

VI. Géologie appliquée et instabilités de versant

→ 1. Typologie

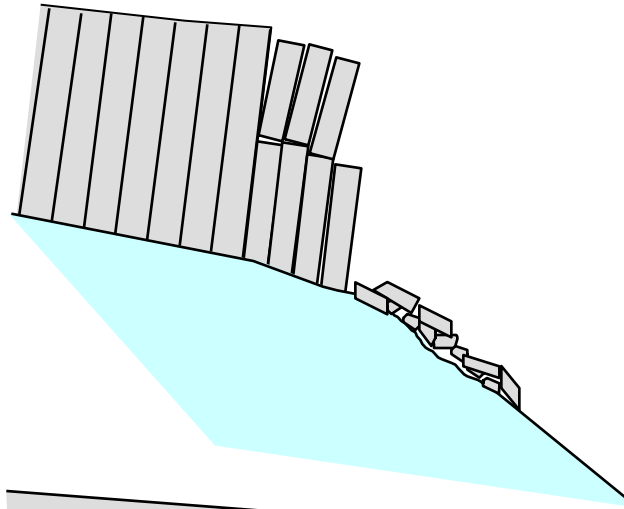
→ 2. Protection et stabilisation

→ 3. Versant de Séchilienne

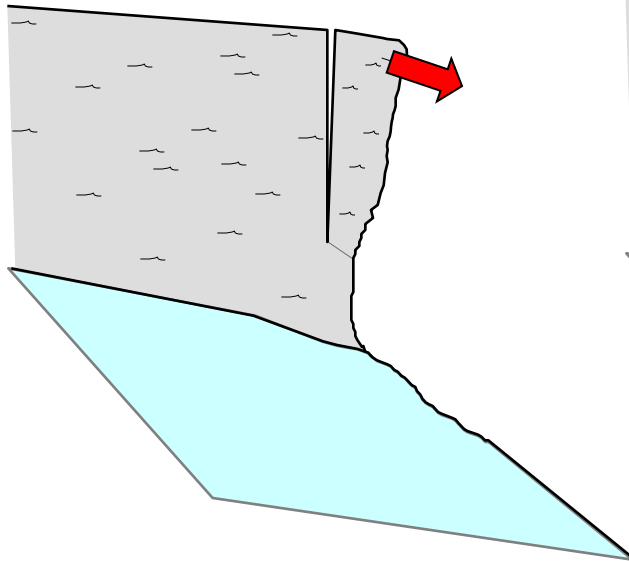
→ 4. Mas d'Avignonet

- Éboulement / écroulement

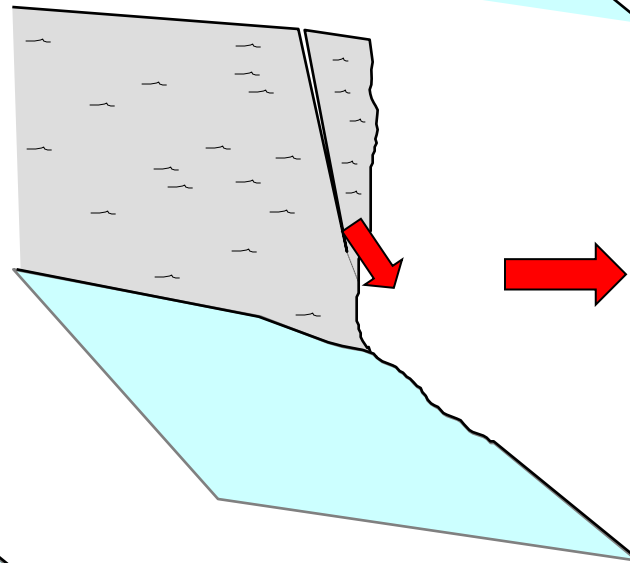
- *Basculement ou fauchage*



- *Rupture en pied*



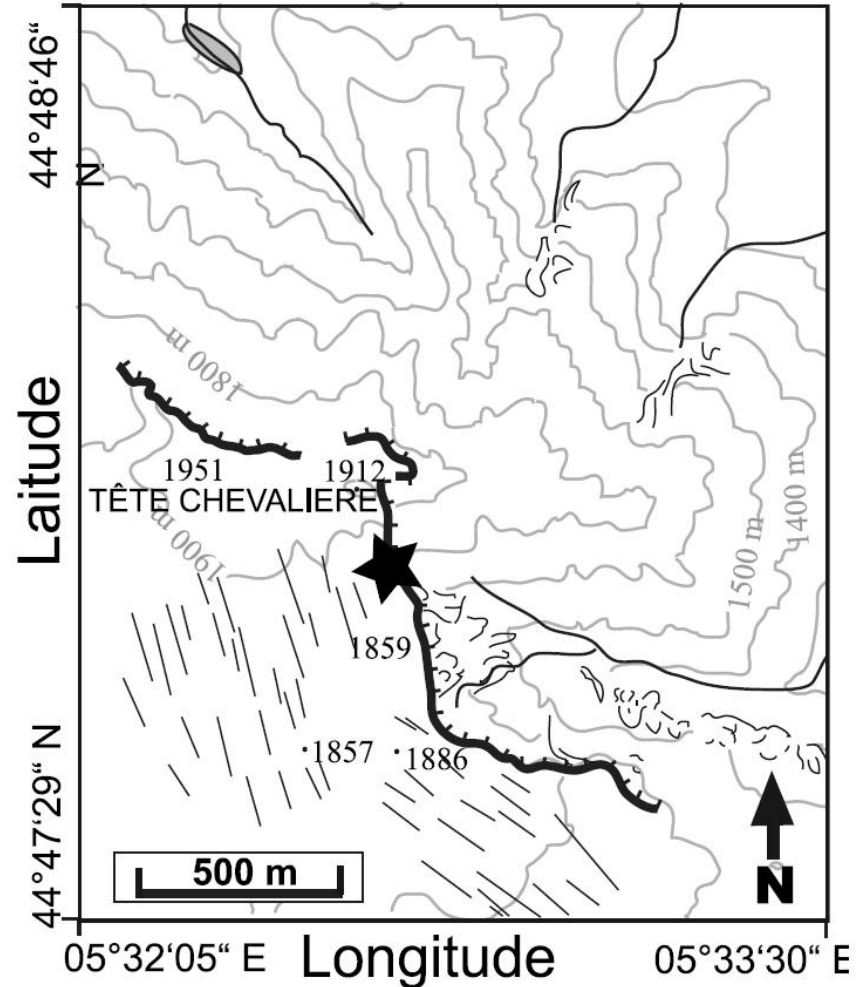
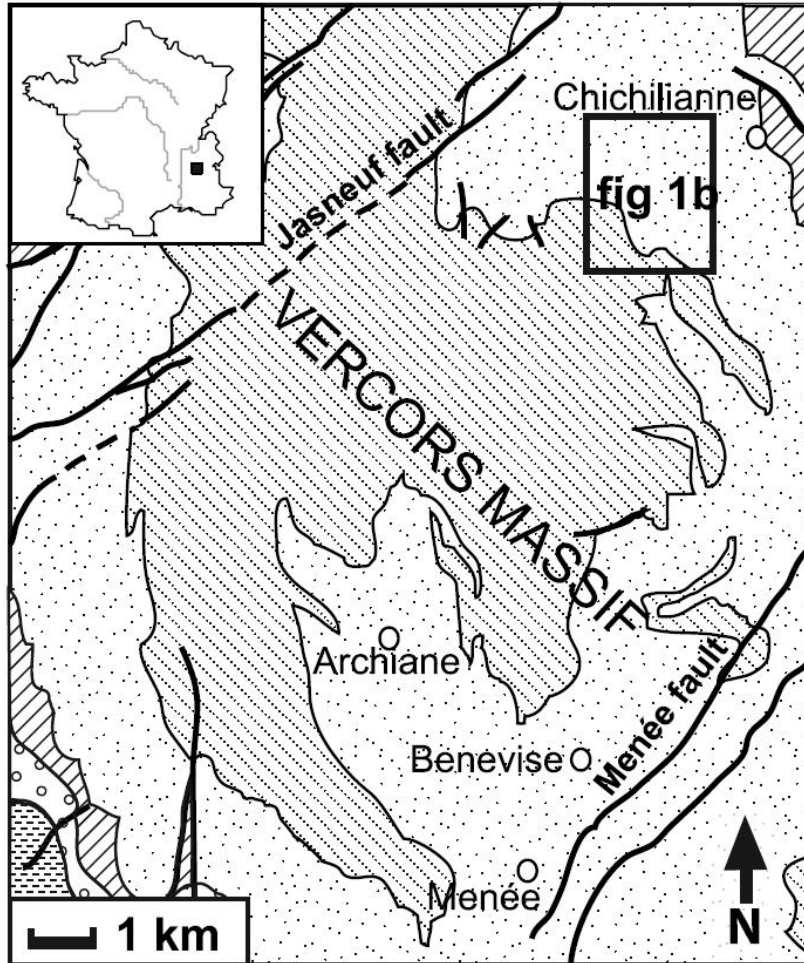
rupture conduisant à un basculement


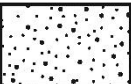


rupture conduisant à un glissement

Exemple du
Vercors

- Éboulement / écoulement



-  Urgonian limestones and Barremian-Aptian bioclastic limestones
-  Barremian-Hauterivian marls and limestones (including Valanginian bioclastic limestones)

Lévy et al., 2010
JGR



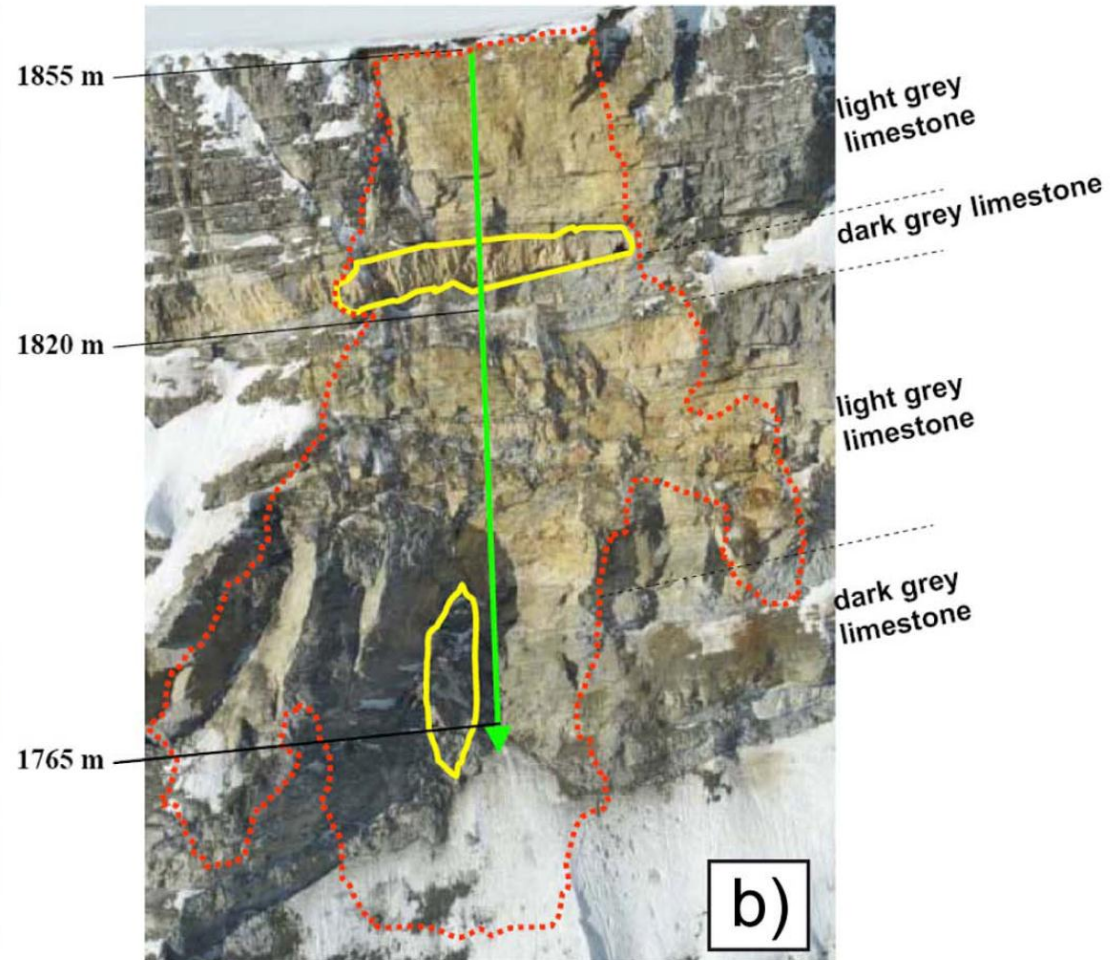
→ Bordure sud-est du Vercors (site de Chamousset) dans les calcaires massifs de l'Urgonien

→ Auscultation: Lidar / extensomètres / bruit de fond sismique

Septembre 2007



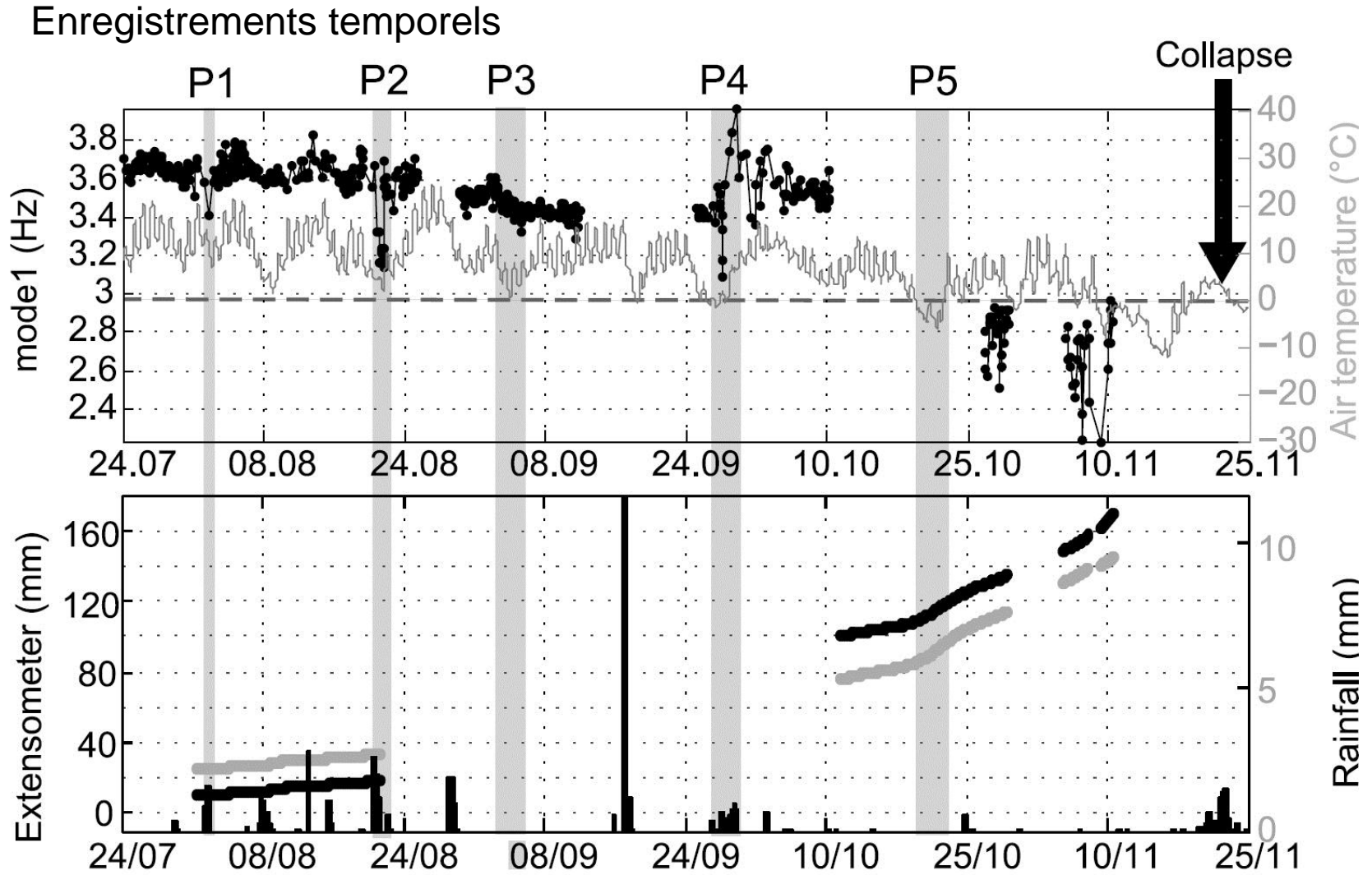
Décembre 2007



Auscultation par bruit de fond + extensomètre + Lidar
données climatiques (pluvio + température)

chute de l'aiguille le 24 Novembre → maintenue par 2 ponts rocheux

Lévy et al., 2010 JGR

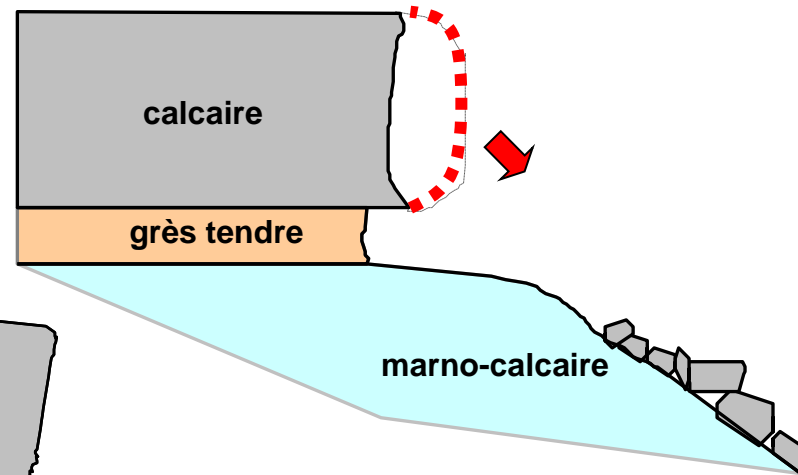


Lévy et al., 2010 JGR

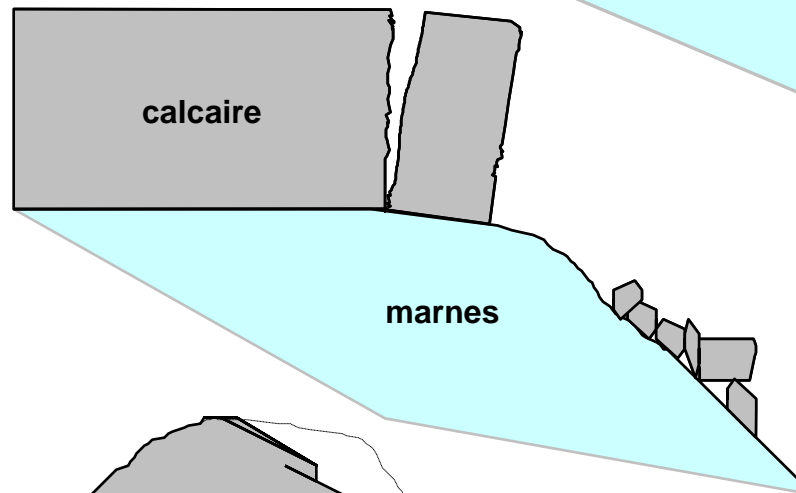
Le déplacement de l'extensomètre indépendant des précipitations
Augmente drastiquement avec une accélération avant la rupture

- Éboulement / écroulement

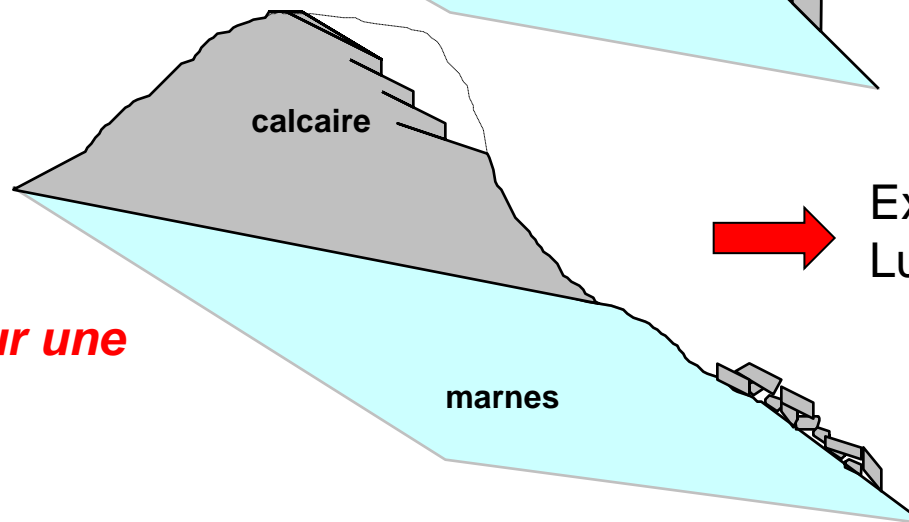
- Mise en surplomb



- Fluage du terrain sous-jacent



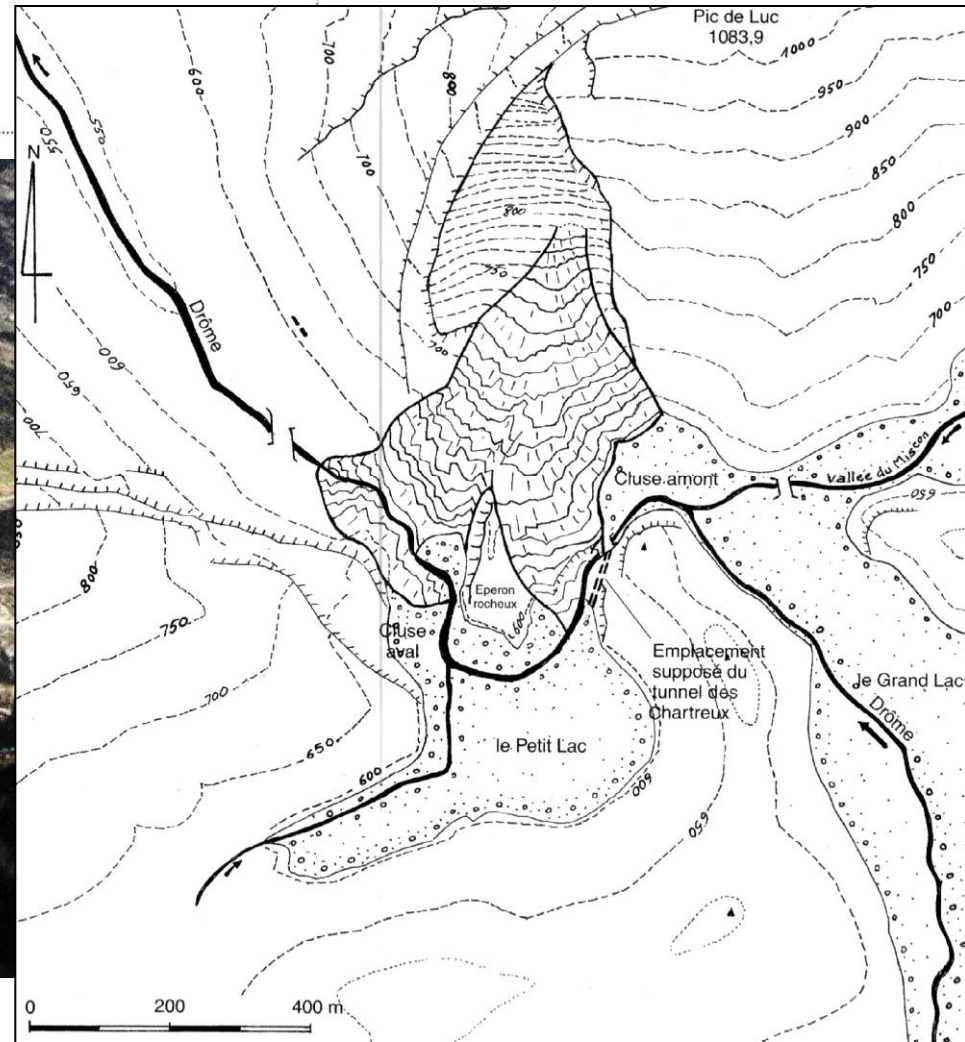
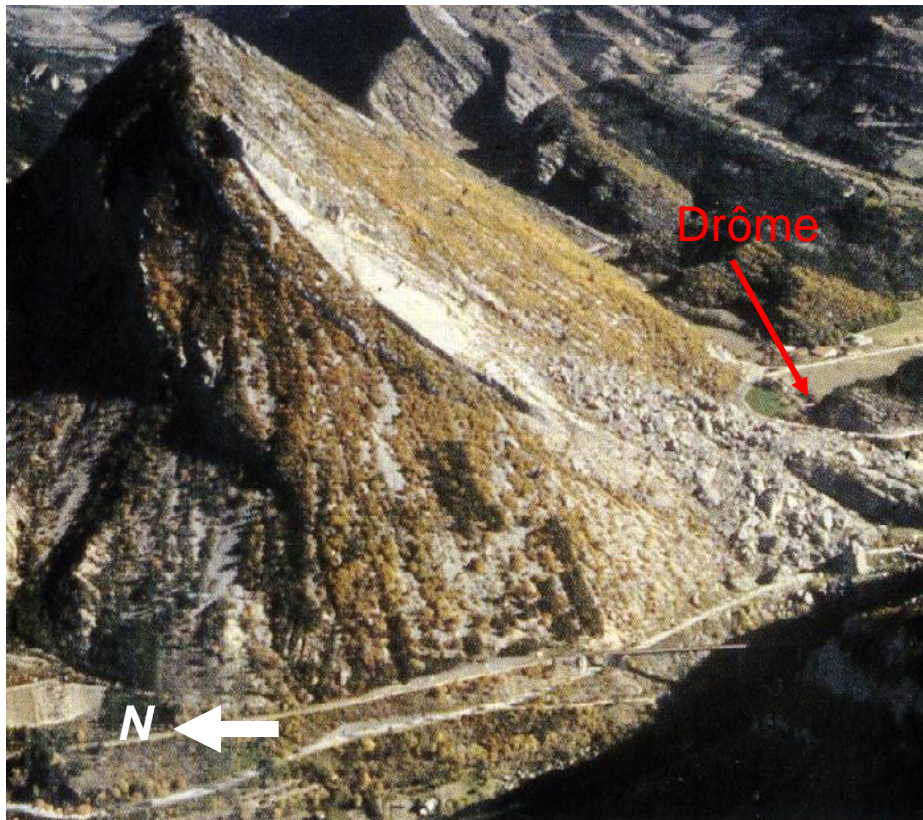
- Glissement sur une discontinuité



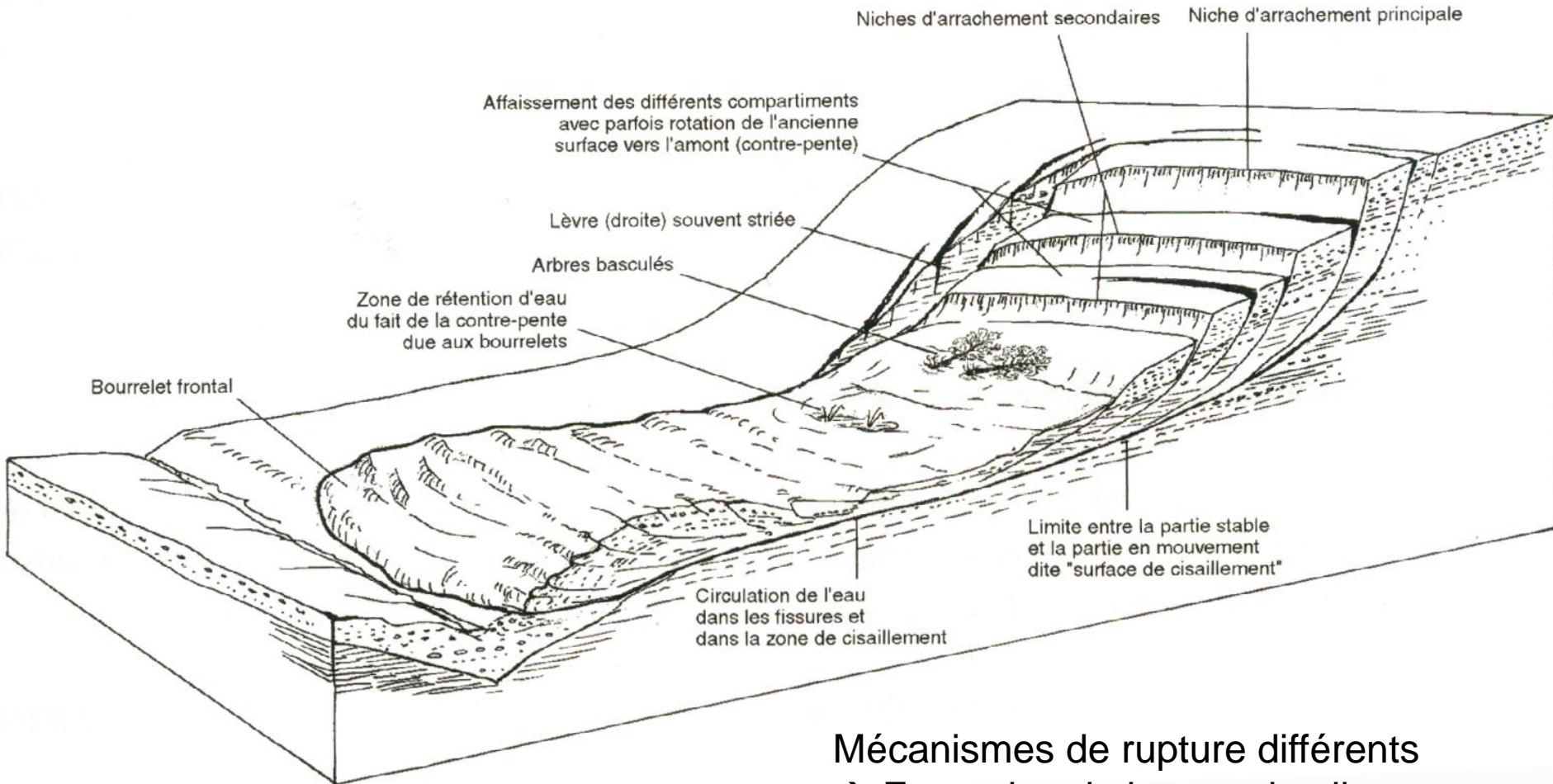
**Exemple de
Luc-en-Diois**

Caractéristiques de l'éboulement de Luc-en-Diois

Nom	Date	Nature	Volume (m ³)	Dénivellation (m)
Luc-en-Diois (26)	1442	Calcaire du Jurassique supérieur, (Tithonique)	1100000	



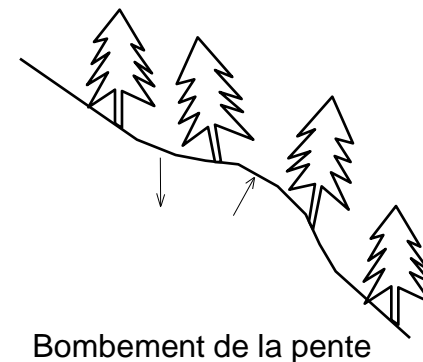
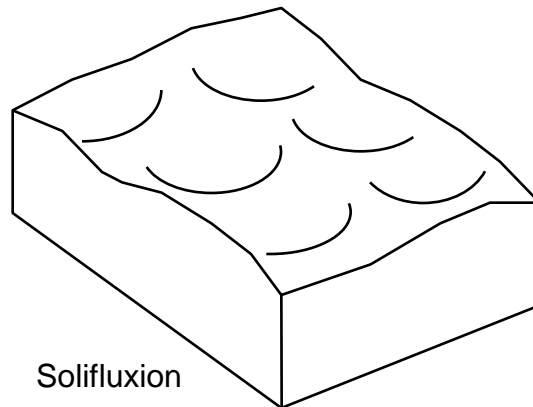
- Exemple pour les sols ou terrains plus argileux



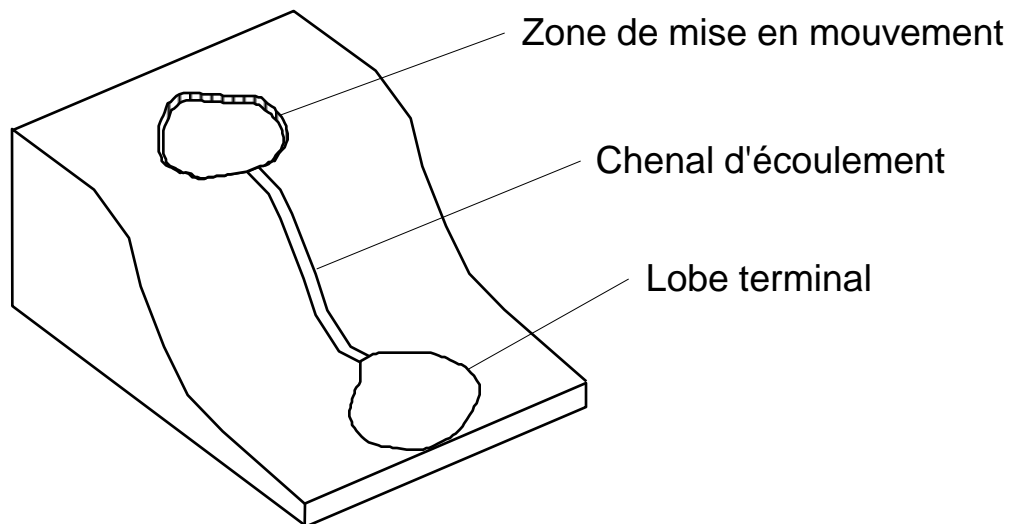
Mécanismes de rupture différents
→ Formation de loupes de glissement délimitées par des plans de cisaillement

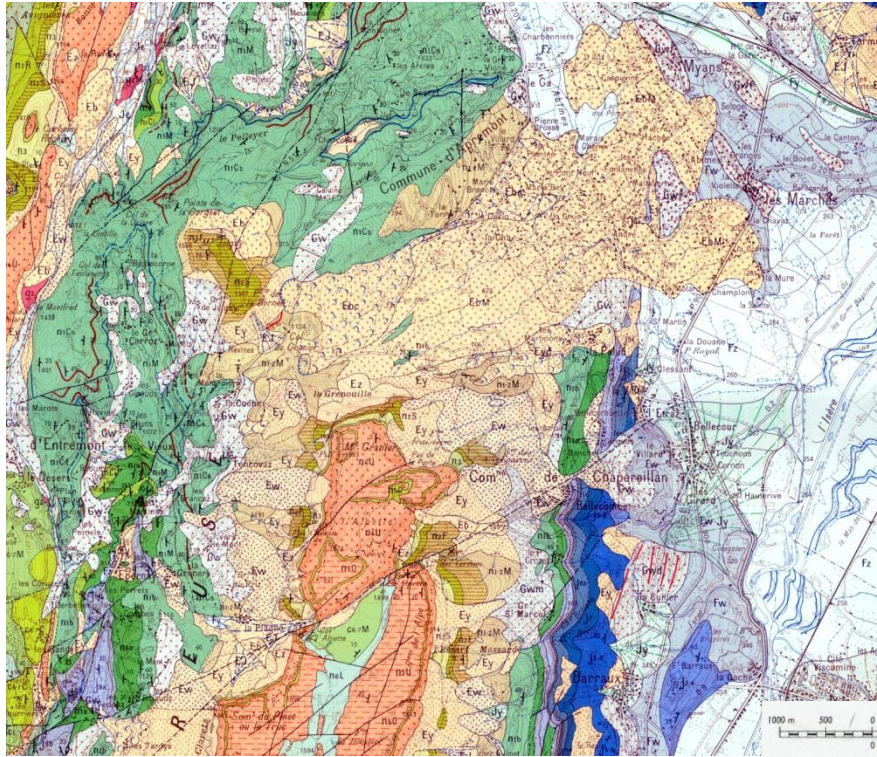
- Écoulements visqueux

- Fluage - solifluxion



- Coulée





Eroulement du Granier

Cadre Géologique:

- Zone Dauphinoise: couverture sédimentaire IIaire déformée (plis et failles).
- Urgonien fortement karstifié.

Historique:

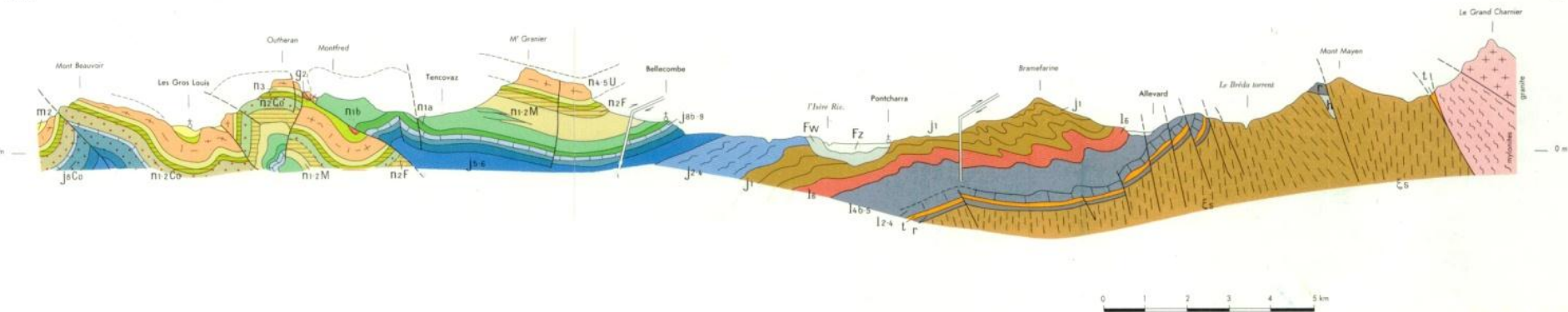
- **1248: éboulement de la face Nord du Granier** (de 300 à 500Mm3)
Dénivellation sur 1500m.
Distance maximale parcourue par les blocs est de 8,5km.

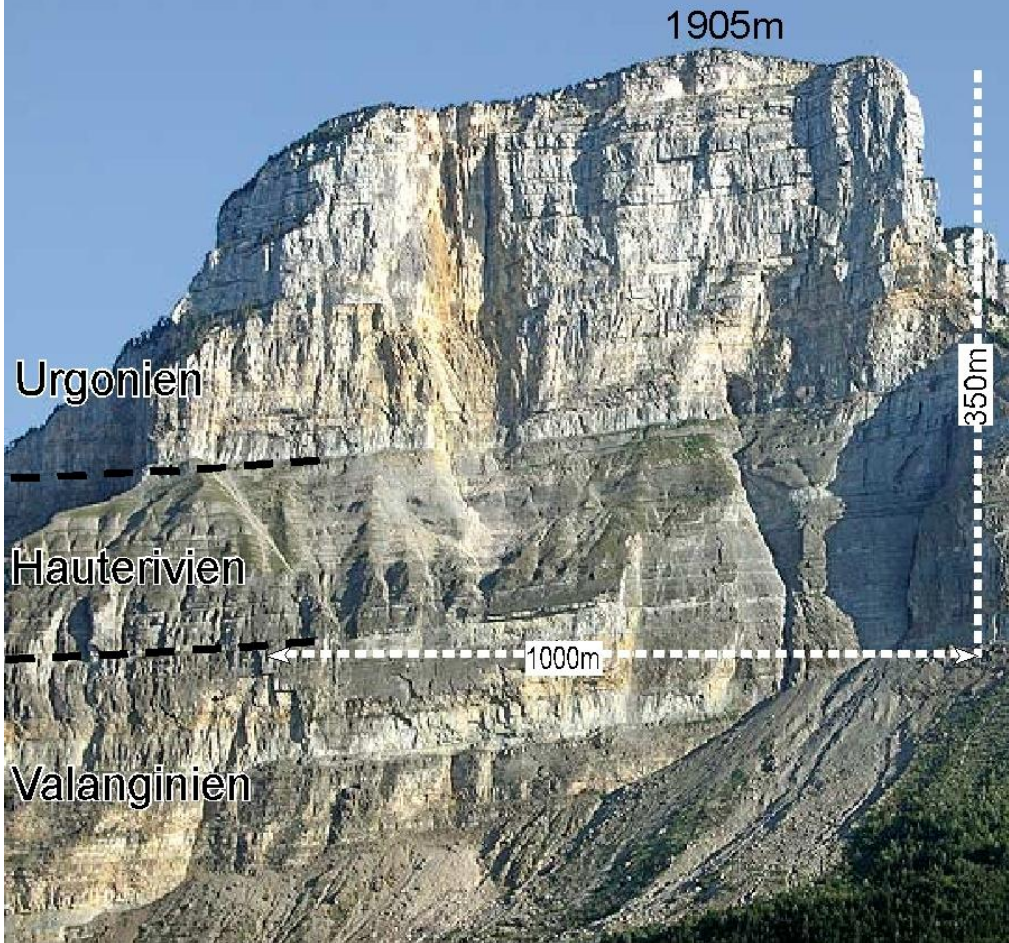
Instrumentation:

Extensomètres sur les principales fractures verticales

WNW

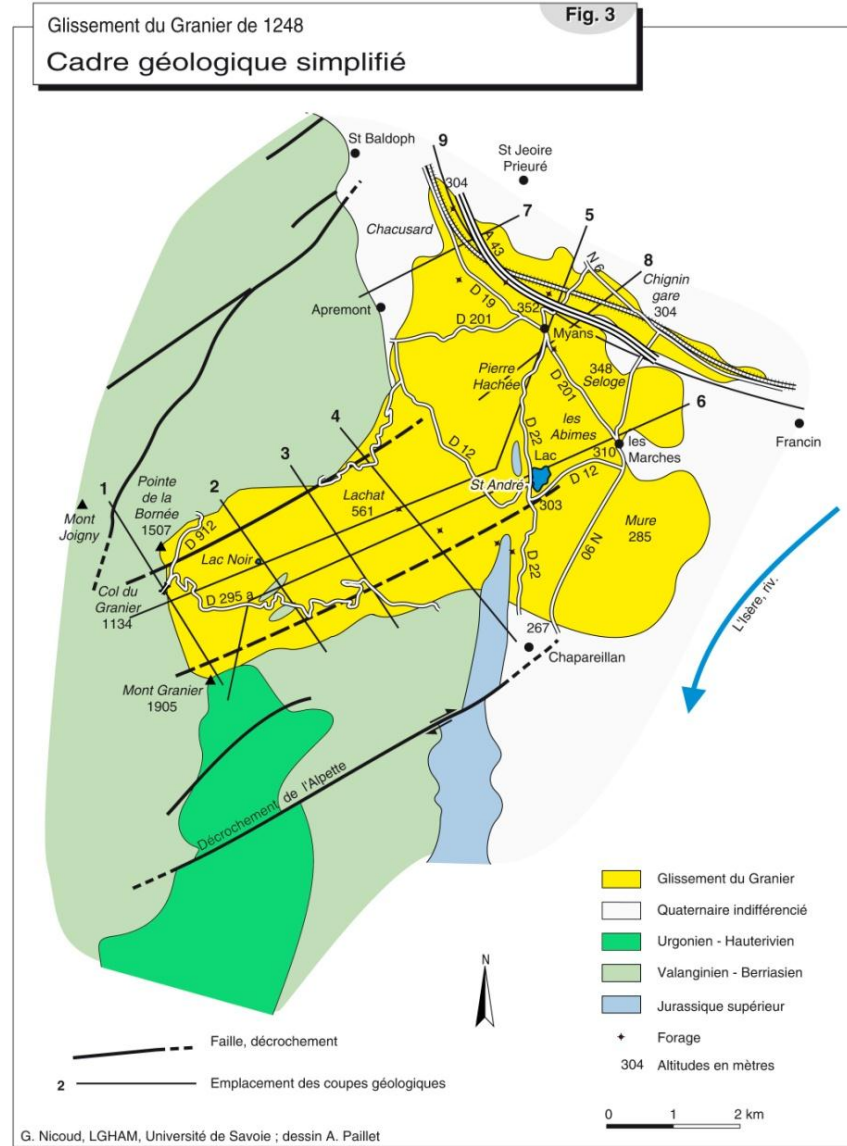
ESE



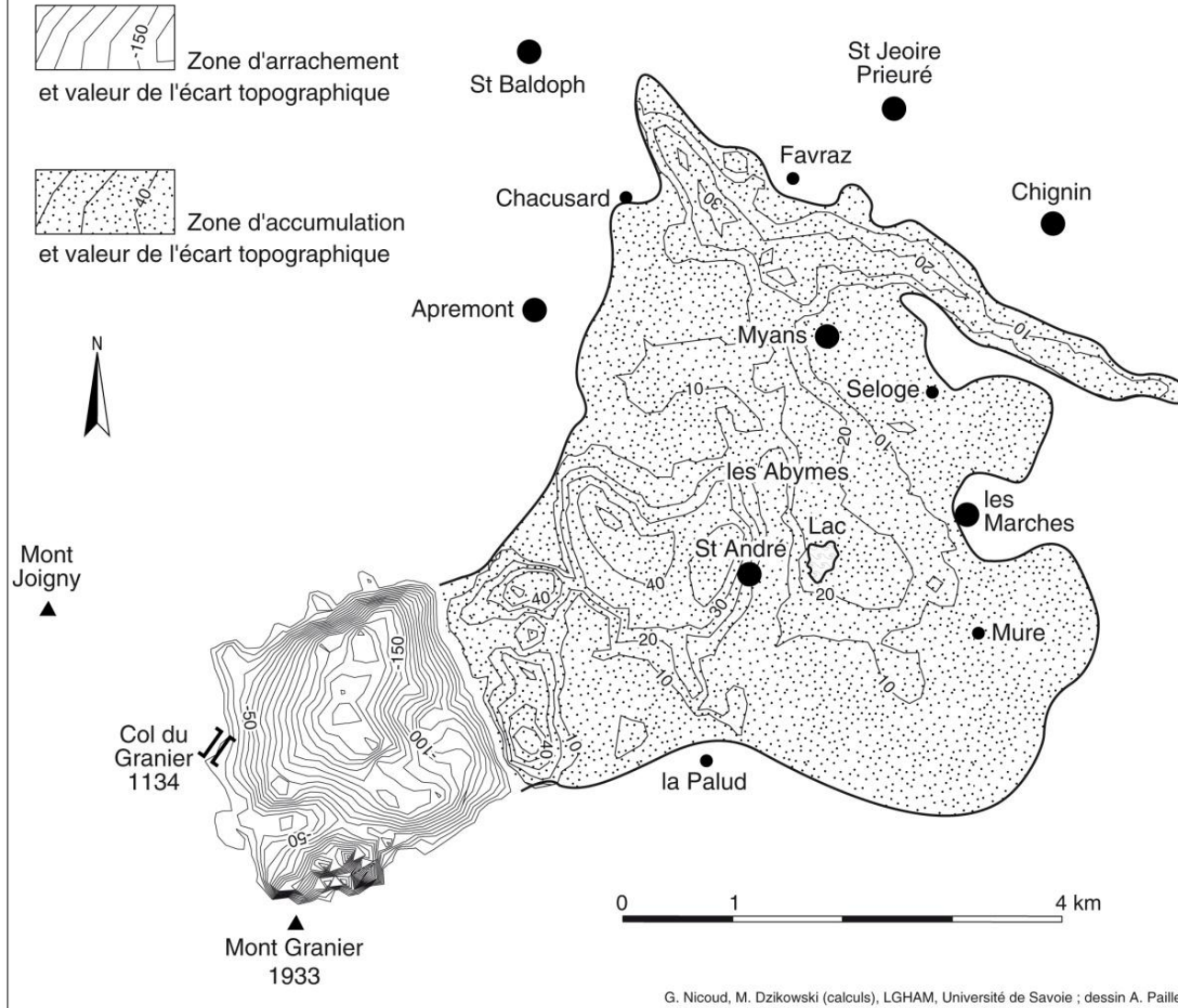


Face Nord du Granier :

Constituée par les calcaires urgoniens reposant sur des alternances marno-calcaires hauteriviennes.



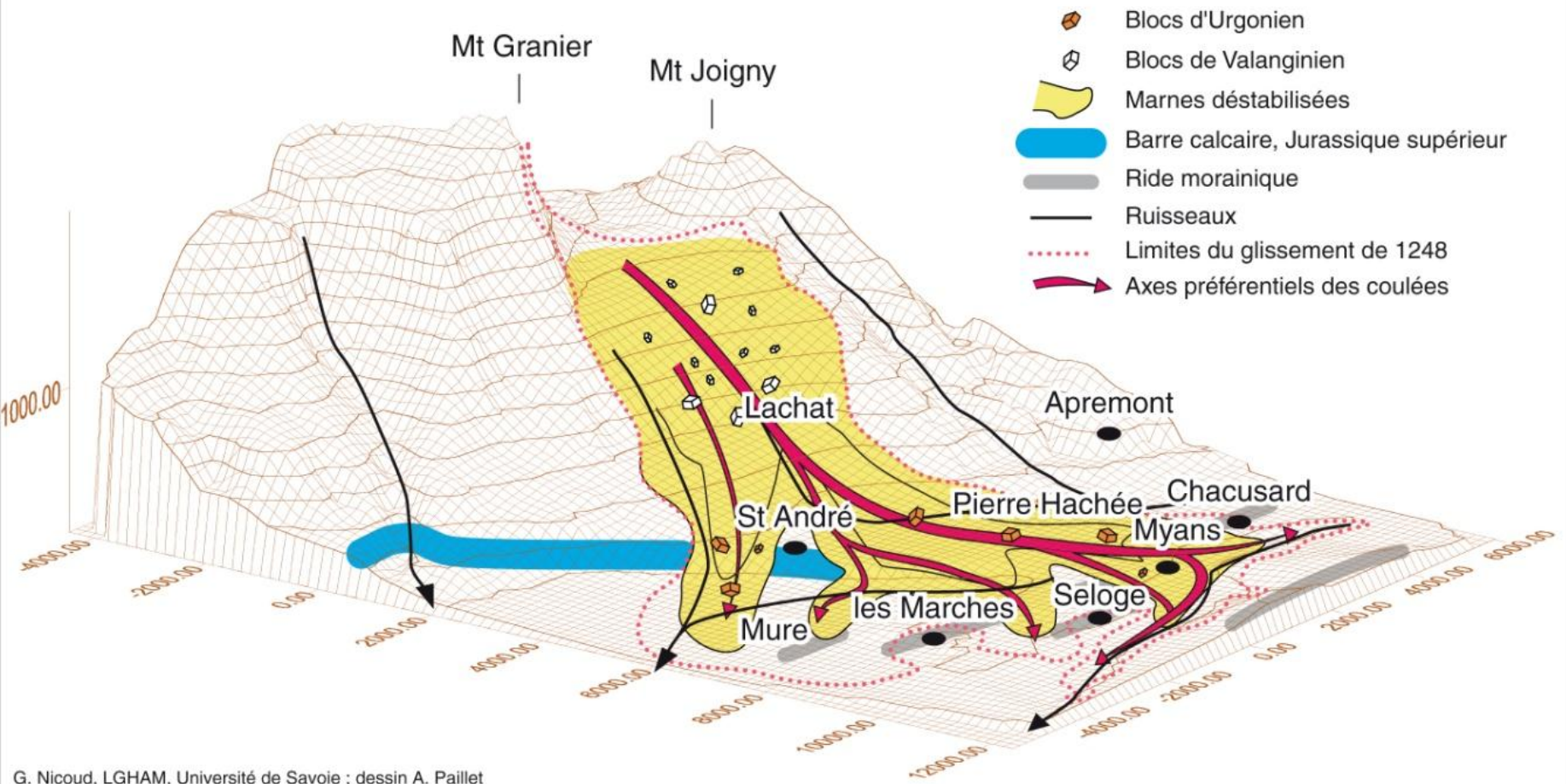
Ecart topographique entre surfaces
actuelle et antérieure reconstituée



Glissement du Granier de 1248

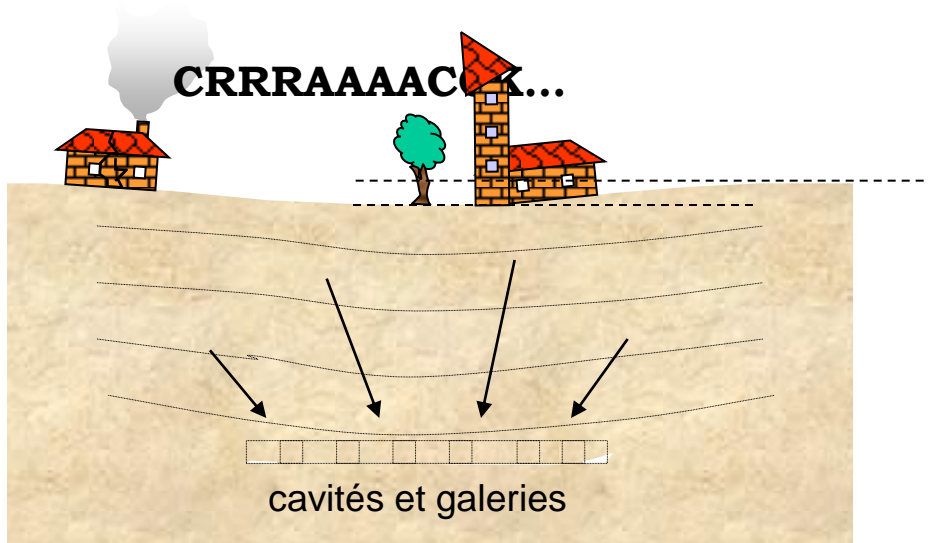
Fig. 9

Glissement des couches marneuses et évolution en coulées boueuses



G. Nicoud, LGHAM, Université de Savoie ; dessin A. Paillet

- Affaissements



Material		ROCK	DEBRIS	EARTH
Movement type				
FALLS		Rock fall	Debris fall Scree Debris cone	Earth fall Colluvium Debris cone
		Rock topple	Debris topple Debris cone	Earth topple Cracks Debris cone
SLIDES	Rotational	Single rotational slide (slump) Failure surface	Multiple rotational slide Crown Scarp Head Scarp Minor Scarp Failure surface	Successive rotational slides
	Translational (Planar)	Rock slide	Debris slide	Earth slide
SPREADS		e.g. cambering and valley bulging		Earth spread
FLOWS		Solifluction flows (Periglacial debris flows)	Debris flow	Earth flow (mud flow)
COMPLEX		e.g. Slump-earthflow with rockfall debris		e.g. composite, non-circular part rotational/part translational slide grading to earthflow at toe

Classification des mouvements de terrain *(British Geological Survey)*

Vitesses varient de 3m/min à qq mm/an

VI. Géologie appliquée et instabilités de versant

→ **1. Typologie**

→ **2. Protection et stabilisation**

→ **3. Versant de Séchilienne**

→ **4. Mas d'Avignonet**

Moyens de protection contre les mouvements de terrain

STABILISATION (parade active)	<u>Terrassement,</u> <u>purge</u>	<u>Drainage</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tranchée : <i>Eviter les infiltrations</i> ▪ Galerie, forage, masque drainant : <i>Evacuer l'eau infiltrée</i> 	<u>Renforcement</u> <ul style="list-style-type: none"> • Végétalisation • Gunitage (béton projeté) • Murs de soutènement • Ancrages (tirants-boulons) • Filets pendus 	
OUVRAGES DE PROTECTION (parade passive)	Filets et grillages fixés	Ecrans (digues de protection, merlons)	Galeries et casquettes pare-blocs	Plages d'arrêt et de dépôt
EVITEMENT	Zonage réglementaire	Evacuation des personnes	Déplacement des biens	
SURVEILLANCE	Déclenchement d'une alerte			

Confortement/Stabilisation des versants en massifs fracturés

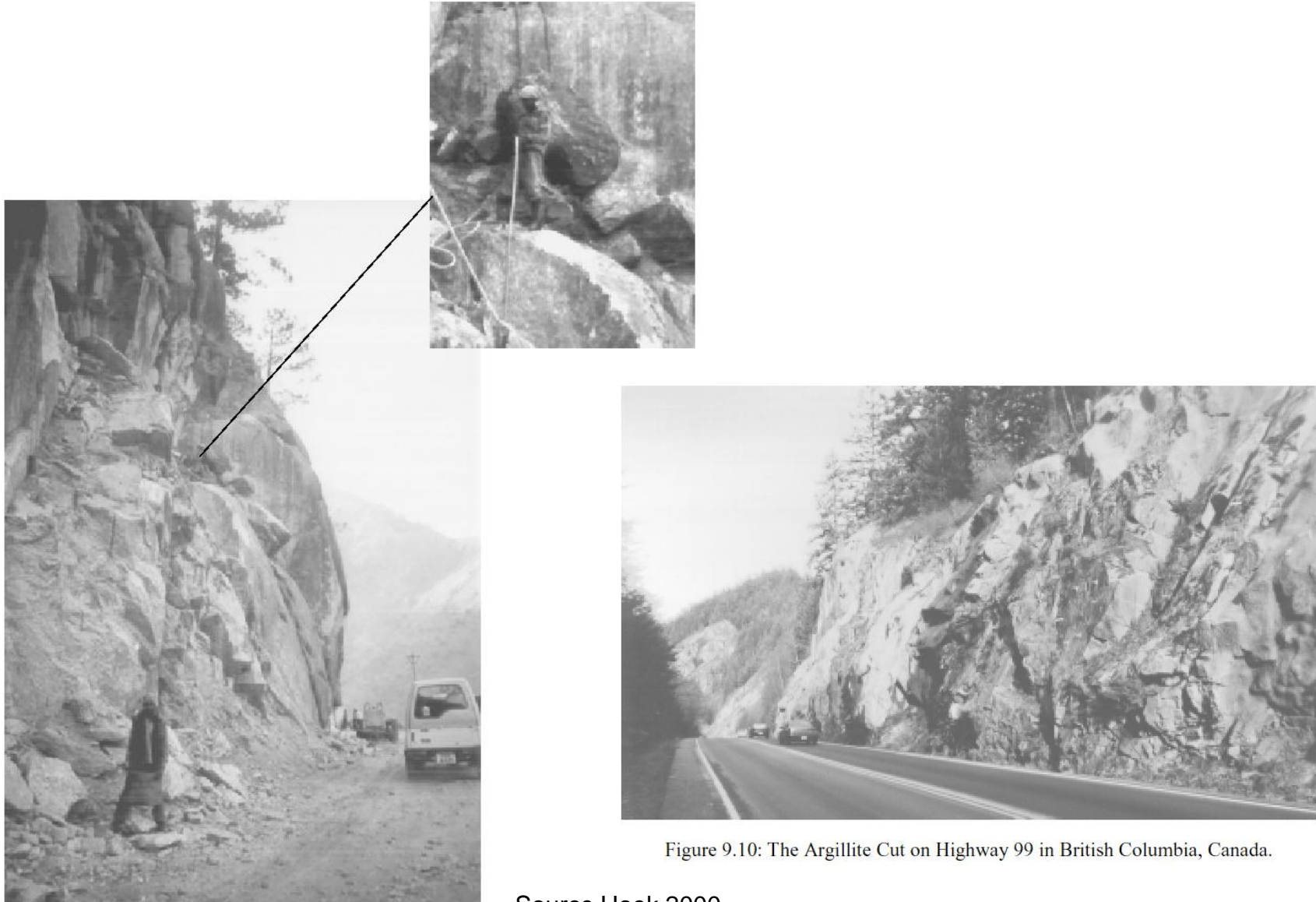


Figure 9.10: The Argillite Cut on Highway 99 in British Columbia, Canada.

Chute de blocs : Commune de Lumbin ,Isère

- Dommages causés des chutes de blocs



Forte exposition au risque



Chute de blocs : Gorges de la Bourne (Isère)

- 30 janvier 2004 , 2000 m³, 2 victimes
- Interruption de la circulation : risque important d'éboulement



II. Stabilisation, confortement et protection

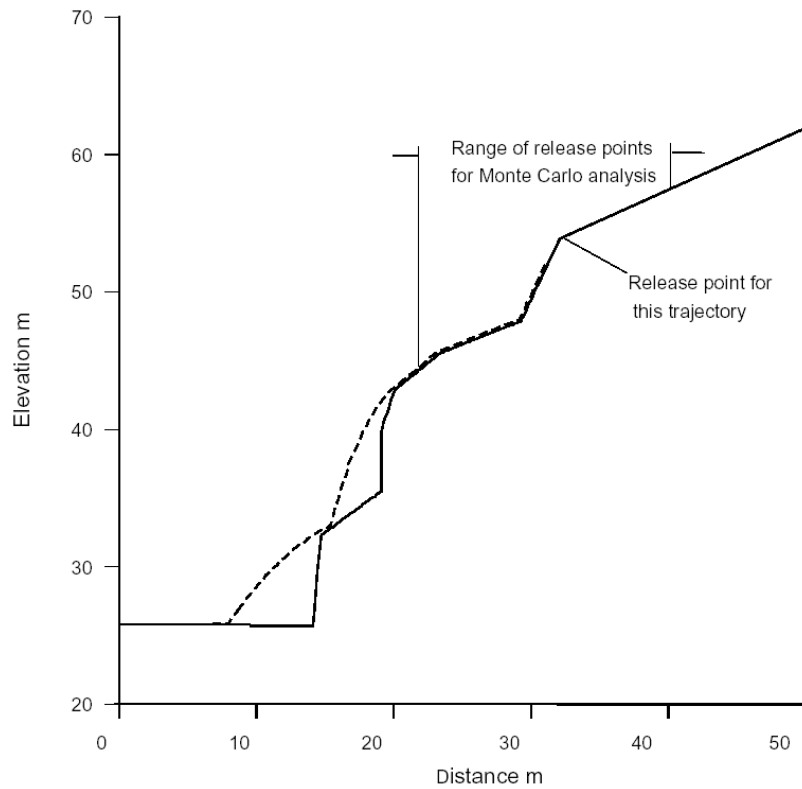
Chute de blocs : Chambéry (Savoie)

– 20 mars 2004 , 4000 m³

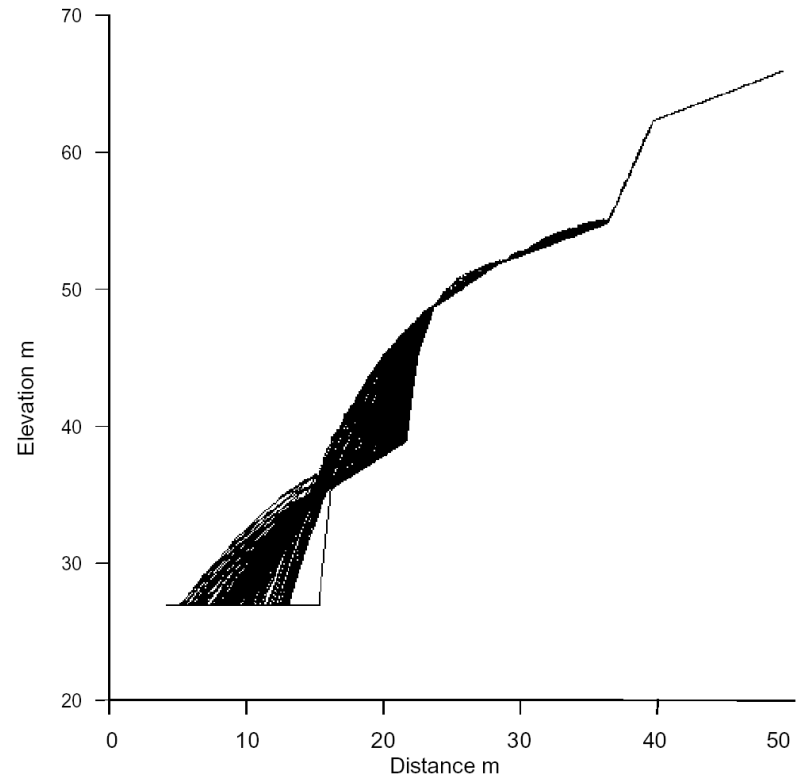


II. Stabilisation, confortement et protection

trajectographie / chute de blocs



a) Typical trajectory for a 1000 kg boulder.



b) Trajectories for 1000 boulders weighing between 200 and 20,000 kg released within the range shown in a) above.

Protection / chute de blocs

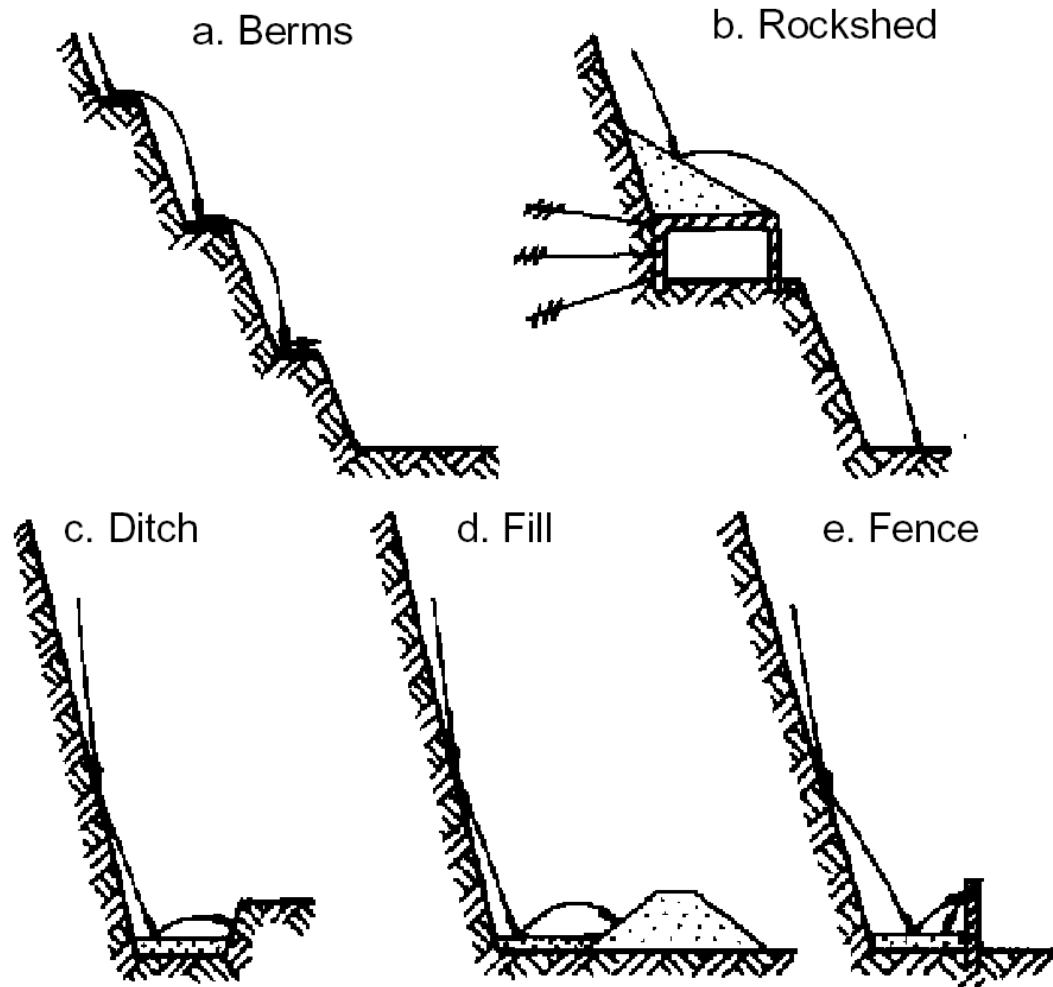
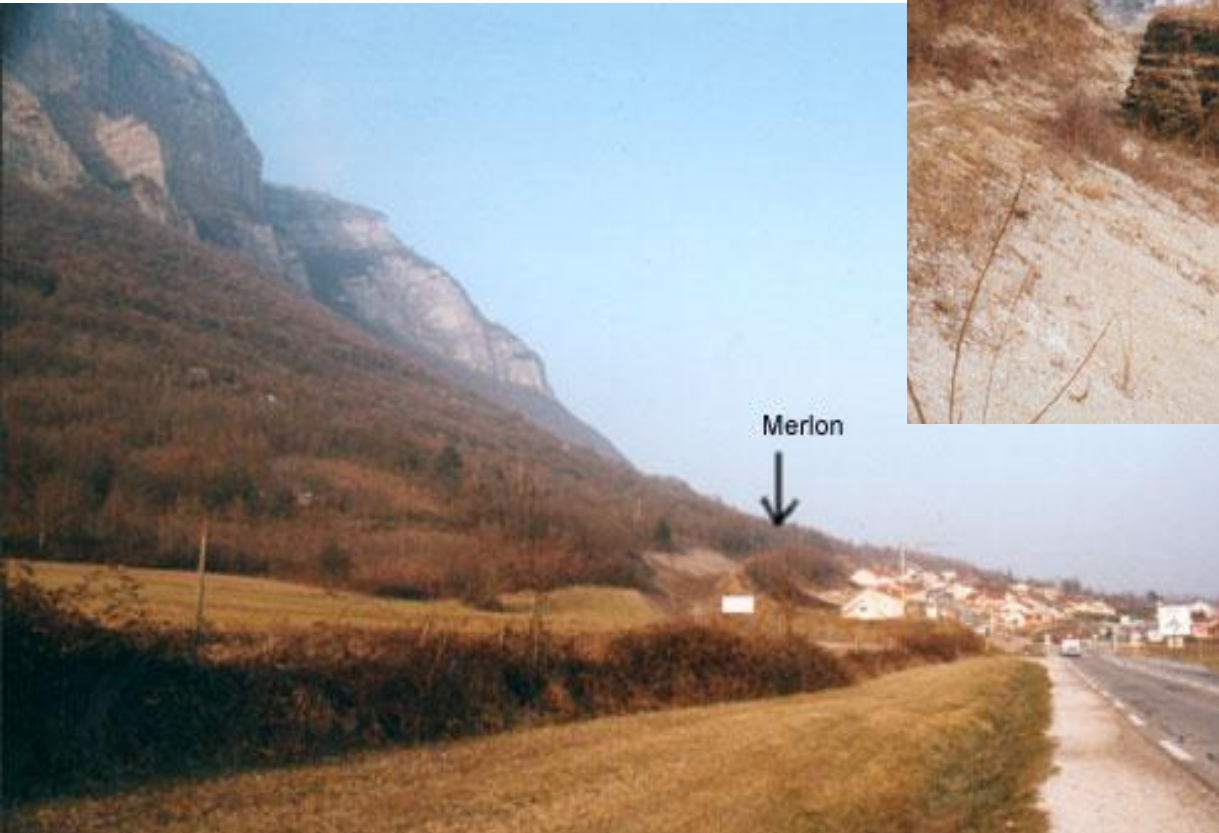


Figure 9.4: Possible measures to reduce the damage due to rockfalls. (After Spang 1987).

Protection / chute de blocs : Commune de Lumbin ,Isère

- Mise en place d'un merlon de protection

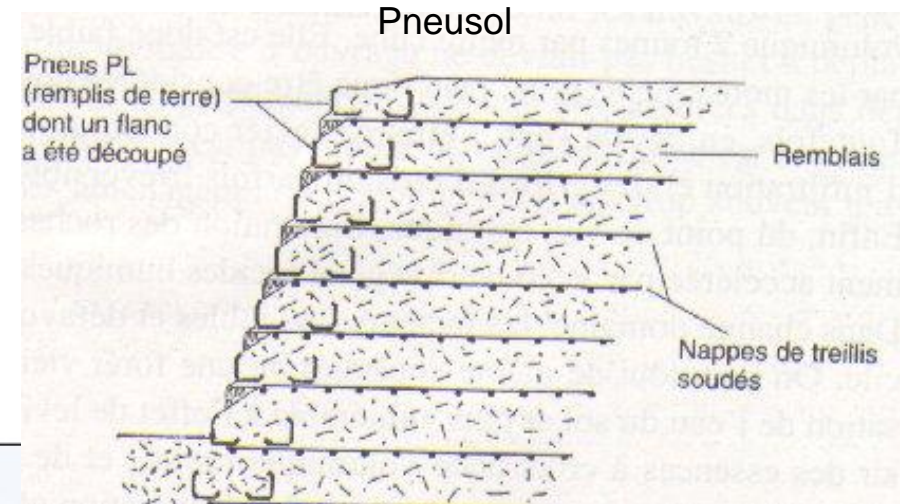


Source: RTM 38

Confortement / Stabilisation en terrain meuble

- Stabilisation par ajout d'éléments résistants

Projection de béton armé avec treillis



Gabion



Confortement / Stabilisation des versants en massifs fracturés

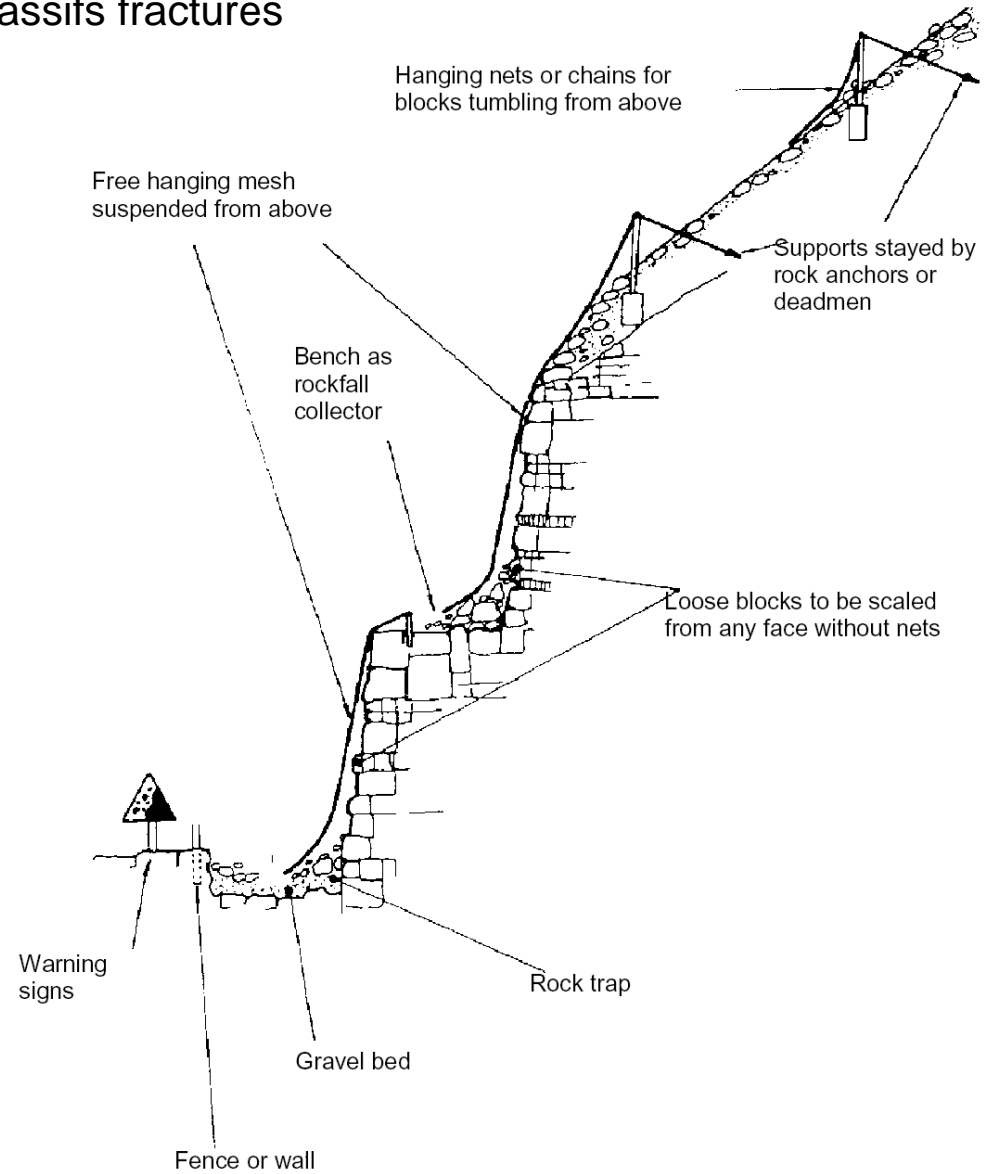
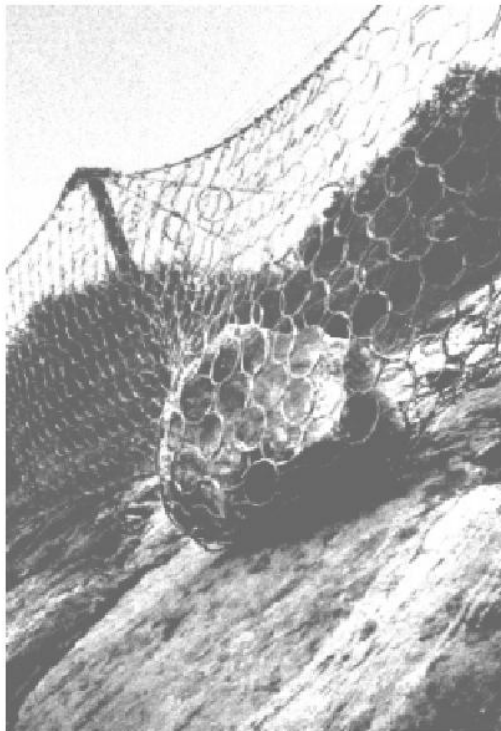


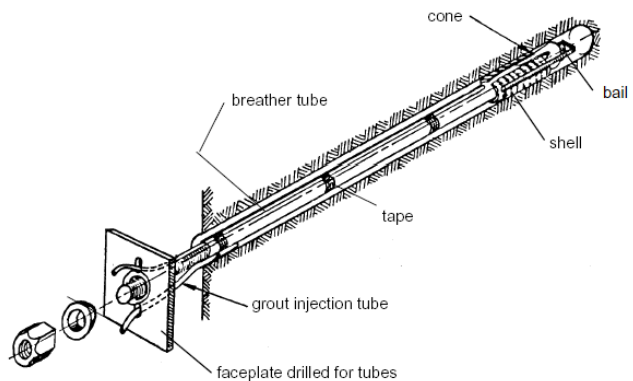
Figure 9.6: Rockfall control measures. (After Fookes and Sweeney 1976).

Protection / chute de blocs :

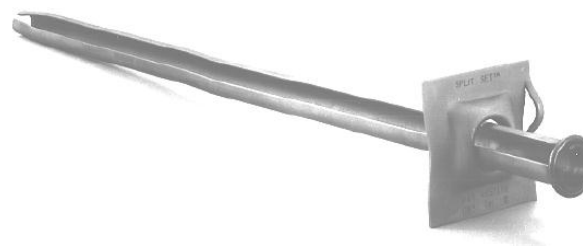


Confortement / Stabilisation

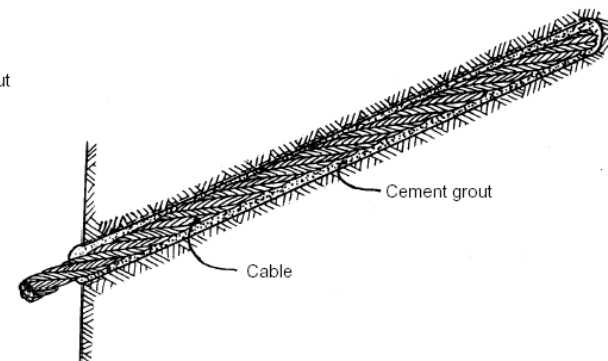
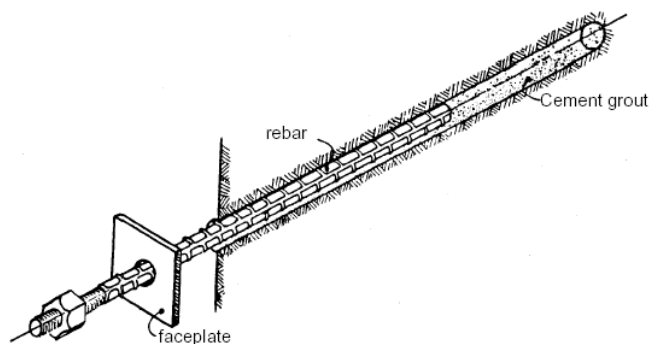
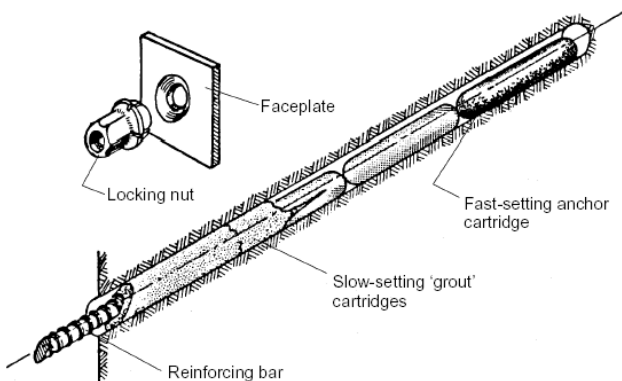
Ancrages à expansion



Clouage

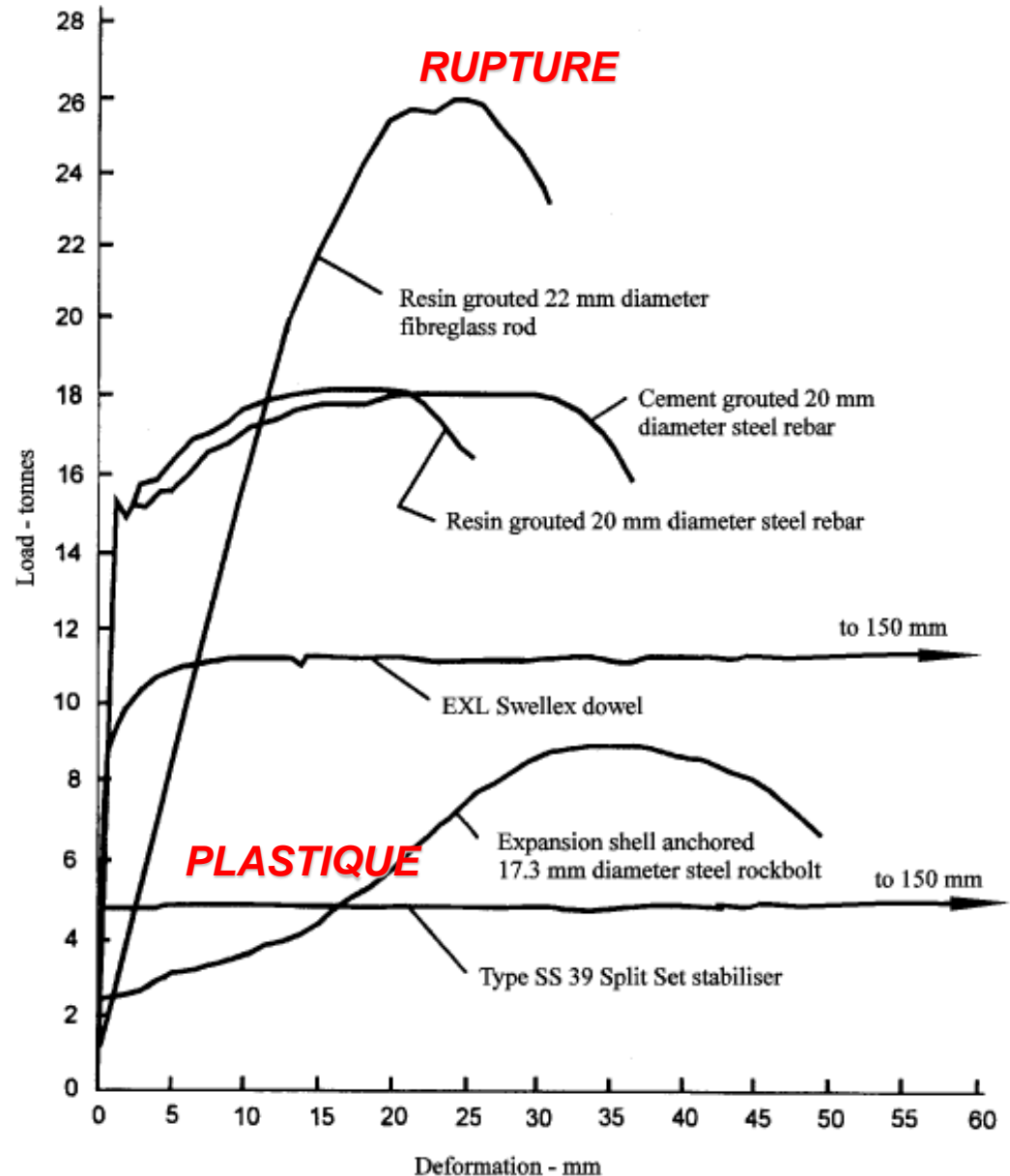


- Ancrages scellés



Confortement /
Stabilisation en travaux souterrains

comportement mécanique
différent suivant le type de
matériel utilisé...



Protection / chute de blocs :

Dimensionnement adéquate de la protection ?

Possibilité de protection ?



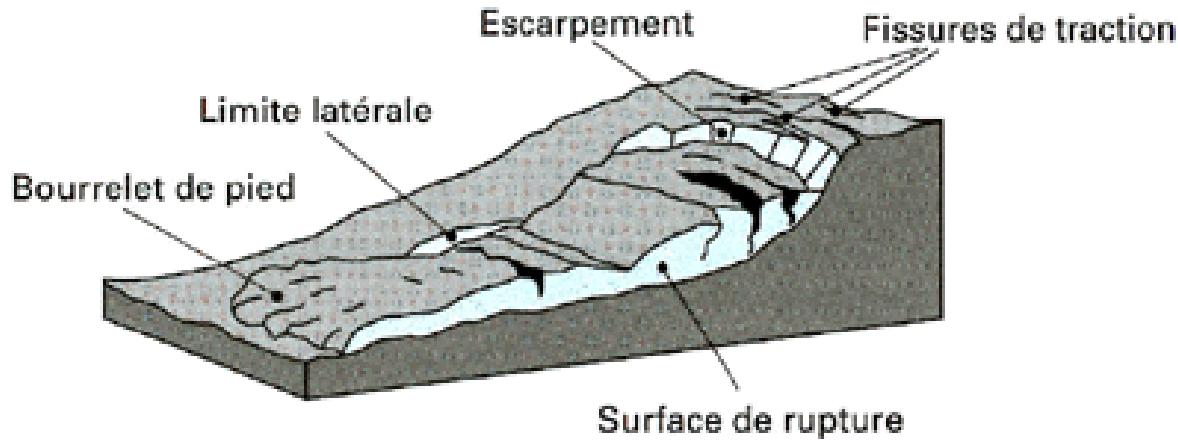
Source RTM 38



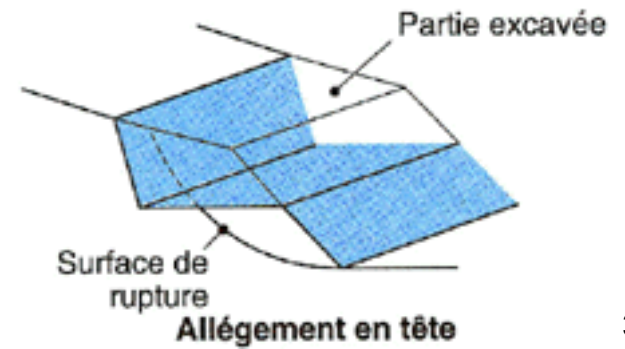
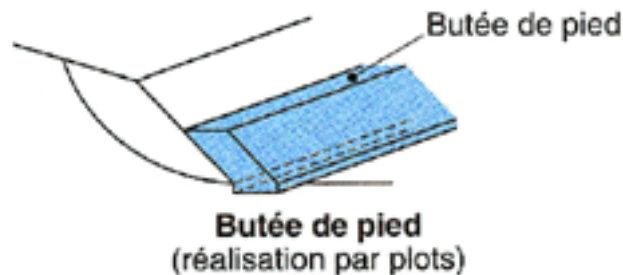
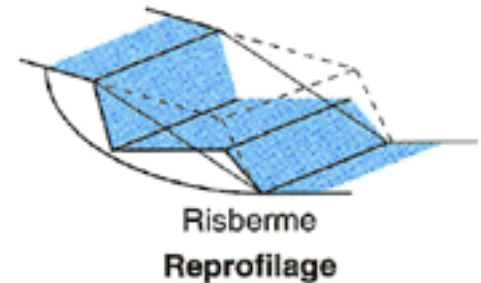
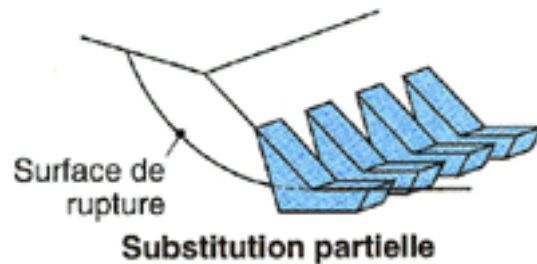
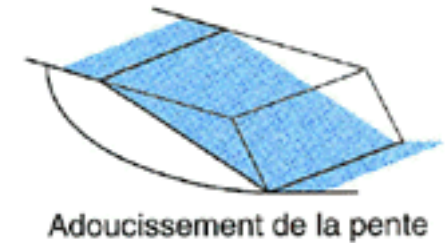
Claps de Luc, Drôme,

Confortement/Stabilisation en terrain meuble

- Morphologie d'un glissement de terrain

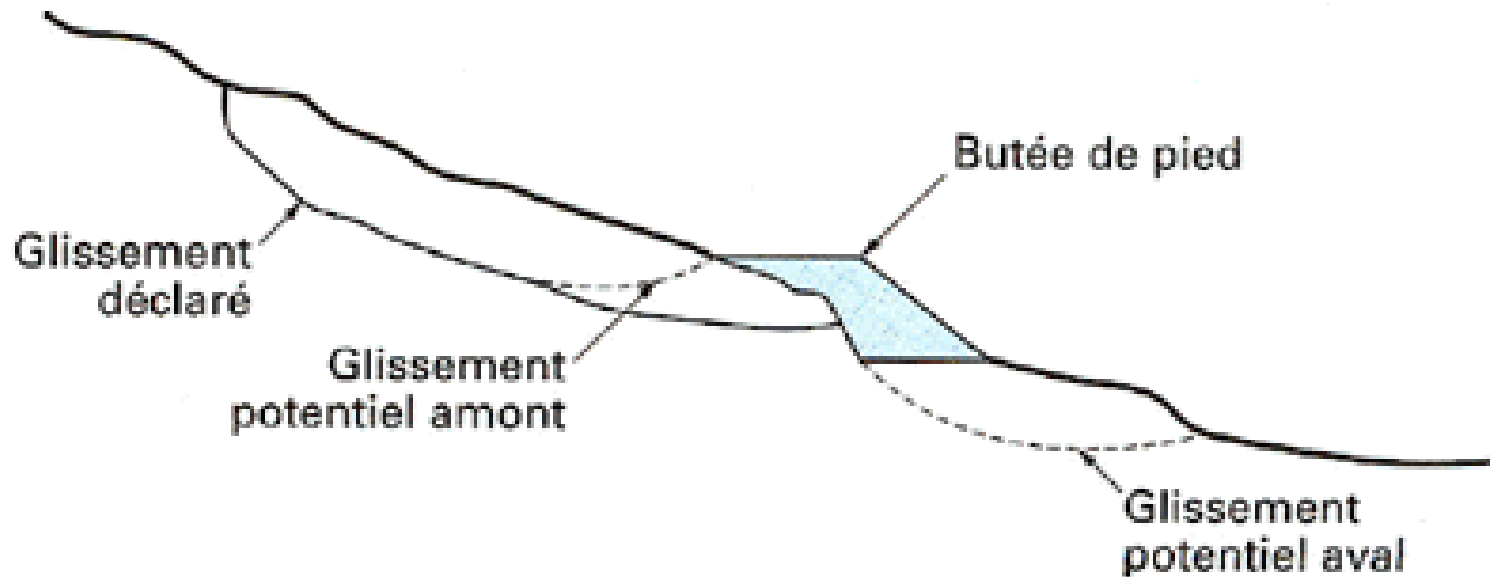
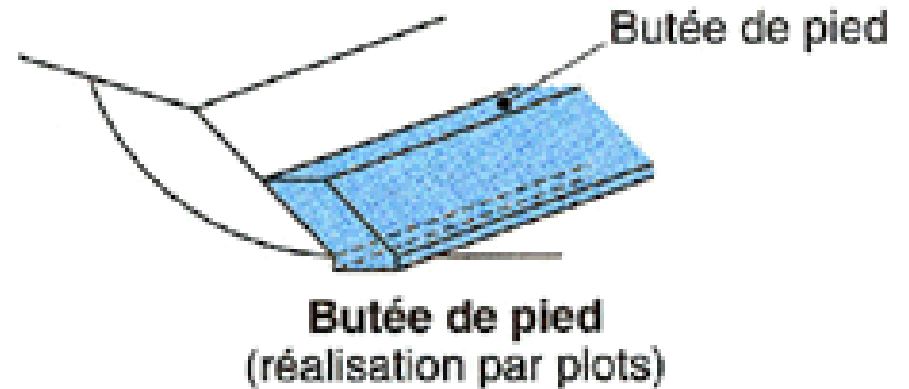


- Stabilisation par remodelage de la pente



Confortement/Stabilisation en terrain meuble

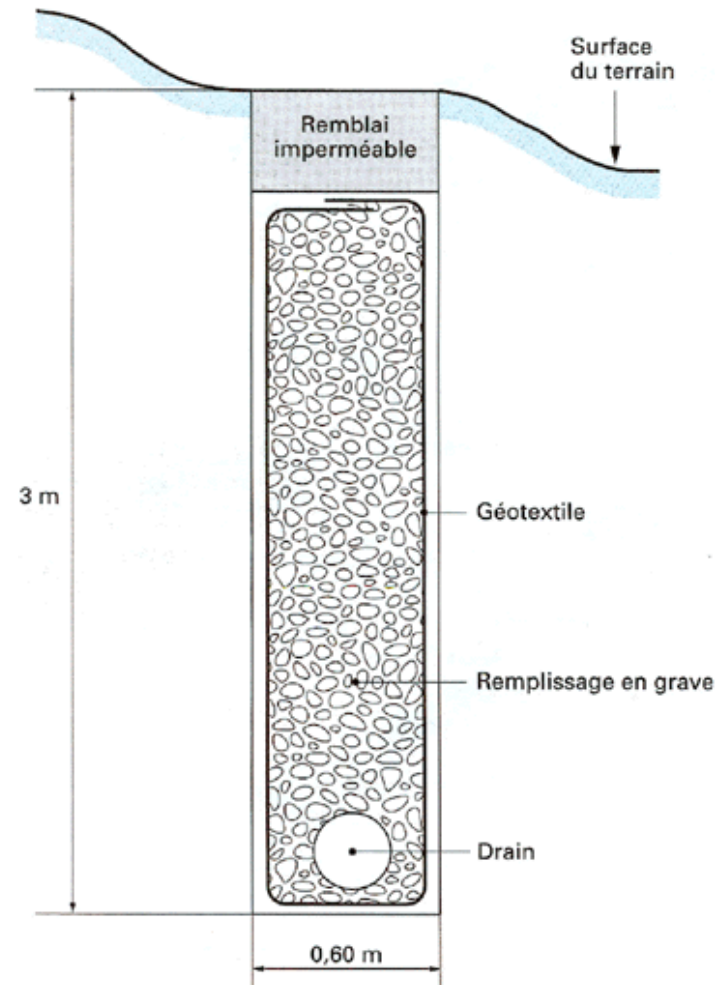
- Stabilisation par ajout d'une butée de pied



Confortement / Stabilisation en terrain meuble

- Drainage

Ex.: Tranchées drainantes



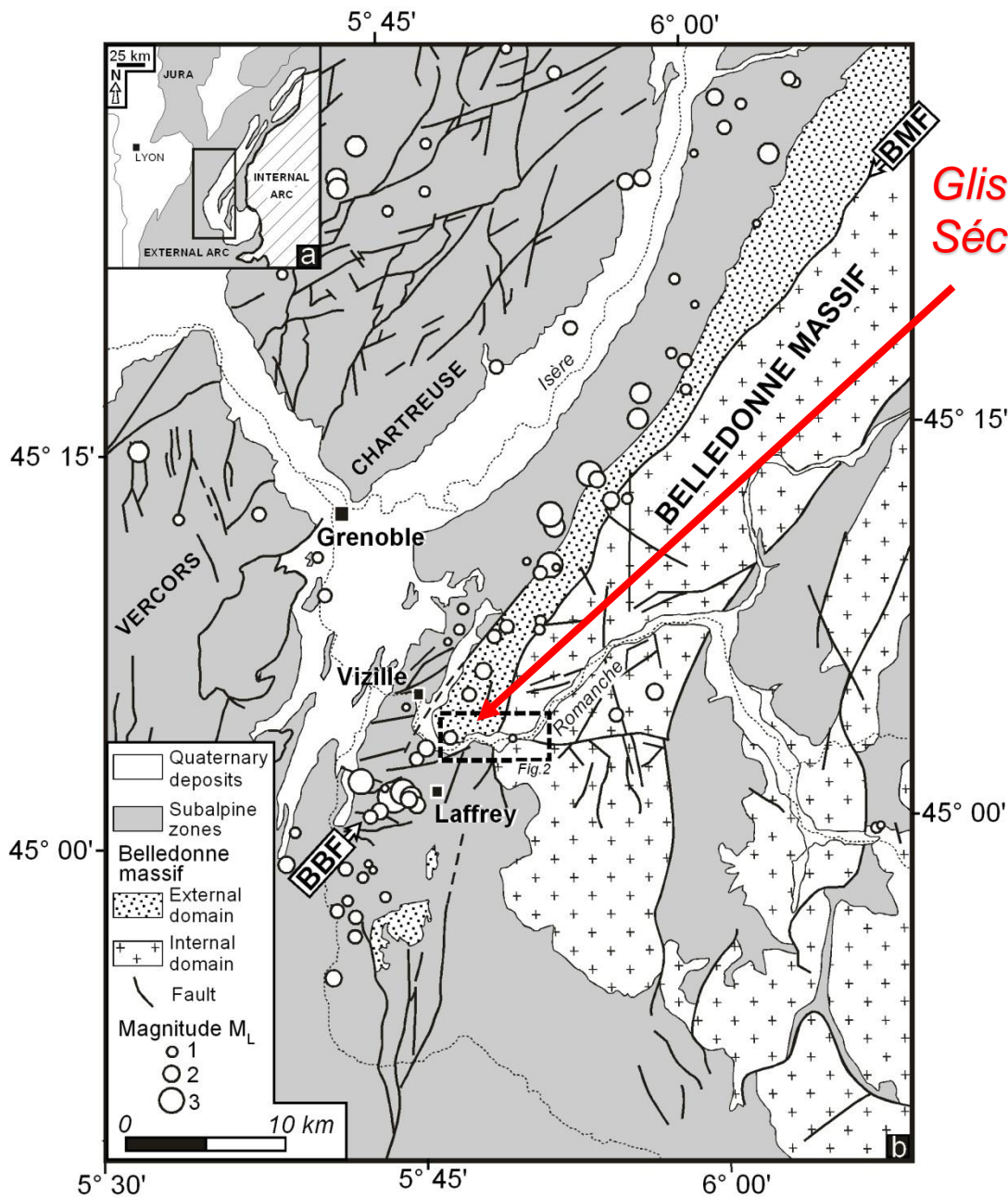
VI. Géologie appliquée et instabilités de versant

→ **1. Typologie**

→ **2. Protection et stabilisation**

→ **3. Versant de Séchilienne**

→ **4. Mas d'Avignonet**



Glissement de Séchillienne

Massif de Belledonne

* Domaine externe :
micaschistes

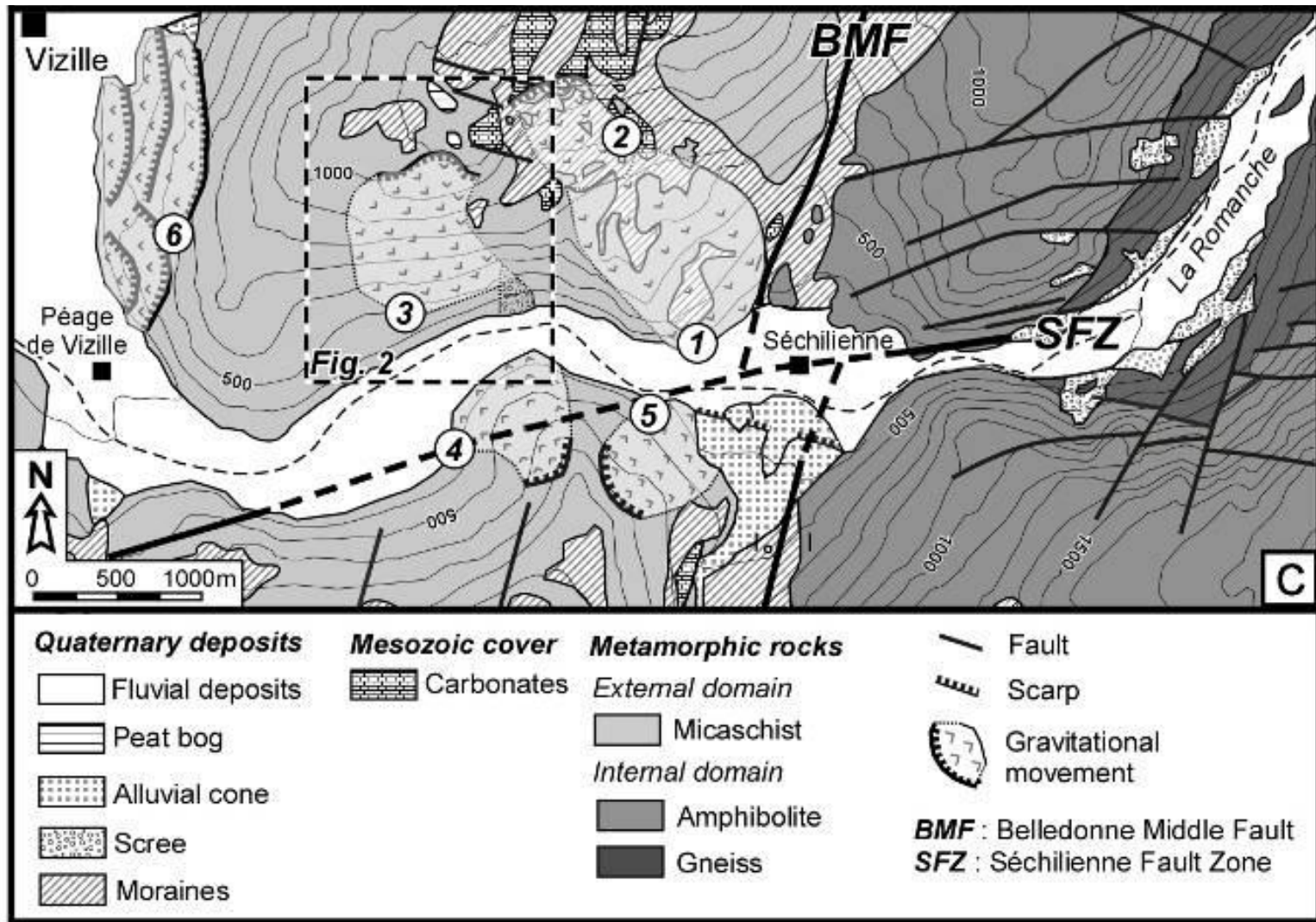
→ **Tassement de versants**
de grande ampleur.

Nbx **glissements de terrain**
actifs et passés

* Domaine interne :
gneiss, amphibolites

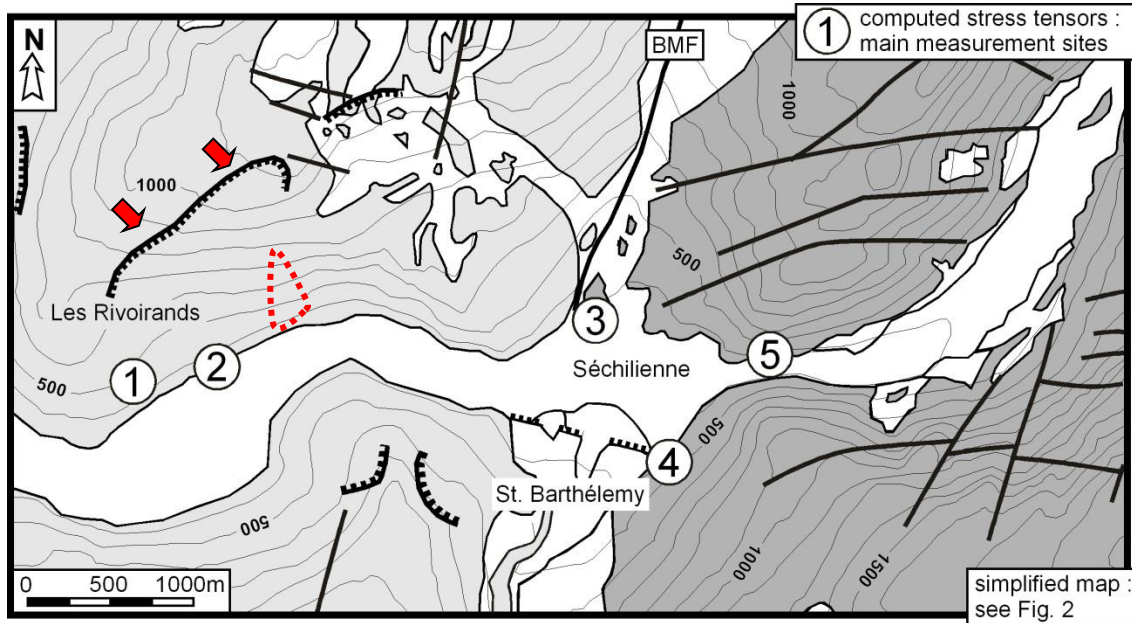
→ Plutôt des **écroulements**

* Activité sismique
récurrente faible $M_L < 3.5$



→ **Dans les micaschistes existence de nombreuses instabilités** actives ou passées

Questions : depuis quand? rôle de la déglaciation? pergélisol? héritage tectonique?



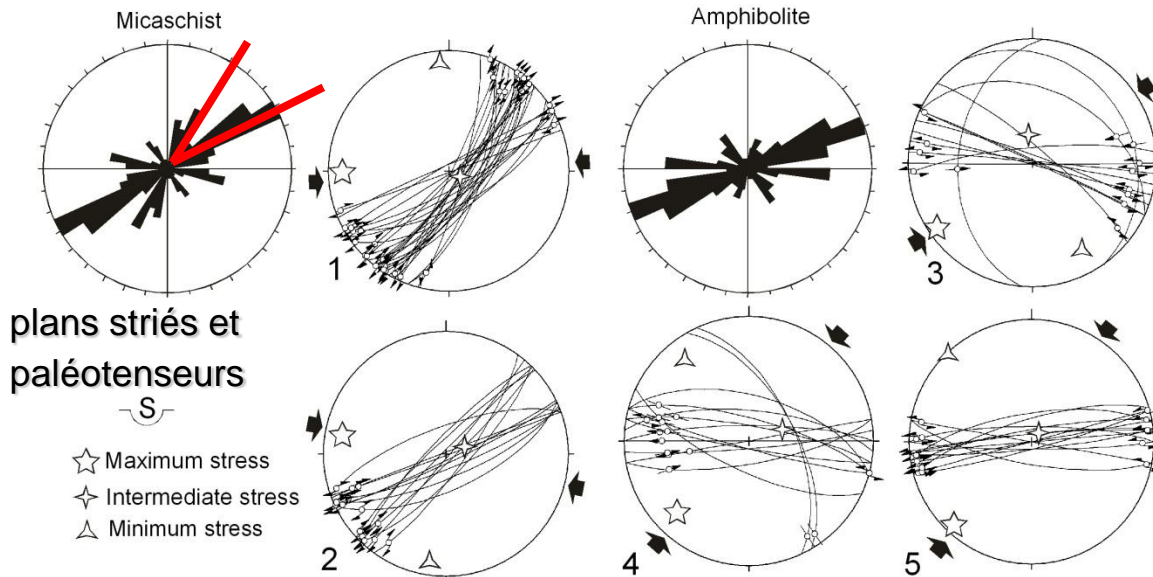
Etude structurale

➔ fracturation N60-70 dominante régionalement

Niche d'arrachement sommitale se fait suivant 2 directions préférentielles : **N60 et N20 à 30**



contrôle de l'héritage tectonique sur la déstabilisation du versant...



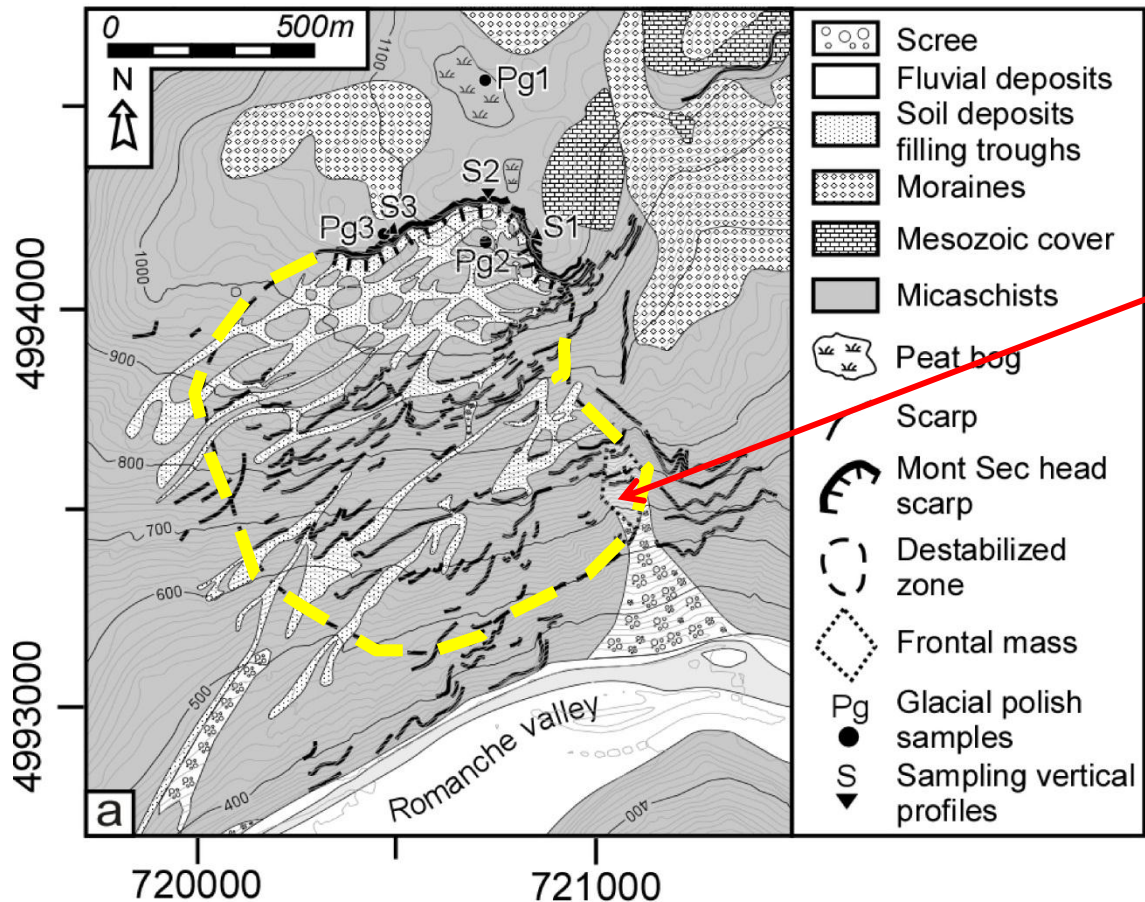
escarpement sommital



orthophoto IGN



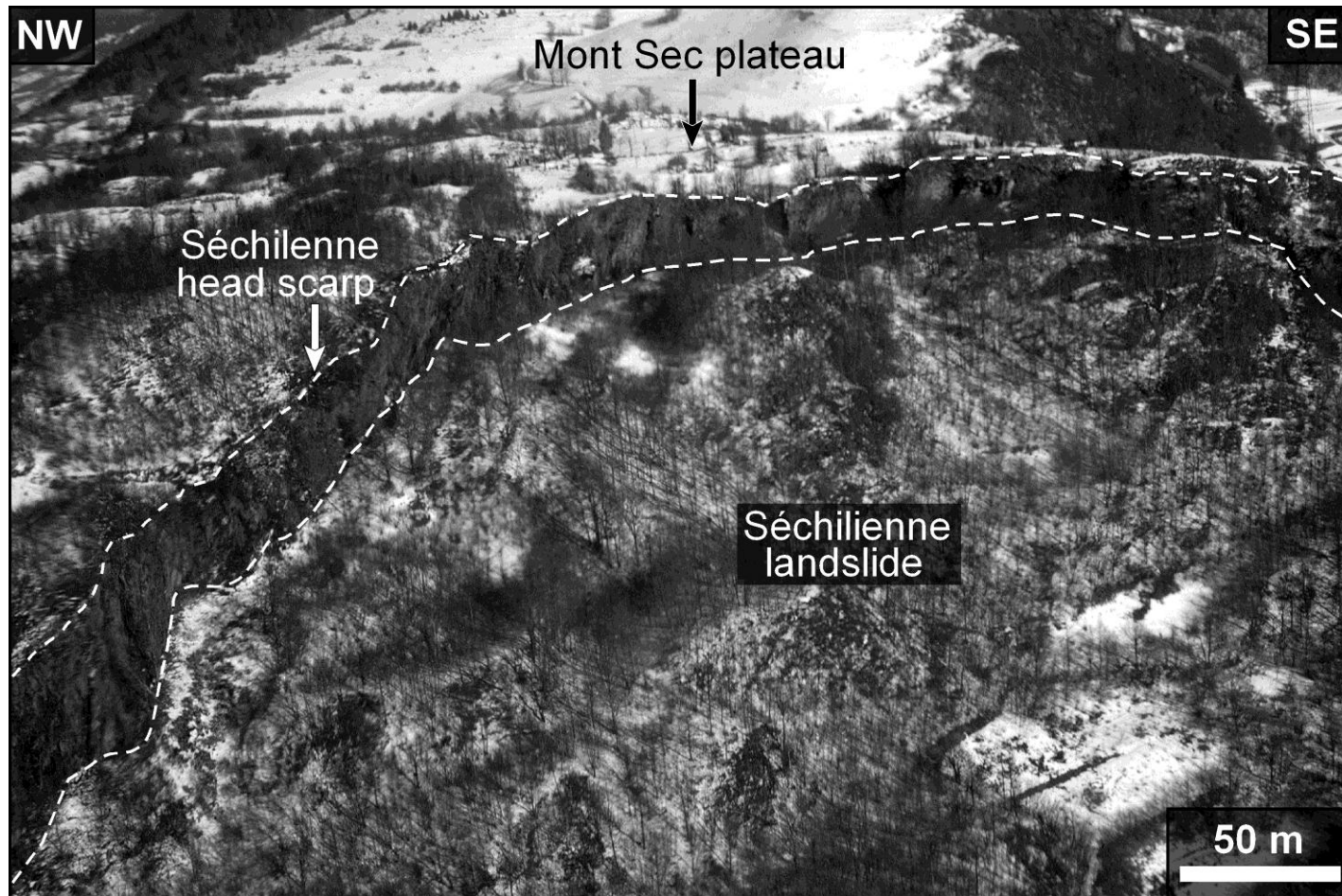
zone active



Zone active

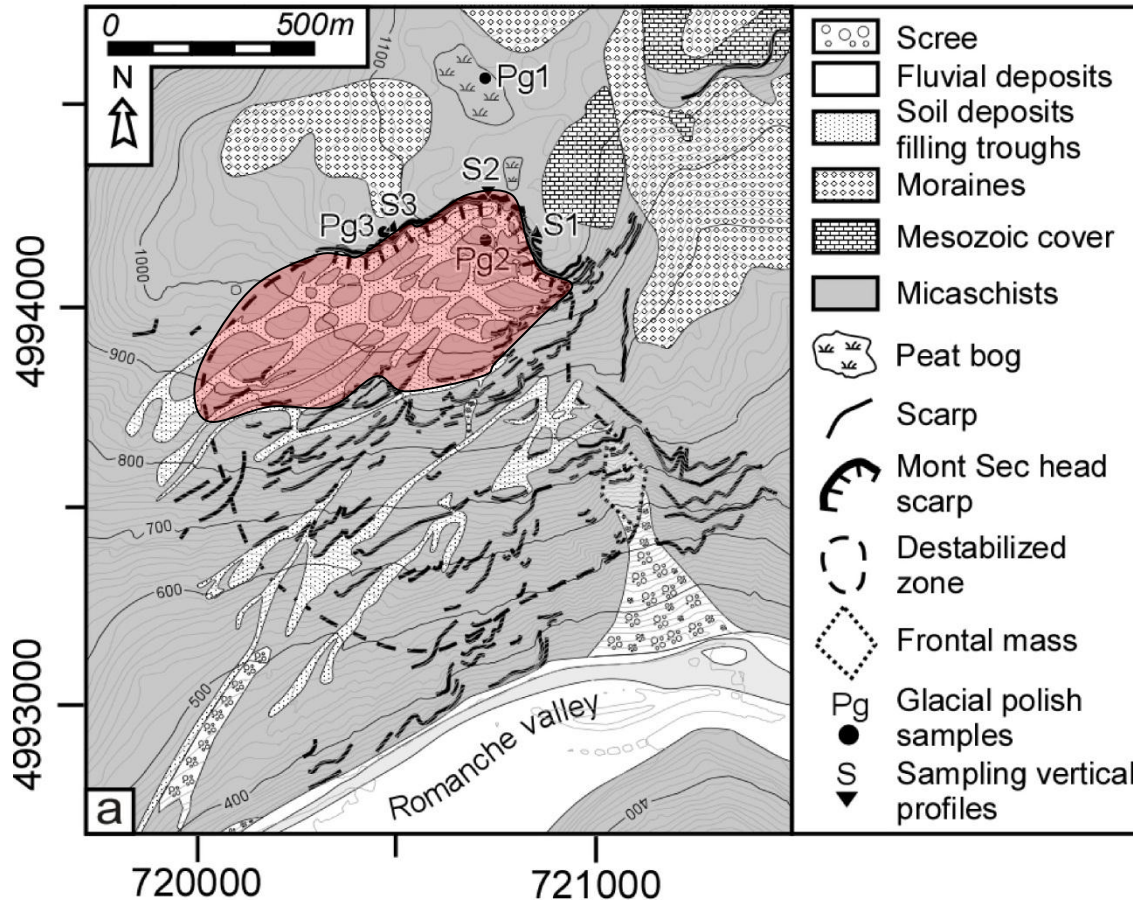
Morphologie générale

La zone active fait partie d'un ensemble instable dont le volume est estimé à plus de **50 millions de m³** (déplacement : **2 à 15 cm/an**).



* Limite amont :

Escarpement de + de 40 m de haut, sur > 900 m de long.

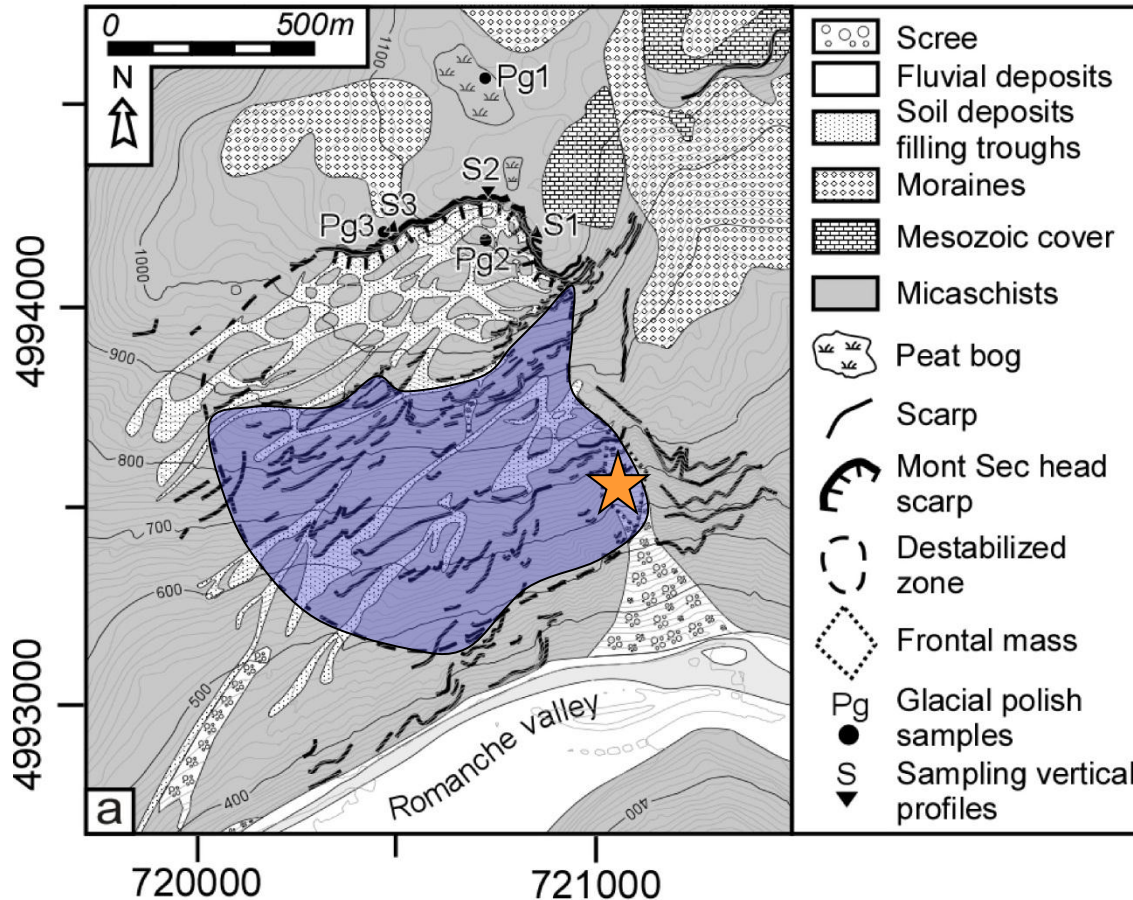


* Limite amont :

Escarpement de + de 40 m de haut, sur > 900 m de long.

A la base de l'escarpement, une **zone tassée** (crevasses et blocs)

→ Entre 1100 m et 950 m de dénivelé.



* Zone intermédiaire :

« **Zone bombée** » avec accumulation de matière et forte pente
→ entre 950 m et 450 m.

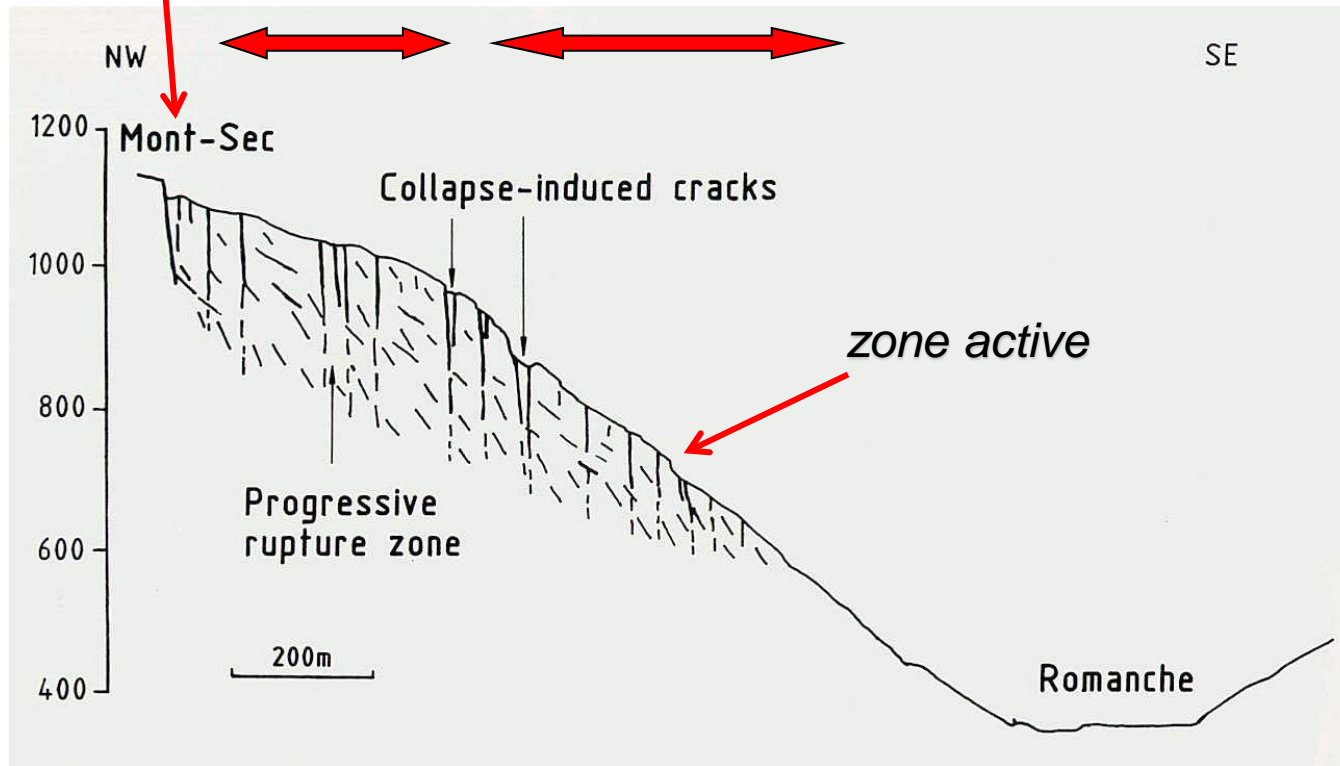
Où la pente est la plus forte, la zone est très **active** (3 millions de m³, déplacements d'environ **1 m/an**).

Dispositif général en coupe

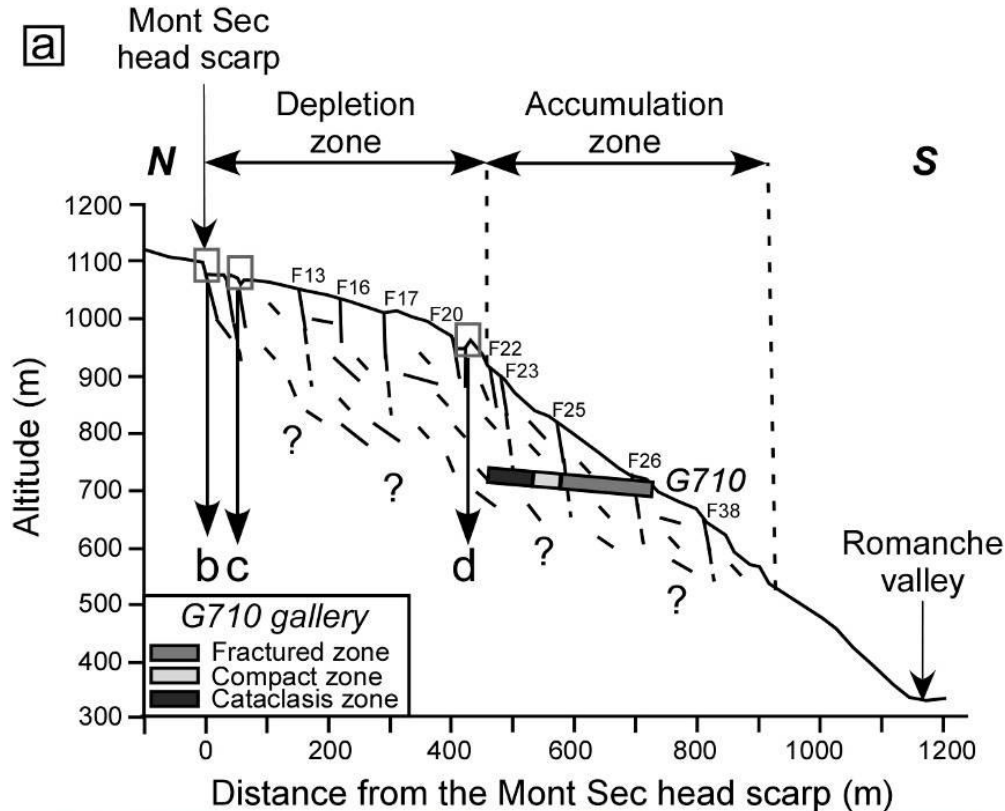
escarpement

tassement

zone bombée



Dispositif général en coupe

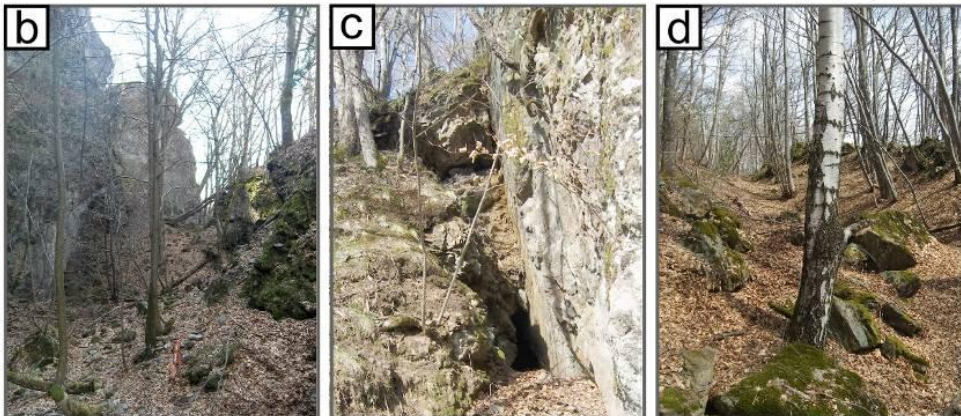


En **surface** la zone déstabilisée est très fortement déstructurée...

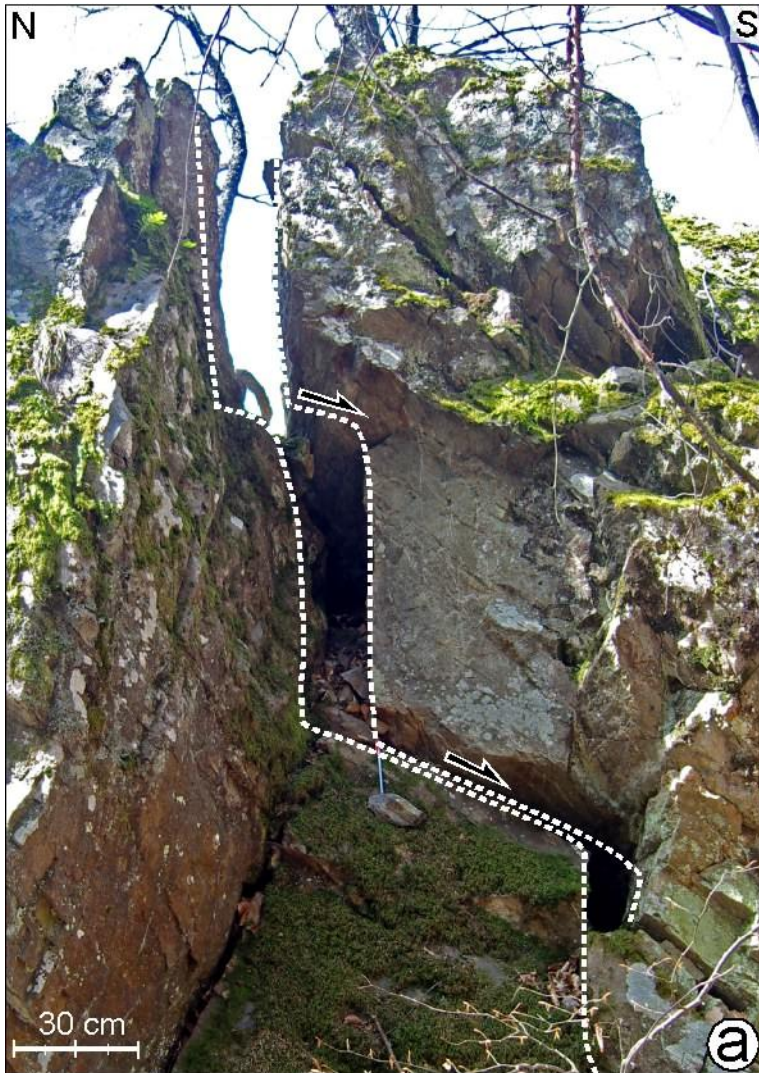
- tassements
- structures en V
- sillons

En **profondeur** galerie de reconnaissance

→ fracturation très hétérogène délimitant des zones compactes

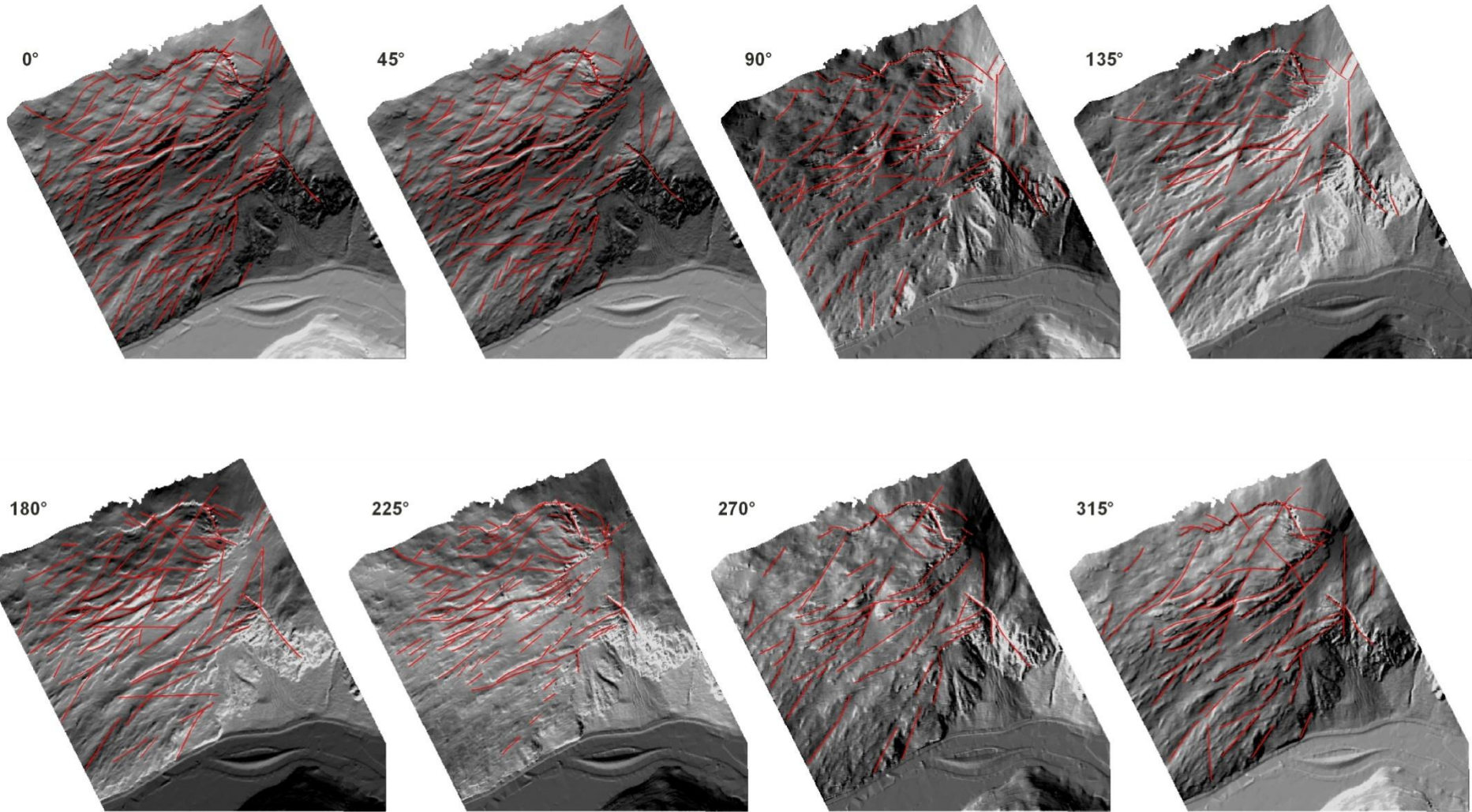


Observation d'une fracturation importante parallèle à la pente...



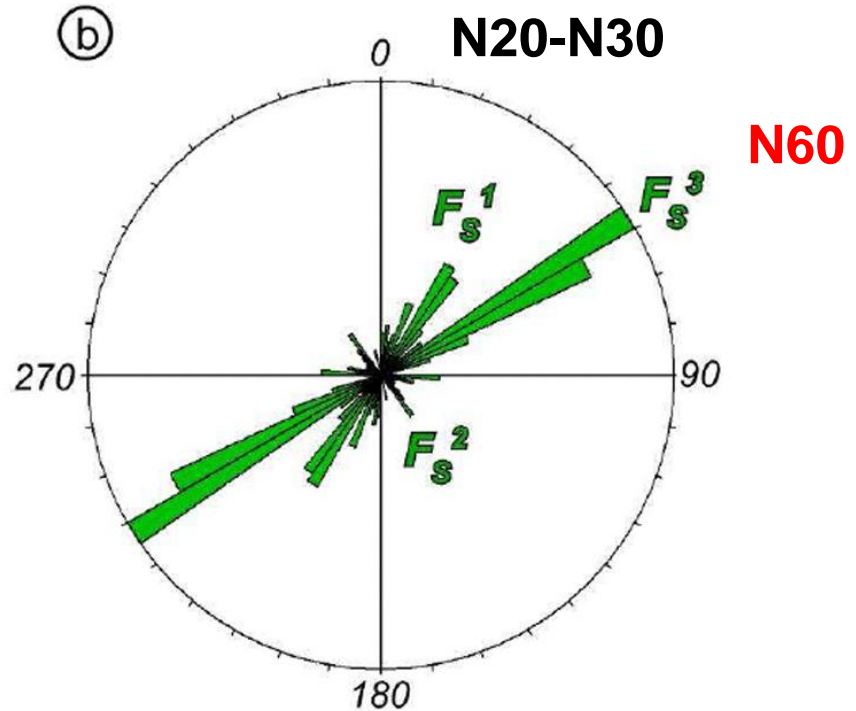
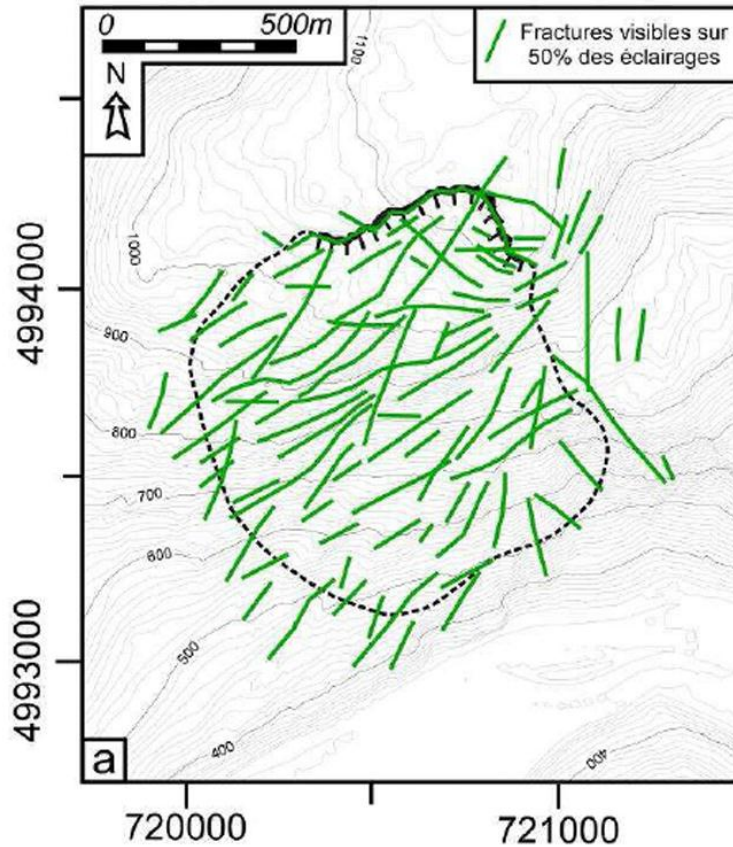
Origine?

-rebond glaciaire, pergélisol, activité du mouvement...



→ Analyse des linéaments en fonction de l'éclairage....
traitement statistique afin d'obtenir une carte structurale.

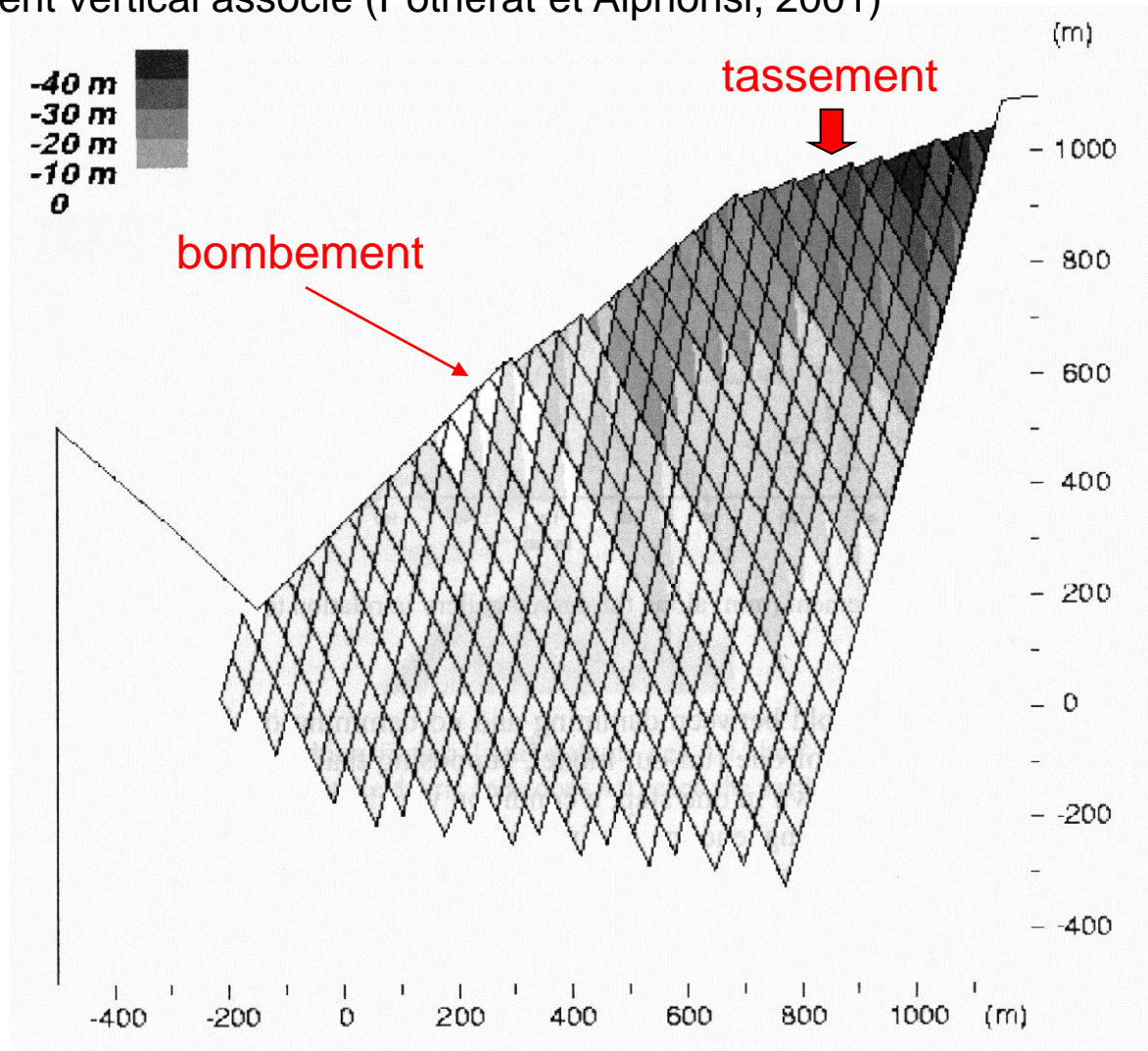
Carte structurale



→ Massif découpé par **deux grandes familles de structures** :
(i) Failles N60 (dominantes) et (ii) failles N20 à N30

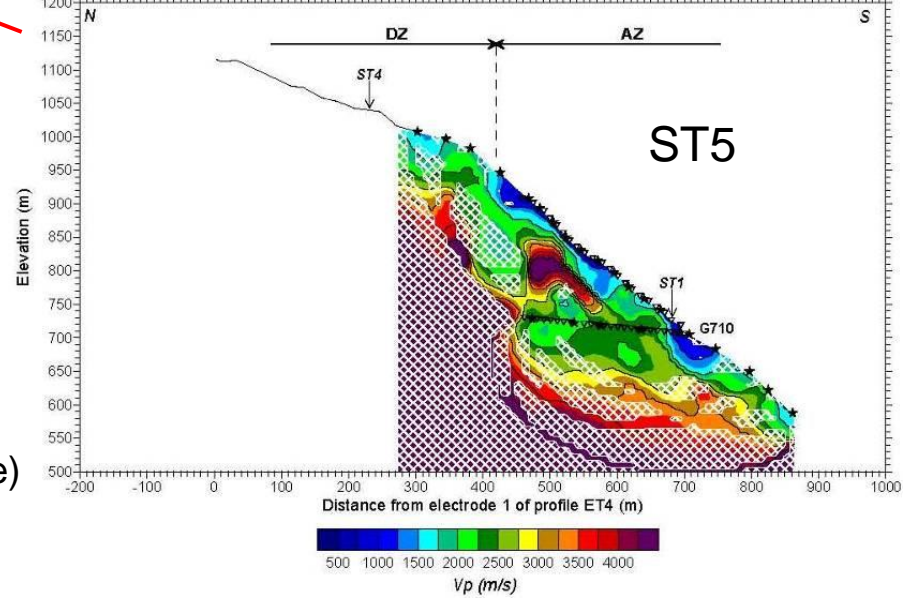
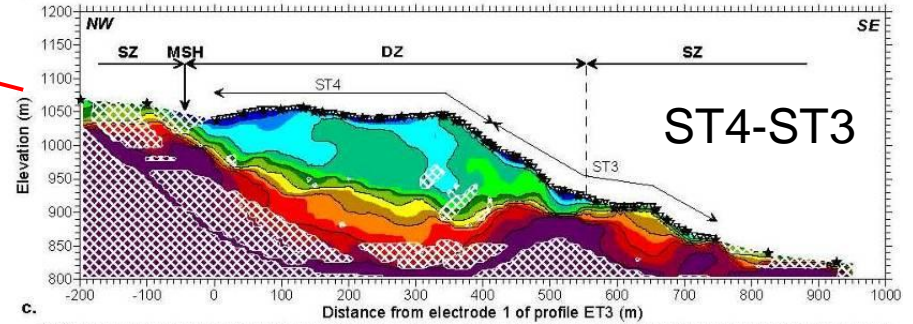
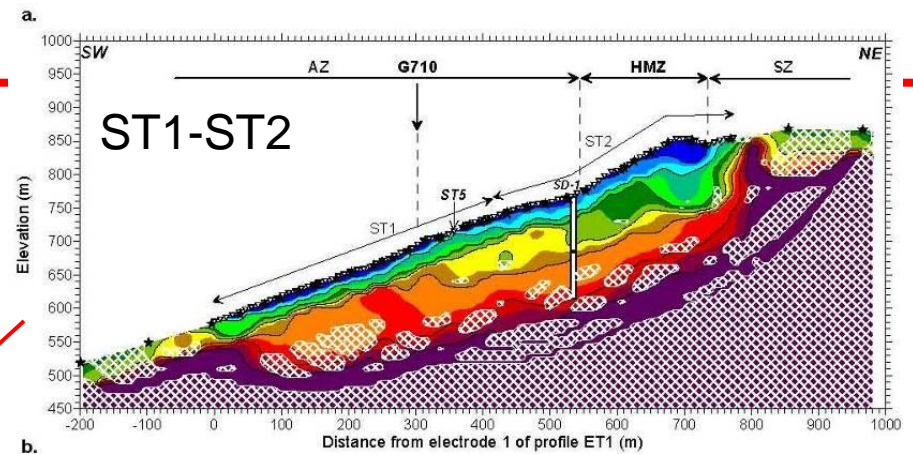
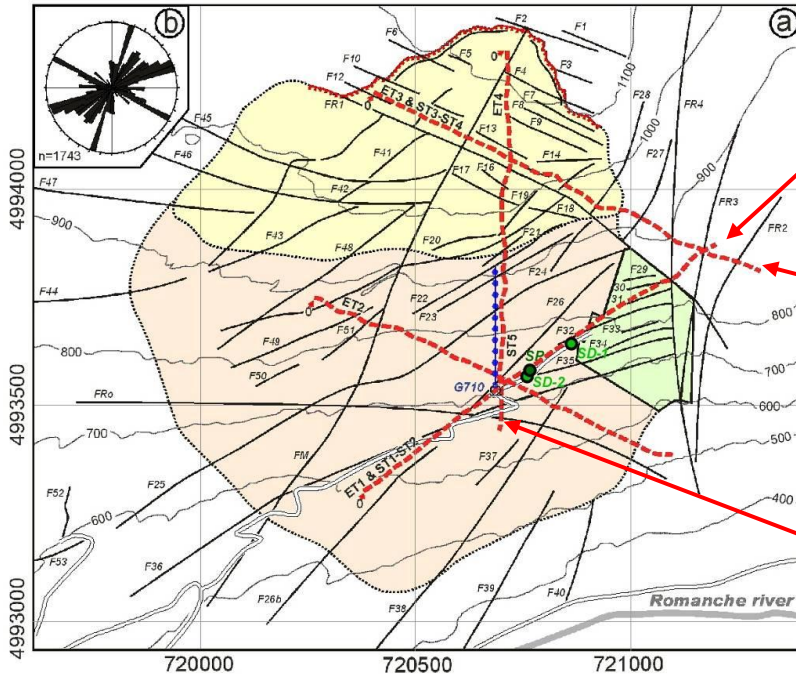
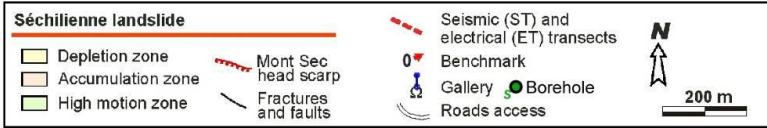
→ Identique à la fracturation régionale... (rôle de l'héritage tectonique)

Modélisation 2D par éléments finis du versant et déplacement vertical associé (Pothérat et Alphonssi, 2001)



Modèle simplifié du massif faisant intervenir 2 familles de structures N20 et N60... permettant de produire un tassement et un bombement

1-Sismique réfraction

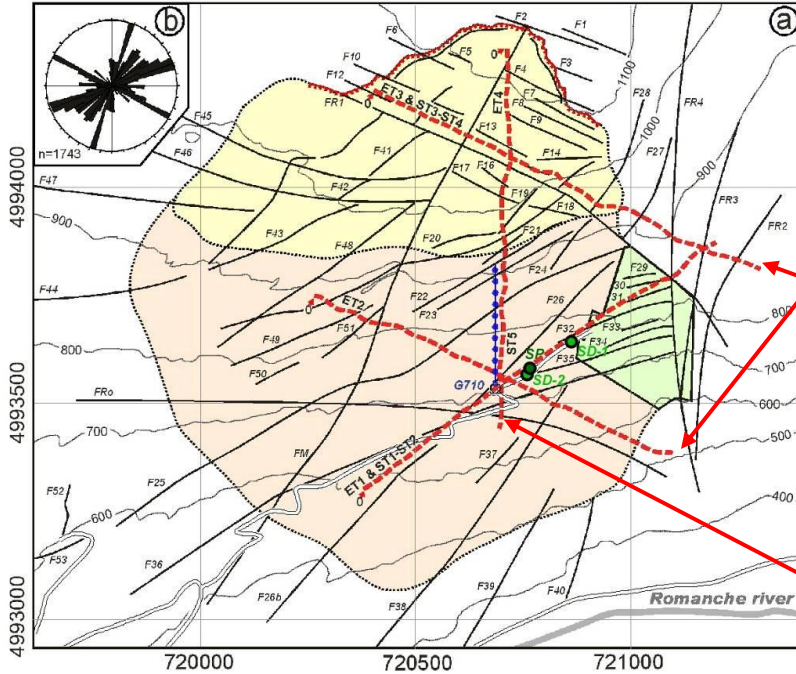
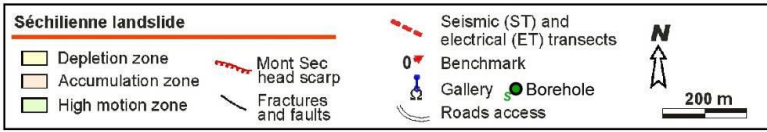


→ zones déstructurées possèdent des V_p faibles **<2500m/s**

→ zones à V_p **>3500m/s** correspondent à des micaschistes sains

→ profondeurs de déstructurations +/- importantes de **30m** (zone en accumulation) à **150m** (zone tassée)

2-Profiles électriques

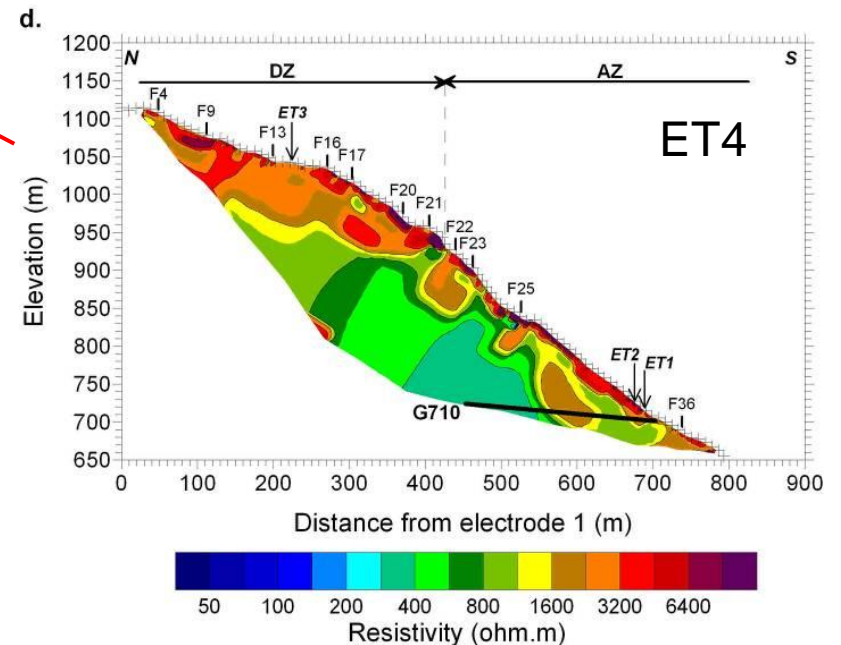
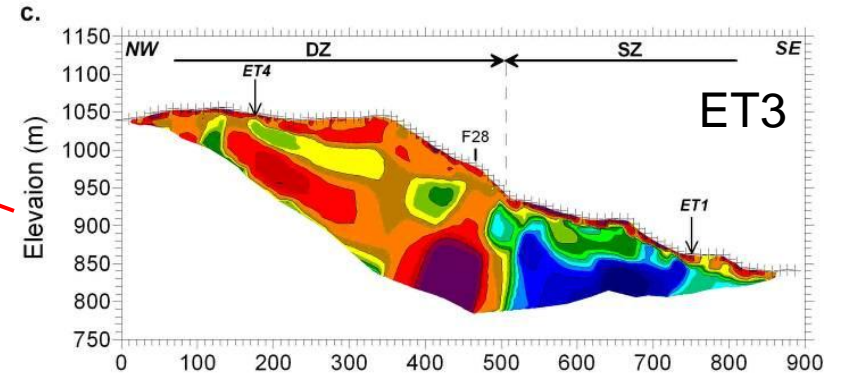
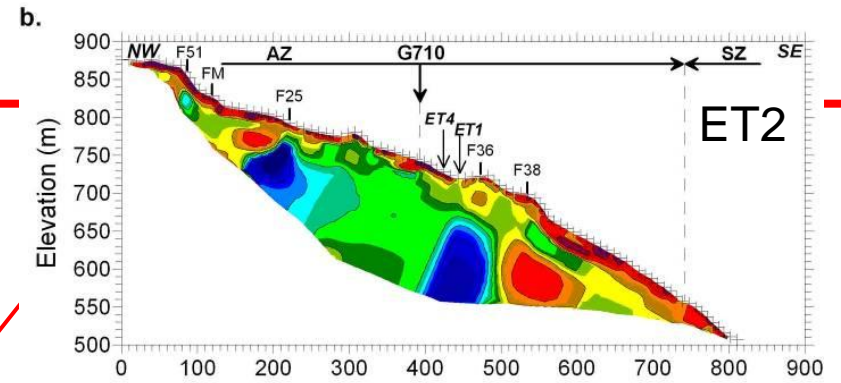


- zones stables résistivités faibles (100-400 ohm.m)
typiques de mesures de micaschistes sains
- zones fracturées (400 et 1600 ohm.m)
- zones destabilisées résistivités fortes (>1600 ohm.m)
zone en déplétion et zone active (150m d'épaisseur)

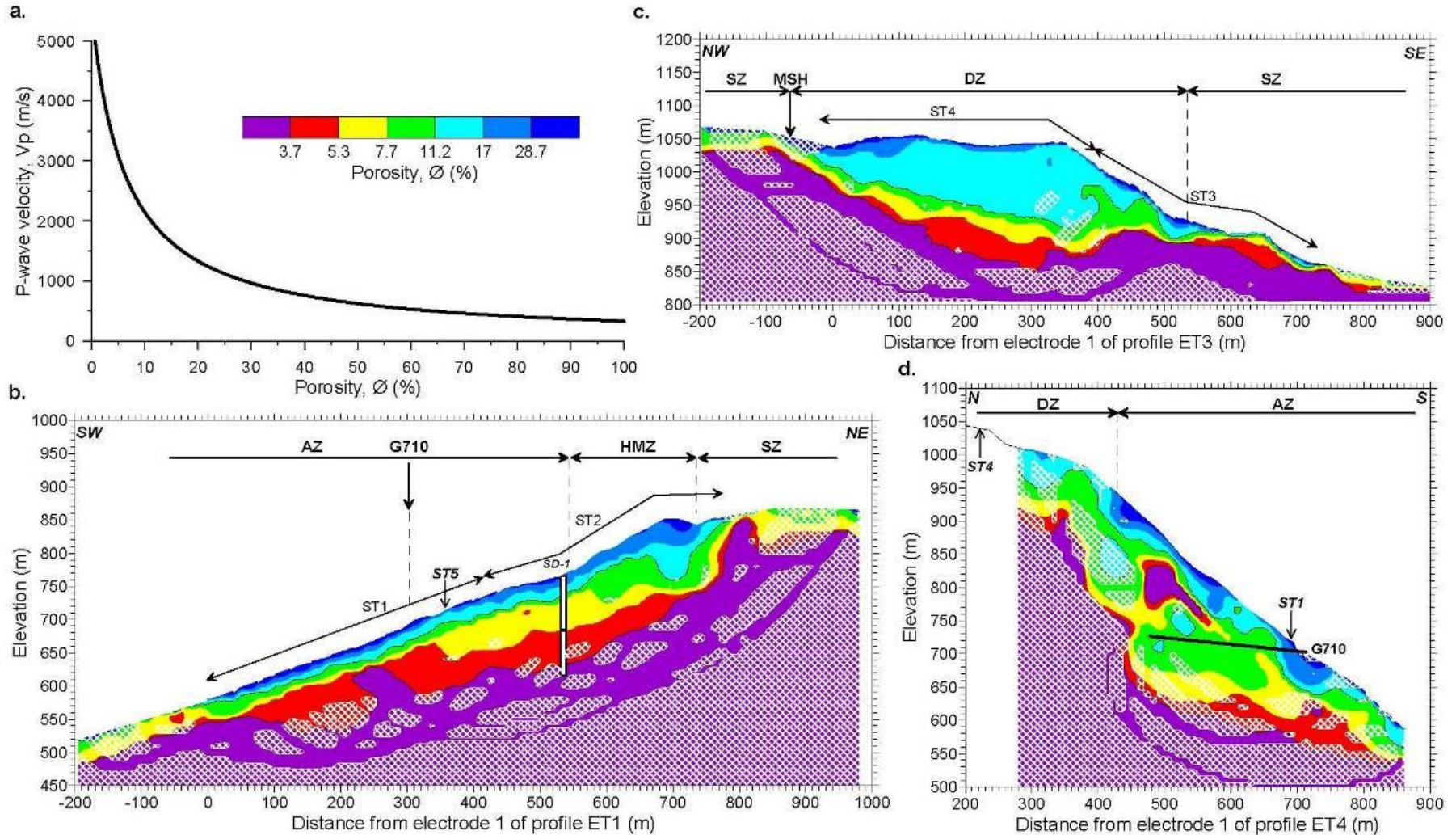
La déstabilisation se traduit par:

$V_p < 2500 \text{ m/s}$ et résistivités $> 1600 \text{ ohm.m}$

→ création de vide (augmentation de porosité)



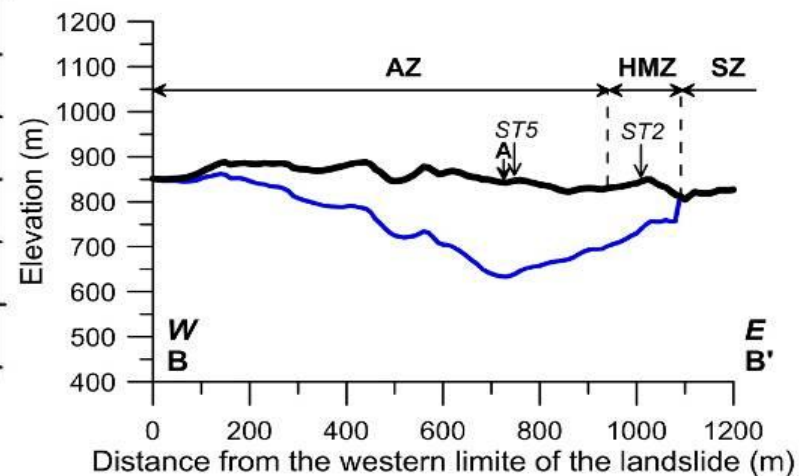
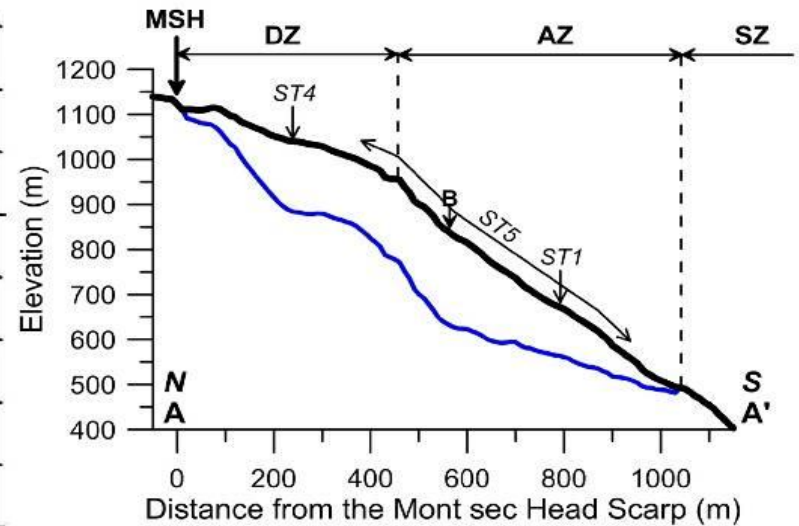
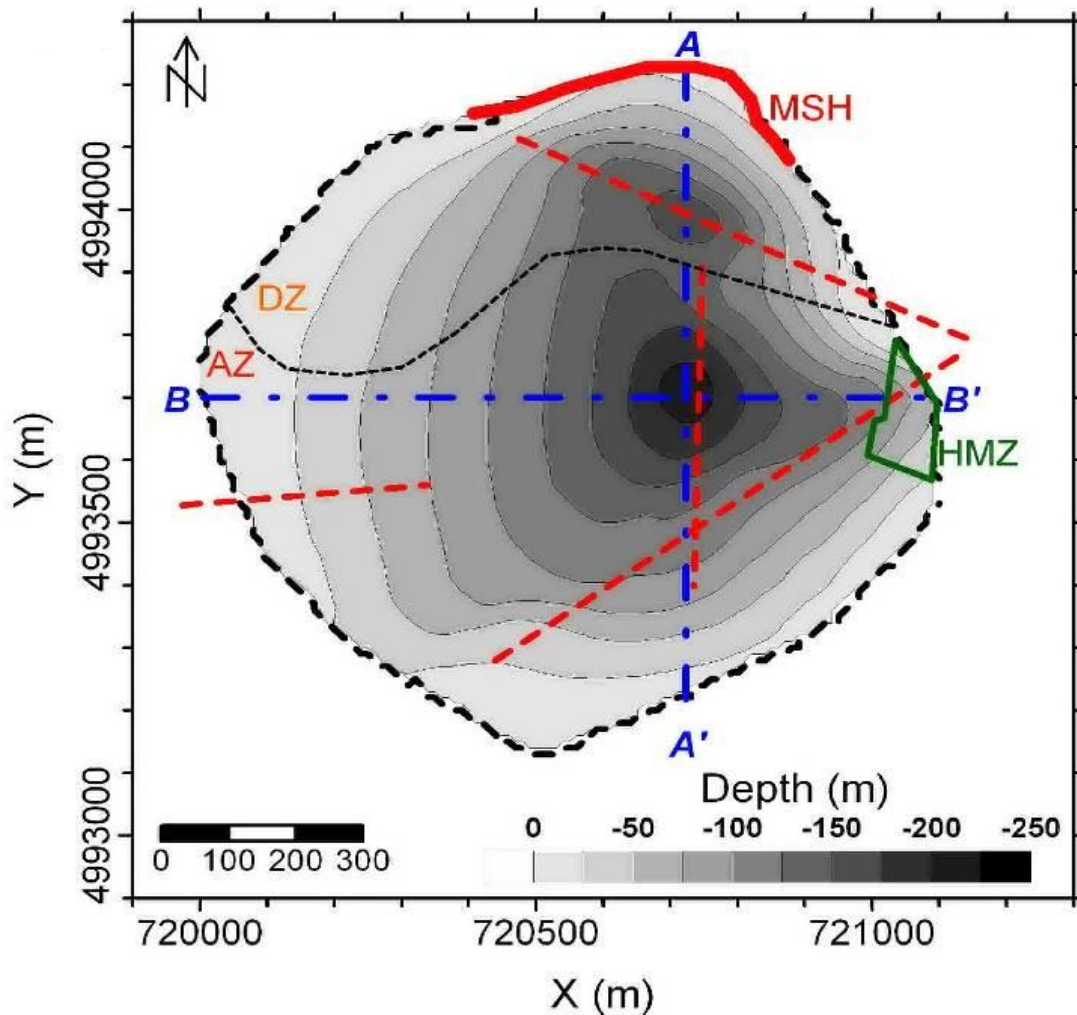
3-Estimation de la porosité (résultats)



Micaschistes « sains » $V_p > 3500 \text{ m/s} \rightarrow$ porosité $< 3.7\%$

L'activité du mouvement se traduit par une augmentation de la porosité pouvant atteindre **30%** dans la zone tassée et zone frontale!!

4-Estimation du volume instable



porosité > 3.7% correspondant à la limite du volume instable

Interpolation profils et topographie de surface → **Volume de $60 \cdot 10^6 \text{ m}^3$**

Auscultation des mouvements du site (CETE Lyon)

- extensomètres (33)
- GPS
- radar, théodolite (54 cibles)
- relevé Lidar (zone active)



© Photothèque IRMa / Sébastien Gominet

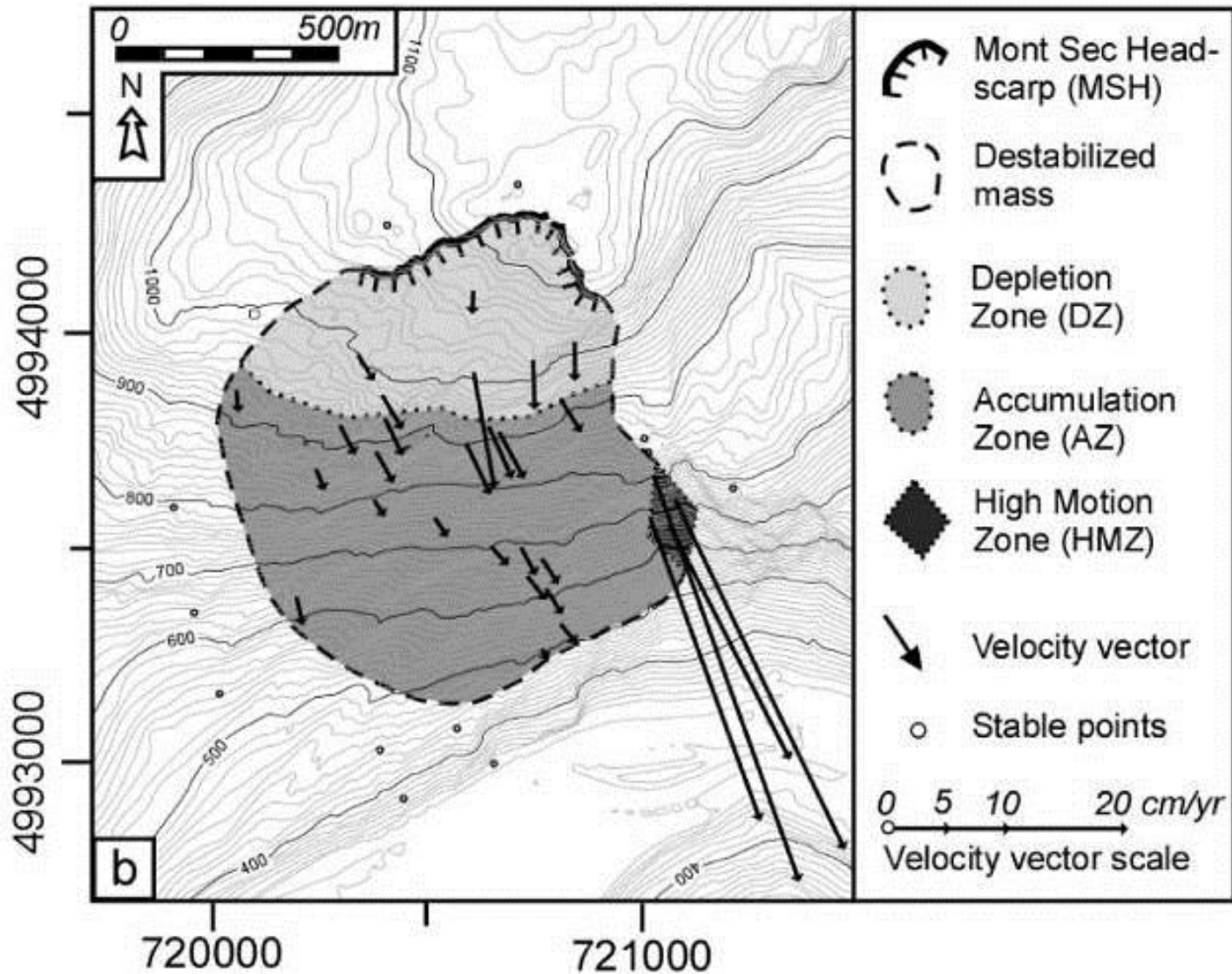


© Photothèque IRMa / Sébastien Gominet



© Photothèque IRMa / Sébastien Gominet

I. Instabilités de versant - Séchilienne

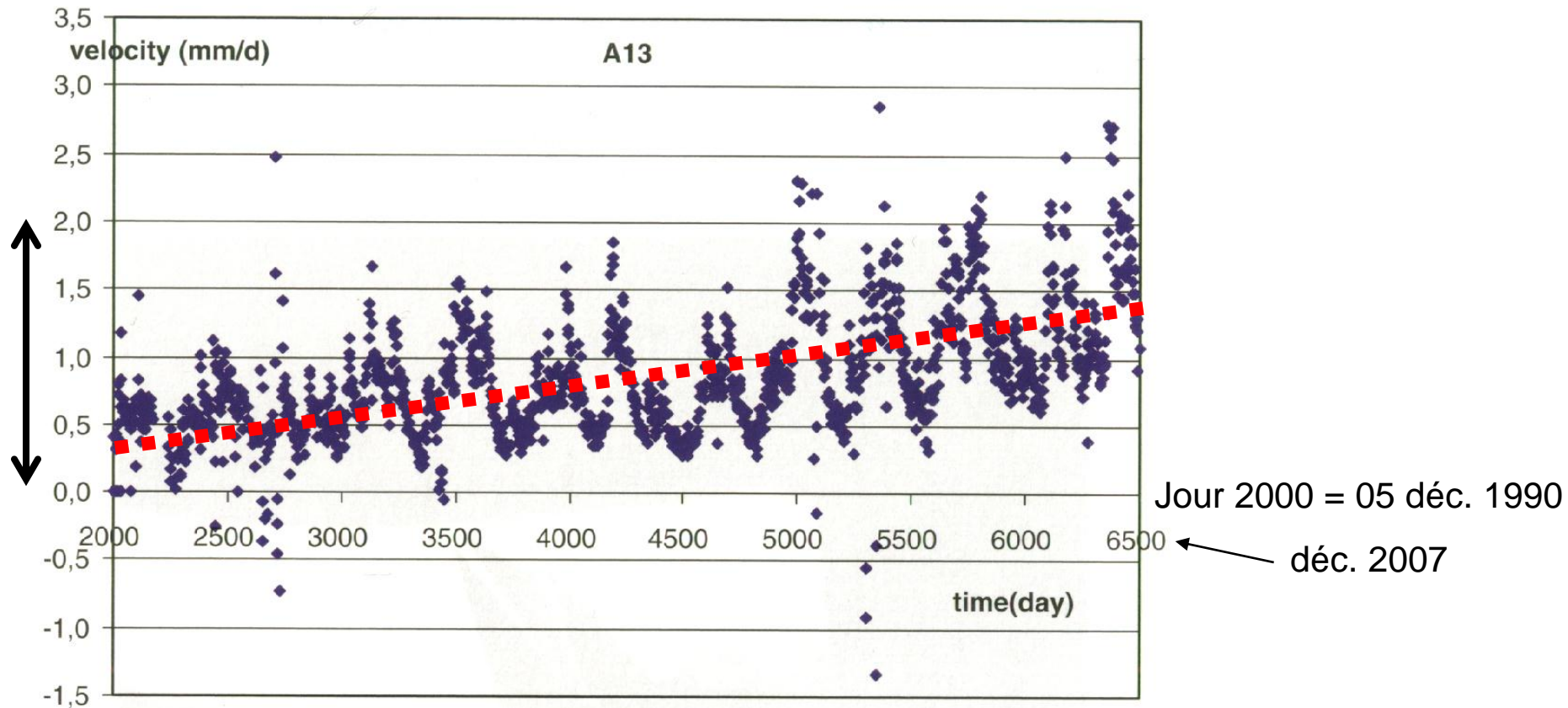


Carte cinématique (radar, GPS) :

→ l'ensemble de la masse ($60 \cdot 10^6 \text{ m}^3$) bouge de 2 à 10 cm/an voire +sieurs m pour la zone frontale direction N-S zone tassée et NW-SE zone bombée et frontale

Auscultation des mouvements du site (CETE Lyon)

Extensomètre sur une fissure de la partie active (A13)

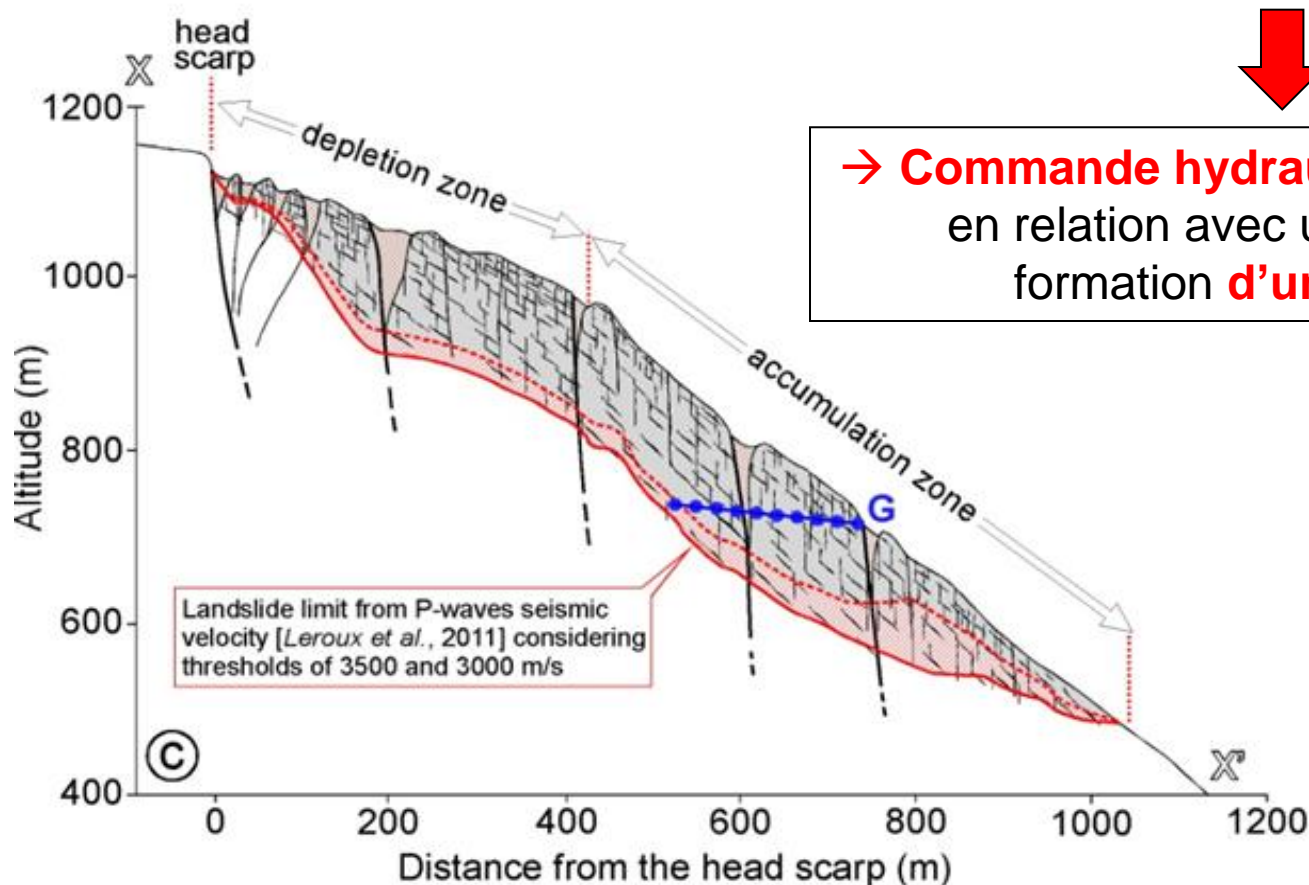


- Déplacement de **plusieurs mm/jour**
- **Cycles annuels saisonniers** de déplacement **associés à la pluviométrie**
Pluies importantes (hiver et printemps) → vitesse augmente
- **Accélération du phénomène** : vers un point de rupture ? ... (Volume ? Quand ?)

Modèle hydrogéologique du mouvement de Séchilienne (Vengeon, 1998)

- Ce modèle doit prendre en compte :

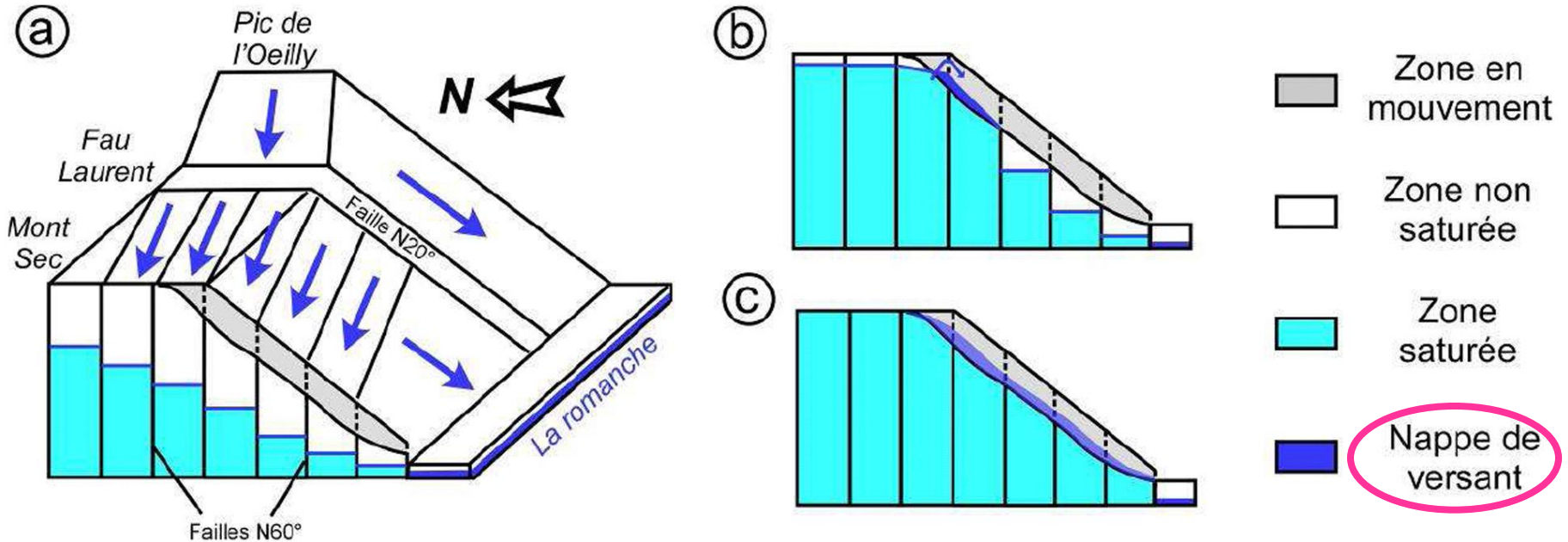
- 1 - structuration générale du versant avec la présence de 2 familles de structures N20 et N60 et structures parallèles à la pente
- 2 - corrélation entre les déplacements et la pluviométrie



→ **Commande hydraulique** du mouvement, en relation avec un **aquifère fissuré** et formation **d'une nappe de versant.**

I. Instabilités de versant - Séchilienne

Modèle hydrogéologique du mouvement de Séchilienne (Vengeon, 1998)



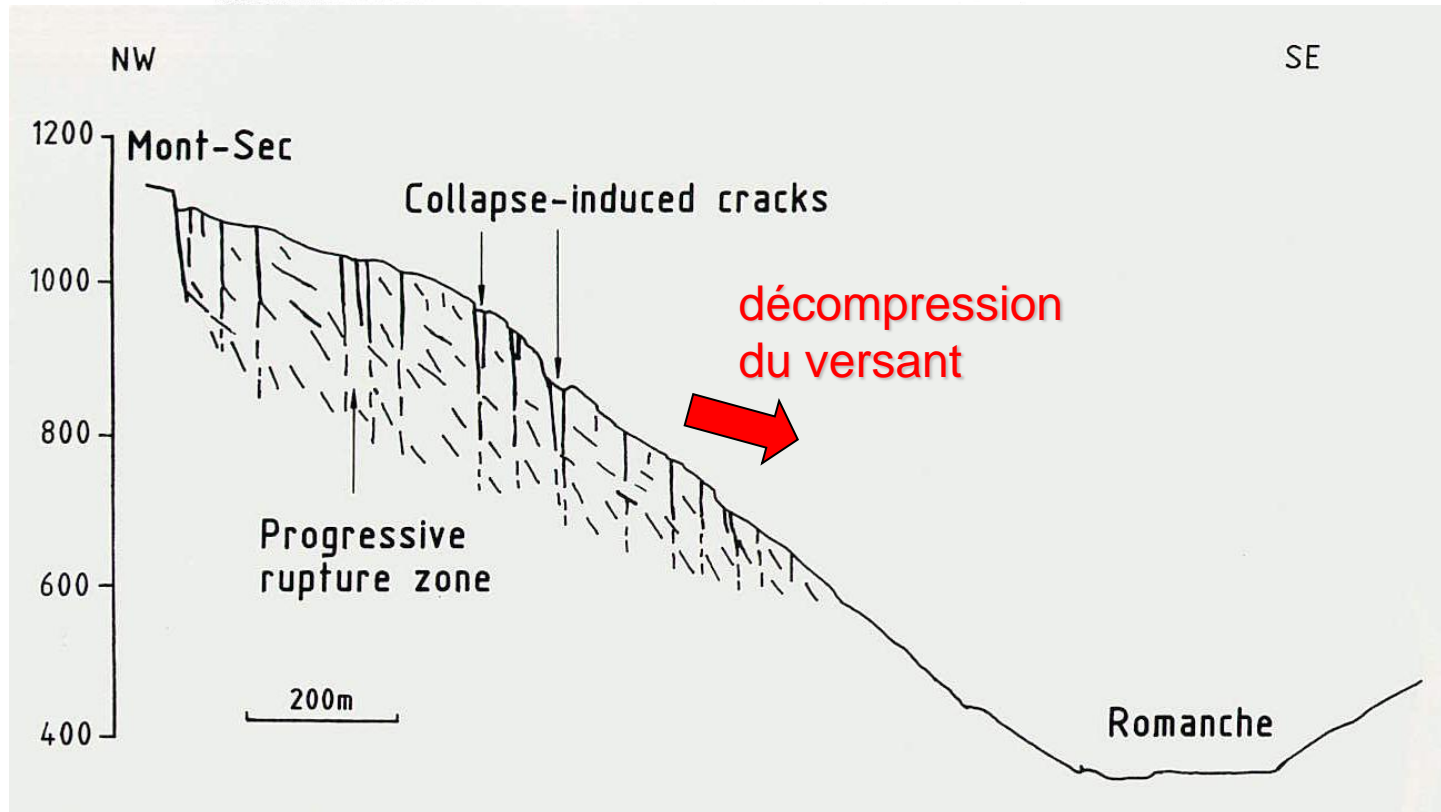
(c) : Période humide prolongée : la surverse s'est généralisée dans le versant qui prend temporairement la forme d'une nappe de versant.

→ Déstabilisation du versant : glissement à partir des structures parallèles à la pente.

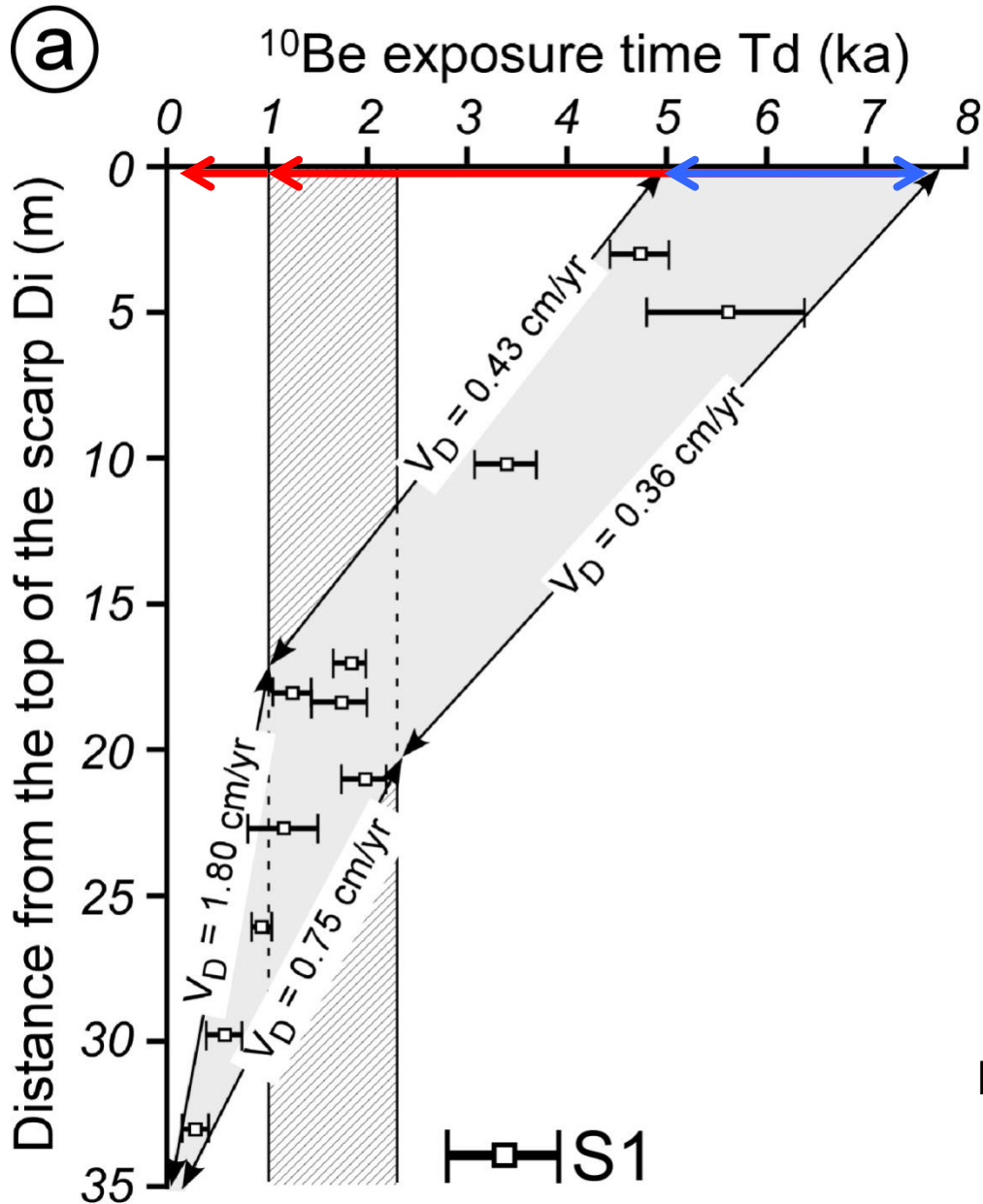
La dynamique **actuelle** du glissement est contrôlée par le régime des précipitations

→ A-t-on un modèle pour l'initiation du mouvement ?

Modèle de déstabilisation proposé → rééquilibrage du versant par décompression après la fonte du glacier de la Romanche au dernier max. glaciaire (Würm)



Pour valider le modèle besoin de contraintes temporelles
→ initiation de l'instabilité
→ relation avec le retrait du glacier



* Initiation du tassement de versant

Entre **5000 et 7800 ans**.

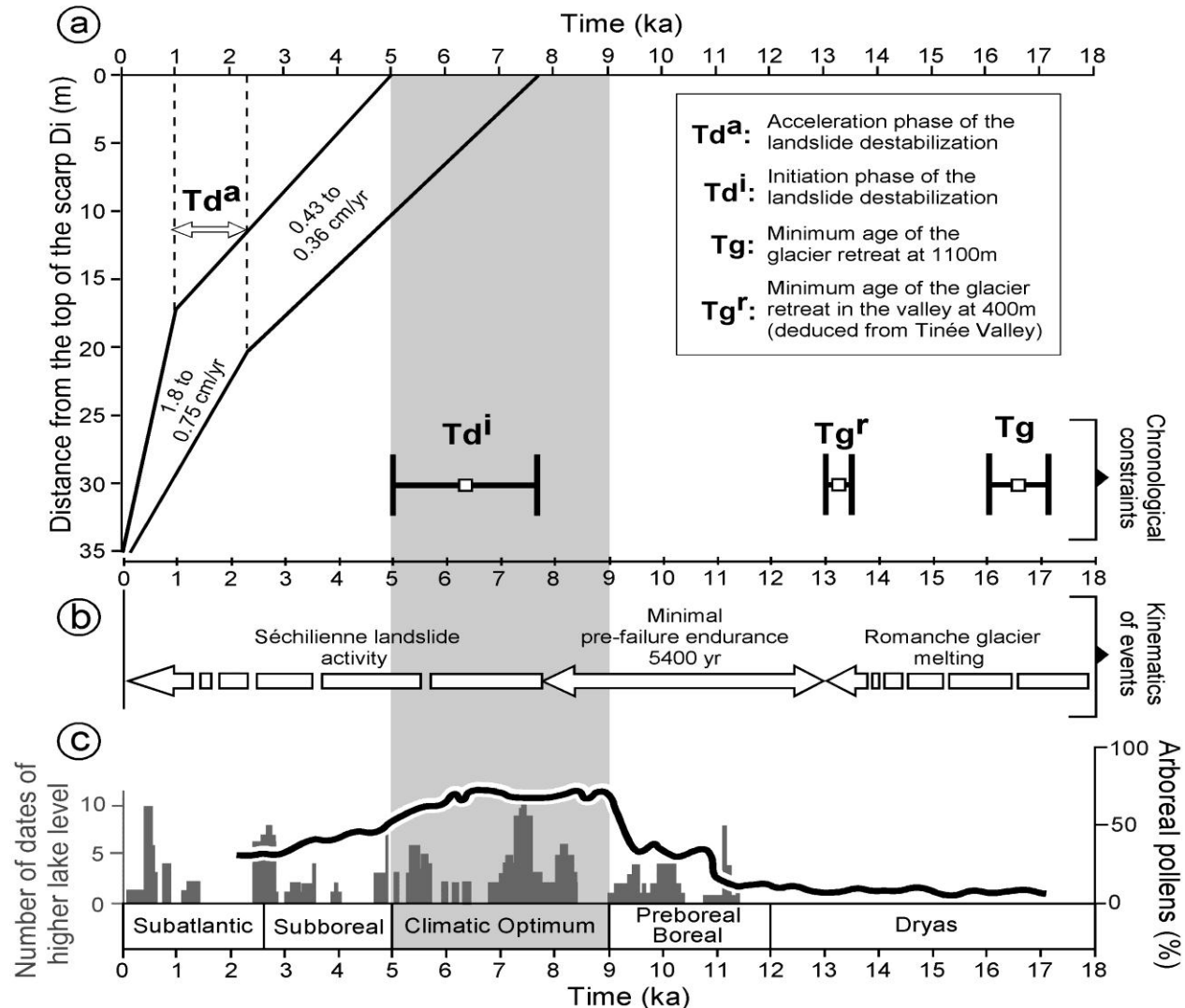
* Déplacement vertical

~ 4 mm/an jusqu'à 1000 ans

Puis accélération du phénomène :
~ 18 mm/an.

similaires aux vitesses mesurées par auscultation

Relation avec le retrait glaciaire???



Initiation entre 7,8 et 5 ka = correspond à l'optimum climatique de l'Holocène

→ T plus chaudes + épisode pluvieux plus important à nos latitudes.

Le régime dynamique du mouvement de terrain est contrôlé par la pluviométrie depuis l'initiation du système ...

Analyse des risques et scénarios possibles

➔ création d'un barrage et d'un lac en amont ...
problème lié à la rupture du barrage.

1,15.10⁶m³

**Versant de Séchillienne
Les Ruines**

Calculs par épandage

MNT en carte des pentes
limites de la zone instable
principale

ligne de départ

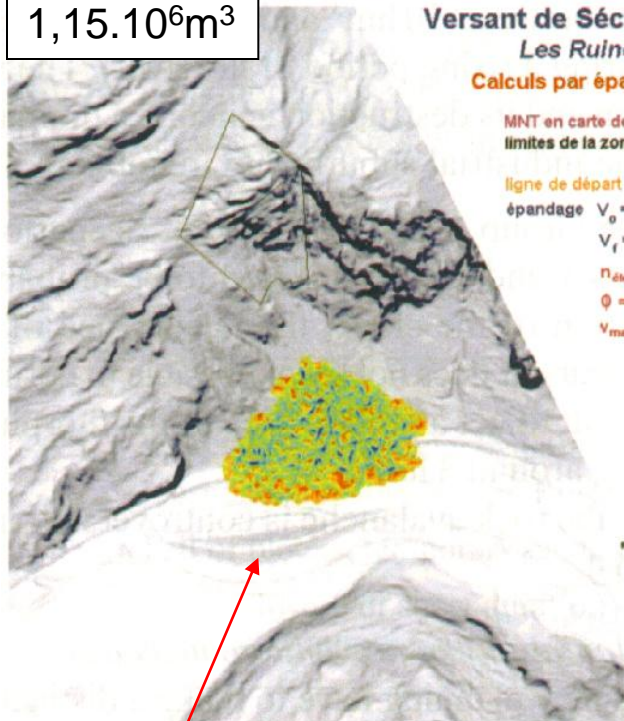
épandage $V_0 = 1,00 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

$V_f = 1,15 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

$\Pi_{\text{altern}} = 1000$

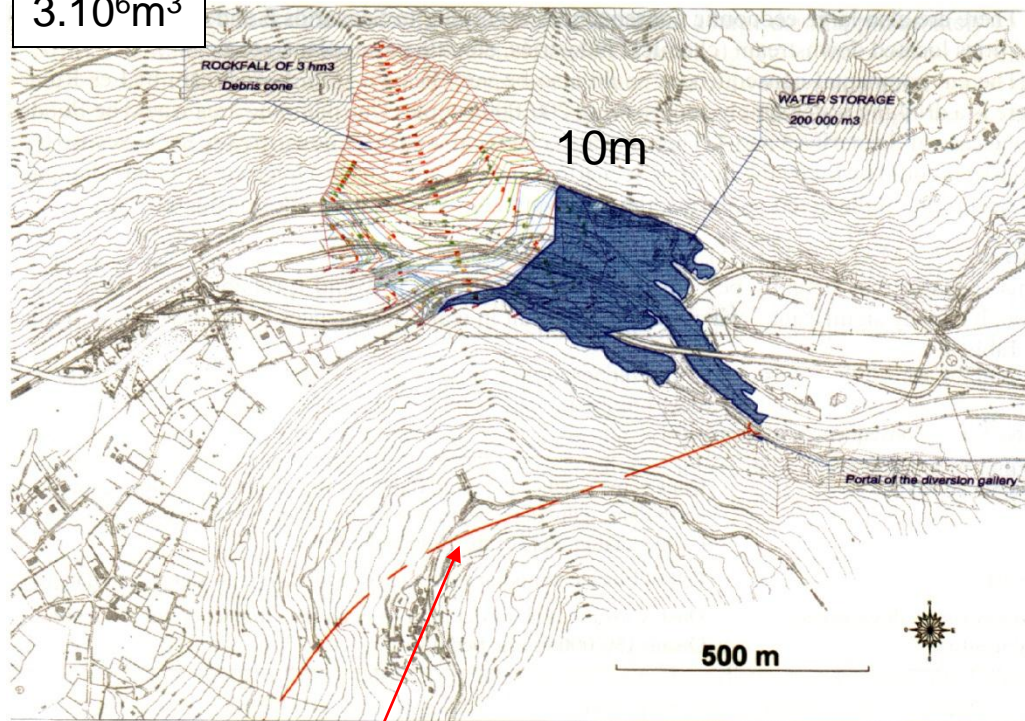
$\phi = 25^\circ$

$v_{\text{max}} = 15 \text{ m/s}$



digue + chenal de dérivation

3.10⁶m³



tunnel de dérivation de la Romanche

Envisageable à court terme de 1 à 10 ans

Ensemble du versant > 50.10⁶m³ ➔ envisageable à moyen terme de 10 à 50 ans

Plusieurs épisodes d'obstruction
De l'écoulement de la Romanche

Dernier enregistré, 1191
(Moyen Age) :

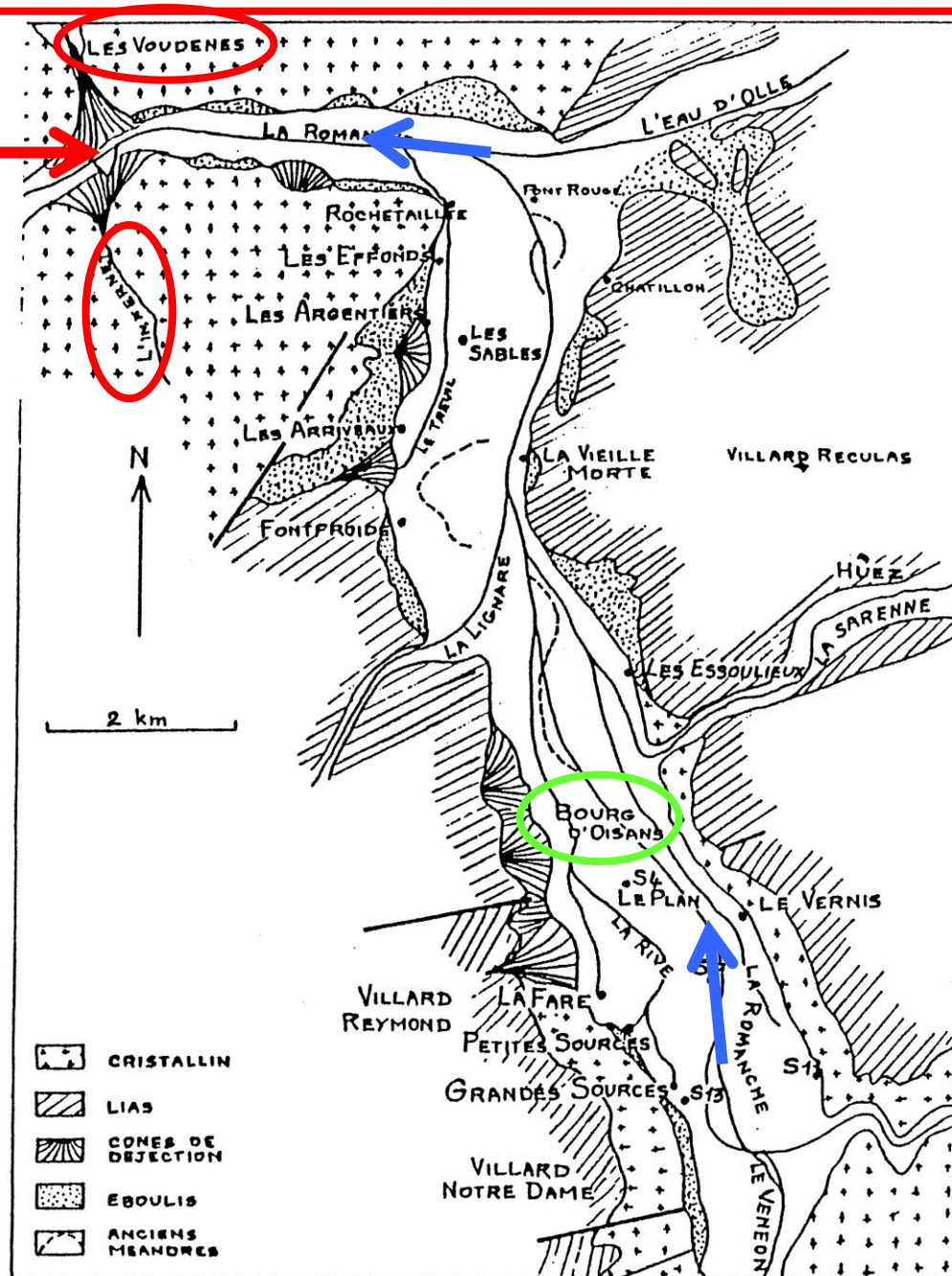
Cônes de déjection dans la
vallée escarpée de la Romanche
des torrents des **Voudaines** et de
l'Infernet.

Les deux cônes de déjection se sont
intriqués avec des **éléments fins à
leur base (faible perméabilité)**.

→ Création d'un **barrage**

→ Création du **lac de St Laurent**

... autour duquel une société de
pêcheurs se développe.



Une issue dramatique ...

Le lac **brise le barrage** le 14 Septembre 1219 (~ **30 ans après sa création**).

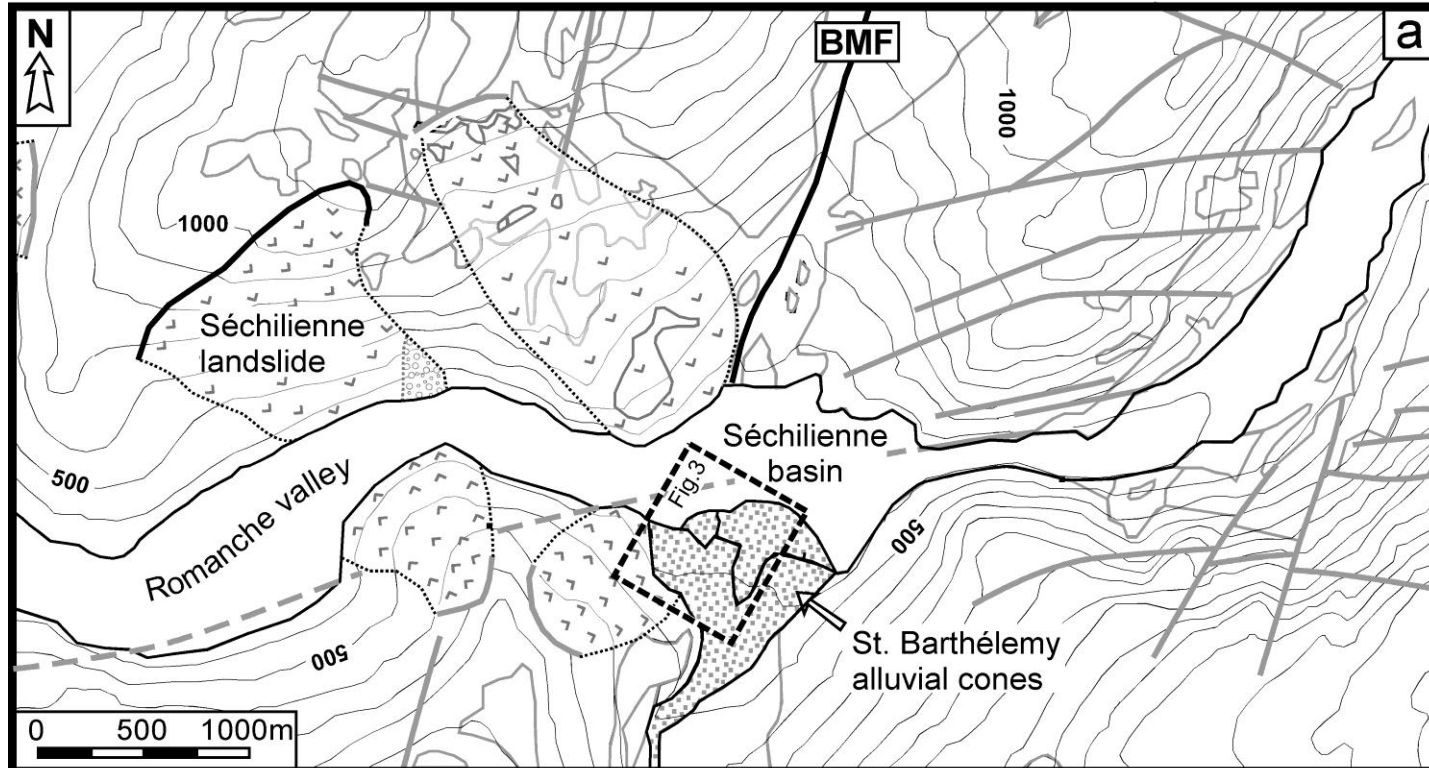
Une vague déferle en 40 mn sur Grenoble, à une période de foire.

→ ~ **30 000 morts** (énorme population, à l'époque du Moyen Age)

Note : Si ça avait été un cône d'éboulis, avec de gros éléments à la base, ça n'aurait pas pu se produire.

* *Témoin de la crue massive ?*

Troncature de cônes de déjection et de terrasses alluviales antérieures le long de la Romanche ...



VI. Géologie appliquée et instabilités de versant

→ 1. Typologie

→ 2. Protection et stabilisation

→ 3. Versant de Séchilienne

→ 4. Mas d'Avignonet

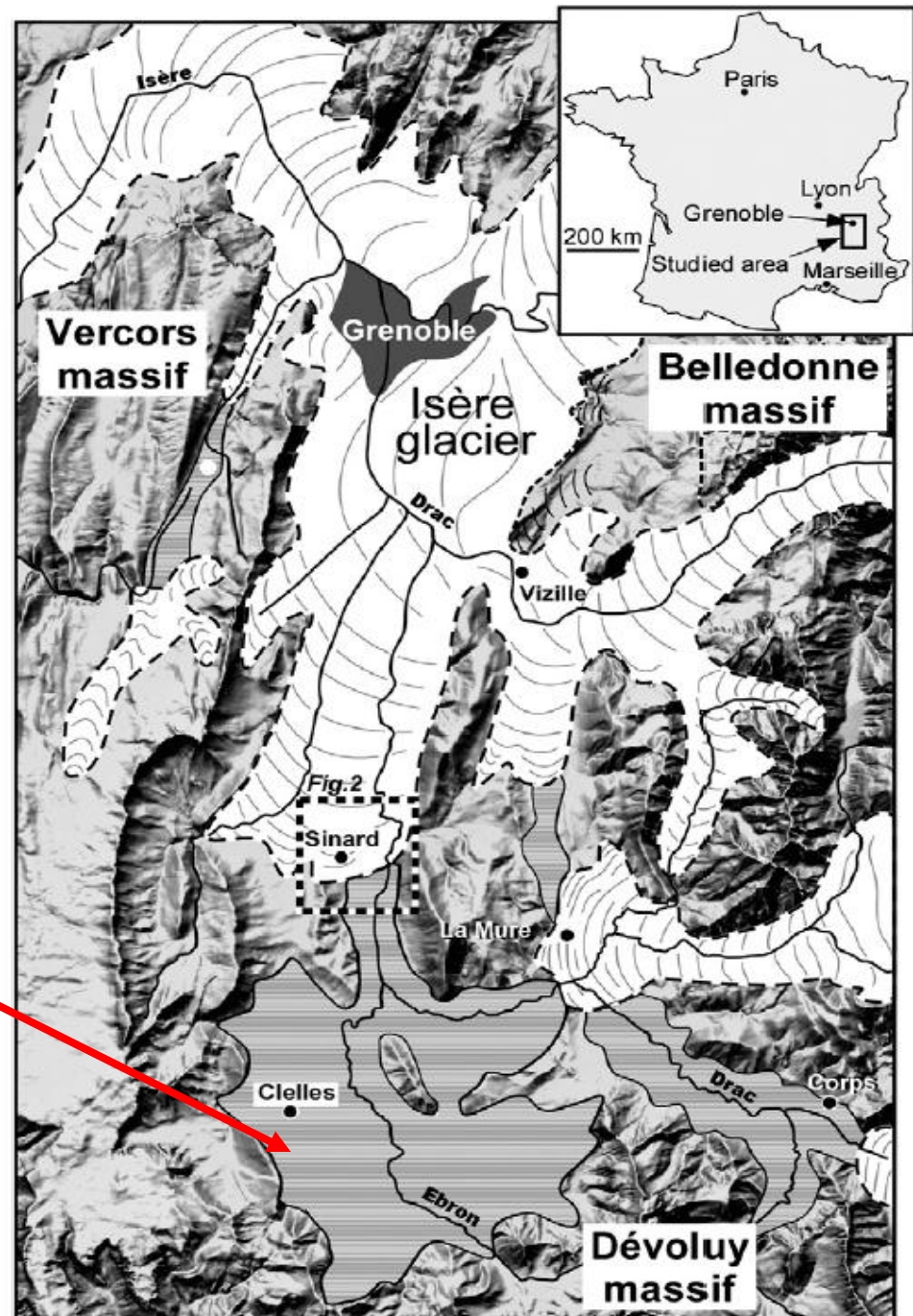
*Argiles litées
du Trièves*

écoulement du Drac
bloqué au nord par le
glacier de l'Isère (Würm -45000ans)

argile sur plus de 300km²
sur des pentes faibles
0 à 200m d'épaisseur
→ zones en mouvement (15%)

limite de liquidité faible
→ faible quantité H₂O
permet de rendre l'argile
liquide

lac du
Trièves

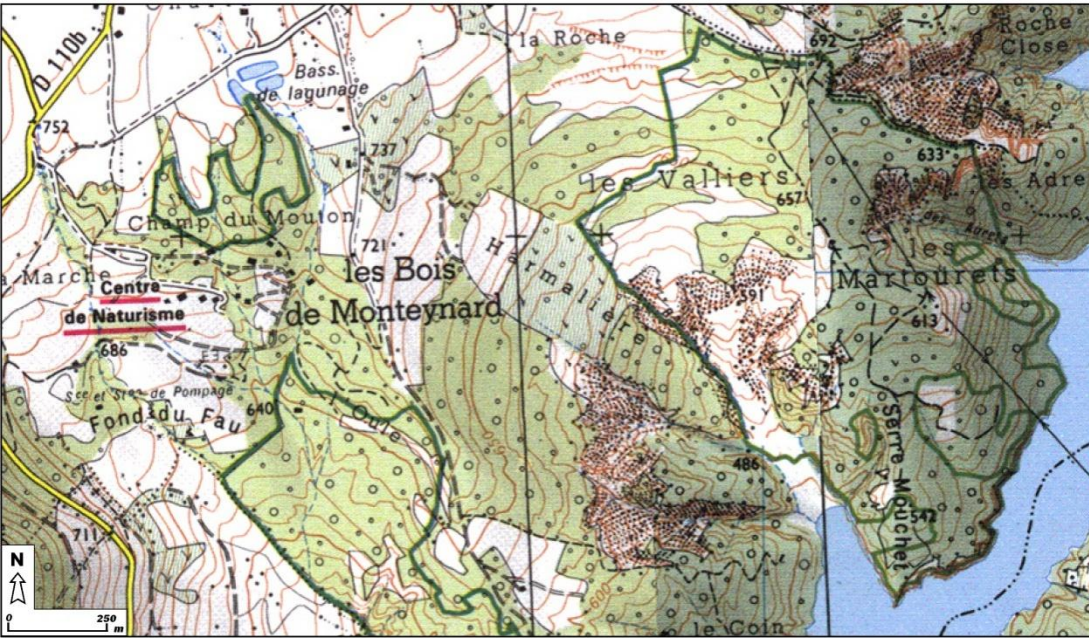


Saint Guillaume → mouvement lent 1 à 2 cm/an



60 m d'argile
surface de glissement au cœur des argiles

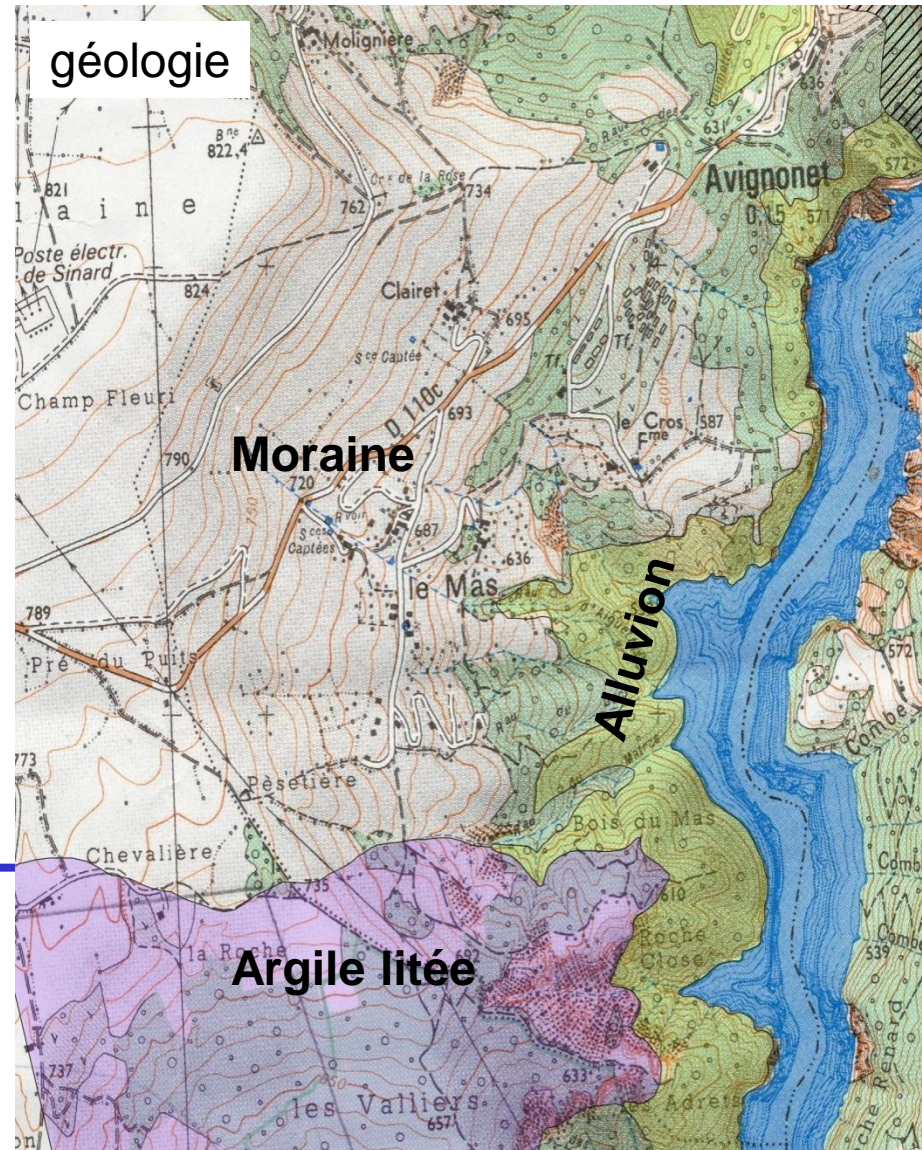
géologie générale – Géologie appliquée



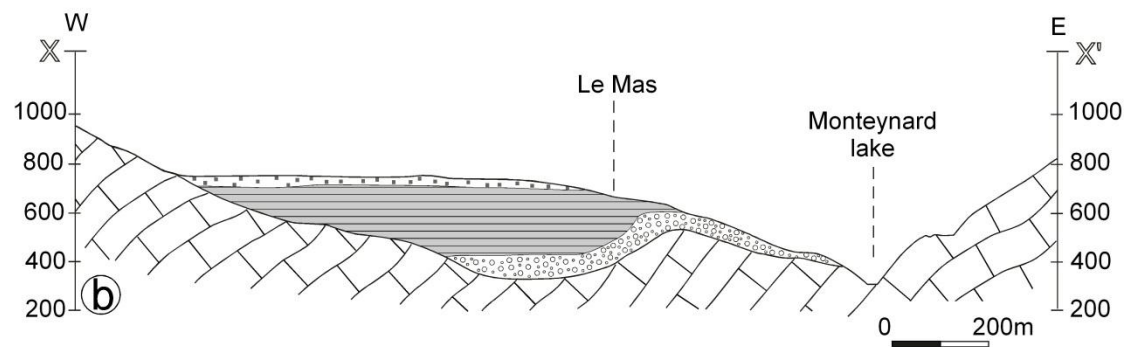
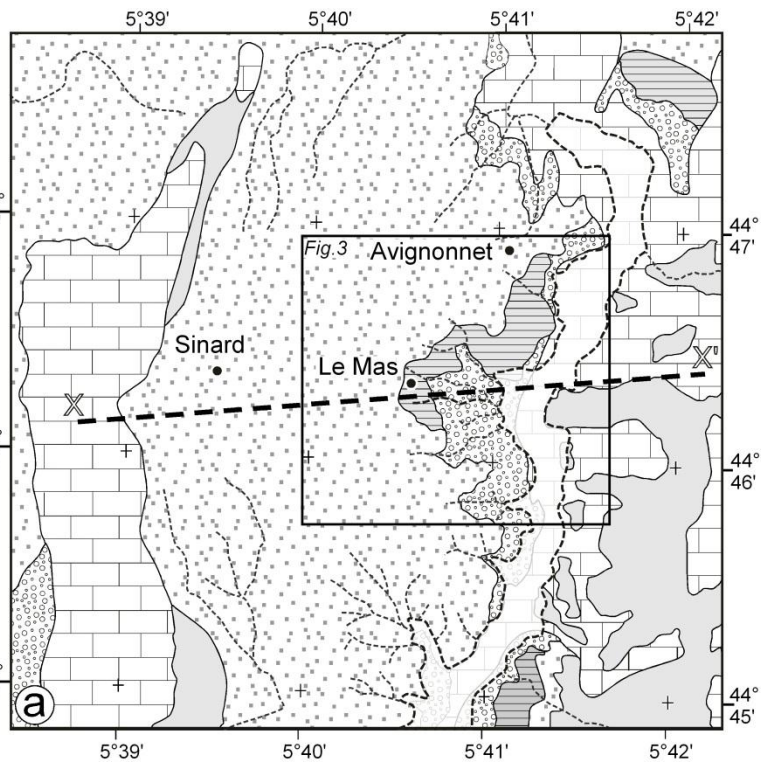
Extrait fonds topo IGN 1/25.000


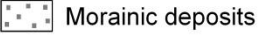




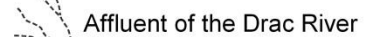



Mas d'Avignonet

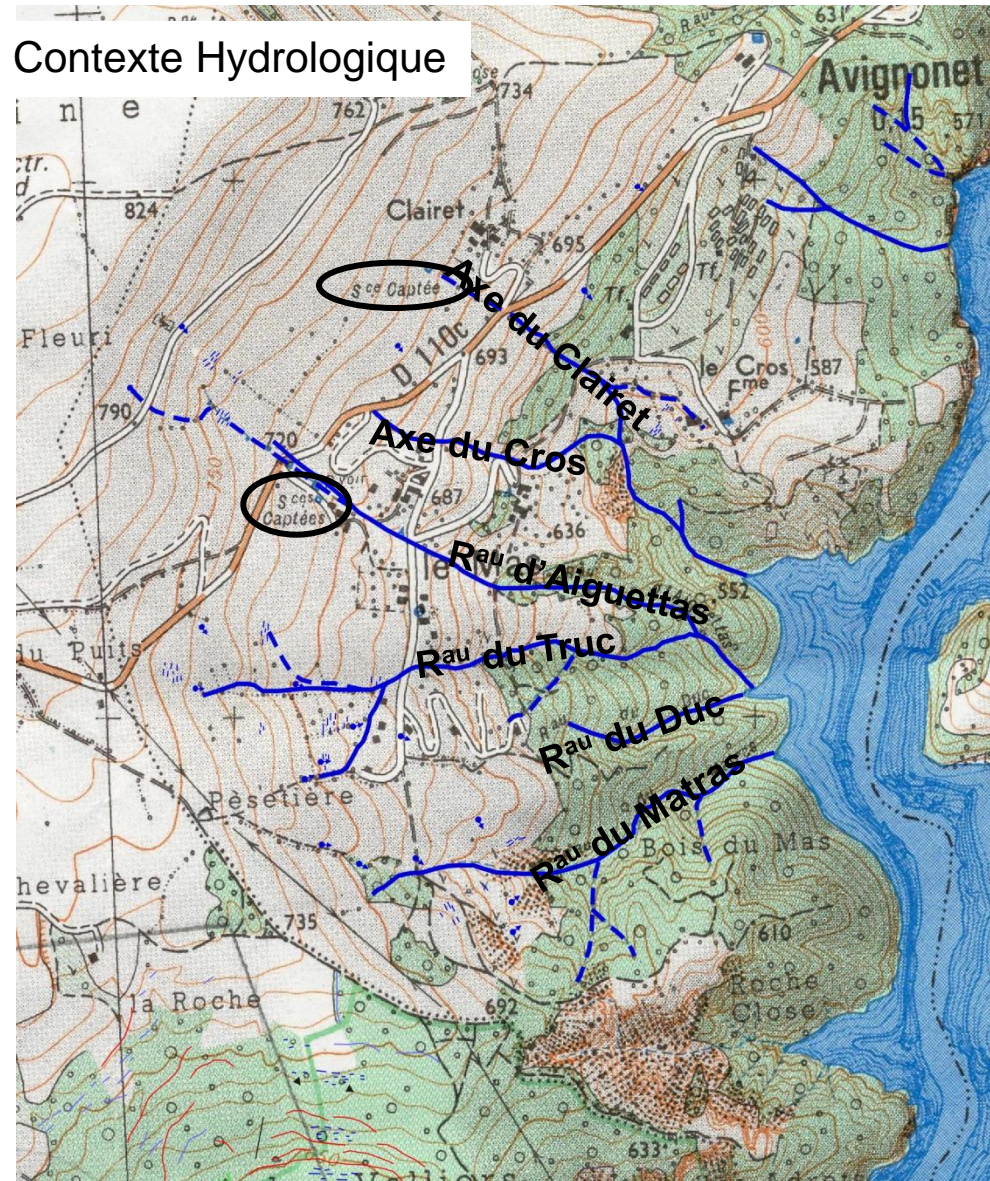


Creusement du lit du Drac actuel
→ Déstabilisation des versants



-  Screes
-  Morainic deposits
-  Varved clay
-  Fluvio-glacial deposits
-  Carbonate bedrock
-  Monteynard lake boundary
-  Affluent of the Drac River
-  Location of the cross section

Contexte Hydrologique



- Ruisseaux orientés

W-E ou SW-NE

- Nombreuses zones humides
- Origines des venues d'eaux:

- Temporaire:

Ruissellement superficiel du plateau

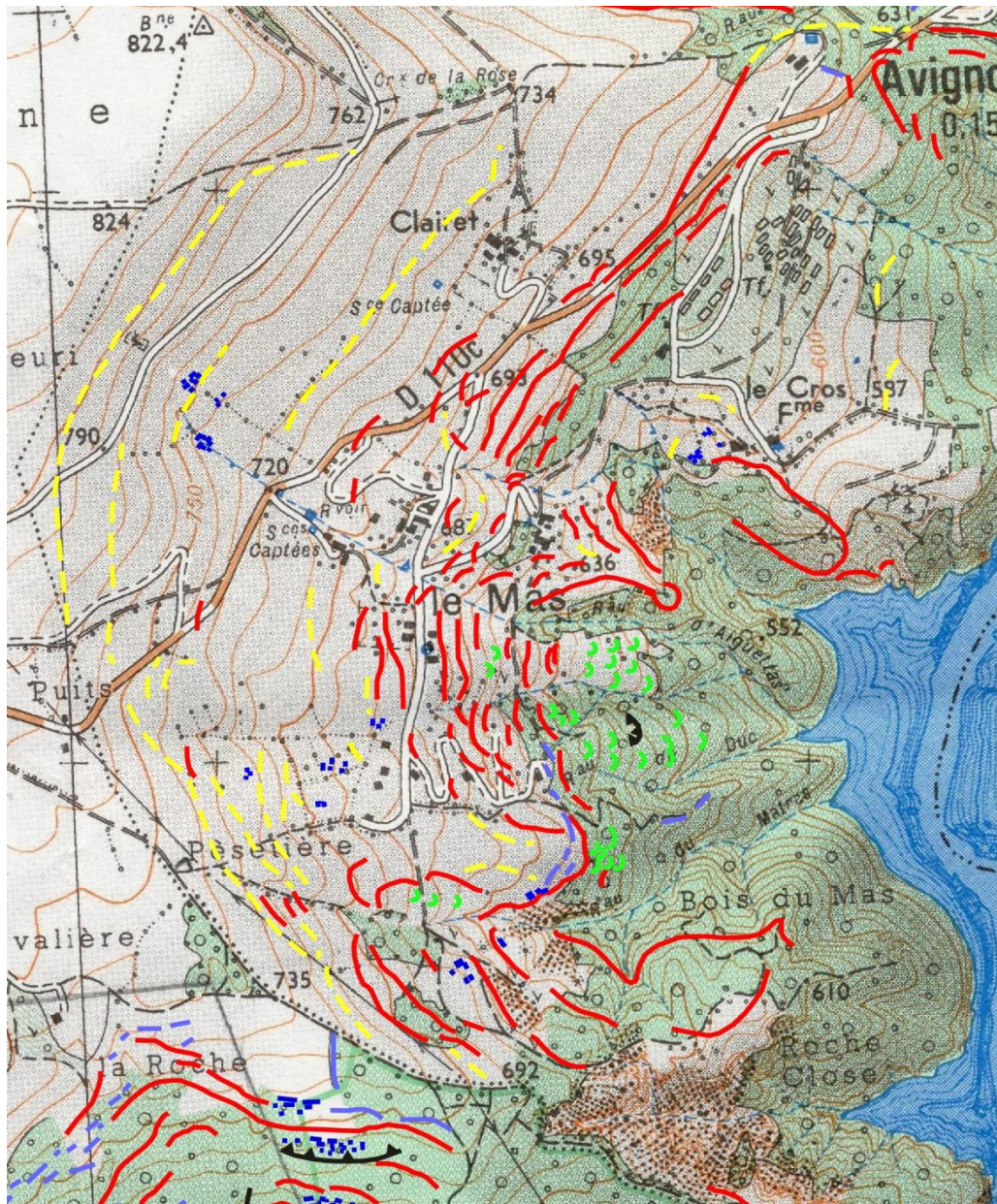
→ Ruisseau du Truc

- Pérenne:

Écoulement souterrain

→ Source vers Clairfet

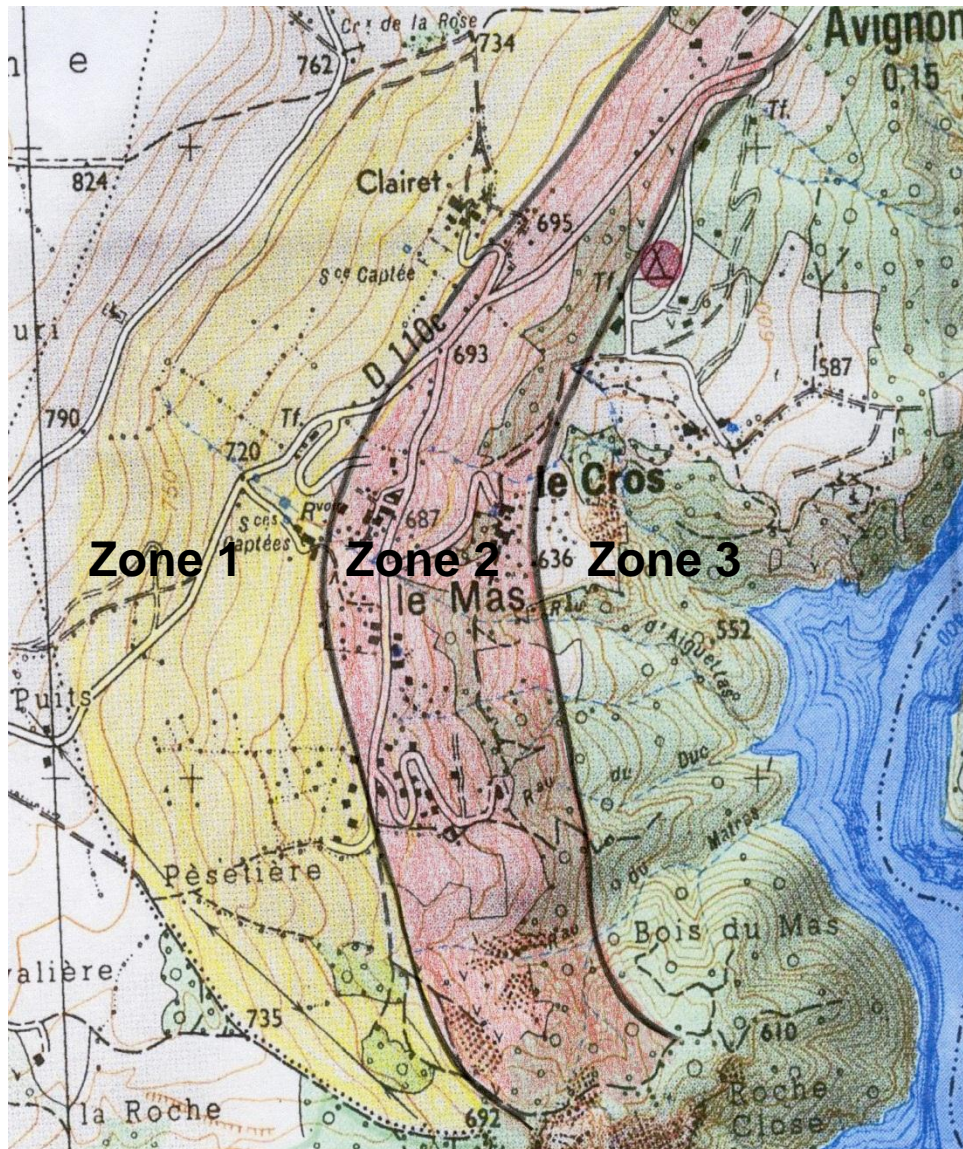
I. Instabilités de versant – Etude de cas (Mas d'Avignonet)



Indices morphologiques

- Fissure active
- - - Arrachement estompé
- ~ Bourrelet

Croisement des indices morphologiques avec les pentes des versants



➔ zonage de la combe

- **Zone 1**
Pentes de 8 à 15° ,
indices de mouvement lent
ou ancien.

→ Zone 1

Indices de mouvements lents

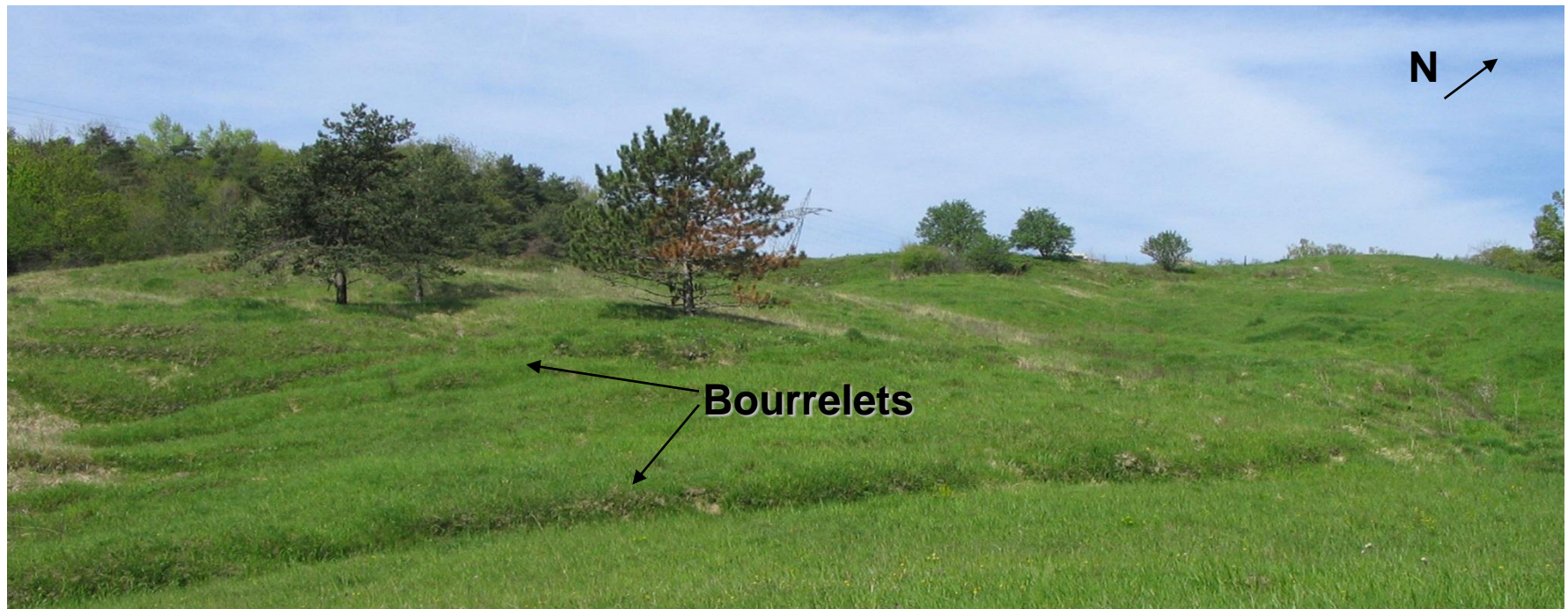


- Partie supérieur du versant
- Moutonnement du terrain sans déchirures visibles
- Glissement de versant

→ Zone 2

Indices de mouvements actifs

- débute par des fissures
- se termine par des bourrelets
- mouvements superficiels



Que peut on proposer comme mesures pour suivre le glissement ??

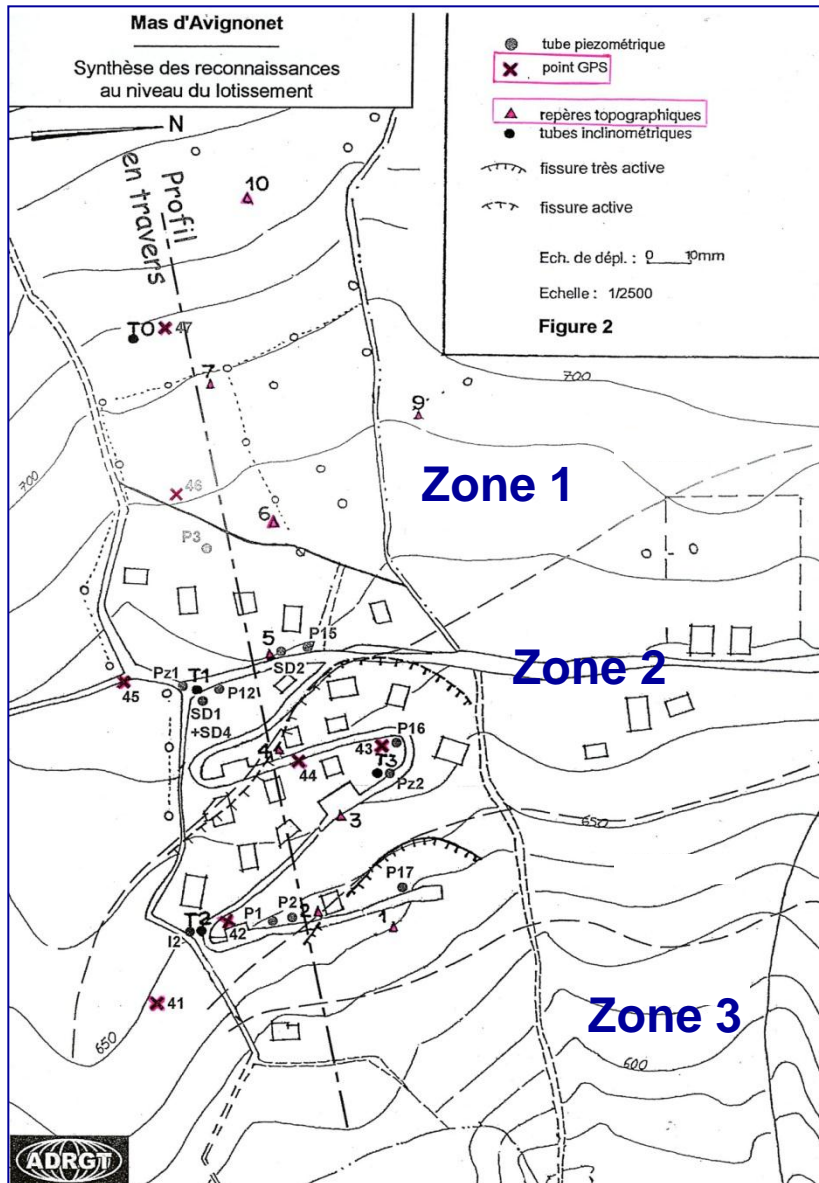
3 types :

1-Mesures topographiques

2-Mesures inclinométriques

3-Mesures piézométriques

1-Mesures Topographiques



IMPLANTATION ET SUIVI

- **1985 :**
20 repères au Théodolite
- **>1995:**
26 repères au GPS

Mesures semestrielles

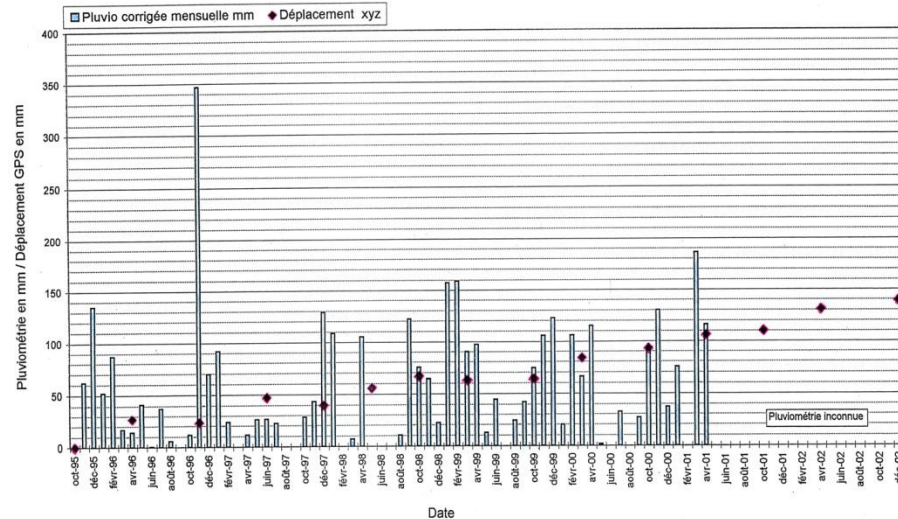
RESULTATS

(suivi d'Octobre 1995 et avril 2001)

ADRGT, 2003

Mas d'Avignonet
Corrélation Pluviométrie - Déplacements GPS

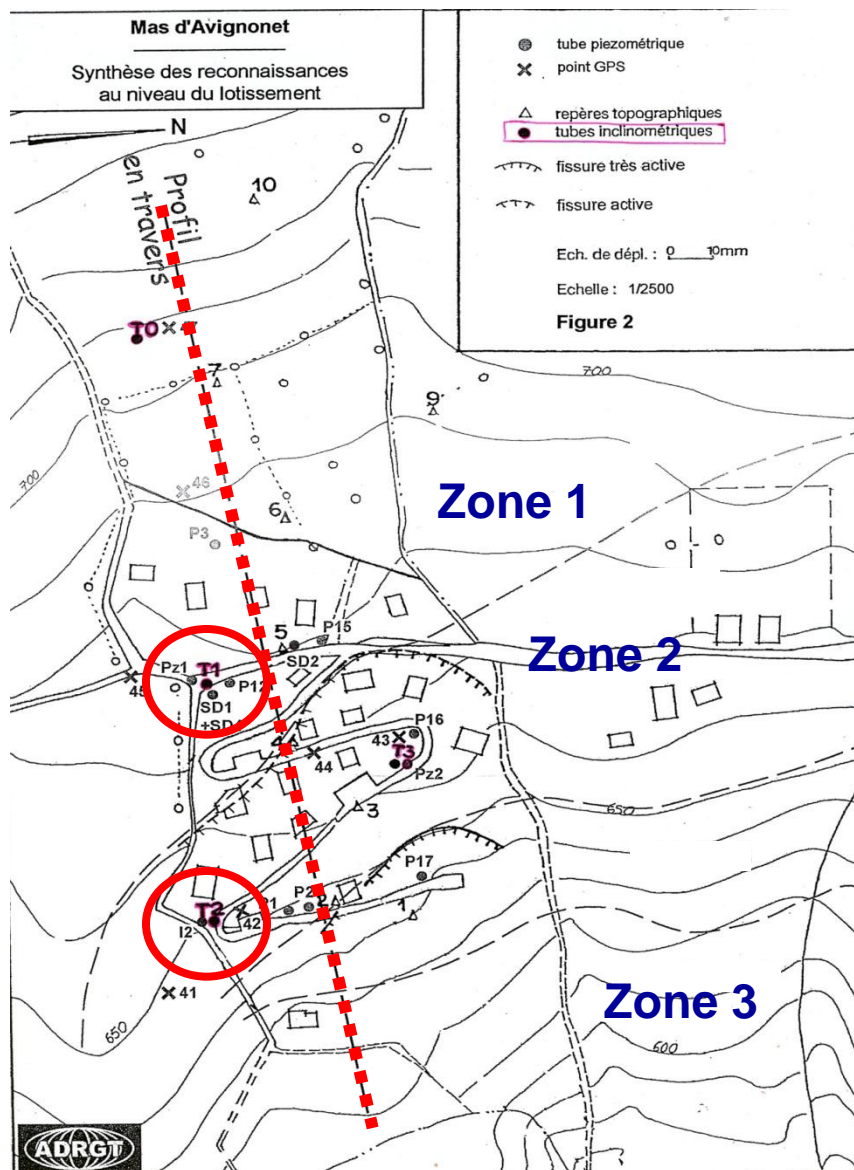
REPERE N°46



Zone 1

- **Déplacement** : de 10 à 15 cm
→ $V = 1,8$ à $2,7$ cm/an
- Arrêt estival

2-Mesures Inclinométriques



IMPLANTATION ET SUIVI

1985-1995:

4 tubes dans des sondages

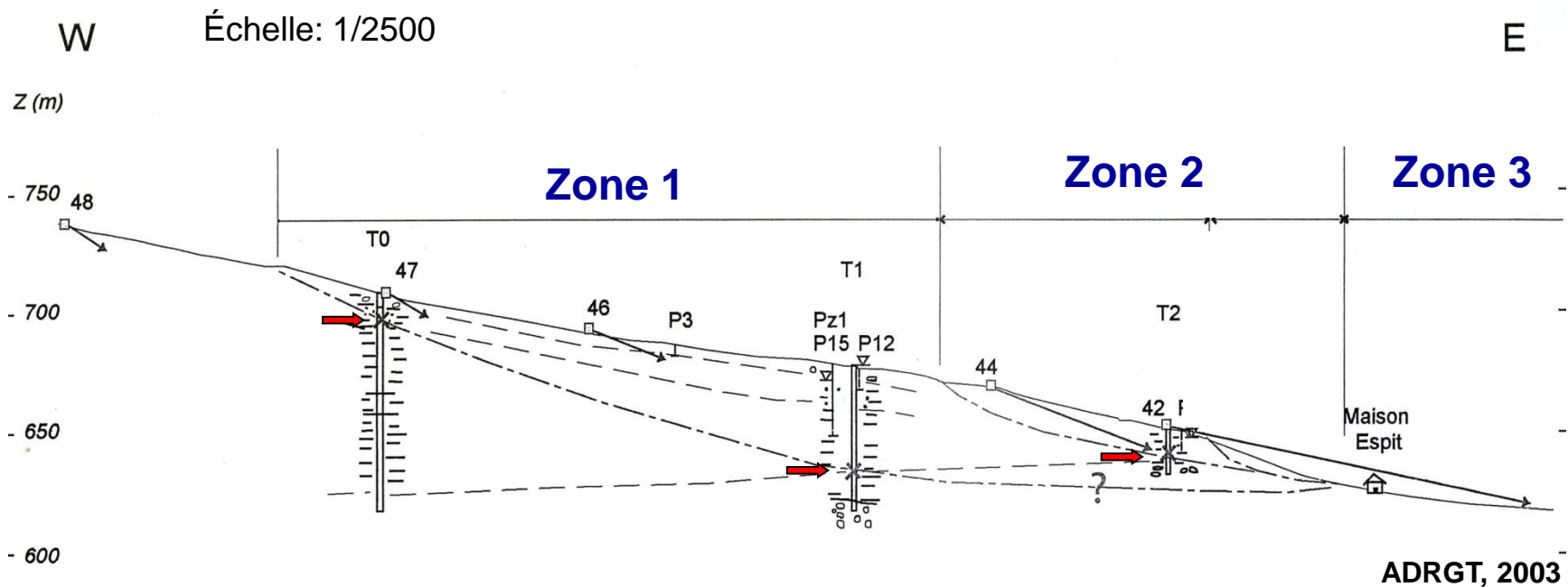
Aujourd'hui:

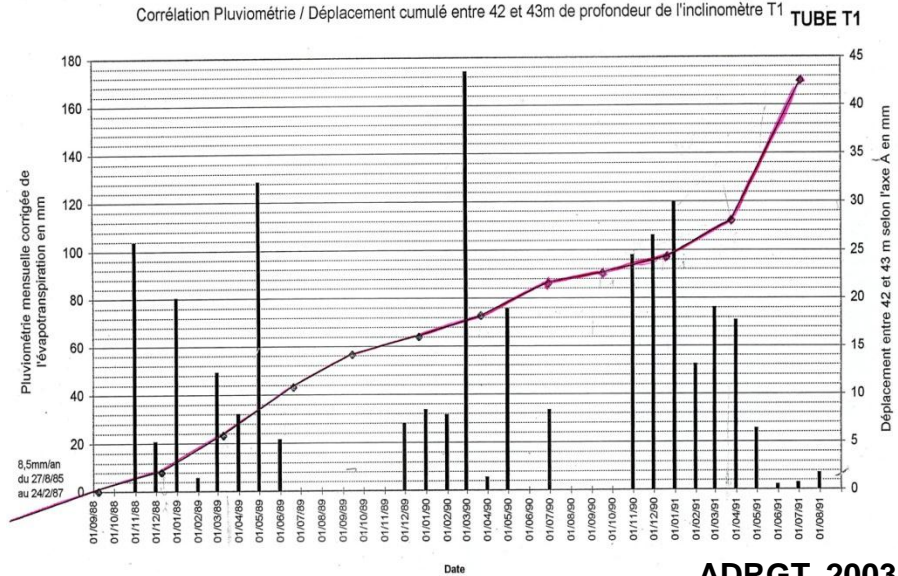
tubes cisailés et suivis abandonnés.

Profil interprétatif...

RESULTATS (1)

Tube	T0 (Zone 1)	T1 (Zone 1)	T2 (Zone 2)
Profondeur	89, 7 m	59 m	17 m
Mesure 0	20/12/86	27/08/85	30/08/85
Date de cisaillement	21/12/89	4/07/91	5/06/87
Profondeur de cisaillement	5,5 m	43 m	4 et 11,5 m
Profondeur de la surface de glissement	5,5 m	43 m	4 et 11,5 m



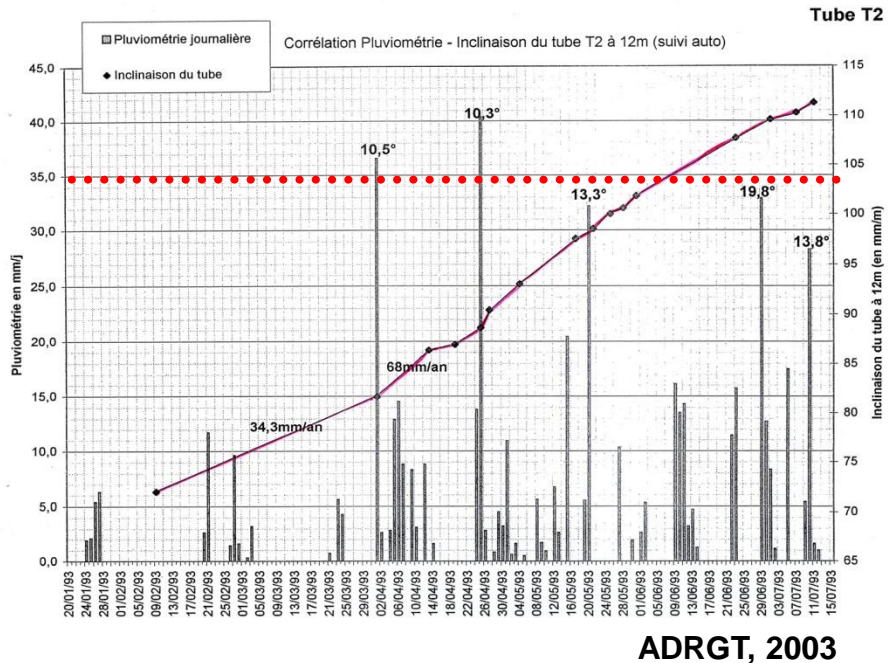


RESULTATS (2)

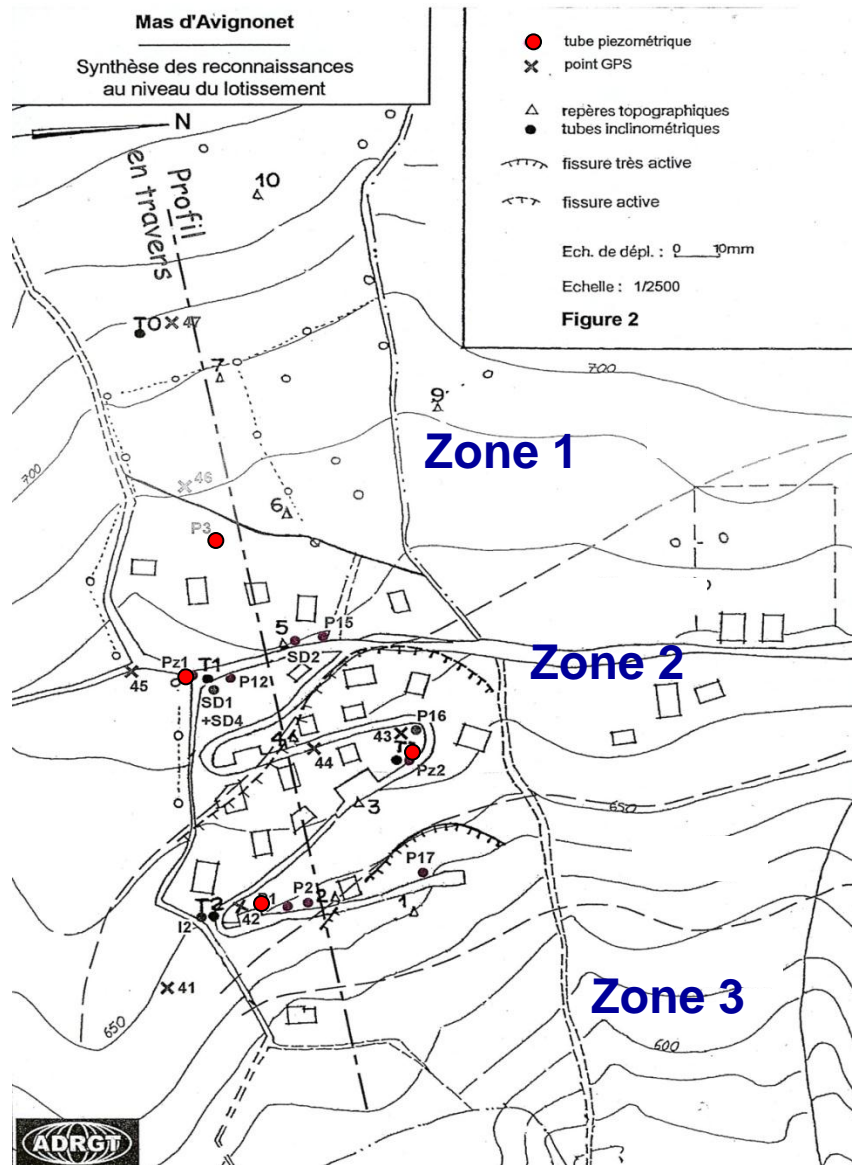
Corrélation Pluviométrie / Déplacement

- Tube T1, Zone 1 :
 - Pas d'influence nette de la Pluviométrie

- Tube T2, Zone 2 :
 - Pas d'arrêt des mouvements
 - Réaction aux précipitations \geq 30-35 mm/jours



3-Mesures Piézométriques



IMPLANTATION ET SUIVI

1986- 1987:

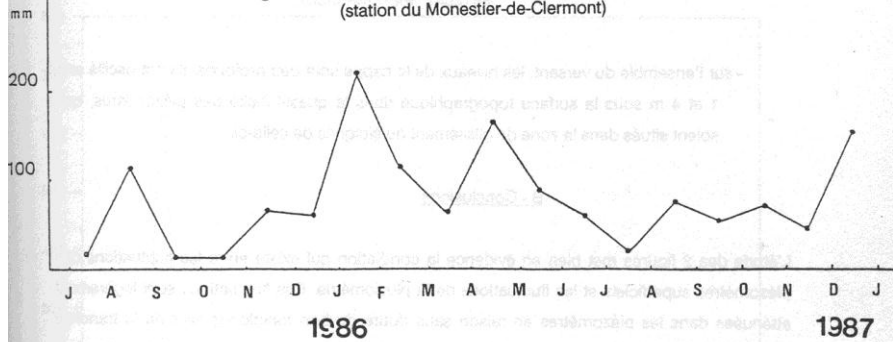
14 piézomètres

Suivi mensuel

1992 - 1997:

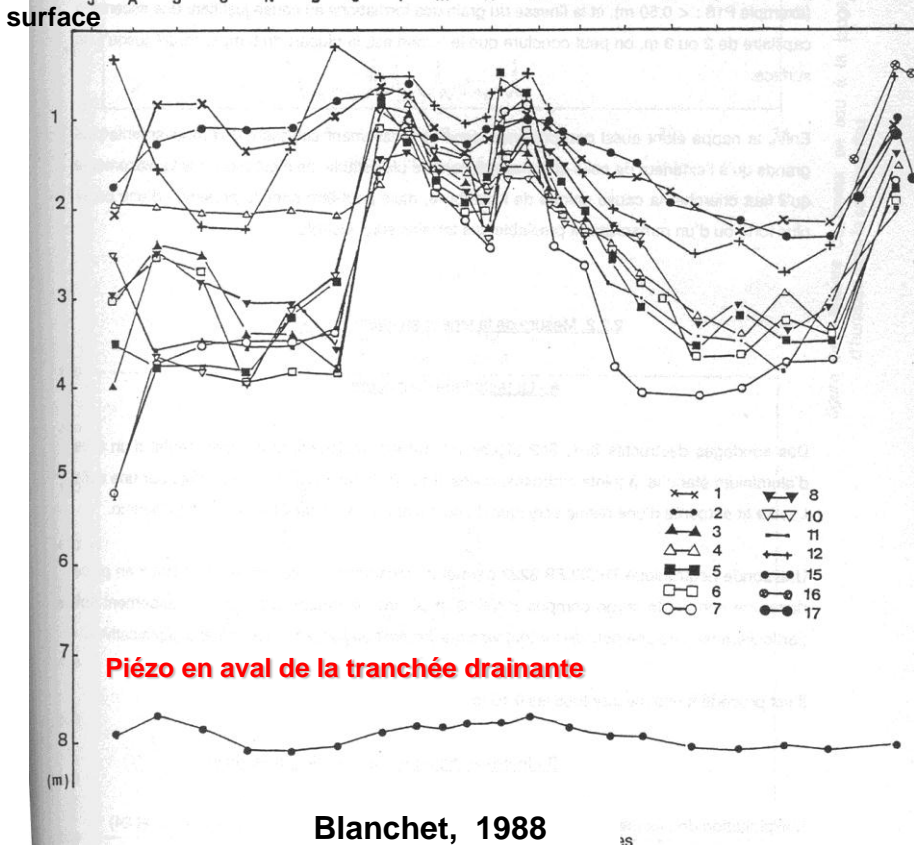
2 piézomètres

figure 21 - Relevés pluviométriques
(station du Monestier-de-Clermont)



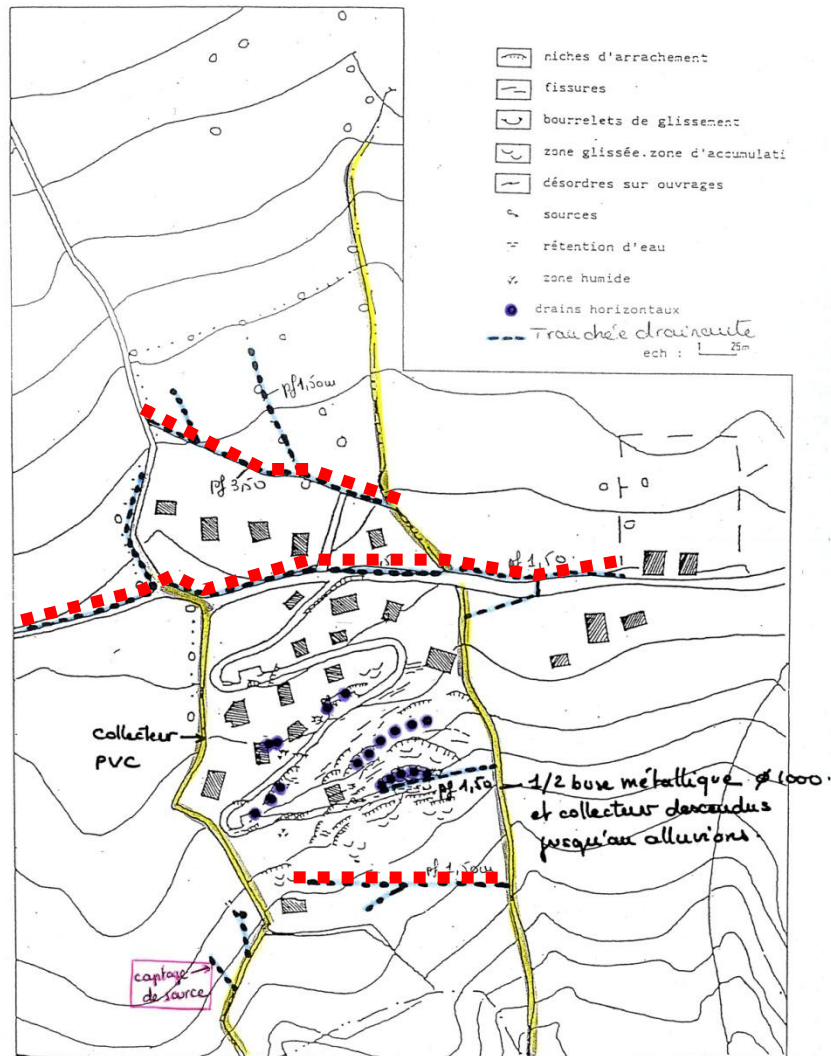
RESULTATS

- Pour tous les piézomètres :
Niveaux variables avec les précipitations
- Piézomètres en aval de la tranchée drainante :
Niveaux moins variables
→ Rôle efficace de la tranchée



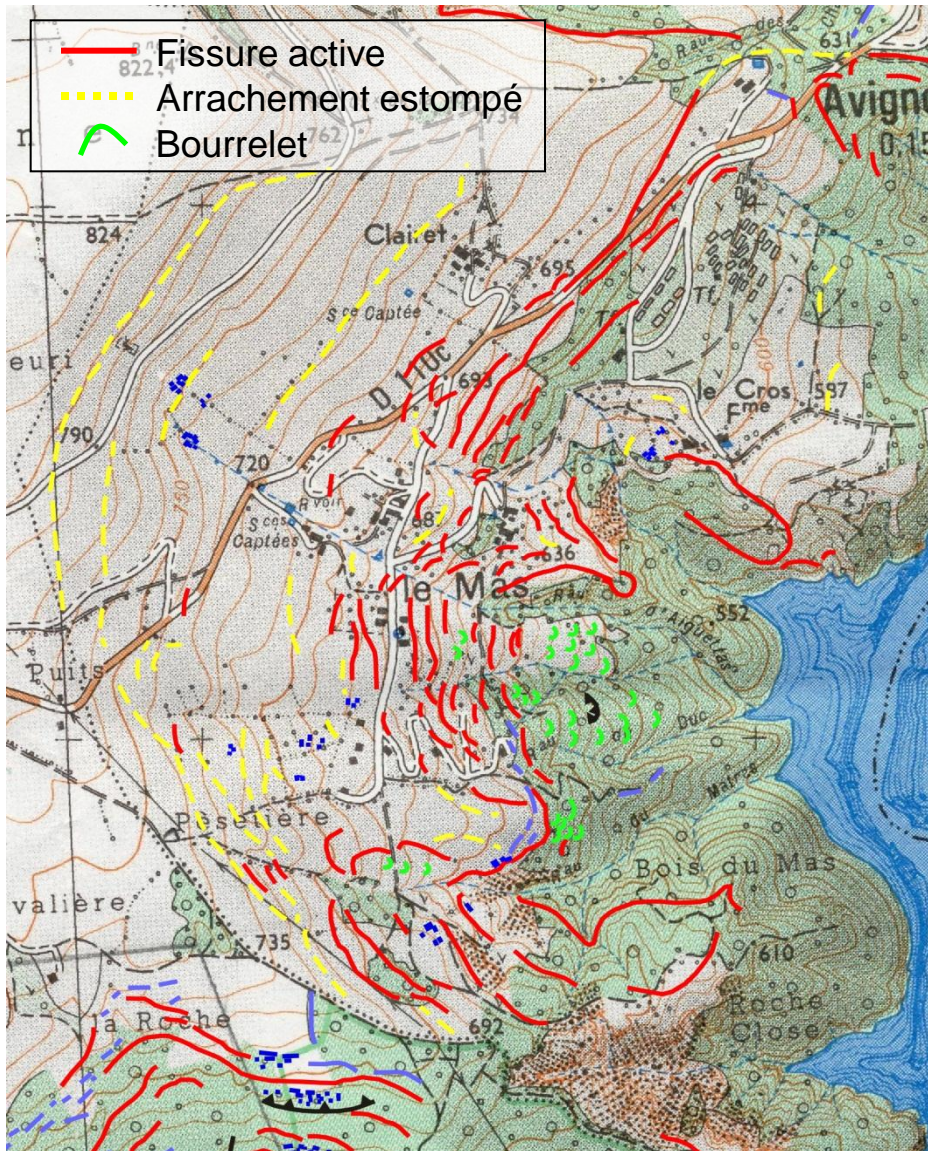
- Nappe peu profonde
- Niveaux variables avec les précipitations

Travaux de drainage effectués dans le lotissement



- 1984 et 1992 :
Important travaux à l'amont et au droit du lotissement:
 - Tranchées drainantes, ■■■
 - Captages de sources,
 - Drains subhorizontaux, ●●
 - Etanchéification des ruisseaux, ———
 - Réfection des réseaux.
- 1995 à 1999:
Travaux de drainage à l'amont du lotissement

Conclusion

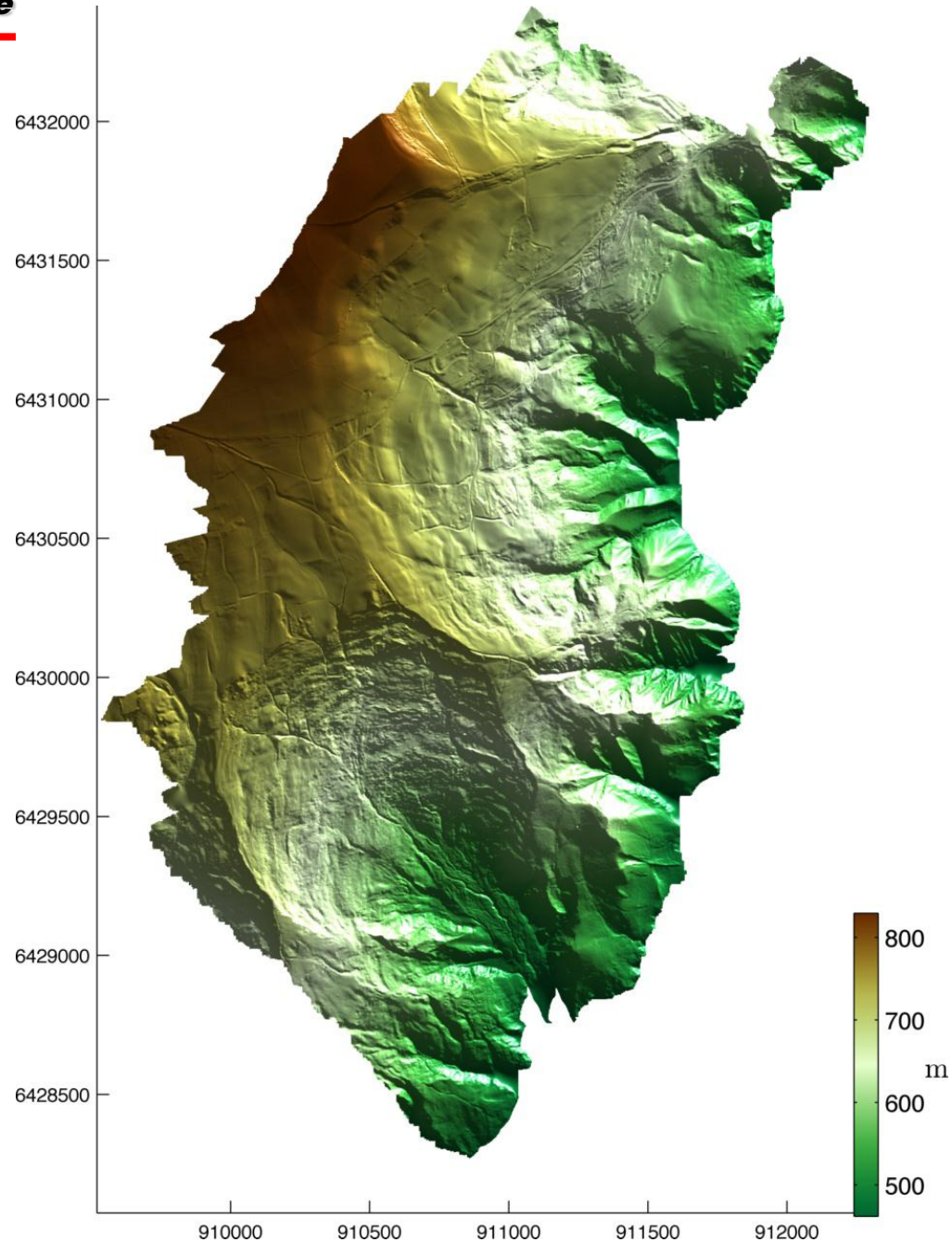


	Zone 1
type de mouvement	LENT
Surface de glissement	43 m
Indice morphologique	Moutonnement
Influence de la pluviométrie	

Traitement afin d'obtenir un MNT

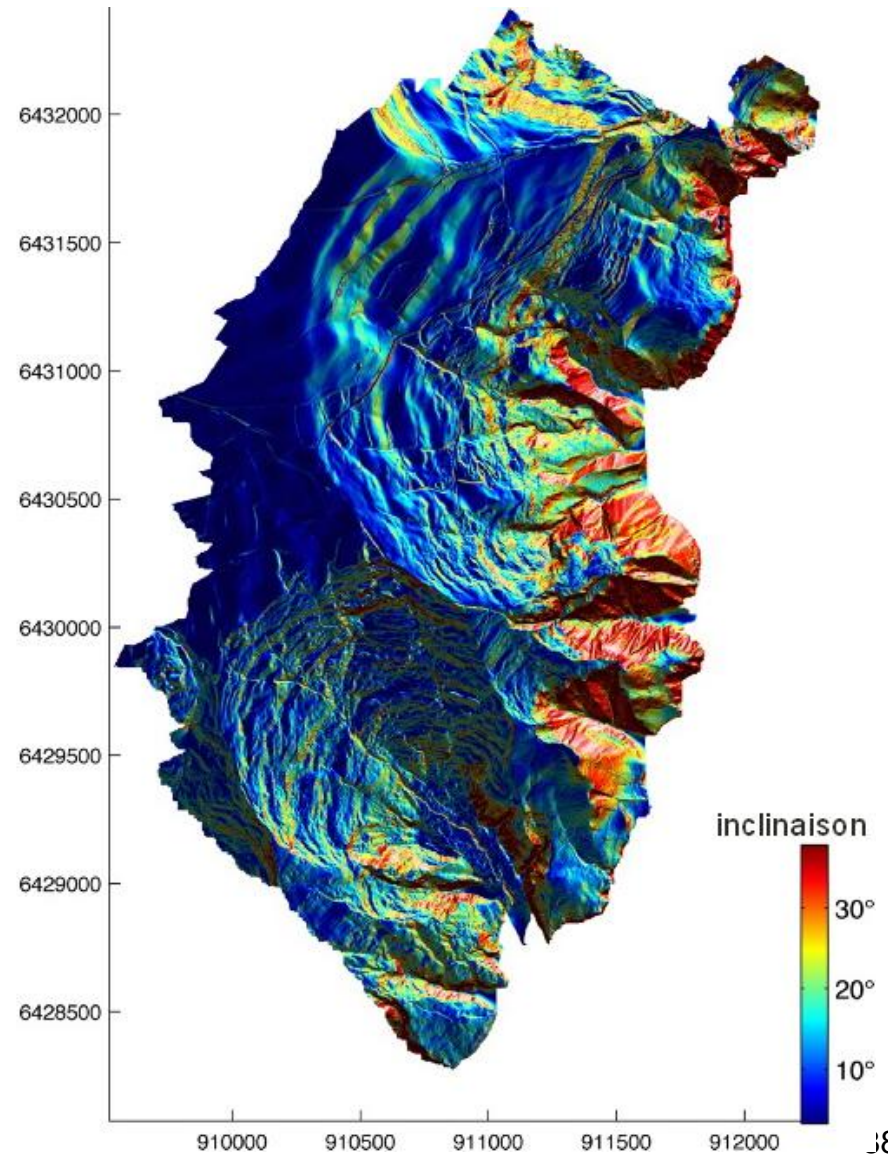
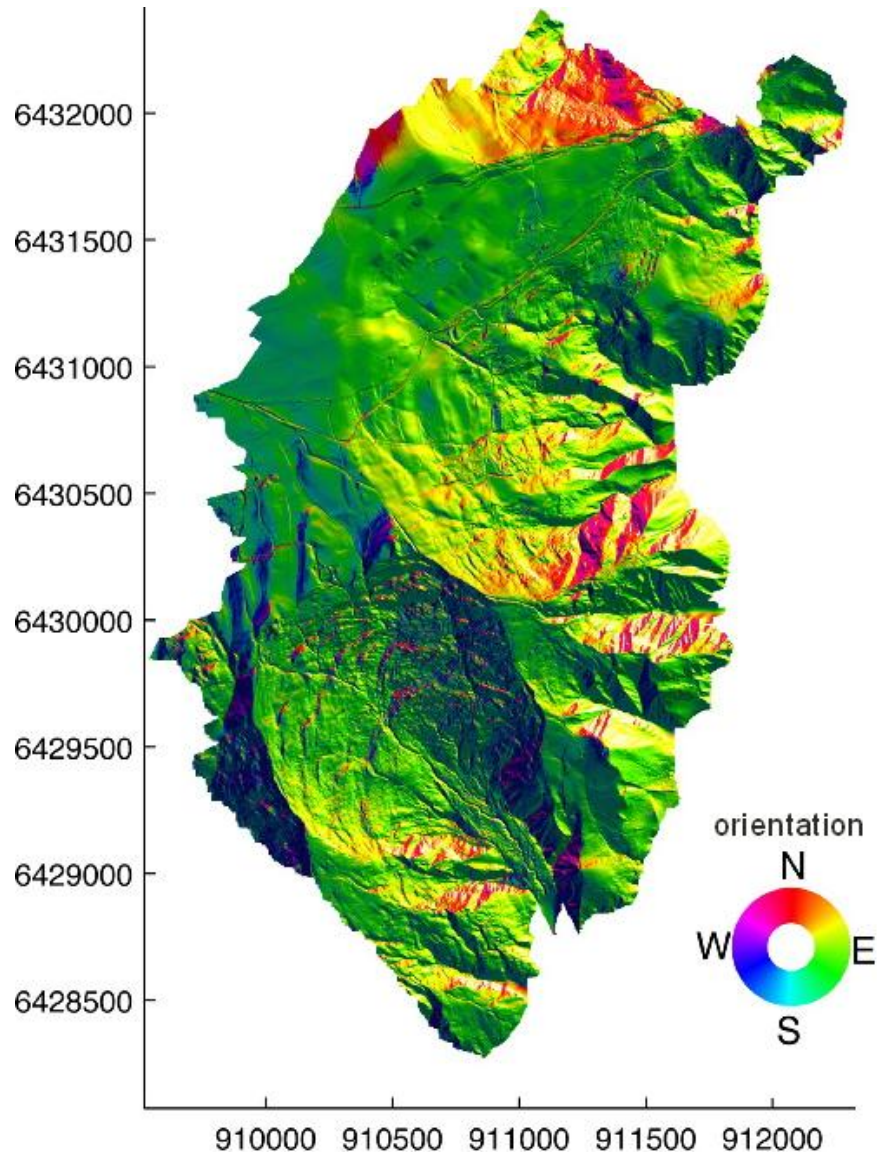
→ nuage de point interpolé
sous matlab

→ grille raster de 2m de résolution
utilisant au final $18 \cdot 10^6$ réflexions
équivalent à $1,4 \text{ pts/m}^2$

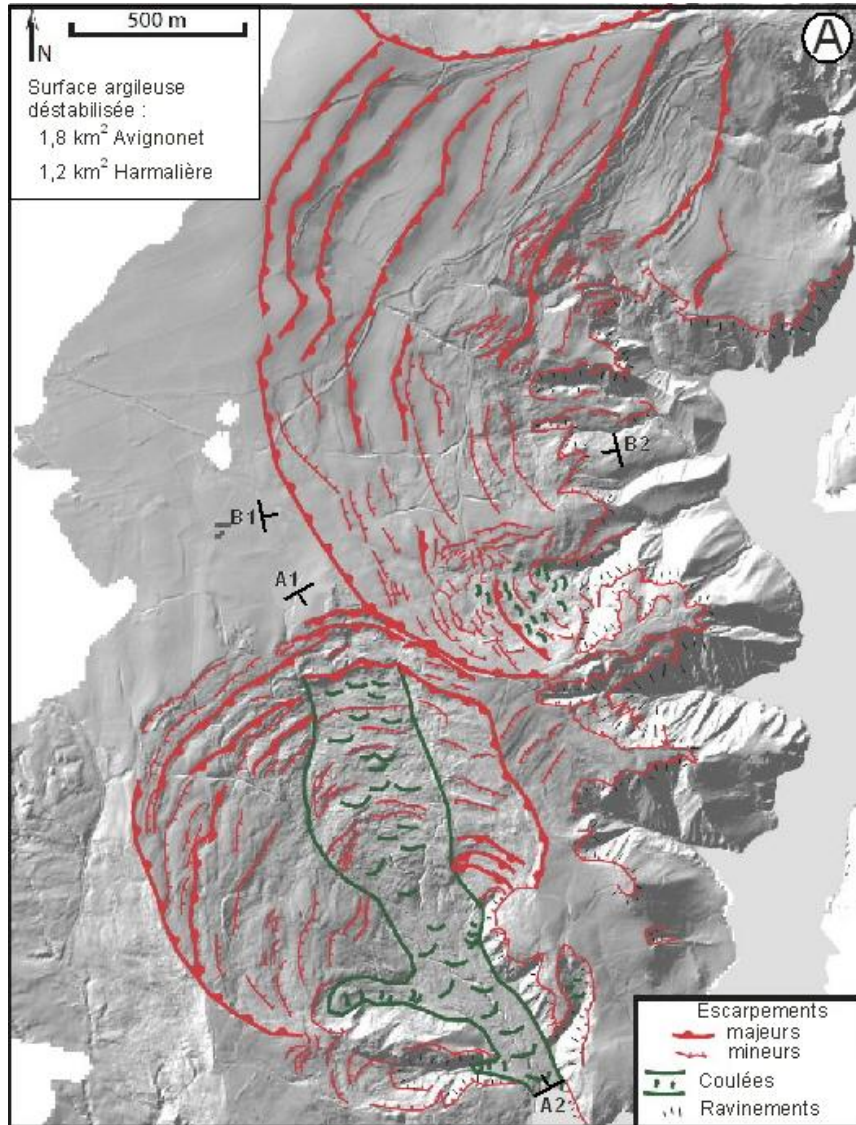


Analyse morphologique des pentes

→ plateau (stable) orientation SE avec pentes <10°



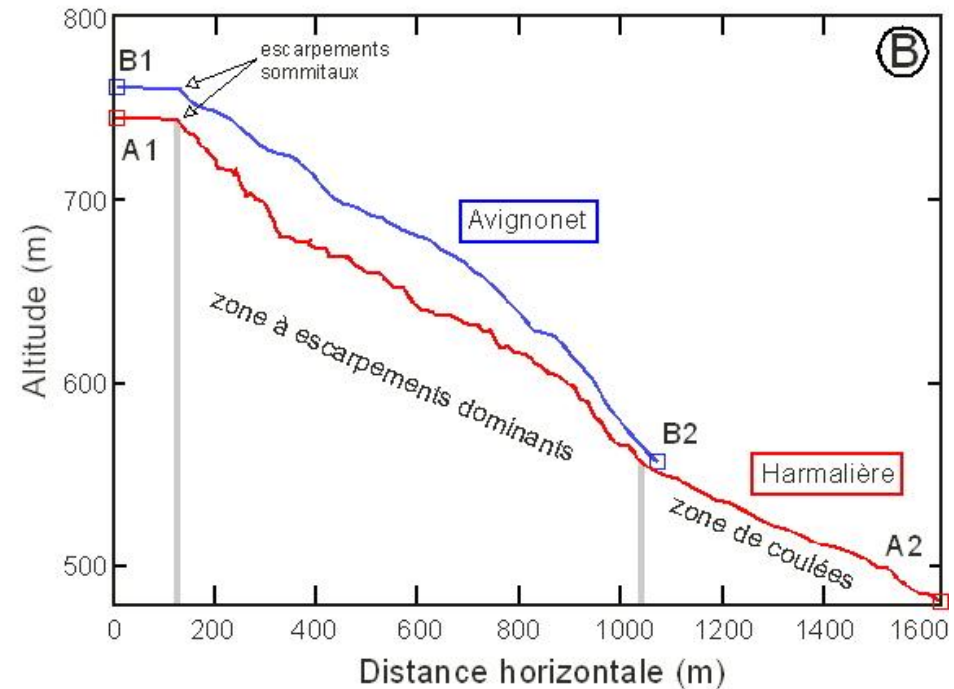
Cartographie des indices de déstabilisation



→ profils topographiques dans la ligne de plus grande pente

2- forme différente des profils topographiques

- Avignonet profil bombé par rapport à Harmalière => accumulation d'argiles



- Harmalière vidange en 1981
profil lisse et continu dans la zone de coulée

Mise en évidence de zones à fort déplacement horizontal jusqu'à 2 m.



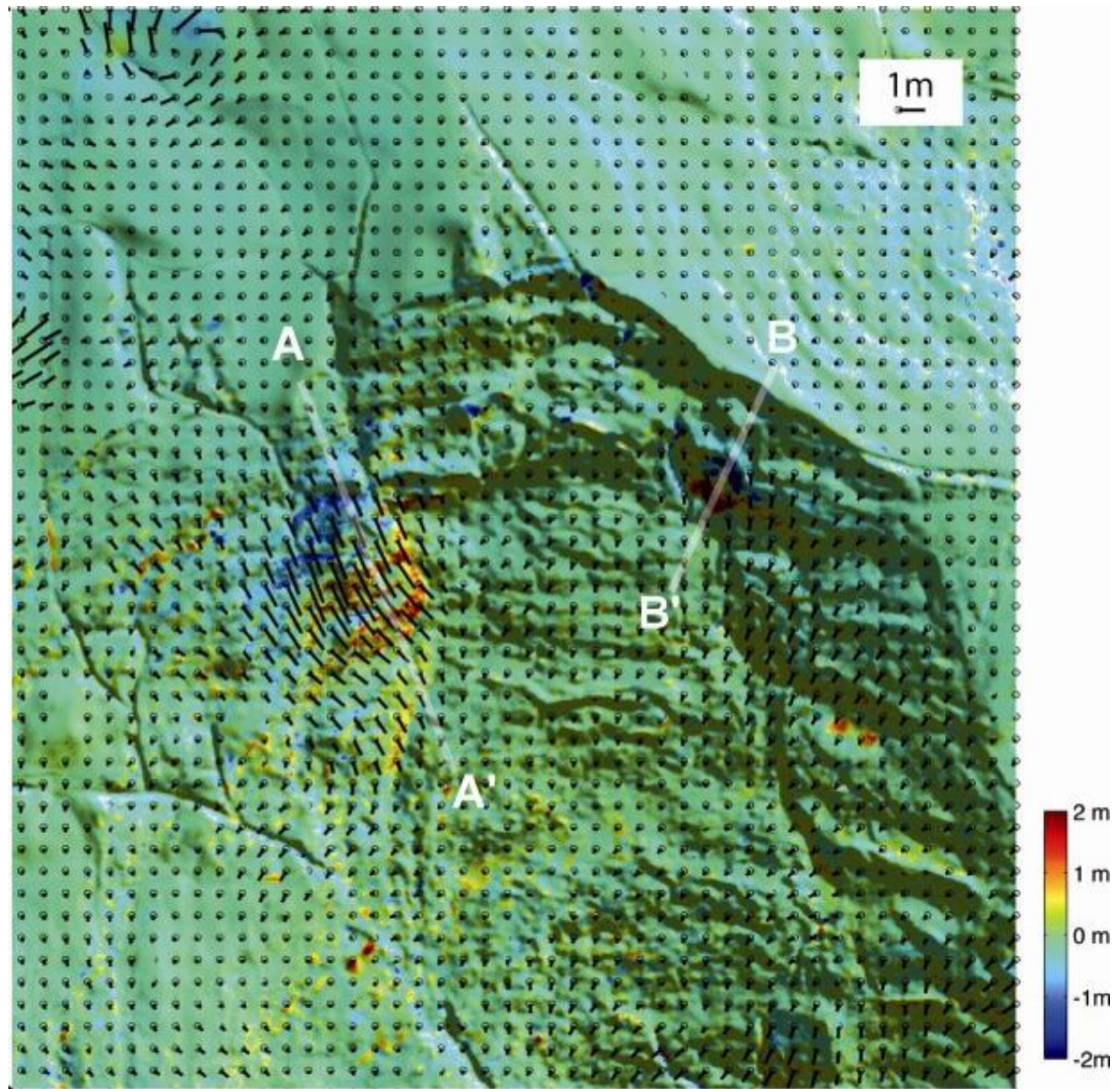
Superposées aux zones à déplacement vertical important.

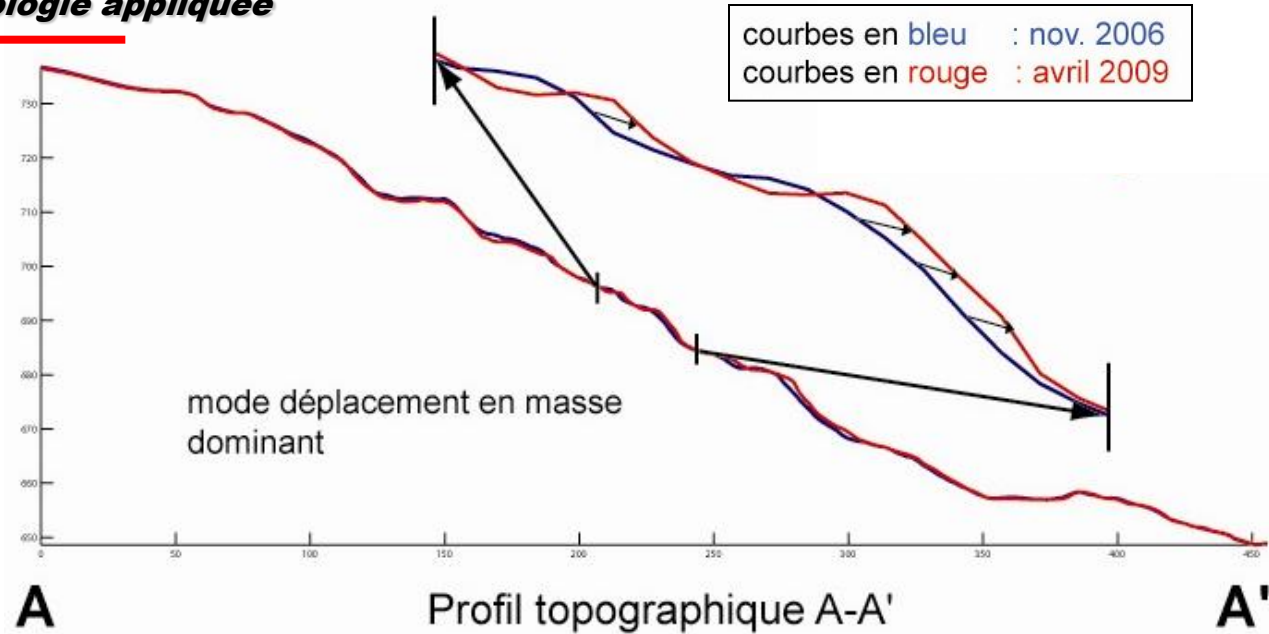
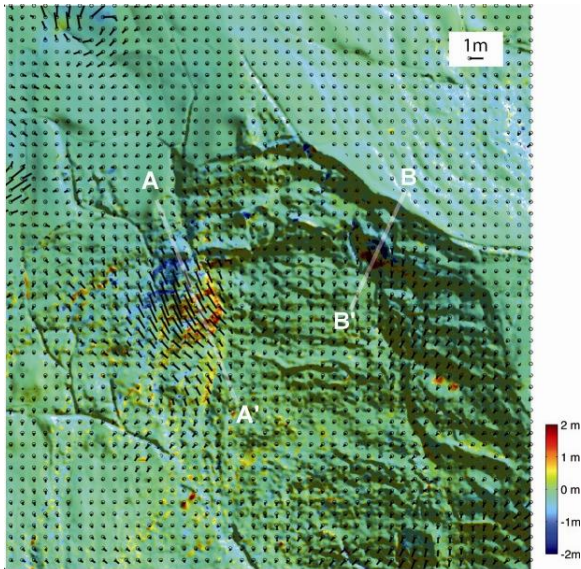


Méthode efficace pour caractériser les déplacements

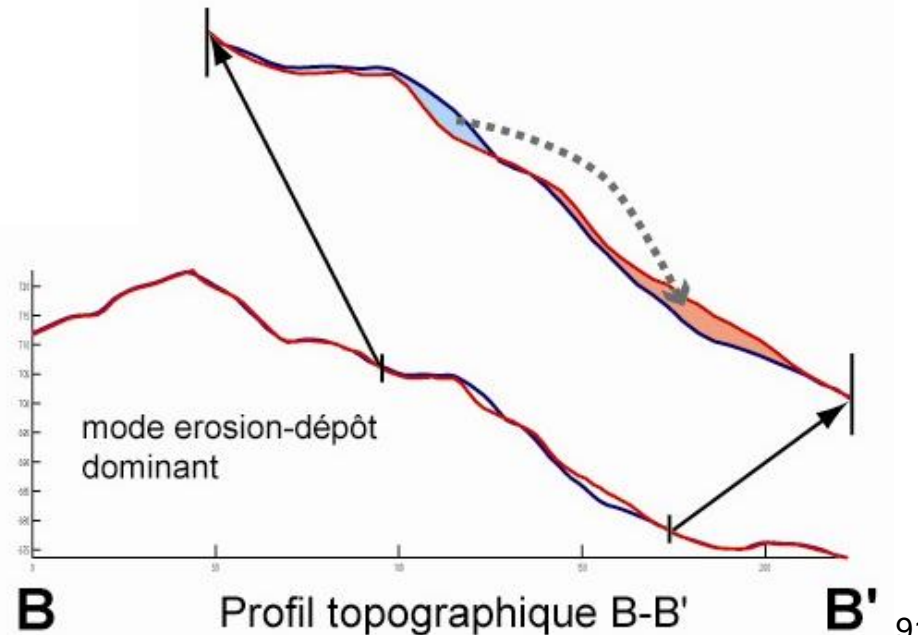
MAIS

ne marche pas pour les zones trop planes ou sans aspérités

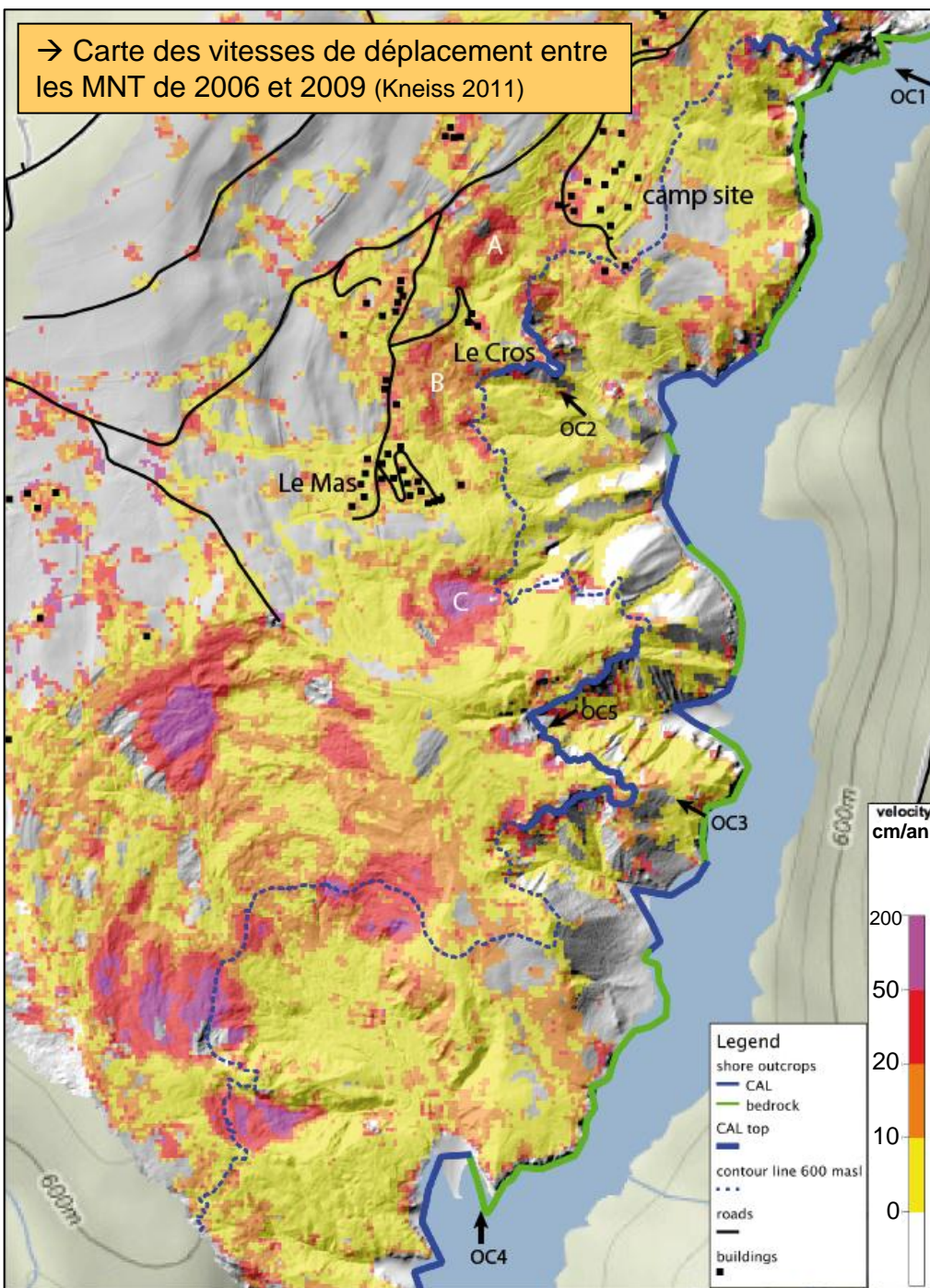




Interprétation des déplacements horizontaux et verticaux le long de **profils topographiques** afin de caractériser les mécanismes de déstabilisation...



→ Carte des vitesses de déplacement entre les MNT de 2006 et 2009 (Kneiss 2011)

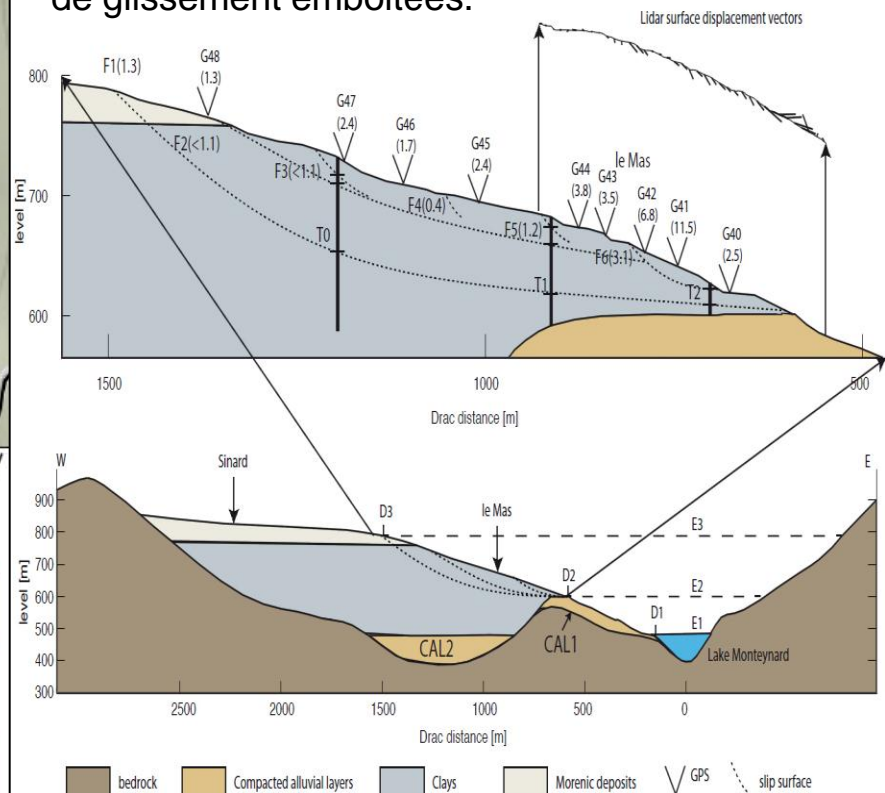


→ Vitesses de déplacement très hétérogènes et localisées

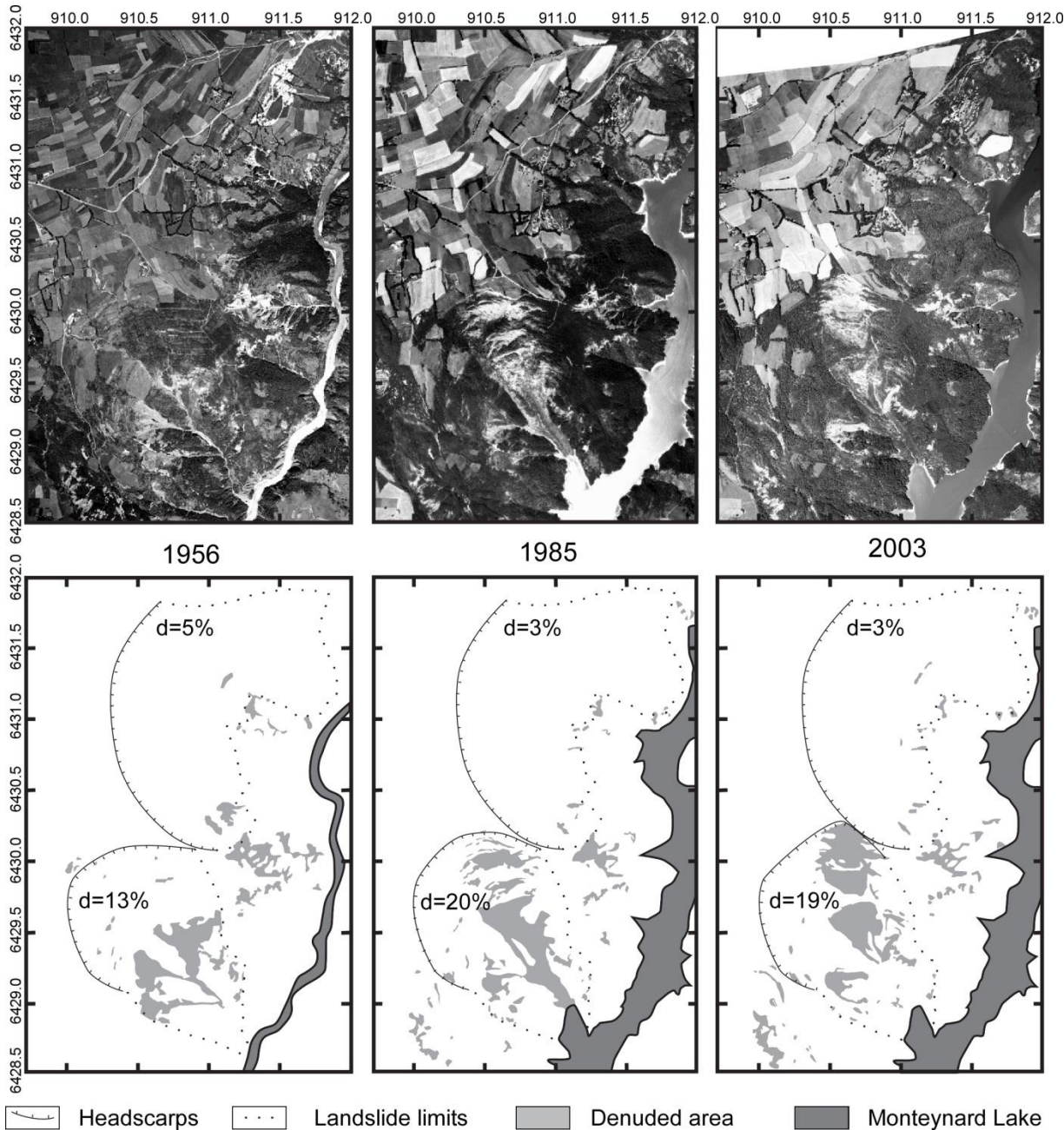
→ Vitesses plus importantes dans le cas de l'Harmalière vs. Avignonet

→ Image très différente de la zonation proposée d'après les données Gps et inclinométriques

→ Données cohérentes avec un modèle de loupes de glissement emboîtées.



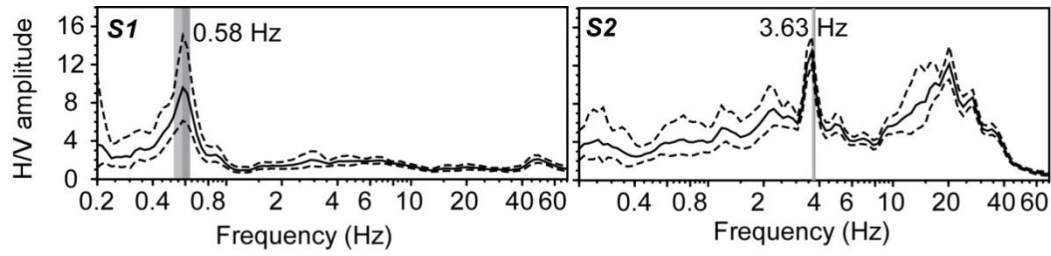
Mais n'explique pas les différences D'activité entre les deux glissements



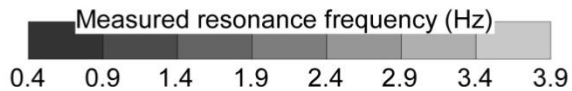
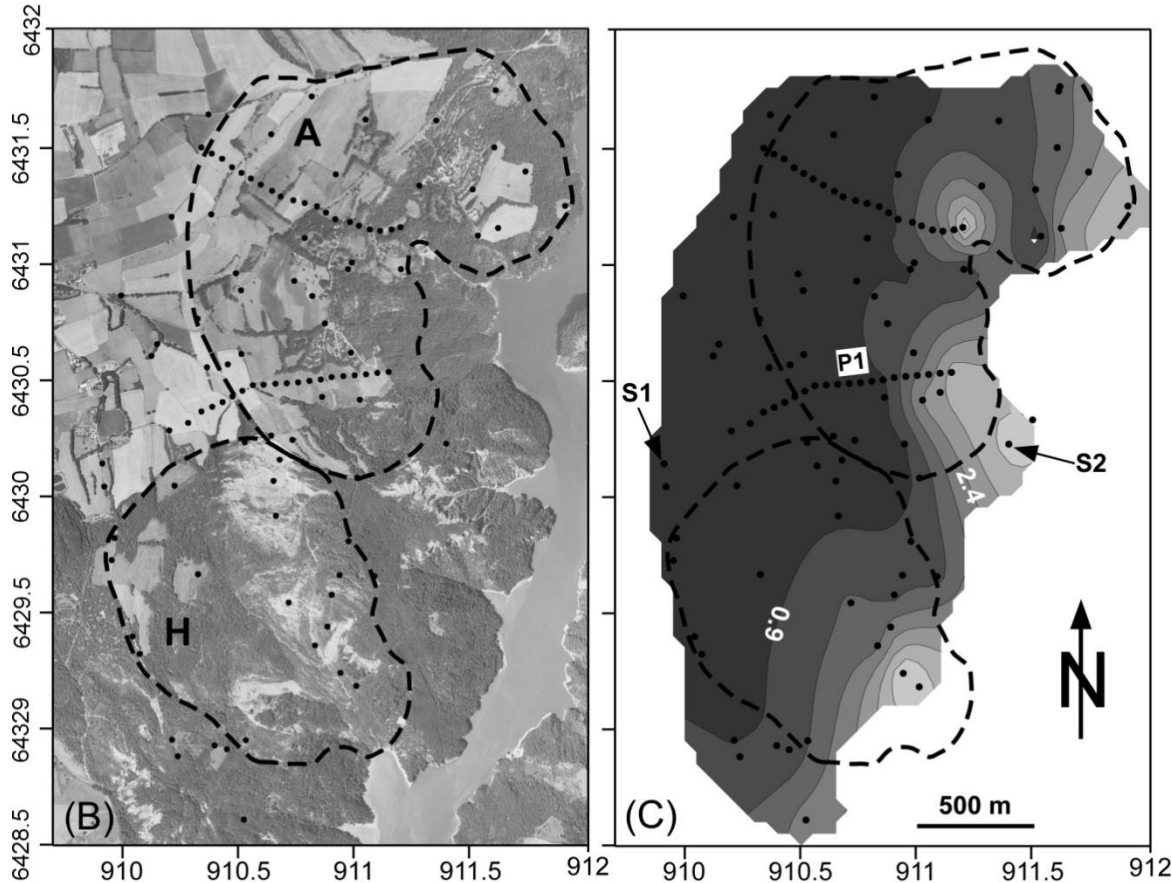
**photogrammétrie
de 1956 à 2003**

**→ Dynamique de
glissement différente**

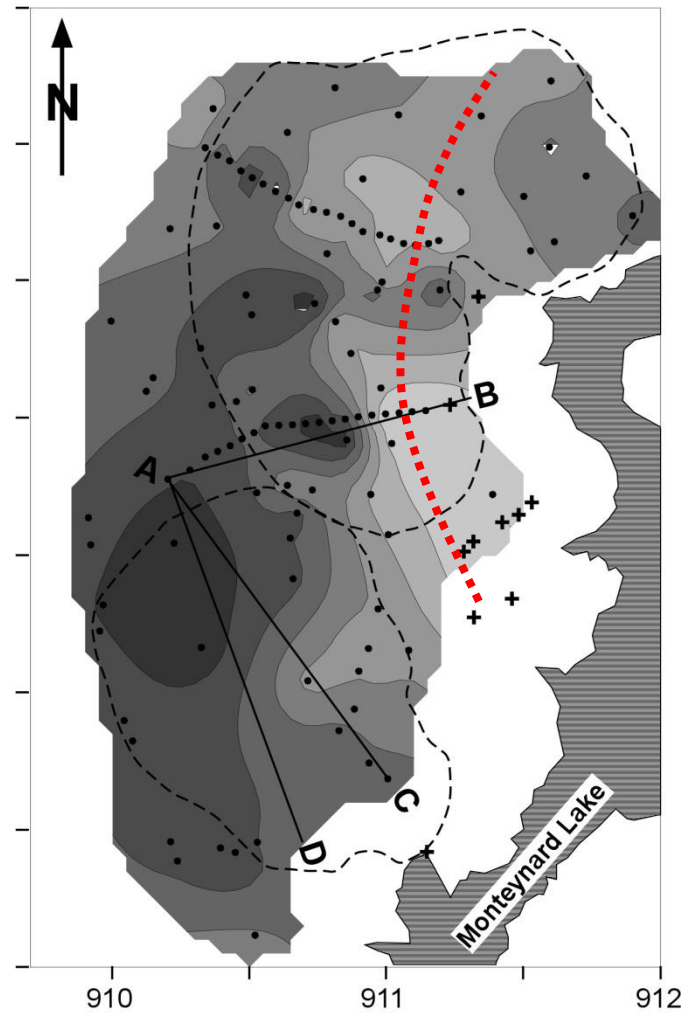
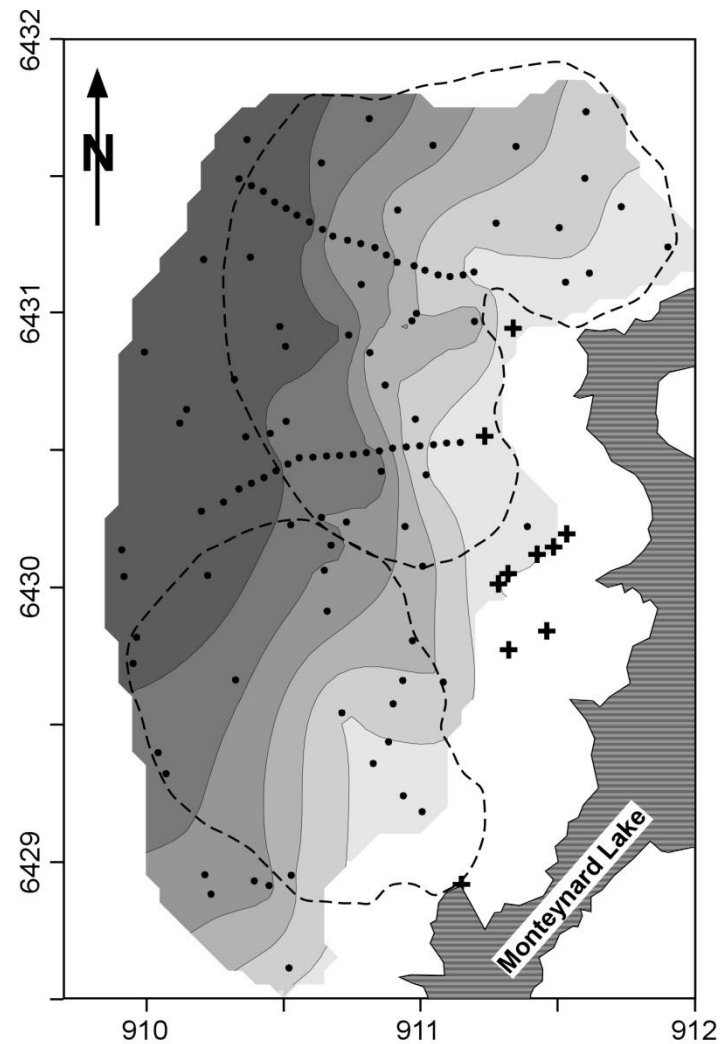
Bruit de fond sismique



(A) ■ Frequency peak — Average - - Standard deviation



Bièvre et al., 2010



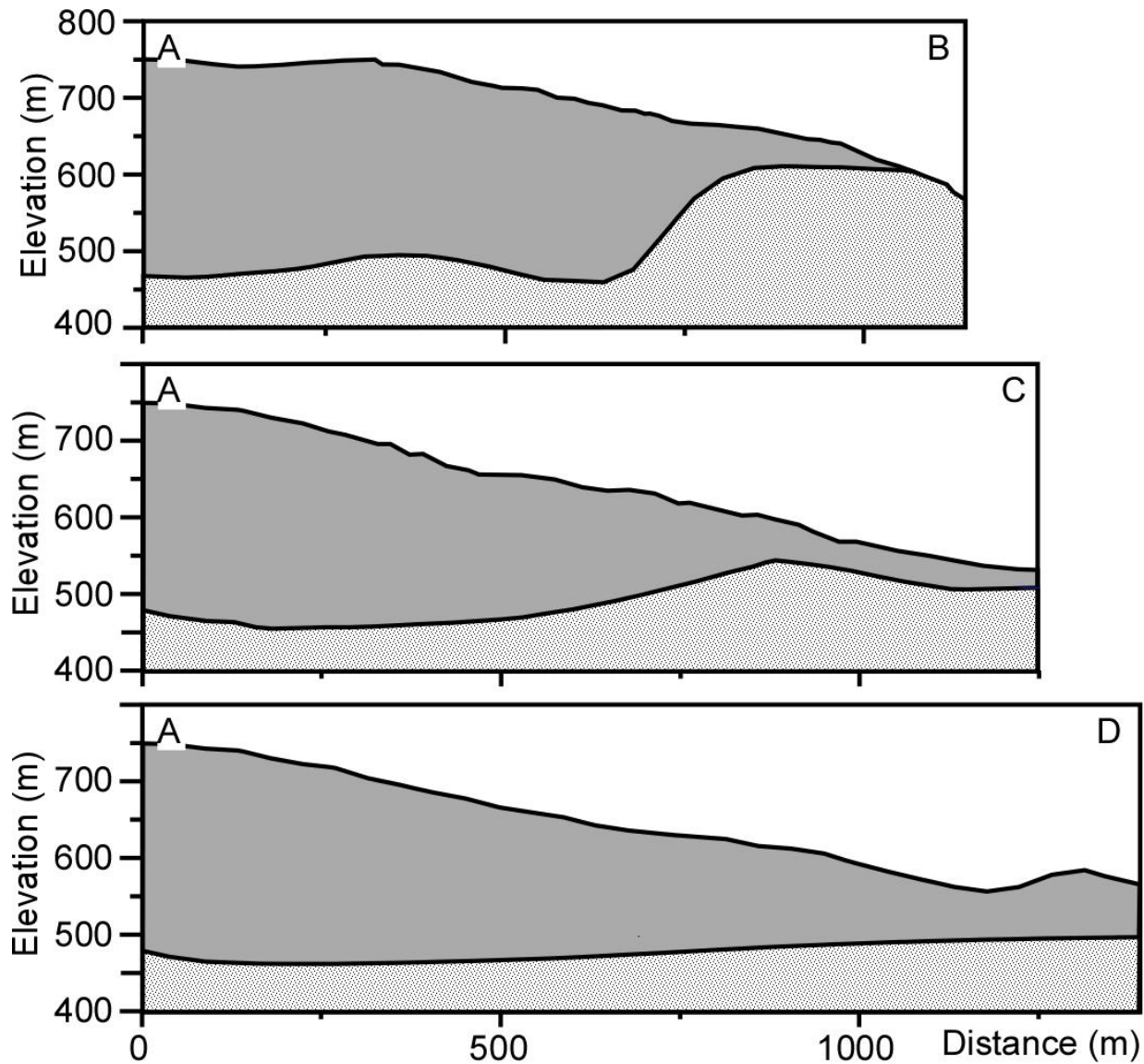
Bruit de fond sismique

- épaisseur des argiles
- géométrie du substratum rocheux

→ existence d'un contrefort

(A) Clays and moraines thickness

(B) Palaeolake basement (m asl)



Soft layer
(moraines and clays)

Seismic substratum
(alluvium and carbonates)