MIROIR).
- Projet Feder-POIA avec deux sites alpins mis en // du fait d'une forte similarité (géologie, récurrences historiques des mouvements de terrain en versant, vallée encaissée à cours d'eau torrentiel, enjeux directs limités aux routes mais forts dommages indirects craints, versant peu à pas étudié.....)
  - Gorges de l'Arly en Savoie (site initial);
  - Vallée du Haut Guil dans le Queyras (site en miroir), au final concentré exclusivement sur le glissement du Pas de L'Ours.
- Partenaires du projet : ADRGT, BRGM et PNR Queyras.
- Projet démarré en sept. 2020 pour finir officiellement (POIA) en réalisations à fin mai 2023
- Budget autour des 400 KEuros en dépenses éligibles.



# Projet MIROIR

## Objectifs du projet

Démarche prospective : identifier et caractériser au mieux les instabilités de versant présentes mais peu à pas étudiées, notamment en termes de sensibilité au changement climatique, pour essayer ensuite évaluer les possibles dommages prévisibles (directs, mais aussi indirects dans le contexte de ces vallées alpines encaissées avec cours d'eau torrentiel).

## Grandes phases du projet :

- Caractérisation géologique/hydrogéologique/géophysique/géotechnique dans les flancs de vallées des masses mobilisables, en utilisant les méthodes innovantes émergentes (LIDAR, photogrammétrie.....). Appréciation des dynamiques du versant et estimation des volumes d'apports solides potentiels en fonds de vallée au cours d'eau ;
- Un peu d'instrumentation et suivi de sites actifs (photogrammétrie, hydro-climatique);
- Mise en situation au vu des scénarios de changements climatiques les plus probables pour estimer les dommages physiques (voire économiques);
- En fonction des dommages ainsi estimés, et si besoin au vue du risque, proposer des recommandations (actions préventives à plus ou moins long terme).

## Résultats attendus :

- Conclusions des études prospectives sur la qualification et quantification des risques liés à ces instabilités historiques de versant, et notamment définition de recommandations pour la gestion locale des risques intégrés (si besoin dispositifs opérationnels adaptés au contexte local graduels : vigilance, puis suivi puis en cas ultime d'alerte);
- Comparaison avec les autres sites français et européens (à la faveur d'autres actions européennes passées ou en cours) en vue de transposition ultérieure aisée à d'autres vallées alpines concernées et une déclinaison locale facilitée.

# Projet MIROIR

## Articulations du projet

- **WP1 : Gouvernance du projet ;**
- **WP2 : Collecte et acquisition de données;**
- **WP3 : Caractérisation des masses instables et des cinématiques en jeu et instrumentation;**
- **WP4 : Simulation de scénarios de risques;**
- **WP5 : Conclusions, transposition et communication.**

**Les actions des WP3 et WP4 dépendent fortement largement des données acquises et collectées à l'étape WP2 (nombre, fiabilité et des délais). Pour optimiser l'étape WP2, un historien avait été consulté les archives historiques à la recherche des mouvements de terrain ancien.**

**Les rapports préexistants ont été bien récupérés (SAGE, mais pas que), par contre pour les données numériques associées, cela a été plus compliqué (délai, récupération partielle). Le MNT de 2015 post-crise a été récupéré sans souci (DDT) mais aussi un MNT plus ancien de 2013 (DREAL)**

**Au final, beaucoup de données qualitatives ont été récupérées +/- rapidement, mais plus pauvres qu'espéré en données numériques fiables à mouliner : nombreux évènements de mouvements de terrain, mais souvent peu précis, mal datés, chroniques climatiques nombreuses mais sur des périodes variées (station fixe, données SAFRAN), chroniques des déformations du versant limité au glissement de Montgombert (2016 à 2021).**

**A contrario, un MNT LIDAR a été réalisé en 2022 (pas prévu initialement).**

**Un test expérimental de matériel de monitoring in situ (déformation de versant avec suivi GNSS) a été réalisé gracieusement avec le BET topographe Hyp-Arc, mais avec des données trop succincts pour n'être que prometteur.**





# Projet MIROIR : contraintes, aléas et nécessaires adaptations

Effectivement,

- Planning très contraint dès le départ et pour des objectifs très / trop ambitieux;
- Des acteurs internes en nombre limité, avec des problèmes de disponibilité (surtout coté BRGM), largement aggravée, par le manque de données immédiatement disponibles et le COVID;
- Un avancement en retard dès le début et s'accroissant au fil du temps;
- Manque de pratique et d'expérience du chef de file BRGM sur ce type de projet;
- Des restitutions trop rares (mais le gros des résultats n'a été finalisé qu'en 2023), aussi par manque de résultats.

Et on a essayé de s'adapter au mieux :

- Méthodologie initiale envisagée sur une évaluation de la sensibilité climatique des instabilités de versant handicapée du fait de données numériques fiables trop pauvres => Résultats en termes de seuils hydroclimatiques mitigés au niveau de Montgombert et non concluantes ailleurs. Abandon d'un volet changement climatique, qui semblait de + assez hasardeux en terme de prévisions de scénario) et résultats proposés en termes de perspective basée sur le dire d'expert, bien plus qu'une approche scientifique
- En lieu et place, modélisation plus classique de stabilité de versant pour déterminer les zones principales d'instabilité de versant et estimer la propagation jusqu'au fond de l'Arly (et surtout une idée des volumes arrivant à l'Arly) .

# Géologie

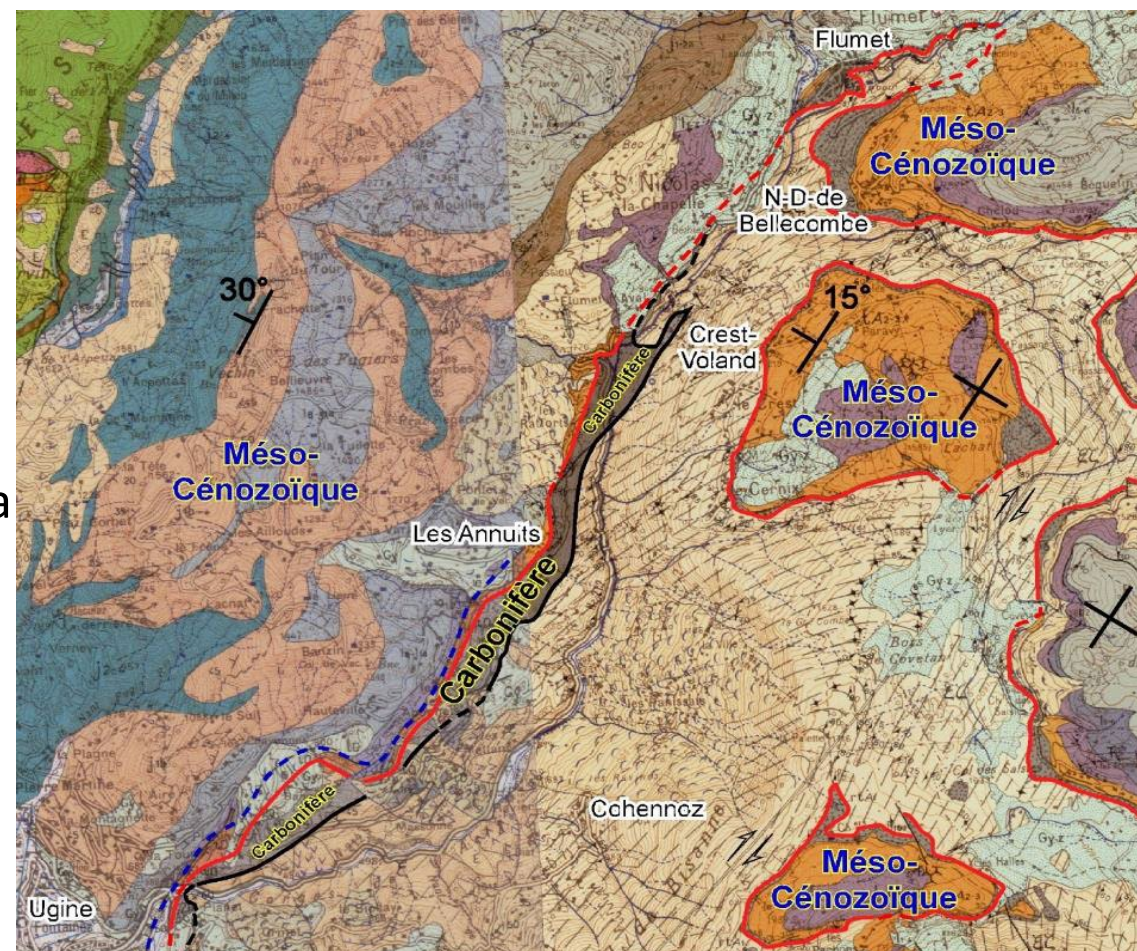
## Levés géologiques faits en septembre 2021 + mission complémentaire en avril 2022 pour mettre en relation géologie et géomorphologie.

Les levés géologiques ont concerné la partie des Gorges de l'Arly mais aussi les abords tant amont qu'aval de la vallée de l'Arly. Les données ont alimenté un modèle géologique numérique 3D sous GéoModeller concernant les micaschistes de la Série Satinée (Paléozoïque Inférieur) mais aussi des 2 couvertures discordantes de terrains sédimentaires (carbonifère et mésocénozoïque).

Sur la zone d'étude, la couverture résiduelle mésocénozoïque se limite au Permo-Trias en rive gauche (plateau des Saisies) mais elle se poursuit jusqu'au Crétacé en rive droite (Héry), moyennant une zone de décollement entre le Trias et le Lias.

La discordance de la couverture résiduelle mésocénozoïque sur les micaschistes est en antiforme à faible courbure, dont la charnière correspond plus ou moins à la vallée de l'Arly avec plongement nord (cf diapo suivante).

Les micaschistes sous couverture discordante directe mésocénozoïque montrent une décoloration de teinte lie-de-vin, indicatrice d'un profil d'altération partiellement préservé.

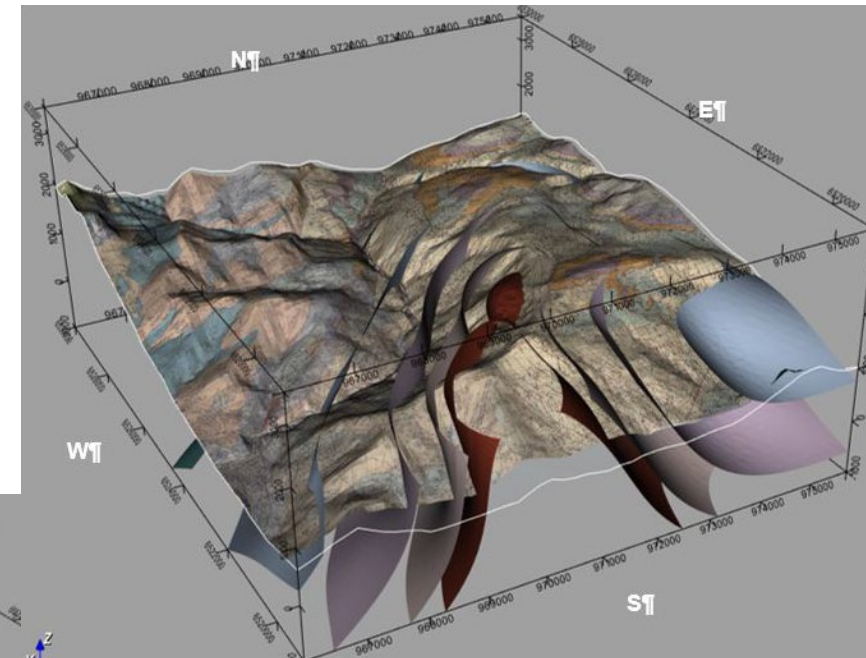
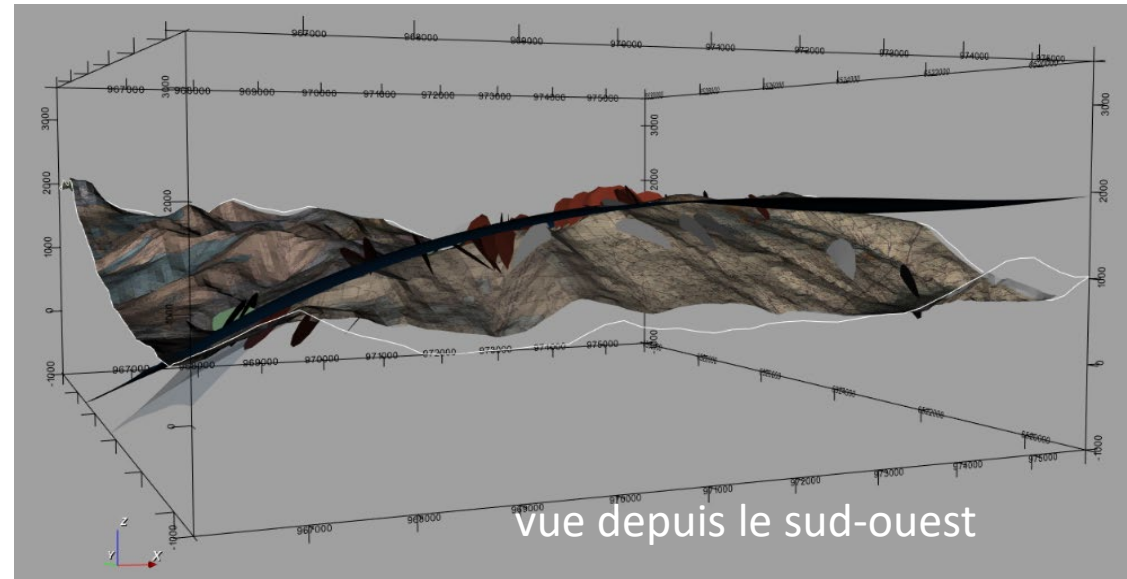




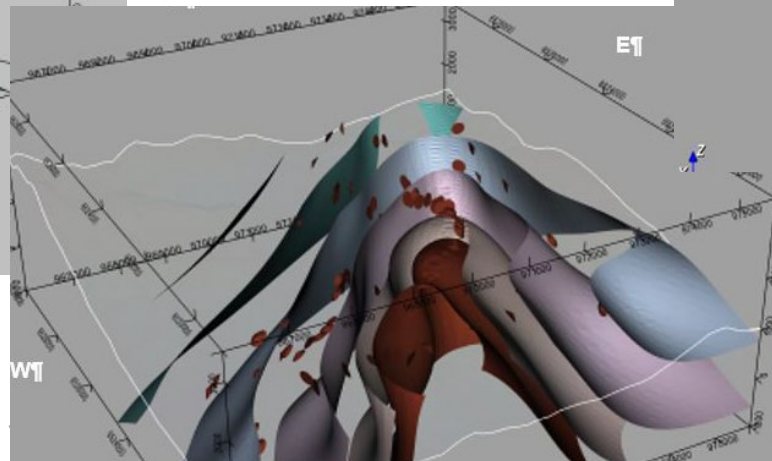
# Schistosité des micaschistes

En forme également d'antiforme, avec le centre du dôme situé à une centaine de m au NW de la butte de Bisanne.

La schistosité reste très redressée tout autour, souvent sub-verticale.



## Géologie



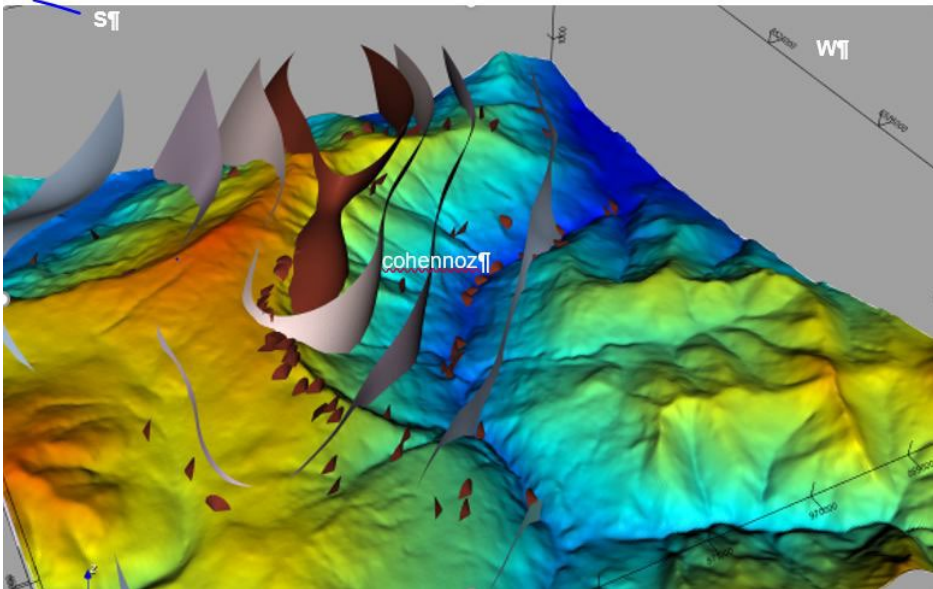
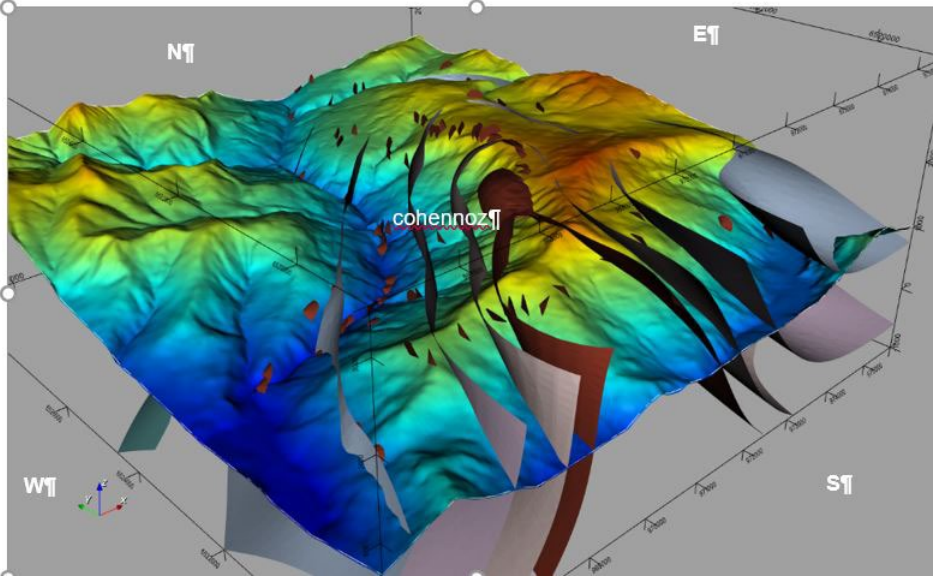
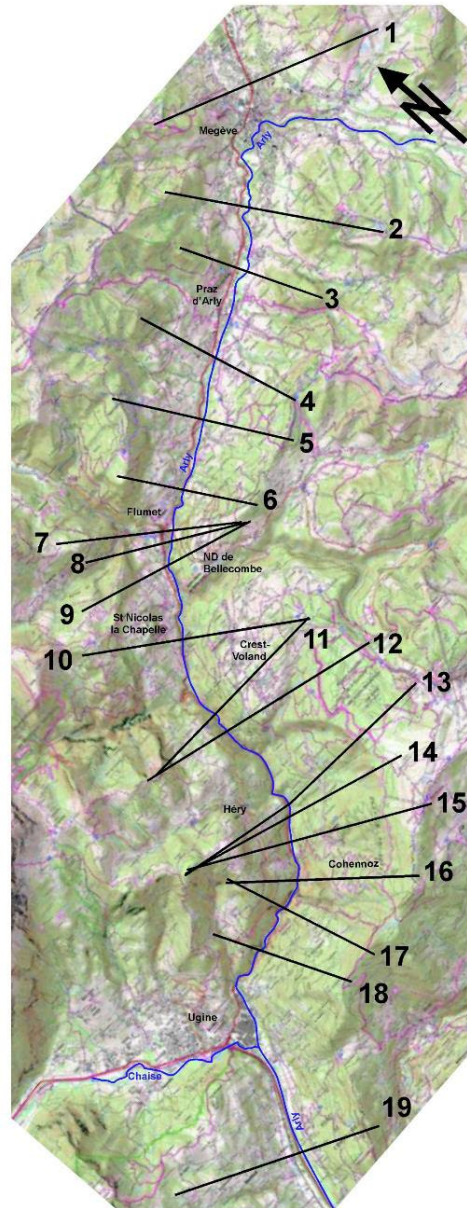
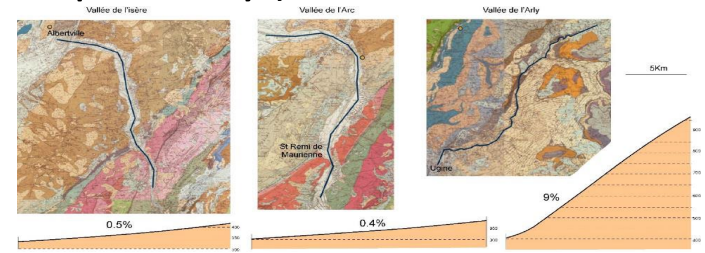
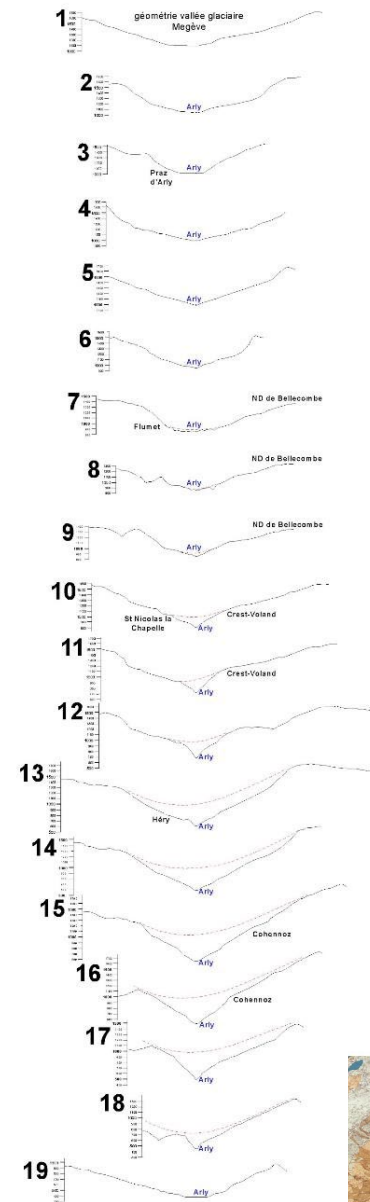


# Vallée de l'Arly

Vallée glaciaire en U peu incisée et avec lit du cours d'eau à pente forte en amont de Flumet et en aval d'Ugine.

Entre les deux, vallée en V bien incisée et avec lit du cours d'eau à pente forte

Capture tardive de la partie amont de l'Arly par la partie aval de l'Arly (vallée glaciaire perchée en amont ré-incisée par l'Arly)

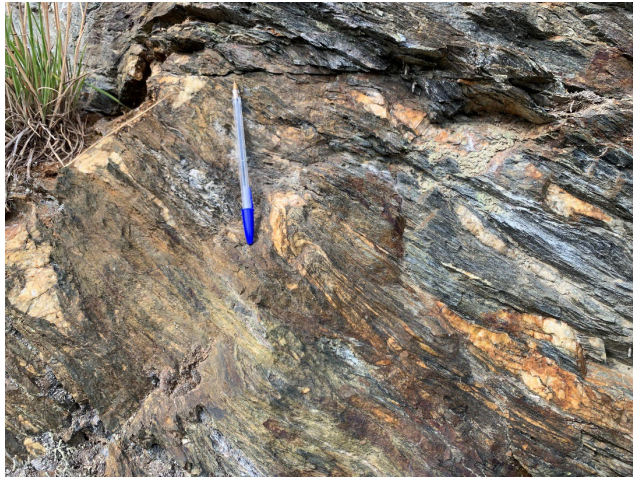


# Géologie

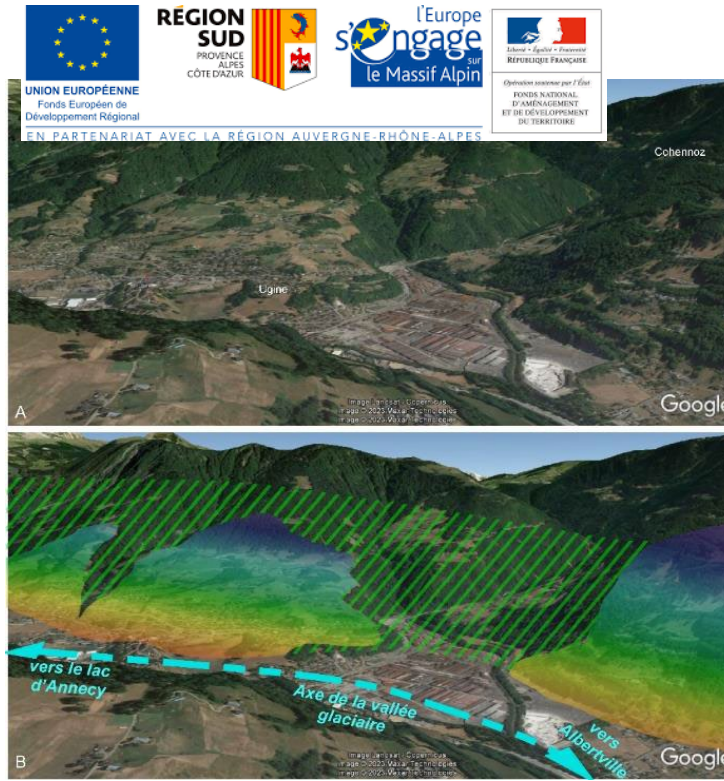


# Géologie

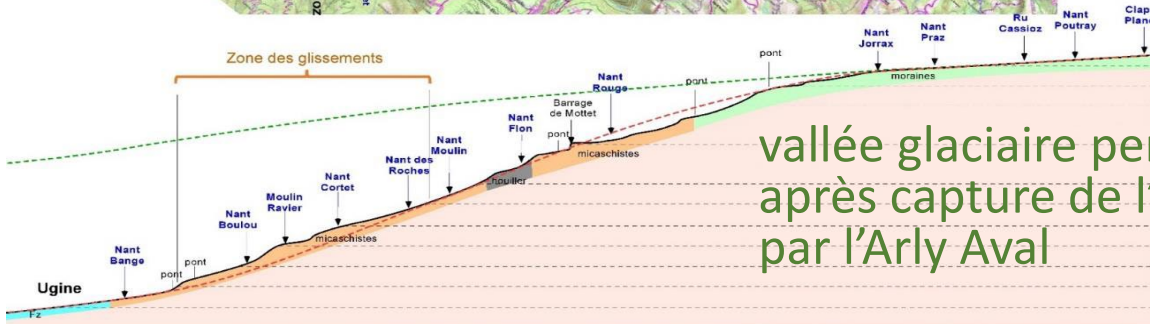
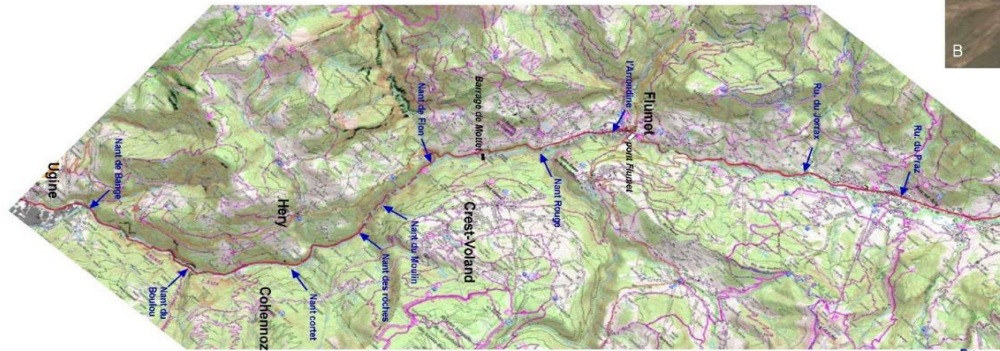
Journée restitution MIRROR Mairie d'Ugine 28/09/2023



## Vallée de l'Arly



Zone à schistosité faiblement inclinée mais affectée par des failles normales conjuguées subverticales

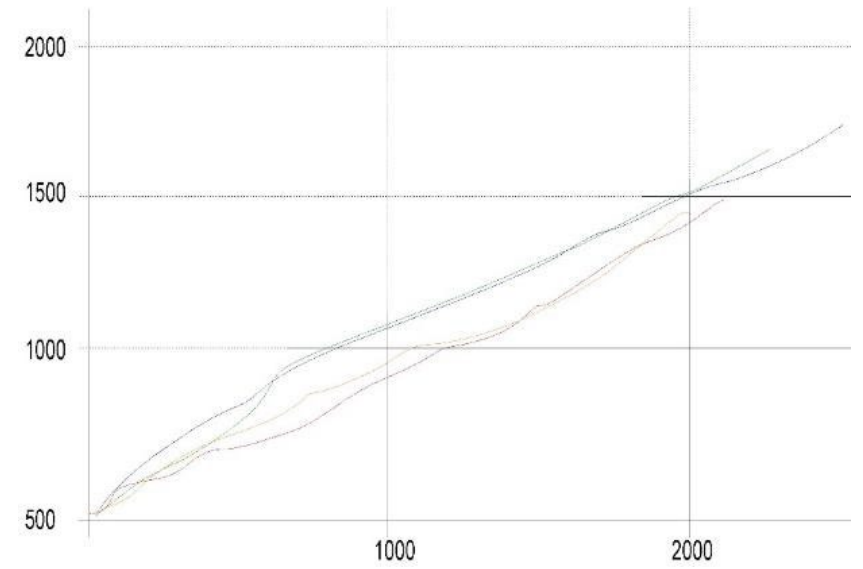
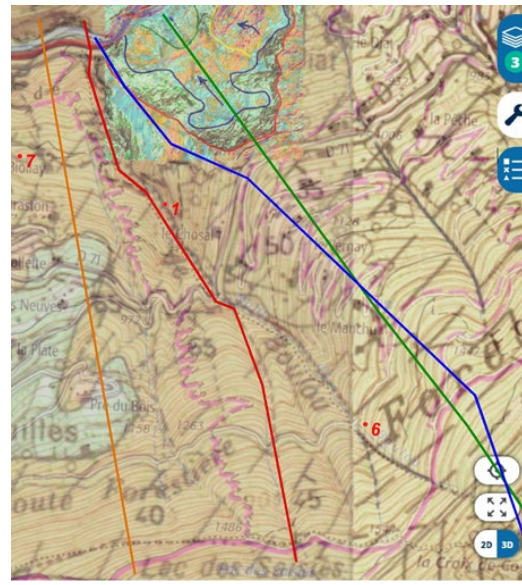
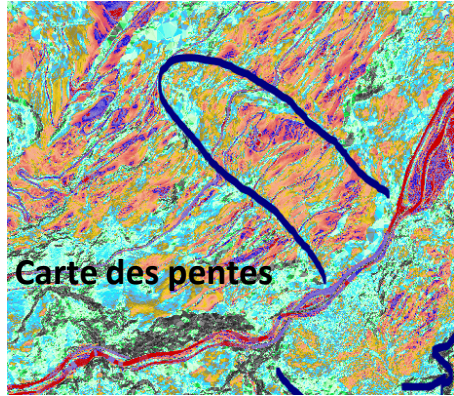


vallée glaciaire perchée après capture de l'Arly amont par l'Arly Aval

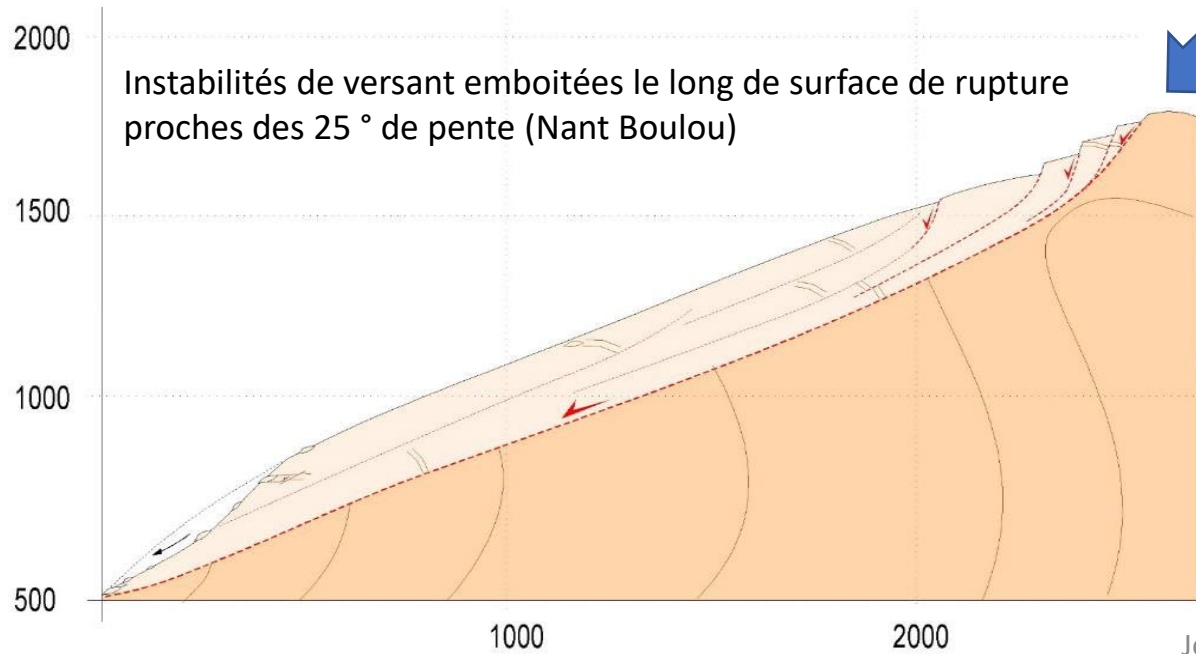




# Géologie



Profils de versant autour du Nant Boulou tous proches d'une pente globale de 25 à 27 ° (comme à La Clapière)





# Géologie

Conjonction globale de plusieurs facteurs spécifiques dans les Gorges de l'Arly, à l'origine de la remobilisation poussée des versants par **l'incision importante** du cours d'eau à hauteur des gorges de l'Arly :

- par sape de pied des versants et élimination rapide des matériaux glissés en fond de vallée **du fait du charriage torrentiel**;
- par fauchage (**schistosité redressée**);
- Zones localement déjà localement **fragilisées par l'altération** sous couverture triasique;

Auxquels s'ajoutent d'autres facteurs communs à toutes les vallées alpines et leur héritage d'instabilités glaciaire et post glaciaire : paléoglisserment suite aux décompressions post glaciaire, réactivation en masse de panneaux de versant sur des pentes dépassant vite l'équilibre limite .....

Auxquels s'ajoutent localement toute une série possible de facteurs géologiques plus ponctuels : discontinuités, microplissements, variations locales de faciès lithologique.....

**Volet prévu d'envergure limitée, exploratoire, au regard de l'étendue de la zone concernée : Levers de terrain des indices visibles et campagnes de prélèvement et d'analyses physico chimiques des eaux, l'une en Hautes Eaux, l'autre en Basses Eaux.**

**Plusieurs questions posées initialement sur l'influence plus ou moins forte possible des écoulements des eaux sur les zones de glissement, au regard du contexte hydrogéologique local :**

- Rôle majeur ou pas des apports des buttes résiduelles aquifères triasiques du plateau des Saisies (Bisanne/Cernix) ?**
- Plusieurs pertes signalées sur le réseau hydrographique sur les Scan25 IGN à examiner. De manière plus globale, le fonctionnement hydrodynamique des écoulements souterrains semble t il très corrélé au fonctionnement hydrologique des écoulements de surface ou pas ?**
- Présence ou non de fonds hydrogéochemie contrastés, notamment entre les zones de micaschistes et la couverture mésozoïque (Trias) ?**

**Les observations de terrain ont déjà infirmé la présence de pertes significatives (même si de très petites pertes provisoires et diffuses ont été observées sur Cohennoz au moins).**

**D'une année sur l'autre à la même période, il a été observé de grands écarts en termes de saturation apparente des versants en surface et d'activité hydrographique, avec en juillet 2021 une forte saturation en surface, des signes de poussée inédits sur certains murs et des écoulements dans tous les talwegs (ou presque), puis en 2022 et 2023 le retour vers une situation beaucoup plus normale voire légèrement sèche.**





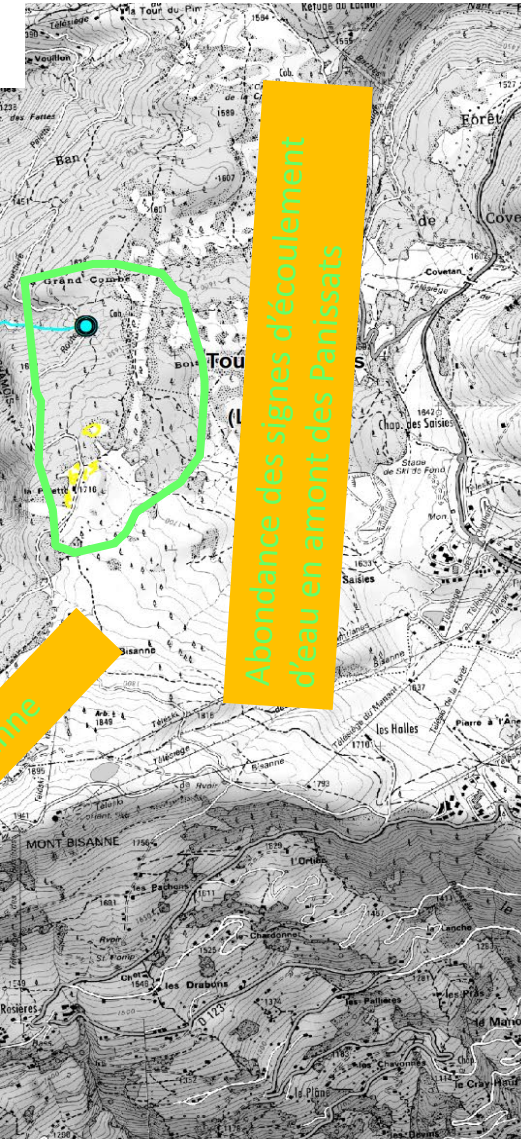


# Hydrogéologie- Hydrologie

- Emergence
  - Ecoulement de surface observé
  - Ecoulement de surface observé avec charriage fréquent
  - Point signalé par l'IGN comme perte totale
  - Végétation de zone humide
  - Zone humide/ tourbière
  - Réseau hydrographique pérenne
  - Régime d'écoulement observé
  - Drainage du versant
- Régime d'écoulement**
- En bleu, écoulement observé pérenne
  - En jaune, écoulement temporaire observé
  - En rouge, absence d'écoulement observé



Net talweg fossile suite à l'extension de 1931 du glissement de Cohennoz



Abondance des signes d'écoulement d'eau en amont des Panisats

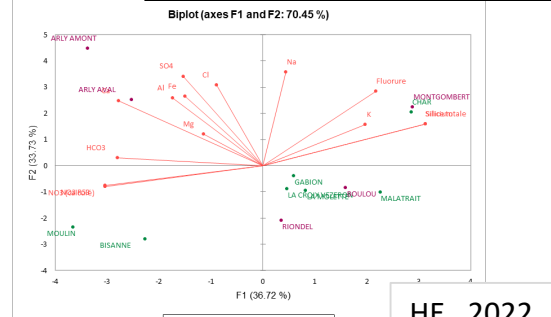
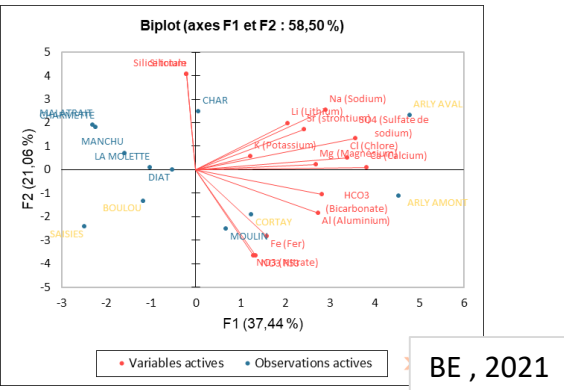
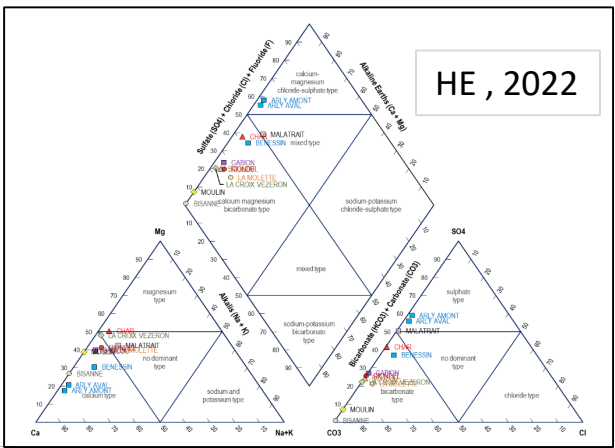
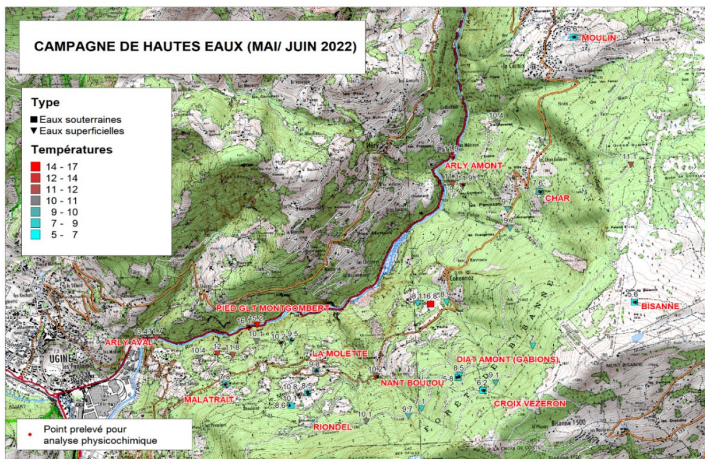
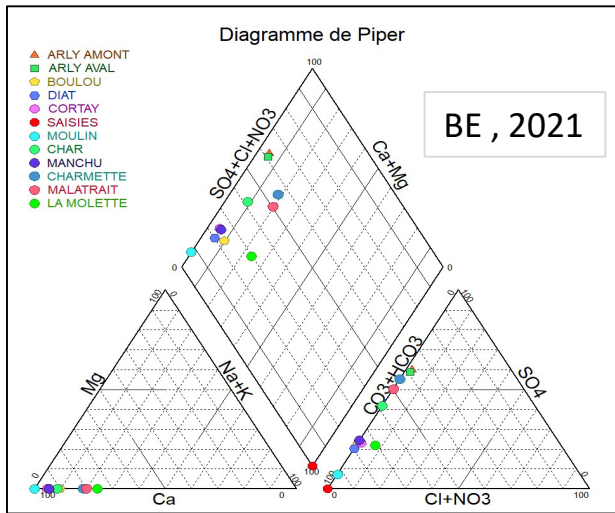
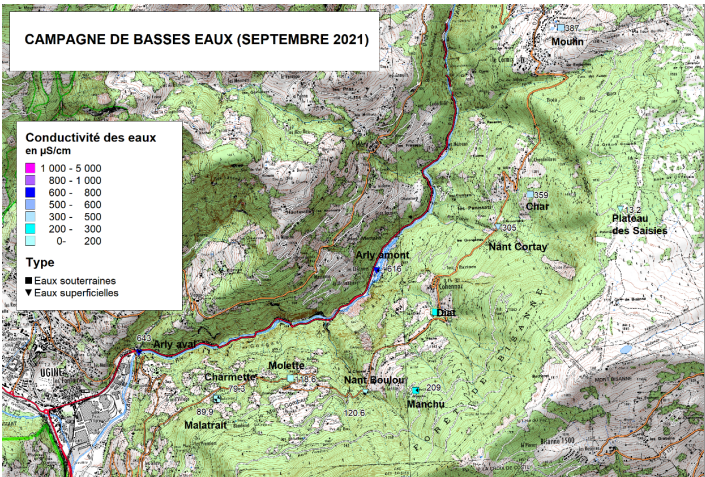
Butte aquifère de Bisanne

Net talweg fossile bordant une zone récemment active de la RD71

Abondance des signes d'écoulement d'eau en amont des zones de glissement d'Ugine



# Hydrogéologie- Hydrologie



## Campagnes de mesures

Mesures physicochimiques (T, pH, Cond, Redox, O<sub>2</sub> ...) sur 42 pts

Échantillons de 12 Pts à chaque campagne (dont 8 communs) :

- 7/8 points Eaux SOUTerraines (forage AEP ou émergence)
- 4/5 Eaux SUP. : Arly, Nant Boulou, Nant Cortay, Nant Diat

Pas de net contraste de fonds hydrogéochimique, même sur l'Arly + minéralisé :

Entre eaux issues des micaschistes et des buttes (Cernix/Bisanne)

Entre eaux souterraines et eaux de surface

Pas de variations très significatives entre Basses Eaux (sept 2021) et Hautes Eaux (Mai 2022) tant d'un point de vue mesures physicochimiques que d'un point de vue teneurs chimiques.



# Actions réalisées en géophysique et télédétection(ADRGT)

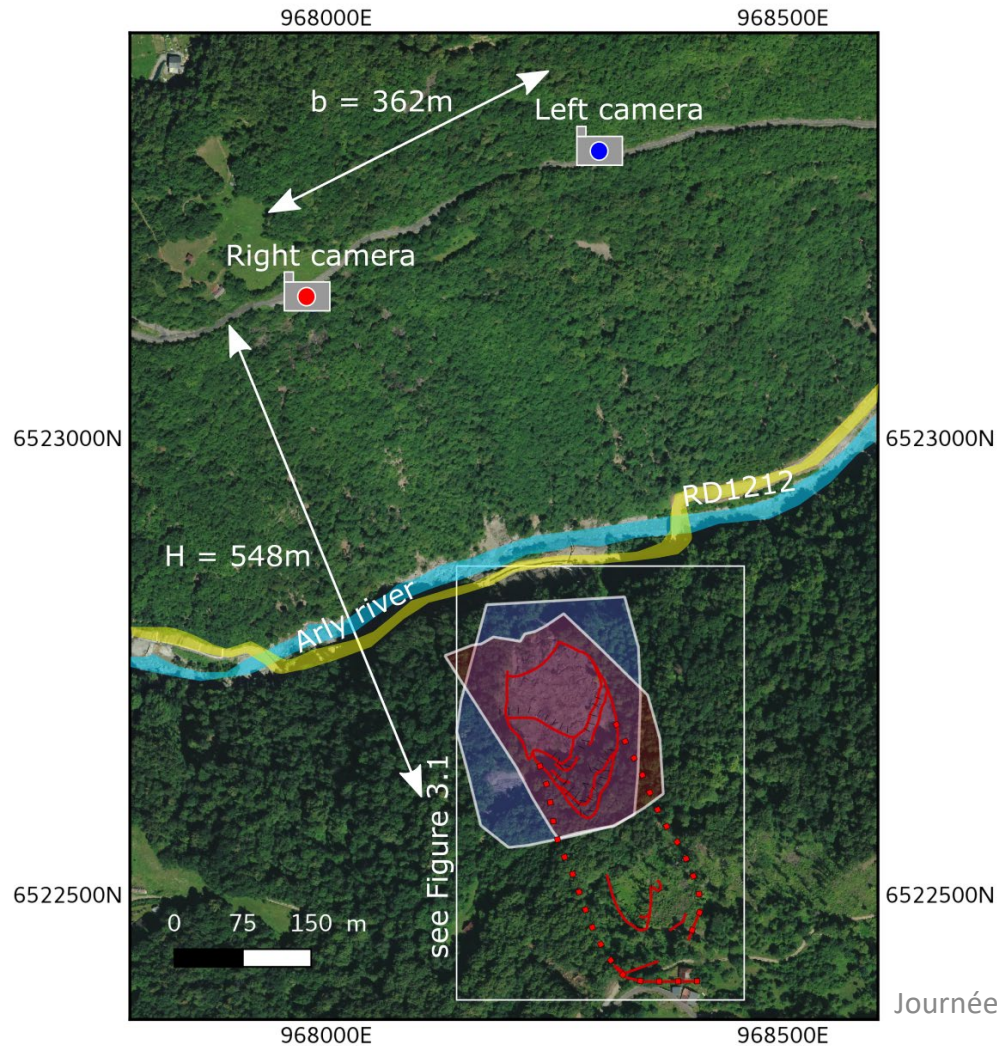
## Objectifs :

- quantifier les déplacements, → Développement d'un outil de télédétection de mouvement sur la base d'image terrestre fixe et lidar
- localiser les secteurs les plus actifs,
- les périodes de réactivation et les phénomènes déclencheurs

- détecter et cartographier les circulations préférentielles d'eau dans un mouvement de terrain → Développement d'une méthodologie d'étude des variations de circulation d'eau par méthodes géophysiques



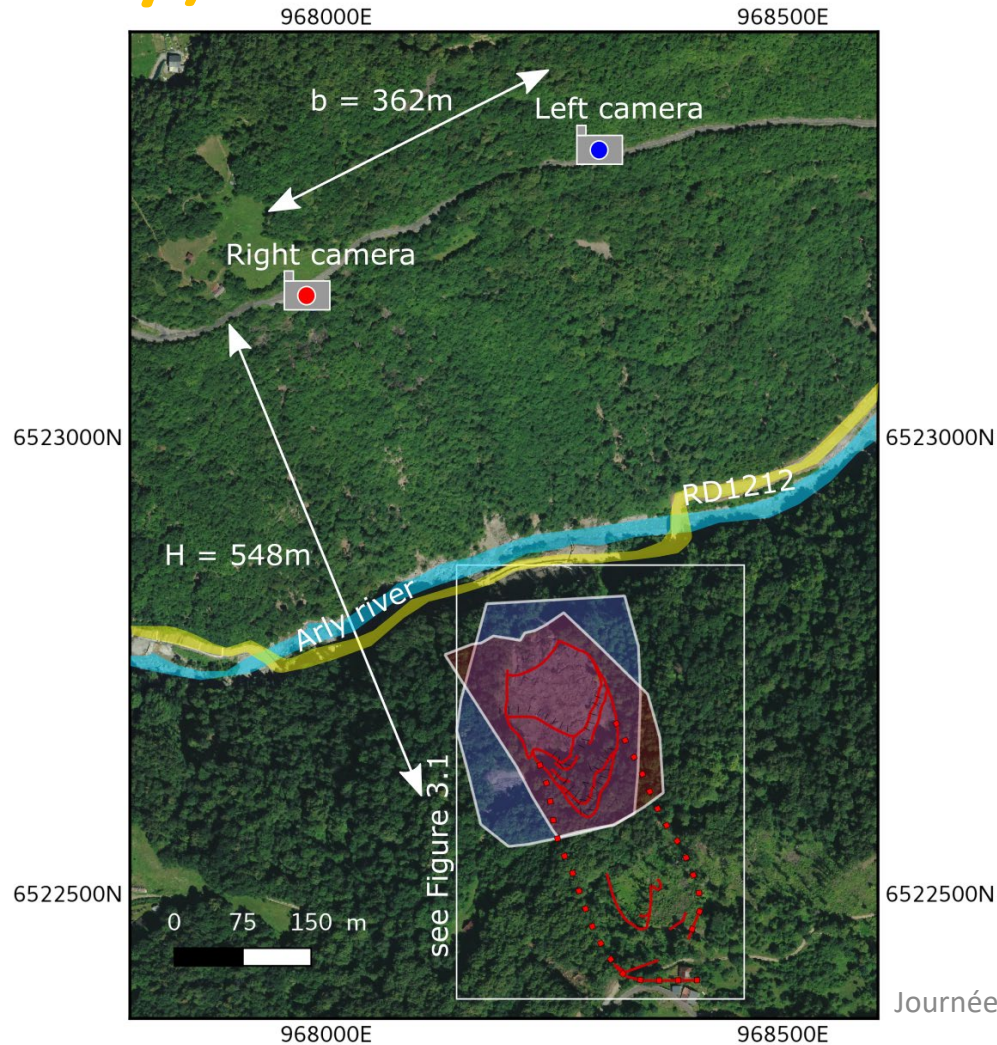
# Téledétection de mouvement : Montgombert (Arly)



- Canon EOS 100D, 18MPix
- Canon EOS 2000D, 24 MPix
- 24mm or 50mm
- Paratronics LNS Data logger



# Téledétection de mouvement : Montgombert (Arly)

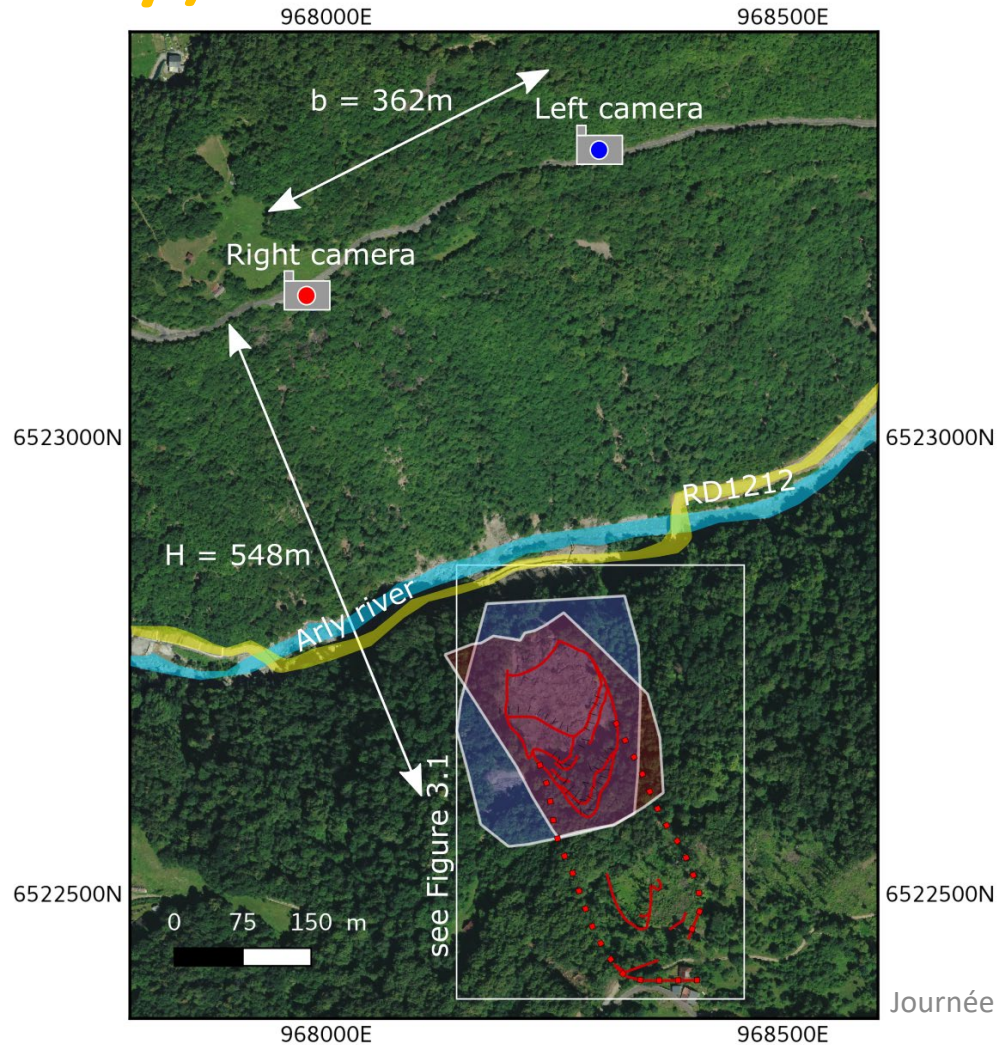


Avril 2021





# Téledétection de mouvement : Montgombert (Arly)

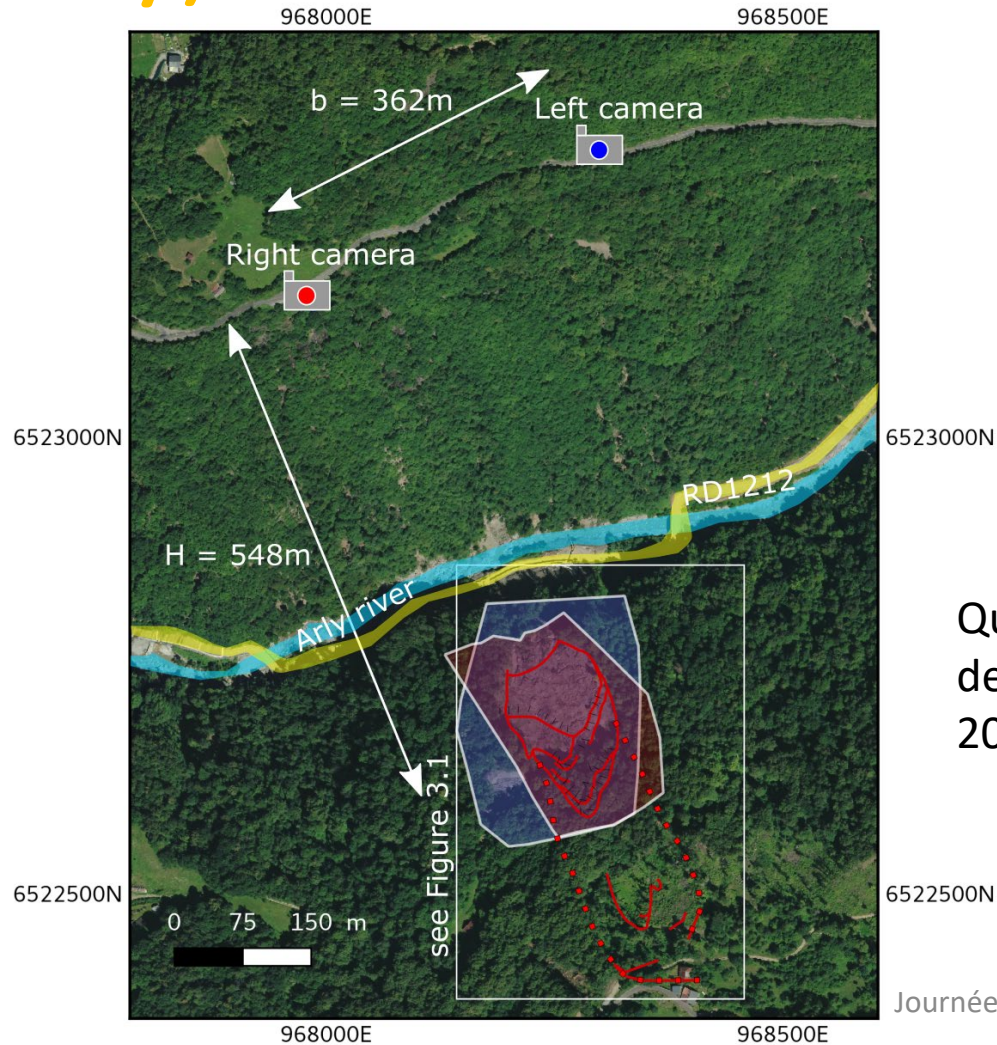


Avril 2022

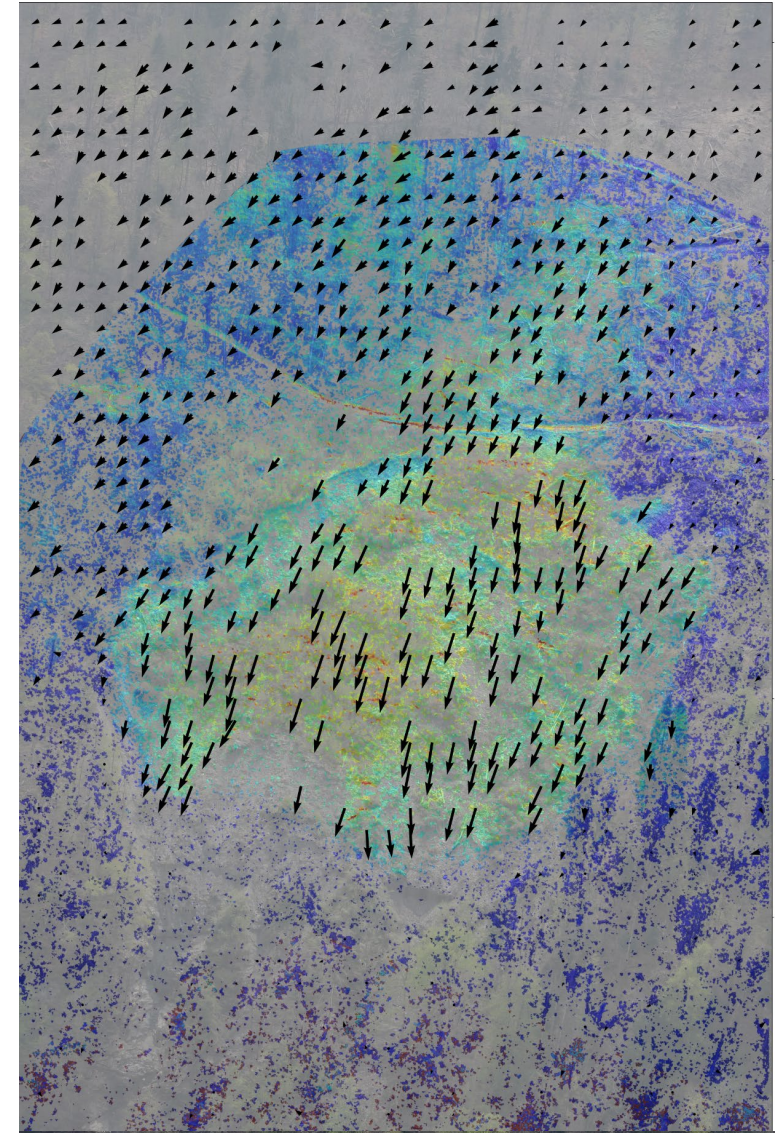




# Téledétection de mouvement : Montgombert (Arly)

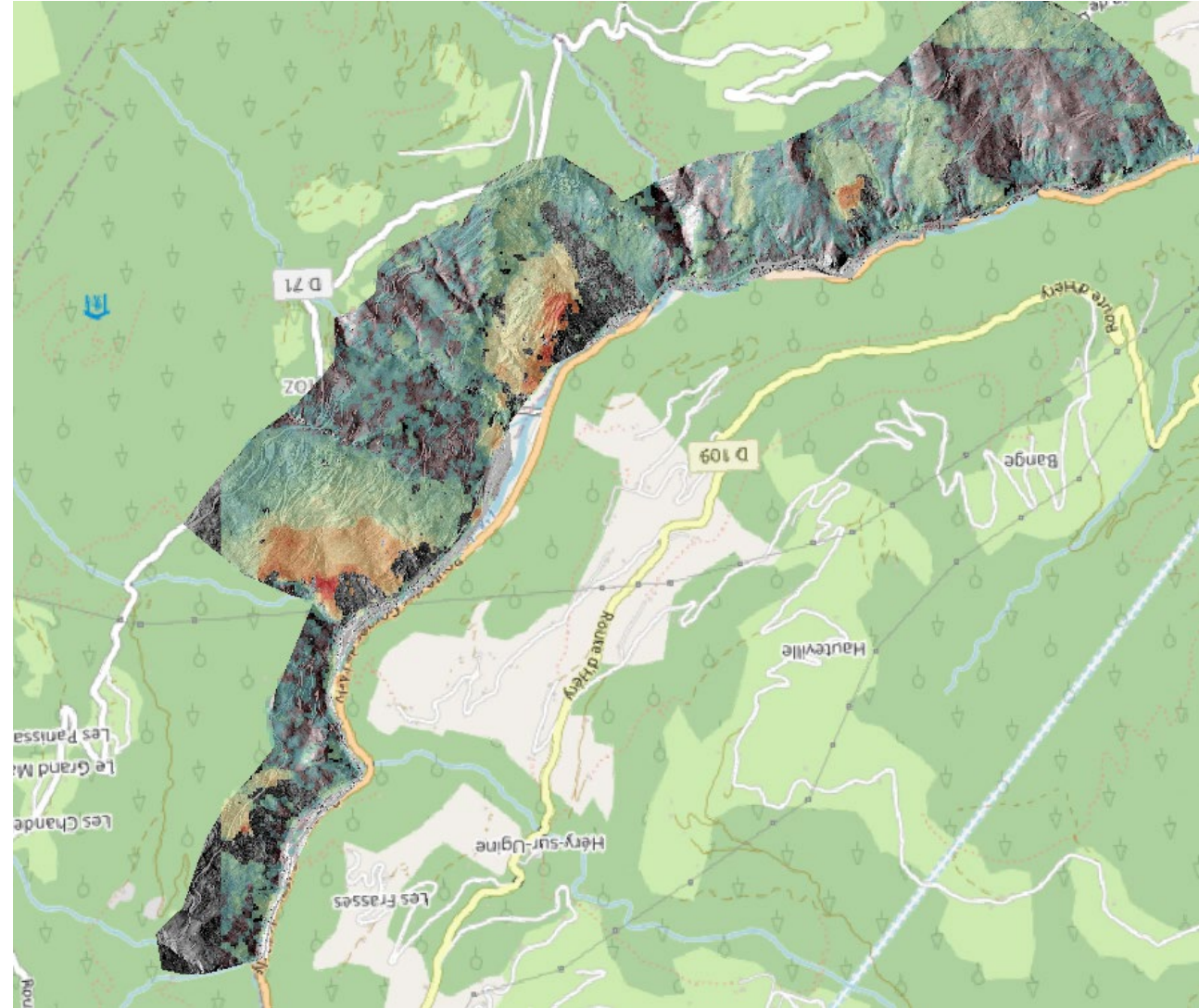
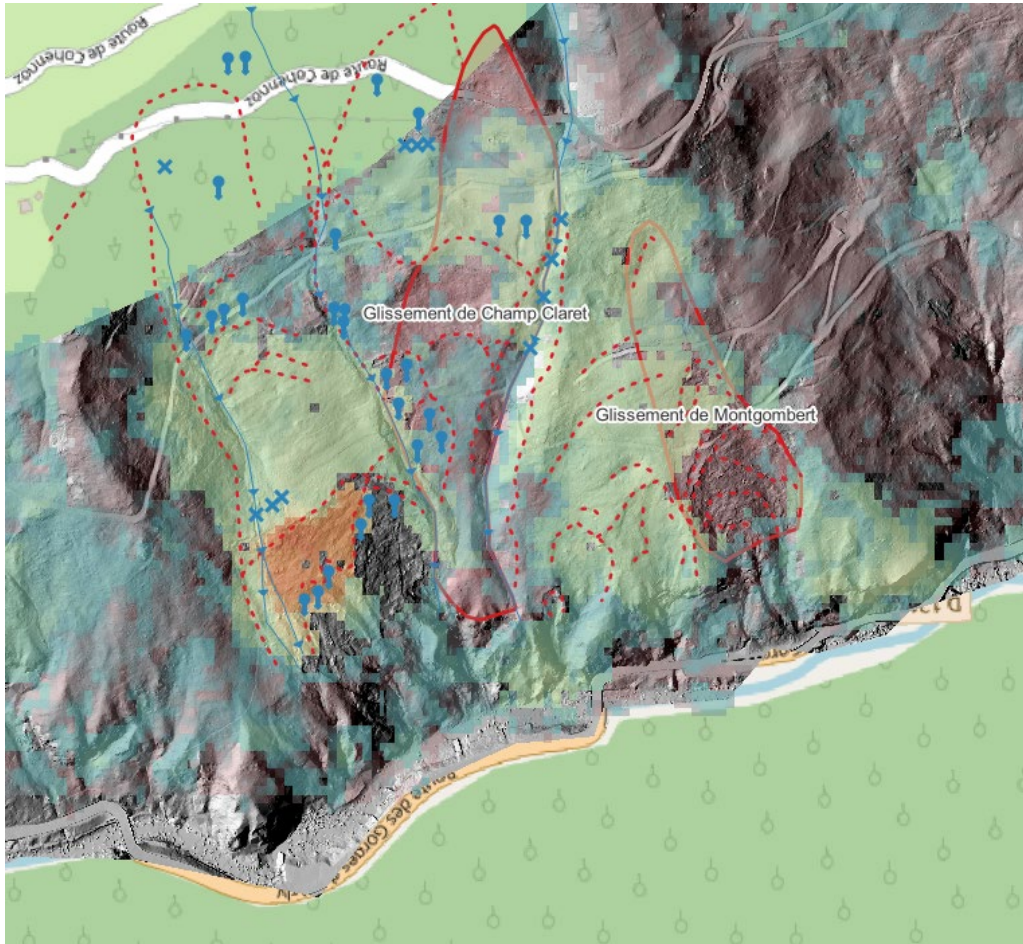


Quantification et localisation des déplacements entre avril 2021 et avril 2022





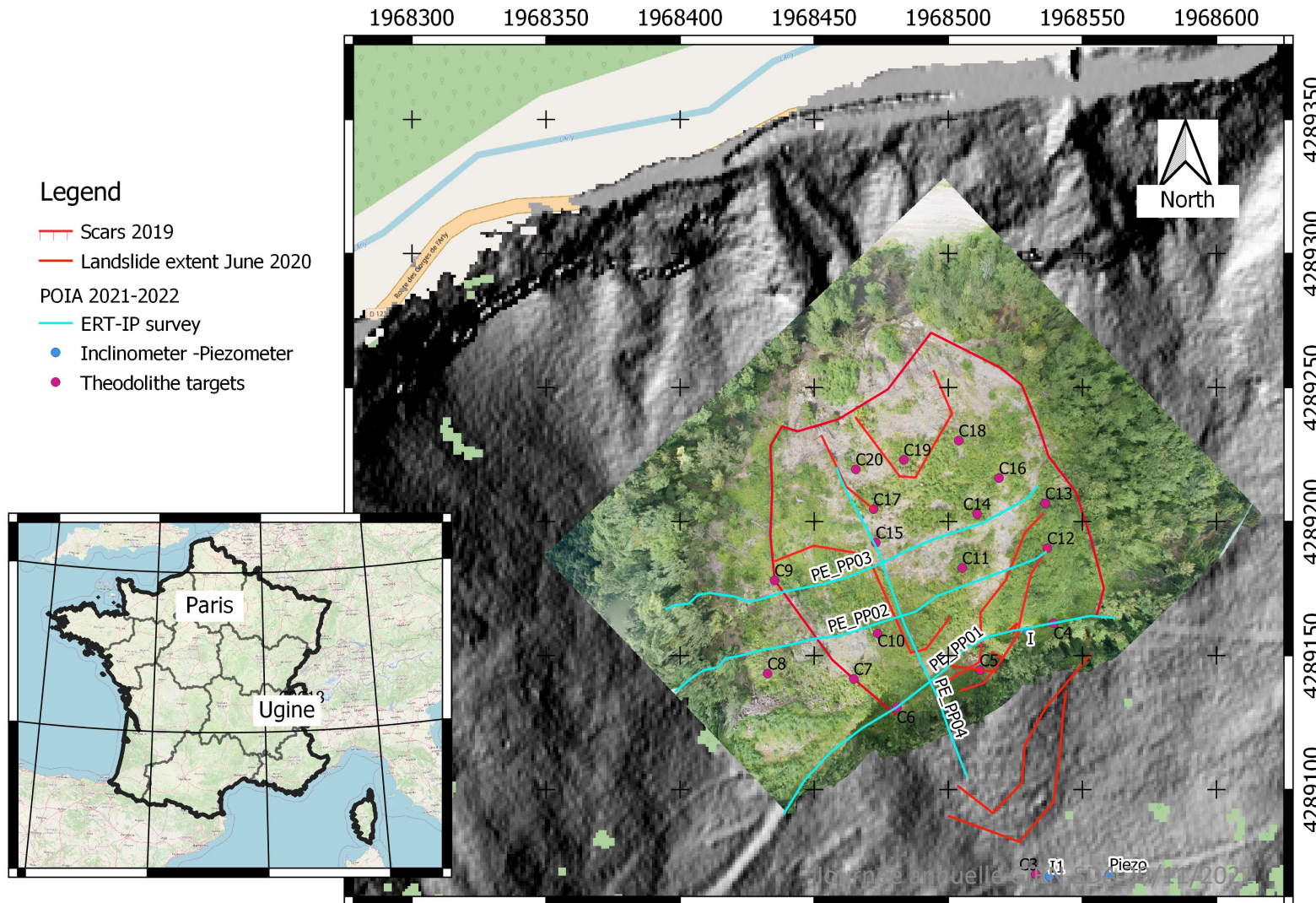
# Téledétection de mouvement : à l'échelle des gorges de l'Arly





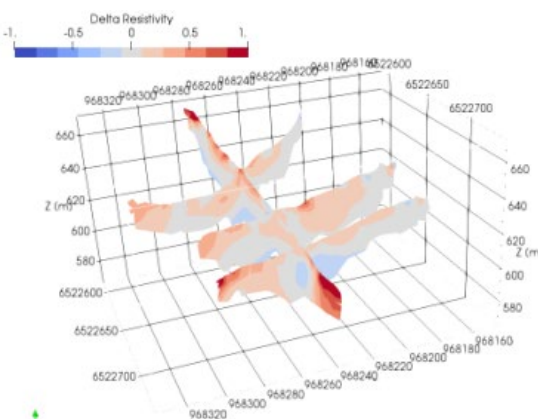
# Etude des circulations préférentielles d'eau par méthodes géophysiques

Trois campagnes : 04/21, 09/21 et 04/22

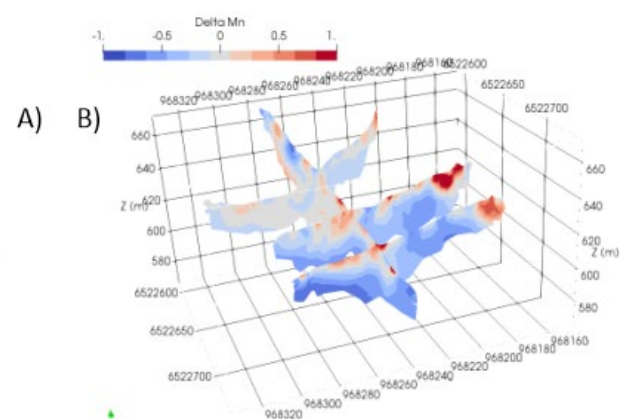




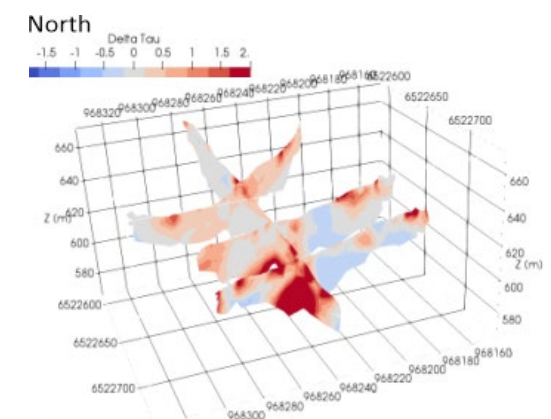
# Caractérisation des circulations préférentielles d'eau par méthodes géophysiques



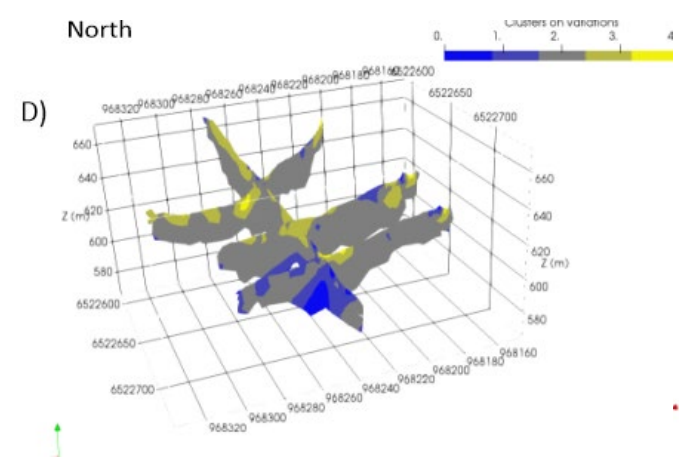
Résistivité relative



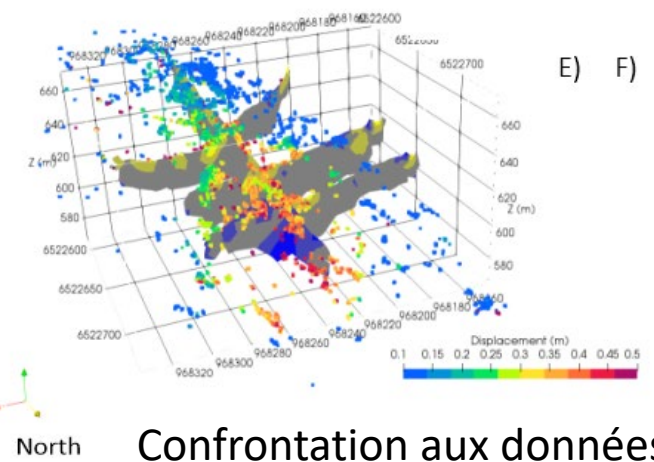
Chargeabilité normalisée



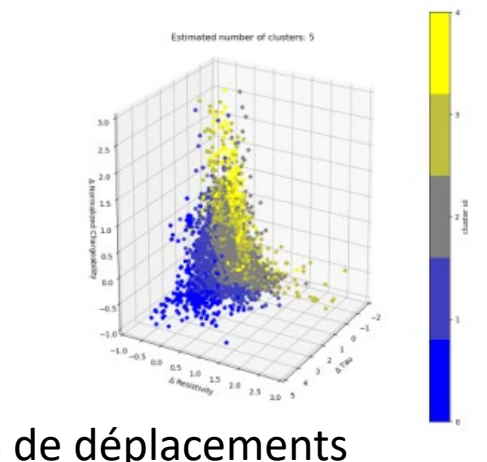
Temps de relaxation moyen



Résultat du clustering



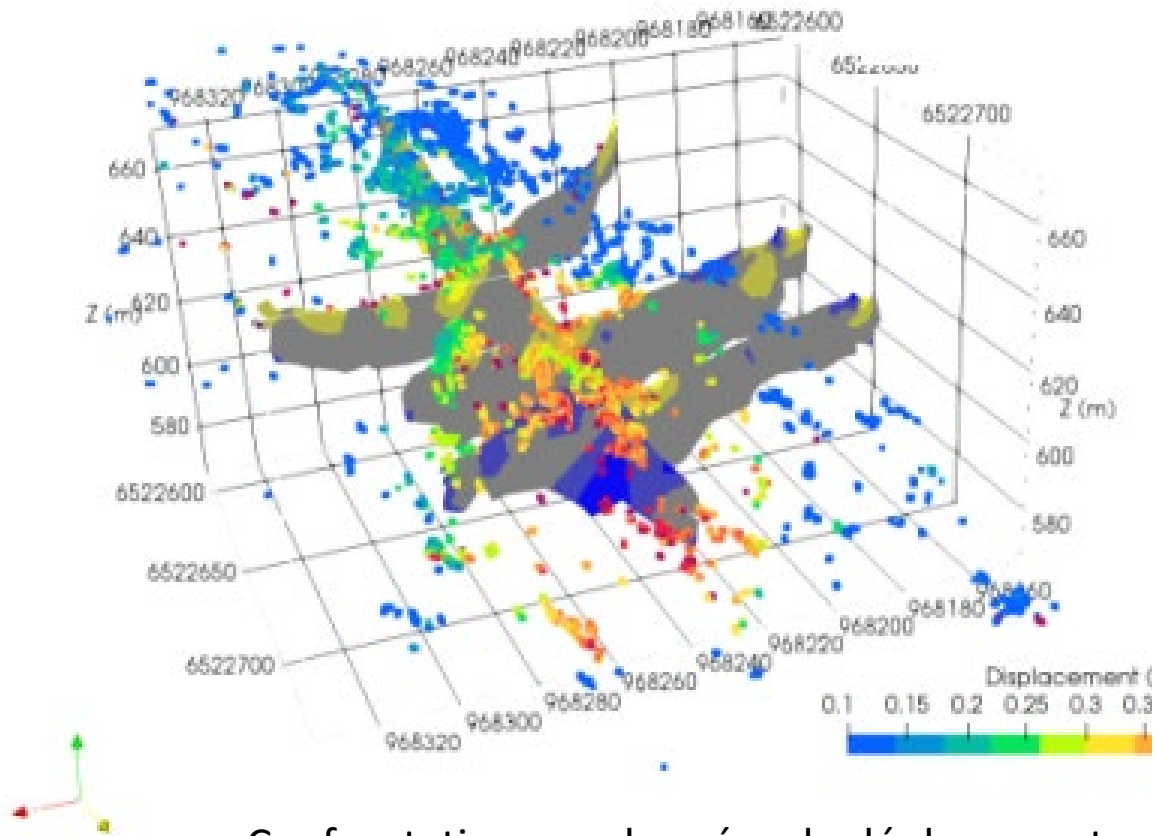
Confrontation aux données de déplacements



Journée restitution Mairie d'Ugine 28/09/2023

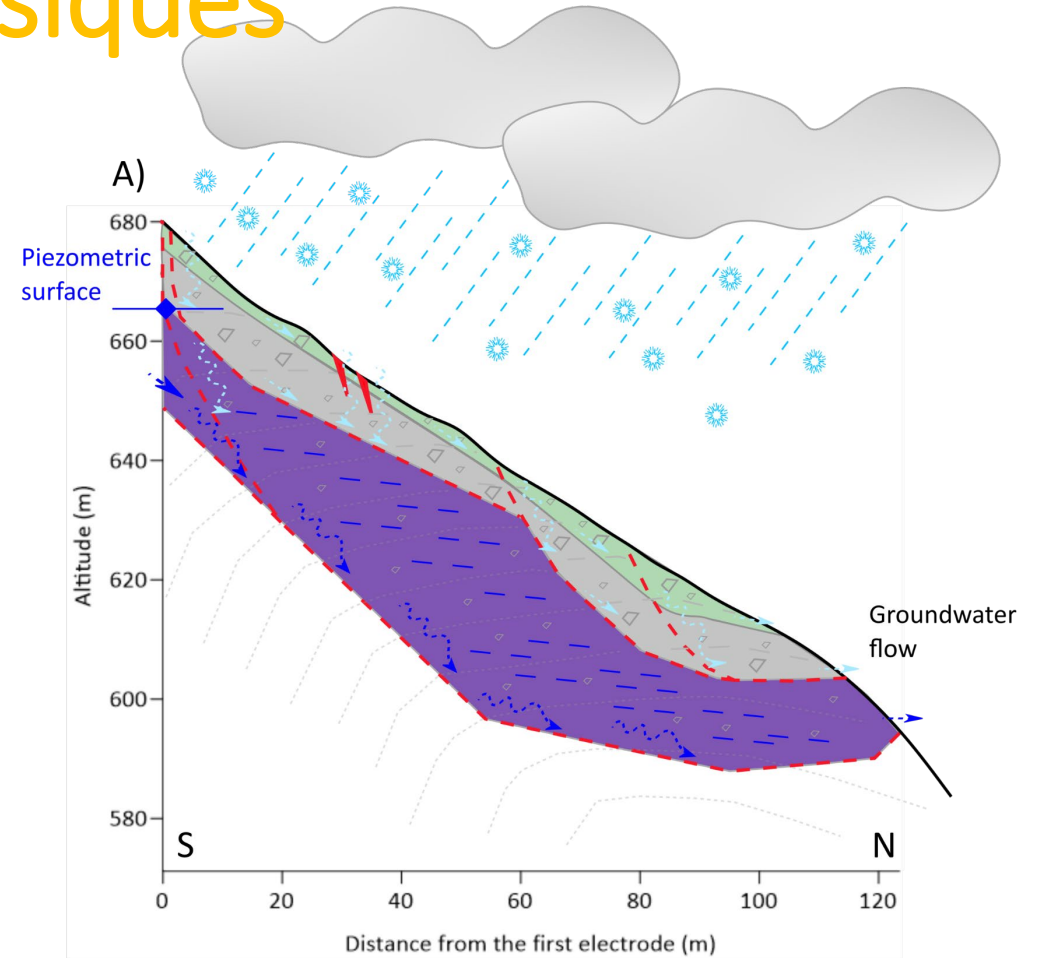


# Caractérisation des circulations préférentielles d'eau par méthodes géophysiques



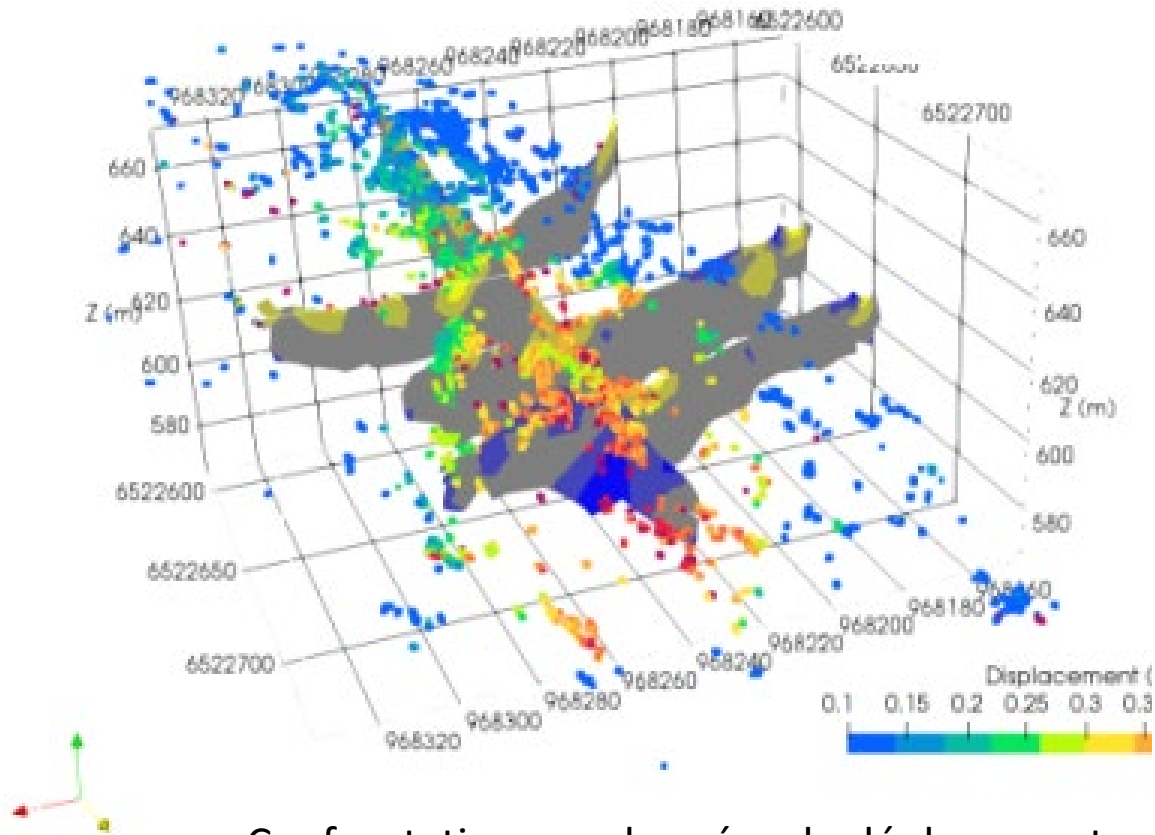
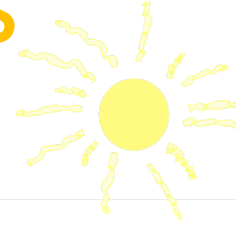
Confrontation aux données de déplacements

North



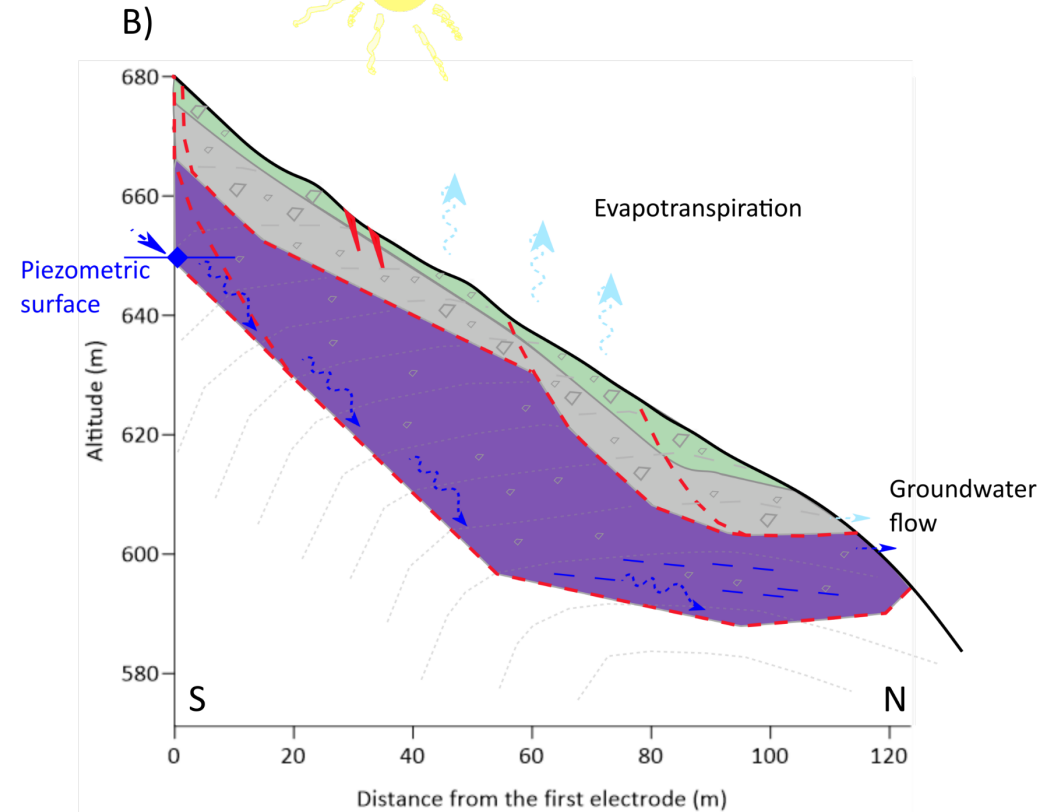


# Caractérisation des circulations préférentielles d'eau par méthodes géophysiques



Confrontation aux données de déplacements

North





# Intérêts du projet pour les territoires alpins

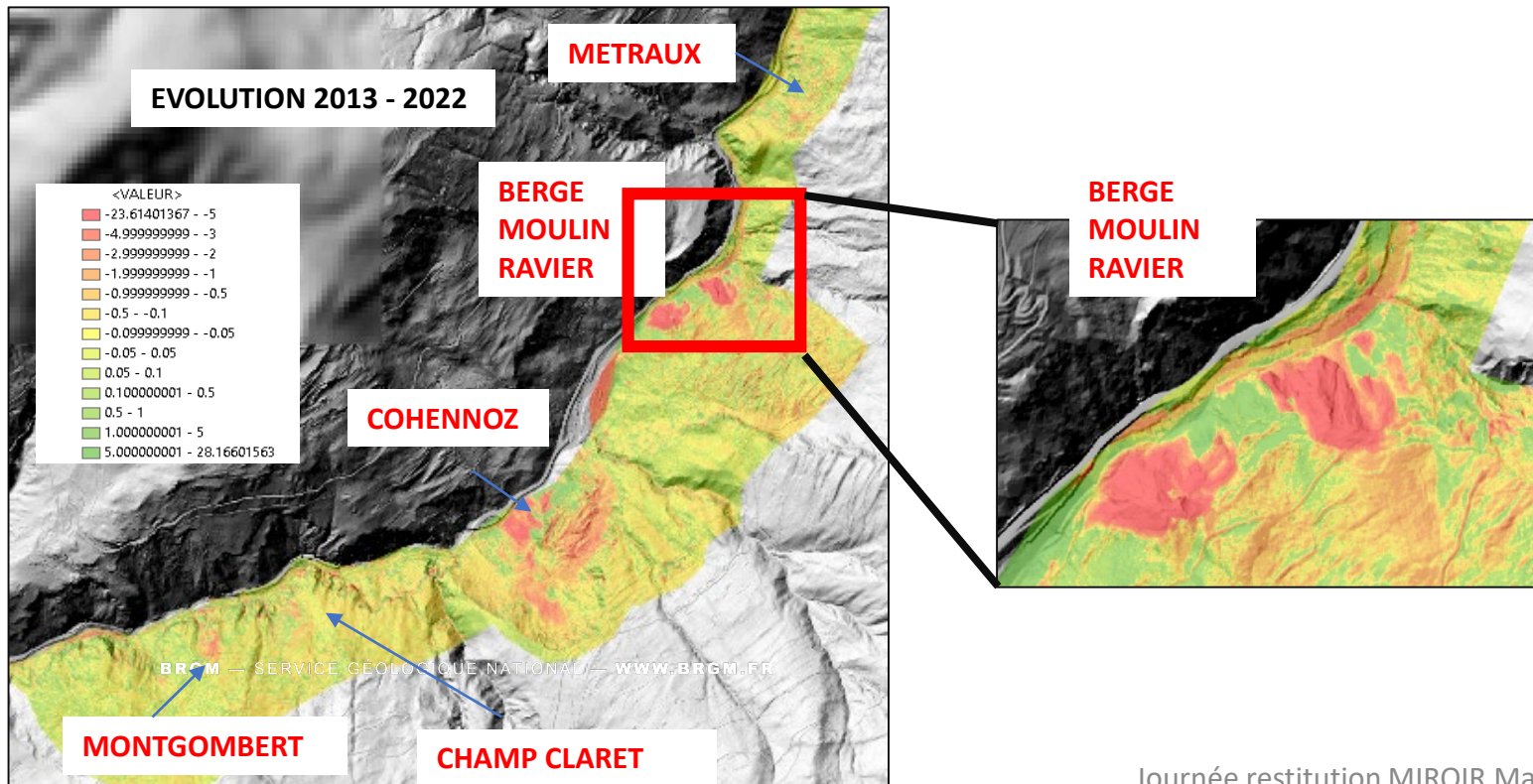
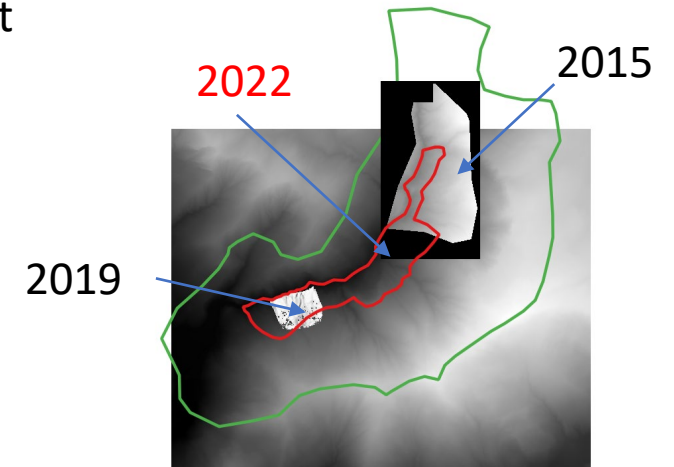
- Diffusion des résultats (article scientifique, colloques)
- Méthodologie de détection de circulation d'eau au sein des glissements : meilleure compréhension des phénomènes gravitaires, localisation des zones à drainer
- Nouvelle méthode de quantification et localisation des déplacements



# Levé LIDAR MNT en 2022 (Acquisition BRGM)

Non prévu initialement, soit un budget insuffisant pour couvrir toute la zone de versant (limité aux Gorges en pied de versant avec quelques extensions vers zones bâties).  
Levé fin avril 2022 (Hélimap). Rendu juin 2022. Résolution 0.2 m

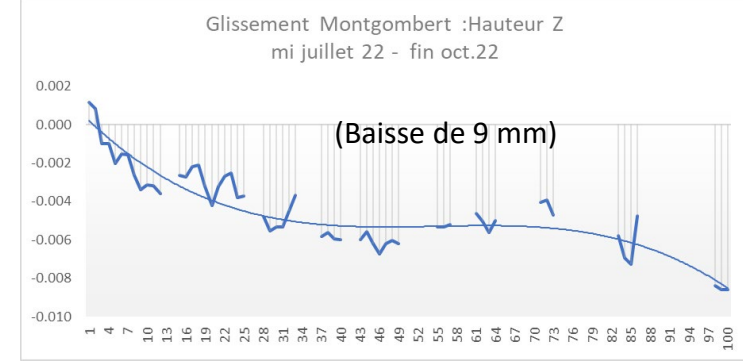
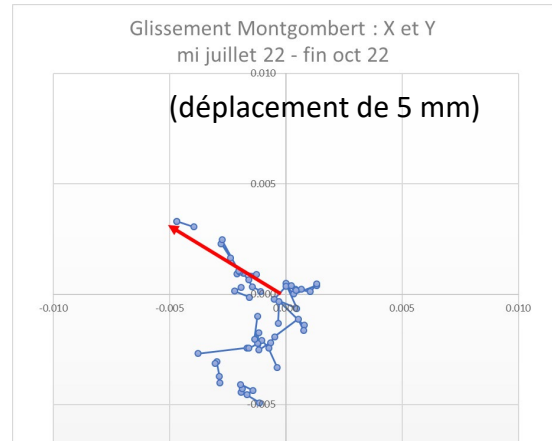
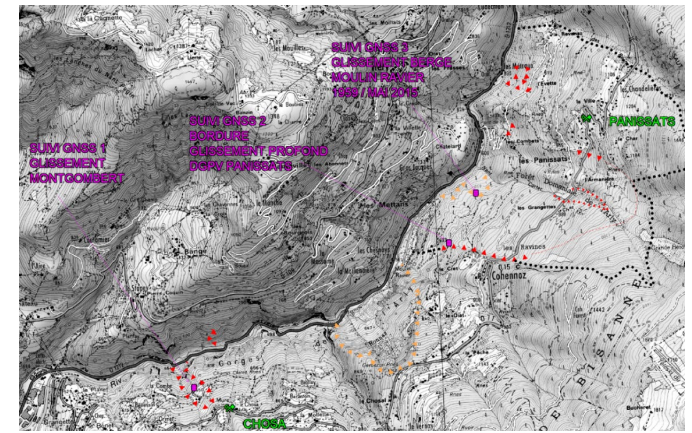
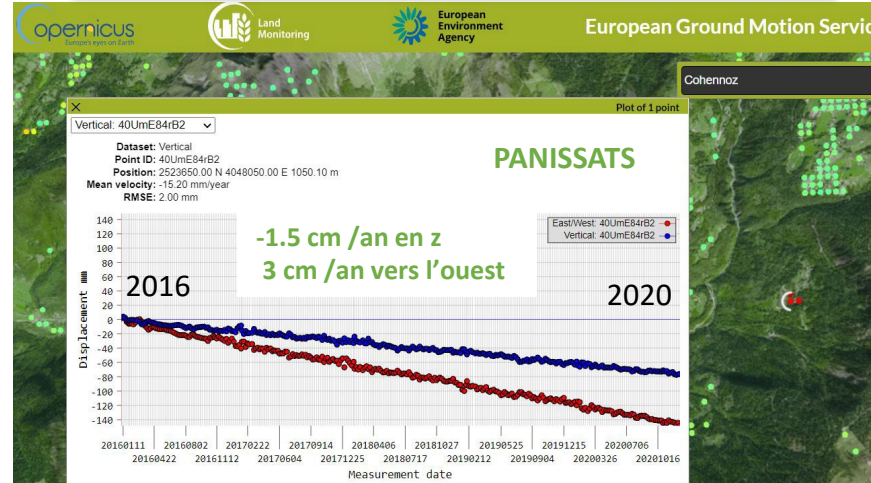
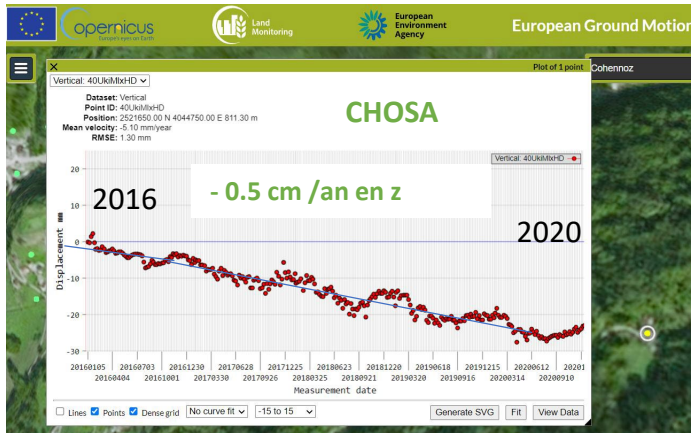
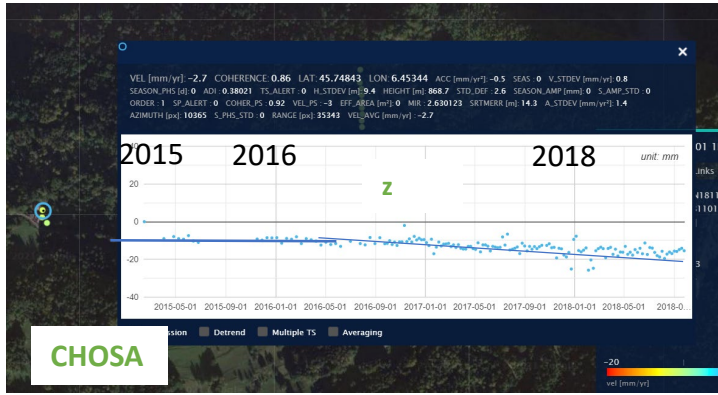
Comparaison partielle faite avec le levé LIDAR de fin 2015 (post-événement mai) et surtout le MNT de 2013 récupéré après coup en 2022 (DREAL)





# Interférométrie satellitaire et autre monitoring

## Guichet Interférométrique TREMAPS puis COPERNICUS



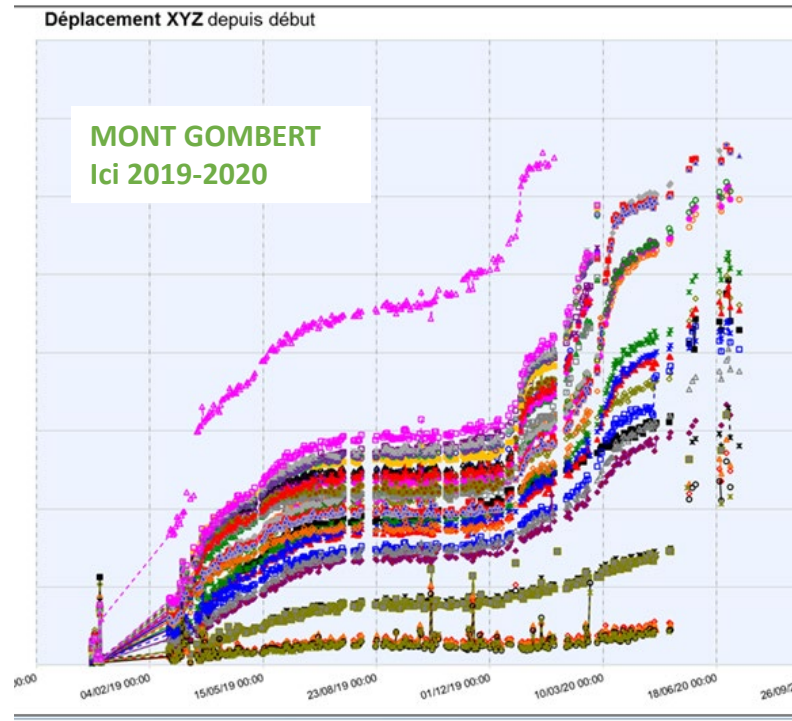
Monitoring gracieux des déformées de versant à l'aide de balises GNSS (test gracieux matériel BET Géomètre HYP-ARC)

- Improvisé à chaud et installation tardive avec au final acquisition discontinue en pleine période de faible activité (plus prometteur que concluant).

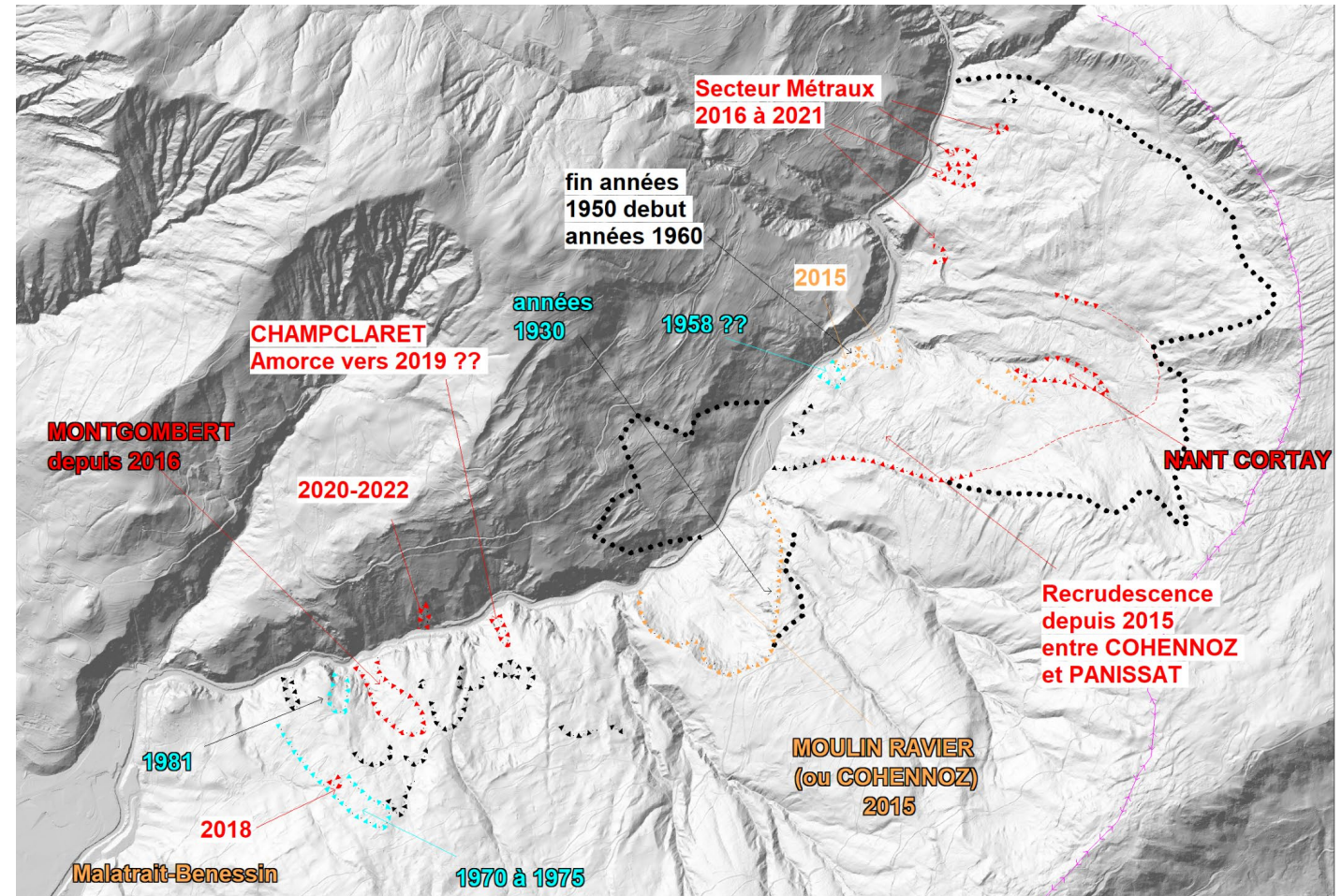


# Activité (Données évènementielles ou cinématiques)

La plupart des mouvements de terrain ne sont +/- bien temporellement connus que par leur date de rupture/réactivation initiale +/- précise au jour/mois ou année près, et plus rarement avec une estimation ou connaissance précise de la période d'activité. Seules les sites monitorés rares au final (Montgombert, Pas de l'Ours) offrent des chroniques cinématiques en continu.



Avec l'étude historique faite. on arrive à un ensemble de 171 évènements (crue, glissements et chutes de blocs) entre 1721 et 2022.

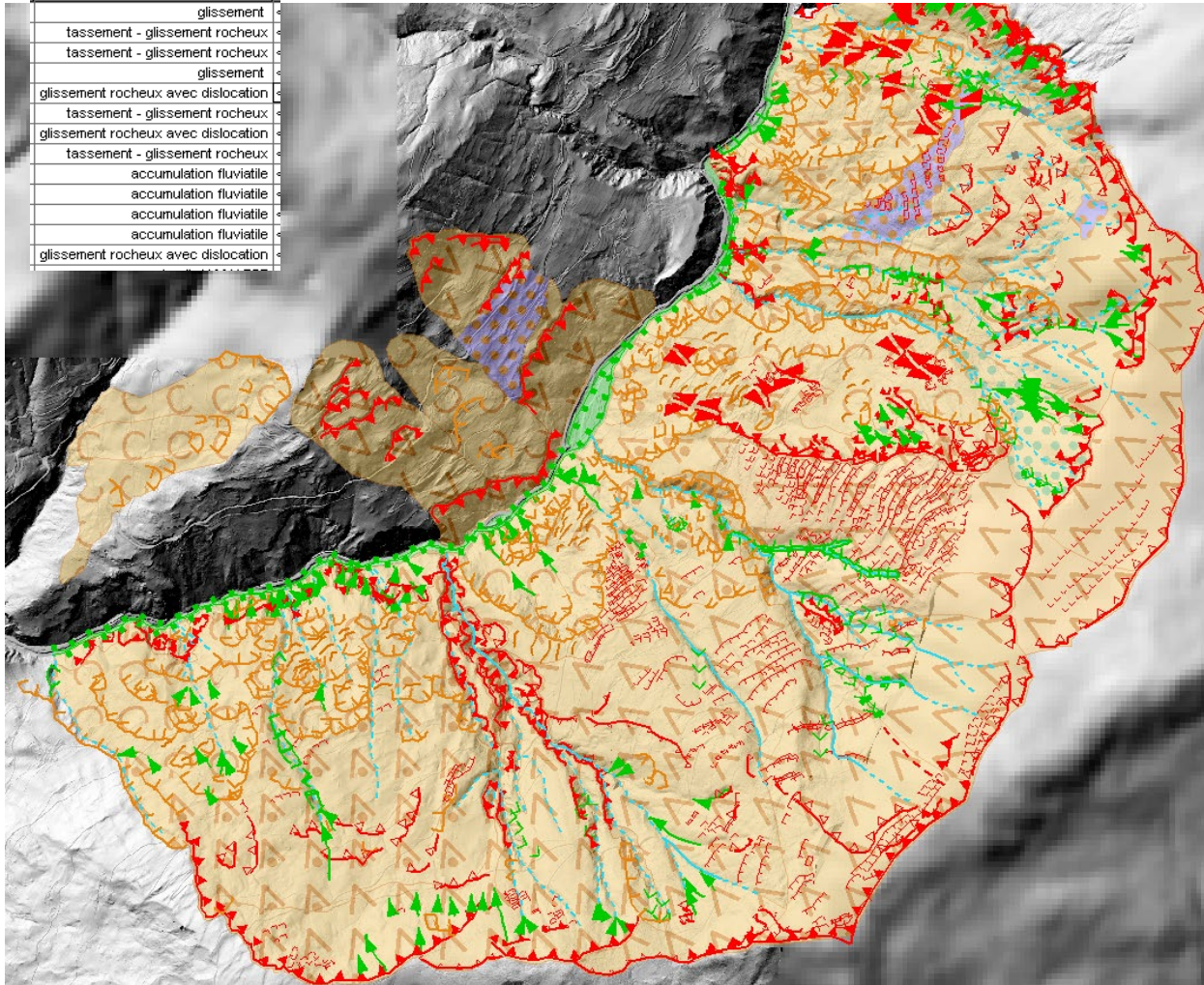


Activité historique des glissements de versant (1930 à 2022)

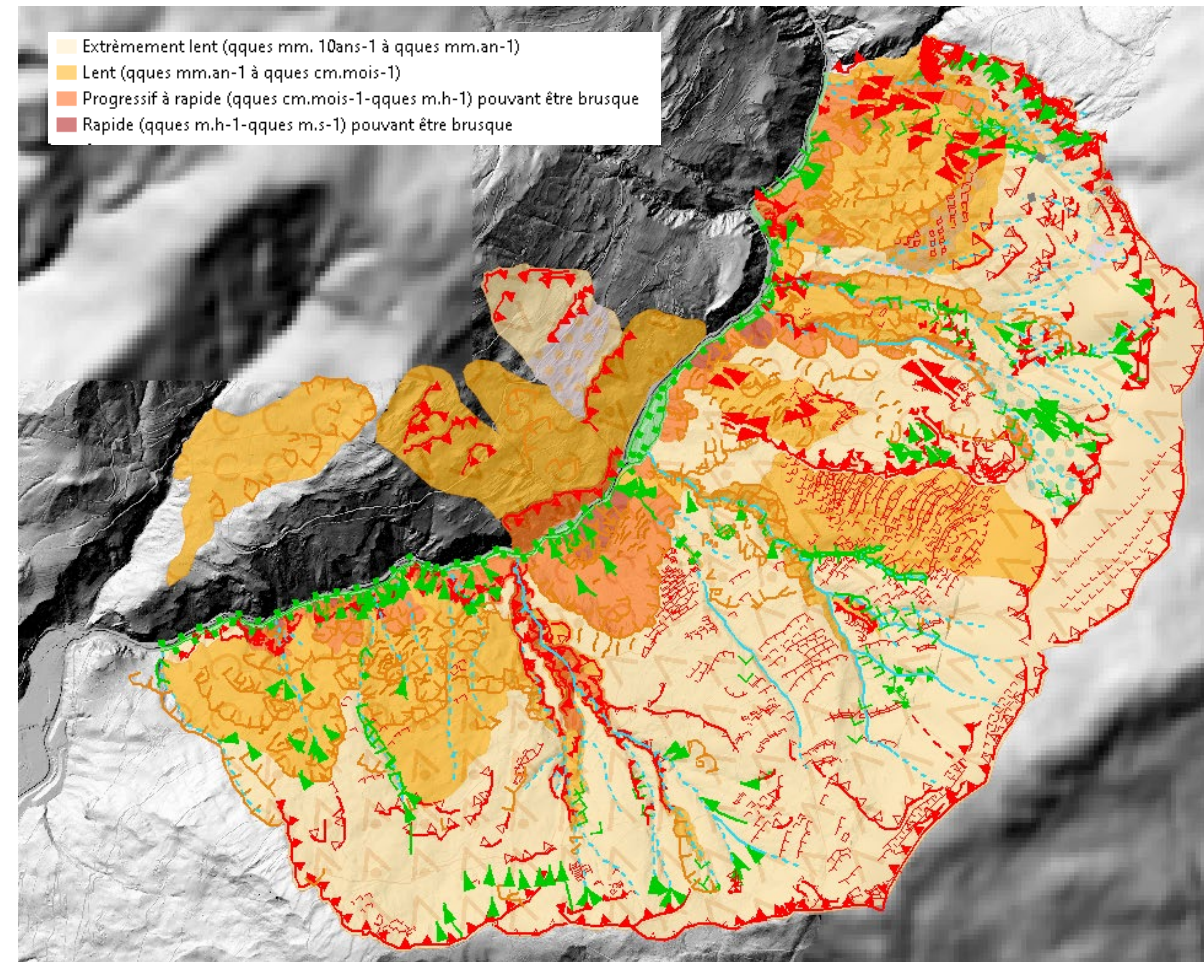


# Carte géomorphologique

RuleID_1
glissement
tassement - glissement rocheux
tassement - glissement rocheux
glissement
glissement rocheux avec dislocation
tassement - glissement rocheux
glissement rocheux avec dislocation
tassement - glissement rocheux
accumulation fluviatile
accumulation fluviatile
accumulation fluviatile
glissement rocheux avec dislocation



## Carte géomorphologique, avec évaluation de l'activité des glissements de terrain





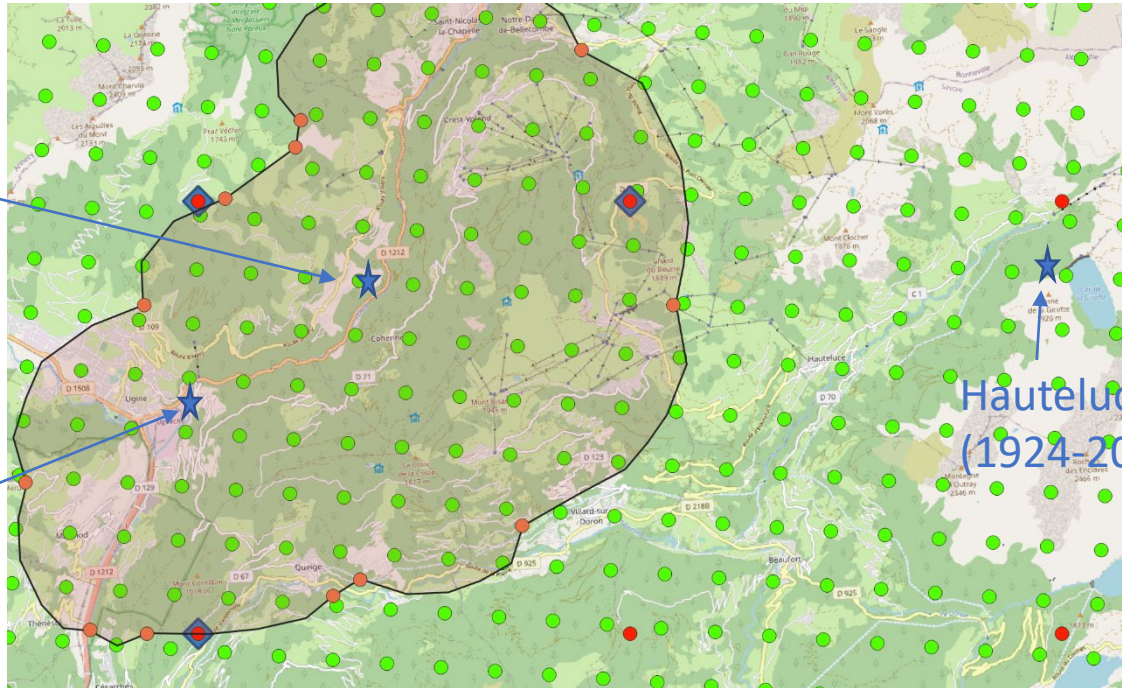
# Données climatiques

Plusieurs sources de données différentes collectées :

Stations locales Météo France (Ugine, 1997-2017), CD73 (Métraux, 2007), EDF (HauteLuce, 1924).

Les Metraux  
(2007-2022)

Ugine  
(1997-2017)



- ★ Station locale (P, neige, T)
- Données nodales SAFRAN (P, Neige, T, ETP) 1958-2016
- Données nodales Comephore (radar météo P) 1997-2017

Toutes les chroniques récupérées concernent le paramètre précipitation (sauf rares exceptions au pas journalier) avec distinguo neige/ pluie (dès que géré).

Les données concernent aussi la température (pour la prise en compte de la neige, et d'un modèle simplifié de fonte).

Ces données permettent d'avoir une chronique des précipitations efficaces (avec prise en compte de la neige) à confronter à des chroniques d'évènements mouvements de terrain (glissement, et étendus si besoin d'étoffer les chroniques MVT à d'autres évènements, chutes de blocs voire coulées torrentielles) en détermination de seuil hydroclimatique global (multisites) ou à des courbes de déformations de seuils en détermination de seuil hydroclimatique monosite (type Montgombert).

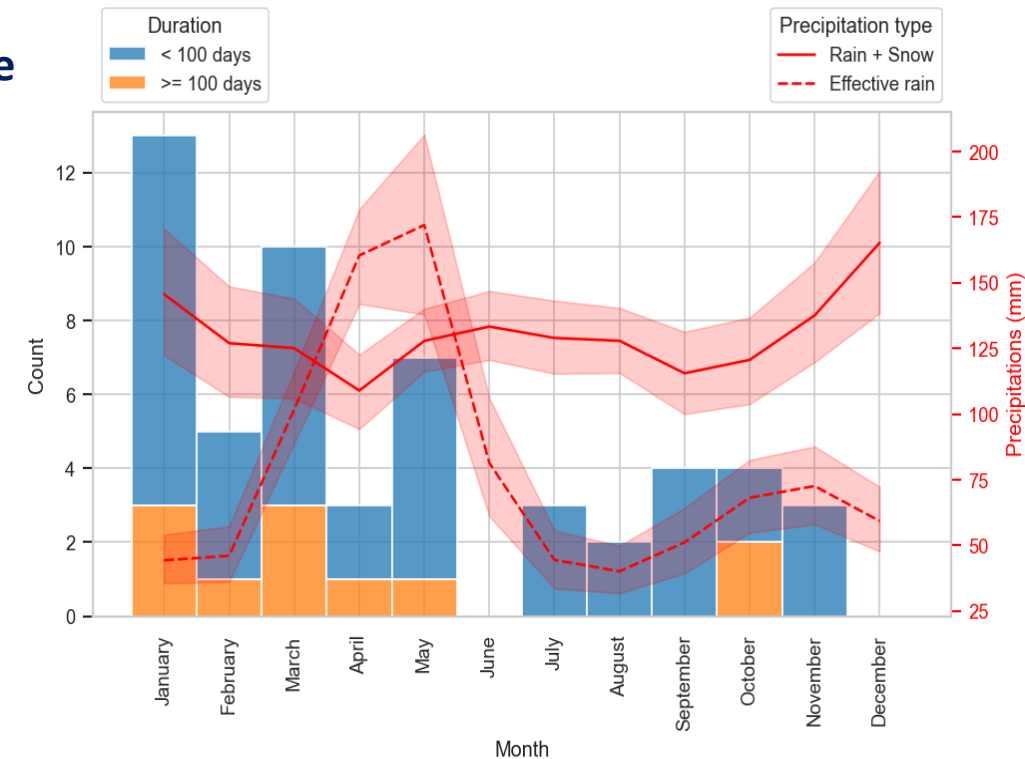
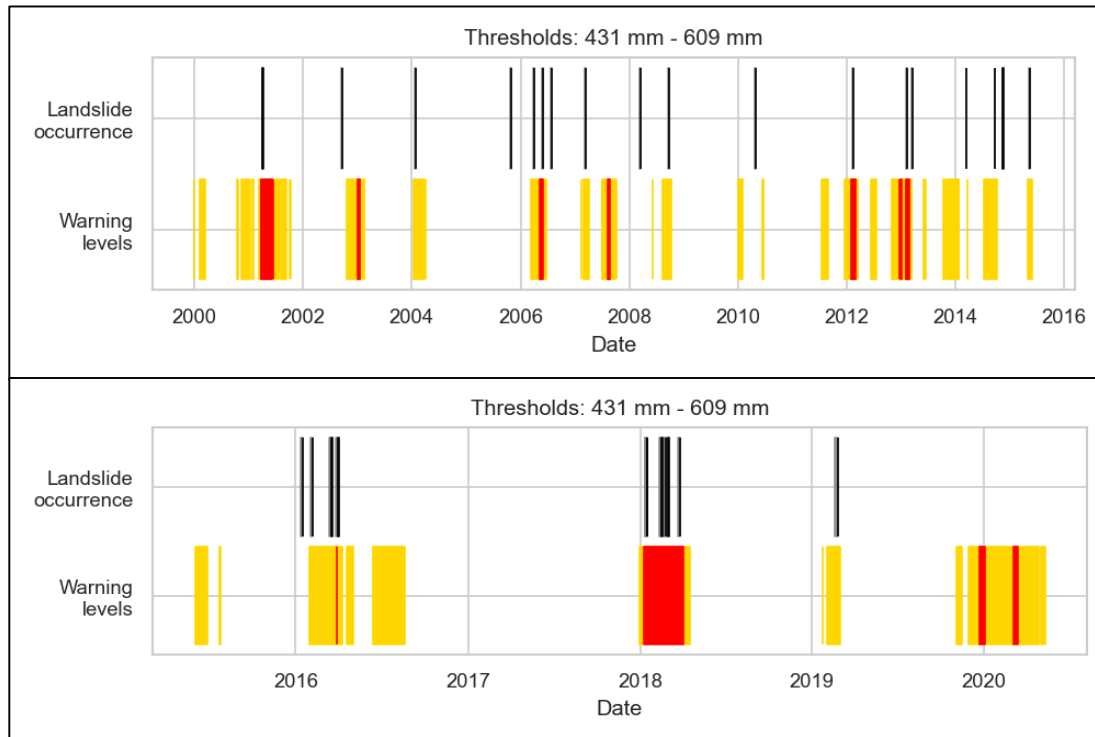


# Détermination des seuils hydroclimatiques

Premiers essais en 2022 sur la période 1958-2016 non concluants mais faits alors qu'avec un ensemble très partiel d'une douzaine de glissements sur la vallée de l'Arly d'après leur date de rupture +/- bien estimée.

Premières évaluations de seuils multi-sites en 2023 sur la période 1959-2022, sur 79 évènements avec une période d'activité estimée, mais souvent évaluée par défaut et très incertaine. **Les meilleurs résultats sont obtenus pour un cumul de pluies de 90 jours avec 15 jours en différés.**

Le seuil de **vigilance** (481 mm) détecte 74 % des évènements mais il couvre 30 % du temps. Le seuil d'**alerte** ne couvre que 5 % du temps mais il ne détecte que 9 % => Performances bien trop faibles pour retenir ces seuils.





# Détermination des seuils hydroclimatiques

Sur le glissement de Montgombert, à l'aide des données de suivi de déformées, détermination des seuils calés sur la première période d'acquisition la plus active (suivi topographique d'aout 2016 à mars 2018)

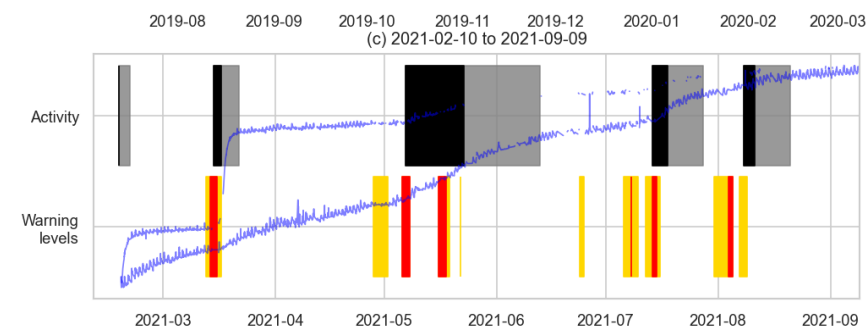
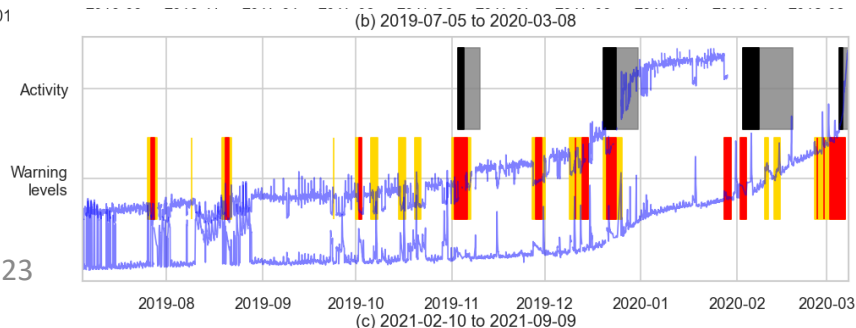
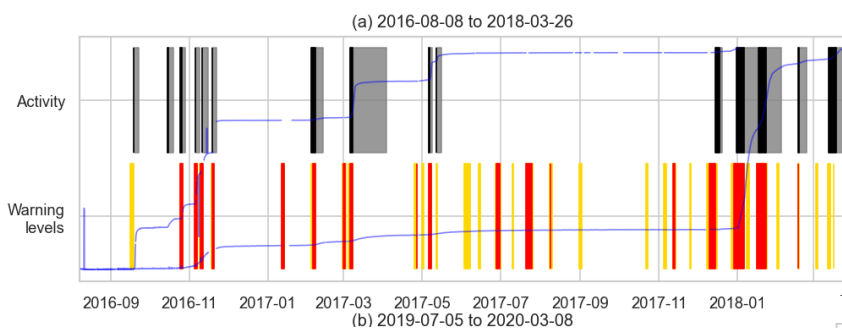
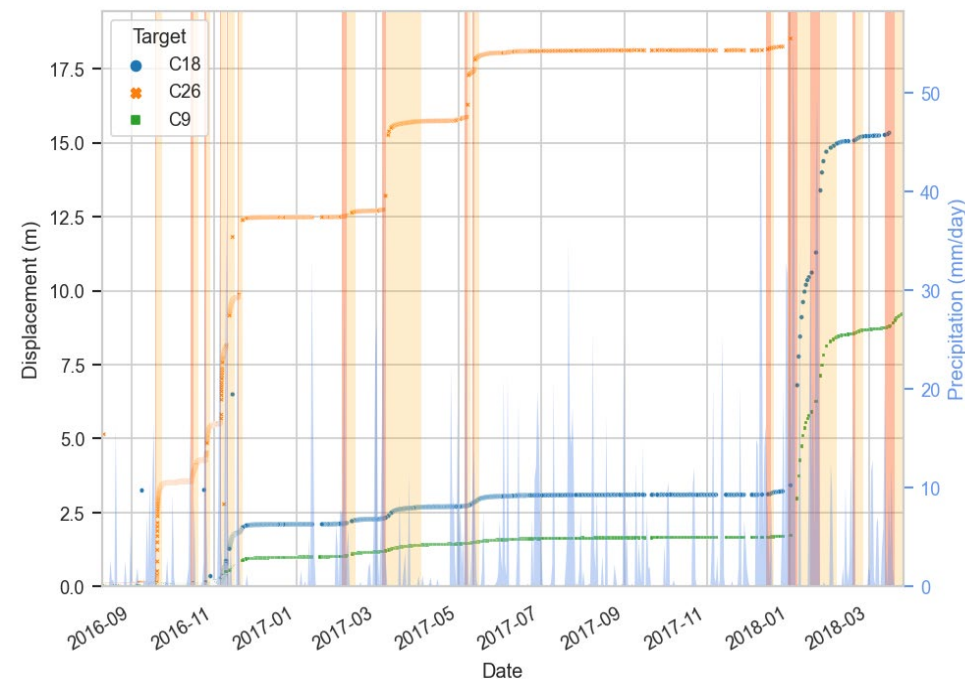
Les meilleurs résultats sont obtenus en utilisant des cumuls de précipitations sur 3 jours, et en ne considérant comme observations positives que les jours des phases d'accélération sans décalage.

Le seuil de vigilance de 14,5 mm détecte 96 % des évènements et couvre 27 % du temps, sur cette période de calibrage 2016-2018

Idem pour seuil d'alerte de 35,1 mn qui sur 10 % du temps détecte 64 % des Evt.

Les bonnes performances de ces seuils se dégradent ensuite sur les deux autres périodes de suivi (2019-2020 puis 2021) :

- Plus que 81 % et 70 % de détection sur 32/39 % du temps pour le seuil de vigilance;
- 64 % de détection sur 15 % du temps et enfin 30 % de détection sur 7 % % du temps pour le seuil d'alerte.





# Des seuils hydroclimatiques à l'approche modélisation de stabilité de versant plus classique

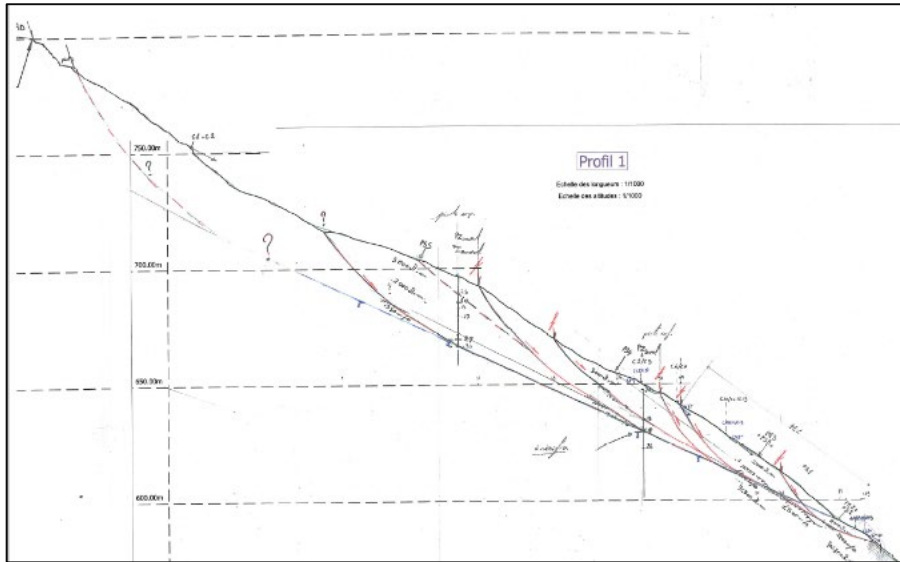
Les performances des seuils hydroclimatiques sont peu adaptés et peu aisément opérationnels sur le seul site de glissement ayant été monitoré et les seuils restent non concluants ailleurs en multisites.

Hétérogénéité certaine des données climatiques.

En // quelle confiance à donner aux scénarios GIEC de changement climatique à l'échelle des Gorges de l'Arly ? Une conférence donnée par un expert du climat du GREC Sud sur le changement climatique lors de la Journée Va Vers Ton Risques du 22 octobre 2022 dans le Queyras n'a pas été de nature à nous rassurer en termes d'incertitudes climatiques à venir.

La sensibilité climatique des différents versants instables s'appréciera au final déjà indirectement avec des calculs de stabilité de versant classique et des hypothèses de saturation contrastée des versants.

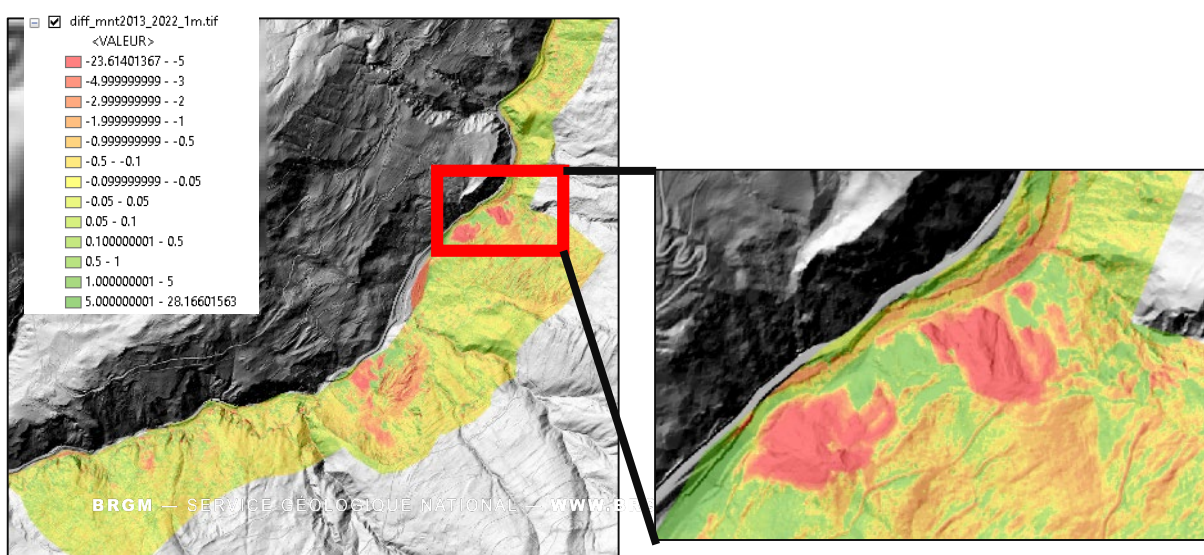




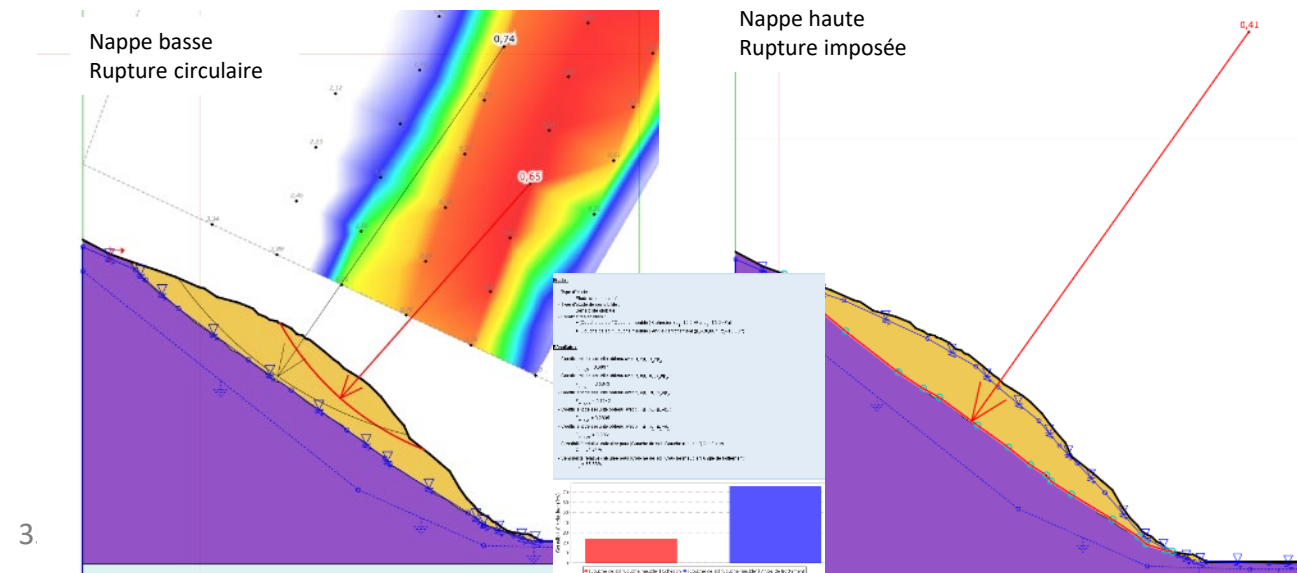
# Modélisation des ruptures

- **Objectifs**  
Définir des profondeurs de rupture type  
Définir des critères géotechniques pour les matériaux impliqués  
Définir des seuils de nappe favorables aux ruptures
- **Moyens (TALREN)**  
Observations de terrain  
Coupes antécédentes  
Analyse diachronique de la topographie (DoD)  
Calcul d'équilibre limite (TALREN®, Fondasol) pour des profils types et des scénarii types (Analyse de Sensibilité –AS- et définition de scénarii de nappe d'eau)

Analyse des surfaces de rupture par MNT (DoD - 2013-2022)



Calcul de stabilité pour différents scénarii de rupture et de nappe d'eau (AS)





# Modélisation des ruptures

## Hypothèses

Déstabilisations dans les matériaux altérés argileux de surface

Matériaux meubles homogènes

Scénarii de déstabilisations pour différentes profondeur et différents niveaux de nappes

Type sélectionnés :

- Glissements de terrain très profonds (pfd= max 20m; l=70 m)
- Glissements de terrain profonds (pfd=max 15m; l= 50 m)
- Glissements de terrain moyennement profonds (pfd= max 5m; l=20 m)
- Glissements de terrain superficiels (pfd= max 3m; l=10 m)

Niveau de nappe d'eau:

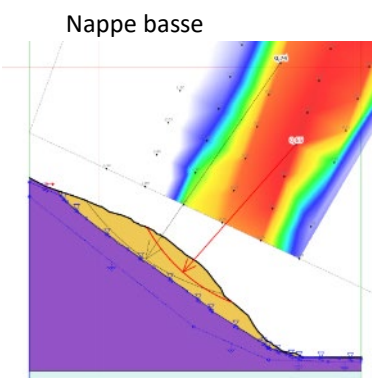
- Niveau bas (0)
- Niveau modéré (0.5)
- Niveau haut (0.9)

## Résultats

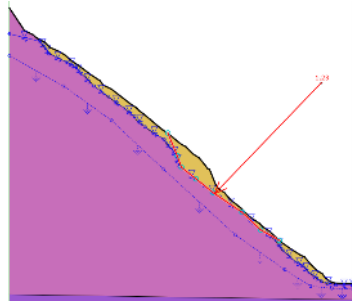
Caractéristiques mécaniques définies pour les matériaux meubles pour des conditions de nappe basse ( $c' = 7-25\text{kPa}$ ;  $\phi = 25-35^\circ$  ;  $\gamma = 20\text{kN.m}^3$ ) après analyse de sensibilité

Parmi les fenêtres retenues, un choix 'expert' est réalisé pour l'ensemble des matériaux meubles (altérations des schistes) considérés comme homogènes sur le site

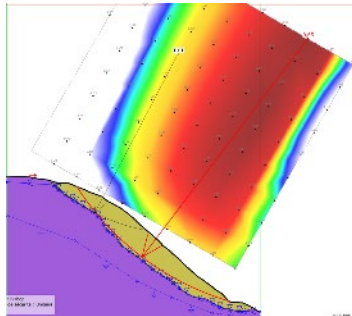
Glissements de terrain très profonds (pfd=20m; l=70 m)



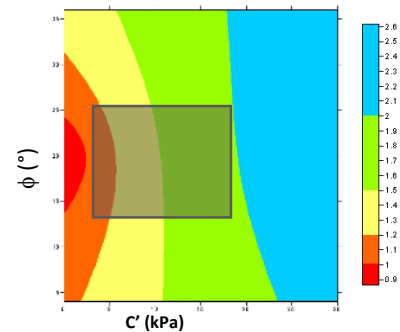
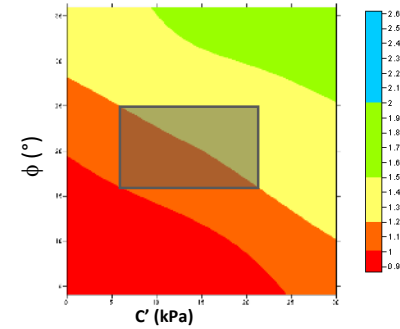
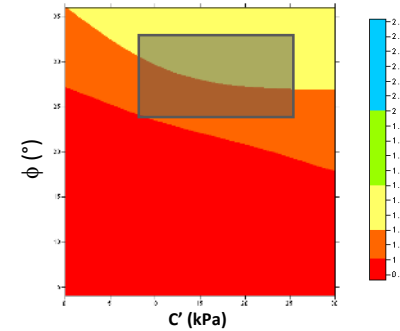
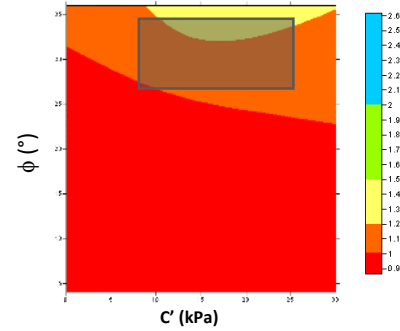
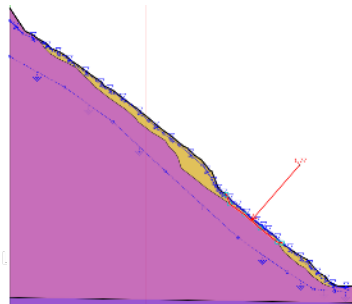
Glissements de terrain profonds (pfd=15m; l=50 m)



Glissements de terrain moyennement profonds (pfd=5m; l=20 m)



Glissements de terrain superficiels (pfd=3m; l=10 m)



Fenêtre de valeurs sélectionnées pour chaque cas





# Modélisation spatiale des ruptures

- **Objectifs**

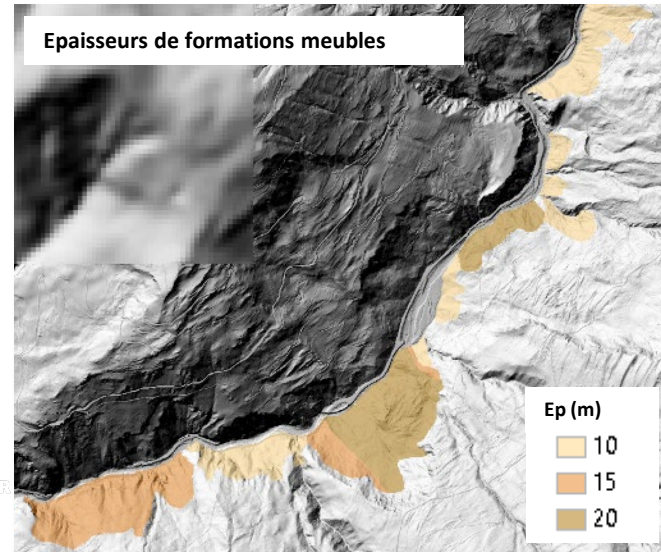
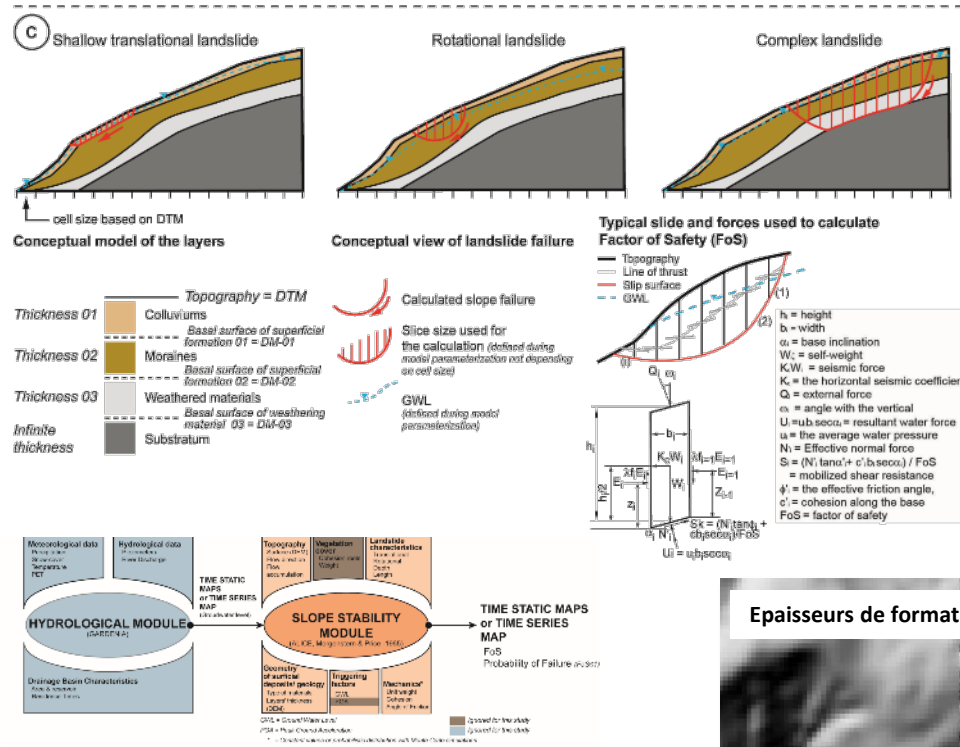
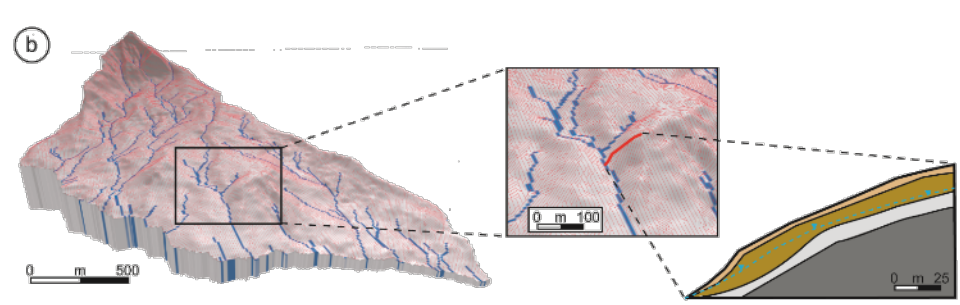
Spatialiser les secteurs susceptibles pour chaque type de rupture définies

- **Moyens (ALICE®)**

Calcul spatialisé de la probabilité de rupture ( $FS \leq 1$ ) pour 4 types de déstabilisation définis précédemment → ALICE®

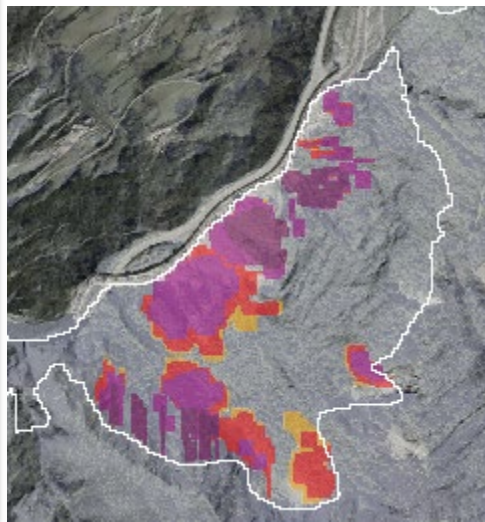
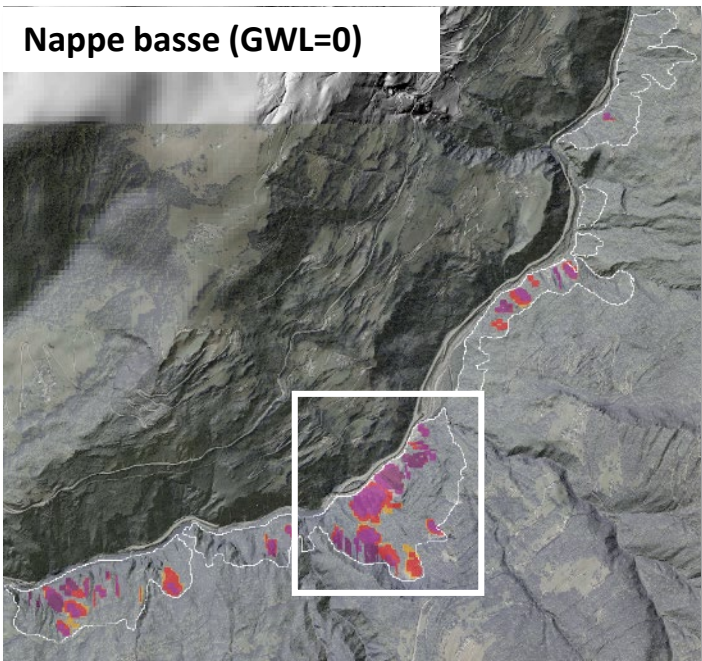
- **Hypothèses**

- Sélection experte des secteurs à matériaux meubles
- Épaisseur des matériaux définis de manière empirique selon obs. de terrain et rapports antécédents
- Niveaux de nappe d'eau uniforme
- Pas de circulation d'eau dans les matériaux
- Pas d'effet de succion pris en compte



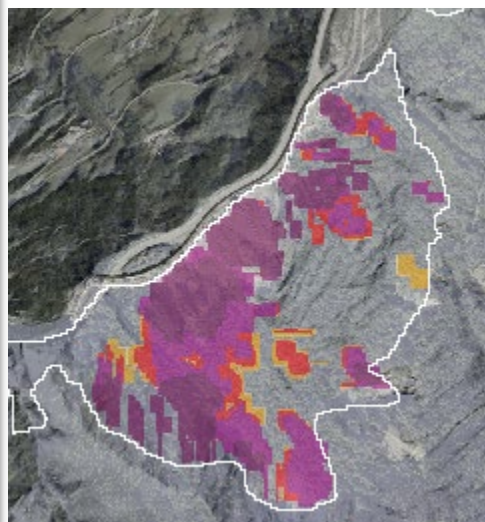
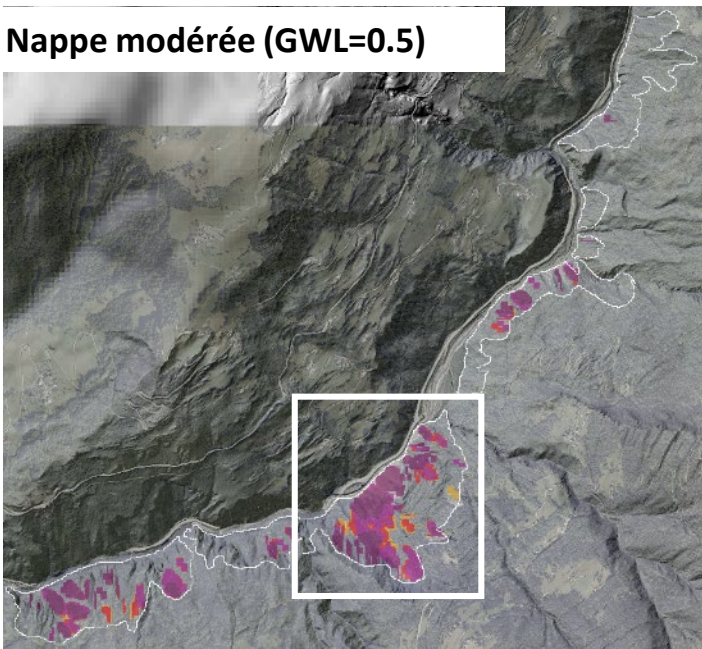


## Nappe basse (GWL=0)



Probabilité de rupture	
0 - 0.00001	Nulle à négligeable
0.0000100001 - 0.0001	Très faible
0.0001000001 - 0.001	Faible
0.0010000001 - 0.01	Modérée
0.0100000001 - 0.1	Forte
0.1000000001 - 0.5	Très forte
0.5 - 1	

## Nappe modérée (GWL=0.5)



38

# Modélisation spatiale des ruptures

(GT profonds – 15-20 m)

- **Résultats**

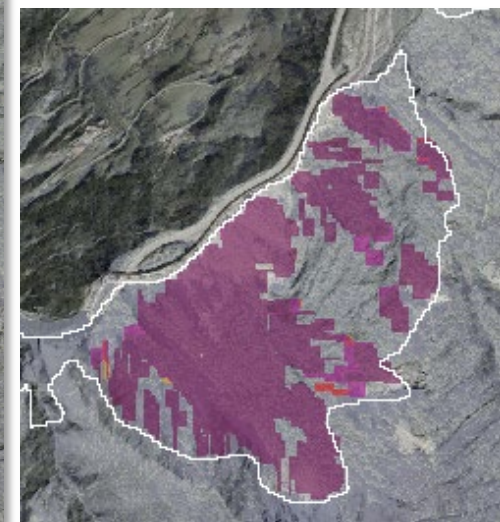
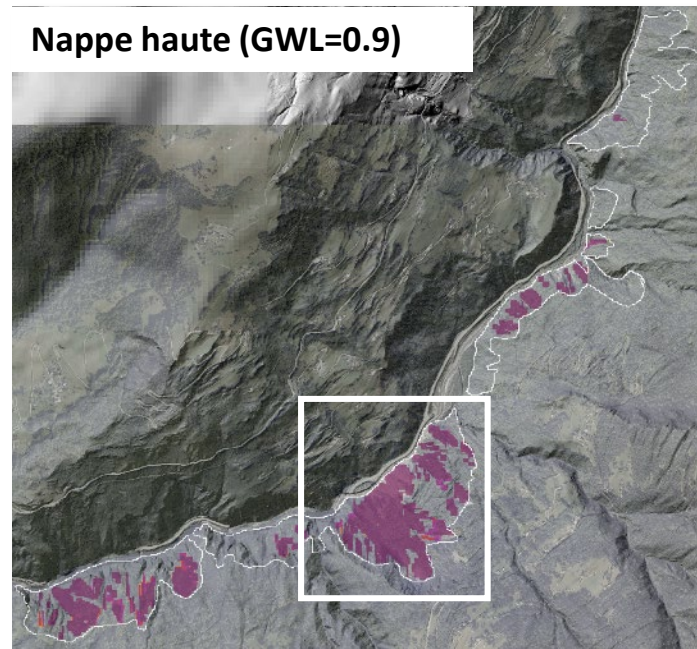
Carte des probabilités de rupture pour différentes profondeurs  
Scénarii de déstabilisation pour différents types de rupture  
Estimation des volumes mobilisables



**Probabilités fortes de déstabilisation même en contexte de nappe basse**

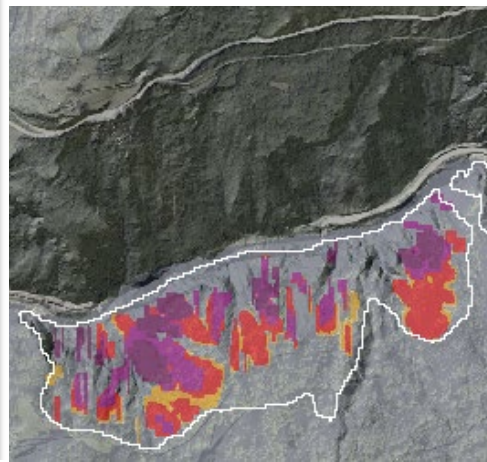
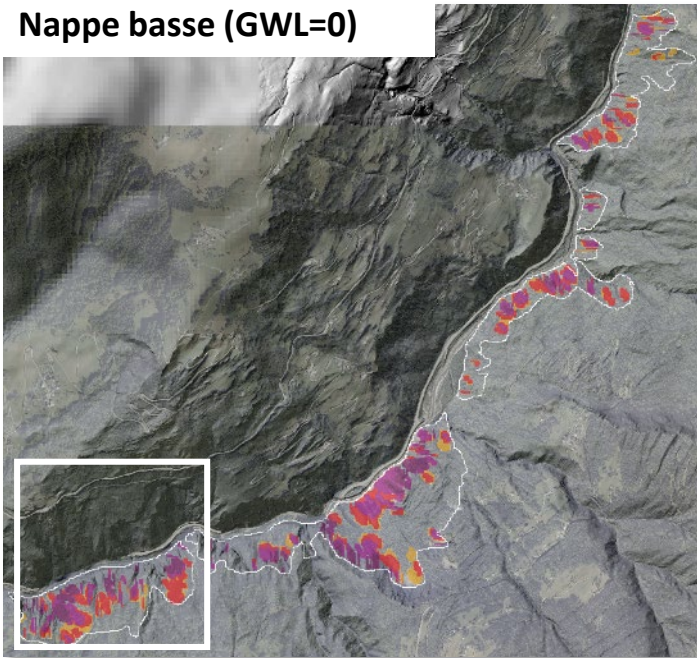
**Volumes mobilisables en cas de nappe haute (i.e. cellule avec probabilités  $> 10^{-3}$ )  $\rightarrow 6,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$**

## Nappe haute (GWL=0.9)





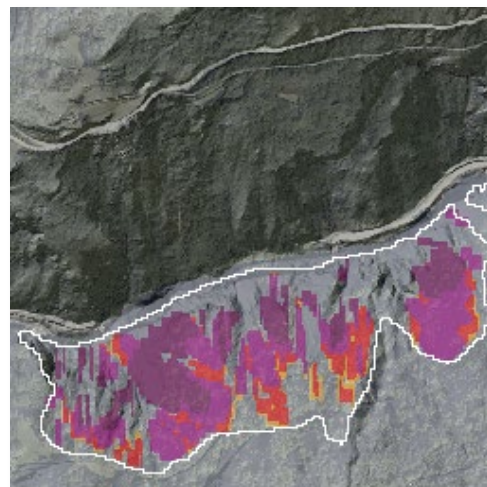
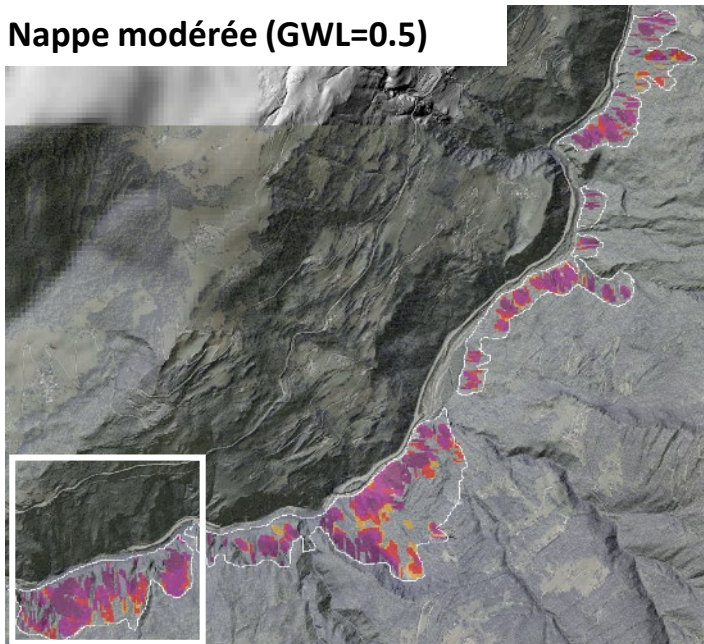
Nappe basse (GWL=0)



Probabilité de rupture

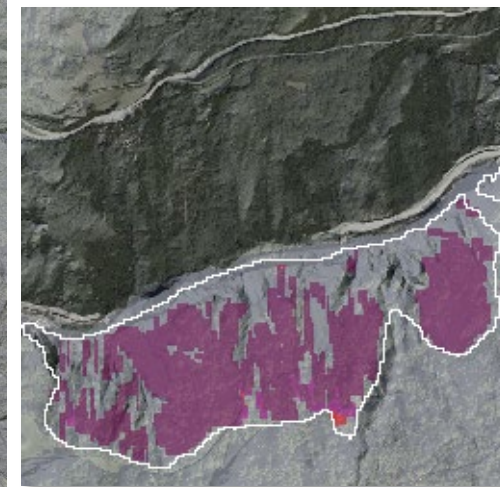
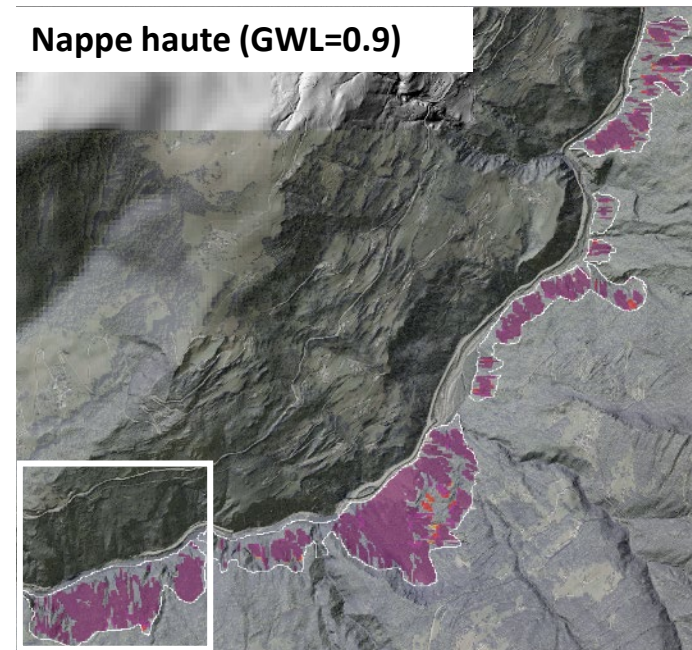
0 - 0.00001	Nulle à négligeable
0.0000100001 - 0.0001	Très faible
0.0001000001 - 0.001	Faible
0.0010000001 - 0.01	Modérée
0.0100000001 - 0.1	Forte
0.1000000001 - 0.5	Très forte
0.5 - 1	

Nappe modérée (GWL=0.5)



39

Nappe haute (GWL=0.9)



# Modélisation spatiale des ruptures

## (GT moyennement profonds – 10-15 m)

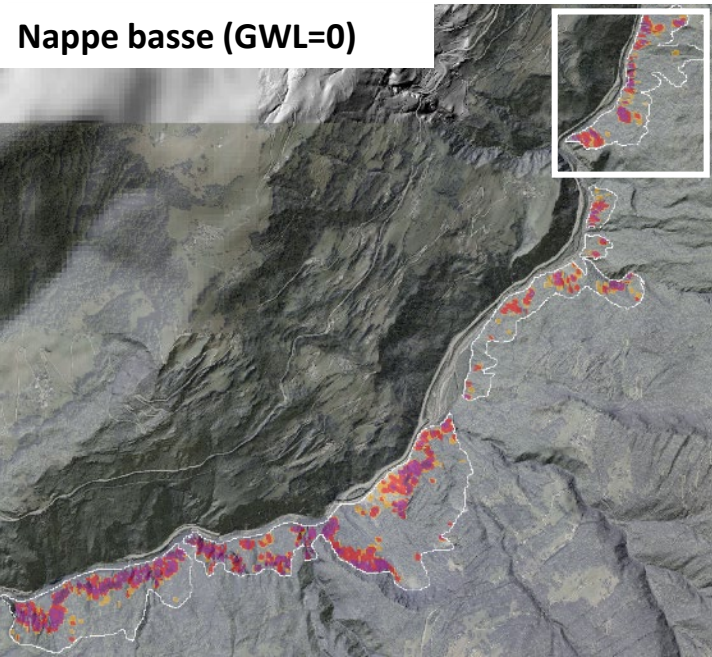
### Résultats

Carte des probabilités de rupture pour différentes profondeurs  
 Scénarii de déstabilisation pour différents types de rupture  
 Estimation des volumes mobilisables

**Probabilités fortes de déstabilisation même en contexte de nappe basse**  
**Volumes mobilisables en cas de nappe haute (i.e. cellule avec probabilités > 10<sup>-3</sup>) → 7.6.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>**



## Nappe basse (GWL=0)



Journée restitution MIROIR Mairie d'Ugine 28/09/2023

# Modélisation spatiale des ruptures (GT superficiels – max 5m)

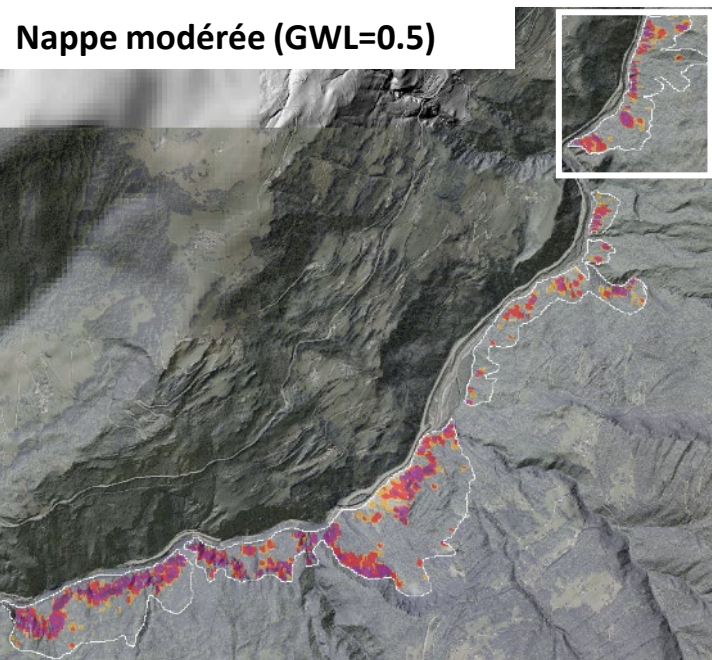
## • Résultats

Carte des probabilités de rupture pour différentes profondeurs  
Scénarii de déstabilisation pour différents types de rupture  
Estimation des volumes mobilisables



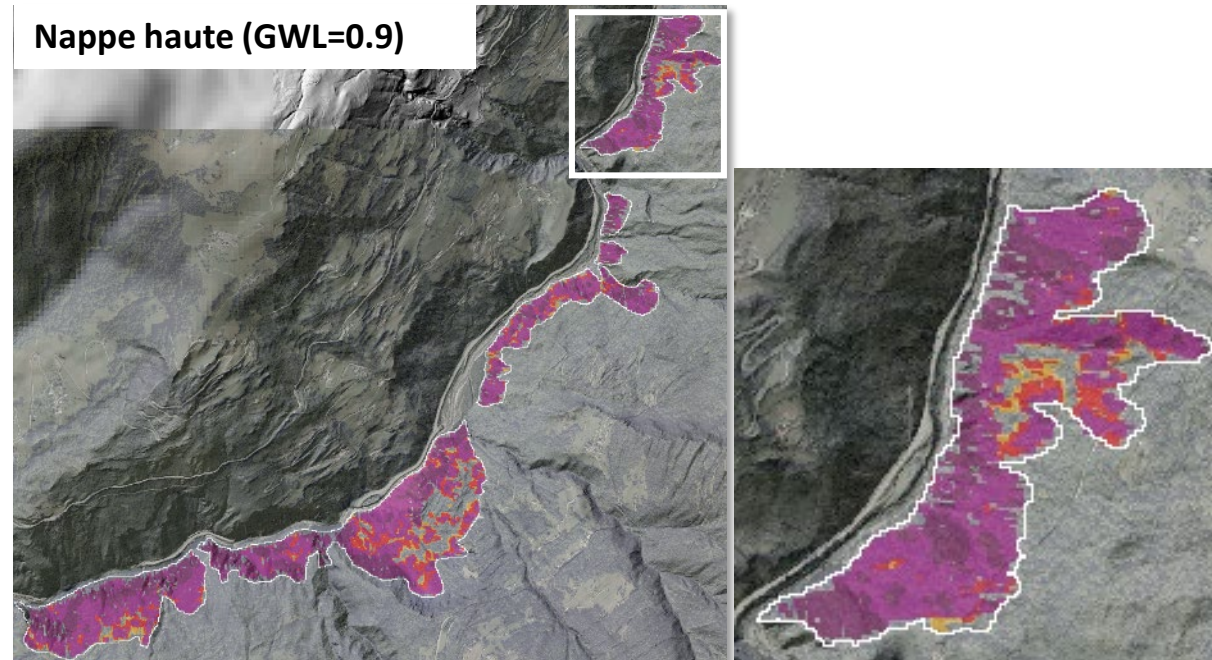
**Probabilités très fortes de déstabilisation en bas de versant même en contexte de nappe basse ou modérée**  
**Volumes mobilisables en cas de nappe haute (i.e. cellule avec probabilités  $> 10^{-3}$ )  $\rightarrow 1,85 \cdot 10^6 \text{ m}^3$**

## Nappe modérée (GWL=0.5)

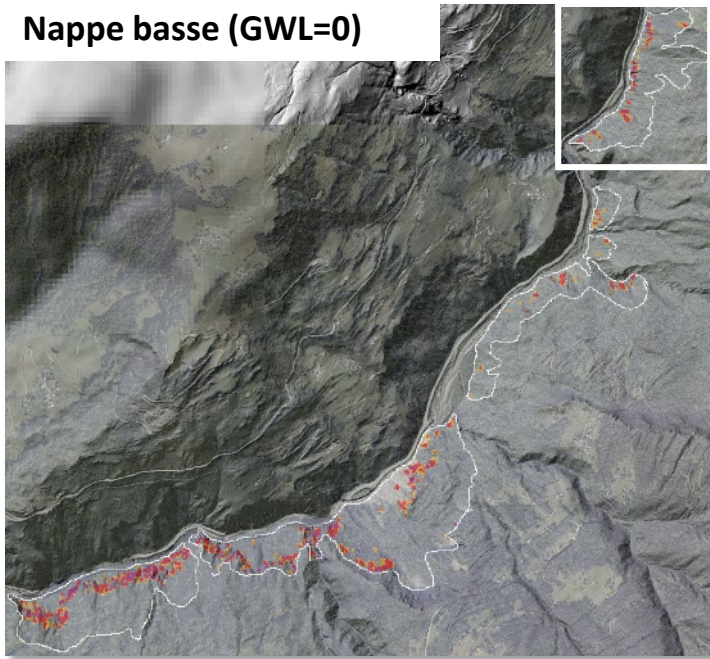


Probabilité de rupture	
0 - 0.00001	Nulle à négligeable
0.000010001 - 0.0001	Très faible
0.000100001 - 0.001	Faible
0.001000001 - 0.01	Modérée
0.010000001 - 0.1	Forte
0.100000001 - 0.5	Très forte
0.5 - 1	

## Nappe haute (GWL=0.9)







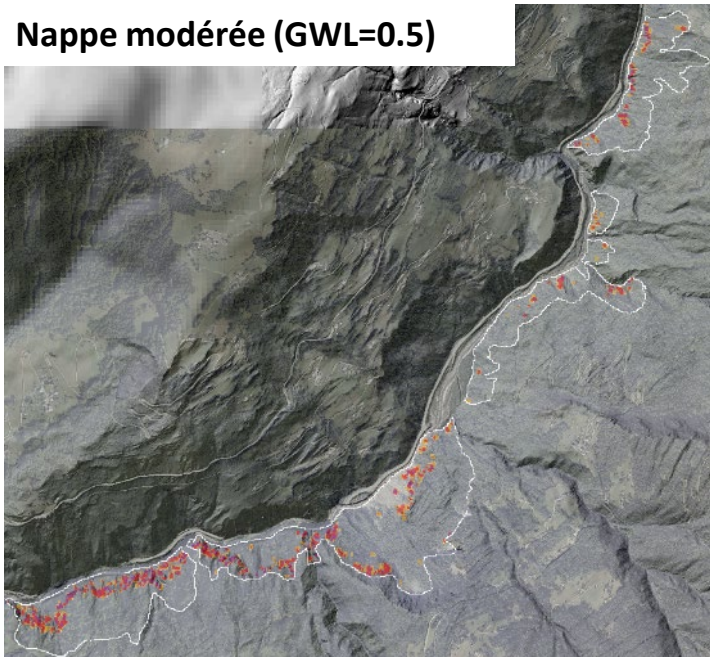
# Modélisation spatiale des ruptures (GT superficiels – max 3m)

## Résultats

Carte des probabilités de rupture pour différentes profondeurs  
Scénarii de déstabilisation pour différents types de rupture  
Estimation des volumes mobilisables

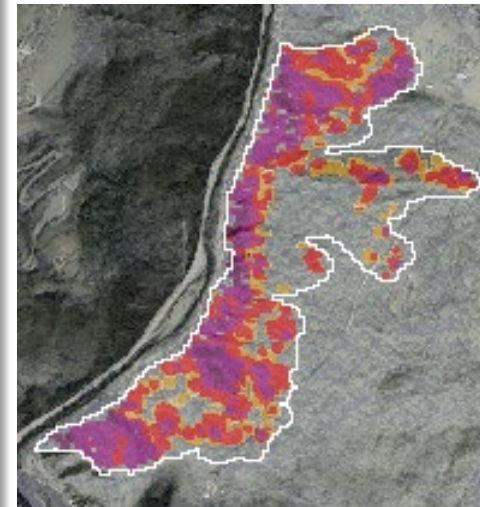
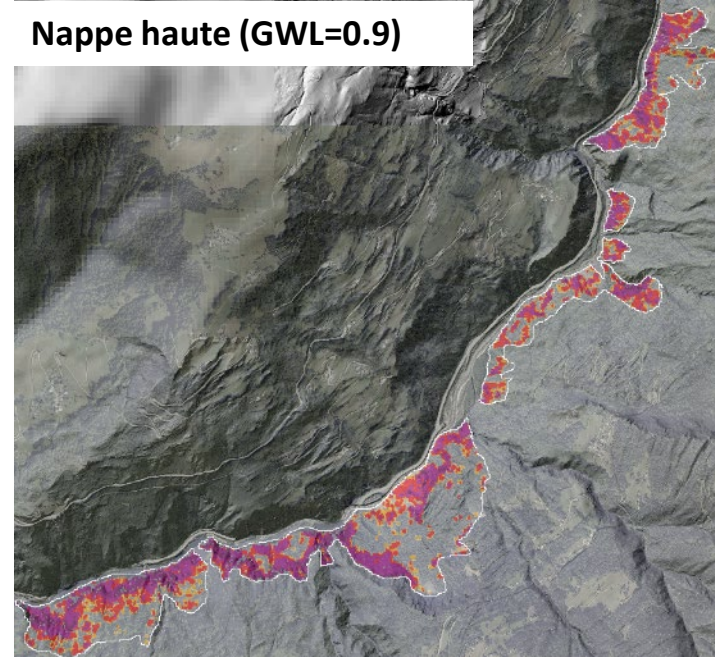
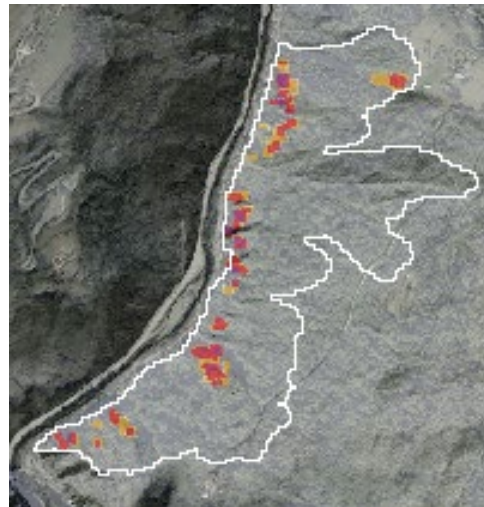


**Probabilités fortes à modérées de déstabilisation en bas de versants même en contexte de nappe basse ou modérée**  
**Volumes mobilisables en cas de nappe haute (i.e. cellule avec probabilités  $> 10^{-3}$ )  $\rightarrow 6,85 \cdot 10^5 \text{ m}^3$**



Probabilité de rupture

0 - 0.00001	Nulle à négligeable
0.000010001 - 0.0001	Très faible
0.000100001 - 0.001	Faible
0.001000001 - 0.01	Modérée
0.010000001 - 0.1	Forte
0.100000001 - 0.5	Très forte
0.5 - 1	





# SYNTHESE 01: spatialisation de la déstabilisation



## RESULTATS ENCOURAGEANTS

- Facteurs de sécurité proches de ceux calculés sous TALREN
- Des enveloppes de déstabilisation satisfaisantes au regard des incertitudes sur données d'entrée (carac. géotechniques, épaisseurs etc...)

→ Secteurs calculés comme très instables proches des enveloppes de glissements considérés comme progressifs à rapides ou rapides sur la carte géomorphologique

## MODELES ACTUELS

- Une emprise des matériaux meubles définies empiriquement
- Une grande simplification des épaisseurs d'altération
- Une prise en compte de la nappe d'eau très sommaire
- Un MNT encore perfectible

→ Fortes incertitudes sur les volumes mobilisables

## ALICE



## AXES DE PROGRESSION

- Intégration et spatialisation des épaisseurs de formations d'altération avec des levés géophysiques
- Construction d'une nappe d'eau tenant compte des effets topographiques et des observations experts
- Affiner les valeurs géotechniques pour éviter une trop forte incertitude (vers des essais géotechniques?)





# Modélisation de la propagation

- D'une manière spécifique lorsque des zones mal connues, à fort risque supposé, sont identifiées
  - Modélisation numérique à base physique : SHALTOP
- D'une manière générale dans l'optique de la révision du plan de prévention des risques naturels
  - Utilisation de FLOW-R





# Analyse de la propagation et estimation de l'atteinte : SHALTOP

## Hypothèses principales

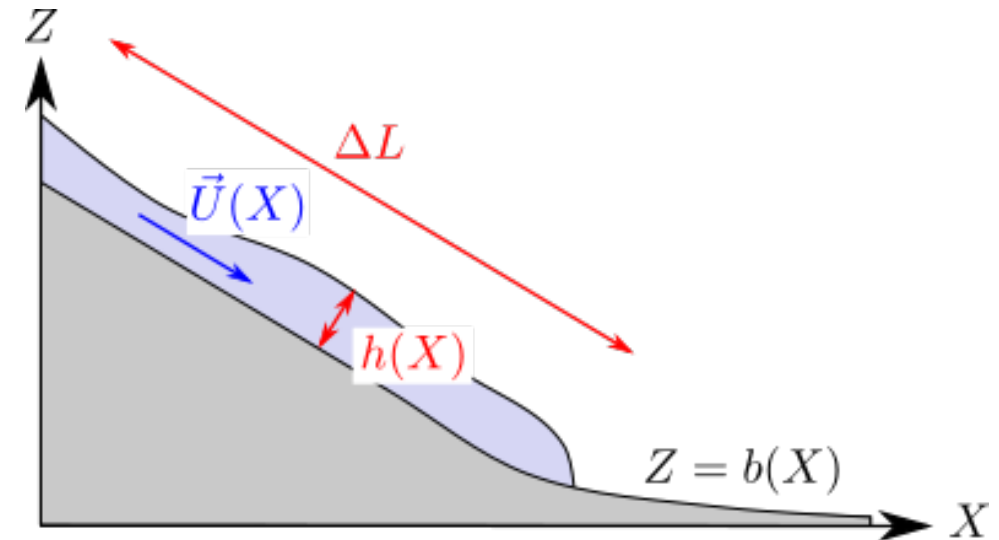
- $h \ll \Delta L$
- Matériaux homogènes
- Pas d'érosion du lit
- Dissipation de l'énergie par friction basale

## Applications

- Écoulements granulaires expérimentaux (e.g. Mangeney et al., 2007)
- Glissements de terrain (e.g. Favreau et al., 2010; Lucas et al., 2014; Moretti et al., 2015; Brunet et al., 2017; Yamada et al., 2018; Peruzzetto et al., 2019, 2020, 2021, 2022, Guimpier et al., 2021; ...)

## Description fine de la courbure de la topographie (Peruzzetto et al., 2021)

- Important pour bien prendre en compte les ruptures de pente
- Important pour la calibration des paramètres



e.g. Bouchut et al. (2003); Bouchut et Westdickenberg (2004); Mangeney-Castelneau et al. (2005); Mangeney et al. (2007)



# Analyse de la propagation et estimation de l'atteinte : SHALTOP

## Méthode classique d'utilisation

- 1 : Calibration du modèle

Reproduction  
d'événements passés



Choix de la rhéologie et des  
paramètres rhéologiques  
associés

- 2 : Simulation prédictive avec les paramètres calibrés

Scénarios de  
déstabilisation



Simulations prédictives avec  
analyse de sensibilité



## Cas du Val d'Arly

- Pas de données disponibles pour reproduire la propagation des événements passés
- → **Simulations prédictives en utilisant des paramètres de la littérature**



# Analyse de la propagation et estimation de l'atteinte : SHALTOP

## Choix de la rhéologie

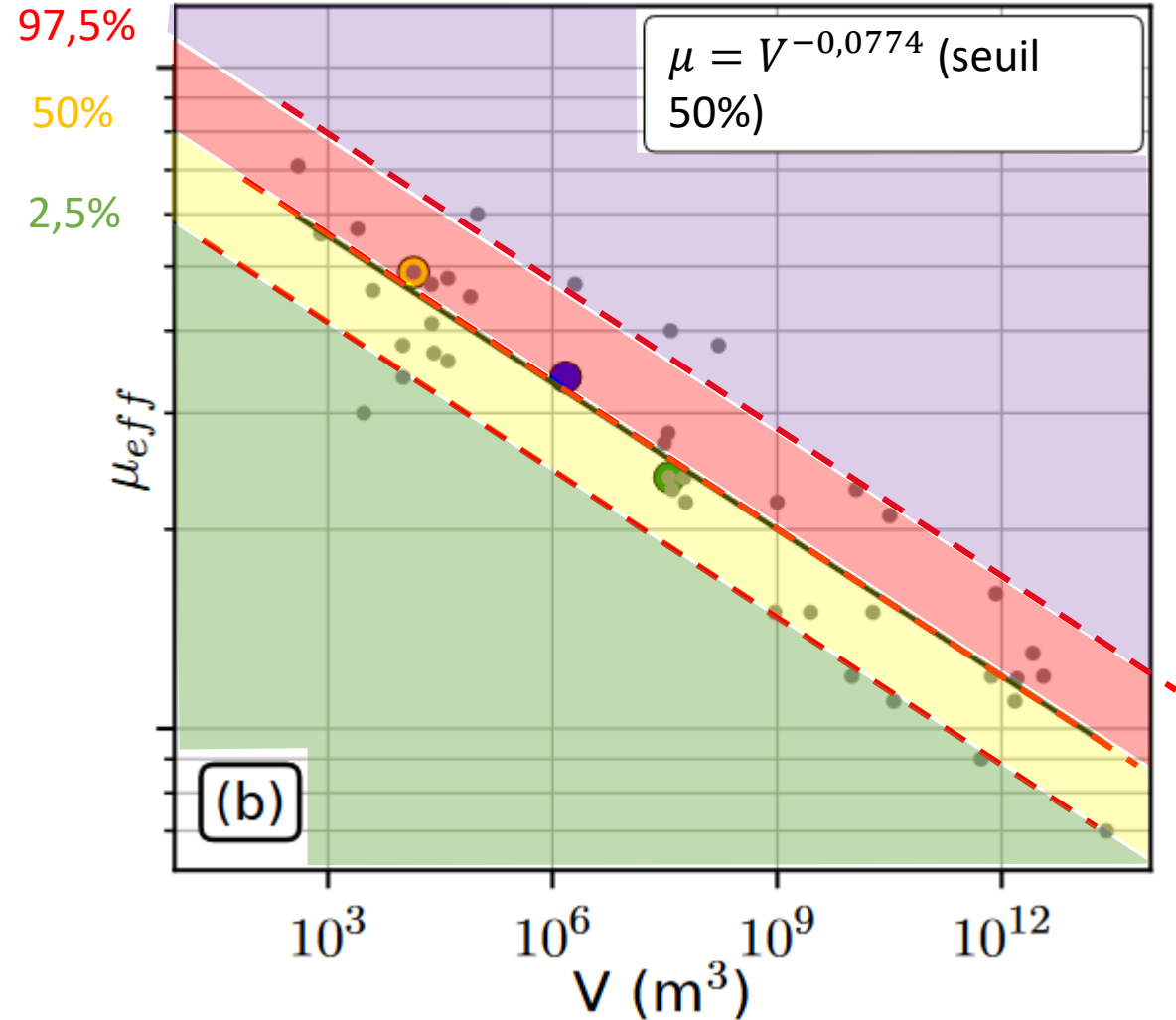
- **Rhéologie de Coulomb** : un seul paramètre empirique, le **coefficient de friction basal**  $\mu = \tan(\delta)$ , contrôle la mobilité du glissement
- Augmentation du coefficient de friction  $\rightarrow$  Diminution de la mobilité
- A déjà permis de reproduire des écoulements gravitaires secs et chargés en eau

## Choix du coefficient de friction

- Loi empirique fonction du volume  $V$  :  $\mu = V^{-0,0774}$
- **Incertitude** estimée grâce à la dispersion entre la loi et les observations

### Exemple de seuils pour $V = 15\ 600\ m^3$ :

<p>Augmentation de la probabilité d'atteinte</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 97,5 % <math>\rightarrow \delta = 29,8^\circ</math></li> <li>• 75 % <math>\rightarrow \delta = 26,0^\circ</math></li> <li>• 50 % <math>\rightarrow \delta = 23,9^\circ</math></li> <li>• 25 % <math>\rightarrow \delta = 21,7^\circ</math></li> <li>• 2,5 % <math>\rightarrow \delta = 17,3^\circ</math></li> </ul>	<p>Diminution de la mobilité</p>
--	--	--





# Analyse de la propagation et estimation de l'atteinte : SHALTOP

## Définition des scénarios



R. D, face au glissement de Montgombert

### Légende

Glissement de terrain superficiel (2-3 m)

Enveloppe globale

Zone d'initiation

Glissement de terrain moy. profond (5 m)

Enveloppe globale

Zone d'initiation

Glissement de terrain profond (10 m)

Enveloppe globale

Zone d'initiation

Glissement de terrain profond (20 m)

Enveloppe globale

Zone d'initiation

Glissement de terrain exceptionnel (>20 m)

Enveloppe globale

Zone d'initiation

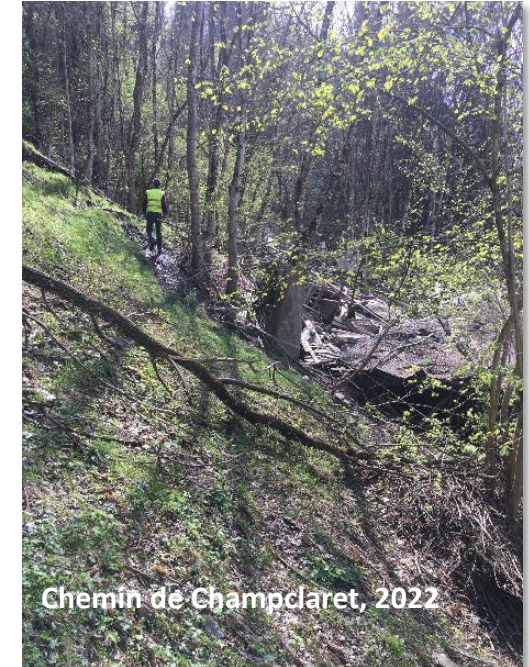




# Analyse de la propagation et estimation de l'atteinte : SHALTOP

## Limites des simulations

- Pas d'érosion de la topographie
- Pas d'initiation progressive (e.g. déstabilisations régressives et/ou déplacements avant rupture)
- Pas de variations rhéologiques au cours de la propagation (e.g. intégration d'eau)
- La remobilisation des dépôts par l'eau en coulée de débris / écoulement torrentiel



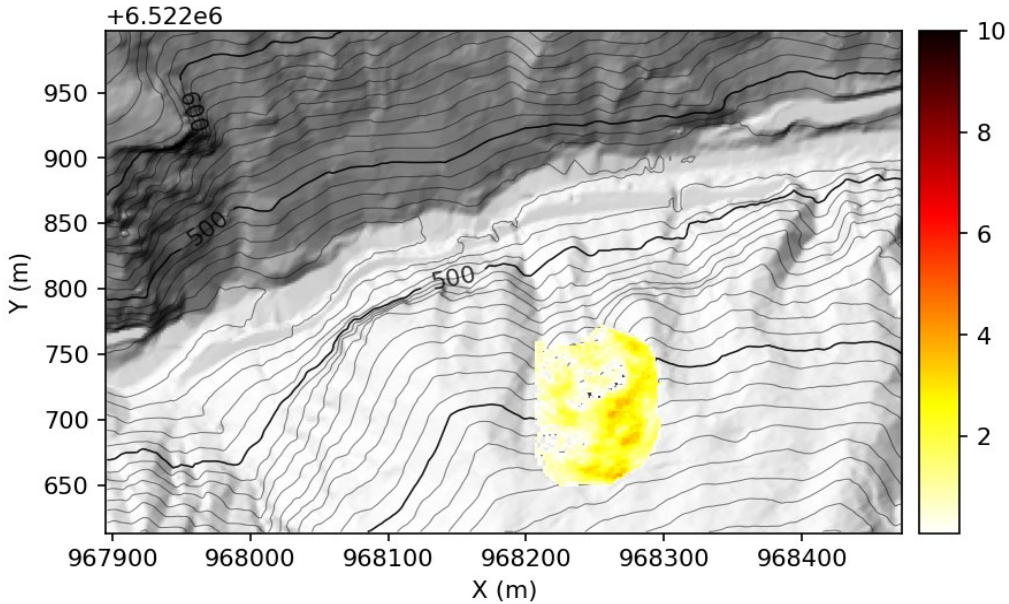
**Les cartes suivantes sont données à titre indicatif et informatif. Elles n'ont pas vocation à être utilisées telles quelles pour du zonage réglementaire ou des décisions d'aménagement**



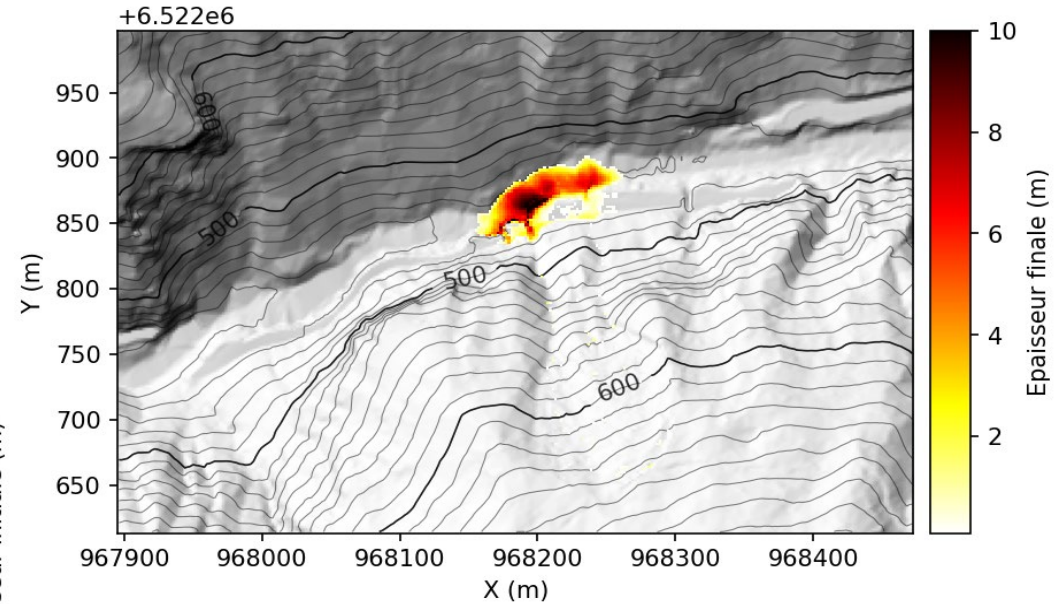


# Analyse de la propagation et estimation de l'atteinte : SHALTOP

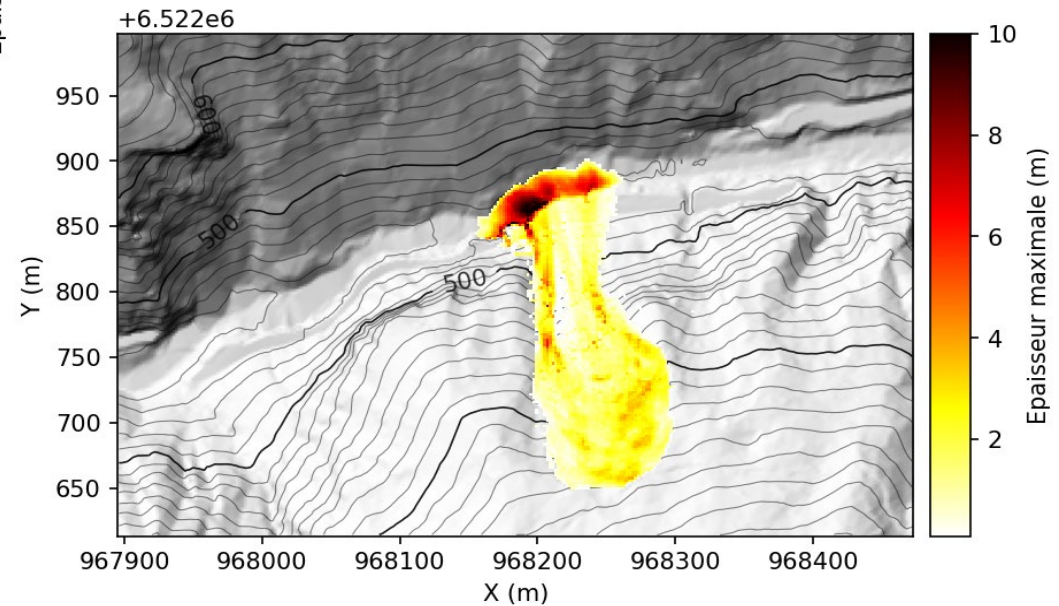
Exemple de simulation (MOY, 15 600 m<sup>3</sup>)



Masse initiale



Résultats simus  
pour coeff  
friction bas  
( $\delta = 17,3^\circ$ )

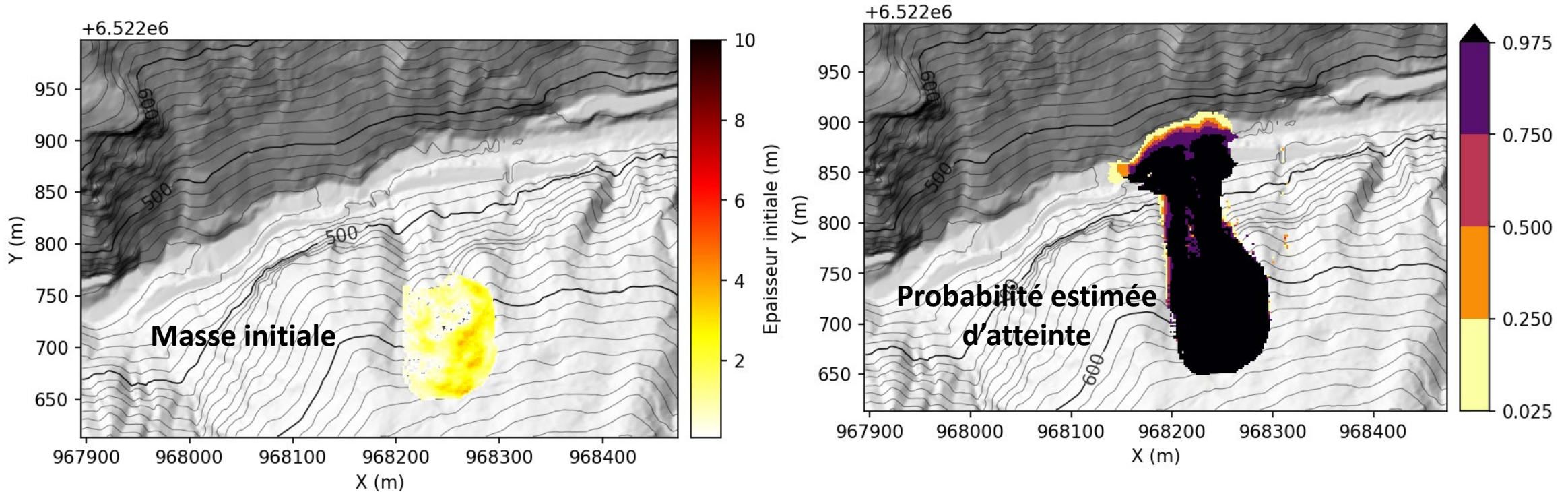


Résultats simus  
pour coeff  
friction  
intermédiaire  
( $\delta = 23,9^\circ$ )



# Analyse de la propagation et estimation de l'atteinte : SHALTOP

Estimation proba d'atteinte (MOY, 15 600 m<sup>3</sup>) du coté de La Combe, à l'ouest du glissement de Montgombert

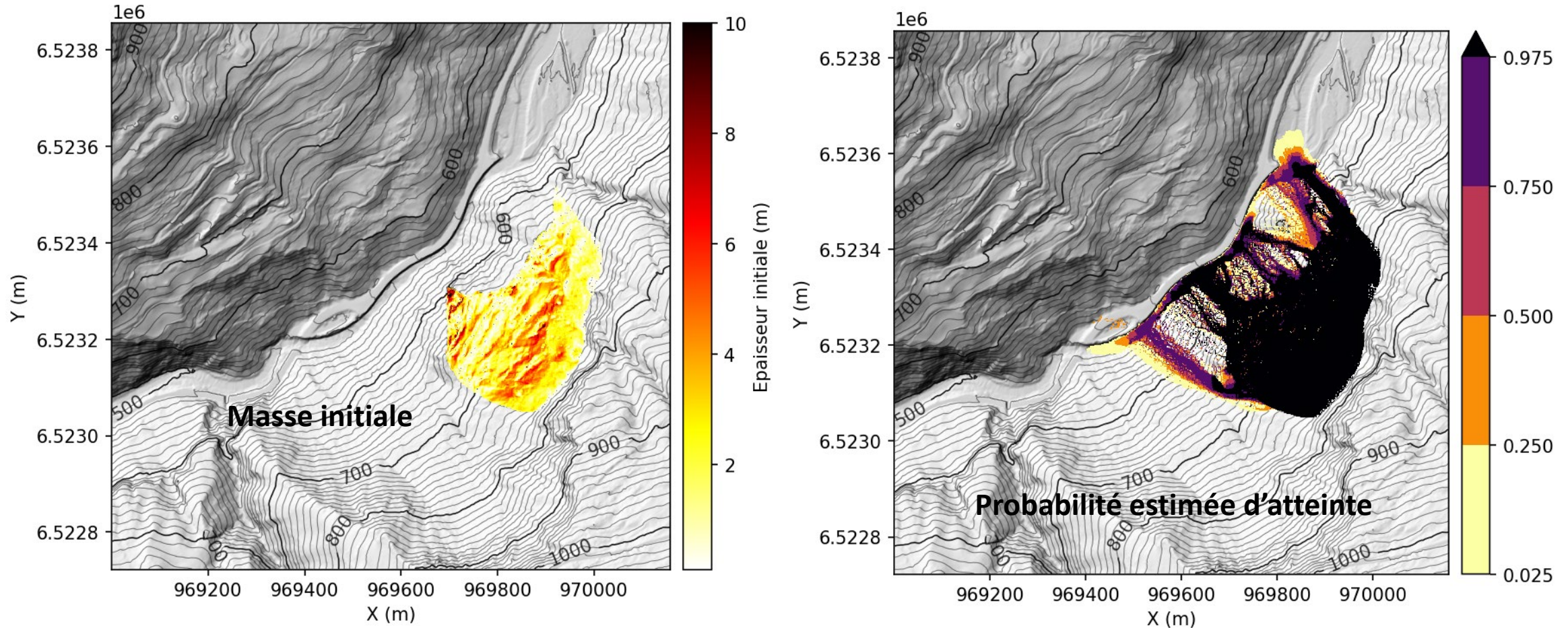


Selon le coefficient de friction, les volumes atteignant l'Arly varient ici de 6 675 m<sup>3</sup> pour 97,5 % de probabilités d'atteintes (glissement peu mobiles; et 2 925 m<sup>3</sup> déposés sur la RD1212) à 13 555 m<sup>3</sup> pour 2,5 % de probabilités d'atteintes (glissements plus mobiles; 400 m<sup>3</sup> déposés sur la RD1212).



# Analyse de la propagation et estimation de l'atteinte : SHALTOP

Estimation proba d'atteinte (EXCEP, 230 000 m<sup>3</sup>), flanc oriental du glissement dit de Cohennoz

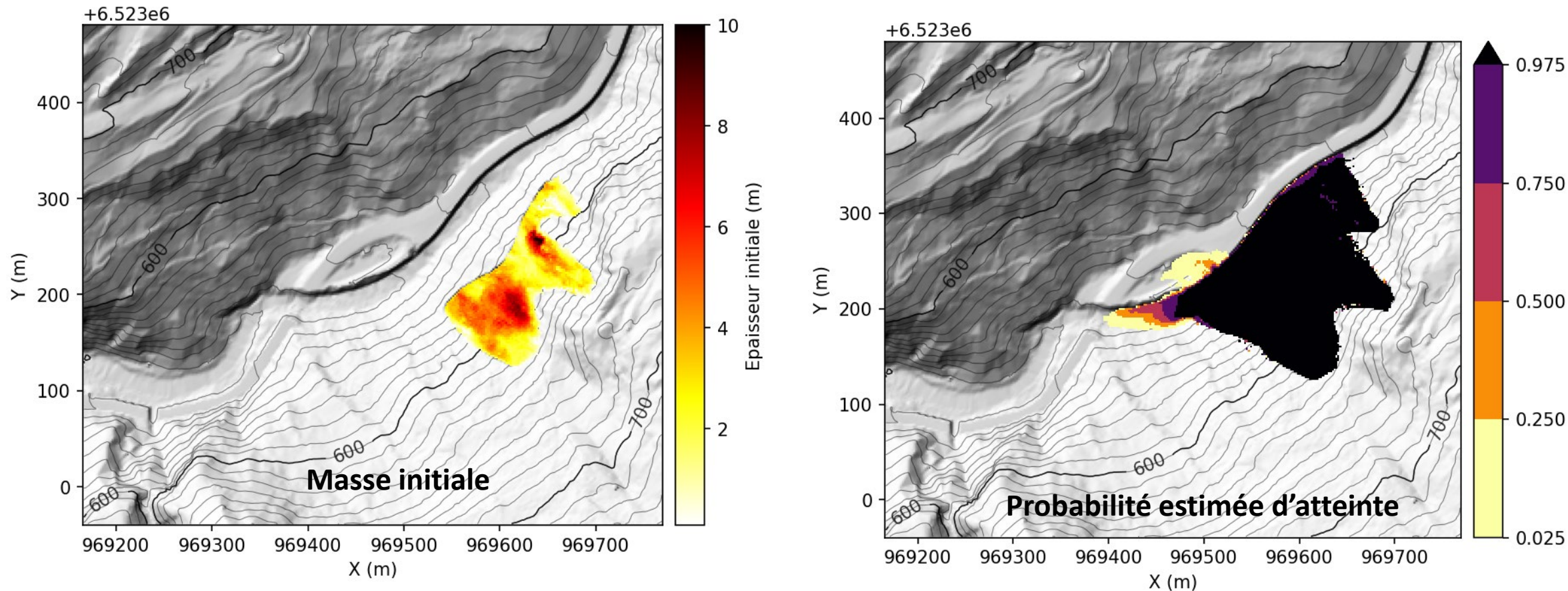


Selon le coefficient de friction, les volumes atteignant l'Arly varient ici de 12 650 m<sup>3</sup> pour 97,5 % de probabilités d'atteintes à 95 600 m<sup>3</sup> pour 2,5 % d'atteinte.



# Analyse de la propagation et estimation de l'atteinte : SHALTOP

Estimation proba d'atteinte (PFD10, 54 800 m<sup>3</sup>), pied central en berge du glissement de Cohennoz

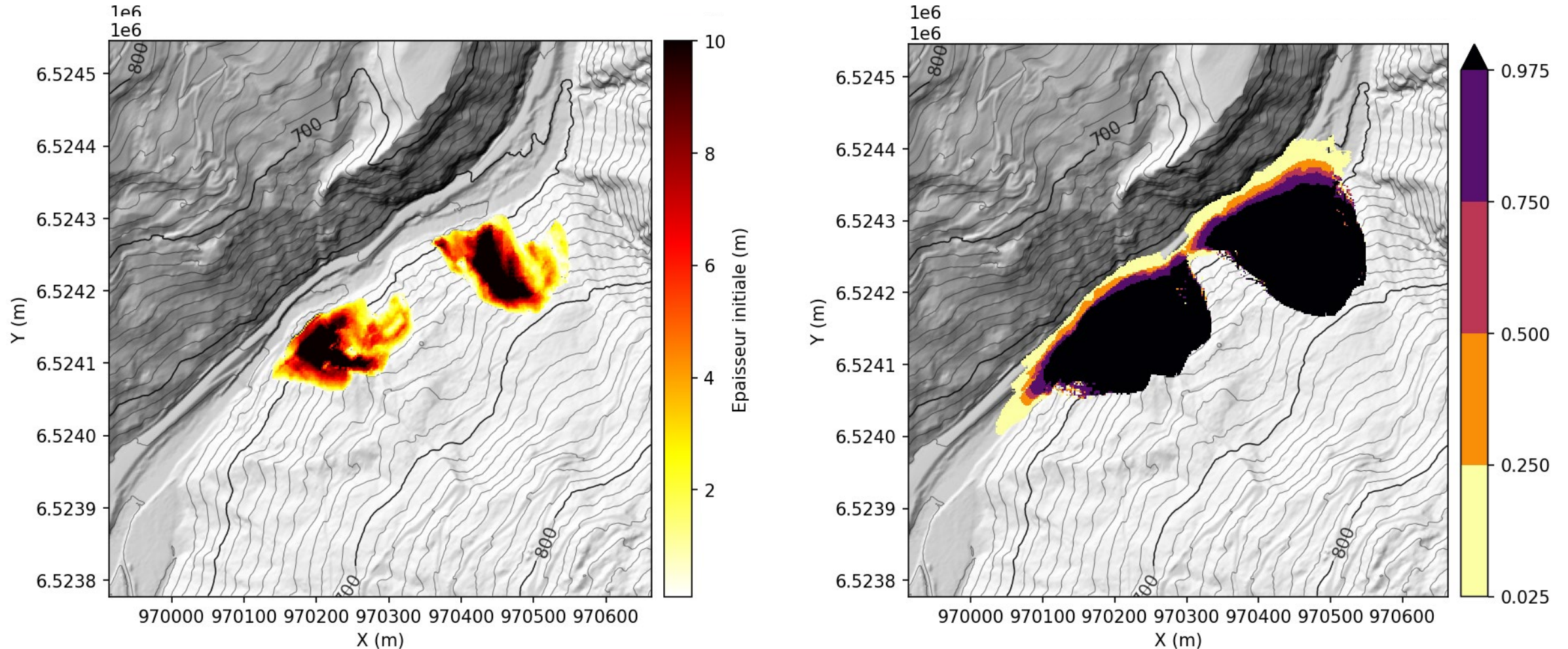


Selon le coefficient de friction, les volumes atteignant l'Arly varient ici de 36 000 m<sup>3</sup> pour 97,5 % de probabilités d'atteintes à 40 800 m<sup>3</sup> pour 2,5 % d'atteinte.



# Analyse de la propagation et estimation de l'atteinte : SHALTOP

Estimation proba d'atteinte (PFD20, 235 000 m<sup>3</sup>), proche Moulin Ravier –confluence Nant Cortay

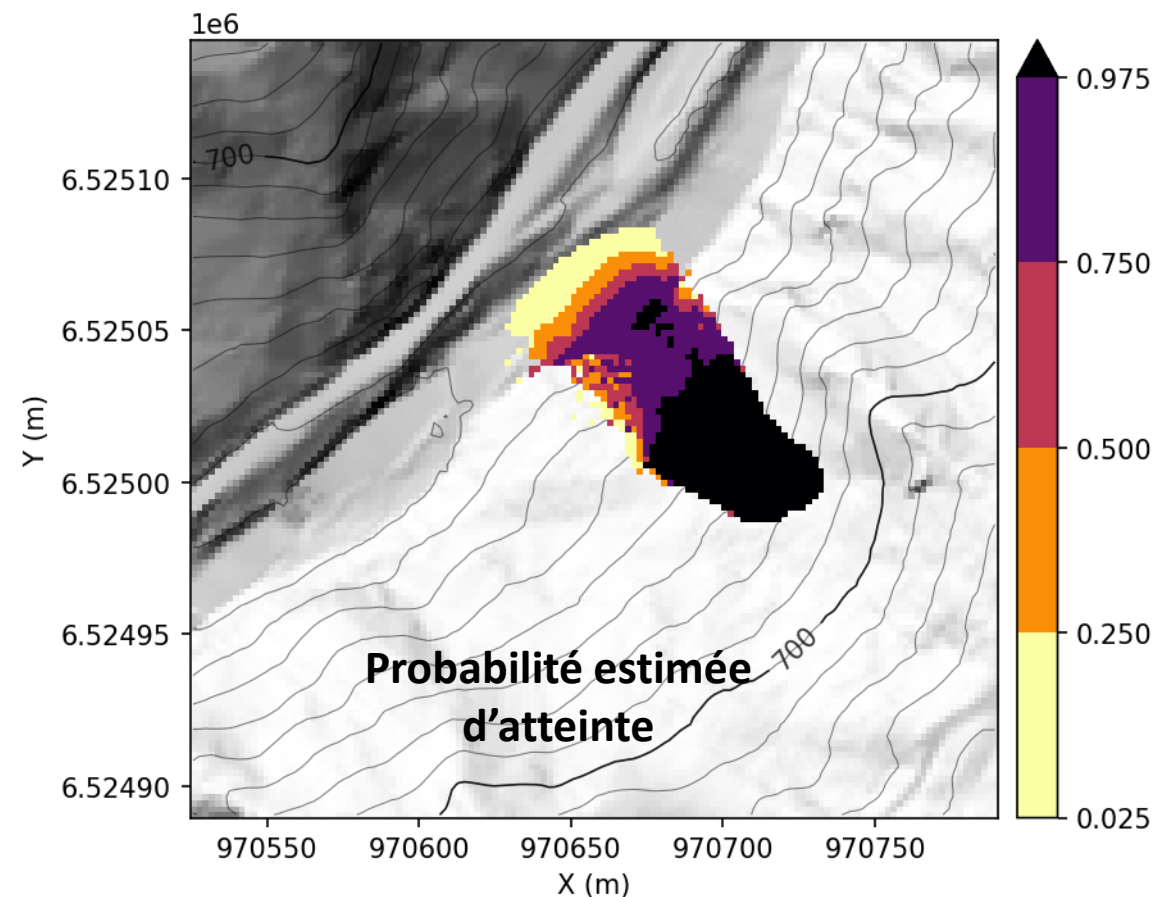
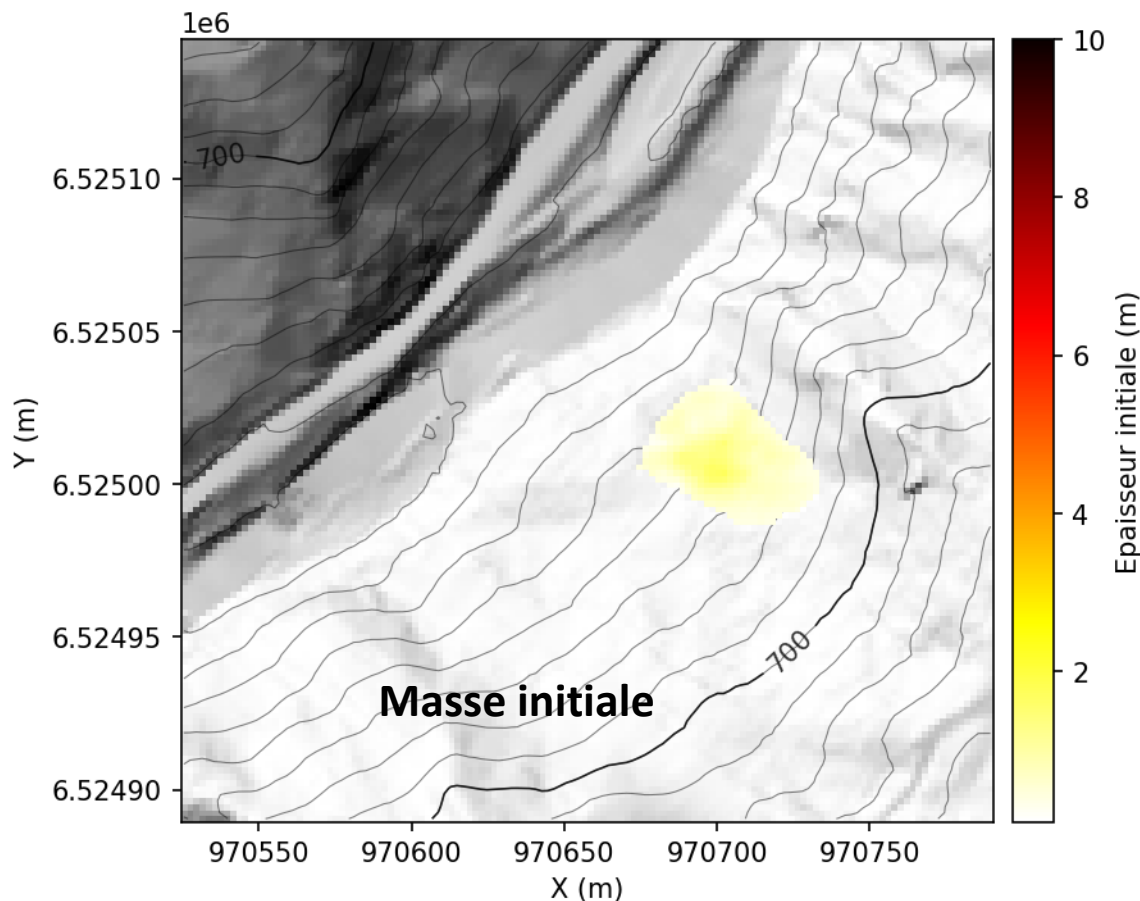


Selon le coefficient de friction, les volumes atteignant l'Arly varient ici de 141 900 m<sup>3</sup> pour 97,5 % de probabilités d'atteintes à 202 750 m<sup>3</sup> pour 2,5 % d'atteinte (RD1212 envahie dans ce dernier cas sous 16 600 m<sup>3</sup>).



# Analyse de la propagation et estimation de l'atteinte : SHALTOP

## Estimation proba d'atteinte (PFD20, 1600 m<sup>3</sup>) à hauteur des Metraux



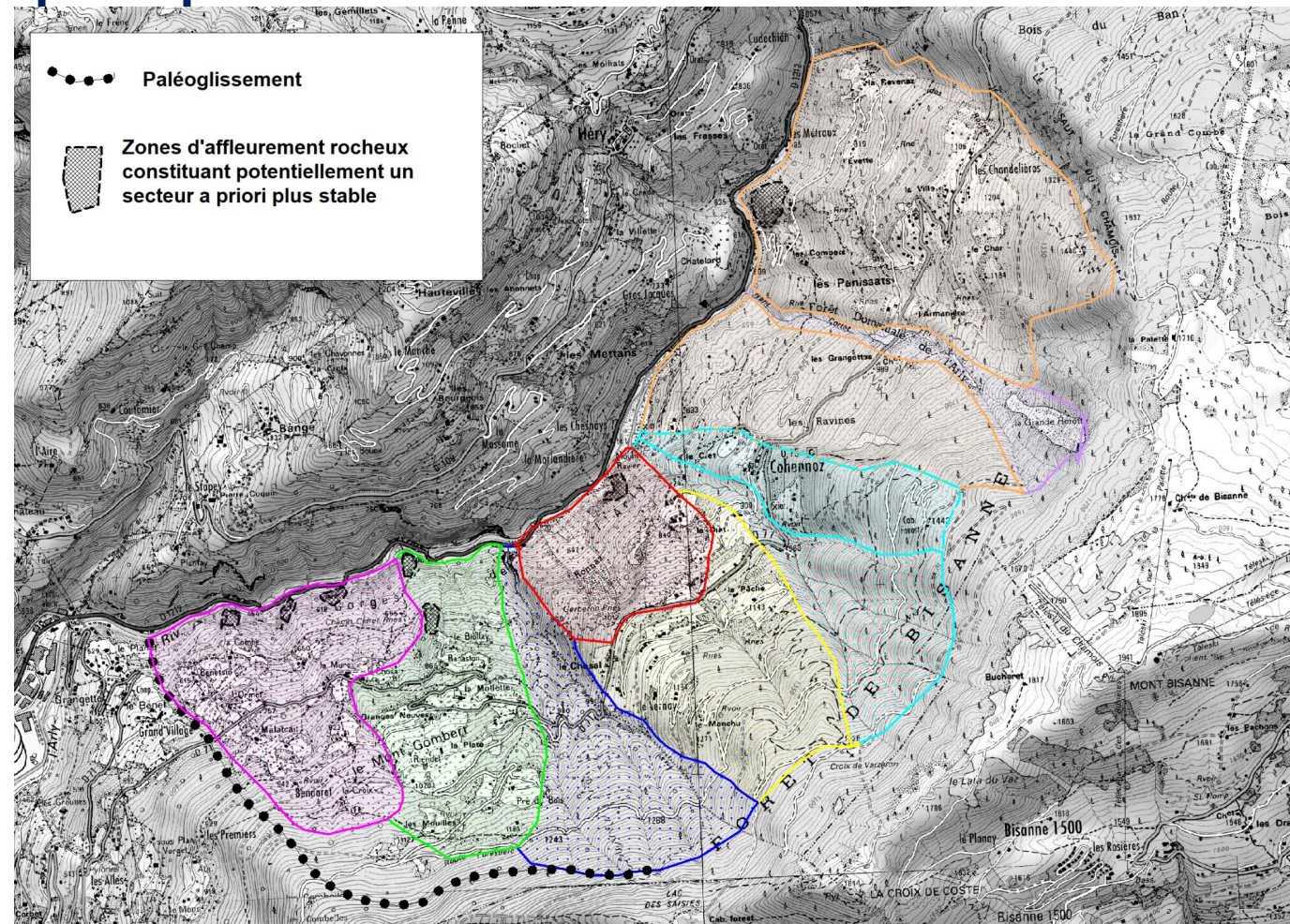
Selon le coefficient de friction, les volumes atteignant l'Arly varient ici de 20 m<sup>3</sup> pour 97,5 % de probabilités d'atteintes à 1 5 50 m<sup>3</sup> pour 2,5 % d'atteinte.



# Bilan succinct par secteurs d'instabilité de versant

**\* basé sur l'activité passée et en cours, observations diverses, modélisations faites ;  
Au niveau des Gorges (pied de versant) mais aussi du versant + amont ;  
En lien avec les enjeux présents et les impacts possibles.**

**Mené que sur la rive gauche (à noter quelques observations faites dans MIROIR aussi en rive droite, notamment sur le glissement de la Morlandière, et même en géologie hors des Gorges de l'Arly sur le glissement de Bange sur Ugine**

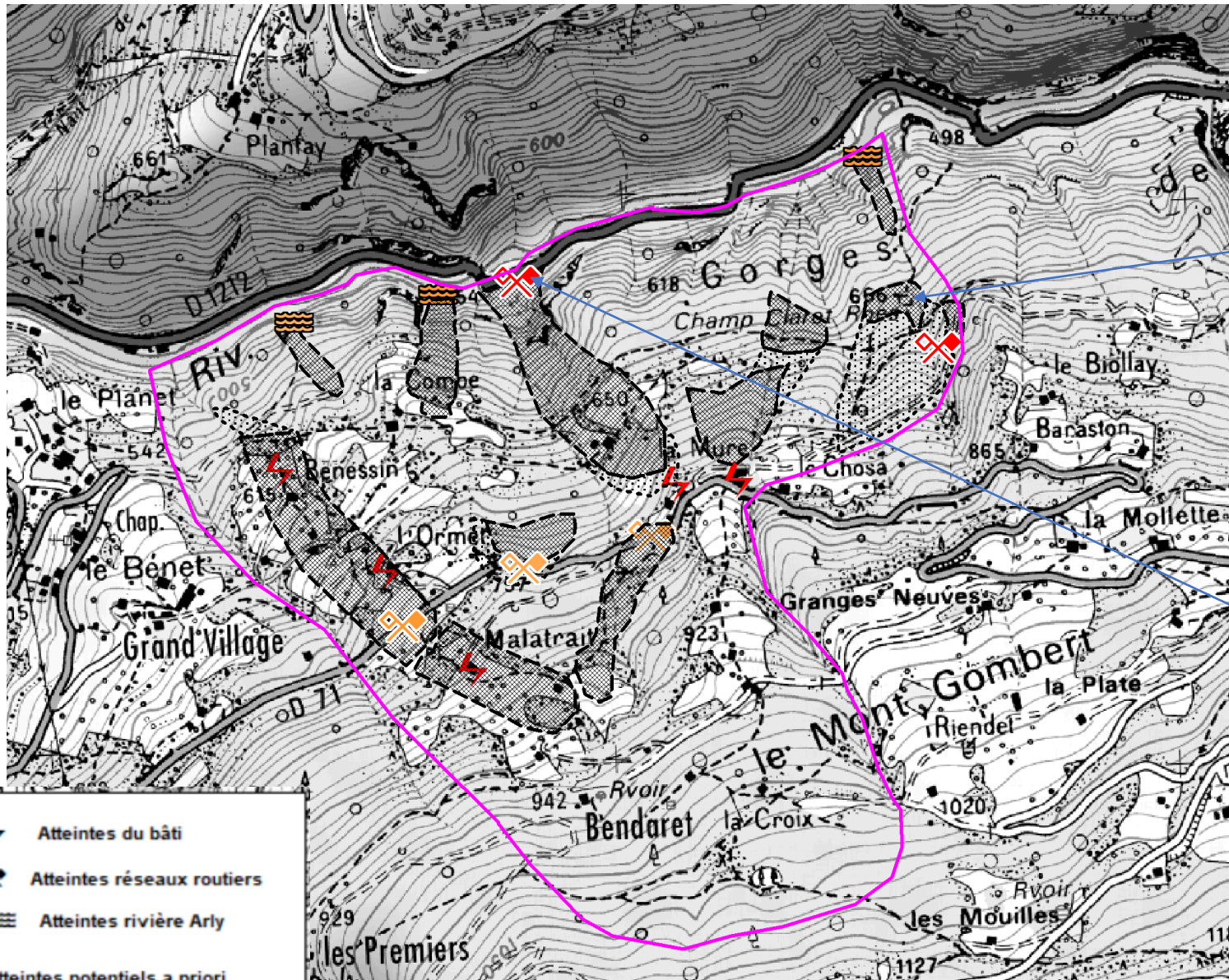


## Secteur Benessin à Champclaret (Ugine)

- \* **Nombreux compartiments instables longitudinaux qui se succèdent le long des Gorges, axés presque tous sur des talwegs.**
- \* **Une moitié a une période d'activité connu en glissement (de 1967 à 2021). Les autres sont identifiés par leurs cicatrices d'arrachement.**
  - \* **Plus amont, d'autres zones longitudinaux en glissement prennent le relais à hauteur de la RD71 entre Malatrait et La Mure (voire Chosa ??), et l'ensemble est contenu dans un amphithéâtre qui remonte jusqu'à la zone de Bendaret à La Croix.**
  - \* **Pas de récurrence connu dans les dernières décennies... mais avant 1967 ??**
- \* **Cinématique individuelle des mouvements primant a priori sur la cinématique globale....**
- \* **Bordé à l'ouest par un talweg actuellement à vallon sec en partie haute**
- \* **Venues d'eau ++ en amont**
  
- \* **Inclus dans un ensemble de paléo-glissement global plus ancien.**
- \* **Habitat surtout dispersé**



# Secteur Benessin à ChampClaret (Ugine)



⚡ Atteintes du bâti  
 ✂ Atteintes réseaux routiers  
 ≡ Atteintes rivière Arly  
 Atteintes potentiels a priori  
 limitée, modérée ou forte





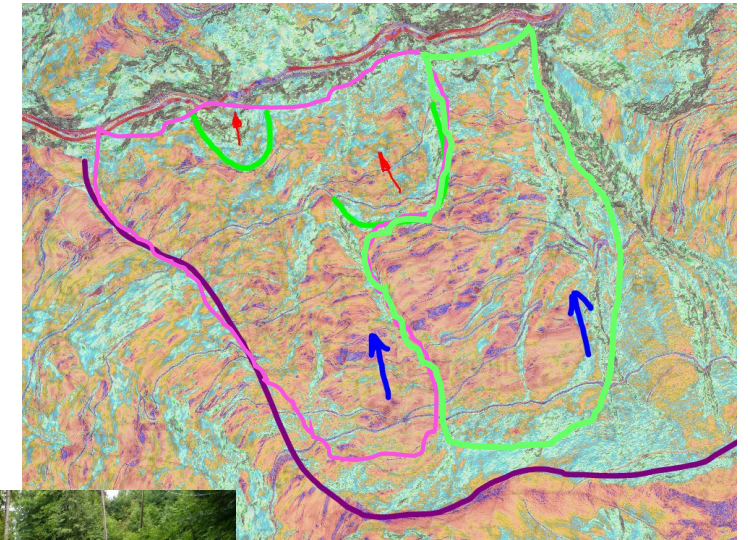
## Secteur Benessin à ChampClaret (Ugine)

- Réactivation attendue de la plupart des zones de glissements identifiées, mais de manière individuelle. Pas de nette régression ou élargissement constaté ....
- Malgré l'emboîtement, pas de signes actuelles précurseurs laissant penser que la régression pouvant amener faire craindre à l'immédiat à une coalescence de glissement et à des mouvements d'ensemble.
- En général, au mieux la RD71 atteint (ou la RD1212) et une maison isolée exposée (pas plus de 3 au maximum)
- Scénarios courants les plus impactants : nouvelles coupures RD71, l'accès au Biollay, La Mure, la RD1212 touchée à nouveau en aval, plutôt pour des gammes de volumes de plusieurs milliers à qq dizaines de milliers de m<sup>3</sup>
- Scénarios les plus défavorables : coalescence des zones instables individuelles soit coté Malatrait, soit coté La Mure, avec des gammes de volumes pouvant atteindre la centaine de milliers de m<sup>3</sup> à plusieurs centaines de milliers de m<sup>3</sup>



# Secteur Chosa La Molette (Ugine)

- Signes locaux d'instabilité locale, notamment le long de la RD71, mais absence de mouvements de terrain significatifs connus.
- Versant constitué d'une masse unique en une série successive +/- peu pentue, plutôt stable.
- Moindre incision des talwegs
- Nombreux AEP présents
- Présence d'affleurement rocheux plus marqués entre Champ Claret et Biollay (stabilité relative ?? )
- Bordé à l'est par la zone d'influence du Nant Boulou
- Venues d'eau ++ en amont
- Inclus dans un ensemble de paléoglisement global plus ancien.

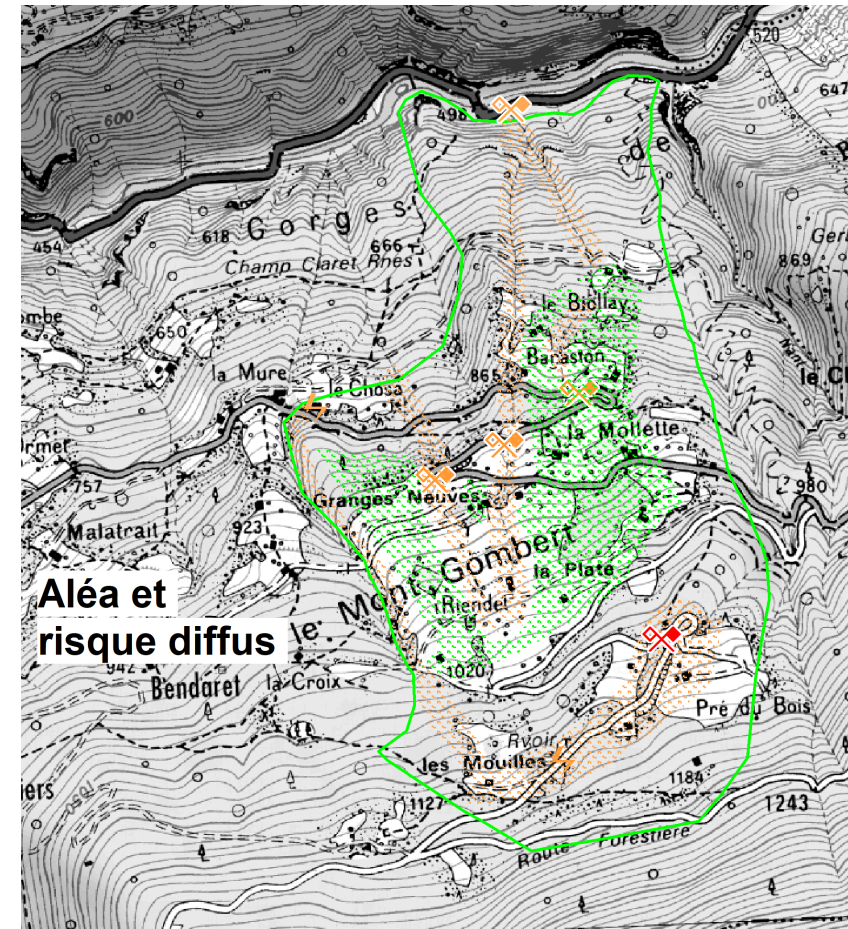


# Secteur Chosa La Molette (Ugine)

- En parties basses (Gorges), glissement significatif possible (si pas déjà survenu)
- A priori un peu plus stable que plus en aval vallée. L'unique bâti en partie basse semble peu concernée mais si estimation de stabilité pas si confirmé que cela

- Plus haut, glissement ultérieur probable dans des conditions climatiques dégradées mais attendu plutôt localement sous formes de départs +/- superficiels et pas trop étendus (qq centaines de m<sup>3</sup> à qq milliers de m<sup>3</sup>)
- Glissement plus généralisé très improbable mais pas totalement exclu non plus (mise en saturation progressive sur plusieurs années consécutives....qq dizaines de milliers de m<sup>3</sup>)

Domages éventuels attendus d'abord sur RD71, piste forestière, et RD1212, bien plus que sur le bâti.



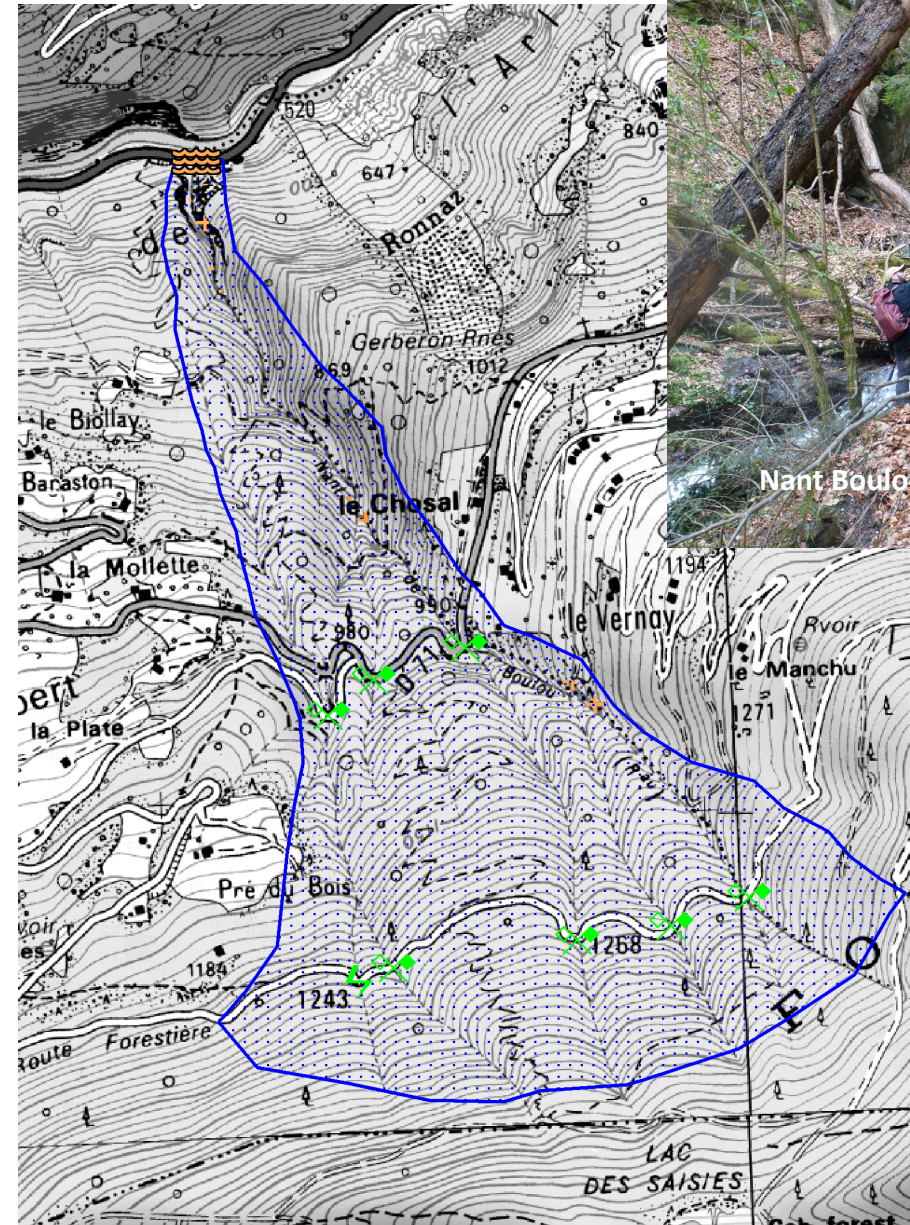


# Secteur Nant Boulou (Ugine-Cohennoz)

- Moins de venues d'eau a priori de l'amont
- Versant localement drainé ++
- Terrains rocheux avant tout avec incisions et altérations limitées aux réseaux hydrographiques.
- Instabilités en berge et flancs de talwegs tout le long du versant sauf en partie basse (+ éboulement ou torrentiel)
- Petit embâcle rocheux possible a priori dans les zones les plus encaissées
- Enjeux limités aux ouvrages de franchissement (pistes, RD71, RD1212) et à l'Arly

**Conséquences : coupures des axes de circulation routière, lors de crues torrentielles ou en cas de rupture d'embâcle**

Journée restitution MIROIR Mairie d'Ugine 28/09/2023





# Secteur Ronnaz avec le Glissement dit de Cohennoz (Cohennoz)

Zone où la vallée est la plus étroite, encaissée  
Versant subdivisé en pied (berge), corps (masse glissée) et tête verticale  
Chacun ayant a priori sa propre dynamique tout en interagissant  
Premier secteur pour les départs en masse, avec des départs ayant dépassé  
à plusieurs reprises les 100 000 m<sup>3</sup>, en 1931, 1958 (?), 2015.....  
Phase de départs en glissement par sape de pied, ou via venues d'eaux de l'amont  
engendrant glissement, petites coulées de boues et poussées sur des affleurements  
rocheux résiduels (avec départs de pierres et blocs)

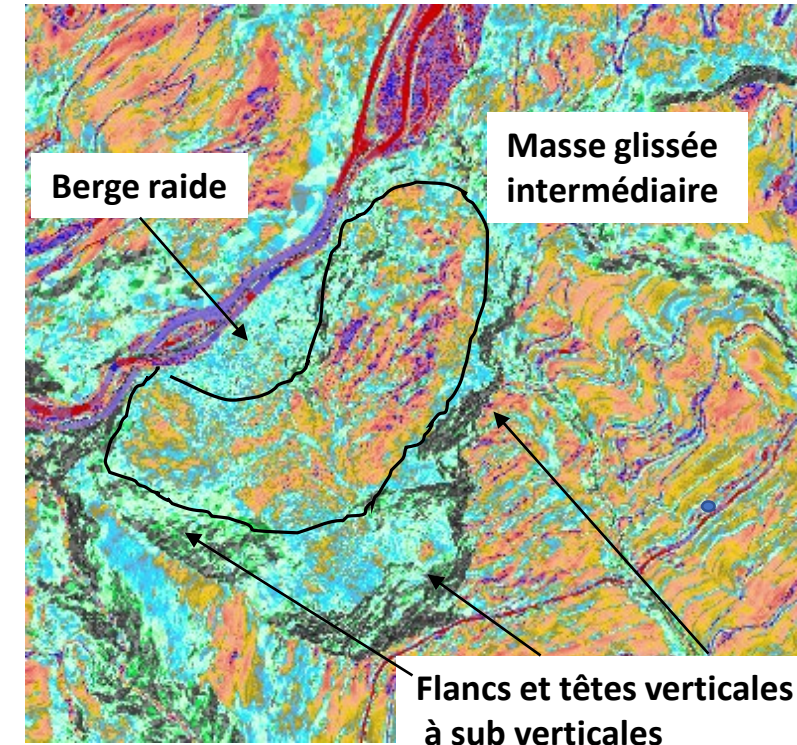
Site ayant la récurrence historique de réactivation la plus importante des Gorges,  
(déjà bien visible sur les mappes savoyardes)  
Même si depuis 2015 sa dynamique de versant semble plutôt calme.  
Instabilité du versant confirmée par un large dénudement d'une bonne partie  
du flanc de versant, mais pas totalement....

Régression amont vers le Diat , zone déjà glissée en son sein et en propagation  
possible vers l'aval....

Élargissement tant à l'est qu'à l'ouest sans doute pas possible : Système Nant Boulou et Nant des Roches

Point haut de la RD71 !!

Un amont brutalement très sage (Secteur Vernay-Manchu) !!



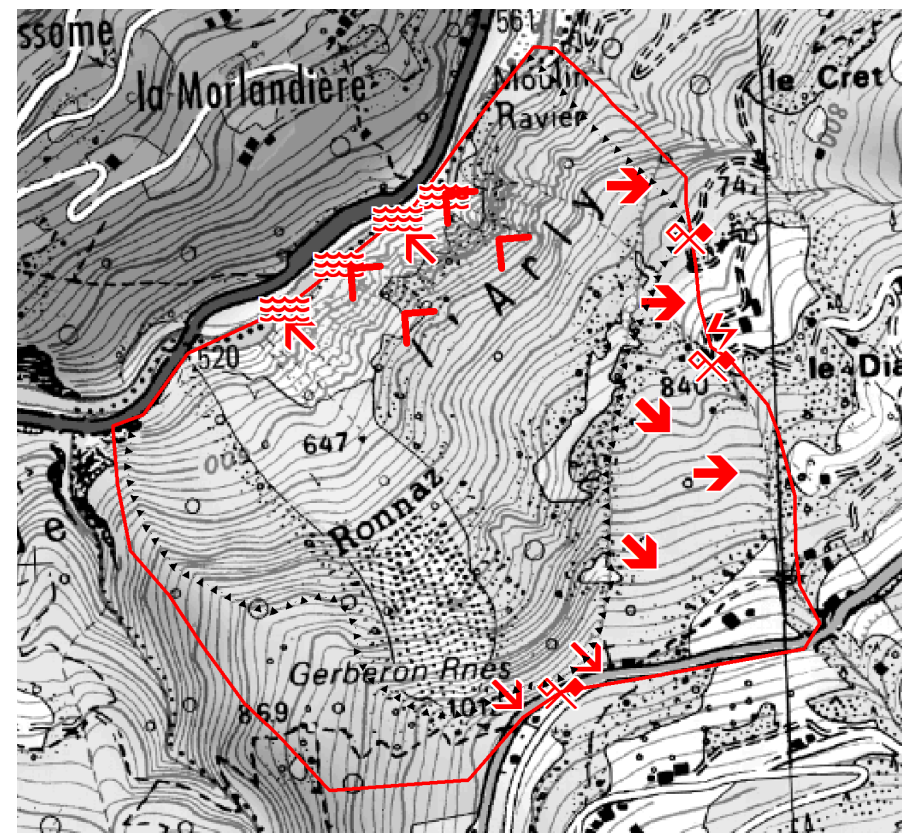
Aucune donnée quantitative acquise sur cet portion de versant peu facilement pénétrable.



# Secteur Ronnaz avec le Glissement dit de Cohennoz (Cohennoz)

Plusieurs menaces possibles de mouvements en masses ou à fort impact et sans aucune perspective à ce jour de prédiction en termes d'échéance possible :

- Nouveau départ en masse de la zone de berge dans l'Arly sans doute en lien avec l'activité torrentielle de l'Arly (plutôt un scénario classique)
- Réactivation en masse dans le corps intermédiaire avec propagation importante et rapide via la zone de berge dans l'Arly
- Régression amont important sur le flanc oriental (comme en 1931) vers le Diat ou l'ouest du Diat;
- Décompression amont en tête au niveau de la RD71, qui même avec une régression limitée ira vite vers la nécessité d'un nouveau tracé ponctuel de la RD71 plus amont;



Tous ces scénarios pourraient être synonymes de gros volume en mouvements (de quelques milliers à plusieurs centaines de milliers de m<sup>3</sup>, voire plus) et de dommages possibles élevés pour le bâti proche, les axes routiers et enfin l'Arly, dans sa partie où la vallée est la plus étroite.



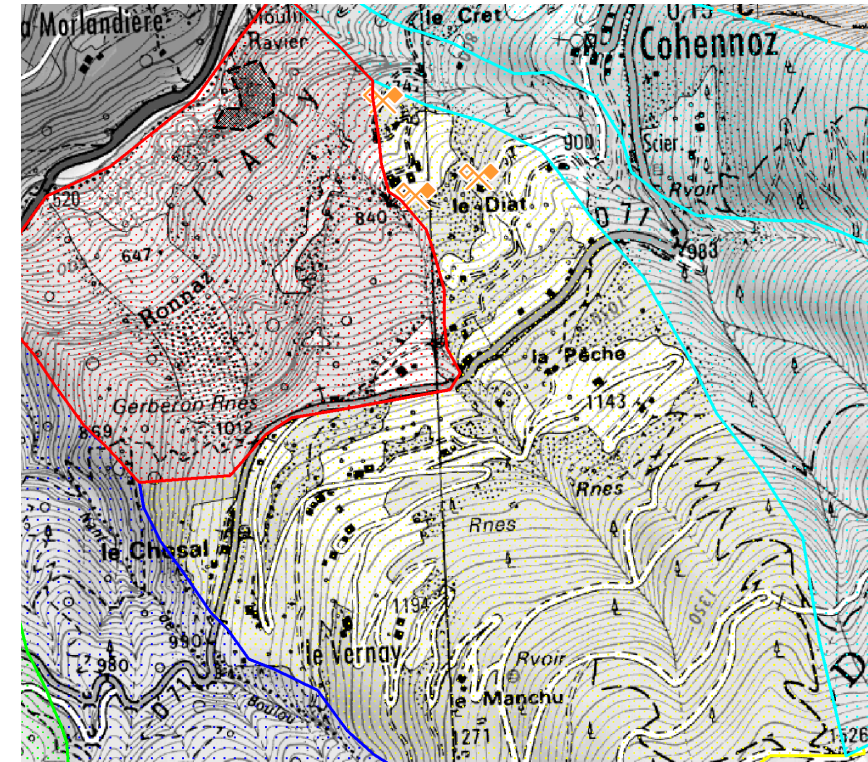
# Secteur Le Vernay - Manchu (Cohennoz)

Épaulement de versant rocheux à pente très régulière jusqu'en tête de vallée (crête sommitale de la Croix de Coste)

Indices modestes et ponctuels d'instabilité rencontrés qu'au lieu dit La Pêche et autour de Diat (coin nord-est aval)

Rare secteur sans menaces significatives identifiées à l'immédiat pour le bâti, et sinon juste limitée à la piste de desserte du Diat (fraichement réparée).

En cas de régression amont significative du glissement de Cohennoz, possibles atteintes en différé du bâti lors des phases de ré-équilibre du versant en amont du glissement, notamment sur le Diat.



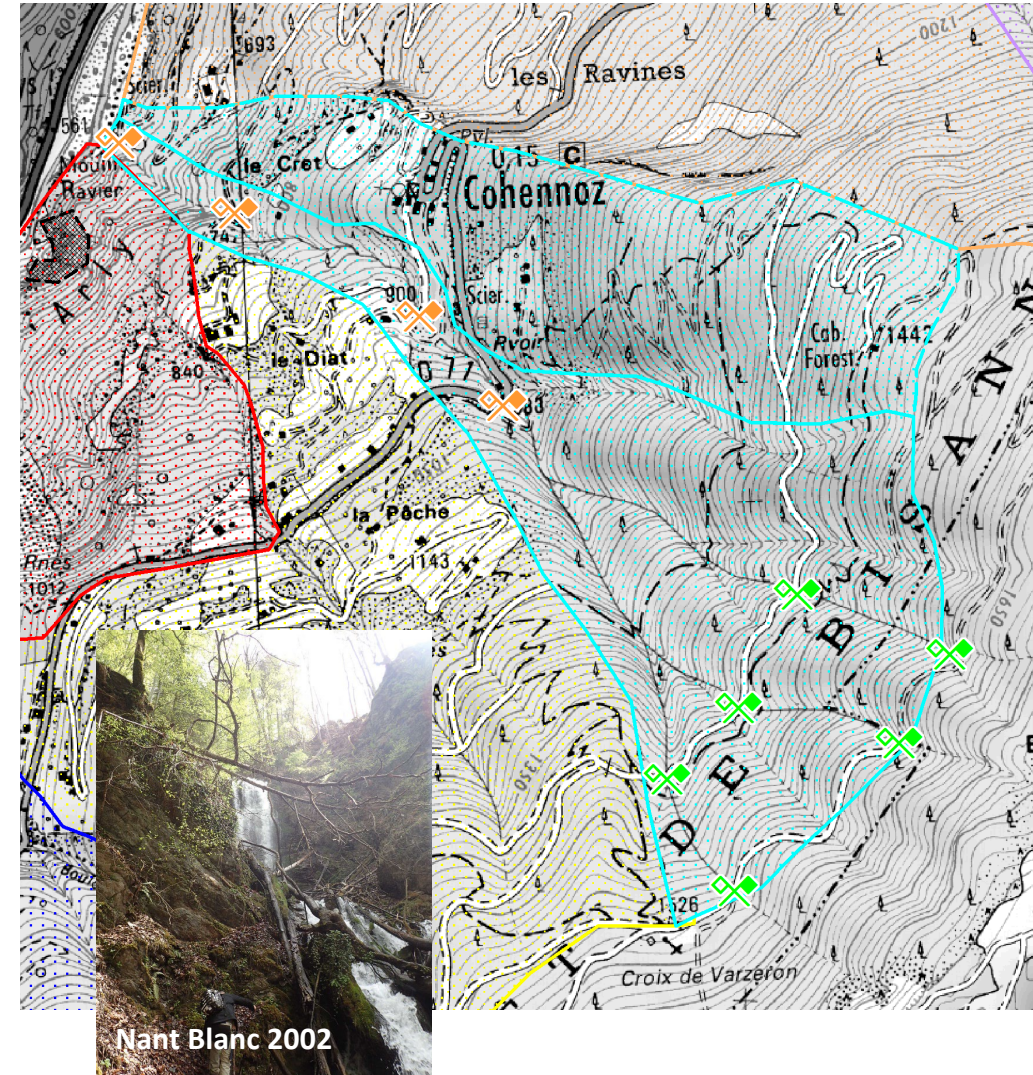


# Secteur Nant Blanc et Bourg (Cohennoz)

- (Pas de réserve d'eau en amont)
- Versant localement drainé ++
- Terrains rocheux avant tout avec incisions et altération limitées aux réseaux hydrographiques.
- Instabilités en berge et flancs de talwegs tout le long du versant, même en pied

Secteur de versant semblant relativement stable pour tout le centre bourg en première approche

Conséquences : en dehors de possible encombrement rocheux/torrentiel du lit du Nant Blanc, pas de vraie inquiétude

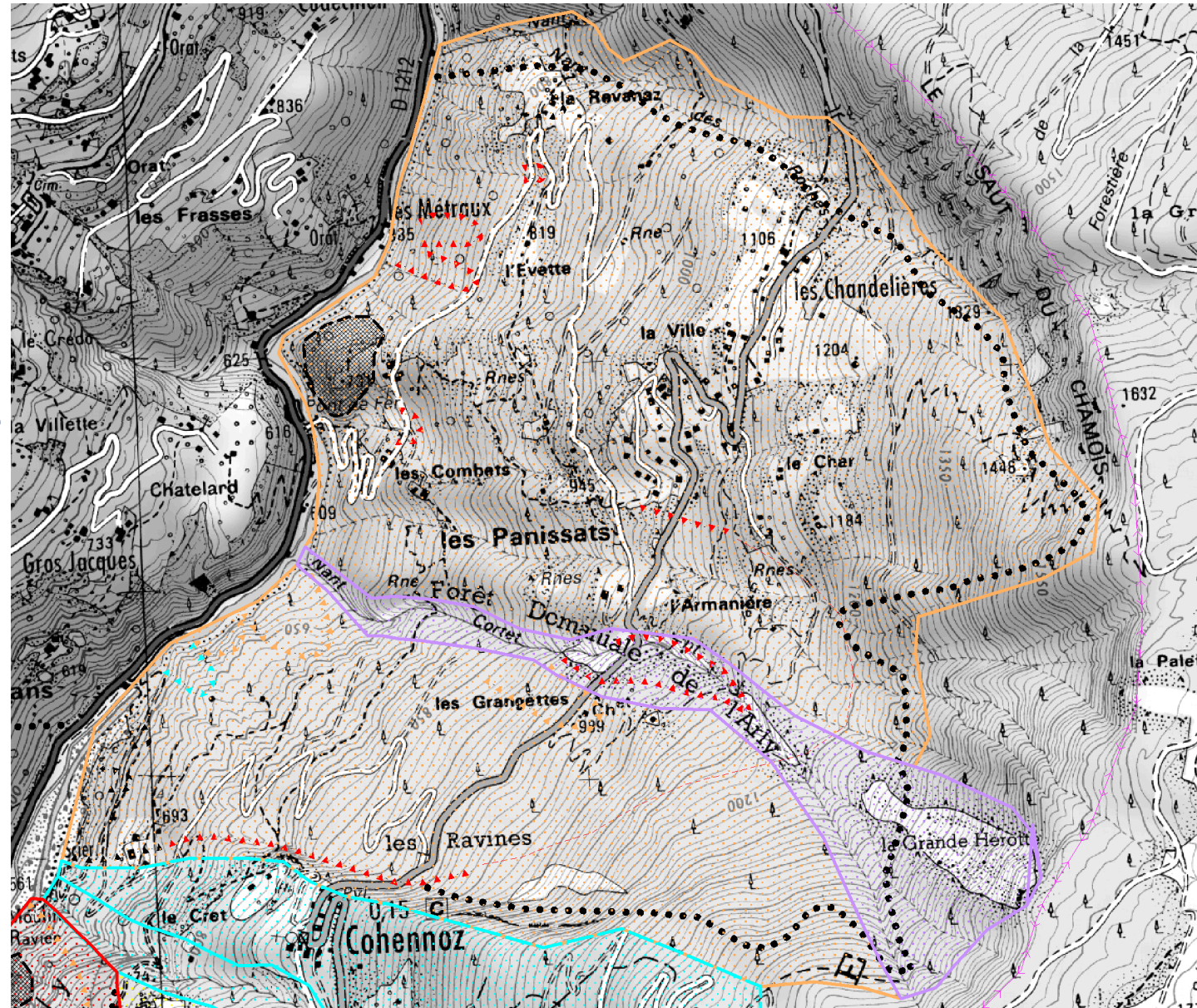




# Secteur Panissats Ouest – Moulin Ravier (Cohennoz)

Panneau de versant presque intégralement  
masqué sous la couverture forestière.  
Fluage en continu d'un versant rocheux  
en glissement rotationnel profond complexe  
Activité actuelle à rythme + marquée depuis  
2015, visible tant par la marche de  
décrochement en continu sur la RD71 mais  
aussi du fait d'un bourrelet de pied bien visible  
de stationnement en bas de piste forestière....  
Partie sommitale à pente a priori régulière,  
plus sage ??? (boisé et loin de tout)

Parties basses de versant en amont de Moulin  
Ravier (aval confluence du Nant Cortay) à  
l'origine de 3 importants glissements de berge  
datant des années 1955-1960 (avec cicatrices  
en amont des têtes de glissement de 2015),  
sinon glissement de berge de moindre  
envergure et moindre épaisseur.





# Secteur Panissats – Nant Cortay (Cohennoz)

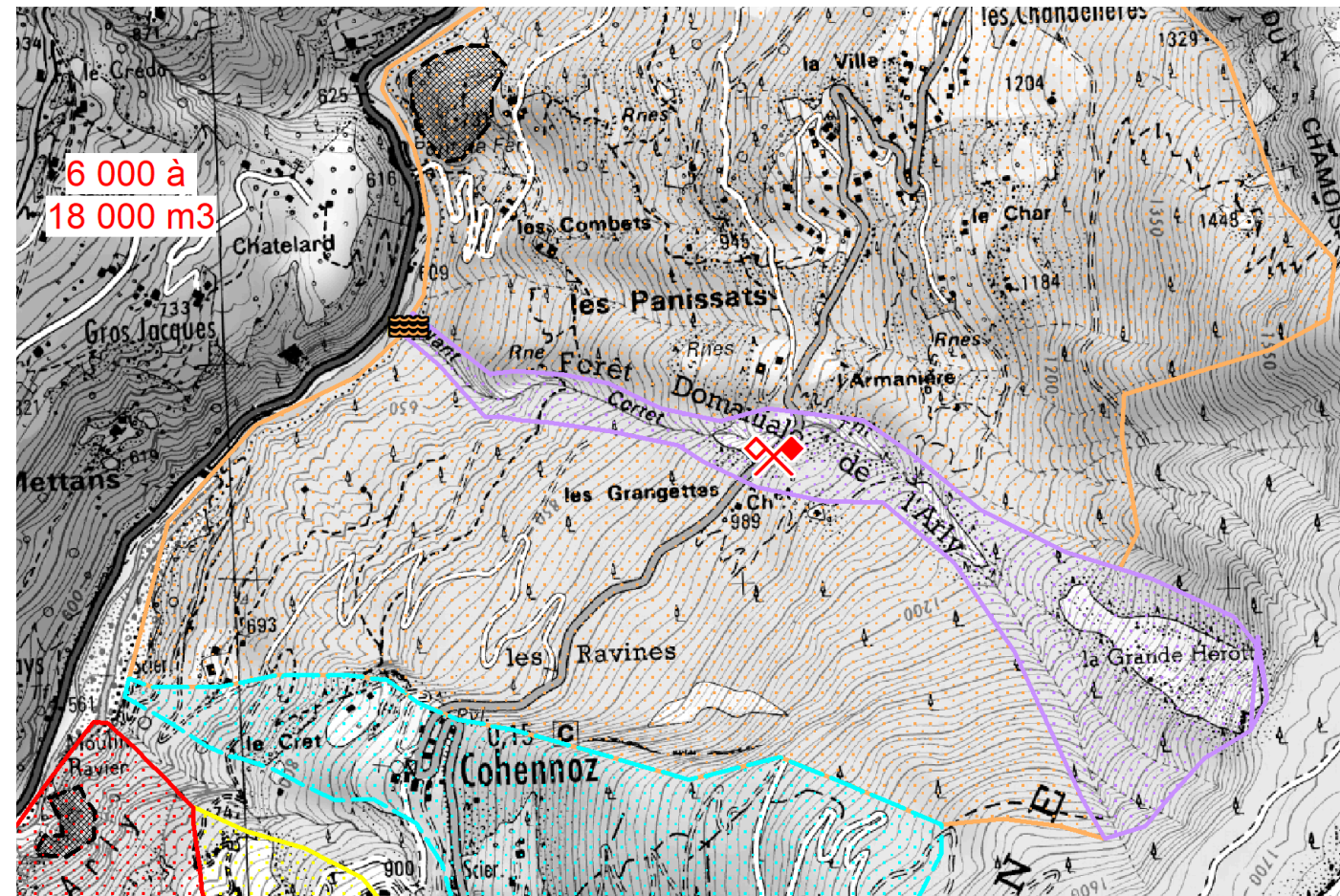
Monographie RTM dédiée sur cette zone domaniale gérée par la RTM

Apports en eaux ++ en amont signalé à hauteur du secteur de la Grande Herotte en provenance du plateau des Saisies

Dynamique mixte, substrat rocheux mais altération ++  
soit glissement meuble de berge, notamment en RG

Comportement assez bien cerné, récurrent et plus ou moins connu avec des pics ponctuels d'apports torrentiels à l'Arly atteignant jusqu'à 6 000 / 9 000 m<sup>3</sup> d'apports solides par épisode de crue, et une estimation d'apports solides de 6 à 18 000 m<sup>3</sup> en centennale

Secteur croisement RD71 restant toujours très fragile, malgré les ouvrages de correction torrentielle et les ouvrages de drainage du versant, notamment du fait de la fragilisation superficielle de versant en aval immédiat de la RD71....





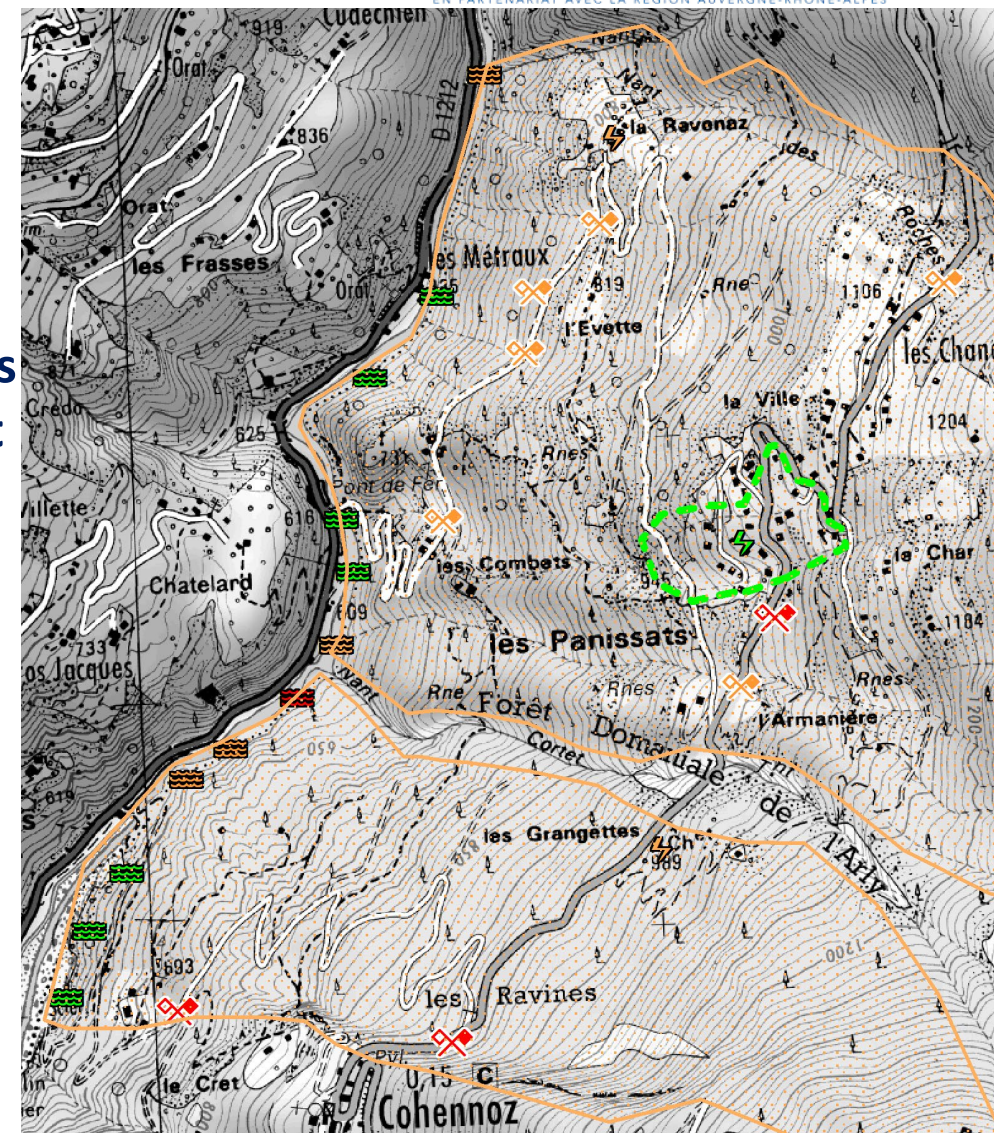
# Secteur Panissats Est – Métraux (Cohennoz)

**Fluage en continu d'un versant rocheux en glissement rotationnel profond complexe**

**En amont, secteur bâti des Panissats non affecté par ce mouvement d'ensemble, du fait du décrochement régulier au sud proche**  
**Sur les Panissats même, déformations superficielles en mouvements ondulatoires liés aux circulations + /- diffuses d'eaux en écoulement superficiel.**

**En pied de versant, pic rocheux autour du Pont de Fer qui apparaît être comme un point dur, stabilisateur du versant dans ce secteur.**  
**En amont du Pont de Fer, les instabilités de versant à hauteur des Métraux restent limités à des glissements plans superficiels uniquement dûs à la raideur des pentes (très régulières).**

**En aval du Pont de Fer e cette zone rocheuse, dans les lacets de la piste (lieu dit les Combets), le versant est constitué à l'affleurement d'une couverture de terrains meubles d'épaisseur inconnue et qui ne semble guère stable.**



**Surprise possible aussi un jour autour du Nant des Roches à capacité de charriage certain, et ici jusqu'à sa confluence dans l'Arly.**



**\* Pour la plupart des secteurs, peu de risques a priori à court terme même si incertitudes souvent élevées.**

- Risque de changement de dynamique, d'aggravation possible à peu près partout, donc vigilance à maintenir.**
- 3 secteurs + problématiques : au quotidien Benessin-ChampClaret, Nant Cortay et sinon surtout glissement de Cohennoz. A plus long terme, Panissats pourra s'ajouter à la liste.**

**\* Enjeux variés avec menace la plus forte en fond de vallée pour la RD1212 et l'Arly (dégâts directs et/ou indirects), et d'ampleur moindre pour la RD71.**

- Besoin a priori d'investiguer + spécifiquement sur le comportement pendant quelques années du glissement de Cohennoz avant le retour d'une prochaine crise.**
- Moins de neige et plus d'irrégularités : bilan + ou - du changement climatique ??**



## Intérêts du projet pour les territoires alpins (utilisation de résultats, de méthodo, opérationnalisation, transférabilité, ...)

- Partir de structures géologique bien déterminés => via Lidar => Géomorphologie => compartimentation des versants. ;
- Travail réalisé multi échelle spatiale et temporelle ;
- Nouvelles technologies de + en + présentes : Lidar, drone, Satellites. Mais ce qui n'empêche certaines pratiques + classiques (levés géologiques par exemple) de toujours apporter aussi leurs contributions.
- Nouveau développement méthodologique (suivi par géophysique ) avec article scientifique à la clef





# Quelques pistes de réflexion sur la gestion future des Gorges de l'Arly

- A l'immédiat, rester vigilant sur l'ensemble de la vallée de l'Arly au niveau des Gorges pour détecter au plus tôt toute zone de versant en amorce de réactivation de glissement et réagir en fonction ;
- En action préventive conseillée, pour mieux anticiper une possible gestion de crise potentiellement compliquée, un monitoring limité sur qq années sur le glissement de Cohennoz, pas forcément immédiatement (budget à mobiliser) ;
- Poursuivre les réflexions, surtout en y rajoutant le **volet risque torrentiel** initialement prévu. Un petit volet socio économique associé pour apprécier les couts prévisibles directs et indirects serait potentiellement utile pour aller vers une approche de gestion a minima orienté couts/bénéfices;
- Développer la culture du risque et de faire des riverains usagers des versants les premiers acteurs de la prévention.



# Restitutions faites et restant à venir du projet MIROIR

- Délivrables :
  - Notes techniques prêtes ou subfinalisées (géologie, hydrogéologie, dynamique des versants et scénarios), article scientifique ;
  - Note (généraliste) de synthèse générale (Projet MIROIR) à venir, intégrant vos remarques du jour (pour finalisation et diffusion avant fin septembre en principe).
- Journée de restitution scientifique du projet MIROIR en visio sous forme d'un Webinaire (envisagée mi-octobre à mi-novembre).
- Diffusion du jeu complet des livrables finaux du projet MIROIR juste après le webinaire (courant novembre).
- Probables posters des résultats pour autres colloques scientifiques.....

Soutiens et partenaires :



Avec le soutien de



FONDS NATIONAL  
D'AMENAGEMENT  
ET DE DEVELOPPEMENT  
DU TERRITOIRE  
Massif des Alpes



## MIROIR



Merci  
pour votre  
attention



E. Equibey, BRGM, chef de file du projet POIA-CIMA MIROIR