

# CHANTIER RGF - PYRÉNÉES

## Les Risques gravitaires dans les vallées pyrénéennes

Yannick Thiery, Séverine Bernardie, Rosalie Vandromme, Isabelle Bouroullec, Bastien Colas, Christophe Garnier, Gilles Grandjean (BRGM Orléans, Toulouse, Montpellier, Bordeaux)  
Charles Aubourg, Guy Sénéchal, Dominique Rousset (UPPA, LFCR UMR 5150)  
Gatien Douchet

03 juin 2019 - Pau

# Les Risques gravitaires dans les vallées pyrénéennes

1. Introduction
2. Problématique
3. Sites d'études
4. Conclusion & perspectives

03 juin 2019 - Pau

# Les Risques gravitaires dans les vallées pyrénéennes

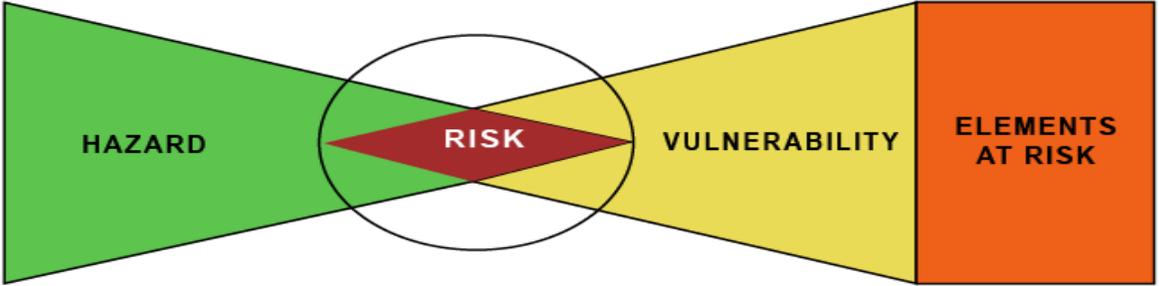
1. Introduction
2. Problématique
3. Sites d'études
4. Conclusion & perspectives

03 juin 2019 - Pau

# 1. Risques et aléas : rappels



**Risk = f (hazard; consequences)**  
**Hazard = f (susceptibility; intensity)**



(From Alexander, 2002)

**R = Risque**  
**A x C**

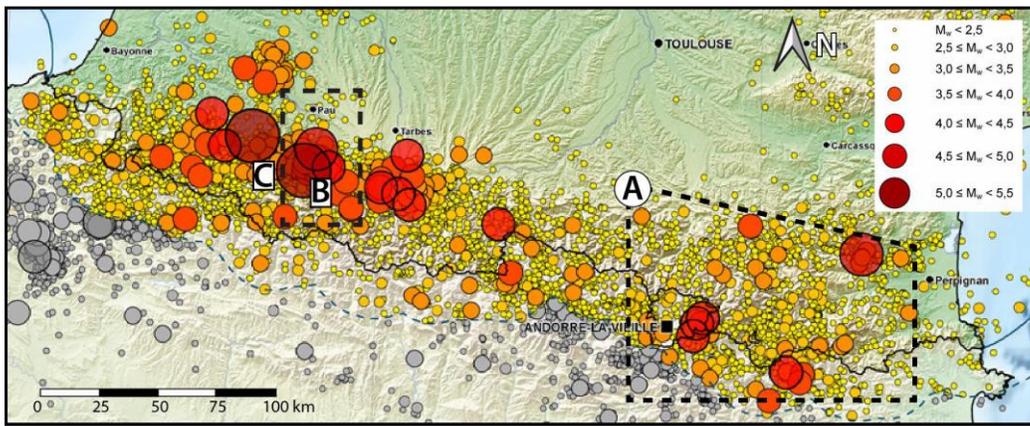
**A = Aléa**  
**S x T**

**S = Susceptibilité (fonction de la localisation des phénomènes et de leurs relations avec les facteurs de prédisposition)**

**T = Composante temporelle (fonction de l'intensité et des facteurs déclenchants) + Extension du phénomène**

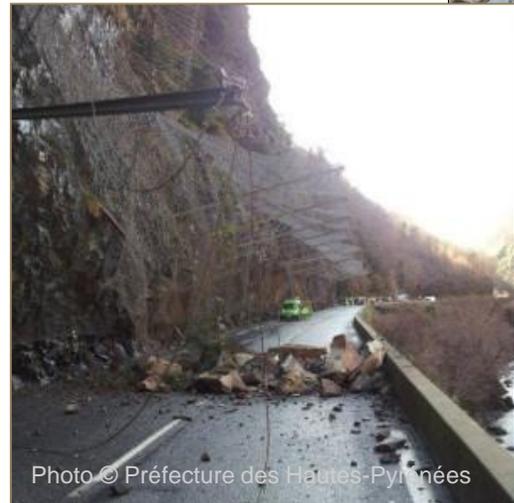
**C = Conséquences (fonction de la vulnérabilité et des éléments exposés)**

(Thiery, 2007)



Sismicité instrumentale (1962-2009), (CNRS, CEA – 2014)

<https://www.cprim.org/documentation/photographie/2013-crue-historique-du-gave-de-pau/>



# 1. Différents aléas dans les Pyrénées

- Séismes
- Inondations torrentielles
- Chutes de blocs
- **Glissements de terrain**
  - Lents
  - Rapides
  - Superficiels
  - Profonds
  - Actifs
  - Latents
  - stabilisés

# 1. Risques et aléas : glissements de terrain ou aléas gravitaires

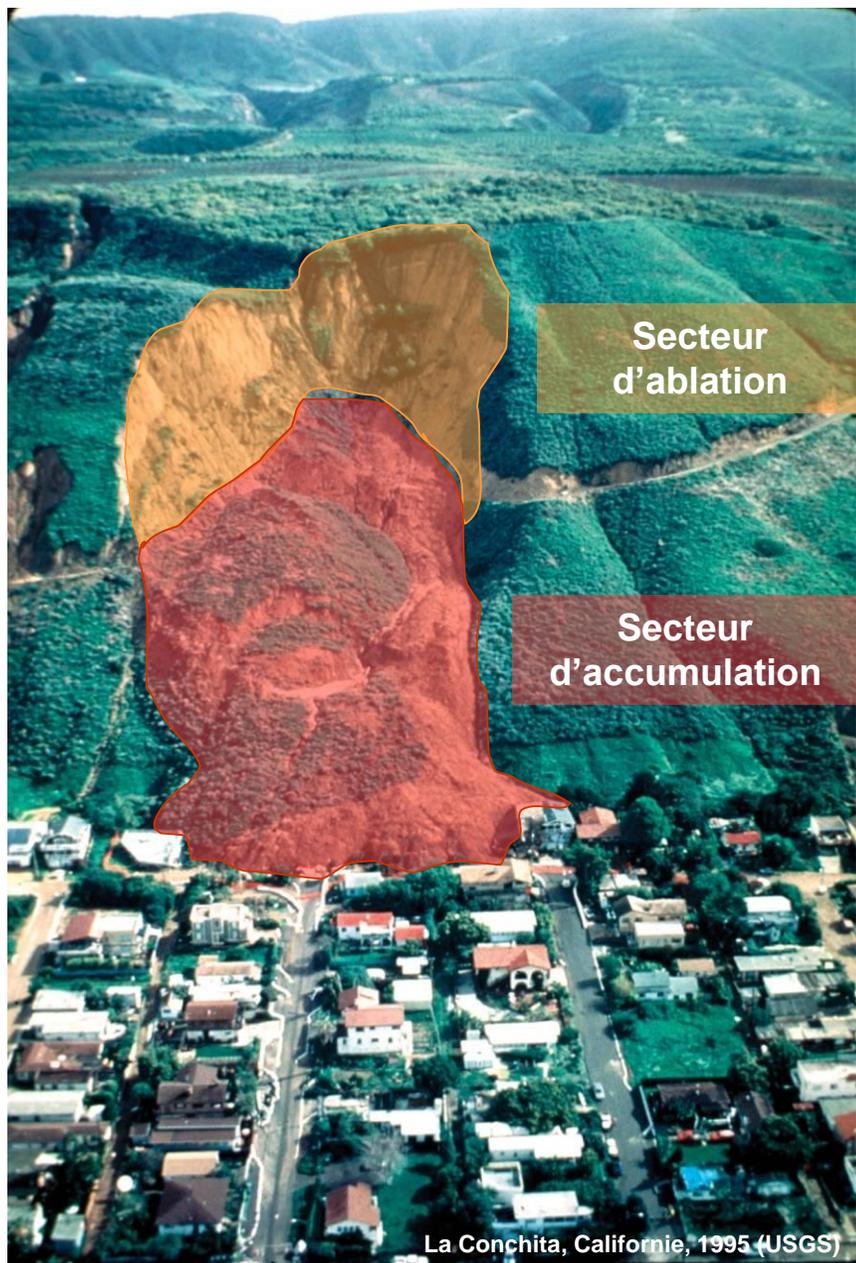


**Glissement de terrain : c'est quoi ?**

Déplacement d'une masse de matériaux plus ou moins cohérents le long d'une surface de rupture sous l'effet de la **gravité** (Varnes, 1978; Hungr et al., 2014)

- Facteurs de prédisposition
- Facteurs déclenchants

# 1. Risques et aléas : glissements de terrain ou aléas gravitaires



## Glissement de terrain : c'est quoi ?

Déplacement d'une masse de matériaux plus ou moins cohérents le long d'une surface de rupture sous l'effet de la **gravité** (Varnes, 1978; Hungr et al., 2014)

- Facteurs de prédisposition
- Facteurs déclenchants
- Morphologie particulière
  - Secteur d'ablation
  - Secteur d'accumulation
- Évolution temporelle



La Conchita, Californie, 1995 (USGS)



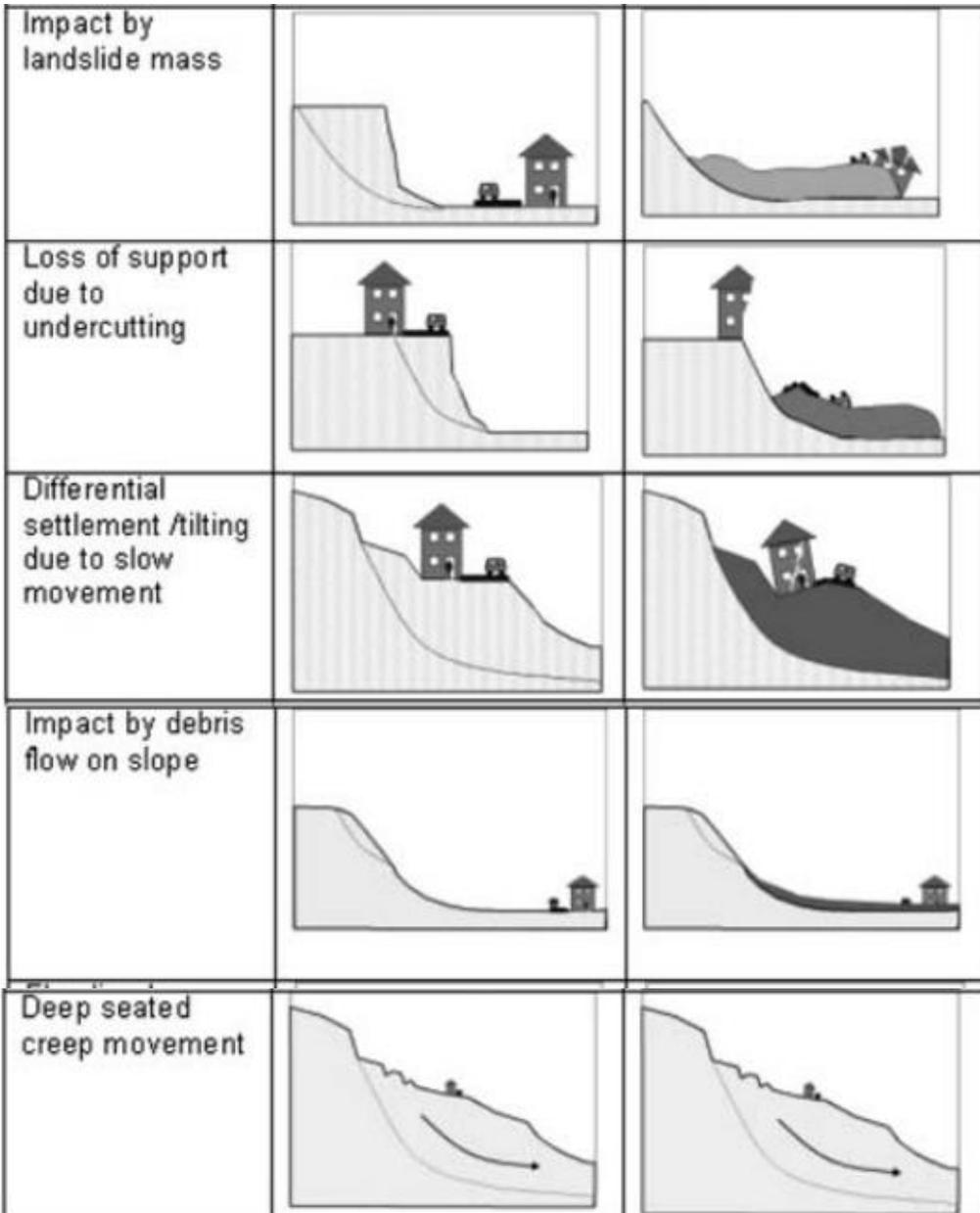
La Conchita, Californie, 2005 (USGS)

# 1. Risques et aléas : glissements de terrain ou aléas gravitaires

## Glissement de terrain : c'est quoi ?

Déplacement d'une masse de matériaux plus ou moins cohérents le long d'une surface de rupture sous l'effet de la gravité (Varnes, 1978; Hungr et al., 2014)

- Facteurs de prédisposition
- Facteurs déclenchants
- Morphologie particulière
  - secteur d'ablation
  - Secteur d'accumulation
  - Évolution temporelle
- Sollicitations variées sur les infrastructures



D'après Mc van Westen et al., 2006

# 1. Aléas gravitaires dans les Pyrénées



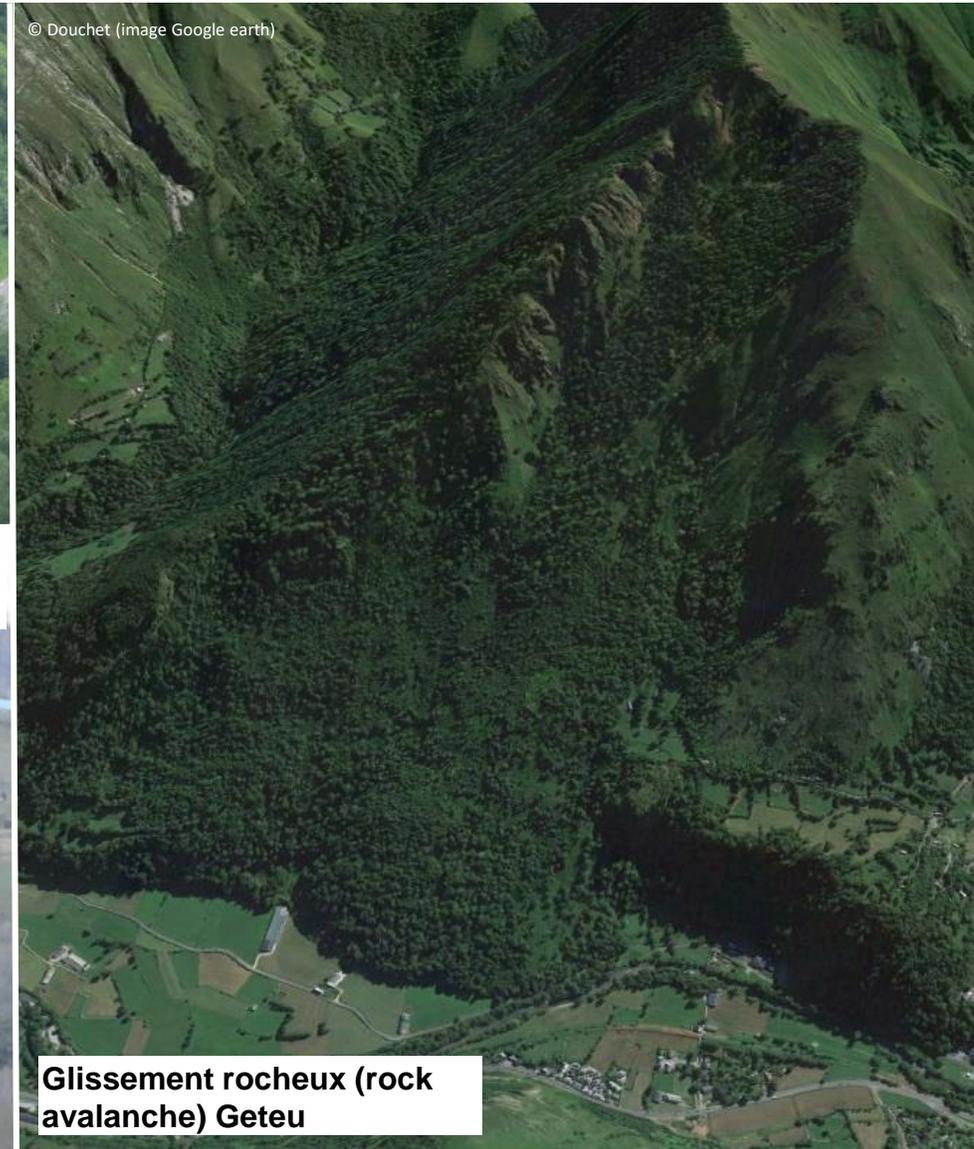
**Glissement superficiel (Cauterets) 2017**

© BRGM



<https://forums.infoclimat.fr/f/topic/9974-suivi-m%C3%A9t%C3%A9o-du-massif-des-pyr%C3%A9n%C3%A9es/?page=62>

**Glissement de berges à Barèges (2013)**



© Douchet (image Google earth)

**Glissement rocheux (rock avalanche) Geteu**



**Glissement rotationnel (Gazost) 2015**

<https://www.c-prim.org/documentation/phototh%C3%A8que/2015-glissement-gazost/>

Vue aérienne du glissement de terrain : griffe d'érosion bien marquée. © Dominique Nivellet



**Glissement 'orphelin' de Viella (2018)**

<https://www.lepetitjournal.net/65-hautes-pyrenees/2018/04/20/la-montagne-tombe-une-nouvelle-fois/>

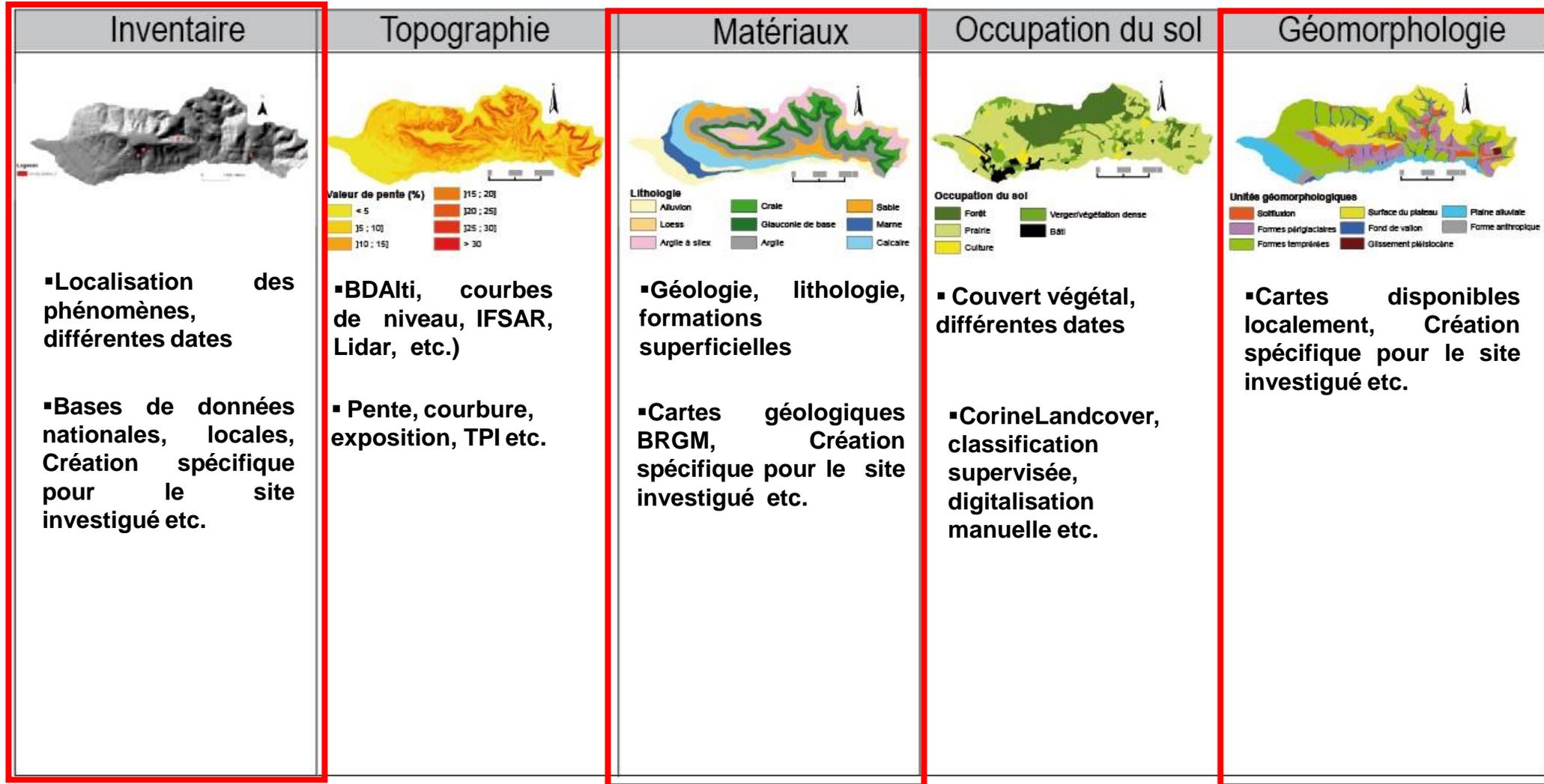
# Les Risques gravitaires dans les vallées pyrénéennes

1. Introduction
2. Problématique
3. Sites d'études
4. Conclusion & perspectives

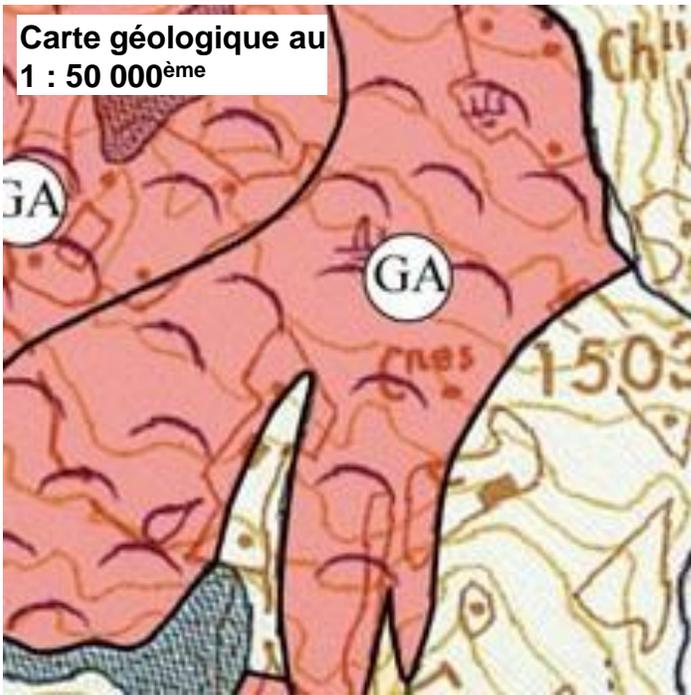
03 juin 2019 - Pau

## 2. Problématique

Pour analyser ces instabilités gravitaires et produire des cartes d'aléas, il faut une série de données, d'informations pas toujours disponibles



Carte géologique au  
1 : 50 000<sup>ème</sup>



Thiery, 2007

## 2. Problématique

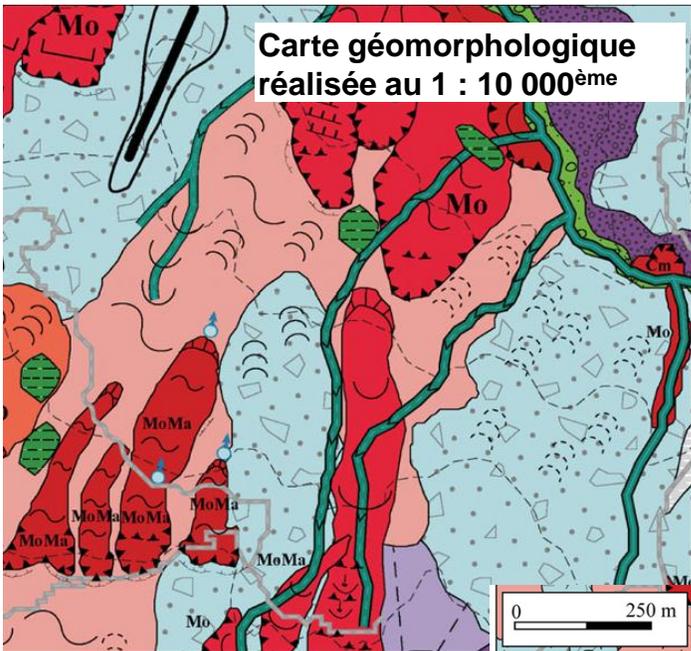
Selon l'échelle de travail, il faudra plus ou moins de données, une certaine précision des informations.

Echelle de travail : 1 : 10 000<sup>ème</sup>; échelle généralement utilisée pour les cartes d'aléa dans le cadre réglementaire des Plans de Prévention des Risques.

Cette échelle de travail n'est pas sans poser des problèmes lorsque l'on prend la carte géologique notamment sur :

- La précision spatiale de certains objets géologiques
- L'information de la nature des matériaux, leur origine, leur mise en place, leur épaisseur etc... (*dépendante de la sensibilité des personnes ayant levées la carte*)
- À travers nos travaux on peut **localement** emmener de nouvelles informations

Carte géomorphologique  
réalisée au 1 : 10 000<sup>ème</sup>

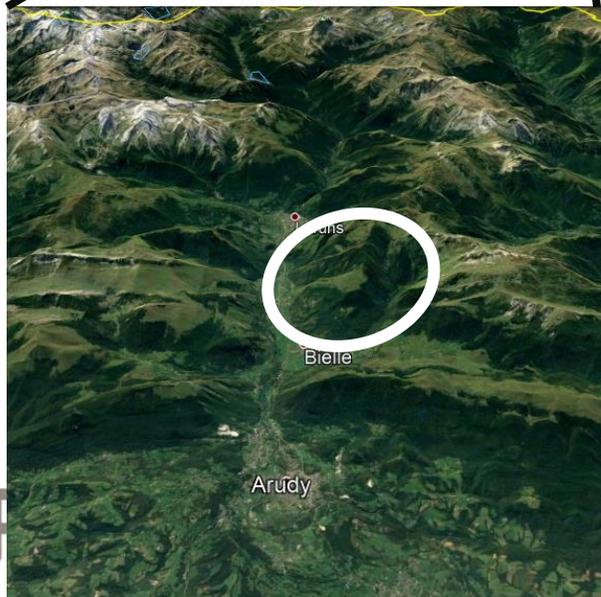
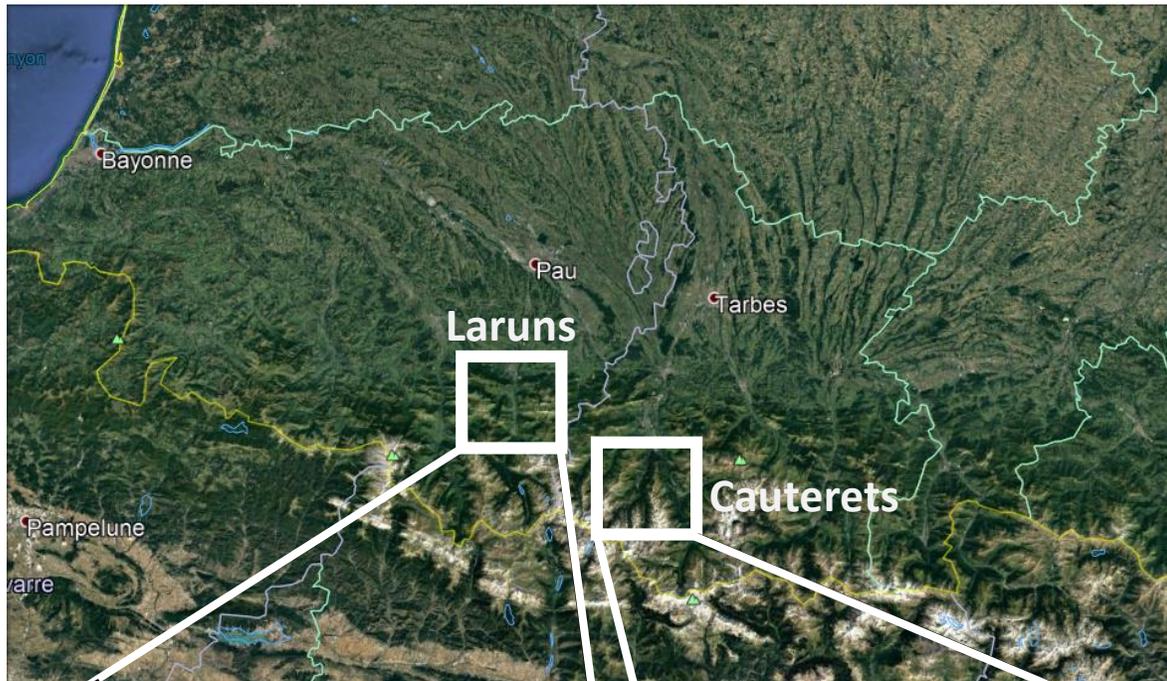


Thiery, 2007

# Les Risques gravitaires dans les vallées pyrénéennes

1. Introduction
2. Problématique
3. Sites d'études
4. Conclusion & perspectives

03 juin 2019 - Pau



### 3. Sites d'étude

2 sites d'études situés dans les Pyrénées occidentales

#### Site de Laruns

- Localisation : Pyrénées Atlantique; moyenne Vallée d'Ossau; 40 km au Sud de Pau
- Objectif initial de l'étude: confirmer la présence d'une déformation de versant

#### Site de Cauterets

- Localisation : Hautes-Pyrénées; vallée du Gave de Cauterets; 25 km au Sud de Lourdes
- Objectif initial de l'étude: analyse de l'aléa glissement de terrain et influence du changement global (changement d'occupation du sol et changement climatique)



### 3. Sites d'étude : Laruns

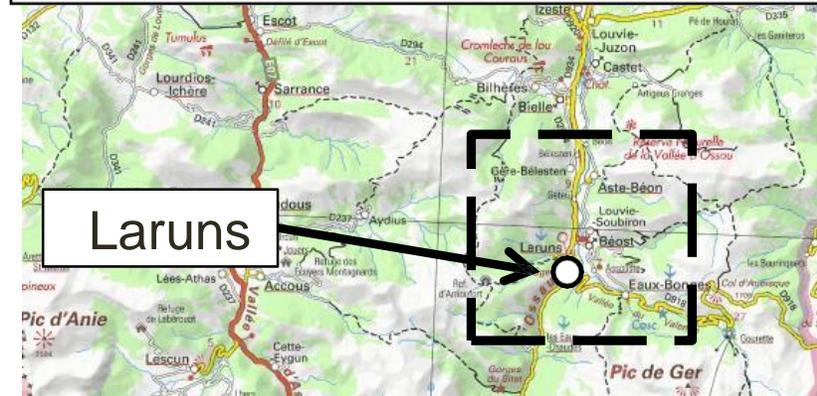
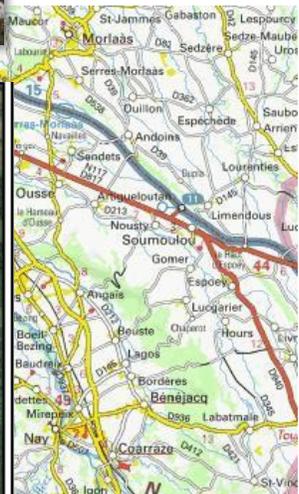
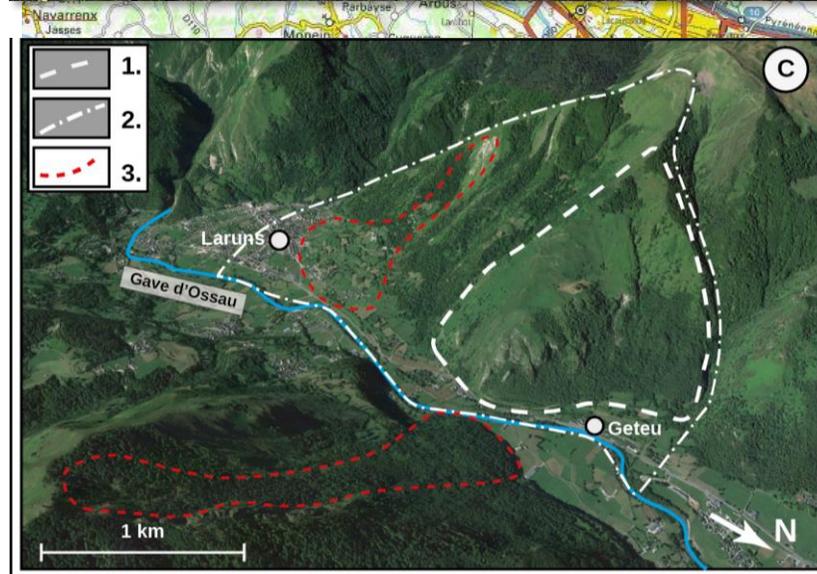
**Objectif : Confirmer la présence d'une instabilité gravitaire profonde de versant (Deep Seated Gravitational Slope Deformation)**

- Analyse géologique et structurale
- Méthodes géophysiques (électrique et GPR)
- Analyse géomorphologique

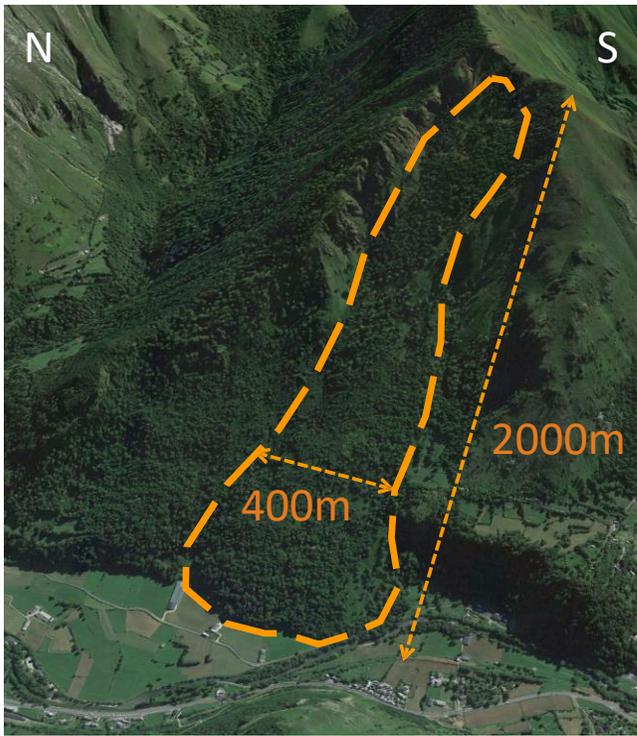
**Financement : RGF (stage Gatien Douchet – BRGM, UPPA)**

**Description du site:**

- Moyenne Vallée d'Ossau
- 40 km au Sud de Pau
- Sismicité moyenne
- Alternance de schistes et de calcaires
- Ancienne vallée glaciaire
- Pentes abruptes
- Précipitations : 1500 mm.an<sup>-1</sup>





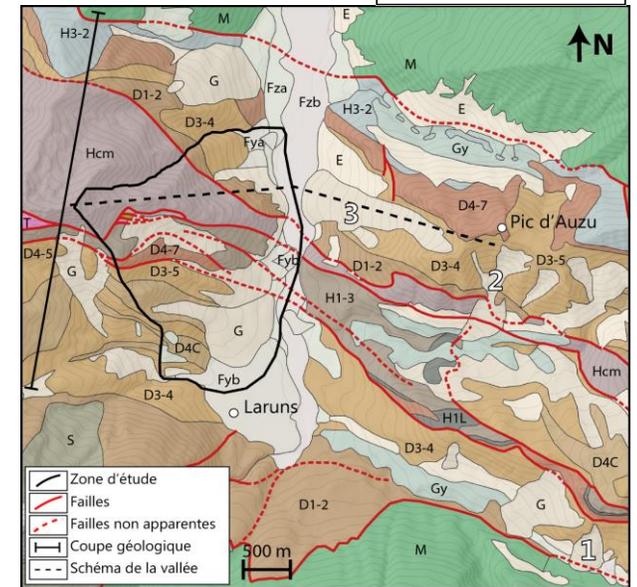
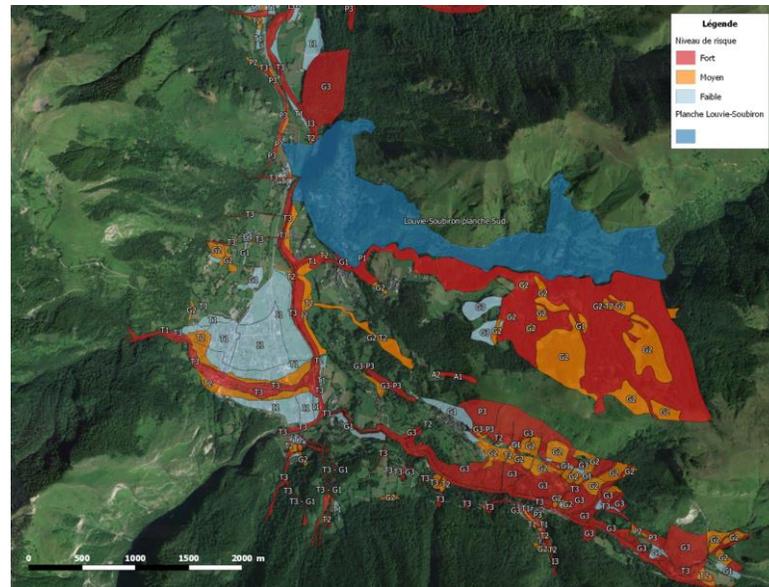
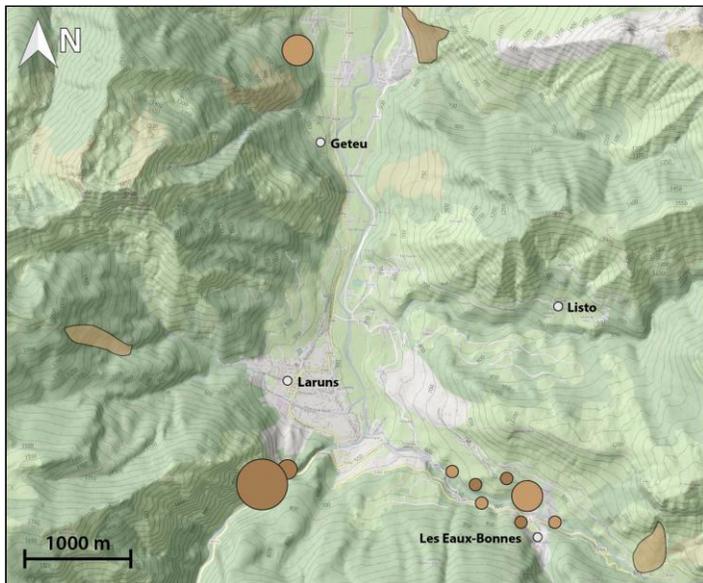


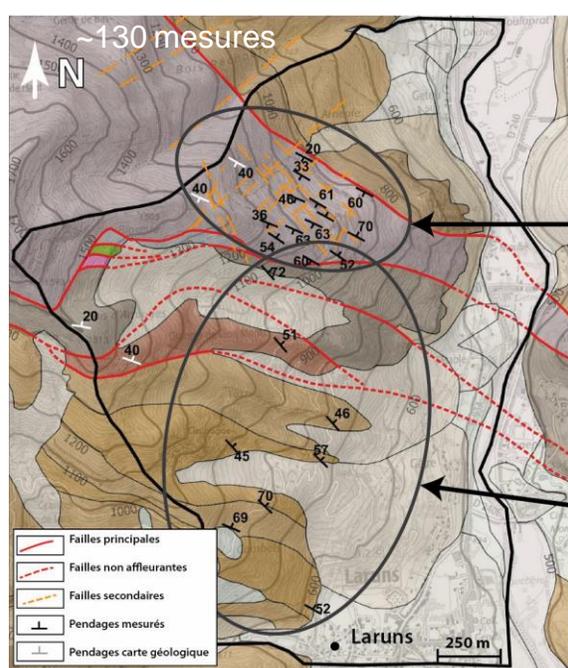
### 3. Sites d'étude : Laruns

Une vallée marquée par diverses instabilités de versant

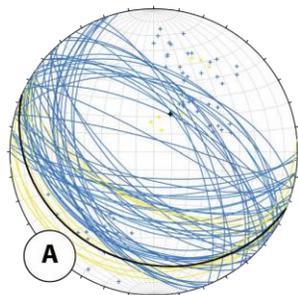
- Glissements rocheux actifs et stabilisés
- Avalanche de débris
- Glissements de terrain superficiels
- Chute de blocs
- Plusieurs inventaires
  - RTM
  - Cartes aléas de type PPR
  - Carte géologique

<b>E</b>	Eboulis récents ou tardi-glaciaire
<b>G</b>	Glissements, écroulements
<b>M</b>	Mésozoïque indifférencié
<b>T</b>	Trias
<b>Gy</b>	Moraines
<b>Fya</b>	Cônes de déjection du retrait glaciaire
<b>Fyb</b>	Cônes de déjection récents
<b>Fza</b>	Alluvions du retrait glaciaire
<b>Fzb</b>	Alluvions récentes

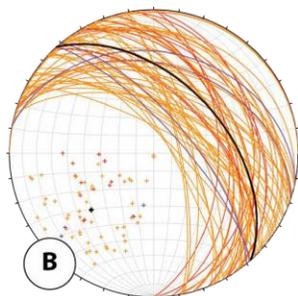




Stratifications



46° - N 121°

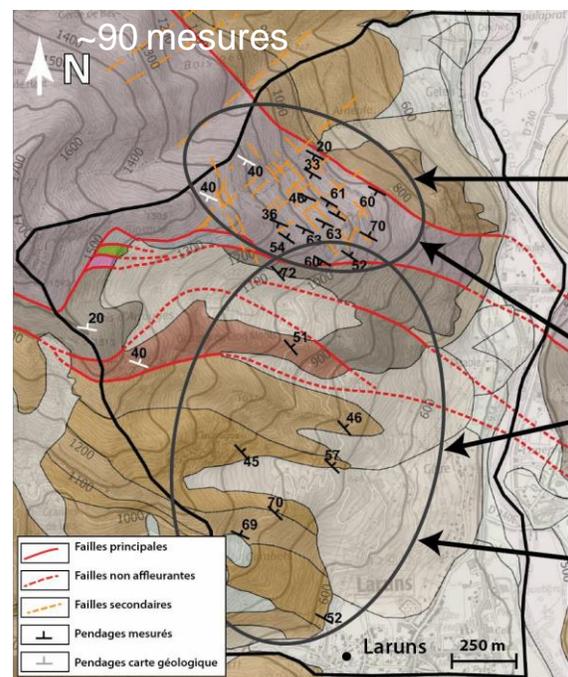


50° - N 307°

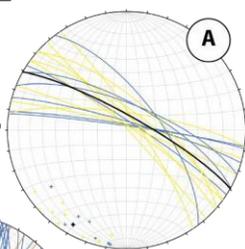
### 3. Sites d'étude : Laruns

#### Analyse structurale

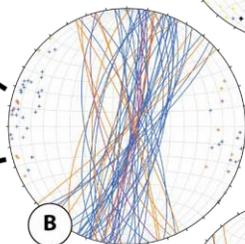
- Confirmation d'accidents dus à la tectonique
- Mais également confirmation de déformations et fractures liées à des processus gravitaires.



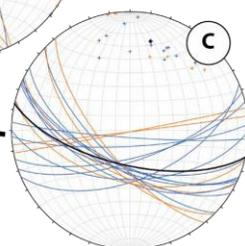
Fracturations



80° - N 299°



85° - N 20°



66° - N 103°



## Tomographie électrique

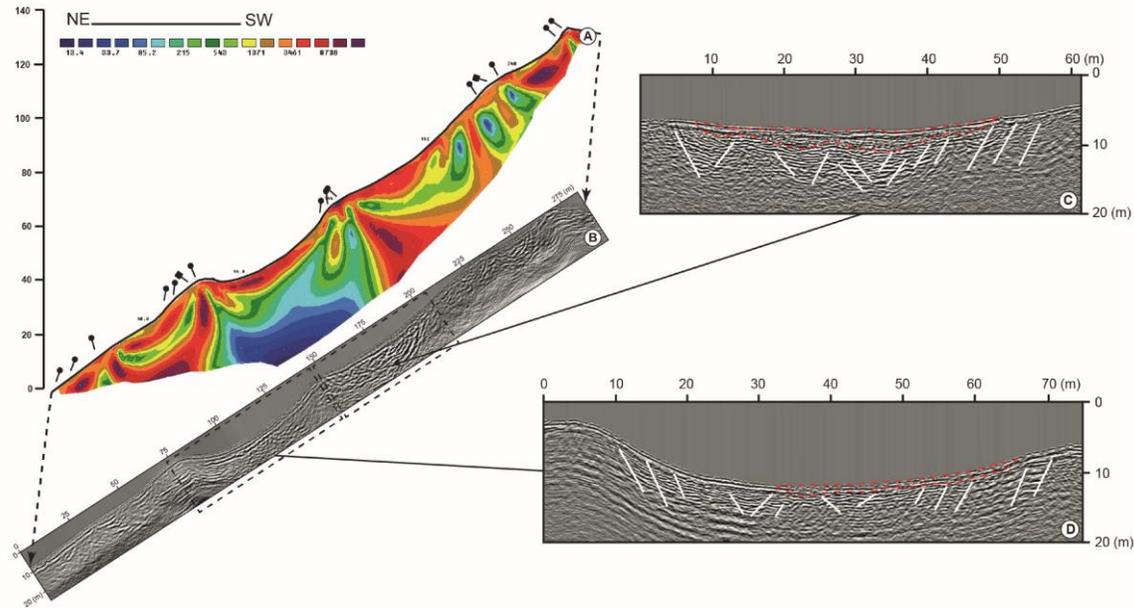


Figure 7. Results of geophysical investigations by electrical tomography and Ground Penetrating Radar (GPR). A) Result of the electrical tomography using the dipole-dipole method (length = 300 m). B) Result of the GPR profile with a frequency of 50 MHz; the lineation correspond to the results obtained with the electrical tomography. C) and D) Zooms on two sites investigated by GPR with a frequency of 100 MHz, the first interpretations depict backfills with high resistivity.

## 3. Sites d'étude : Laruns

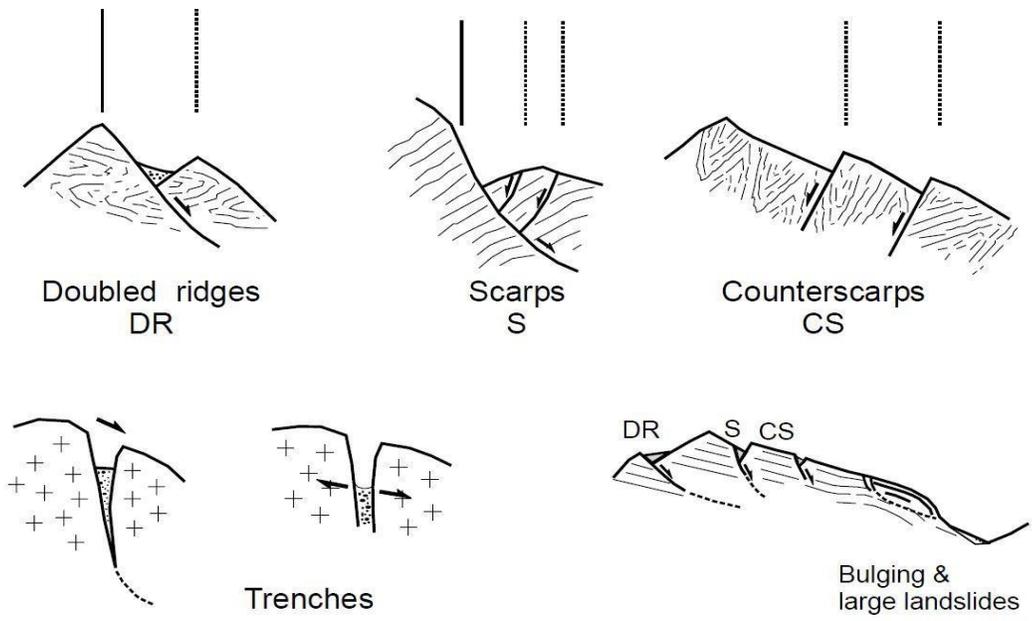
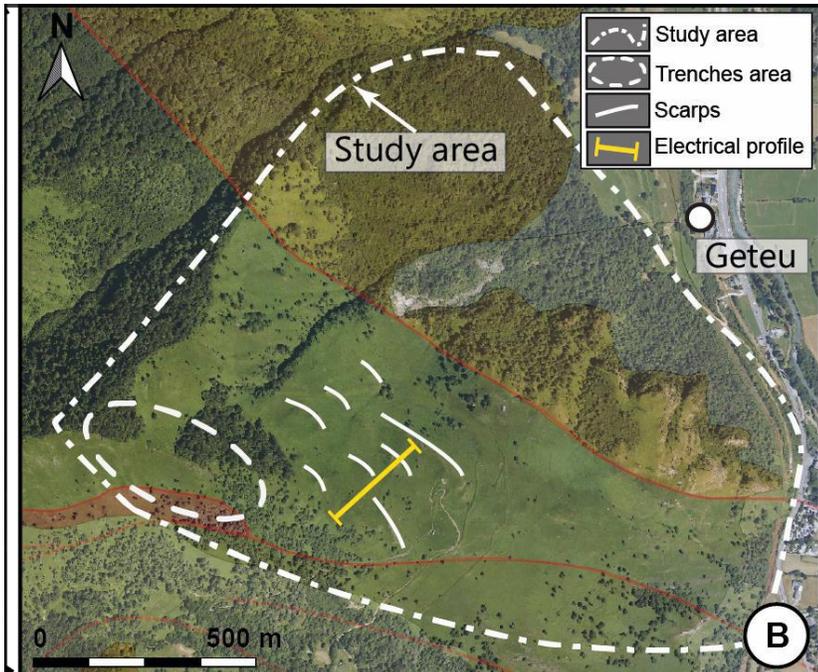
Investigations géophysiques : tomographie électrique et Ground Penetrating Radar (GPR avec fréquences différentes : 50, 100 & 250 MHz) :

- Une information difficile à interpréter → nécessite de nouvelles investigations
- Secteur avec une conductivité élevée correspondant à une zone plus humide (confirmation par différentes sources)
- Les mesures radar à différentes fréquences confirment les linéaments correspondant aux plans de stratifications observés

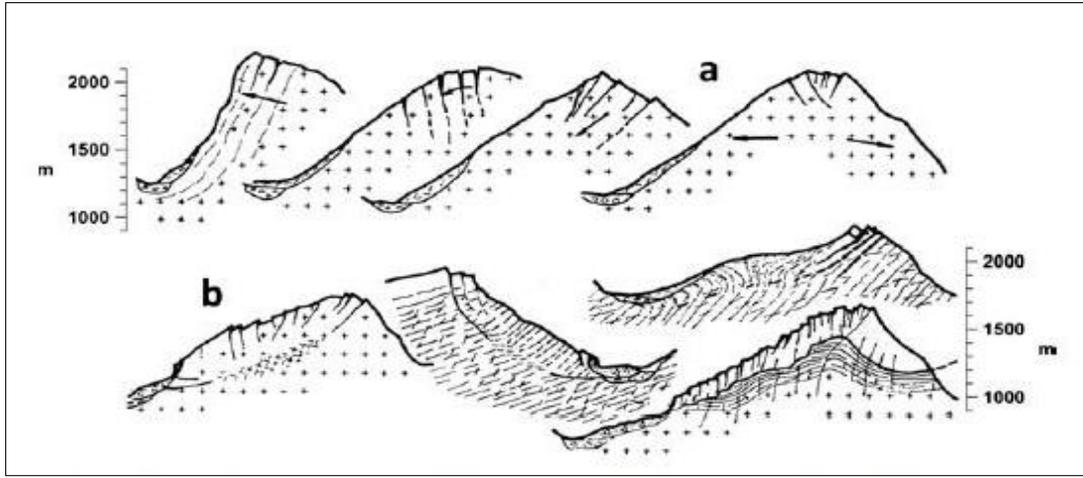
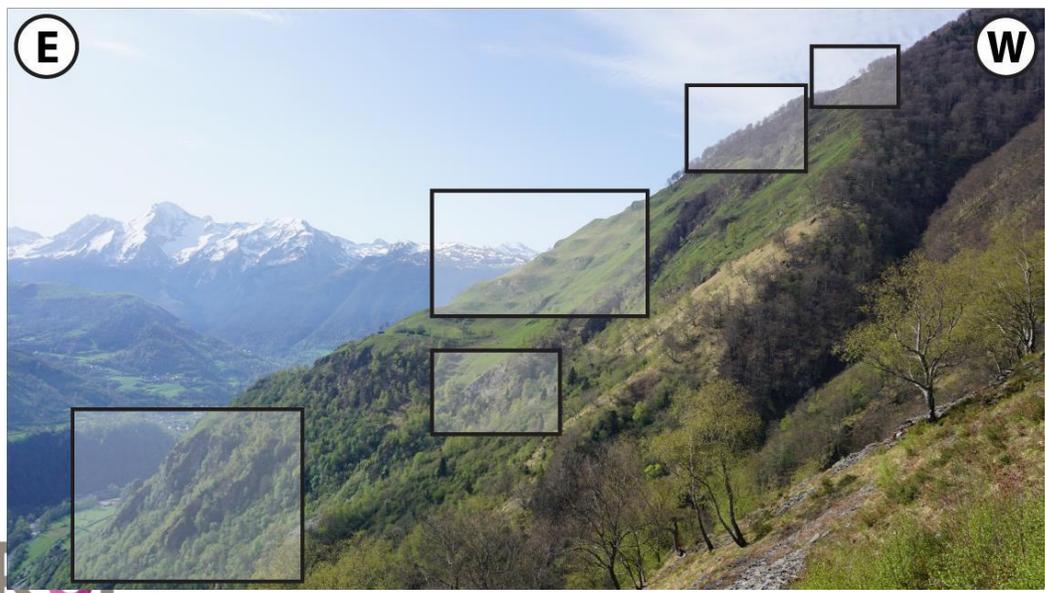


# 3. Sites d'étude : Laruns

## Observations morphologiques



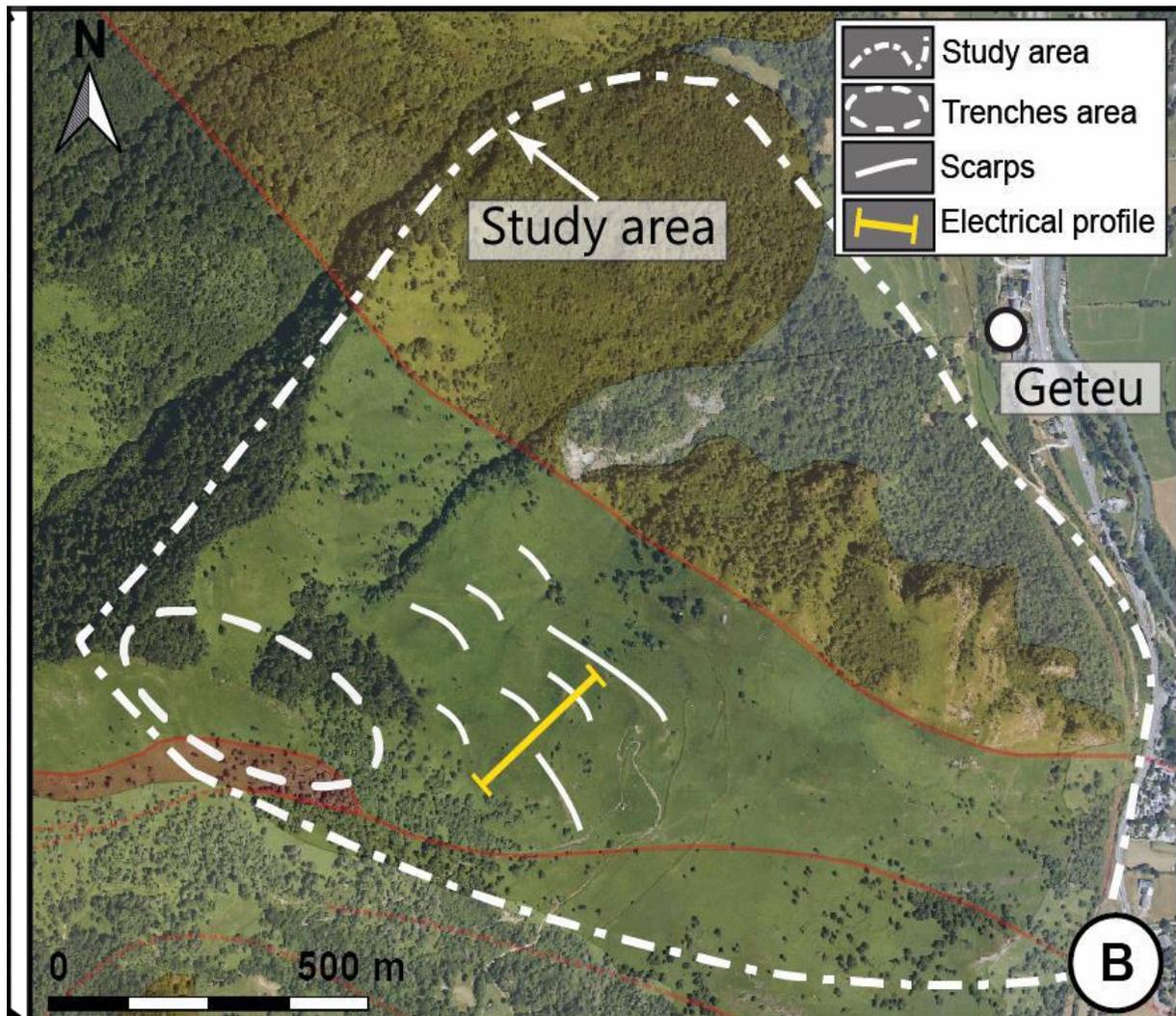
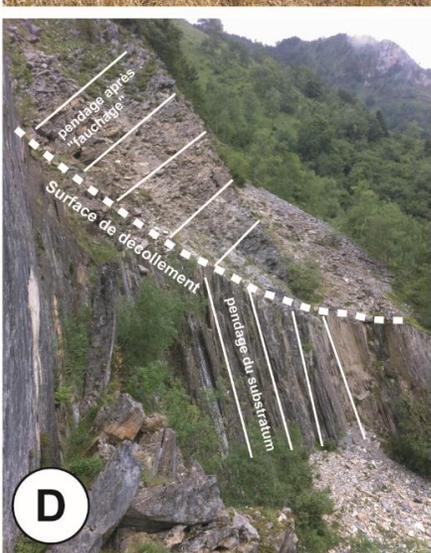
(Algiardi & al., 2001)



(Dramis & Sorriso-Valvo, 1994)

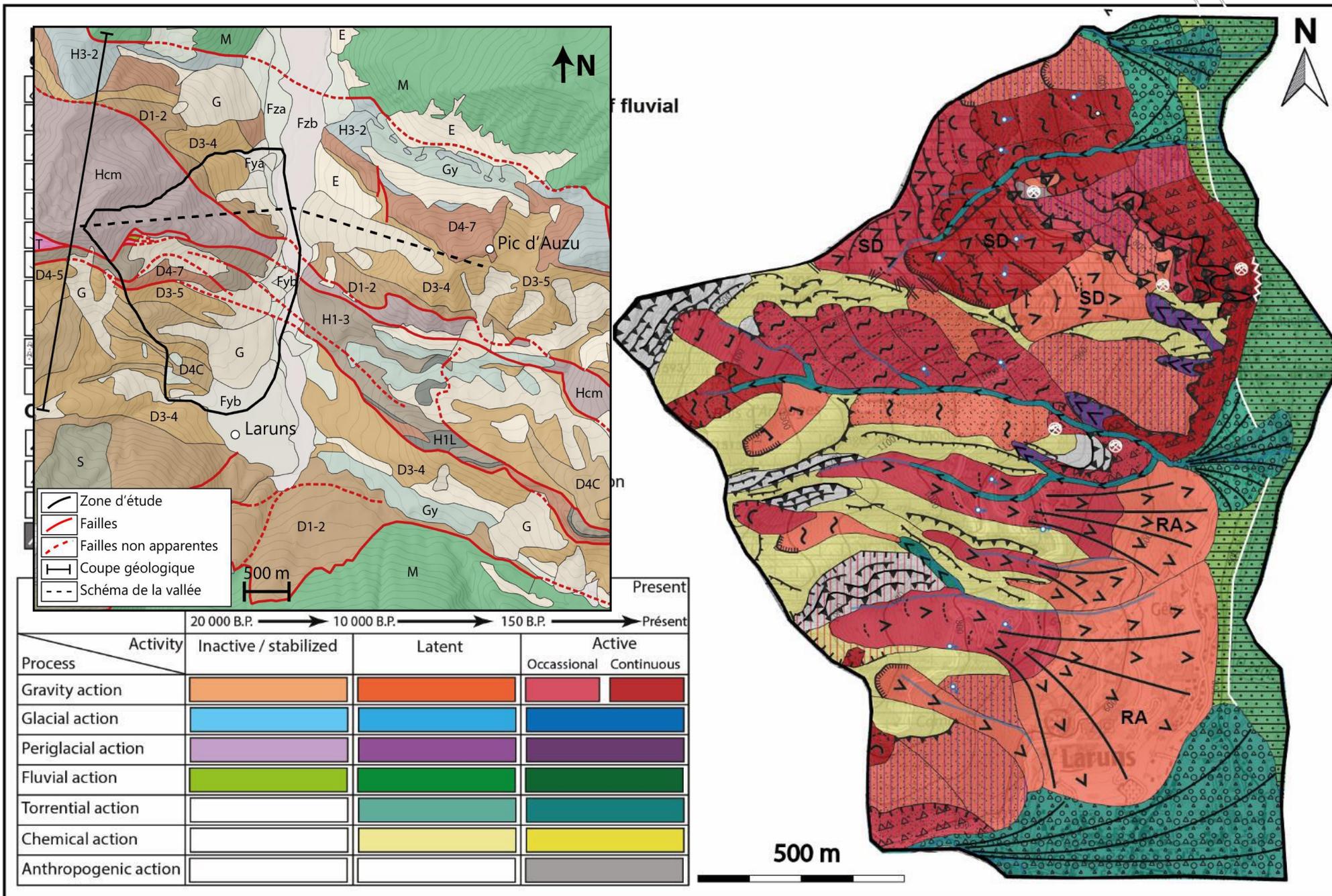
### 3. Sites d'étude : Laruns

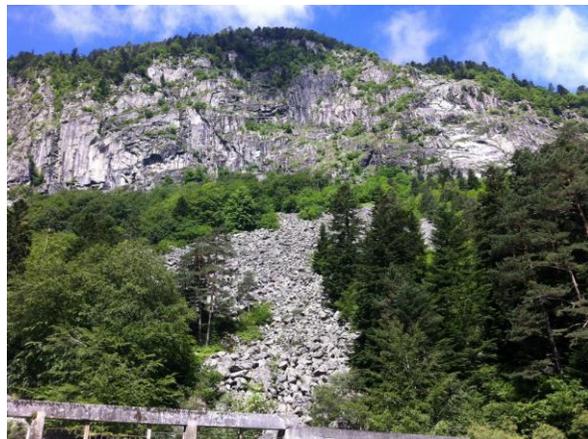
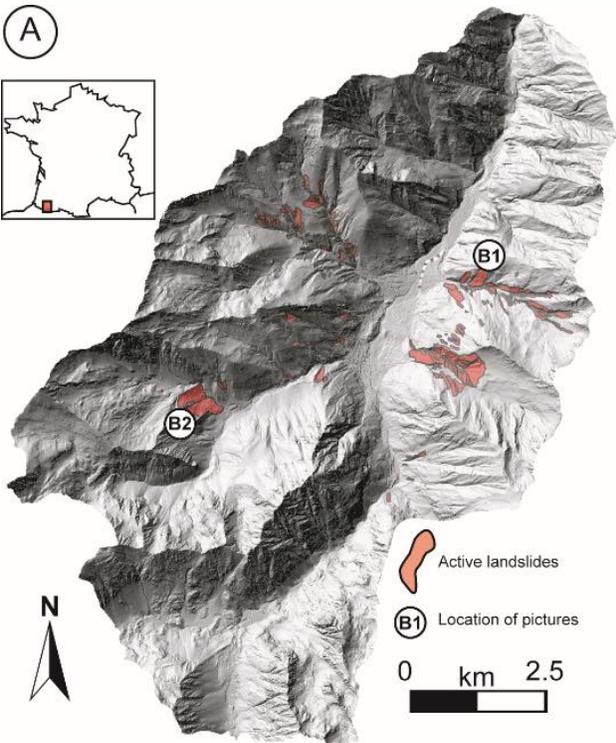
#### Observations morphologiques



## Carte géomorphologique

- Carte axée sur les processus de versants et les formations superficielles
- Chaque objet est vectorisé et mis sous SIG avec une BD associée
- Confirmation des secteurs instables localisés sur la carte géologique
- De nouveaux secteurs instables ont été repérés





### 3. Sites d'étude : Cauterets

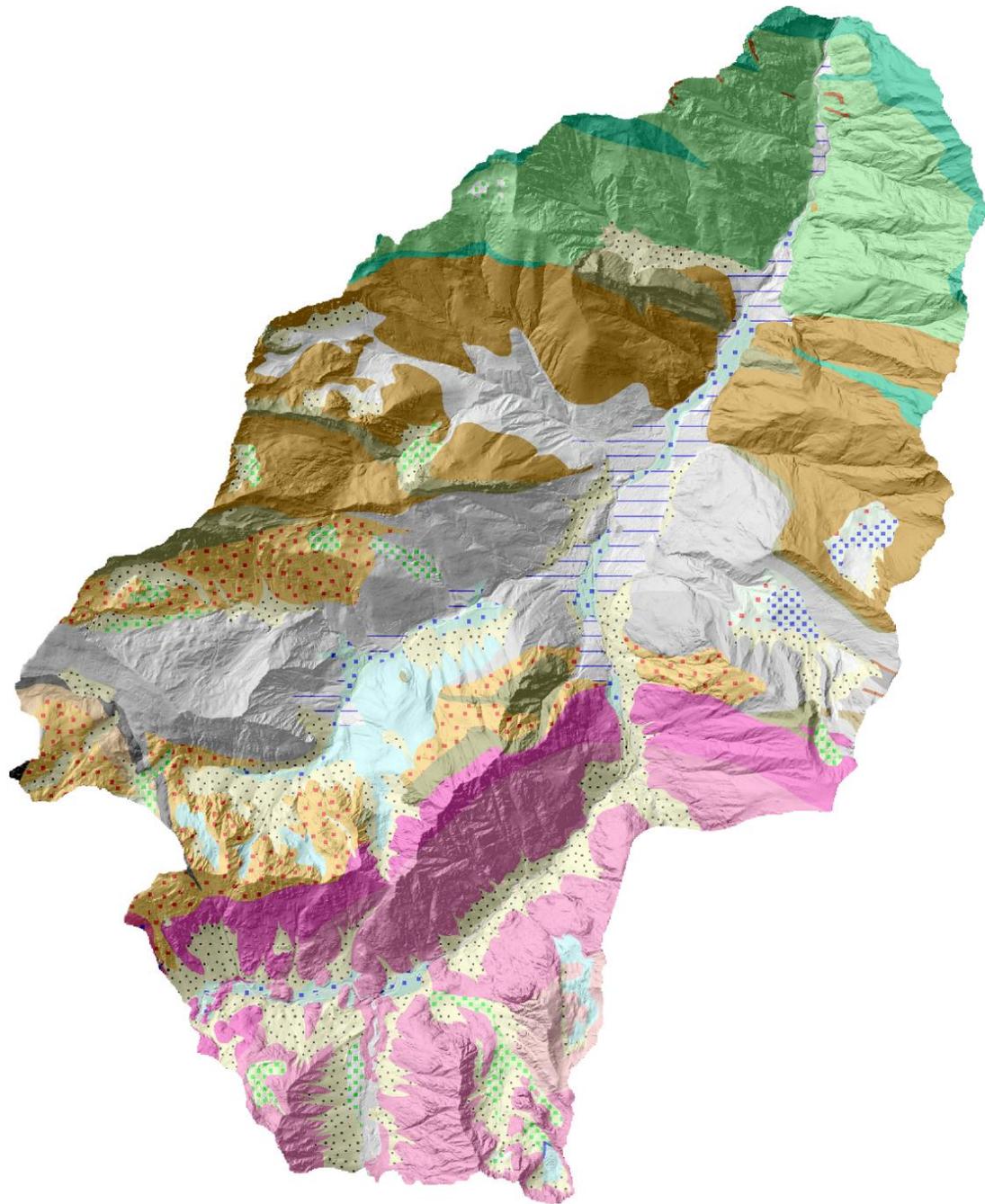
**Objectif : analyse de l'aléa glissement de terrain et influence du changement global (changement d'occupation du sol et changement climatique)**

- Analyse géomorphologique
- Méthodes géophysiques (électrique et sismi-réfraction)
- Modélisation des ruptures pas approche spatialisée à base physique

**Financement : Projet ANR SAMCO**

#### Description du site:

- Vallée du gave de Cauterets
- 25 km au Sud de Lourdes
- Sismicité moyenne
- Alternance de schistes, de calcaires en aval; cristallin en amont
- Ancienne vallée glaciaire
- Pentes abruptes
- Précipitations : 1157 mm.an<sup>-1</sup>



### 3. Sites d'étude : Cauterets

**Objectif : analyse de l'aléa glissement de terrain et influence du changement global (changement d'occupation du sol et changement climatique)**

- Analyse géomorphologique
- Méthodes géophysiques (électrique et sismi-réfraction)
- Modélisation des ruptures pas approche spatialisée à base physique

**Financement : Projet ANR SAMCO**

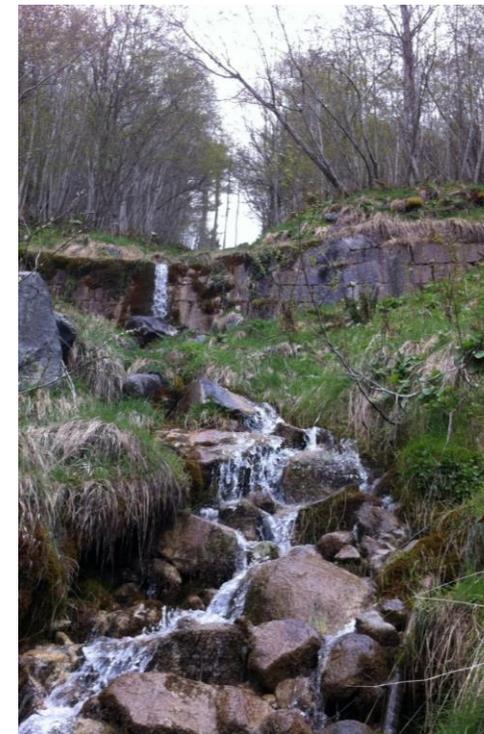
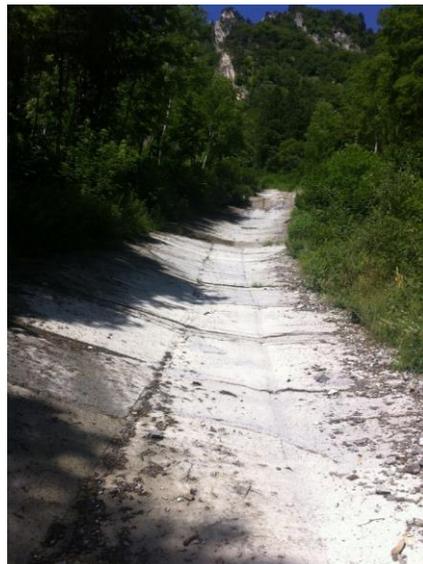
#### **Description du site:**

- Vallée du gave de Cauterets
- 25 km au Sud de Lourdes
- Sismicité moyenne
- Alternance de schistes, de calcaires en aval; cristallin en amont
- Ancienne vallée glaciaire
- Pentès abruptes
- Précipitations : 1157 mm.an<sup>-1</sup>

### 3. Sites d'étude : Cauterets

Une vallée marquée par une intervention dès le 19<sup>ème</sup> s. des services du RTM sur les versants

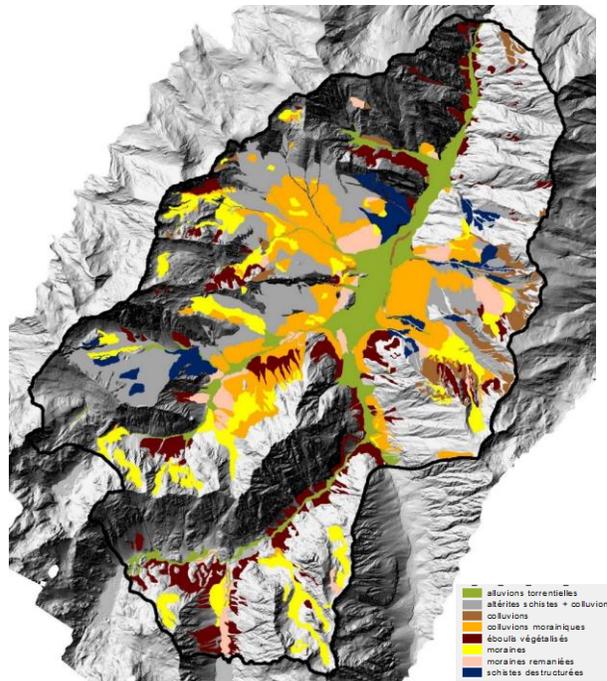
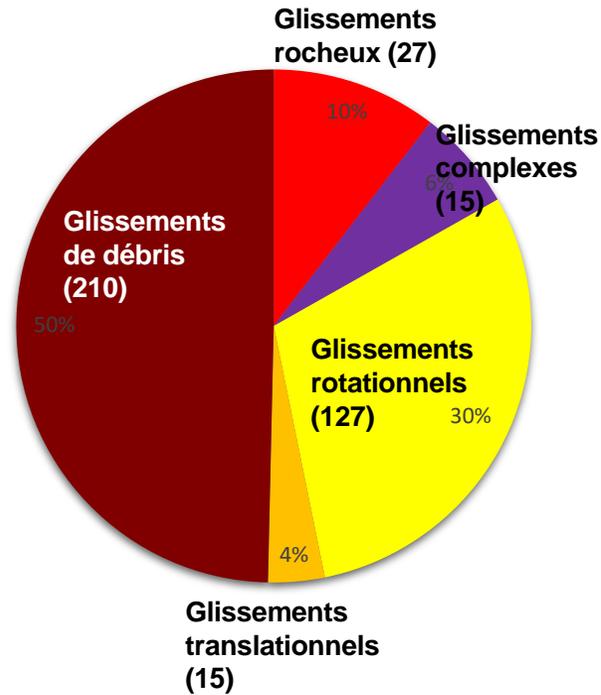
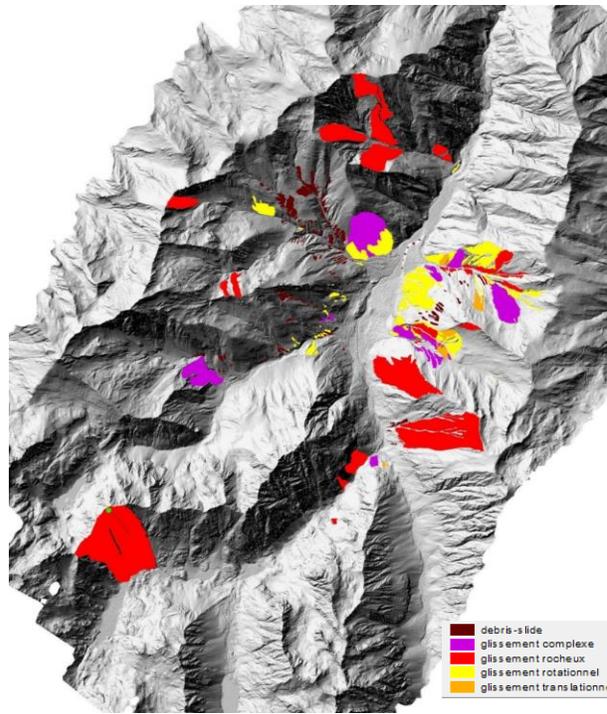
- Ouvrages de corrections torrentiels
- Ouvrages de stabilisation : murs en gabions, en pierres sèches ou bétonnés
- Filets pare-pierres



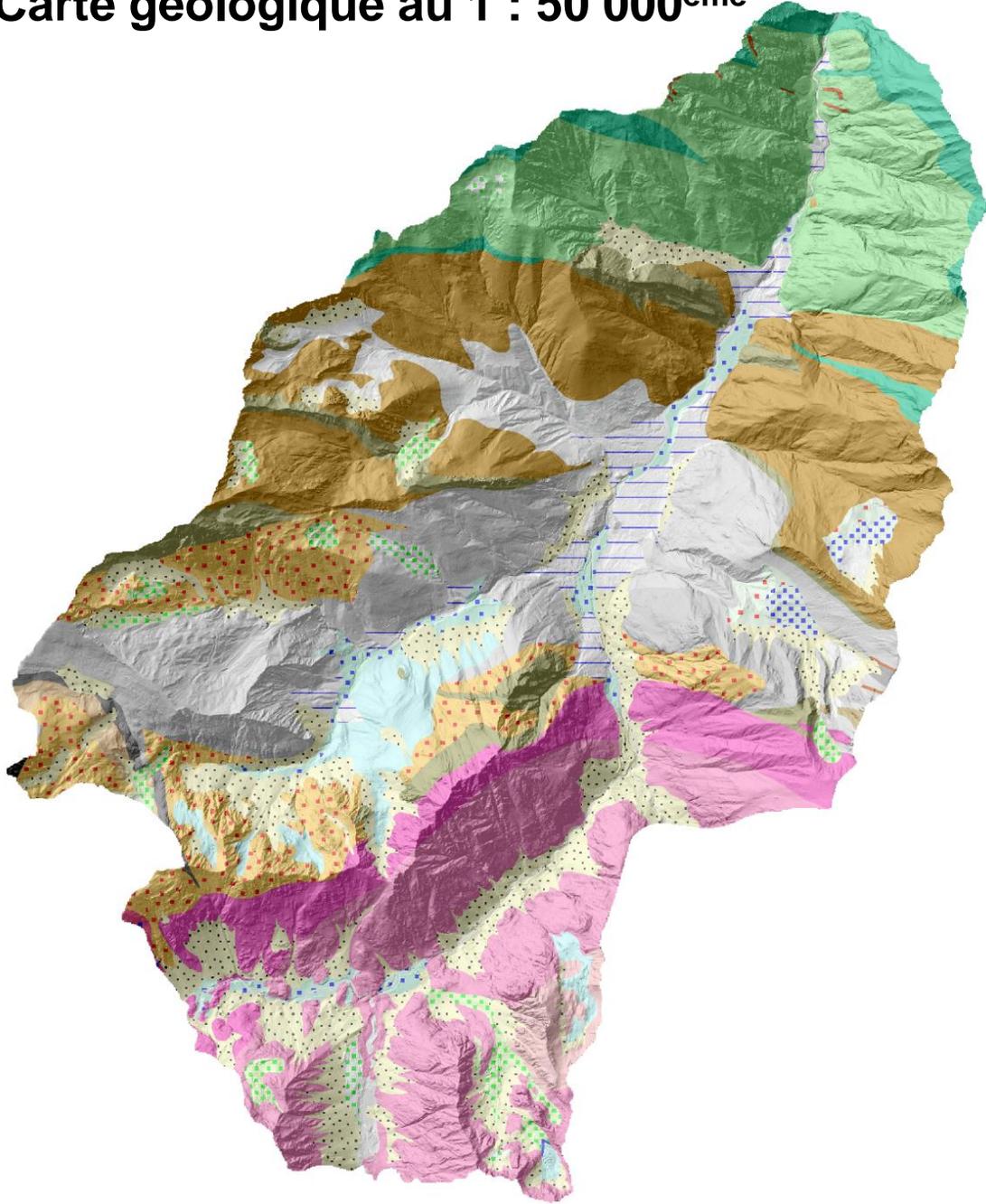
# 3. Sites d'étude : Cauterets

## Analyse géomorphologique

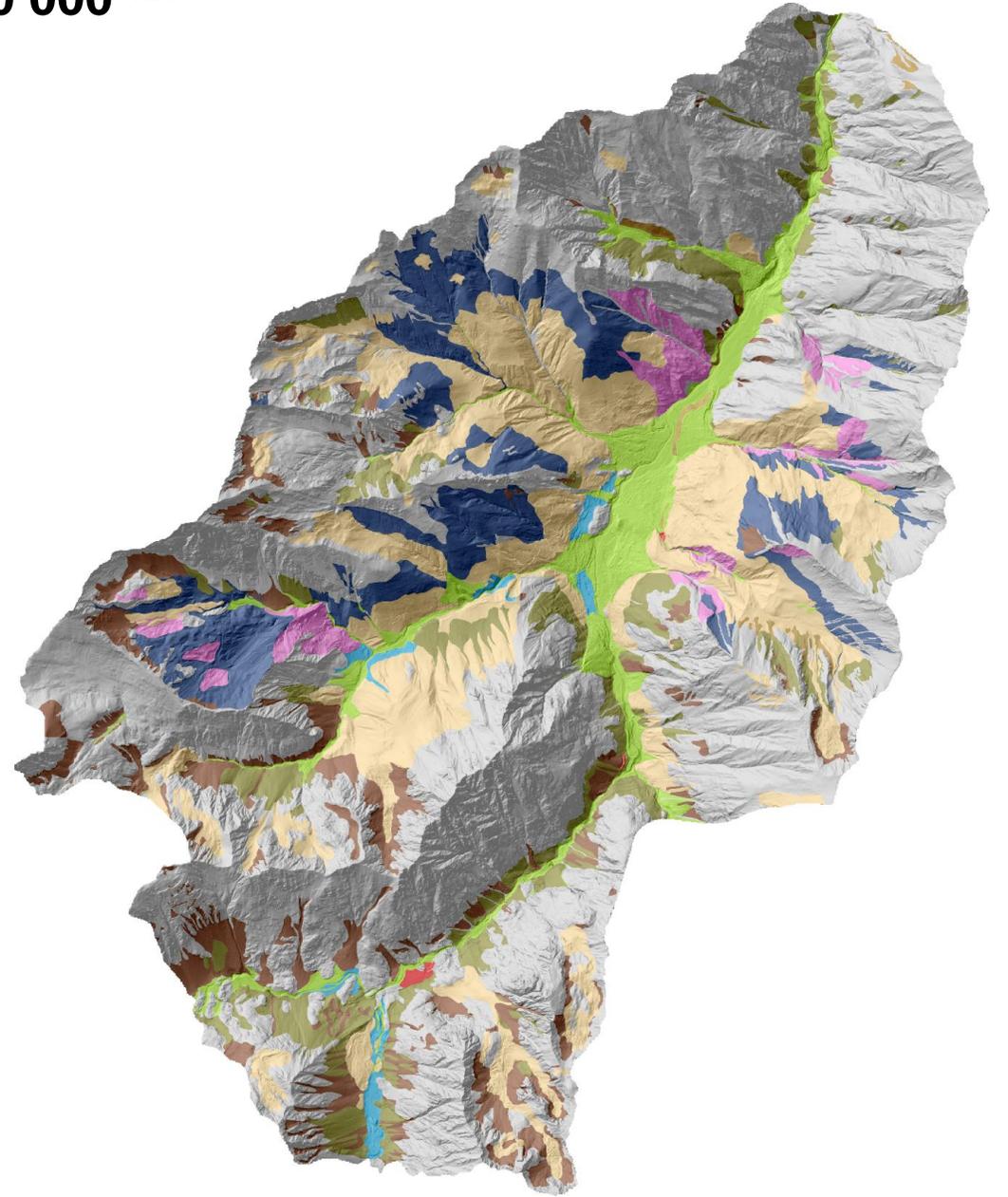
- Analyse diachronique des photographies aériennes (stéréoscopie)
- Acquisition d'un MNT haute résolution par Lidar aéroporté
- Observations de terrain
- Vectorisation sous SIG et élaboration d'une base de données recensant les types de formations superficielles, les processus de mise en place, l'activité de ces processus.

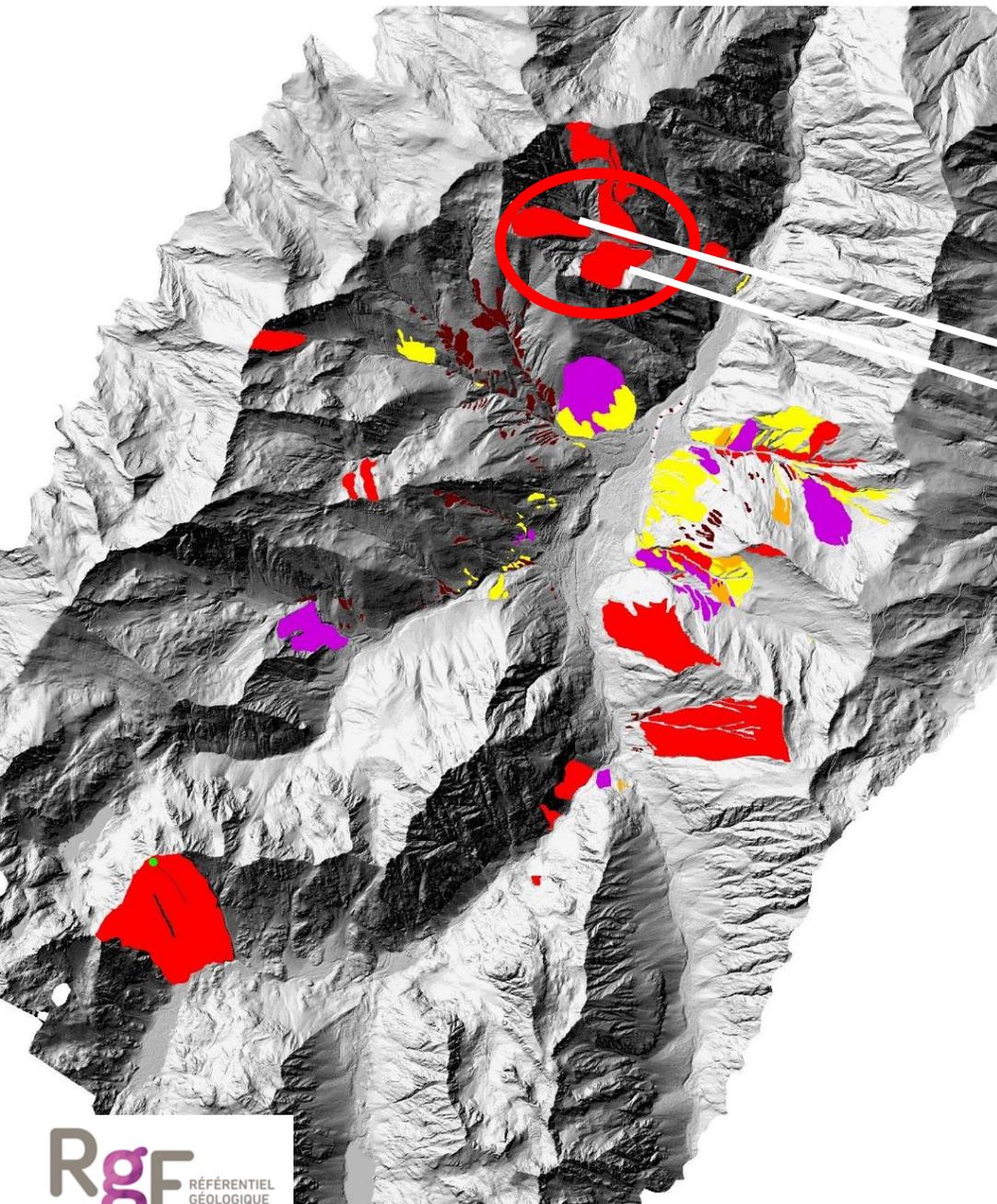


**Carte géologique au 1 : 50 000<sup>ème</sup>**

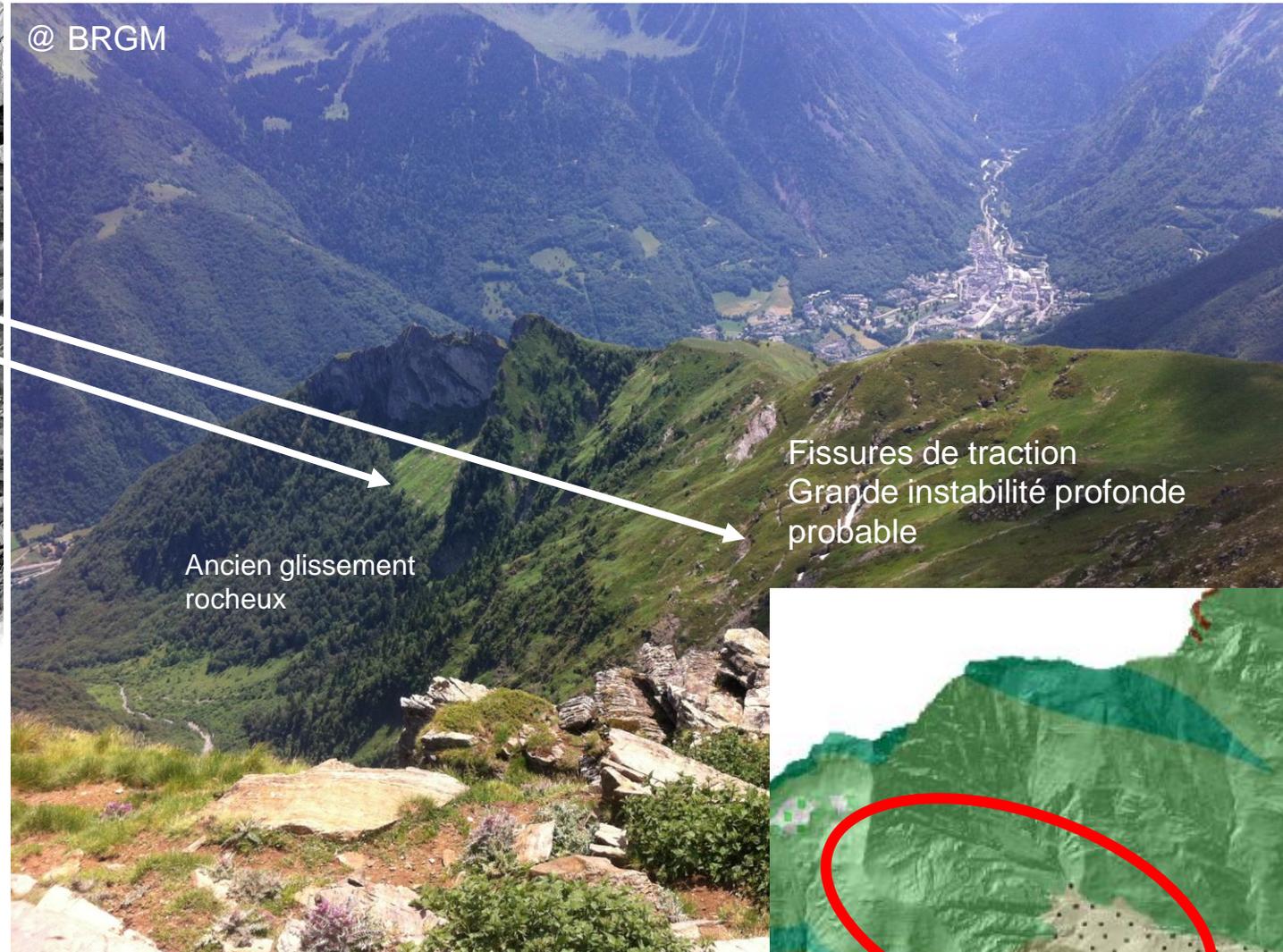


**Carte des formations superficielles au 1 : 10 000<sup>ème</sup>**





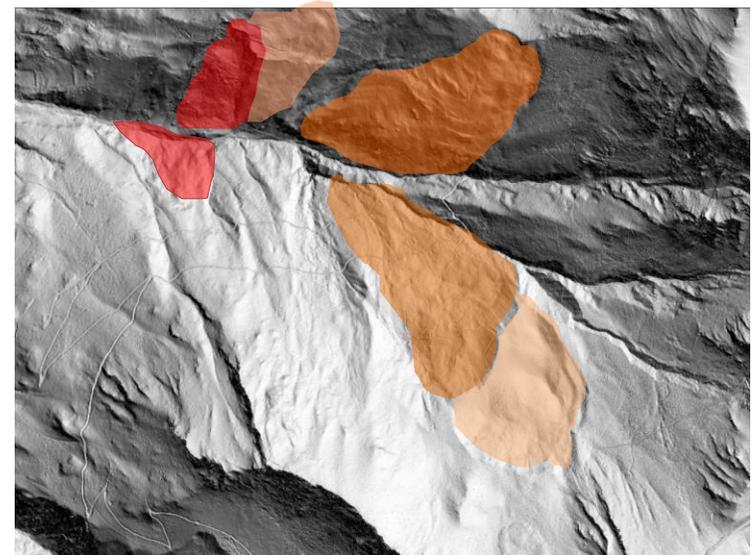
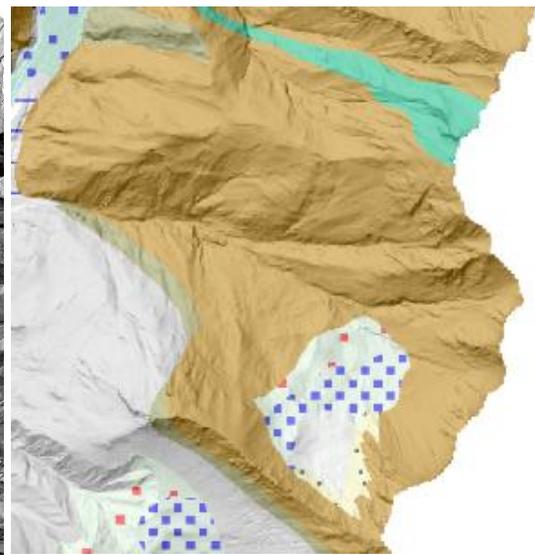
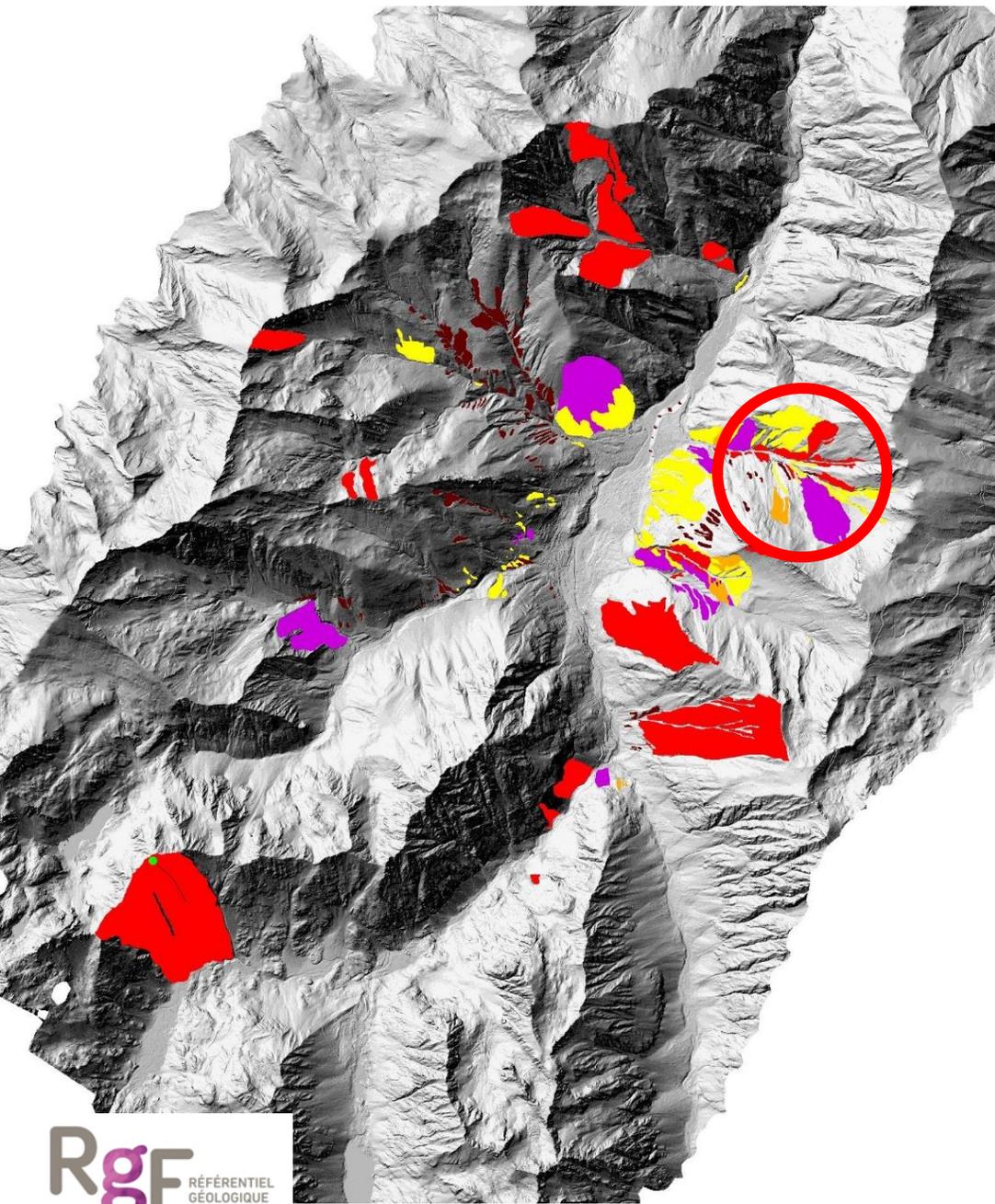
@ BRGM



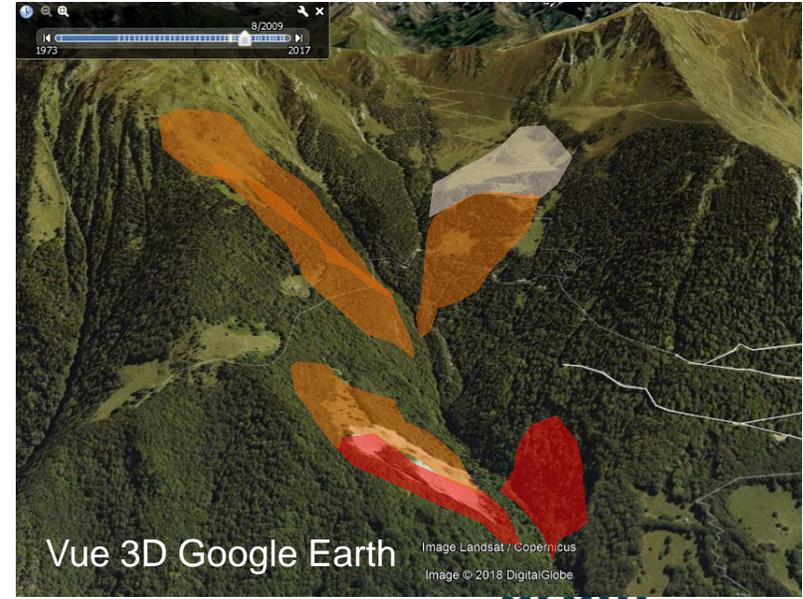
Ancien glissement rocheux

Fissures de traction  
Grande instabilité profonde probable



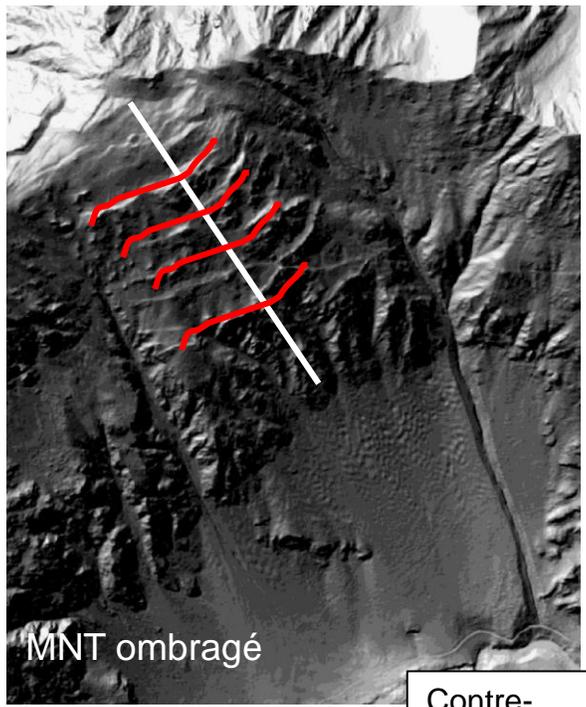
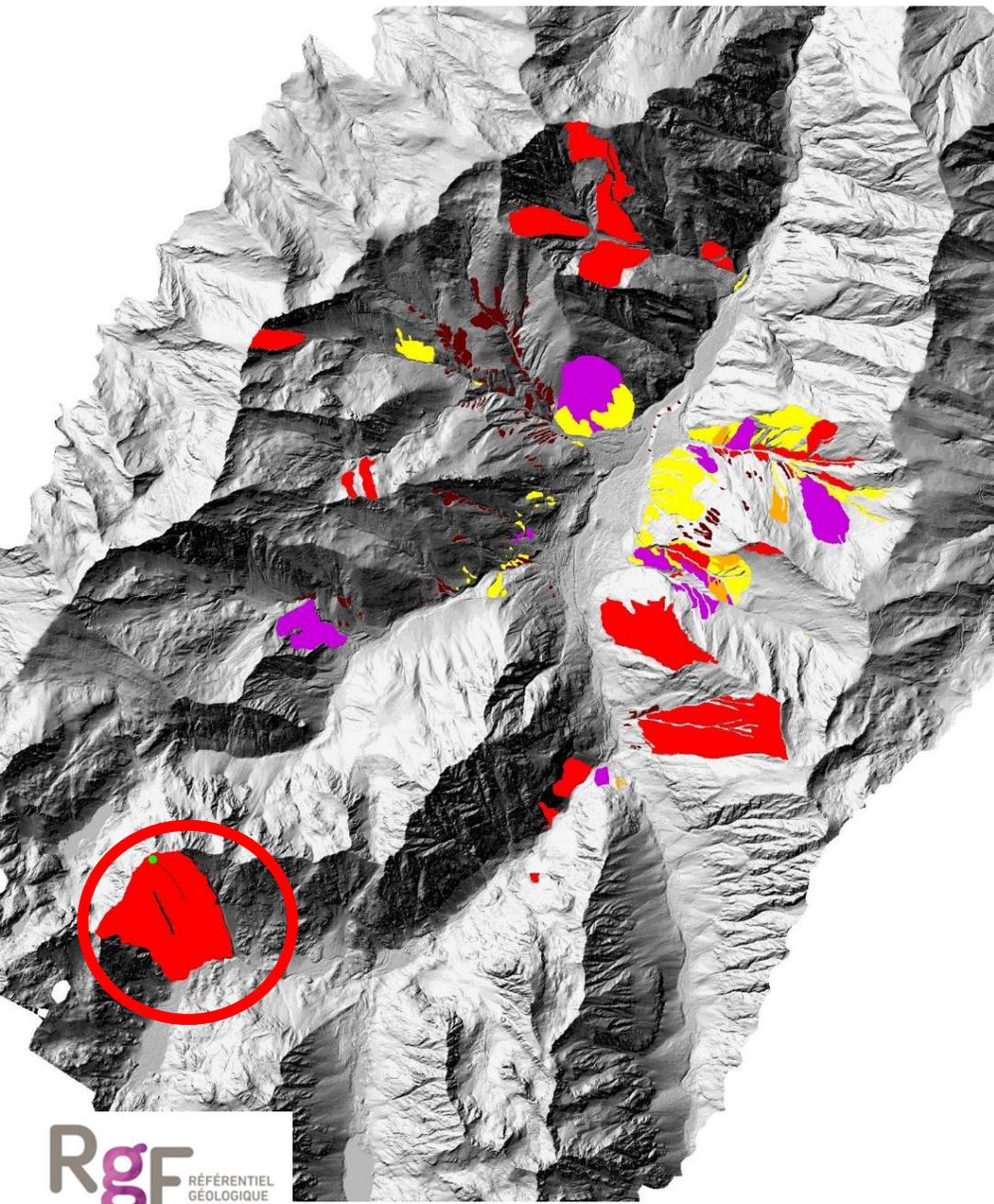


@ BRGM

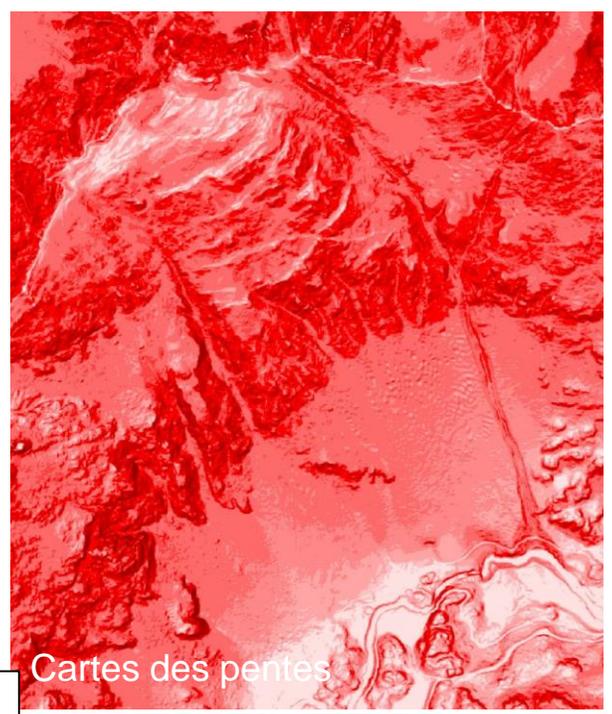


Vue 3D Google Earth

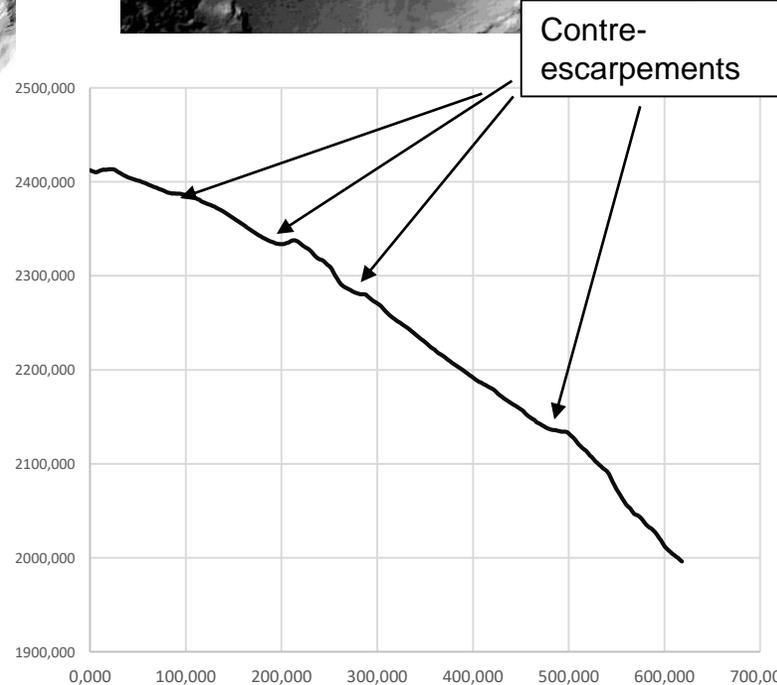
Image Landsat / Copernicus  
Image © 2018 DigitalGlobe



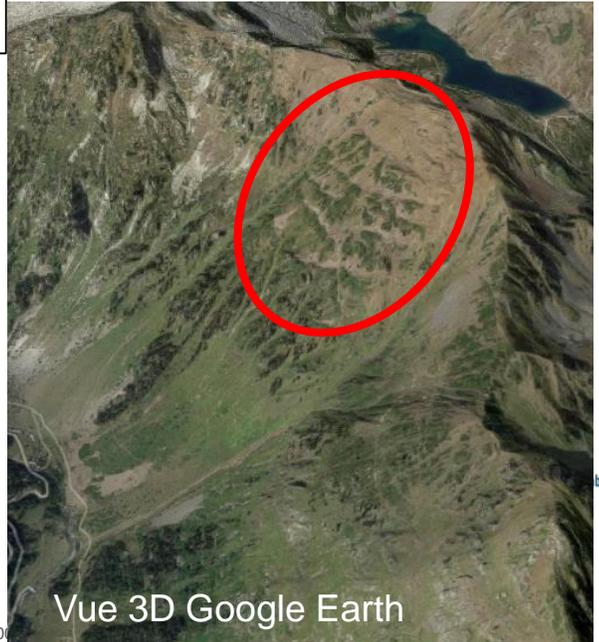
MNT ombragé



Cartes des pentes



Contre-escarpements



Vue 3D Google Earth

# Les Risques gravitaires dans les vallées pyrénéennes

1. Introduction
2. Problématique
3. Sites d'études
4. Conclusion & perspectives

03 juin 2019 - Pau



# 4. Conclusion & Perspectives

## Et après ?

- Pour les 2 sites d'études pyrénéens :
  - 1<sup>er</sup> résultats des calculs de déplacements par InSar
  - Des datations cosmogénique ? Autres investigations géophysiques ?
  - De nouveaux projets (FEDER, ANR ?, autres?)

## Le chantier RGF Alpes :

- Intégrer nos informations géomorphologiques spatialisées disponibles sur dans les Alpes à ce nouveau chantier
- Demande d'une bourse de thèse sur les instabilités gravitaires profondes (DSGSD) en partenariat avec l'EOST-IPGS et le LETC Besançon

Titre : Temps longs et temps courts des instabilités gravitaires profondes: contributions à la connaissance des phénomènes pour la gestion de l'aléa en montagne alpine »

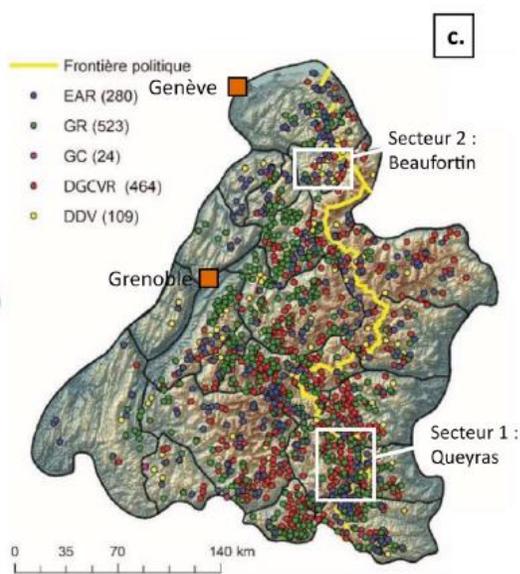
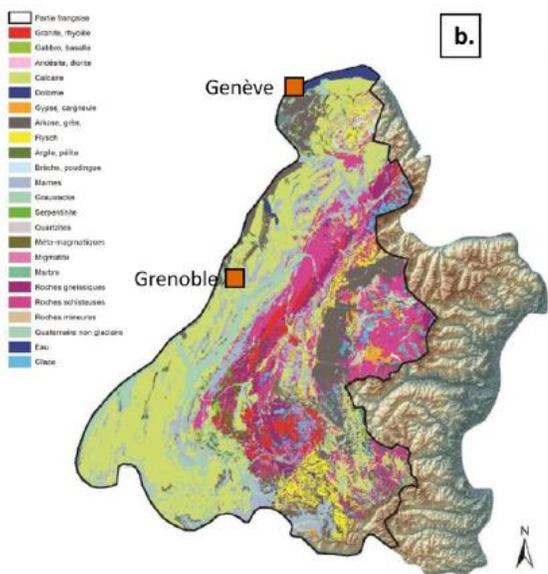
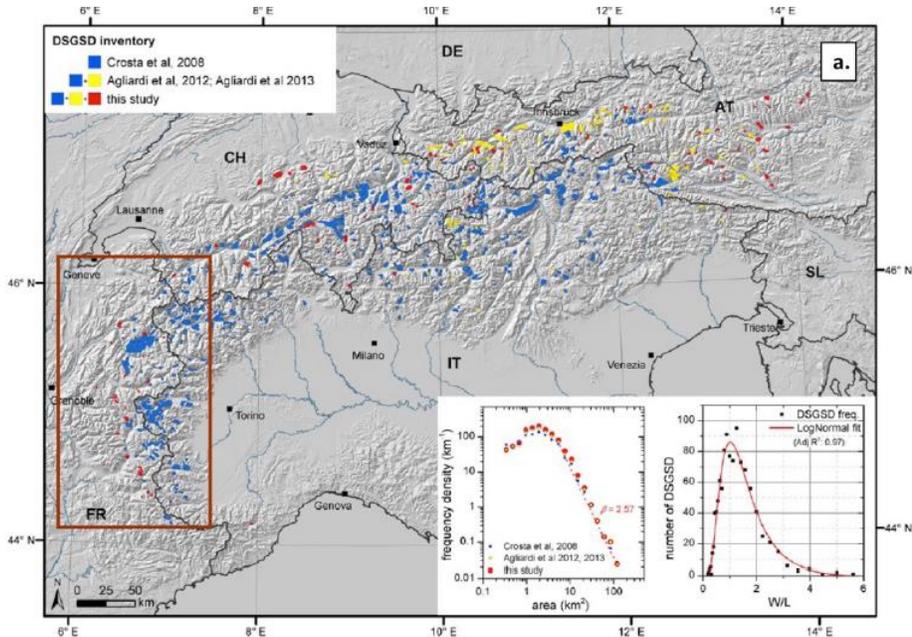


Figure 1: Carte des instabilités gravitaires profondes recensées à l'échelle de l'orogène alpine (a ; Crosta et al., 2013) et des Alpes françaises (b, c ; la carte géologique de la Figure 1b correspond à la carte géologique harmonisée; cf. Blondeau, 2018). L'encart sur la figure 1a correspond à la zone d'inventaire des travaux de Blondeau (2018). Les encarts sur la figure 1c correspondent aux deux secteurs d'étude proposés pour cette étude (Beaufortin, Queyras) et actuellement peu documentés.

**Merci de votre attention !!!**