



POLYTECH
GRENOBLE

Département Géotechnique

Cours de Géologie appliquée

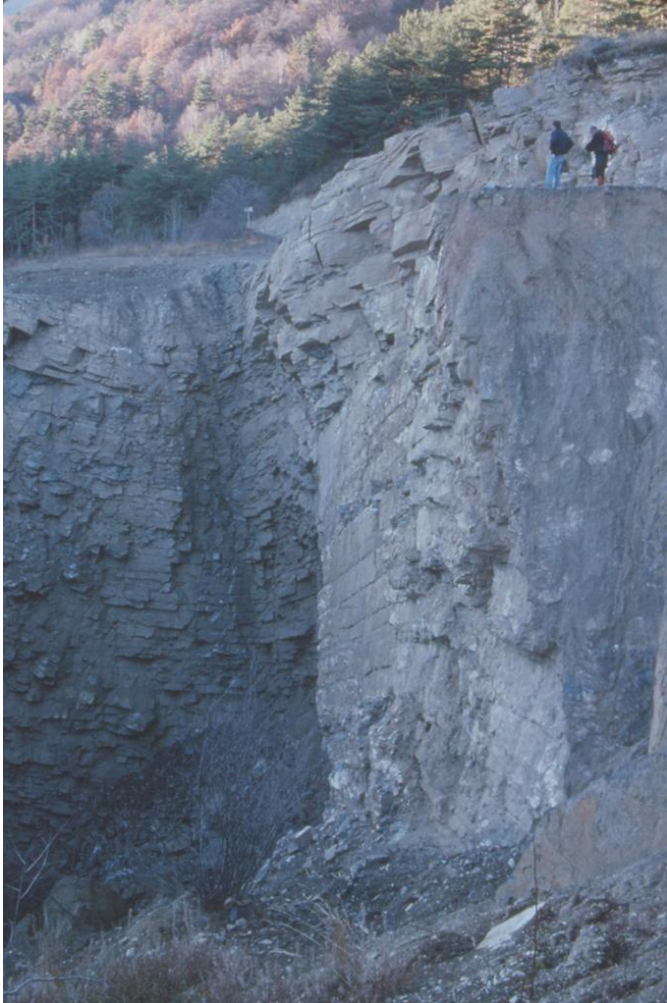
MOUVEMENTS GRAVITAIRES

2. MOUVEMENTS DE PENTE

DESCRIPTION

MOUVEMENTS GRAVITAIRES

- Mouvements dus à des vides souterrains



- Mouvements de pente (glissements de terrain s.l.)



TYPES DE MOUVEMENTS DE PENTE (LANDSLIDES)

Mouvements dus à la décompression (rebond) ou à la compression (tassement), fluage

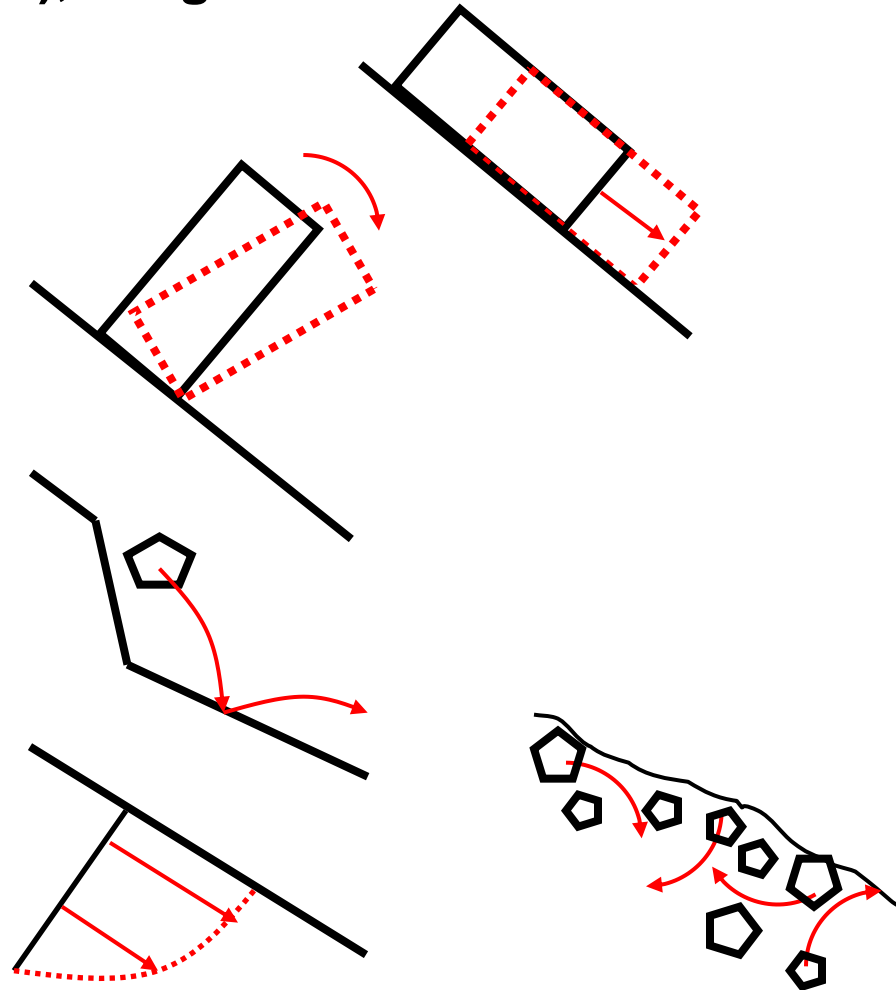
Glissement
(Slide)

Basculement
(Topple)

Chute ou éboulement (Fall)

Ecoulement
(Flow)

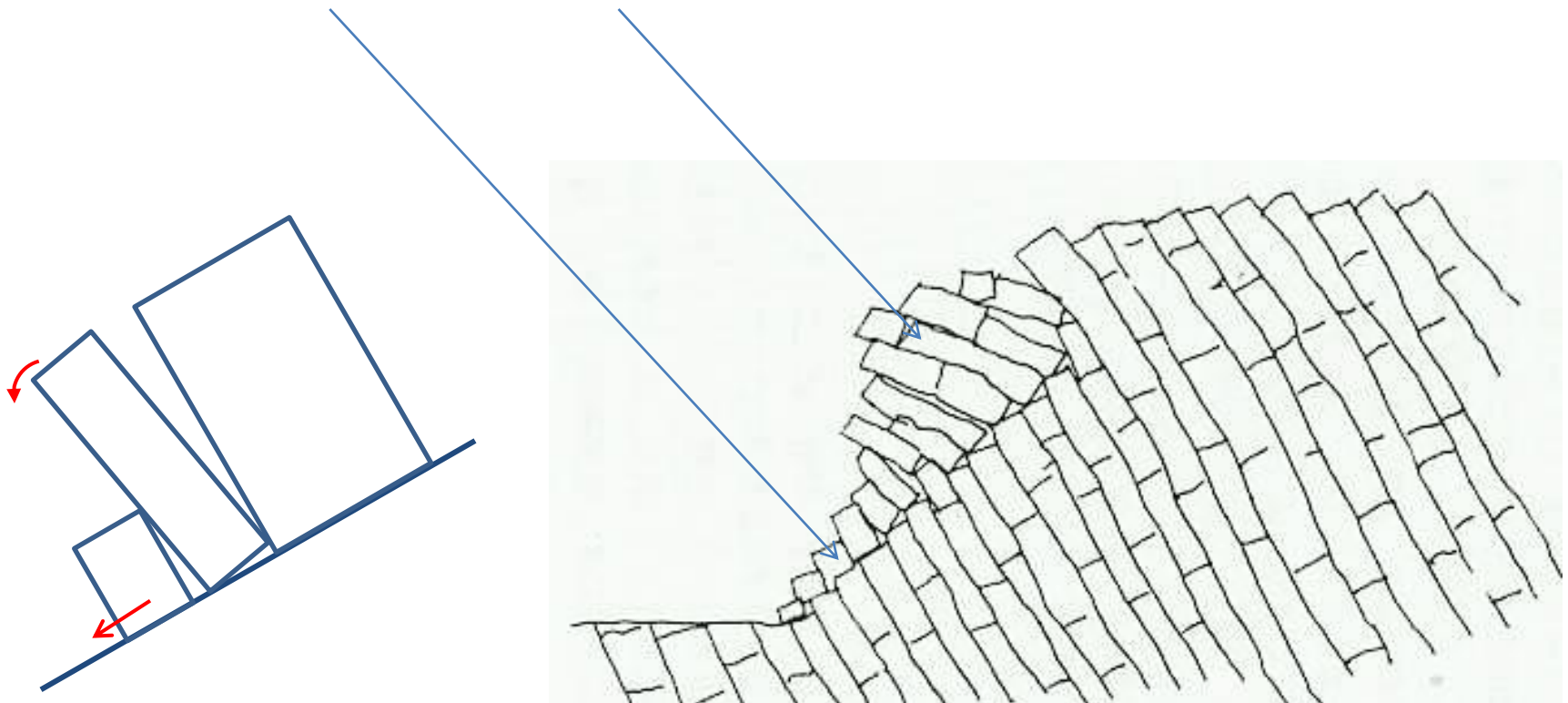
Mouvements composites



TYPES DE MOUVEMENTS DE PENTE (LANDSLIDES)

Deux mécanismes élémentaires peuvent agir simultanément dans un même mouvement (mouvement **composite**)

Exemple : **glissement** et **basculement**

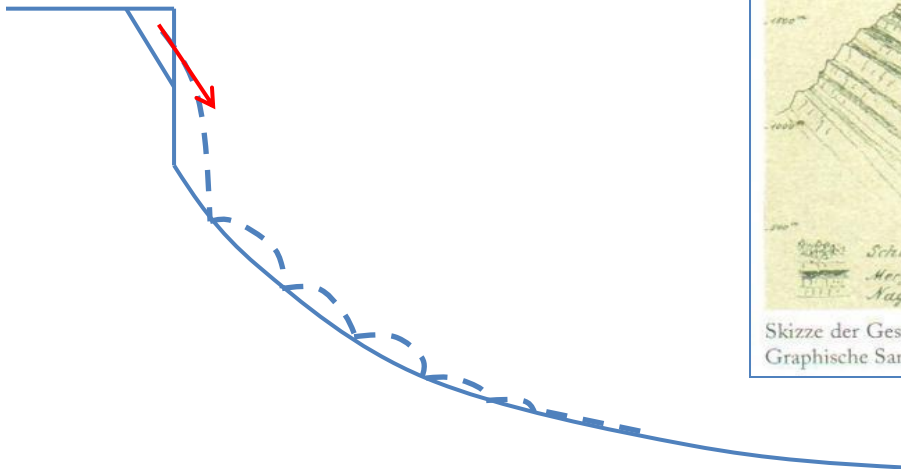


TYPES DE MOUVEMENTS DE PENTE (LANDSLIDES)

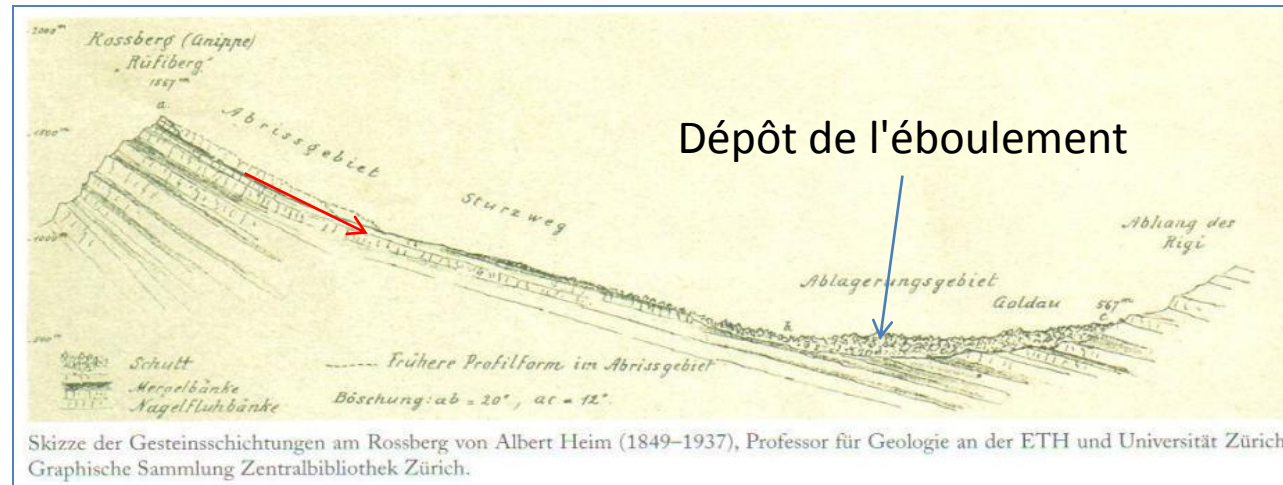
Deux mécanismes élémentaires peuvent se succéder dans un même mouvement (mouvement **complexe**)

Exemple : glissement éboulement

Glissement perché : la masse en glissement chute dans le vide, rebondit (en se fractionnant) et roule dans la pente



Glissement non "perché" : la masse en glissement se disloque et les blocs se mettent à rouler à grande vitesse



MOUVEMENTS DUS A LA DECOMPRESSION OU A LA COMPRESSION

Pentes excavées (érosion, homme)

Etat initial :

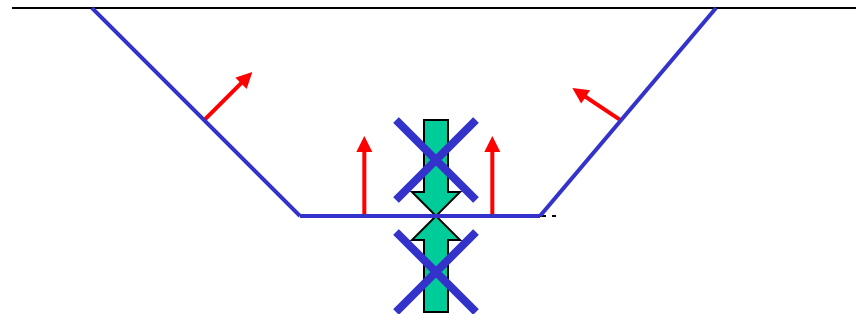
contraintes de compression

Excavation :

Décompression

Expansion du massif

(rebond élastique)



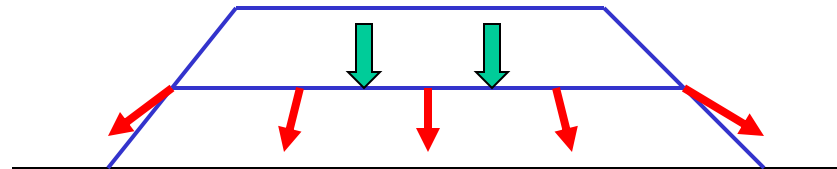
MOUVEMENTS DUS A LA DECOMPRESSION OU A LA COMPRESSION

Pentes construites (terrils, volcans, ...)

Construction :

Compression

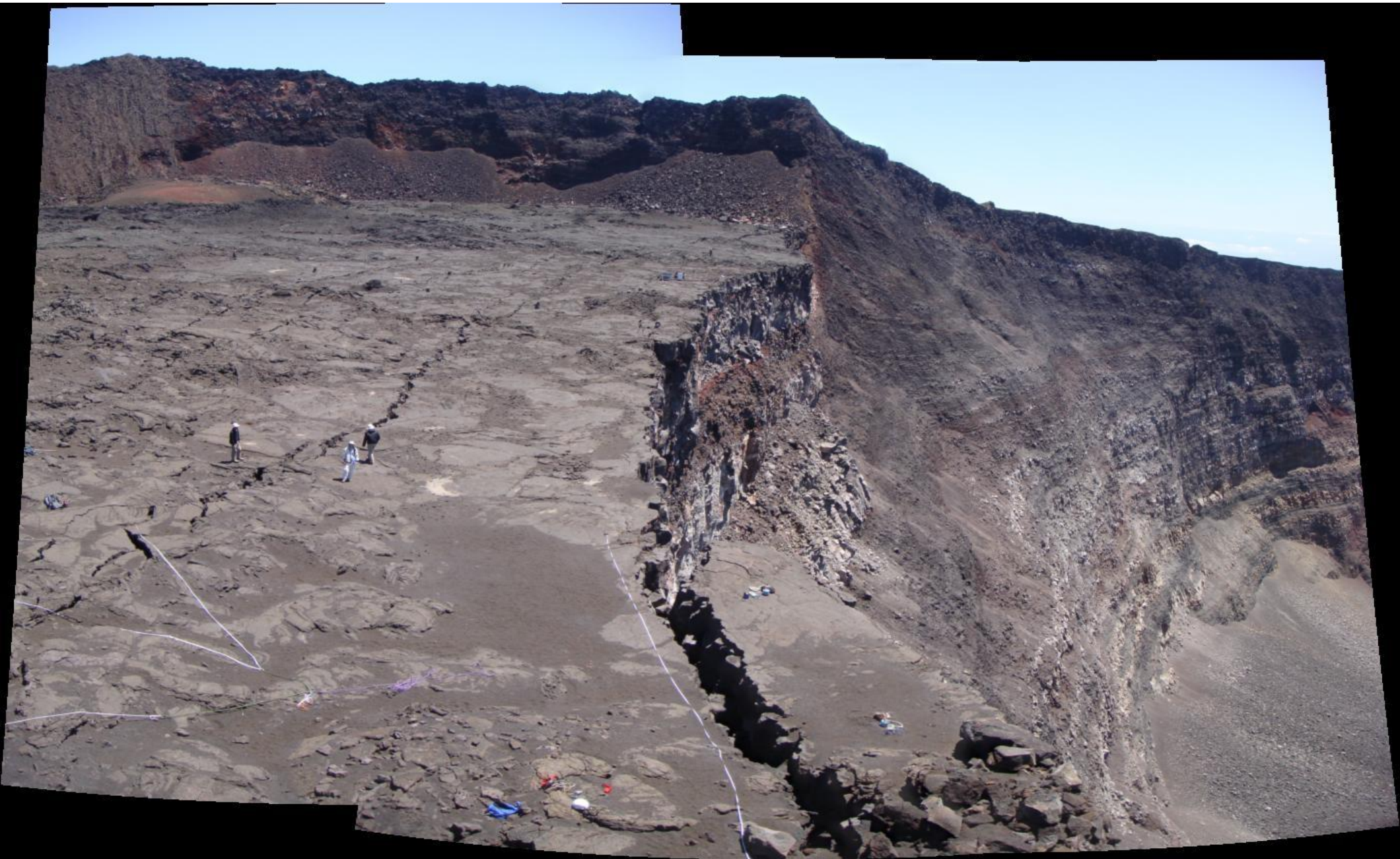
Tassement



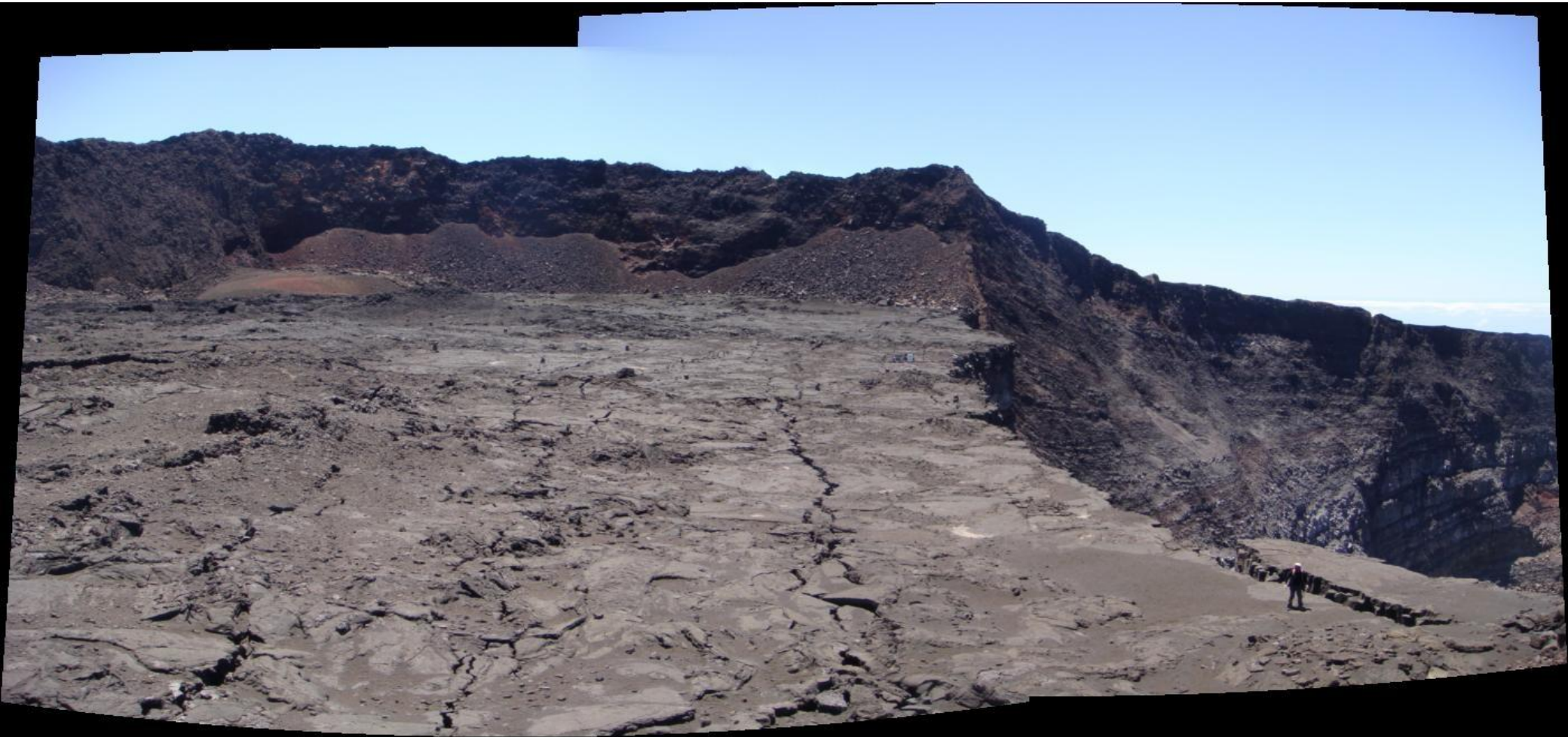
MOUVEMENTS DUS A LA DECOMPRESSION

Les fissures témoignent de la **décompression** autour du cratère d'effondrement du Piton de la Fournaise (Ile de la Réunion)

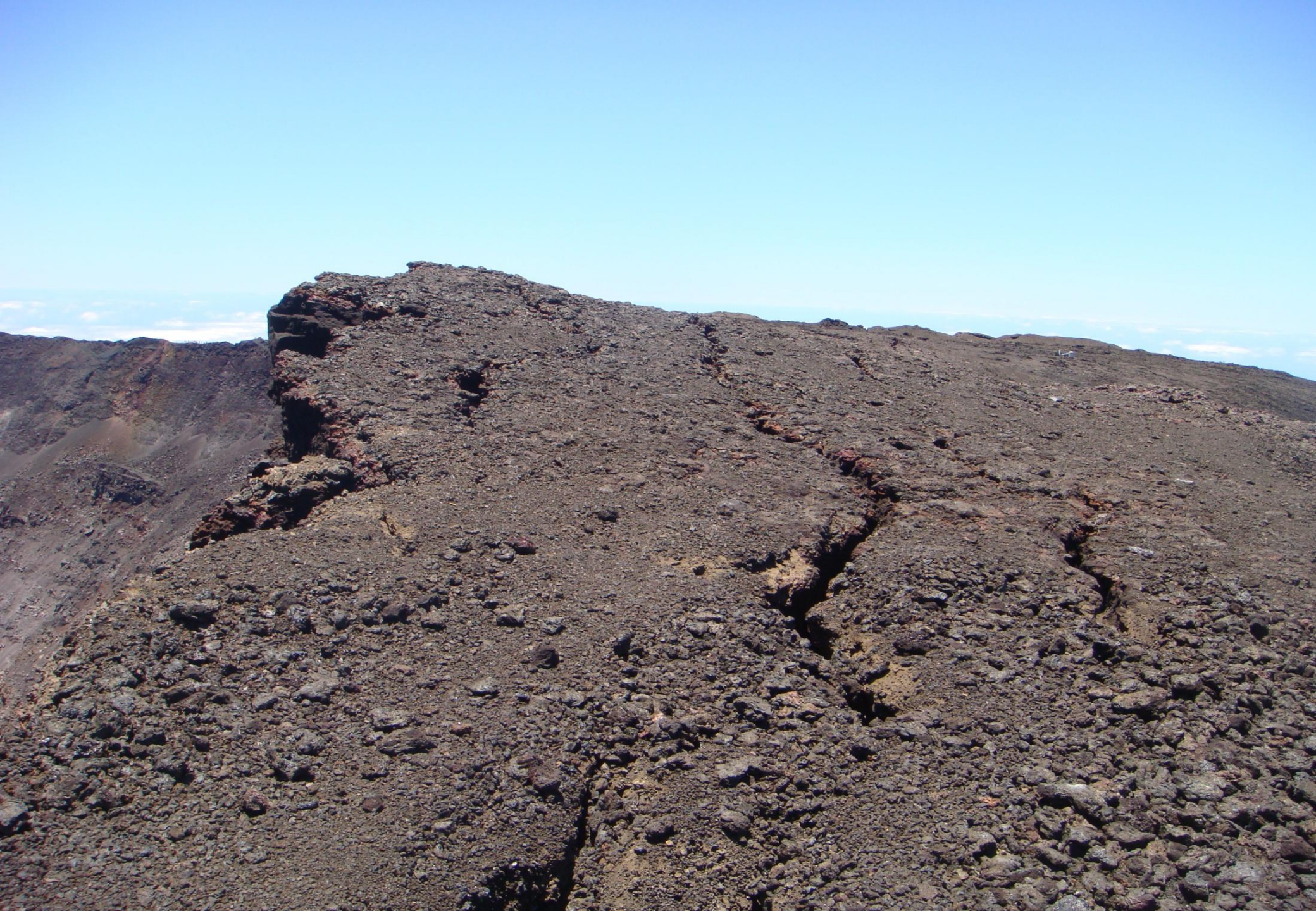














Mine de cuivre de Palabora, Afrique du Sud

(la plus grande mine à ciel ouvert et le plus grand trou artificiel au monde avec 2.000 mètres de diamètre et 762 mètres de profondeur)

RMR : 75-90

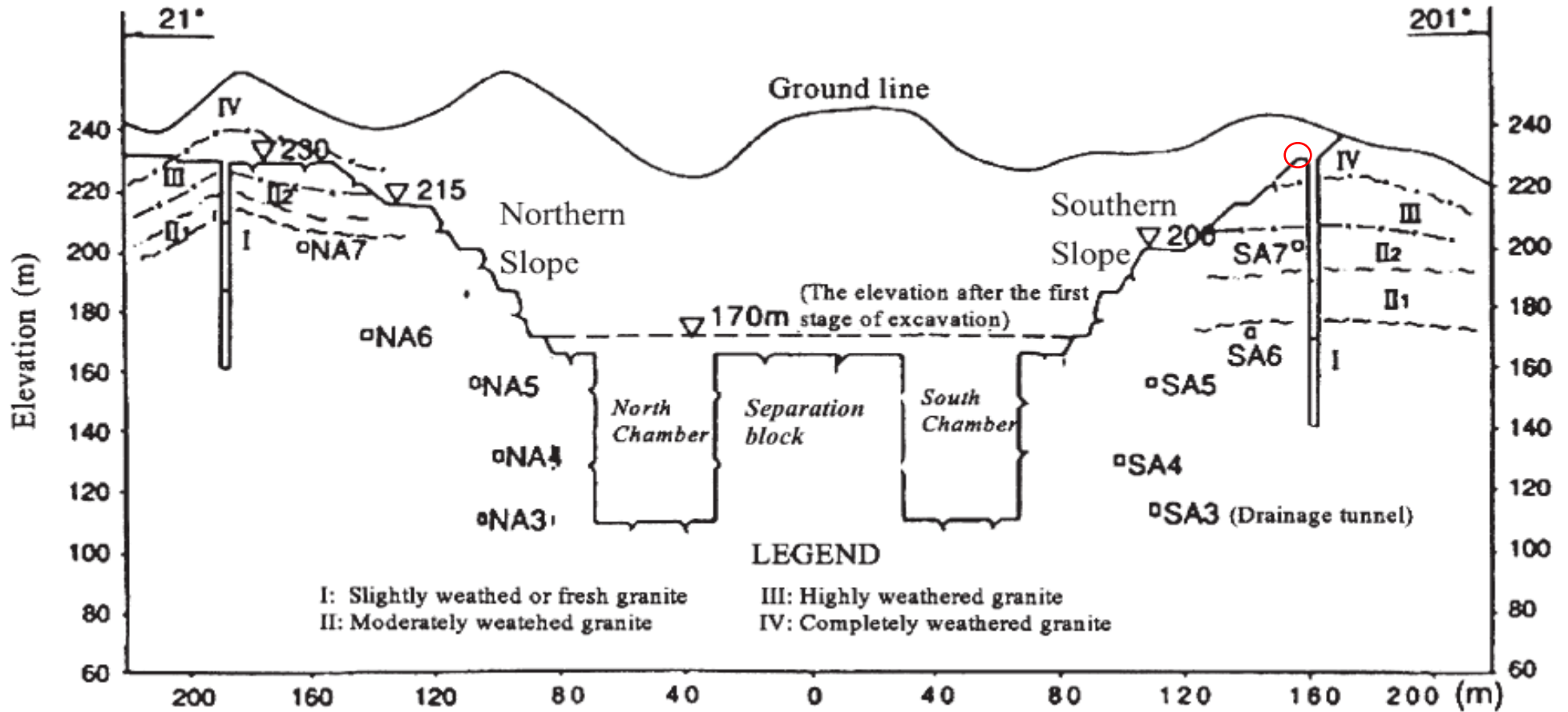
Le rebond horizontal atteint 150 mm (d'après Zavodni, 2000)



Il atteint 500 mm à la mine d'or de Goldstrike, Nevada
(profondeur : 400 m ; RMR : 30-50)

Ecluse du barrage des Trois Gorges (Chine)

(d'après Sheng et al., 2002)





Ecluse du barrage des Trois Gorges (Chine)

(d'après Chen et al., 2001)

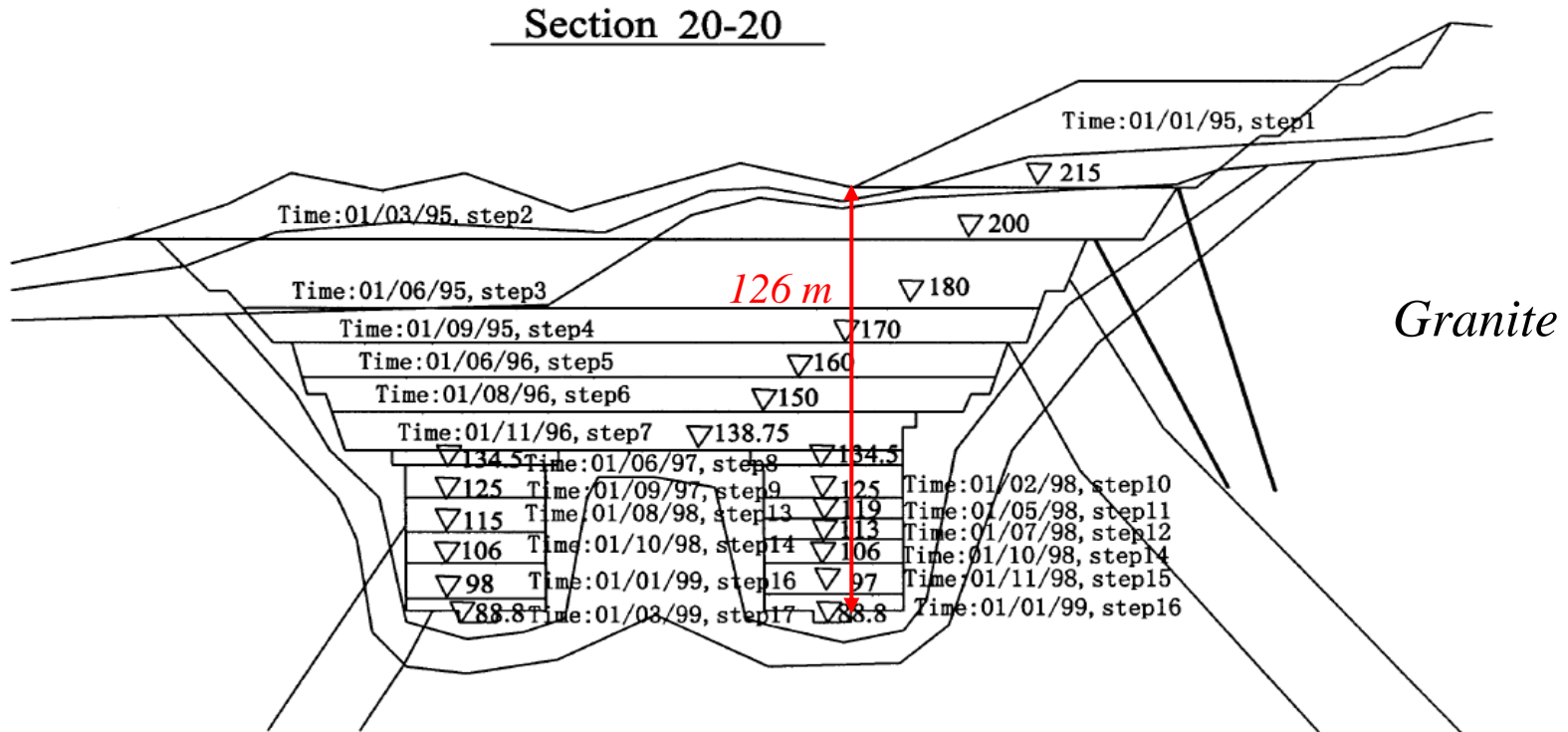


Fig. 4. The excavation levels and the corresponding dates

Ecluse du barrage des Trois Gorges (Chine)

(d'après Chen et al., 2001)

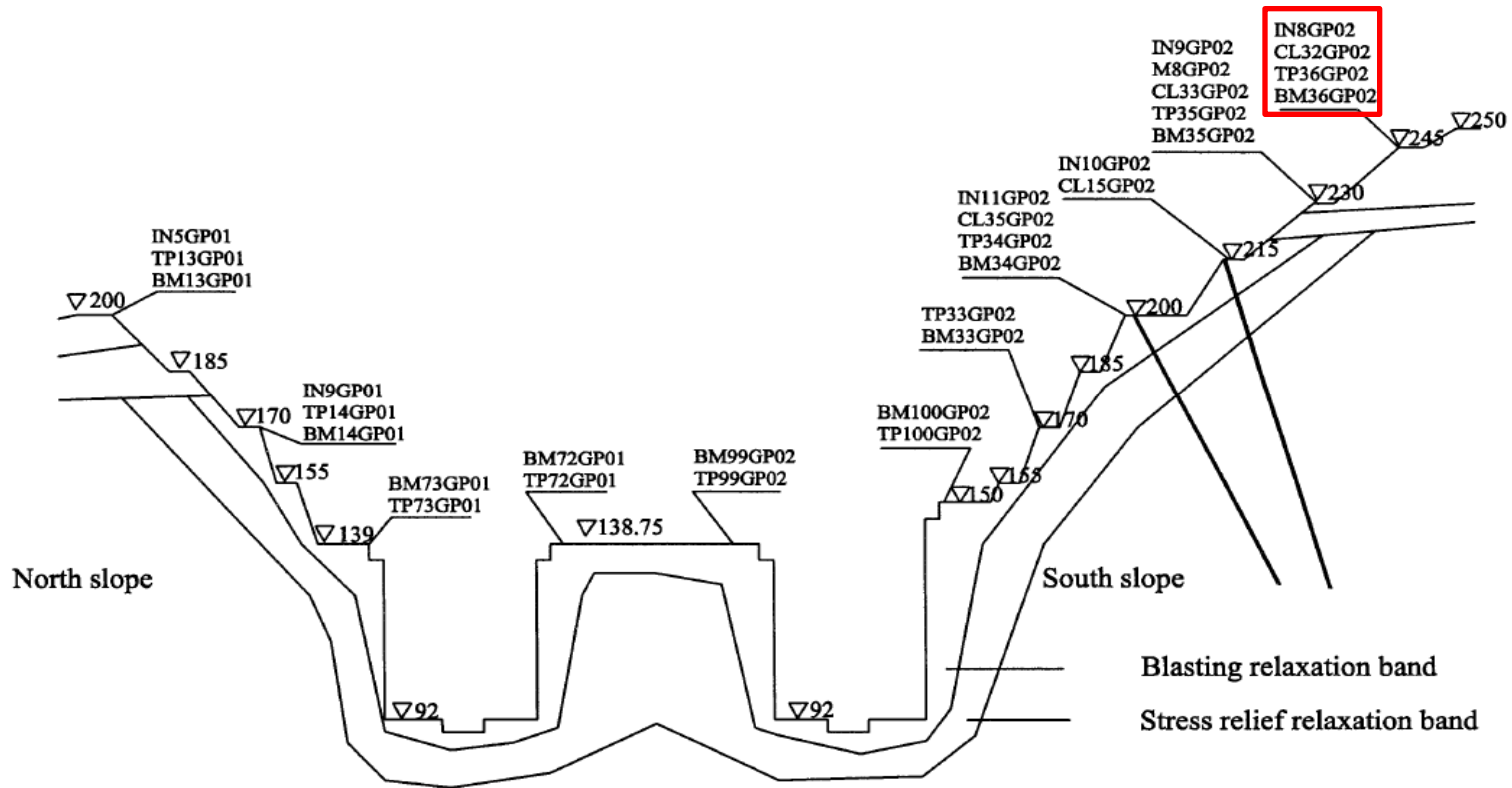


Fig. 2. Layout of the monitoring points of the section 20-20

Ecluse du barrage des Trois Gorges (Chine)

(d'après Chen et al., 2001)

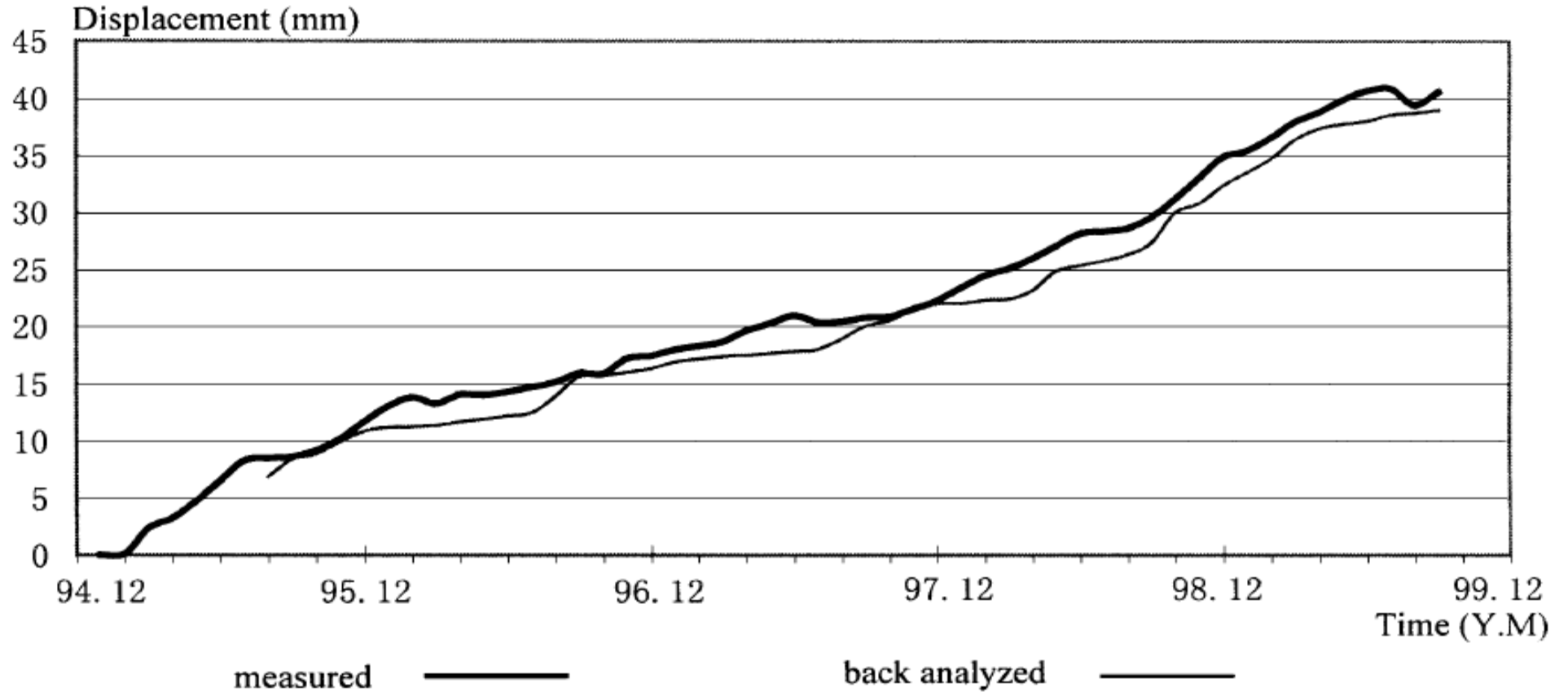
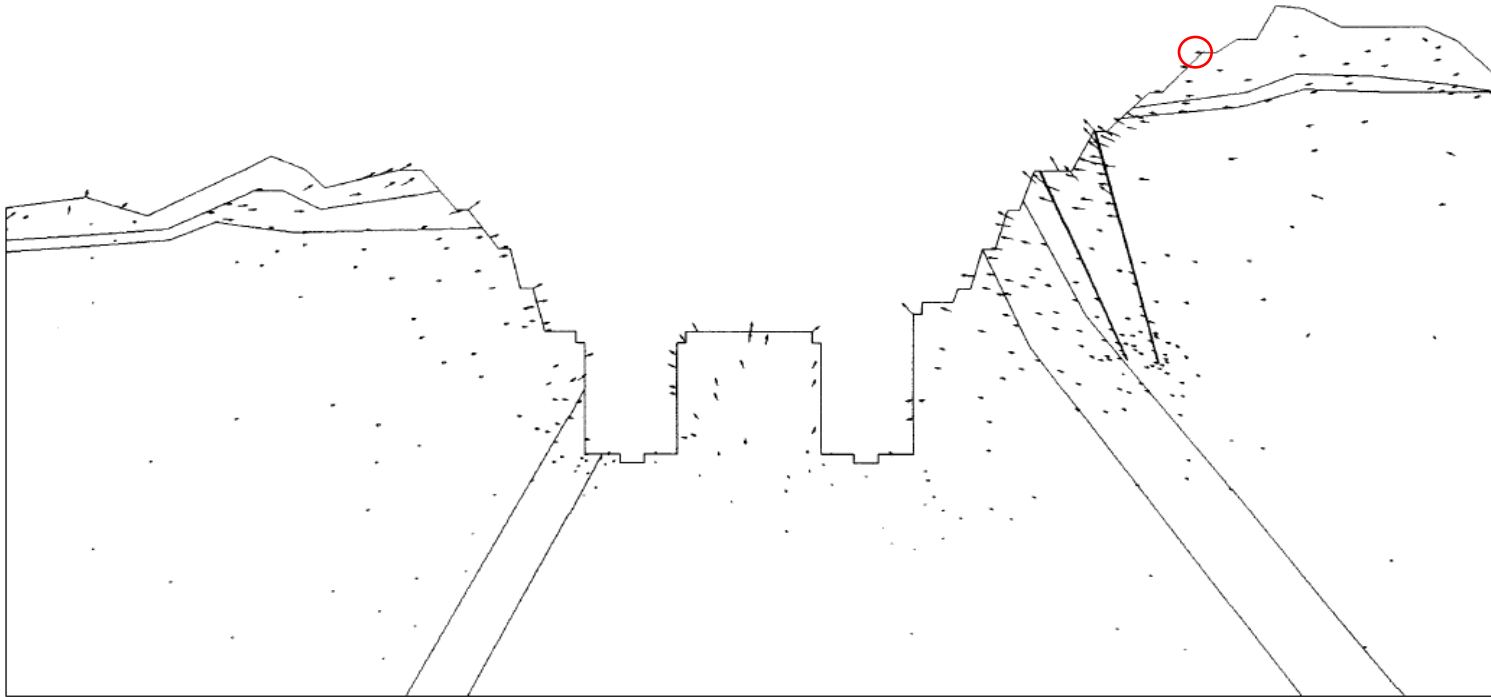


Fig. 11. Horizontal displacement at TP/BM36GP02

Ecluse du barrage des Trois Gorges (Chine)

(d'après Chen et al., 2001)

Déplacements modélisés par éléments finis
(quelques cm)

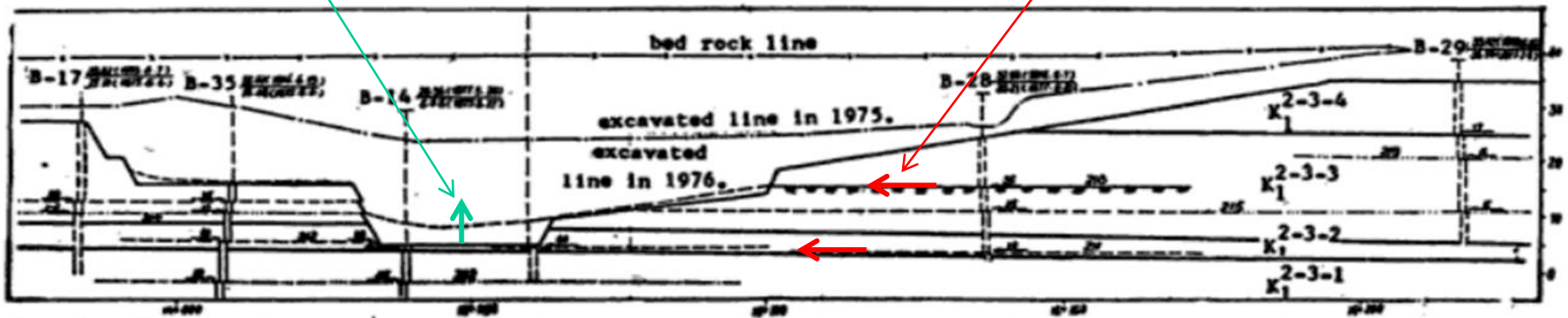


Fondation d'une centrale électrique sur le Yangtse (Chine)

(d'après Chou et al, 1986)

Rebond élastique vertical : 4 cm

Rebonds élastiques horizontaux aux interfaces :
jusqu'à 17 cm



FLUAGE



Dans les versants schisteux de Maurienne, les murs des maisons fissurées devaient être régulièrement réparés, mais leur toit reposait sur des poteaux en bois indépendants des murs, qui pouvaient être déplacés en fonction des mouvements du sol, limitant ainsi l'endommagement de la toiture (photo D. Cordary)

FLUAGE

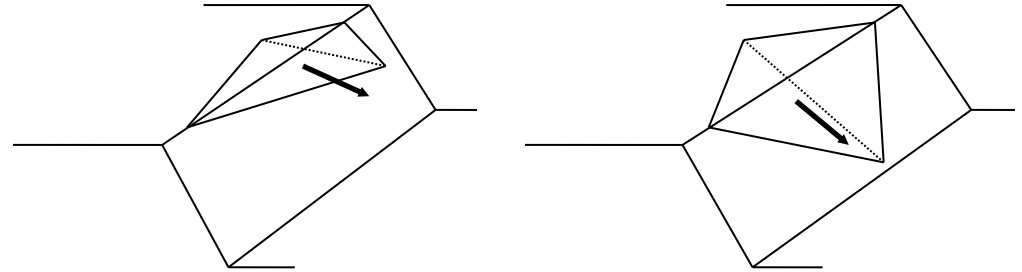


Route déformée par le fluage du versant (Seyssins, Isère).

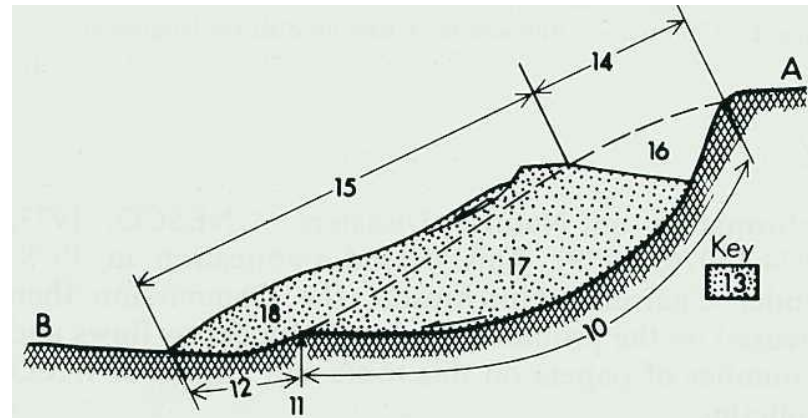
GLISSEMENTS (*SLIDES*)

Glissements translationnels
(*translational slide*)

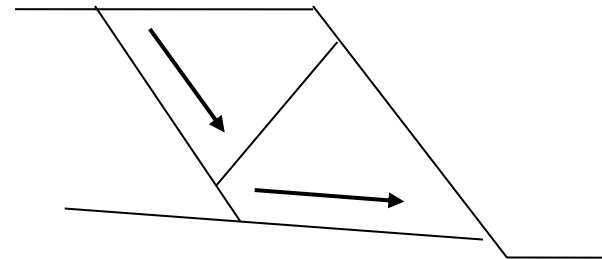
- sur 1 plan ou 1 famille de plans
- sur 2 plans ou 2 familles de plans



Glissements rotationnels
(*rotational slide*)



Glissements fractionnés
(*compound slide*)



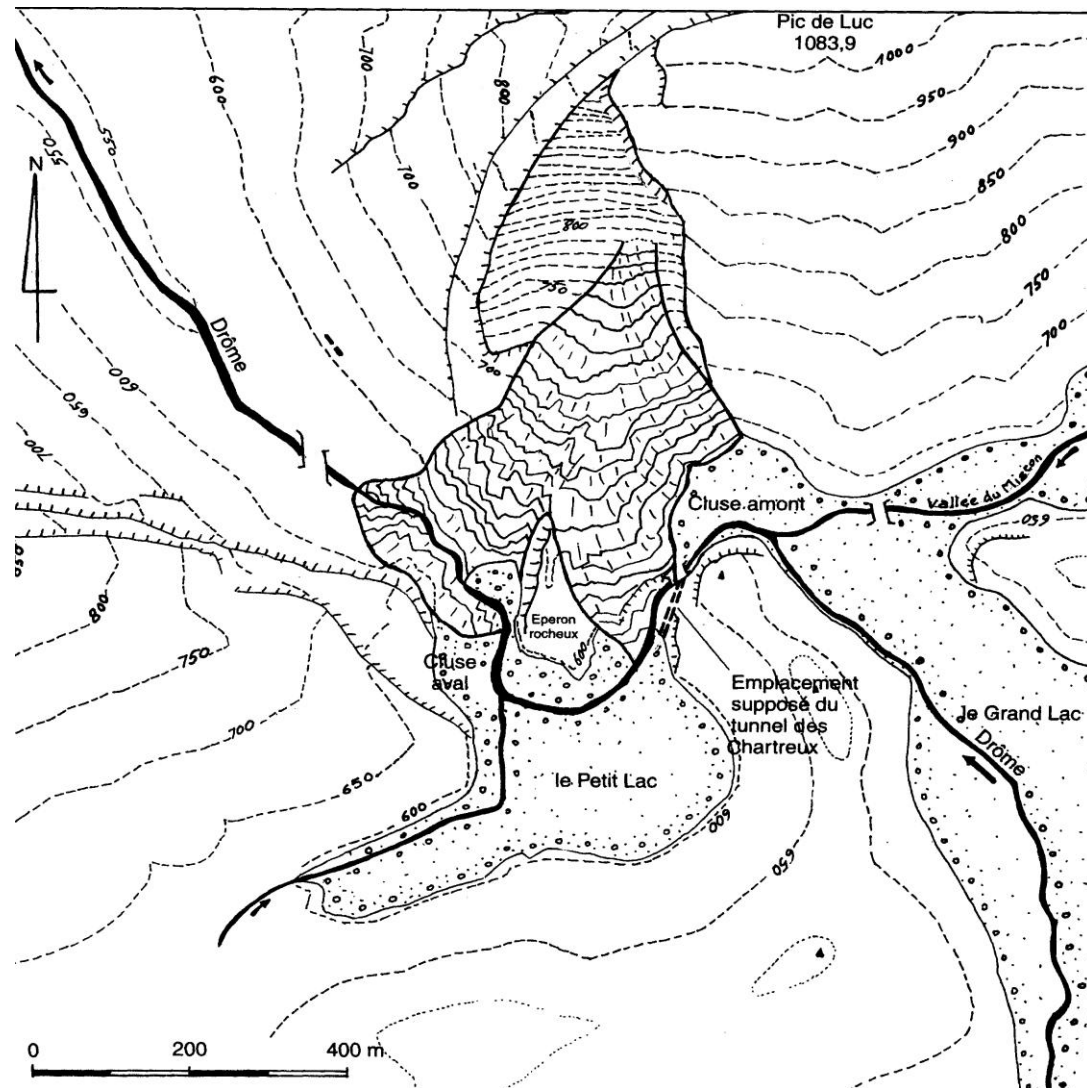
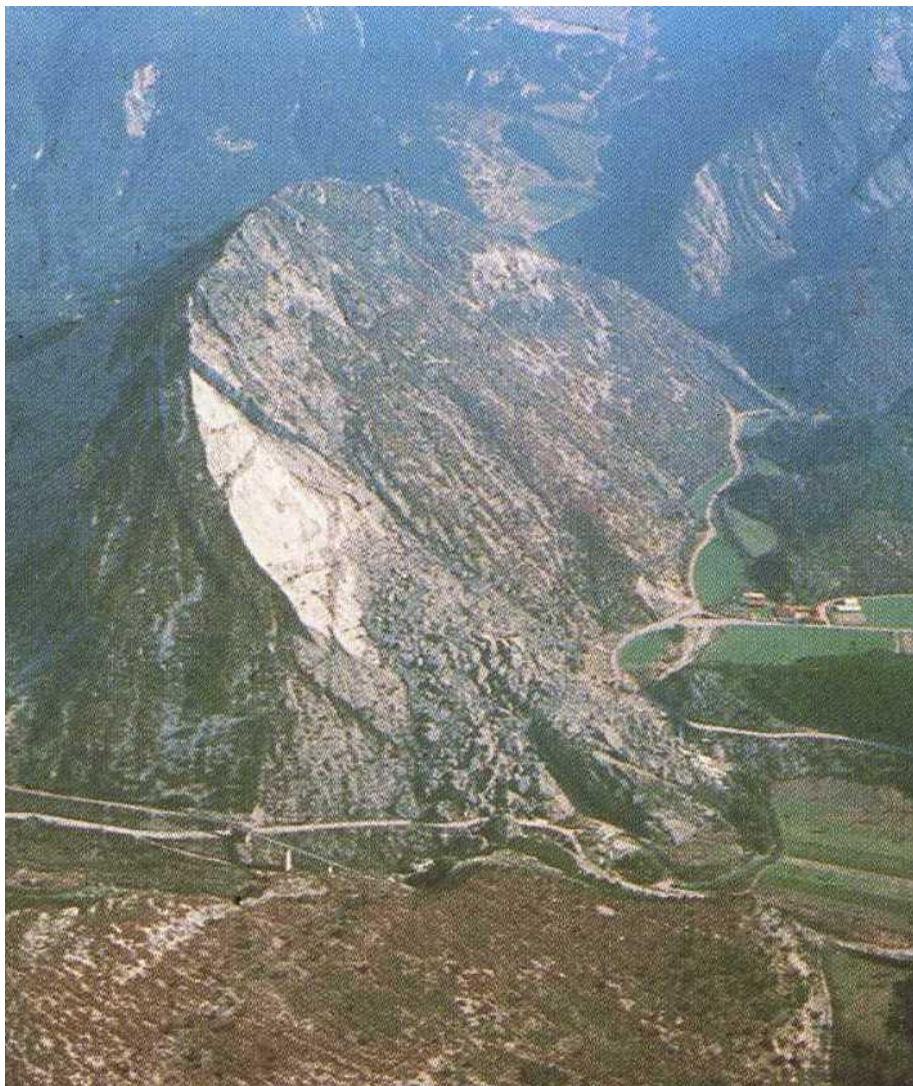
GLISSEMENT-ÉBOULEMENT DE LUC-EN-DIOIS (1442)
VOLUME : 1,1 hm³



Glissement translationnel de bancs calcaires. Les bancs ont glissé sur la dalle claire, avant de se disloquer et de former un amas de blocs, qui a barré la Drôme et provoqué la formation d'un lac. Ce lac a été vidangé au début du 20^{ème} siècle pour permettre un usage agricole

GLISSEMENT-BOULEMEMENT DE LUC-EN-DIOIS (1442)

VOLUME : 1,1 hm³



Glissement-éboulement de Comboire
(06/02/1995) 4000 m³



Surface de rupture en escalier

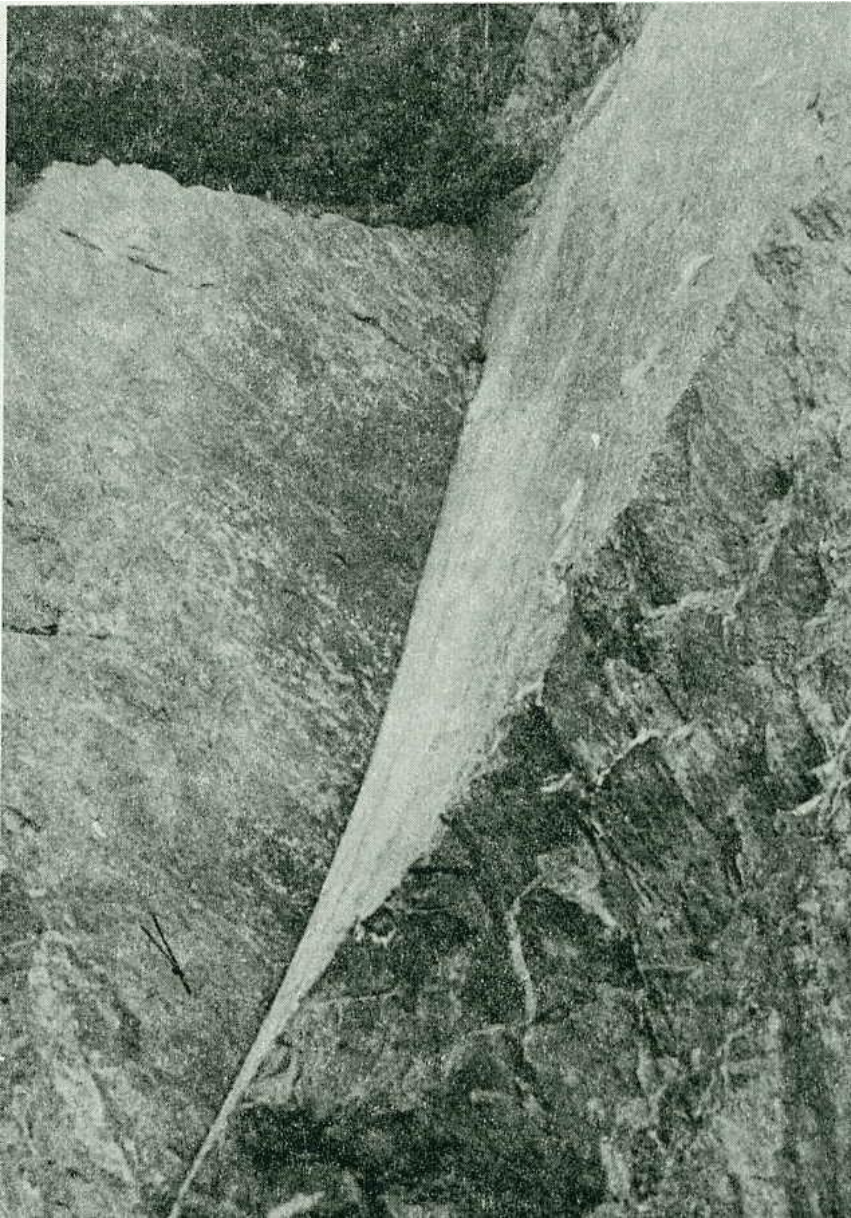
Surface de rupture potentielle

Glissement sur 2 familles de plans (*stepped wedge slide*)

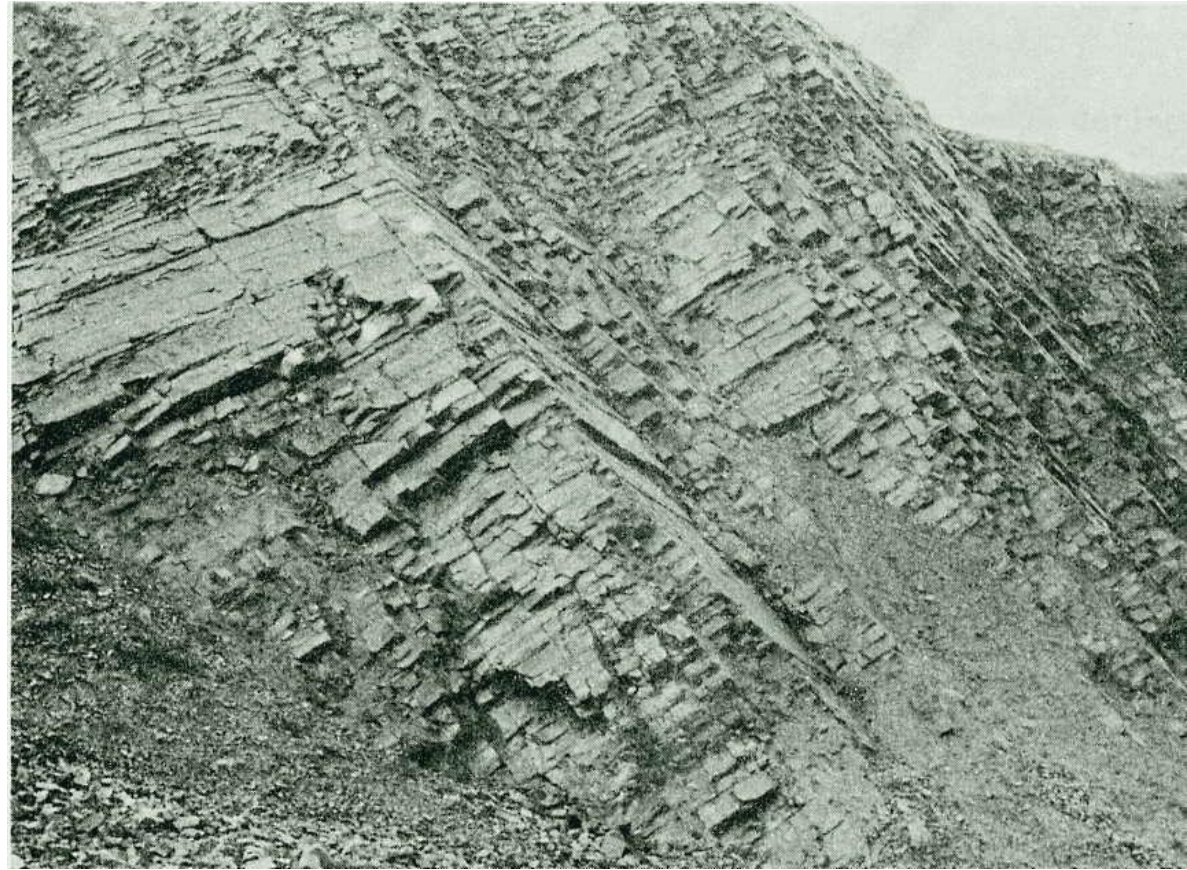


Glissement sur deux plans dans une paroi calcaire (gorges de la Bourne, Isère). Le glissement, suivi d'une chute, a laissé une cicatrice jaune, qui contraste avec la patine grise de la paroi.

Glissement sur 2 plans
(*wedge slide*)

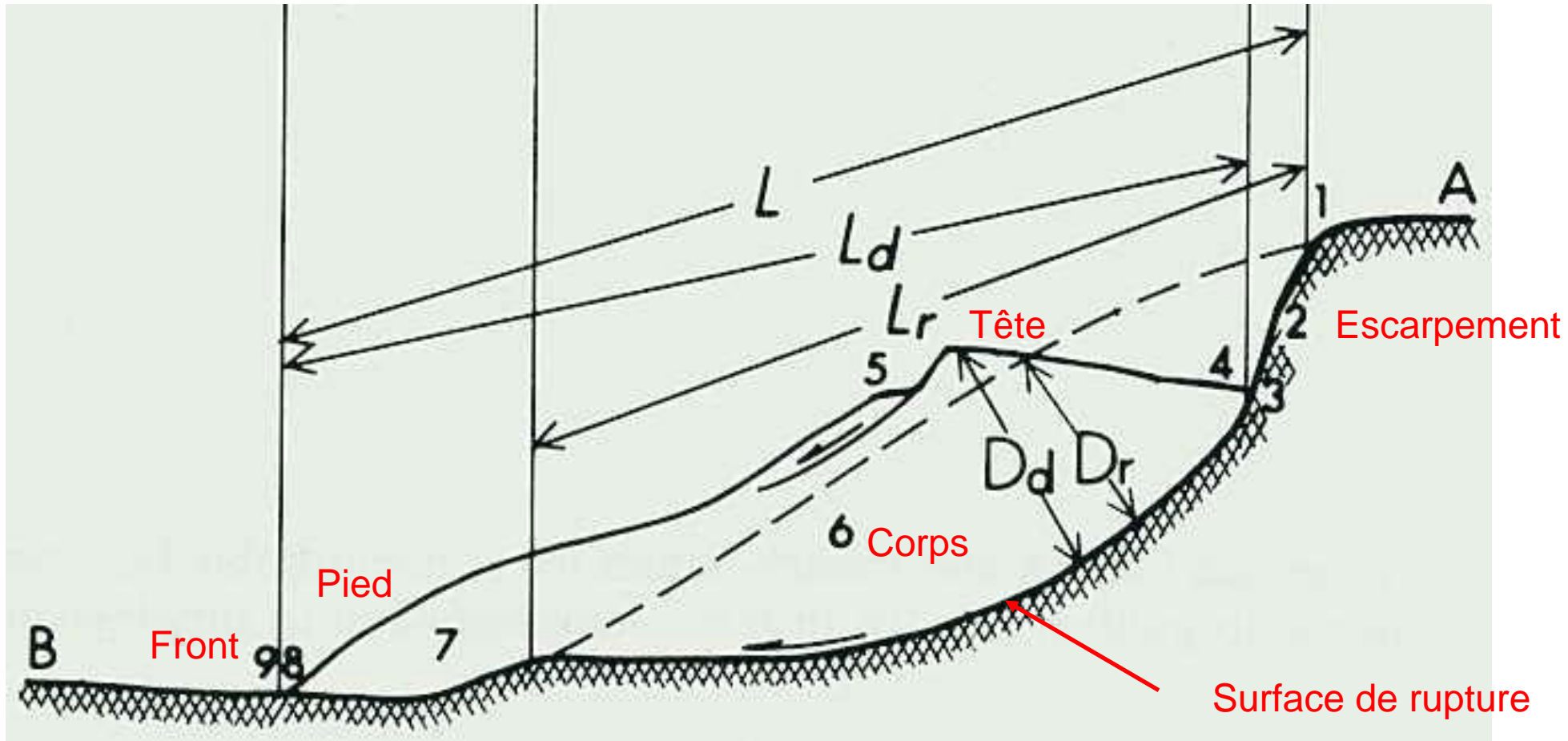


Glissement sur 2 familles de plans
(*stepped wedge slide*)



(d'après Hoek et Bray, *Rock Slope Engineering*, IMM, 1977)

GLISSEMENTS ROTATIONNELS (ROTATIONAL SLIDES)



L : longueur totale du glissement ; L_r , D_r : longueur et profondeur de la surface de rupture ;
 L_d , D_d : longueur et profondeur de la masse glissée

d'après IAEG, Bull. of Engineering Geology, n°41, 1990

GLISSEMENTS ROTATIONNELS (*ROTATIONAL SLIDES*)



Glissement rotationnel dans un sol argileux (combe des Eparres, Isère). *Photo D. Mazet-Brachet.*

Glissement de Feterne (74), 15-22 mars 2001, 45 hm²
10 constructions détruites, 40 inhabitables

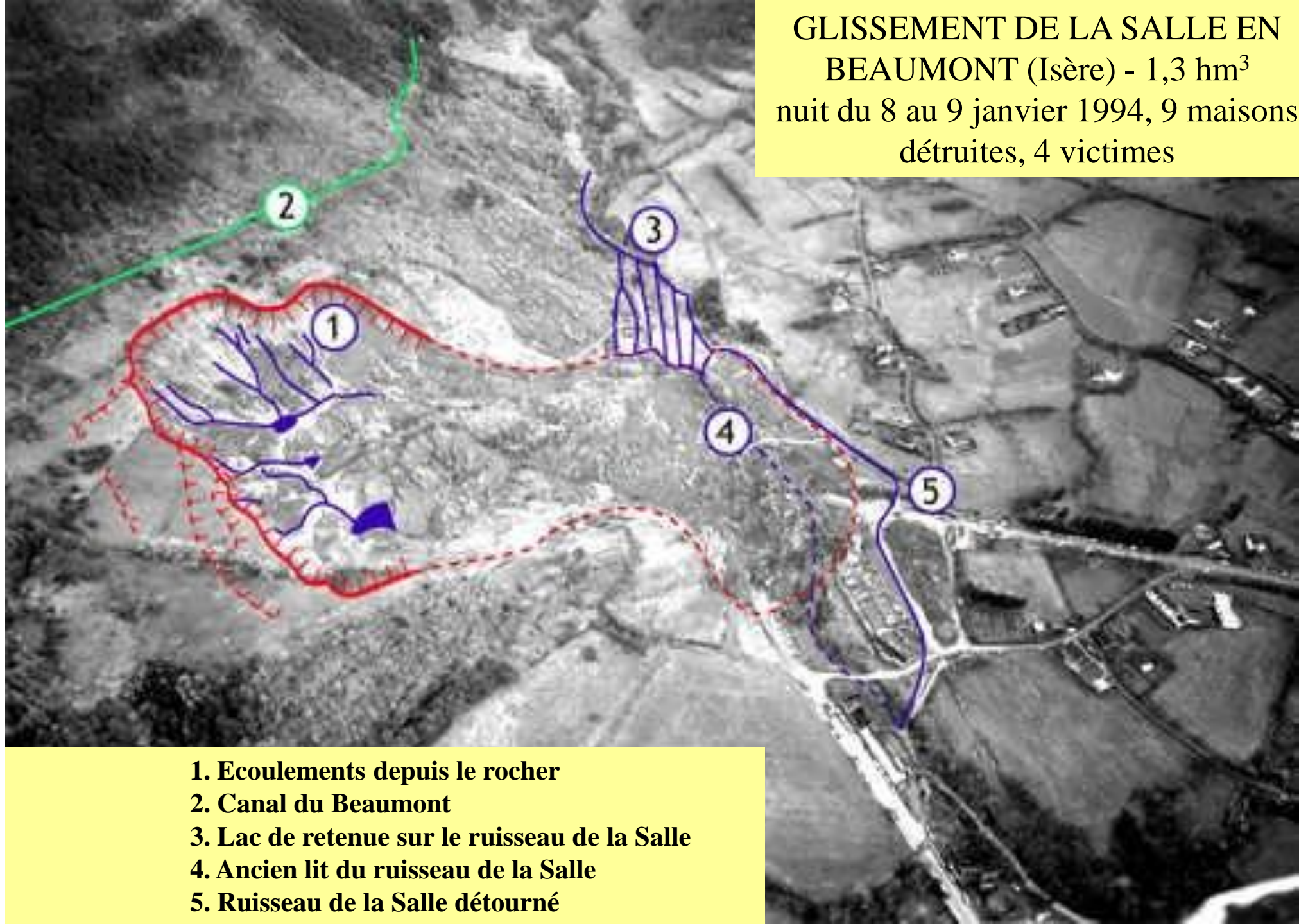


Surface de glissement à 30-35 m dans des argiles glacio-lacustres

Glissement de Feterne (74), 15-22 mars 2001, 45 hm², 10 constructions détruites, 40 inhabitables



**GLISSEMENT DE LA SALLE EN
BEAUMONT (Isère) - 1,3 hm³
nuit du 8 au 9 janvier 1994, 9 maisons
détruites, 4 victimes**



- 1. Ecoulements depuis le rocher**
- 2. Canal du Beaumont**
- 3. Lac de retenue sur le ruisseau de la Salle**
- 4. Ancien lit du ruisseau de la Salle**
- 5. Ruisseau de la Salle détourné**

GLISSEMENT DE LA SALLE EN BEAUMONT (Isère) - 1,3 hm³
nuit du 8 au 9 janvier 1994, 9 maisons détruites, 4 victimes



Photo D. Mazet-Brachet

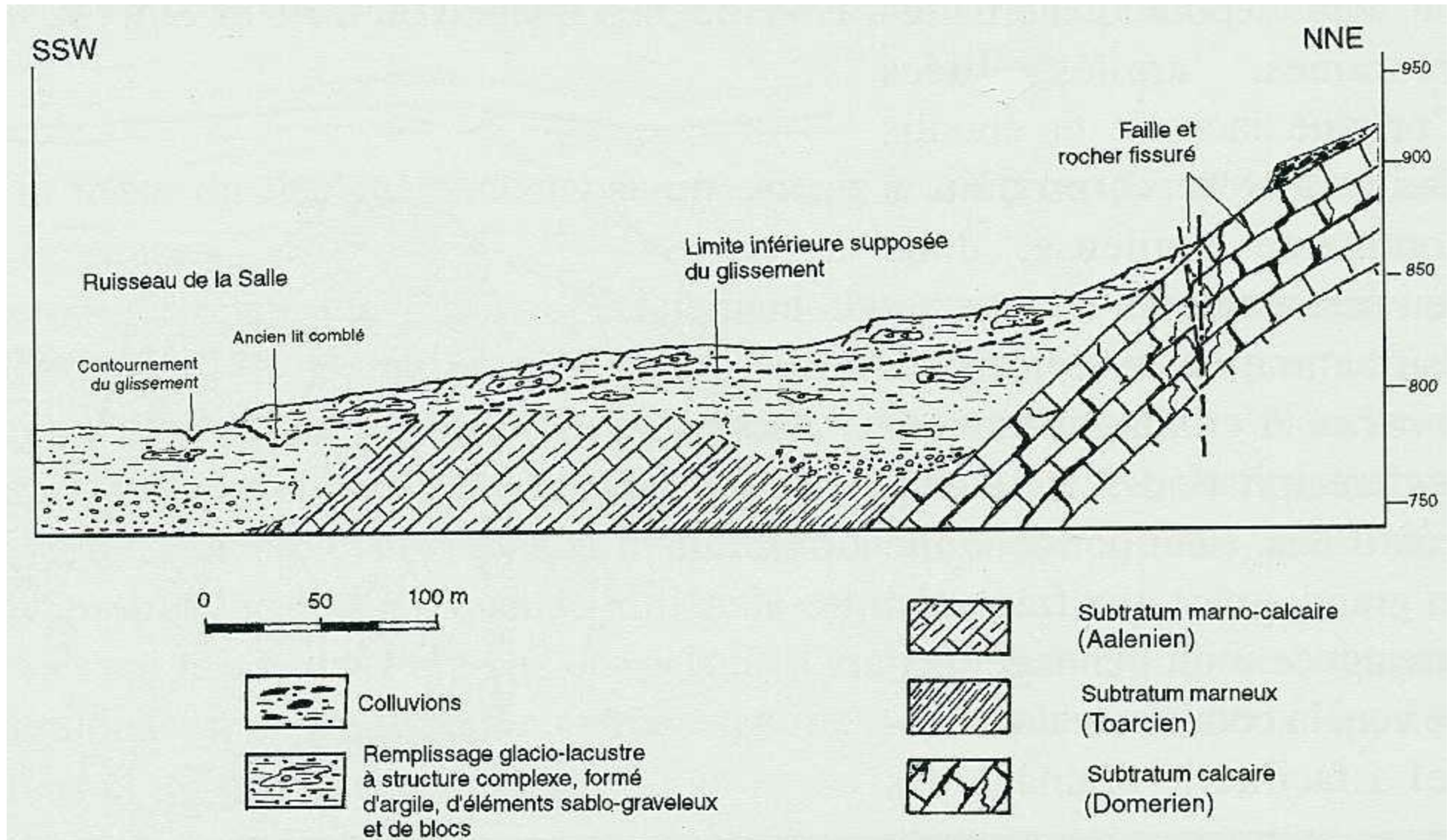
GLISSEMENT DE LA SALLE EN BEAUMONT (Isère) - 1,3 hm³
nuit du 8 au 9 janvier 1994, 9 maisons détruites, 4 victimes



GLISSEMENT DE LA SALLE EN BEAUMONT (Isère) - 1,3 hm³
nuit du 8 au 9 janvier 1994, 9 maisons détruites, 4 victimes



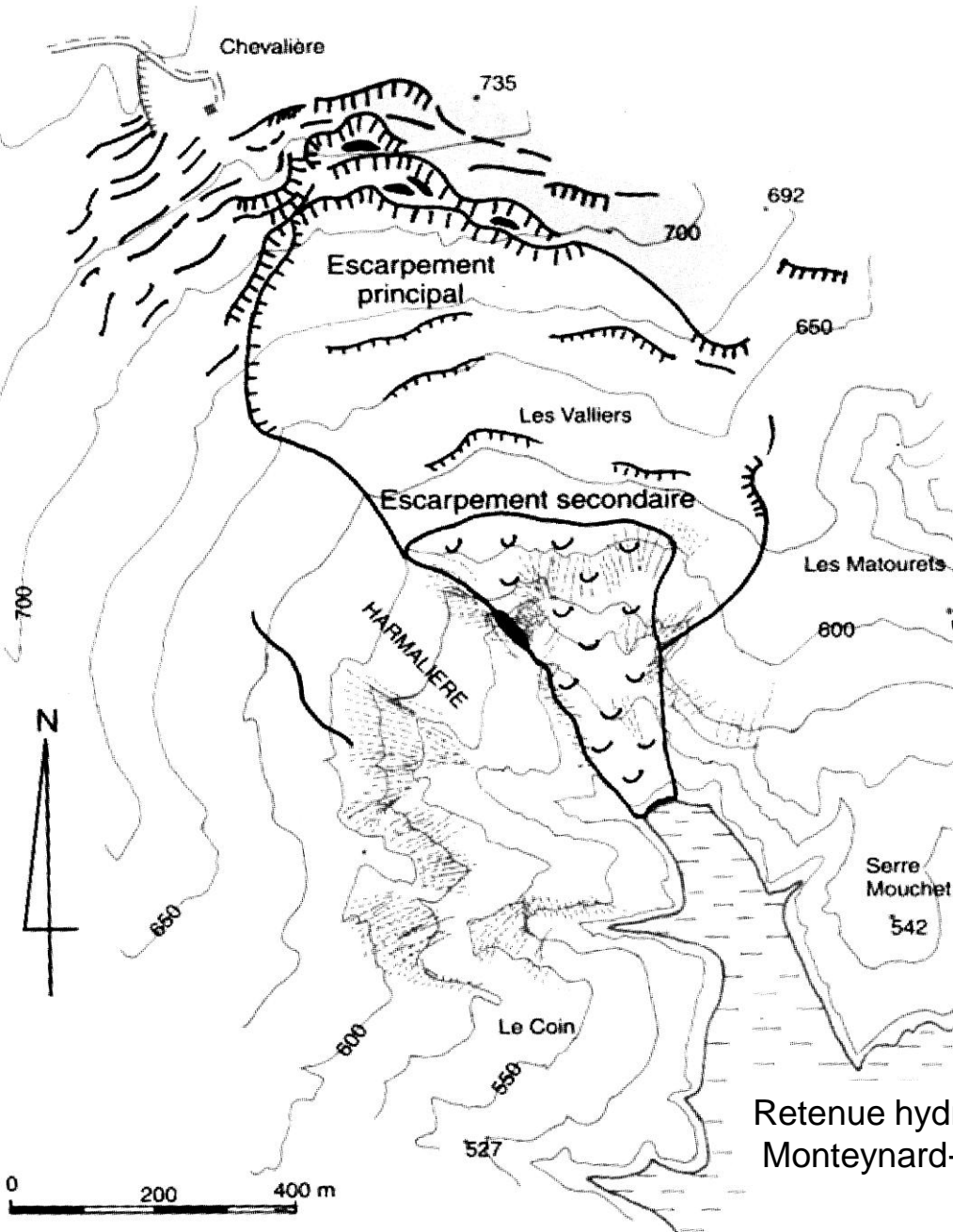
GLISSEMENT DE LA SALLE EN BEAUMONT (Isère) - 1,3 hm³ nuit du 8 au 9 janvier 1994, 9 maisons détruites, 4 victimes



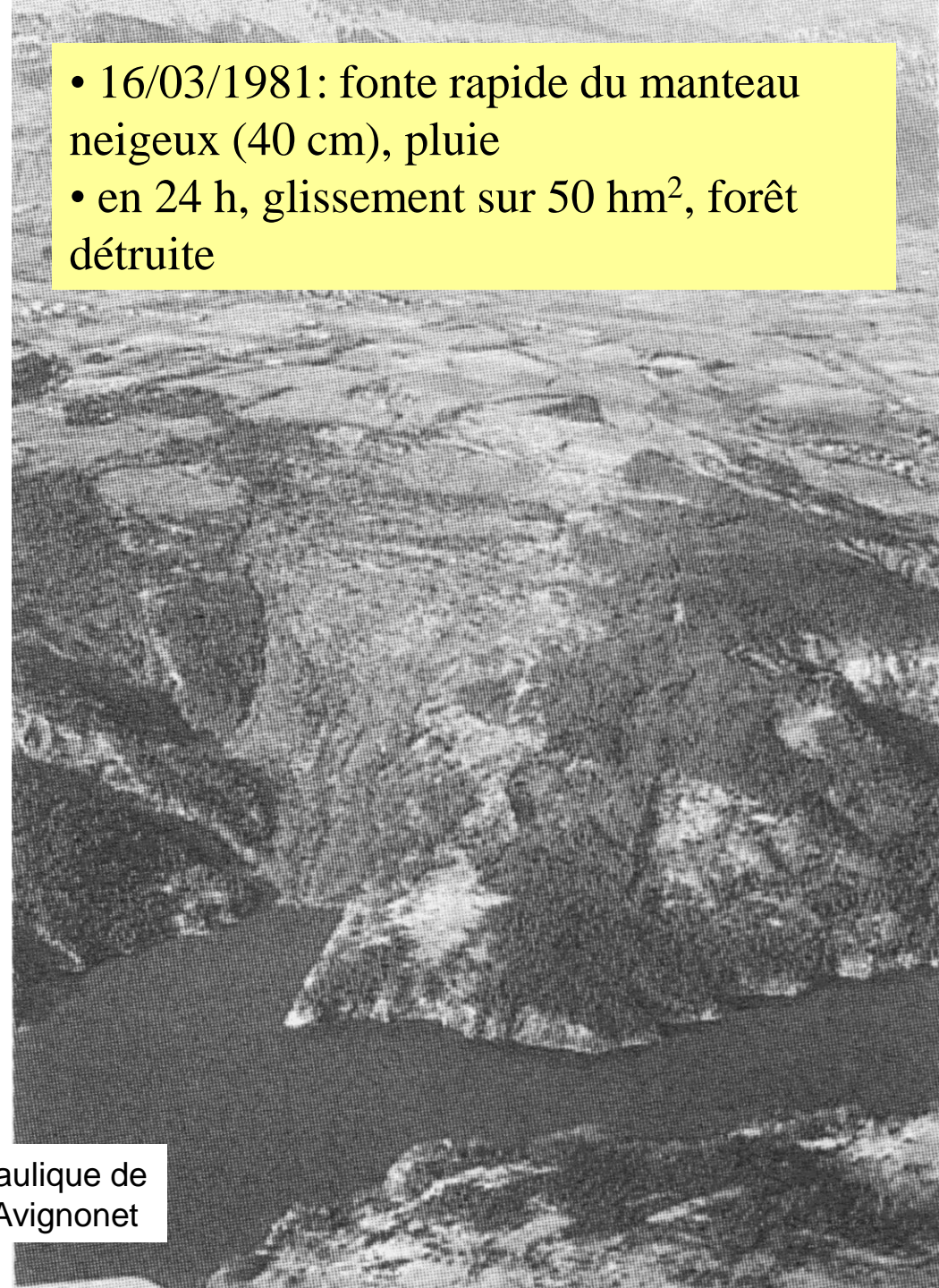
D'après L. Besson, les risques naturels en montagne, Artès-Publialp, 1996.

GLISSEMENT DE L'HARMALIERE

(Sinard, Isère)



- 16/03/1981: fonte rapide du manteau neigeux (40 cm), pluie
- en 24 h, glissement sur 50 hm², forêt détruite



Retenue hydraulique de Monteynard-Avignonet

GLISSEMENT DE L'HARMALIERE (Sinard, Isère)



Avril 2003

Harmalière, 19/04/01



GLISSEMENT DE LA CLAPIERE (Alpes Maritimes) 50 hm³



Octobre 1976



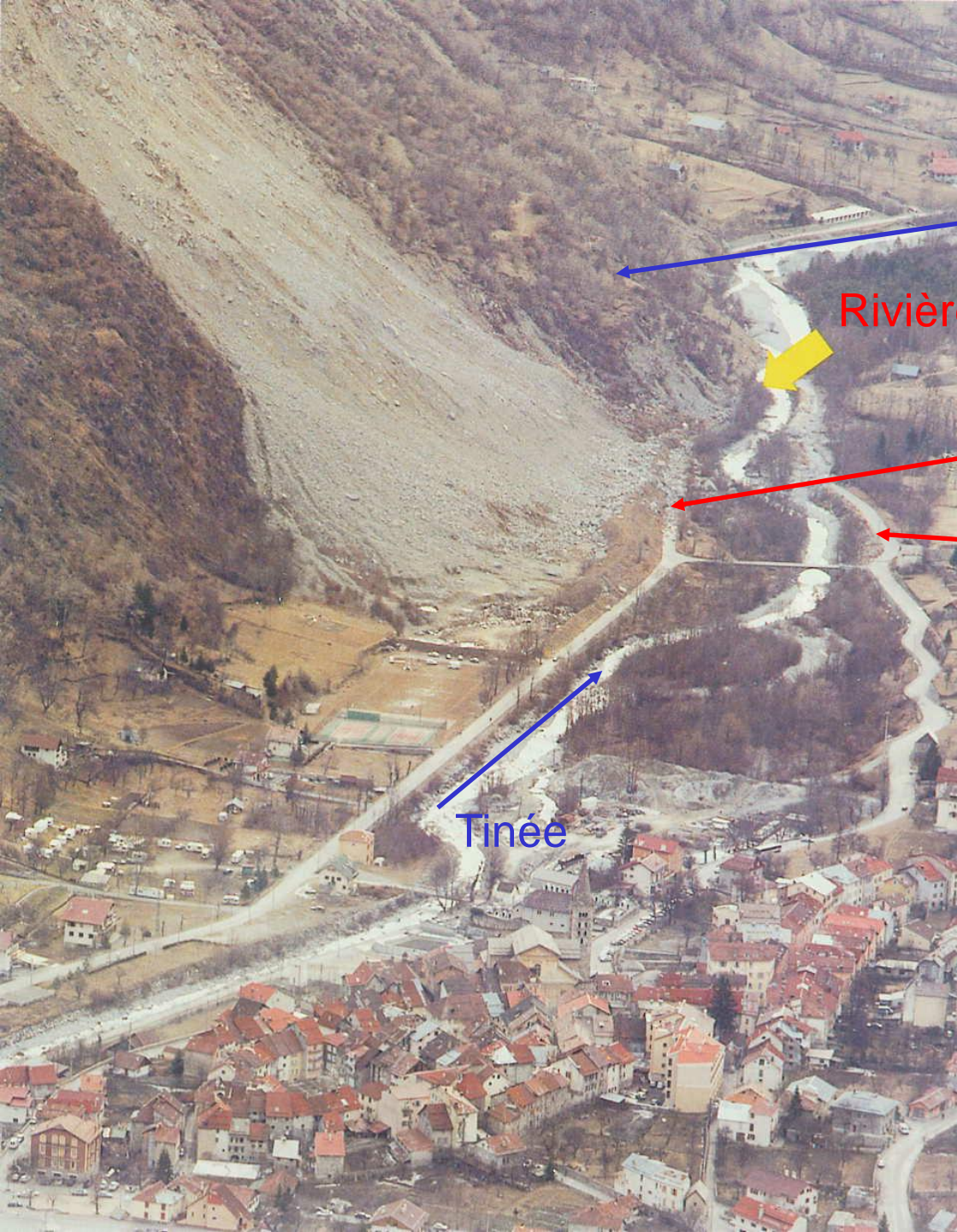
Août 1988



Décembre 1994

Glissement de La Clapière (Alpes Maritimes). Le pied du glissement (de type rotationnel) a repoussé la rivière (la Tinée), mais sans barrer complètement la vallée. Le déplacement total, depuis 1976, est de l'ordre d'une centaine de mètres.

Glissement de La Clapière



Pied du glissement

Rivière repoussée par le front du glissement

Ancienne route détruite

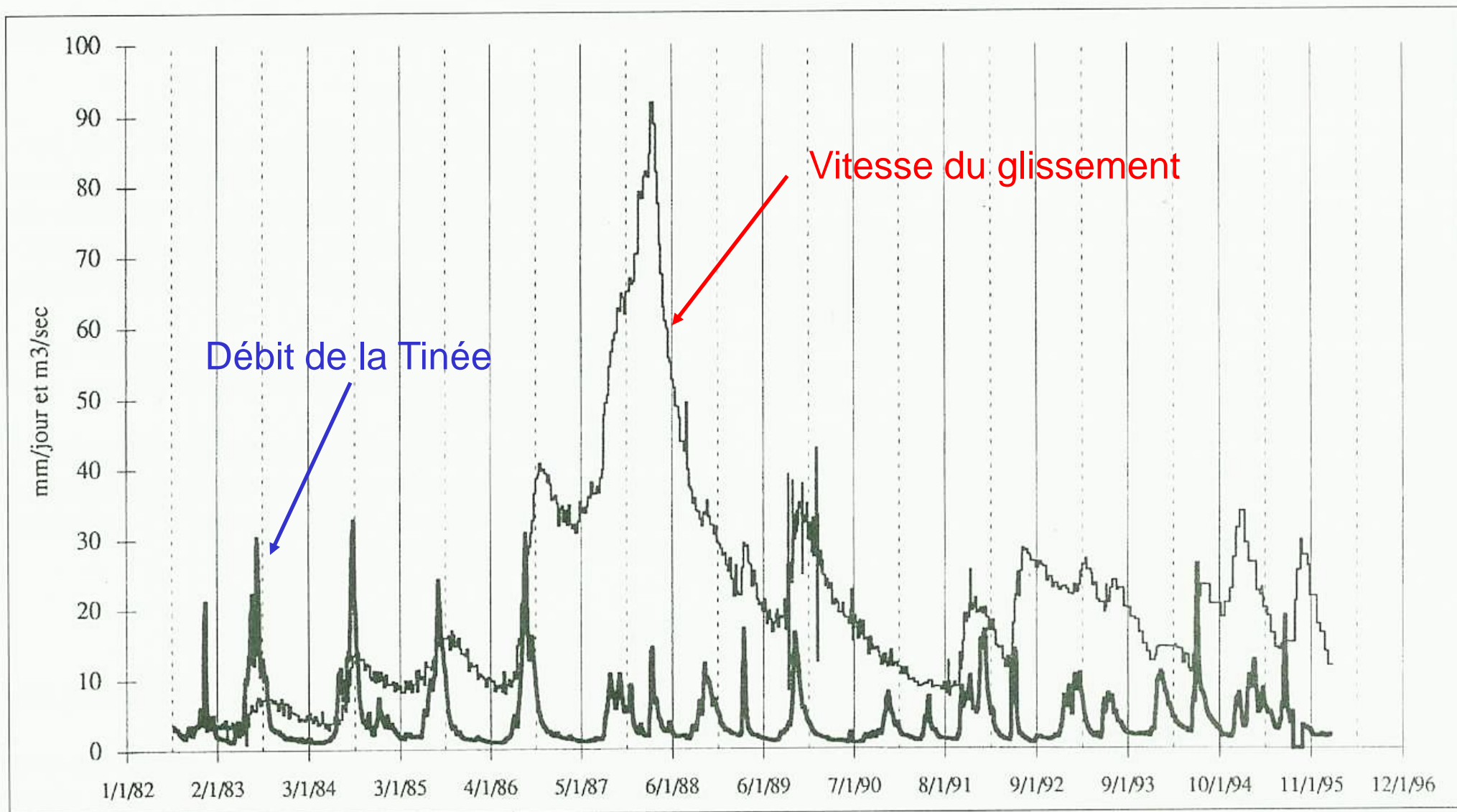
Route provisoire détruite

Tinée

Photo Mars 1992

Glissement de La Clapière

Influence de l'eau sur la vitesse du glissement



**GLISSEMENT DANS LA MINE DE
CHUQUICAMATA (CHILI)**

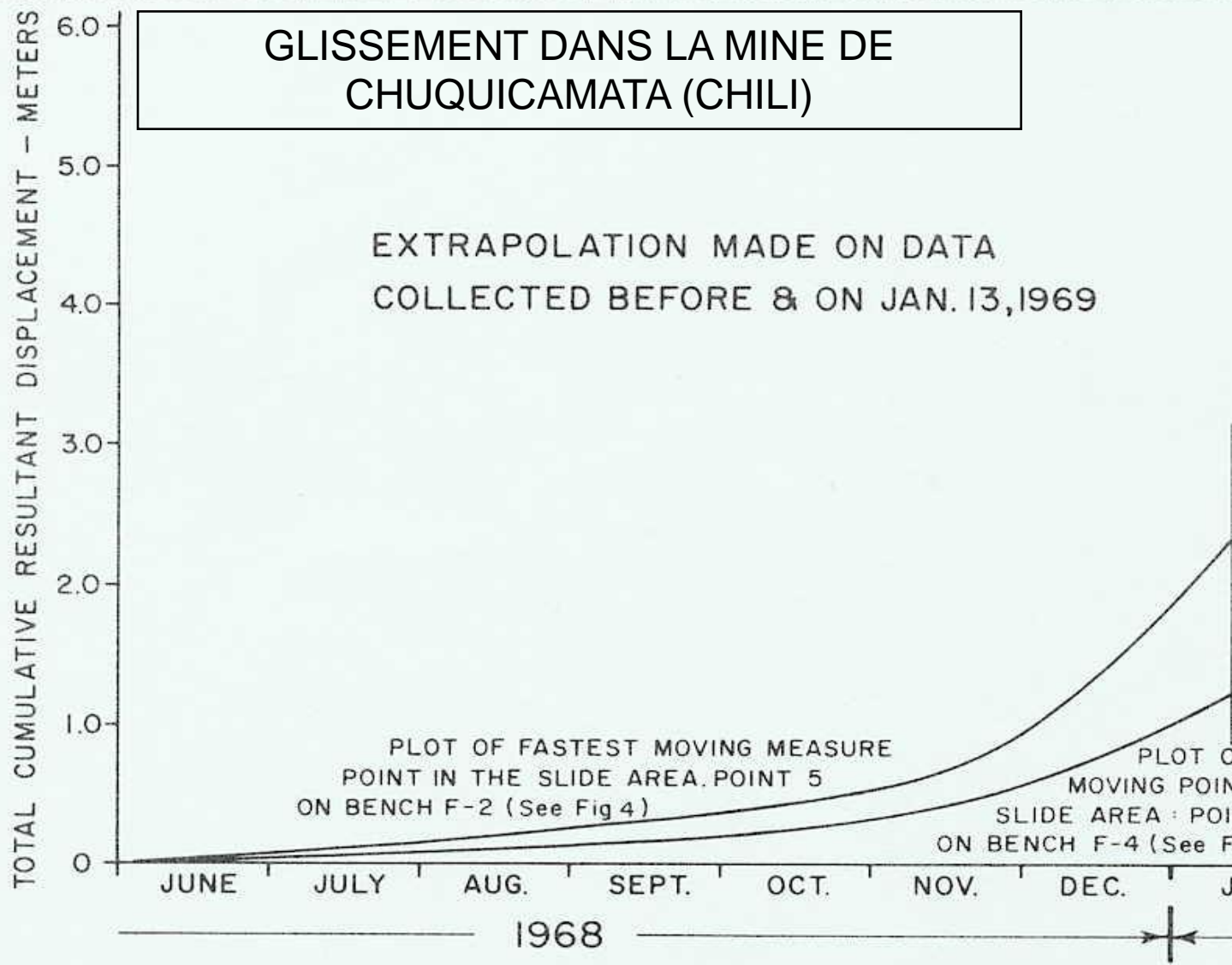
Hauteur : 250 m

Pente moyenne : 43°

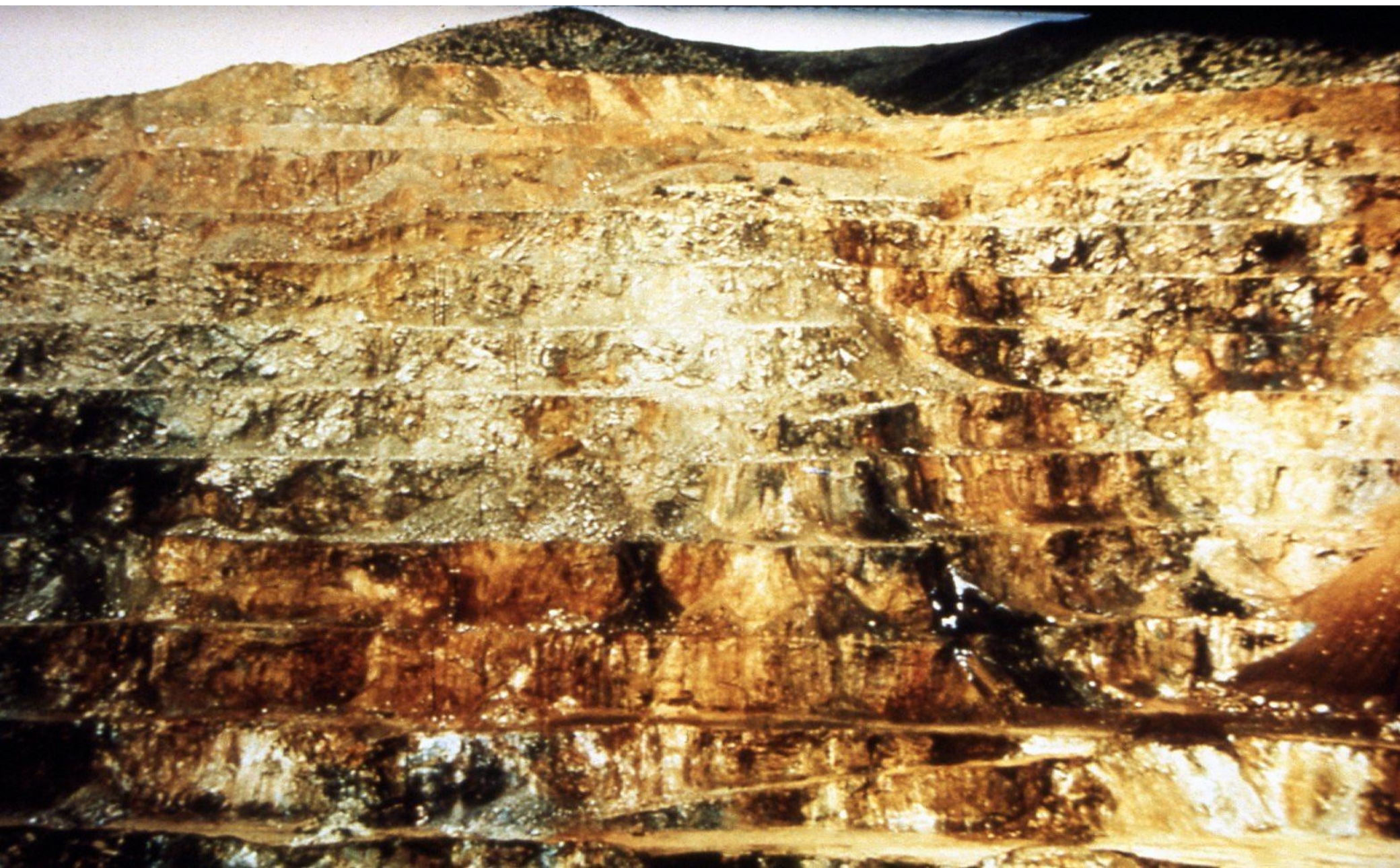


GLISSEMENT DANS LA MINE DE CHUQUICAMATA (CHILI)

EXTRAPOLATION MADE ON DATA
COLLECTED BEFORE & ON JAN. 13, 1969



FAILURE DATE PREDICTION CHART
UTILIZING TOTAL DISPLACEMENT VERSUS TIME DATA















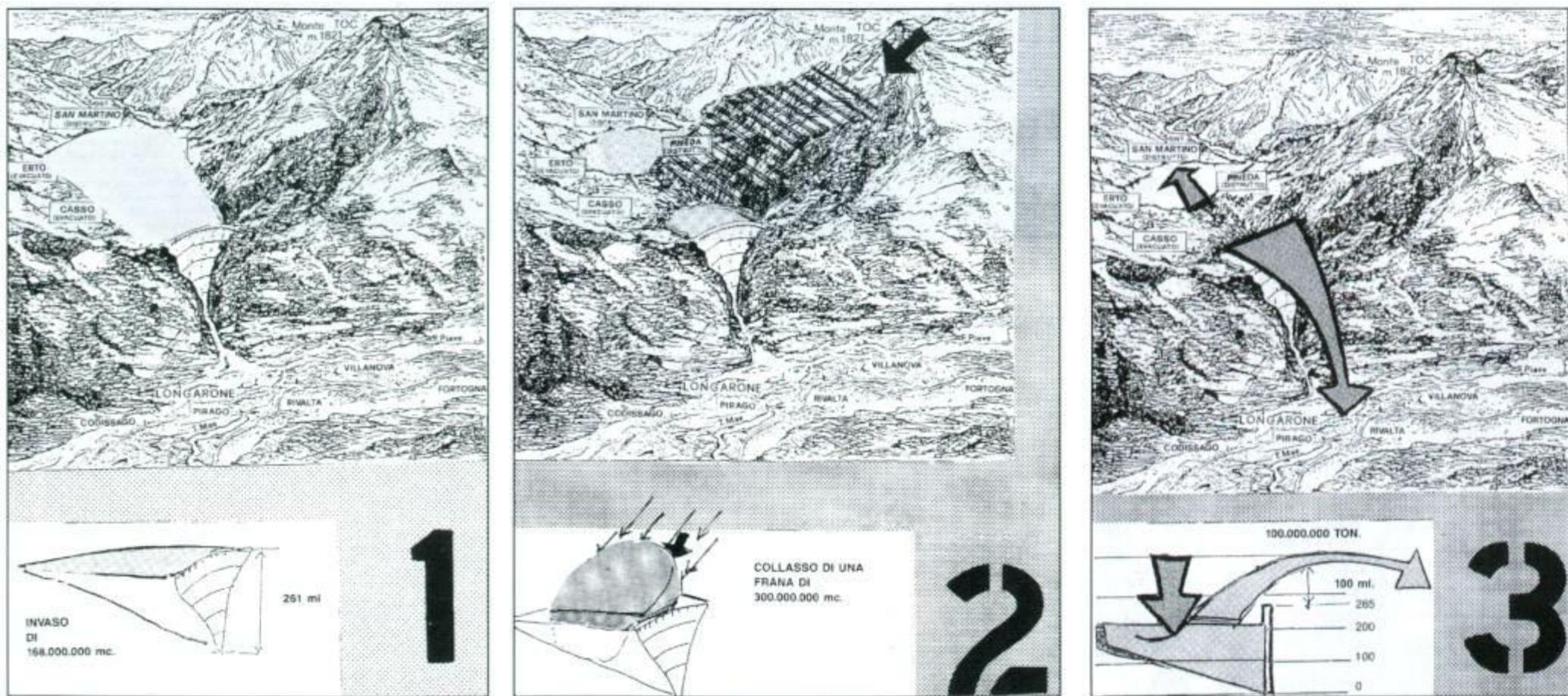






GLISSEMENT DU VAJONT (Italie) - 270 hm³

09/10/1963 - 2000 victimes



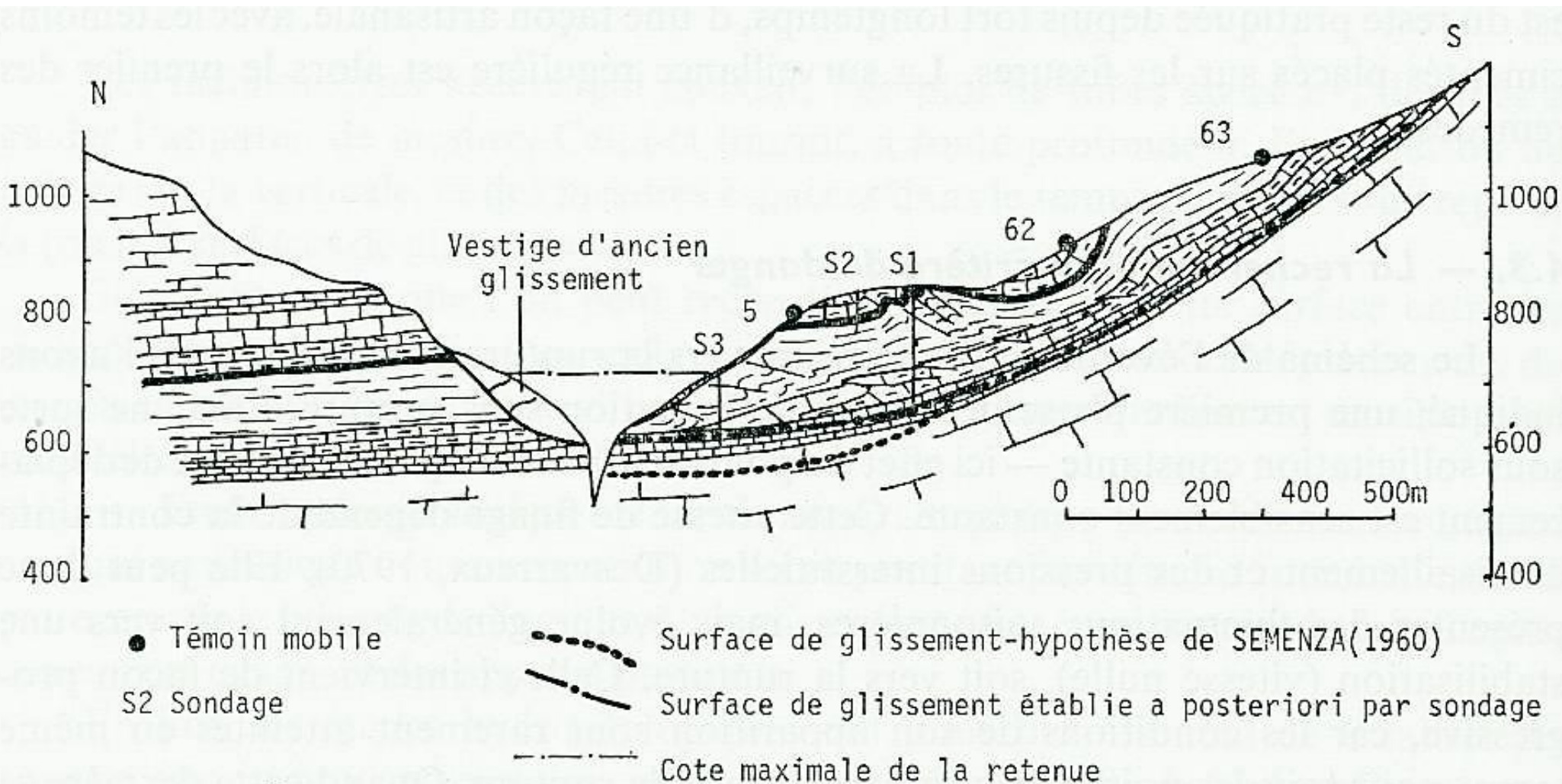


Glissement du Vajont (2000 victimes)
avant et après la catastrophe



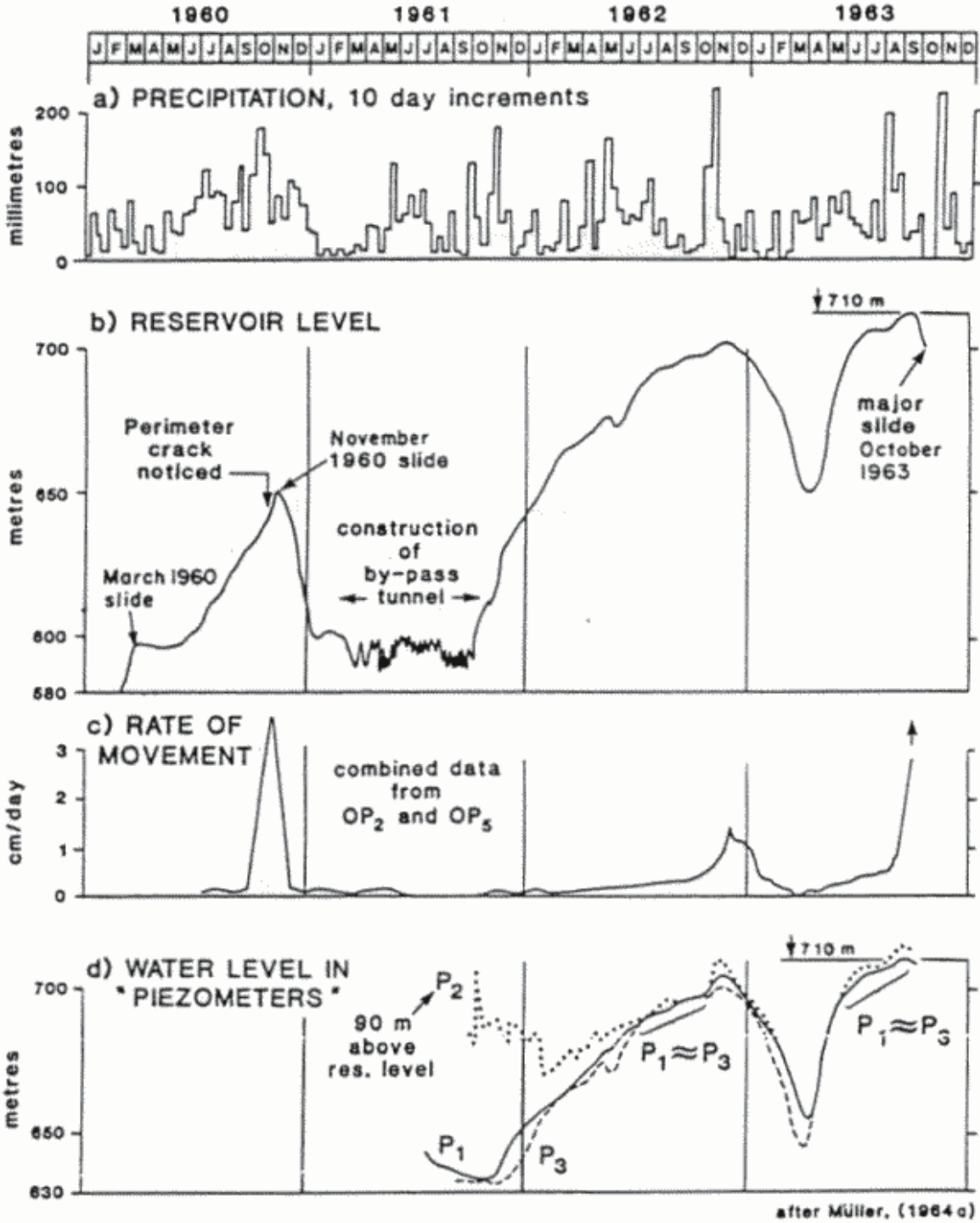
GLISSEMENT DU VAJONT (Italie) - 270 hm³

09/10/1963 - 2000 victimes



D'après Antoine et Fabre, Géologie appliquée au génie civil, 1980

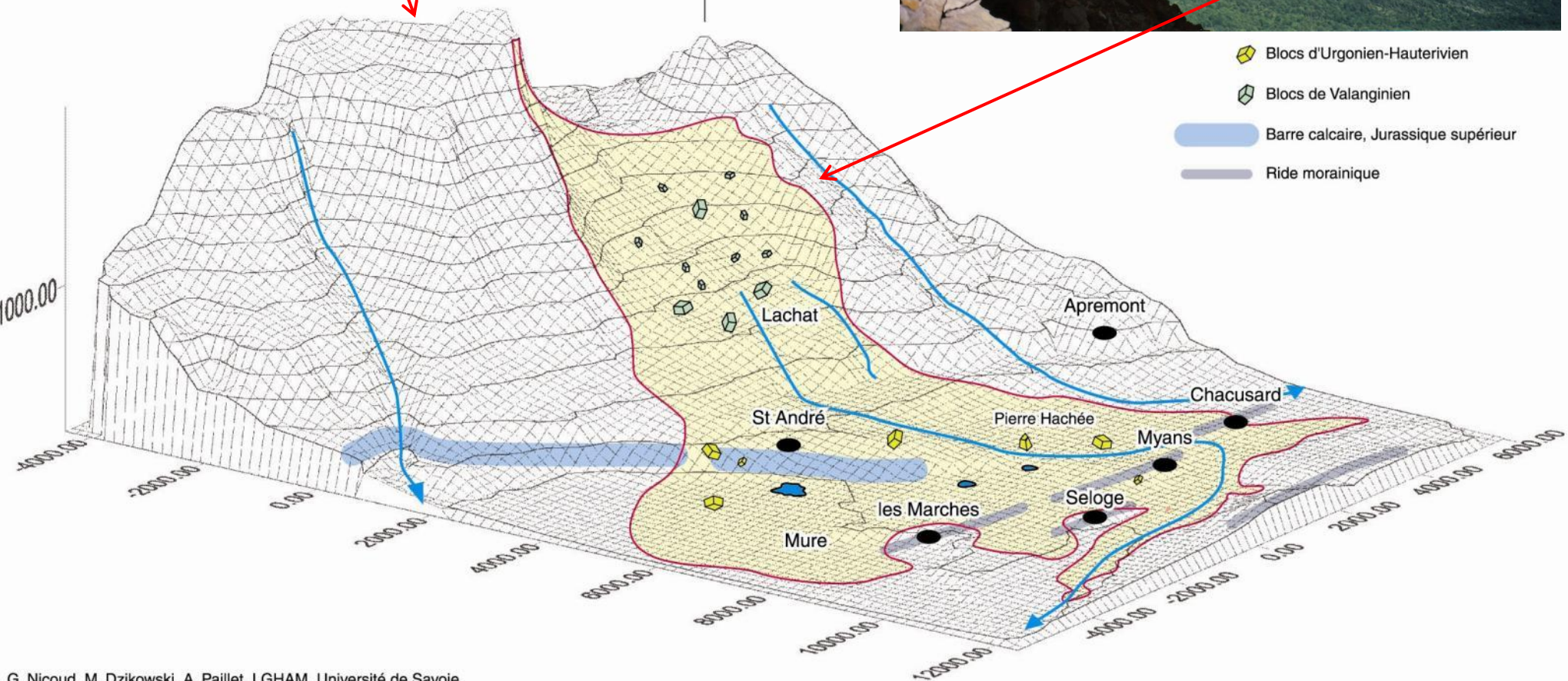
GLISSEMENT DU VAJONT (Italie) - 270 hm³



Glissement du Granier (1248) 500 hm³

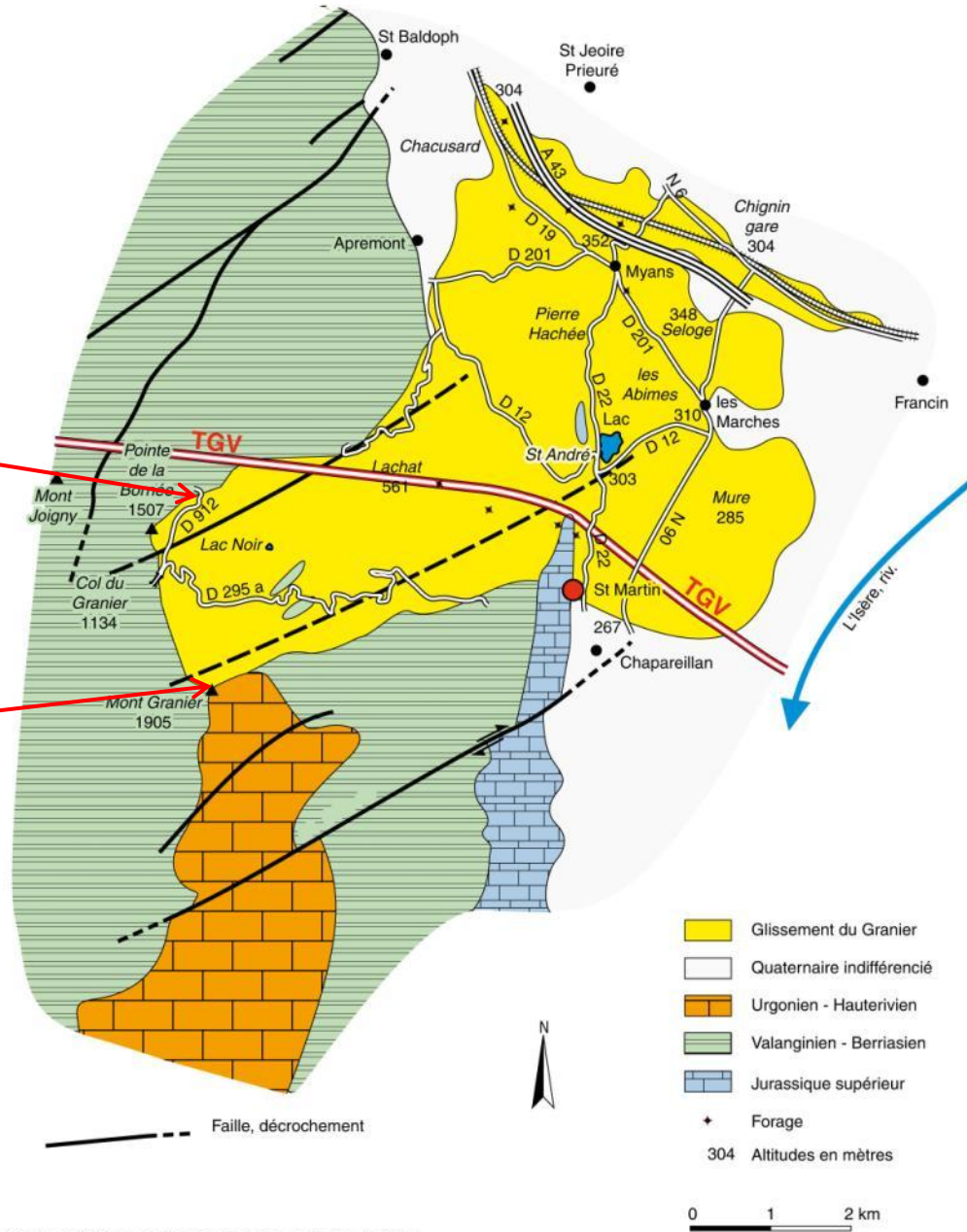


Mt Joigny



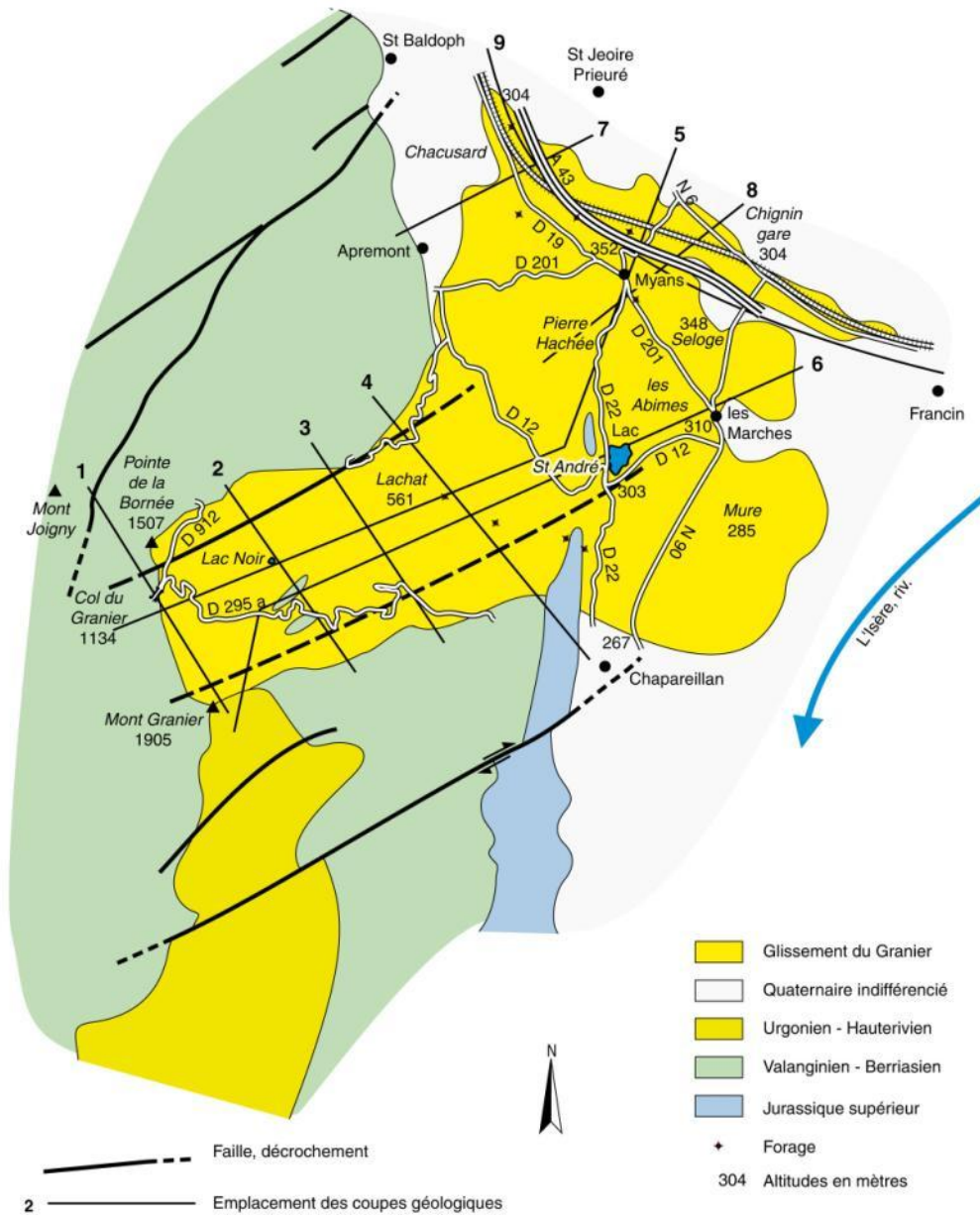
Glissement du Granier de 1248

Cadre géologique simplifié

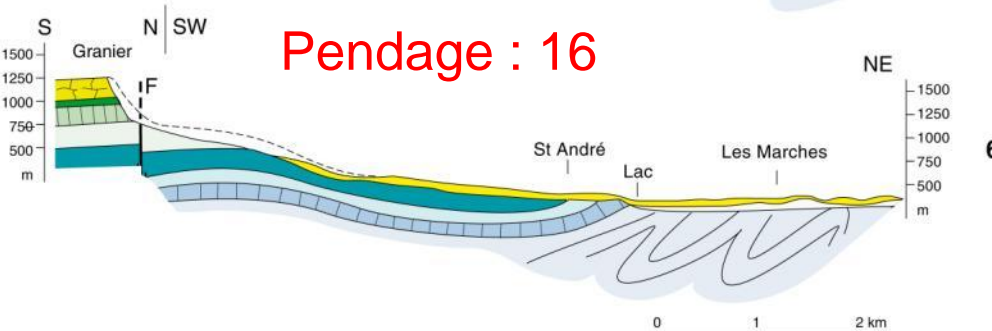
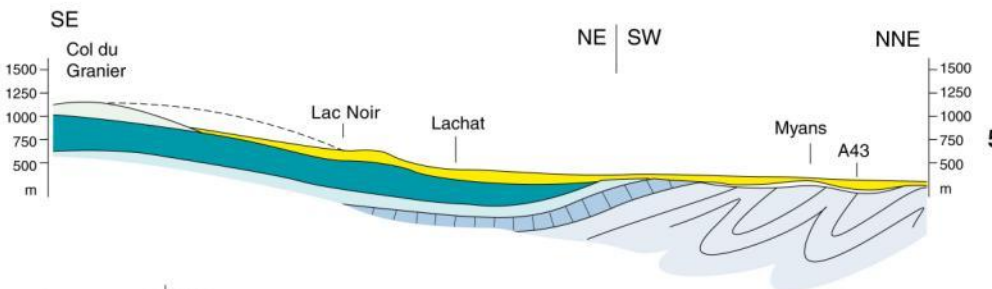
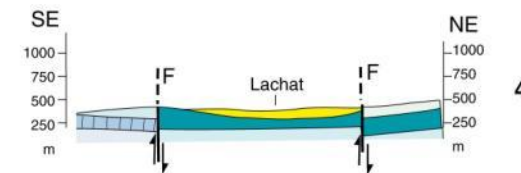
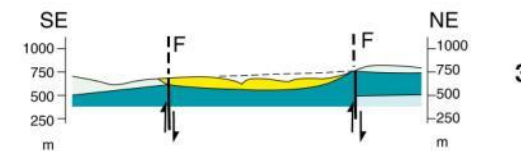
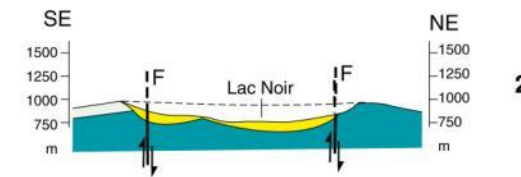
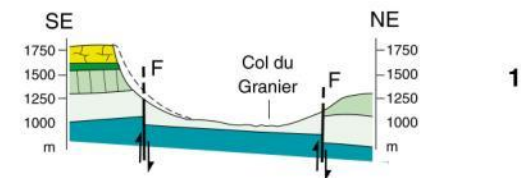


Glissement du Granier de 1248

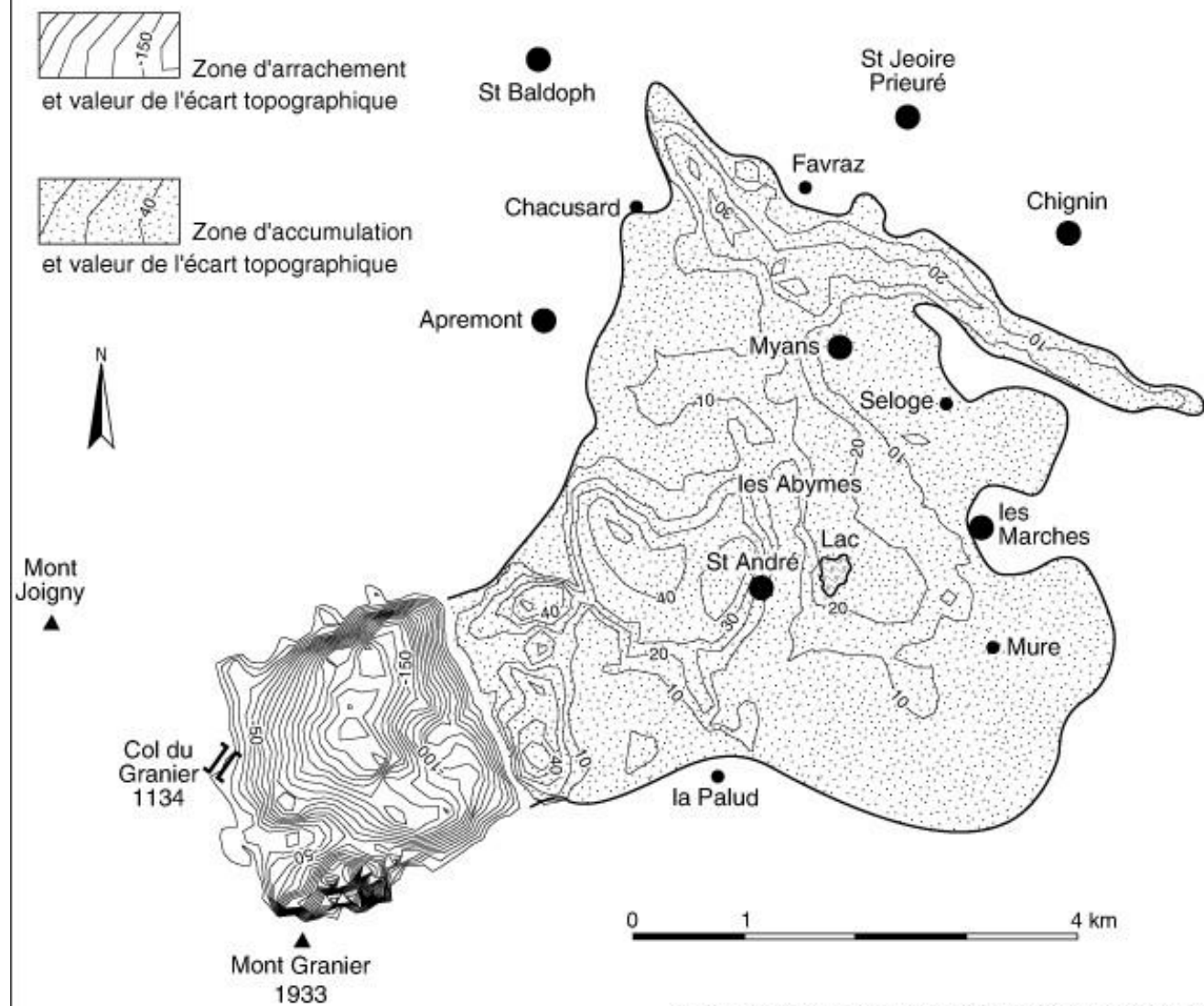
Cadre géologique simplifié



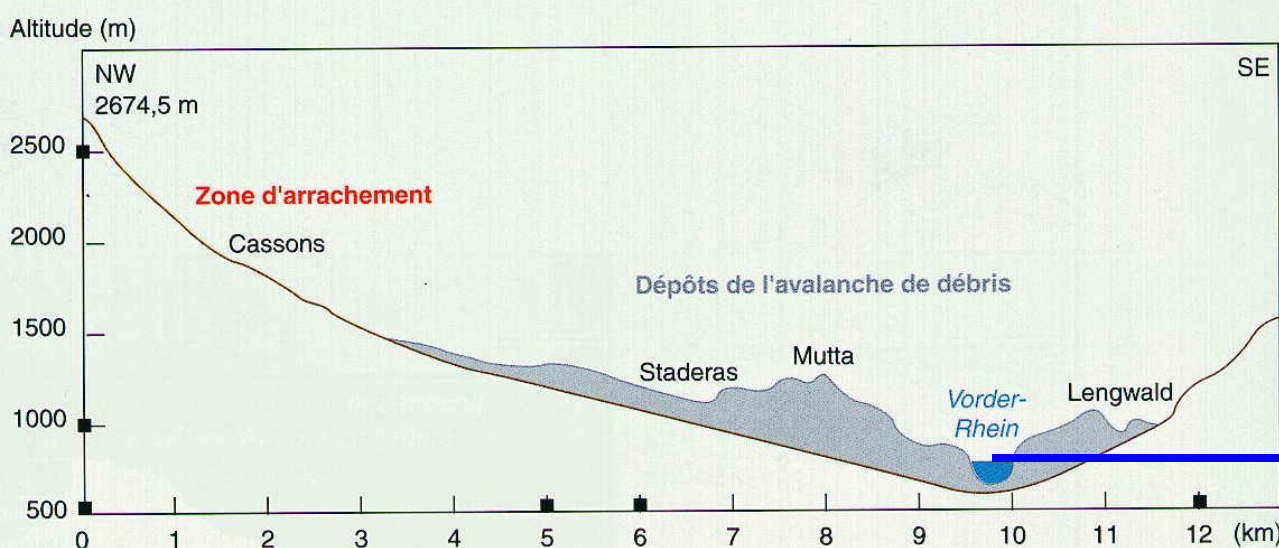
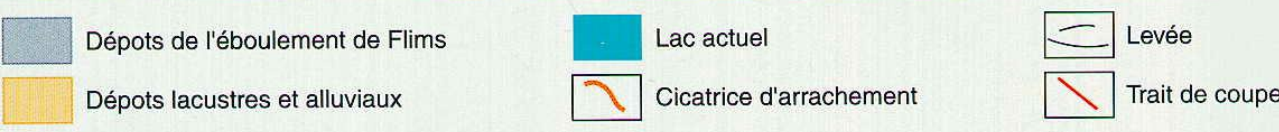
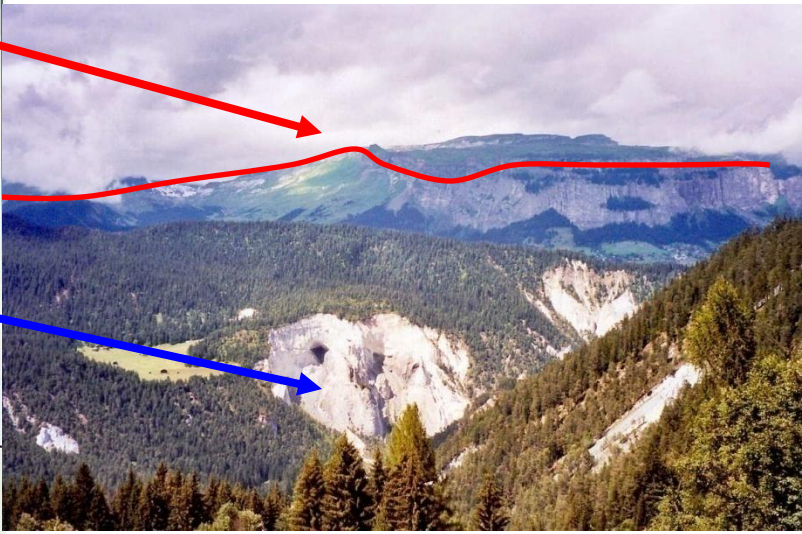
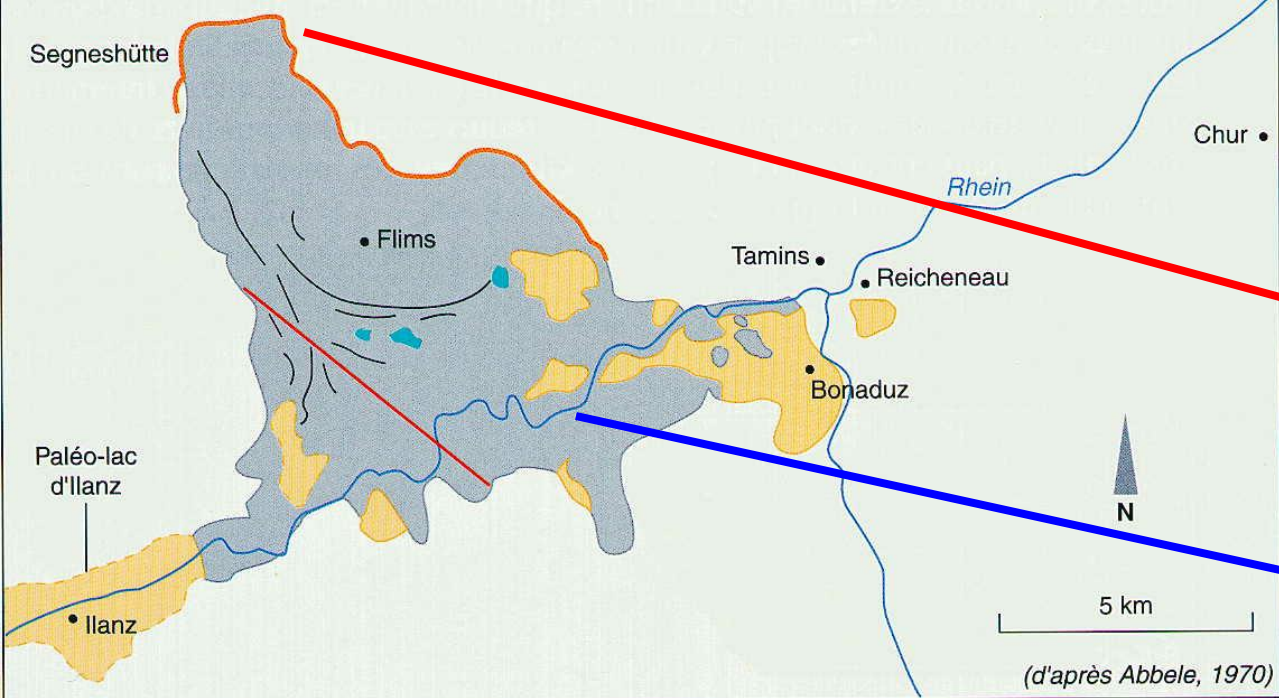
Mont Granier, Savoie Coupes géologiques sur l'emplacement de l'éboulement et glissement de 1248



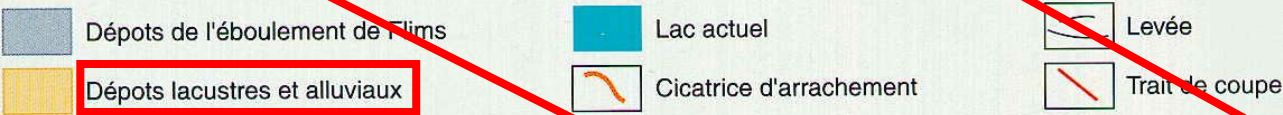
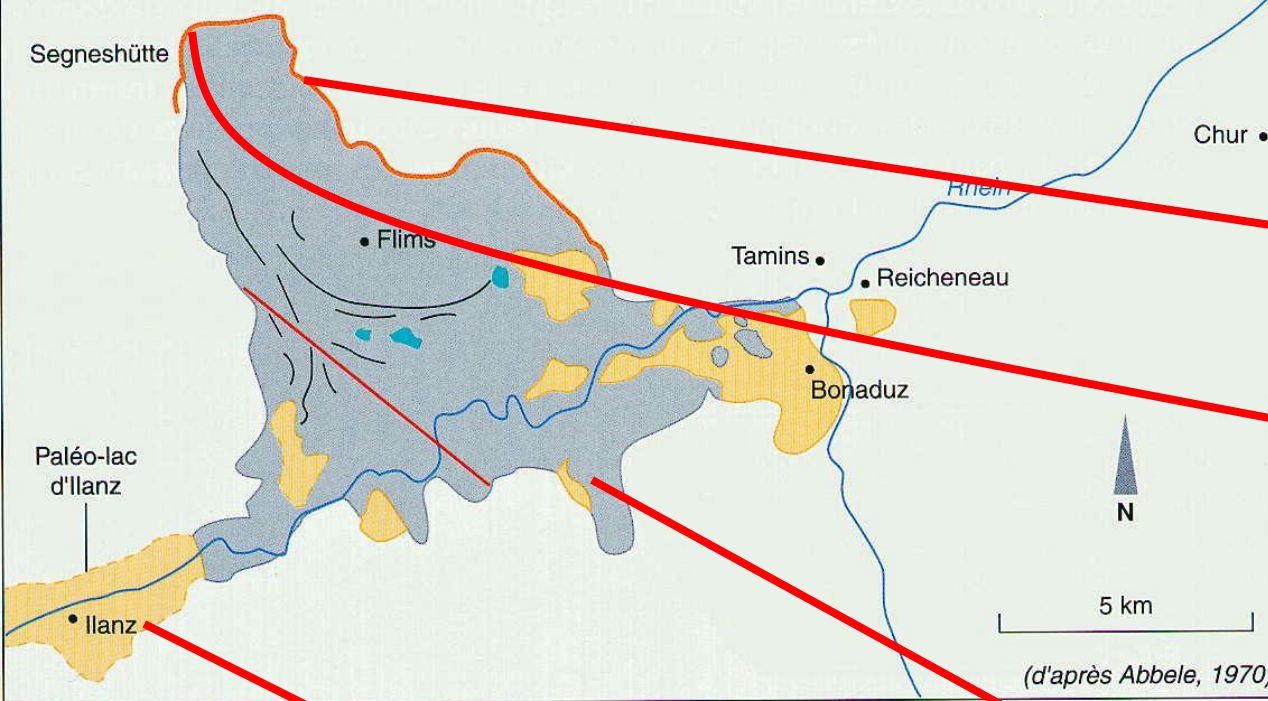
Ecart topographique entre surfaces
actuelle et antérieure reconstituée



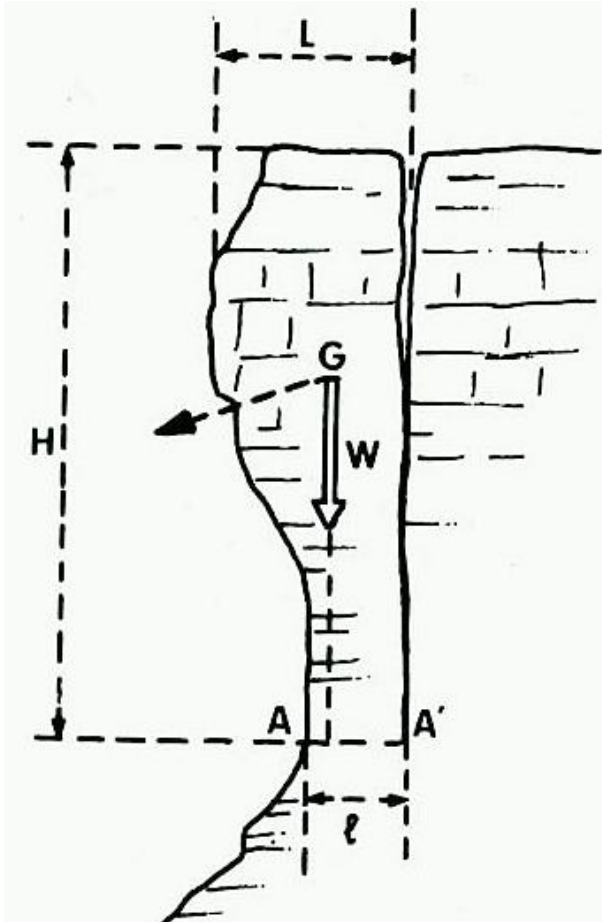
GLISSEMENT DE FLIMS (post-glaciaire, 10 km³)



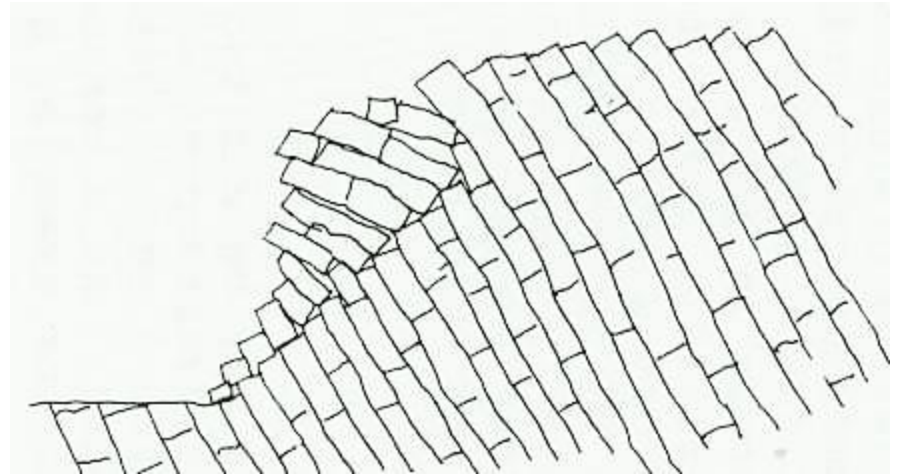
EBOULEMENT DE FLIMS (post-glaciaire, 10 km³)



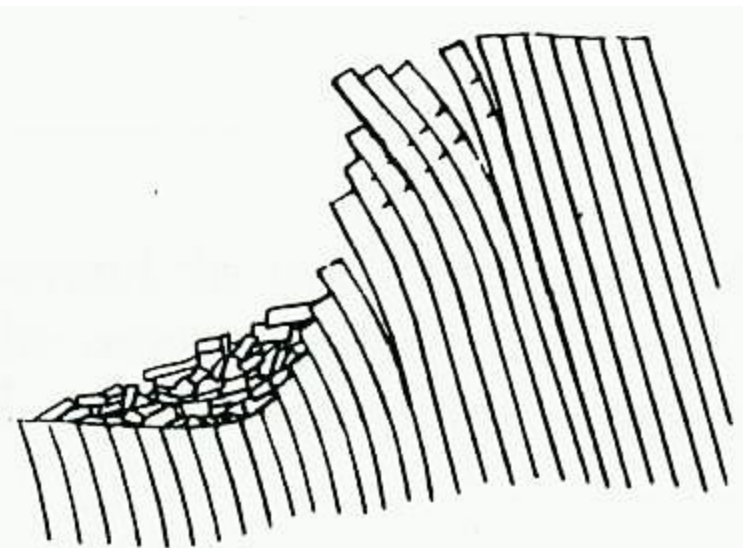
BASCULEMENTS (*TOPPLES*)



Basculement simple
(*single topple*)



Basculement de blocs (*block topple*)



Basculement par flexion (*flexural topple*)

BASCULEMENT POSSIBLE D'UN BLOC ROCHEUX



Rocher de l'Avocat (Lans en Vercors)



TOUR SUSCEPTIBLE DE
BASCULER VERS L'AVAL
(Dolomites)



**BASCULEMENT
DE FEUILLETS SCHISTEUX**

**BASCULEMENT DE BANCS ROCHEUX
DANS UNE MINE DE CHARBON**

Gregg River Mine (Canada)



Mouvement de versant de Séchilienne (Isère) : basculement de pans rocheux

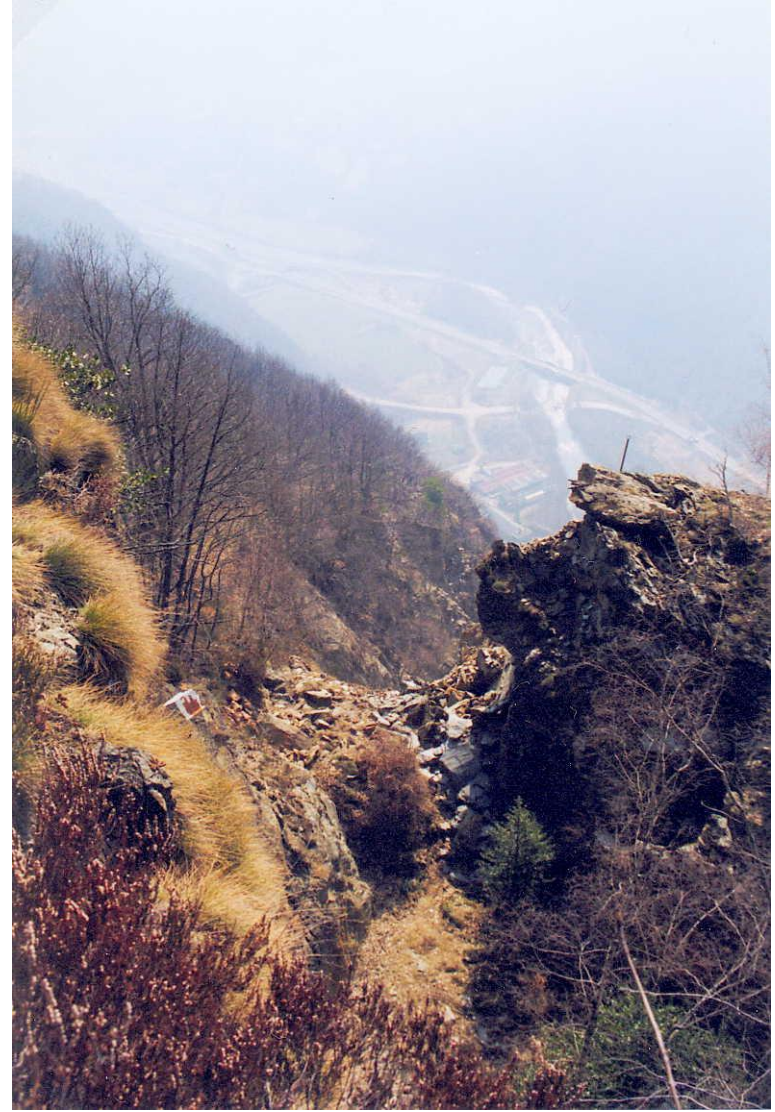


Mouvement de versant de Séchilienne (Isère) : basculement de pans rocheux

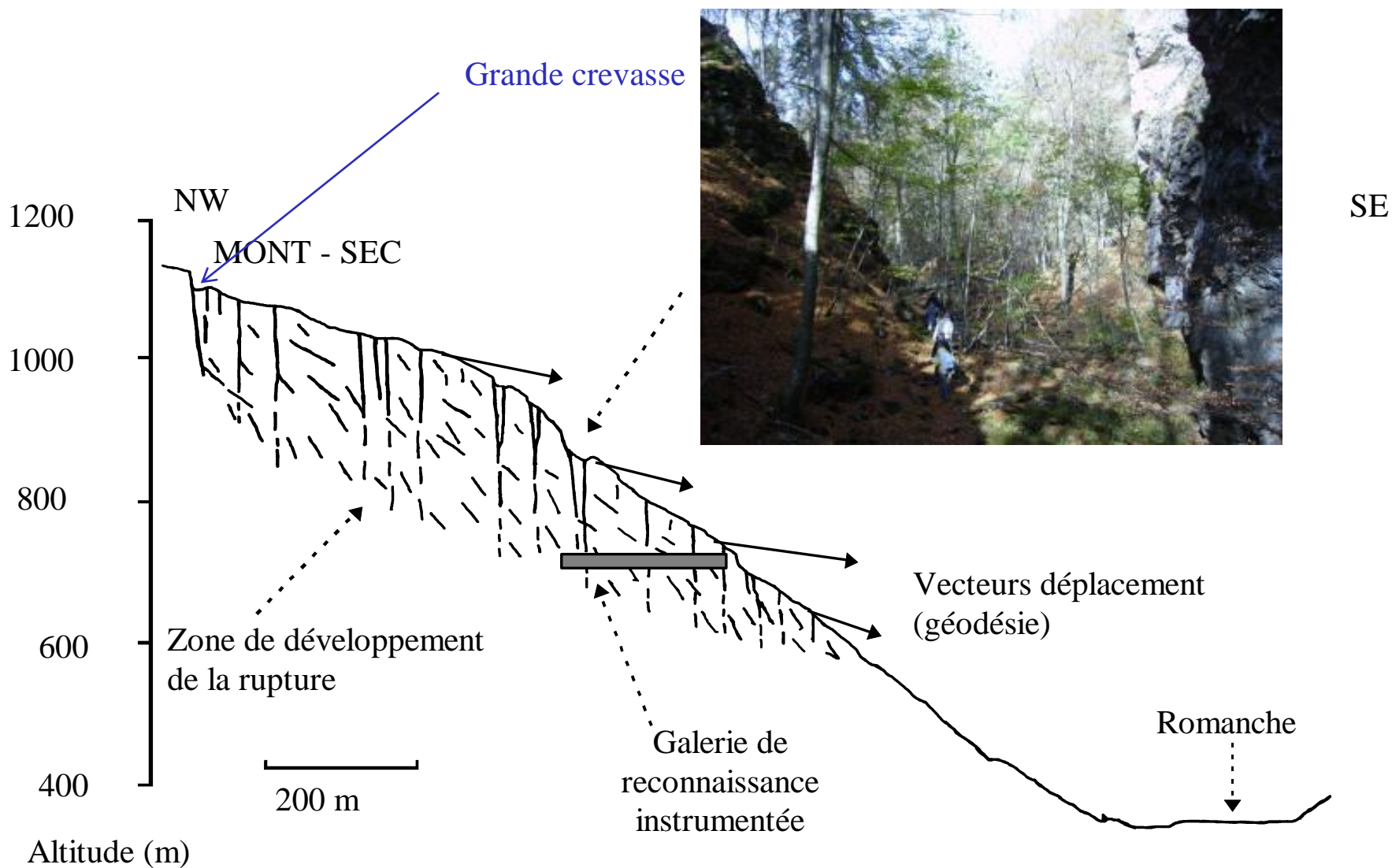




Mouvement de versant de Séchilienne (Isère) : basculement de pans rocheux

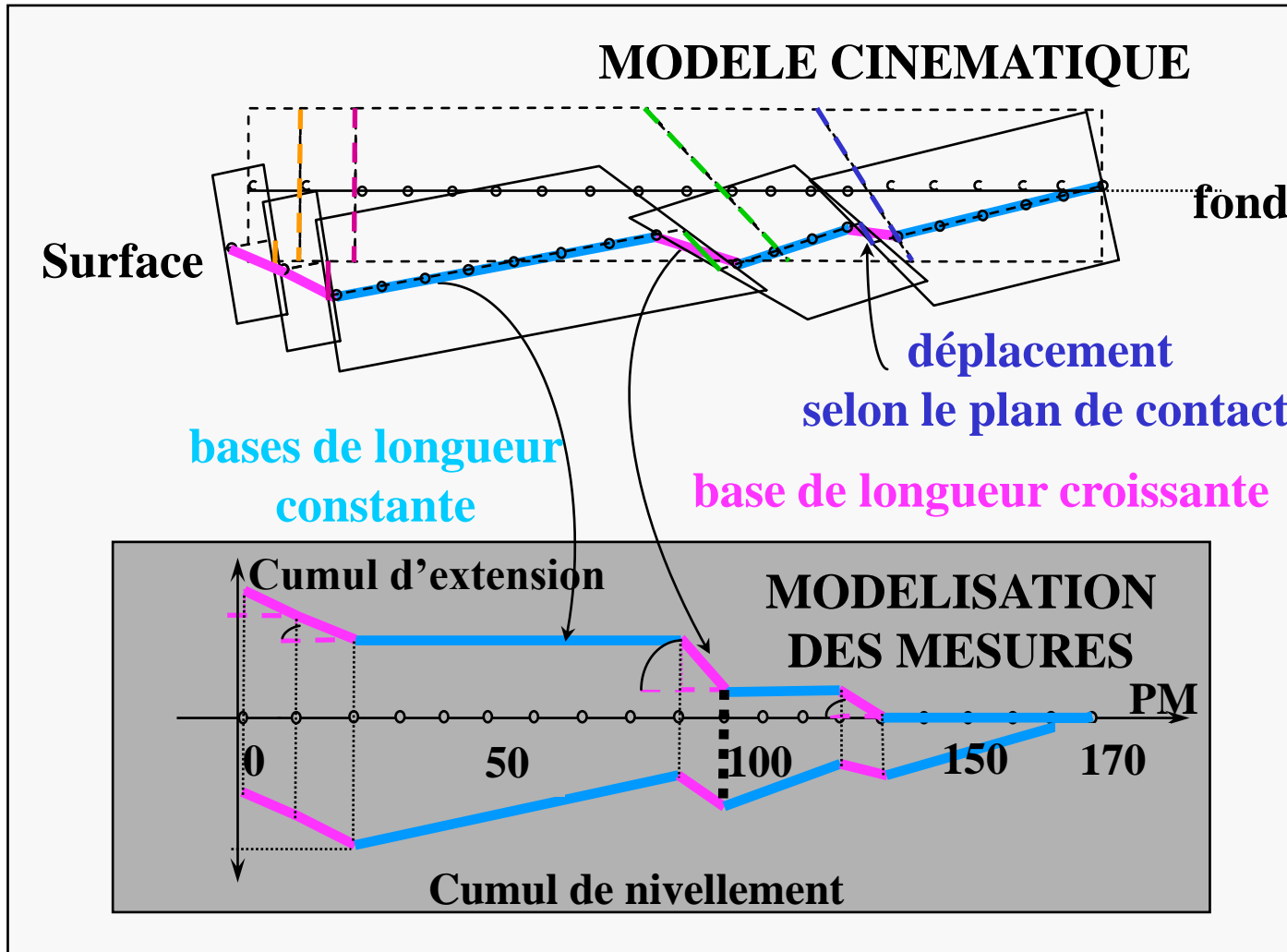


Mouvement de versant de Séchilienne (Isère) : basculement de pans rocheux



Mouvement de versant de Séchilienne (Isère) : basculement de pans rocheux

Déplacements mesurés dans la galerie de reconnaissance

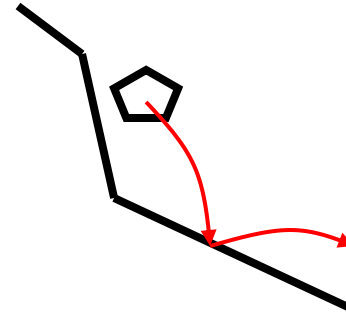


EBOULEMENTS ROCHEUX

(*Rock Falls and Rock Avalanches*)

Propagation des blocs en mode indépendant:

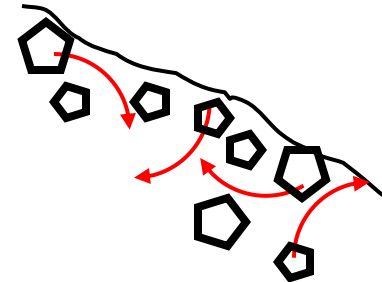
Chute de blocs (*Rock Fall*)



Propagation de type écoulement:

Avalanche rocheuse (*Rock Avalanche*)

Volume $> 10^4 - 10^6 \text{ m}^3$



Néron (Saint-Martin-le-Vinoux)

Eboulement du 14 août 2011, 4h

Hameau évacué le 13 août à 20h



Néron (Saint-Martin-le-Vinoux)

13 décembre 2011

Abattage à l'explosif de la masse
rocheuse menaçant encore le hameau
de la Ripaillère



EBOULEMENT DE QUELQUES BLOCS (Les Saillants du Gua, Isère)

31/03/1997 - 600 m³



EBOULEMENT DE QUELQUES BLOCS
(Les Saillants du Gua, Isère)



Zone de départ

Voitures endommagées

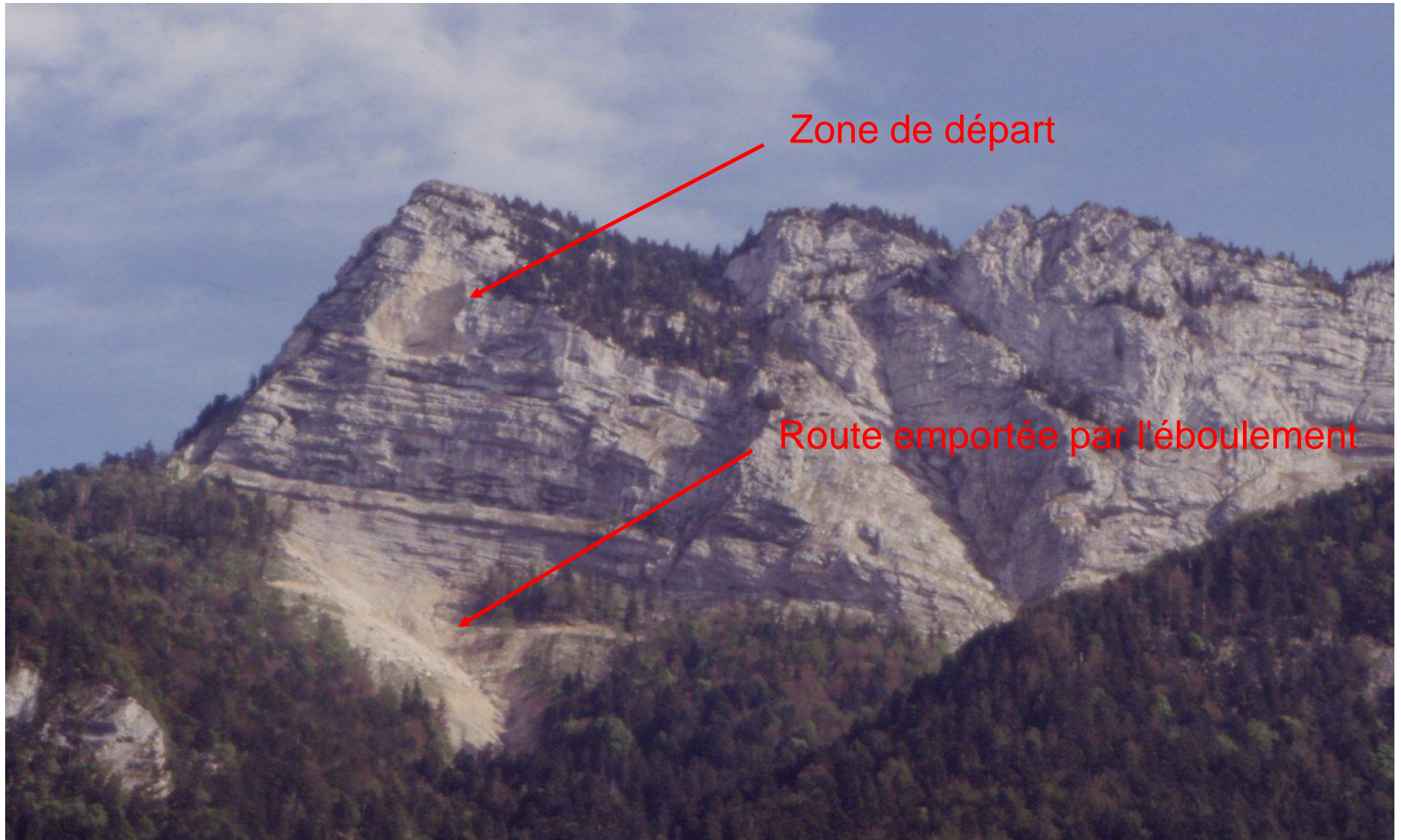


EBOULEMENT DE 2000 M³
(30/01/04, Gorges de la Bourne, Isère, 2 morts)

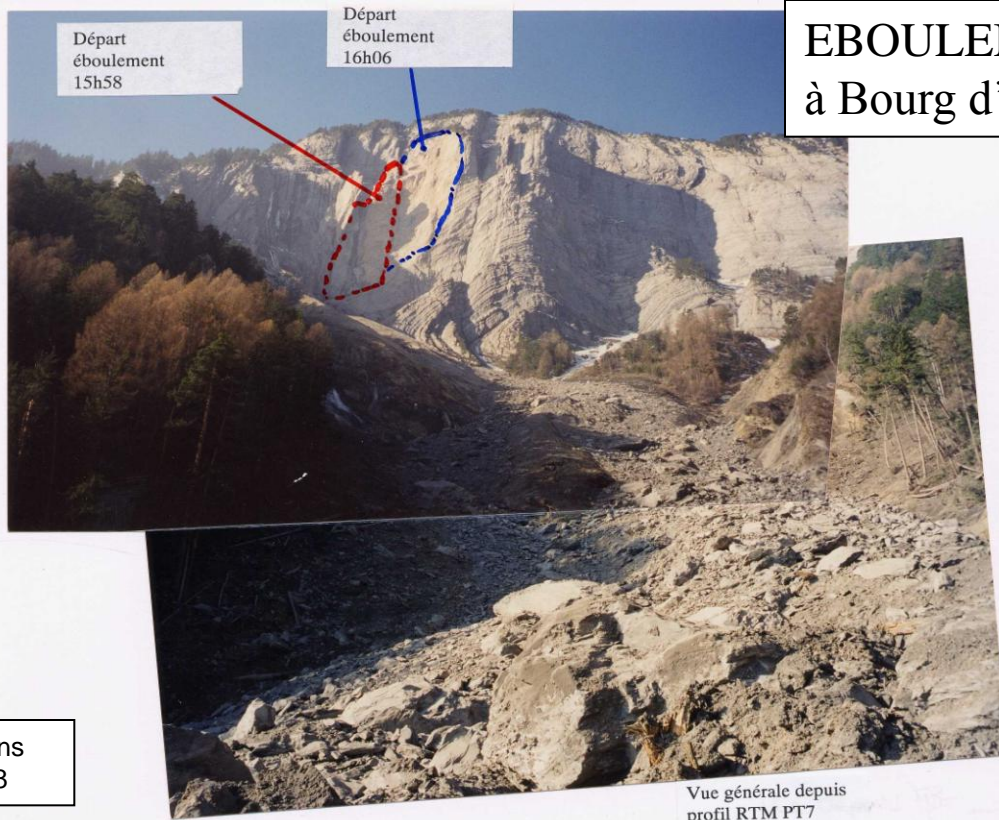


EBOULEMENT DE LA PALETTE (Montaud, Isère)

20/04/1992 - 15 à 20 000 m³



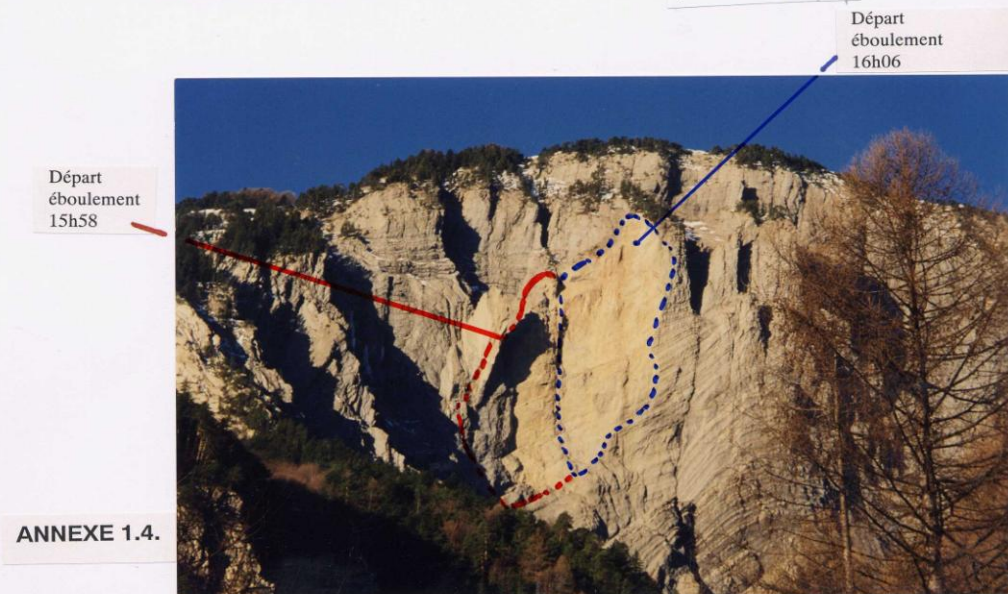
ÉBOULEMENTS DU SAINT-ANTOINE à Bourg d'Oisans (document SAGE)



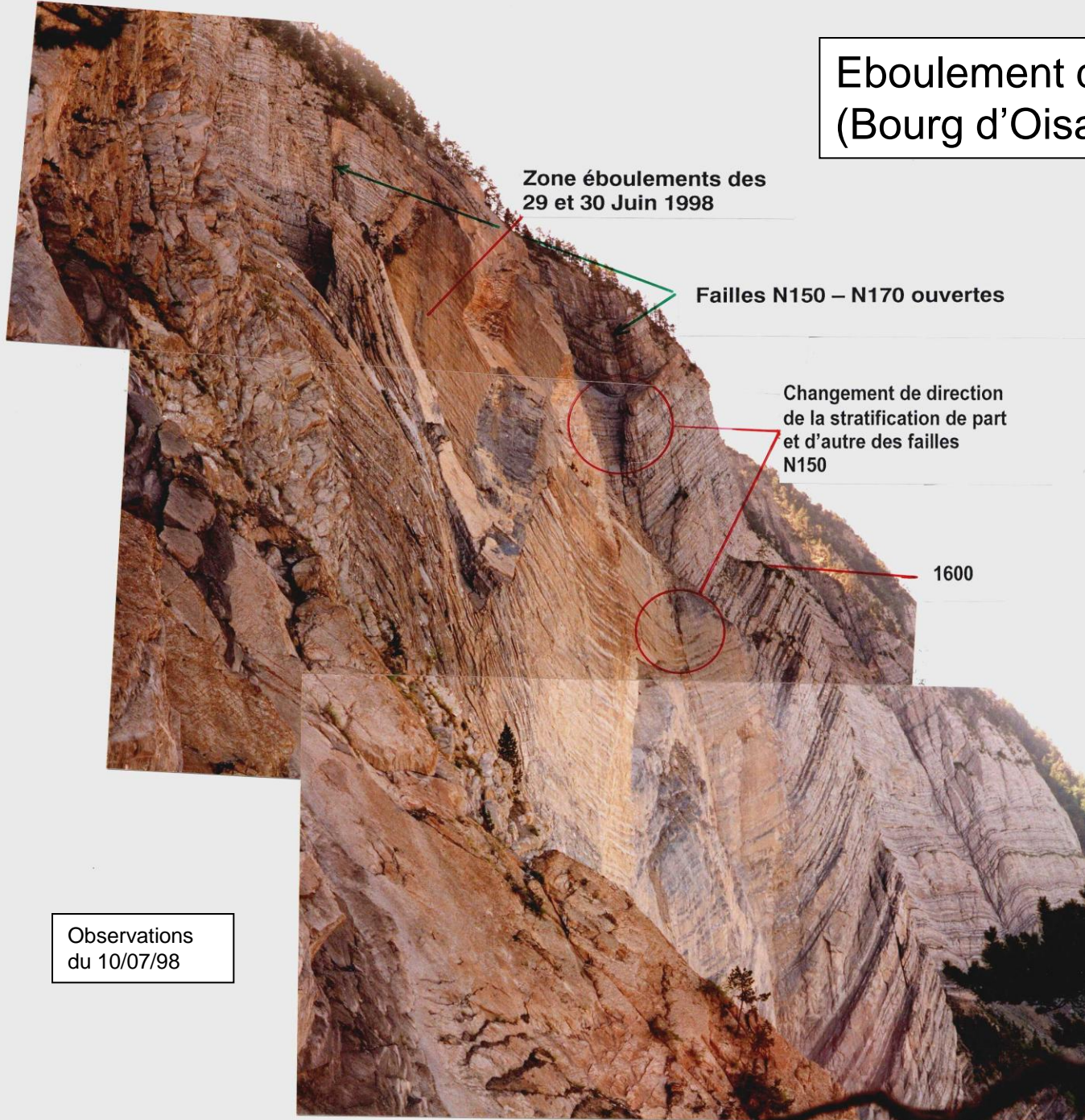
Observations
du 17/02/98

Zones de départ des éboulements du
22 janvier 1998

Volume : $2 \times 100\,000 \text{ m}^3$



Eboulement du Saint-Antoine (Bourg d'Oisans)



Zones de départ des
éboulements des
29 et 30 juin 1998

Volumes : 60 000
et 30 000 m³

Observations
du 10/07/98

Nuage de poussière sur Bourg d'Oisans lors d'un des éboulements de juin 1998



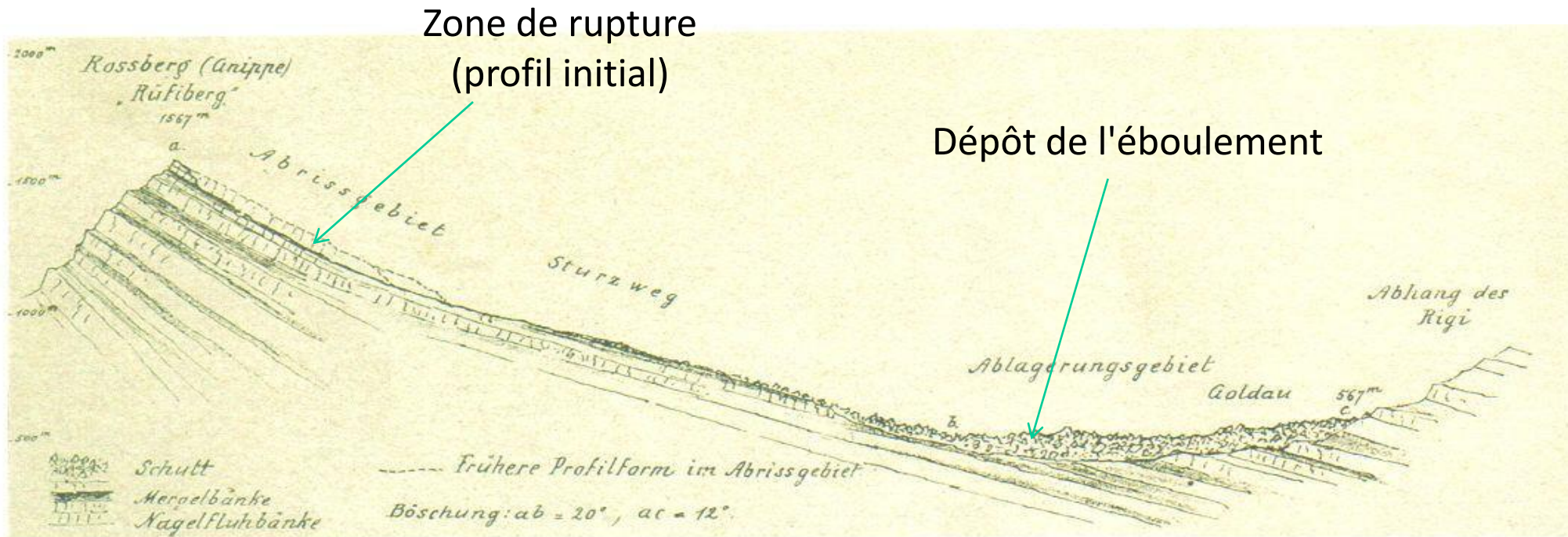
Glissement – éboulement de Goldau (1806, 40 hm³, 457 morts)



Blick von der Rigi auf den Bergsturz mit Lauerzersee und Mythen. Wilhelm Ulrich Oppermann, um 1810. Staatsarchiv Schwyz.

Glissement – éboulement de Goldau (1806, 40 hm³)

- Glissement translationnel sur joints de stratification dans des marnes surmontées de conglomérats (100 m d'épaisseur) – pendage : 20-25°
 - Des signes d'instabilité avaient été remarqués 30 ans avant la catastrophe



Skizze der Gesteinsschichtungen am Rossberg von Albert Heim (1849–1937), Professor für Geologie an der ETH und Universität Zürich. Graphische Sammlung Zentralbibliothek Zürich.

Glissement – éboulement de Goldau (1806, 40 hm³)

Zone de rupture

Petit éboulement (2005)

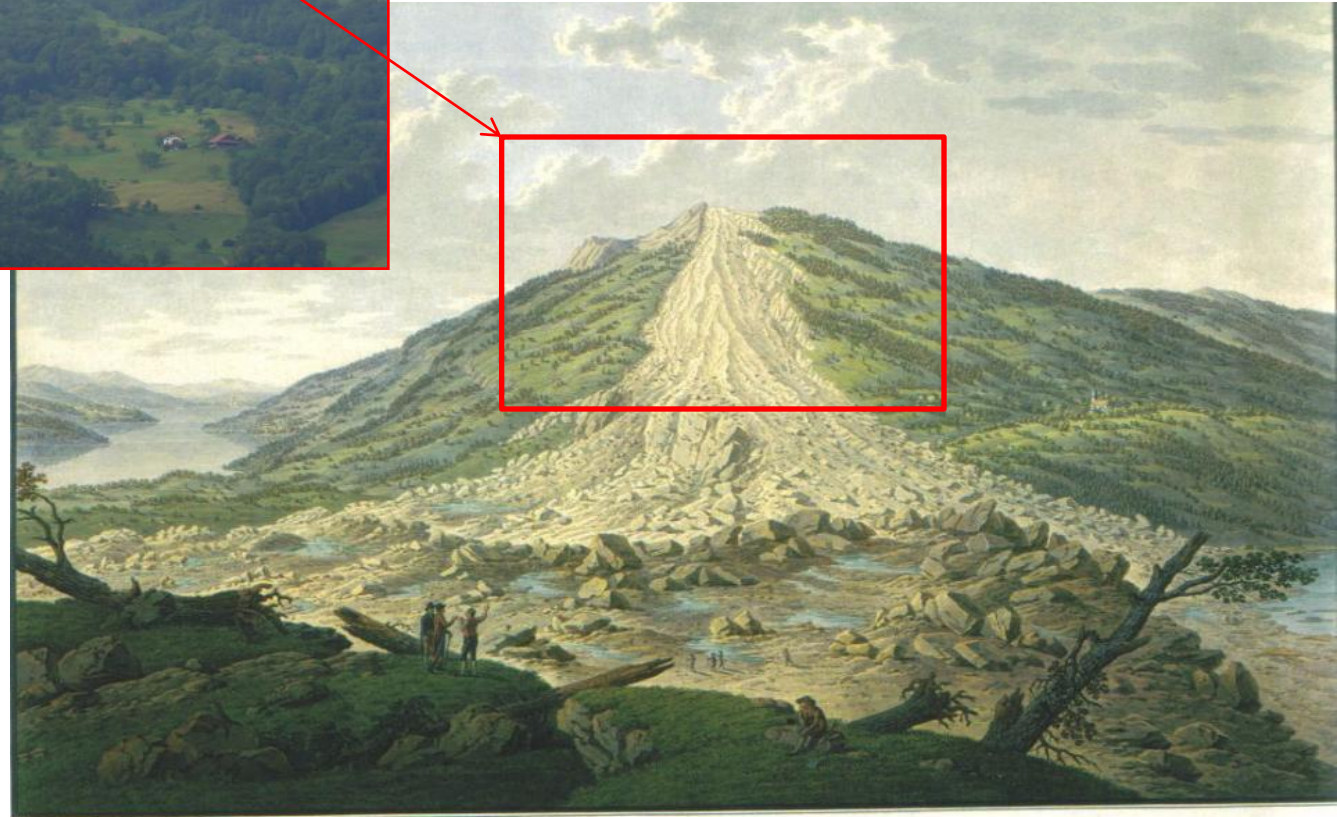
Lac de Lauerz



Zone de rupture



**Glissement – éboulement
de Goldau (1806, 40 hm³)**



Petit éboulement (2005)

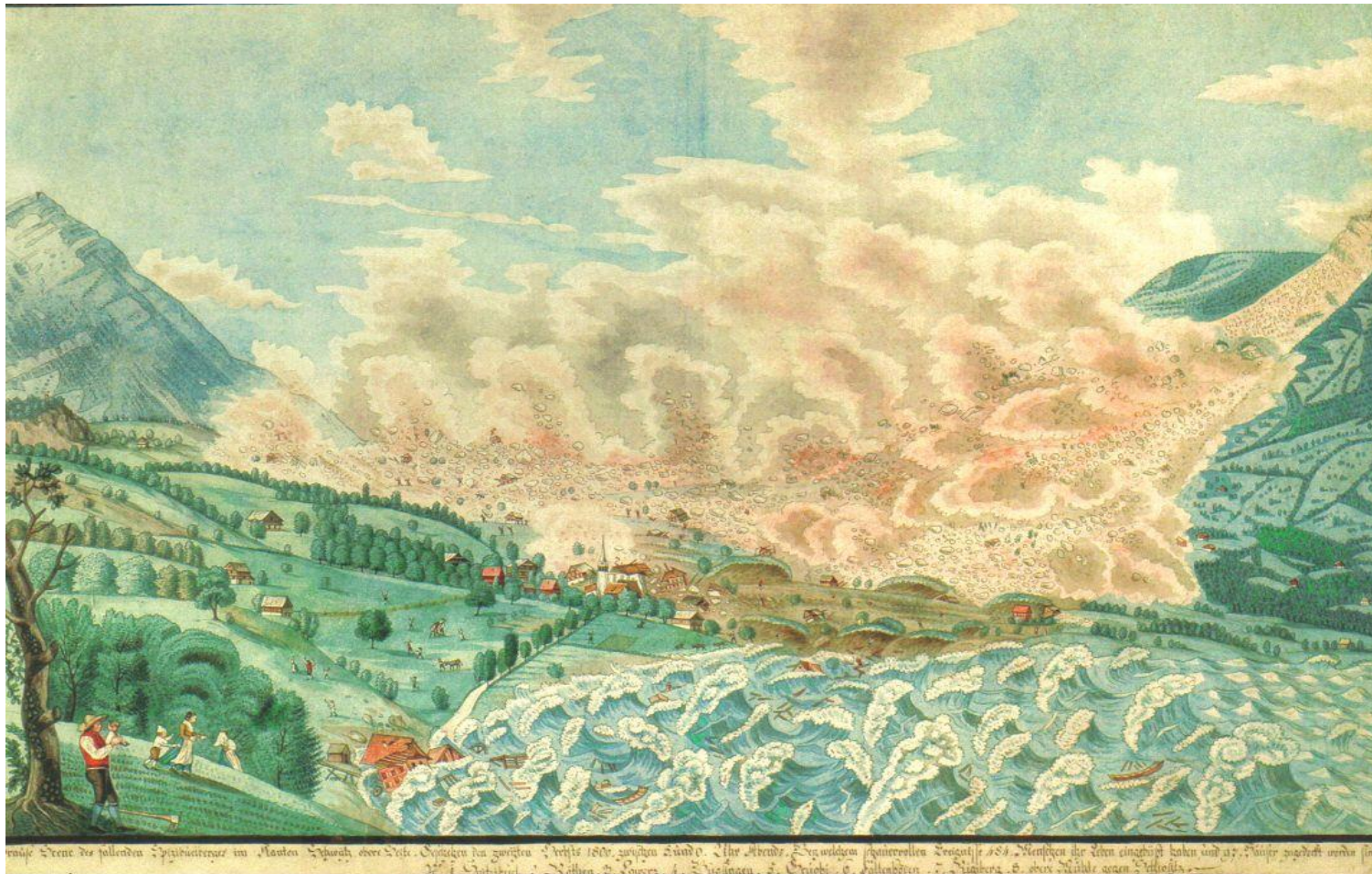
VUE DE LA MONTAGNE DU SPITZEBÜHL,
AU CANTON DE SCHWITZ.

après l'éboulement survenu le 2 Septembre 1806

Les gravures sont vendues par le Gouvernement de Schwitz, au profit des habitans dont elles servent le soutien.

Glissement – éboulement de Goldau (1806, 40 hm³)

- Le mouvement s'est accéléré progressivement dans la journée, pour finalement atteindre une vitesse très élevée
- Il a déclenché un tsunami dans le lac (vagues de 20 m de hauteur)



Glissement – éboulement de Goldau (1806, 40 hm³)



VUE D'UNE PARTIE DU LAC DE LOVERTZ
ET DE L'ILE DE SCHWANAU.

après l'éboulement arrivé le 2. Septembre 1806.

Ces gravures ont été vendues par le Gouvernement de Schwyz, au profit des habitans dont elle servent le soulagement.

Franz Xaver Tryner (1767–1824), «*Vue d'une partie du Lac du Lovertz*», gestochen und koloriert von G. Lory, 1806. Staatsarchiv Schwyz.

EBOULEMENT DE RANDA

(Valais, Suisse)

18/04 et 09/05/1991 - 30 hm³



2° EBOULEMENT DE RANDA
(Valais, Suisse) 09/05/1991

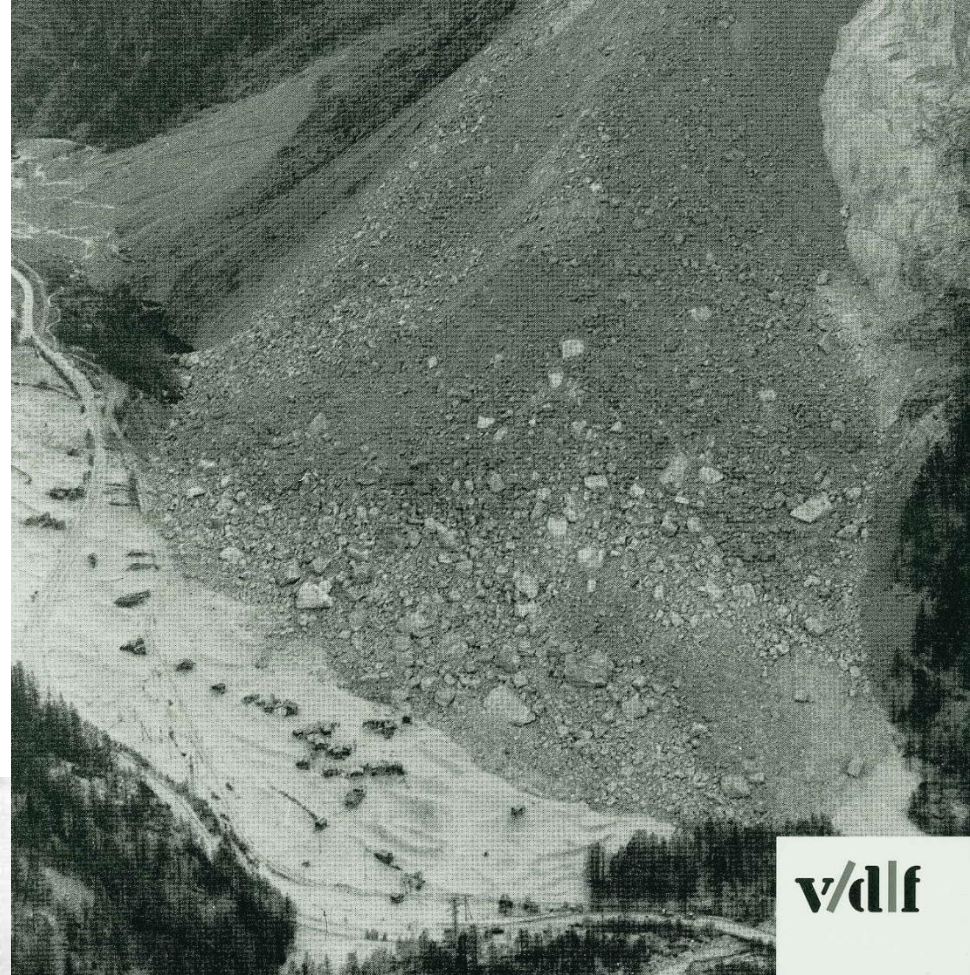


EBOULEMENT DE RANDA

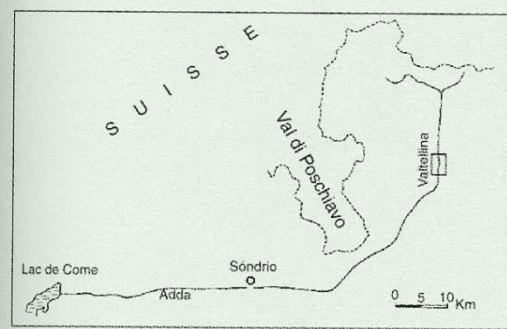
(Valais, Suisse)

18/04 et 09/05/1991 - 30 hm³

Dépôt de poussière



v/df



Eboulement du Val Pola
28/07/1987 - 40 hm³

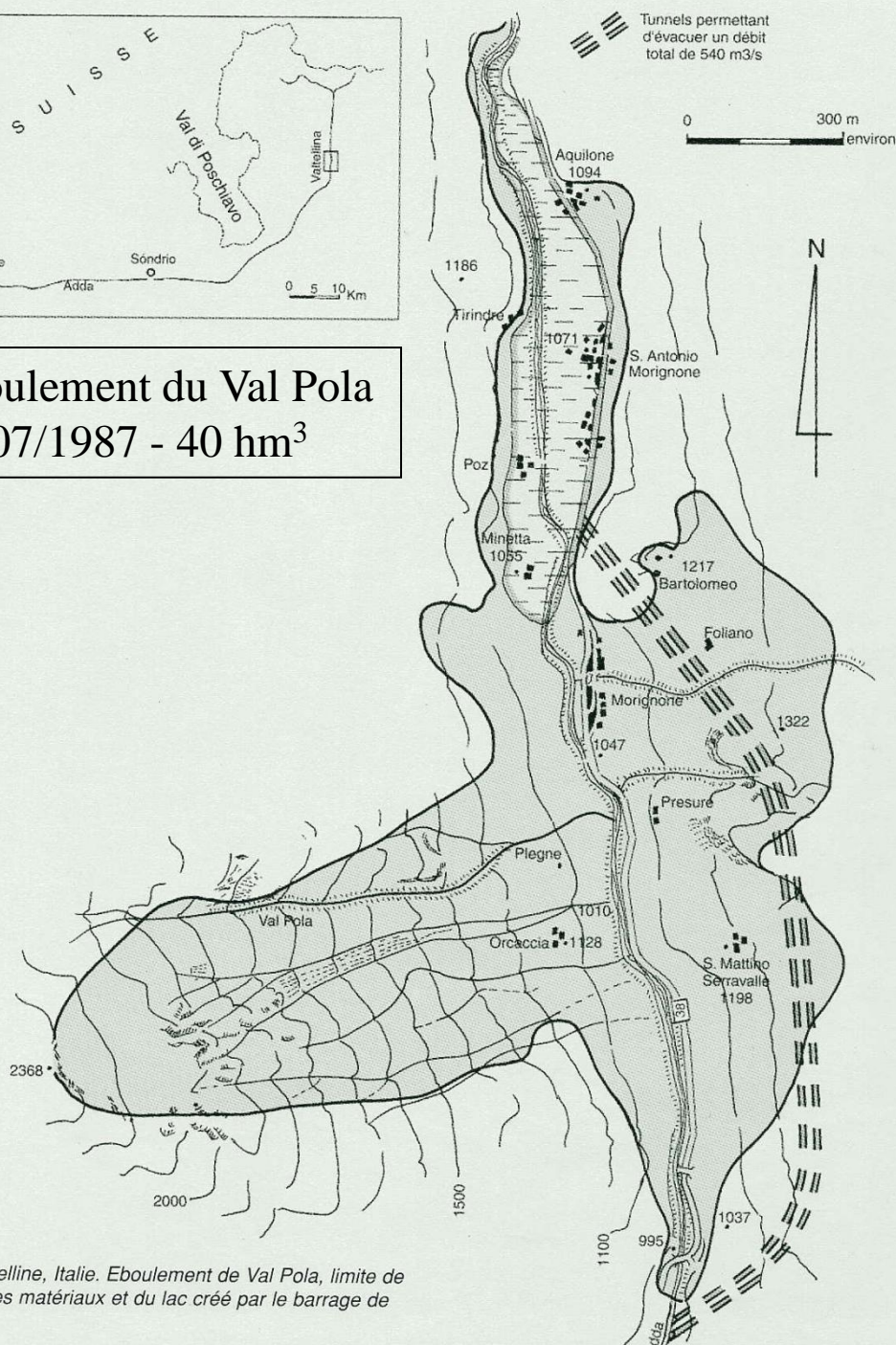


Photo avant l'éboulement

Fig. 218. Valtellina, Italie. Eboulement de Val Pola, limite de stabilité des matériaux et du lac créé par le barrage de Adda.



MOUVEMENTS DE VERSANT DE TYPE ECOULEMENT

MOUVEMENTS RAPIDES

Laves torrentielles

Coulées boueuses

Avalanches rocheuses

Avalanche de neige



MOUVEMENTS LENTS (FLUAGE)

Fluage superficiel (solifluxion)

Fluage profond

Fluage de la glace



ÉCOULEMENT RAPIDE

Lave torrentielle à Saint-Paul de Varces
(cliché P. Mériaux)



Laves torrentielles coupant la route de La Bérarde (isère)

Lave du 18/08/1999:

Route coupée pendant 24h

Voitures endommagées

Vénéon partiellement barré (camping
évacué)

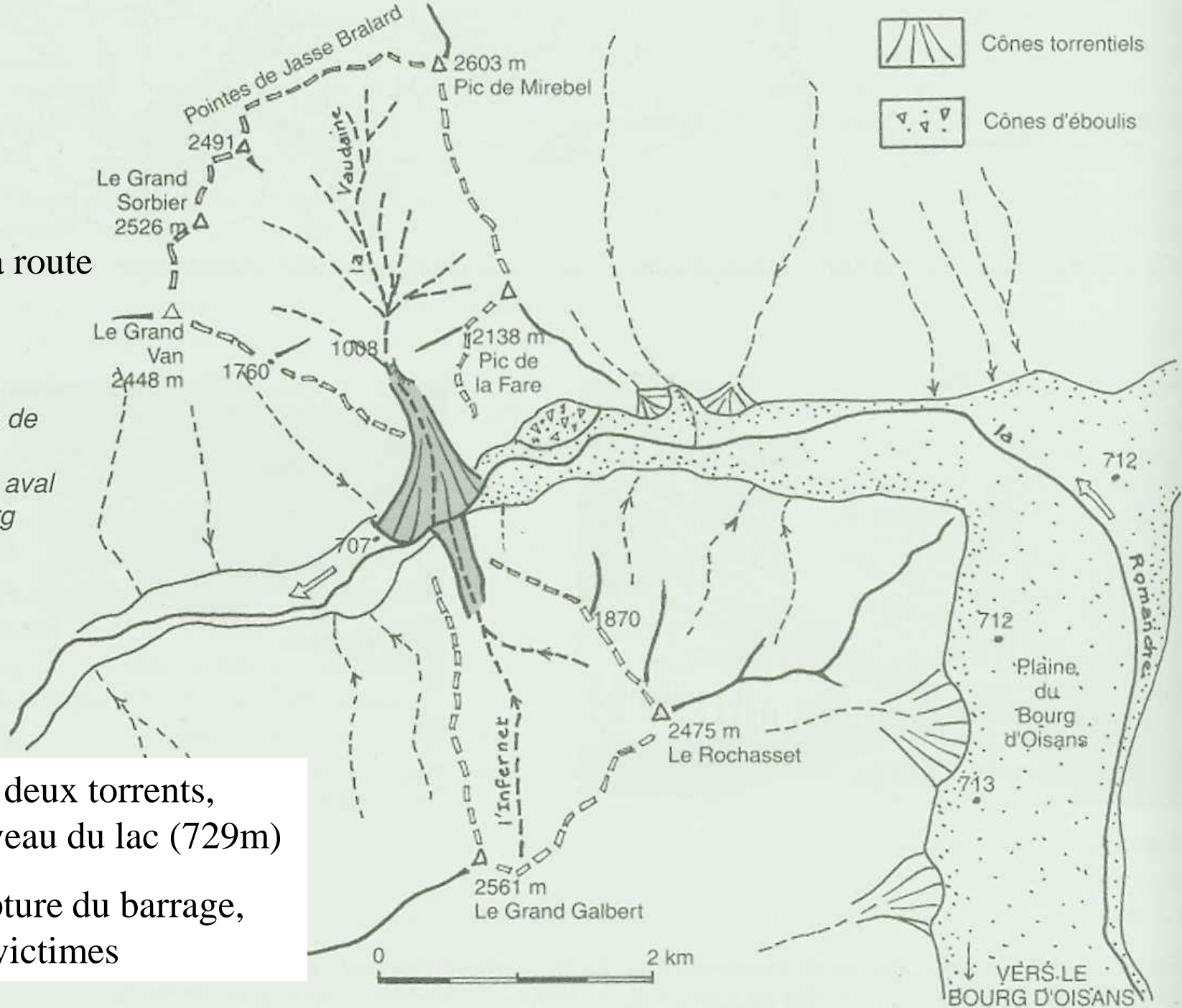


6/07/1986:
plusieurs m de
matériaux sur la route

Fig. 56. Les torrents de
la Vaudaine et de
l'Infernet et la partie aval
de la plaine du Bourg
d'Oisans.

1191: crues des deux torrents,
élévation du niveau du lac (729m)

19/09/1219: rupture du barrage,
des milliers de victimes



ÉCOULEMENT LENT



Solifluxion au col de la Furka

GLISSEMENT ET COULEES DE BOULC



SW

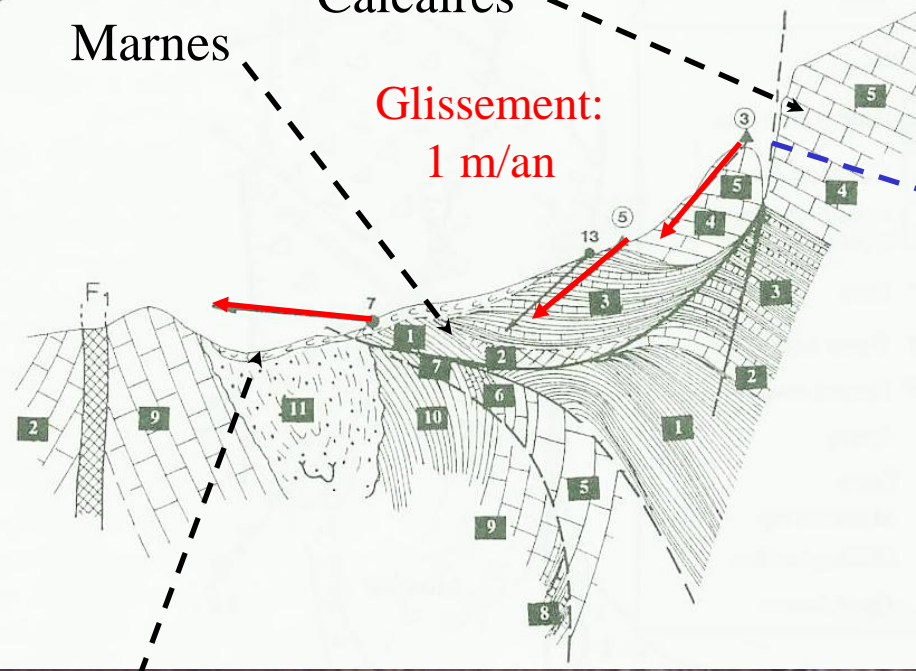
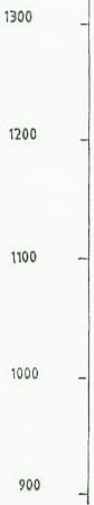
Calcaires

Marnes

LES PINIÈS

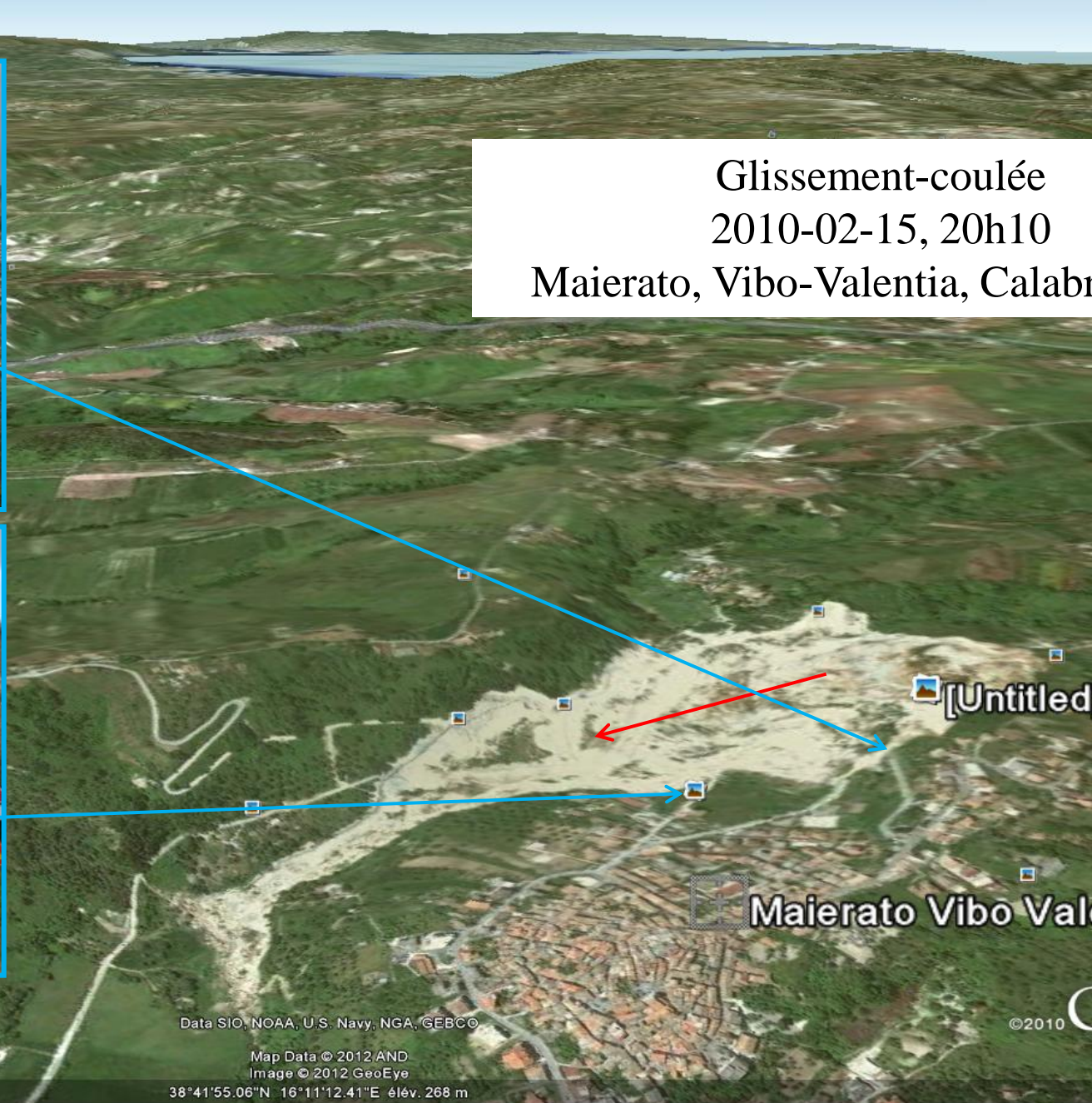
GLISSEMENT ET COULEES DE BOULC

Glissement:
1 m/an



Coulée: 47m
(20/05 au 12/08/92)





Glissement-coulée
 2010-02-15, 20h10
 Maierato, Vibo-Valentia, Calabre

[Untitled]

Maierato Vibo Val

Glissement-coulée, 2010-02-15, 20h10, Maierato, Vibo-Valentia, Calabre, Italie



d'après Jaithish John (2010)

CARTOGRAPHIE DES MOUVEMENTS DE PENTE

- Carte géologique au 1/250 000 (BRGM)
- Carte géologique au 1/50 000 (BRGM)
- Cartes géomorphologiques
- Cartes des phénomènes dans les PPRN

Mouvements gravitaires sur la carte BRGM au 1/250 000

"Eboulement" de Myans

Jarrier

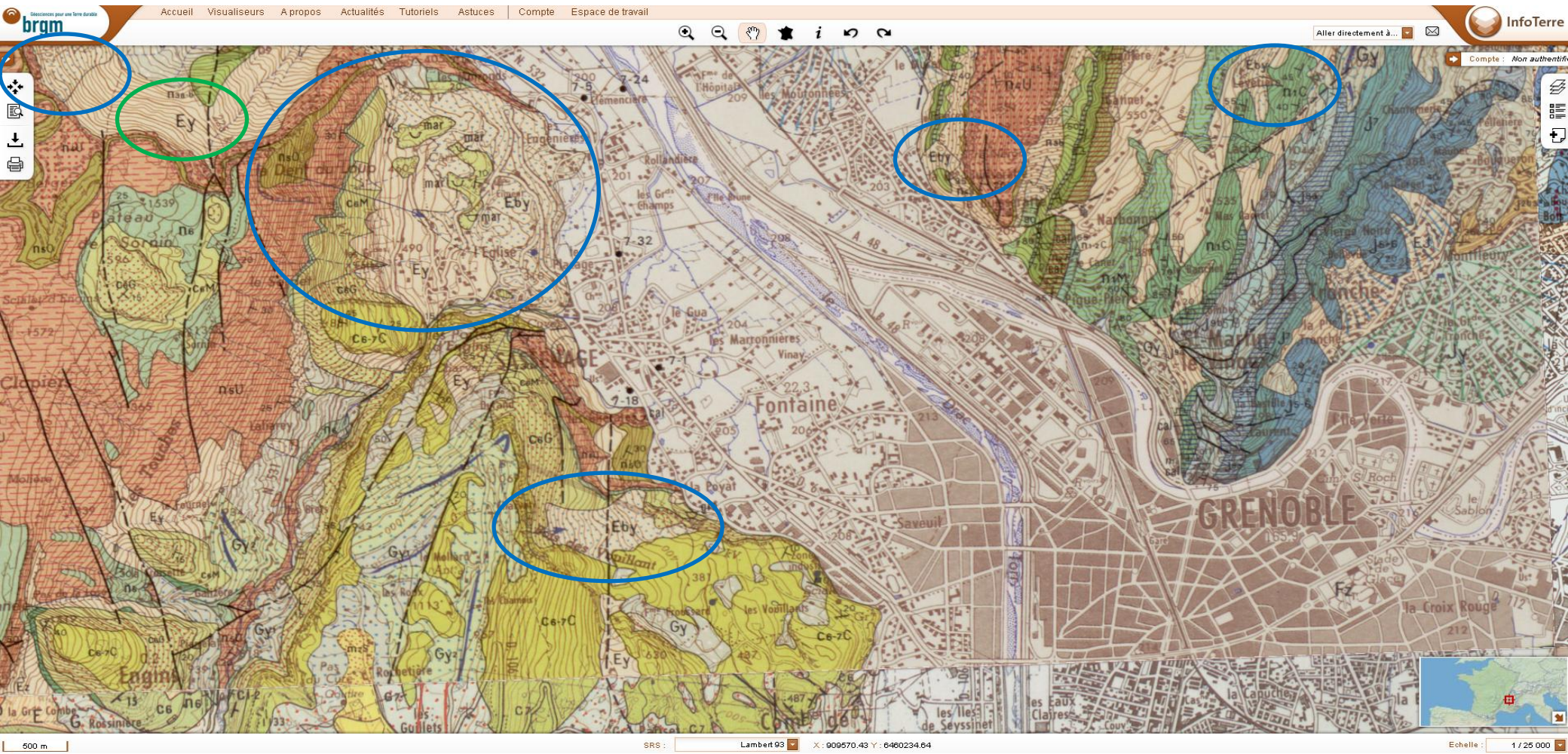
St-Michel de Maurienne



Villard d'Arène

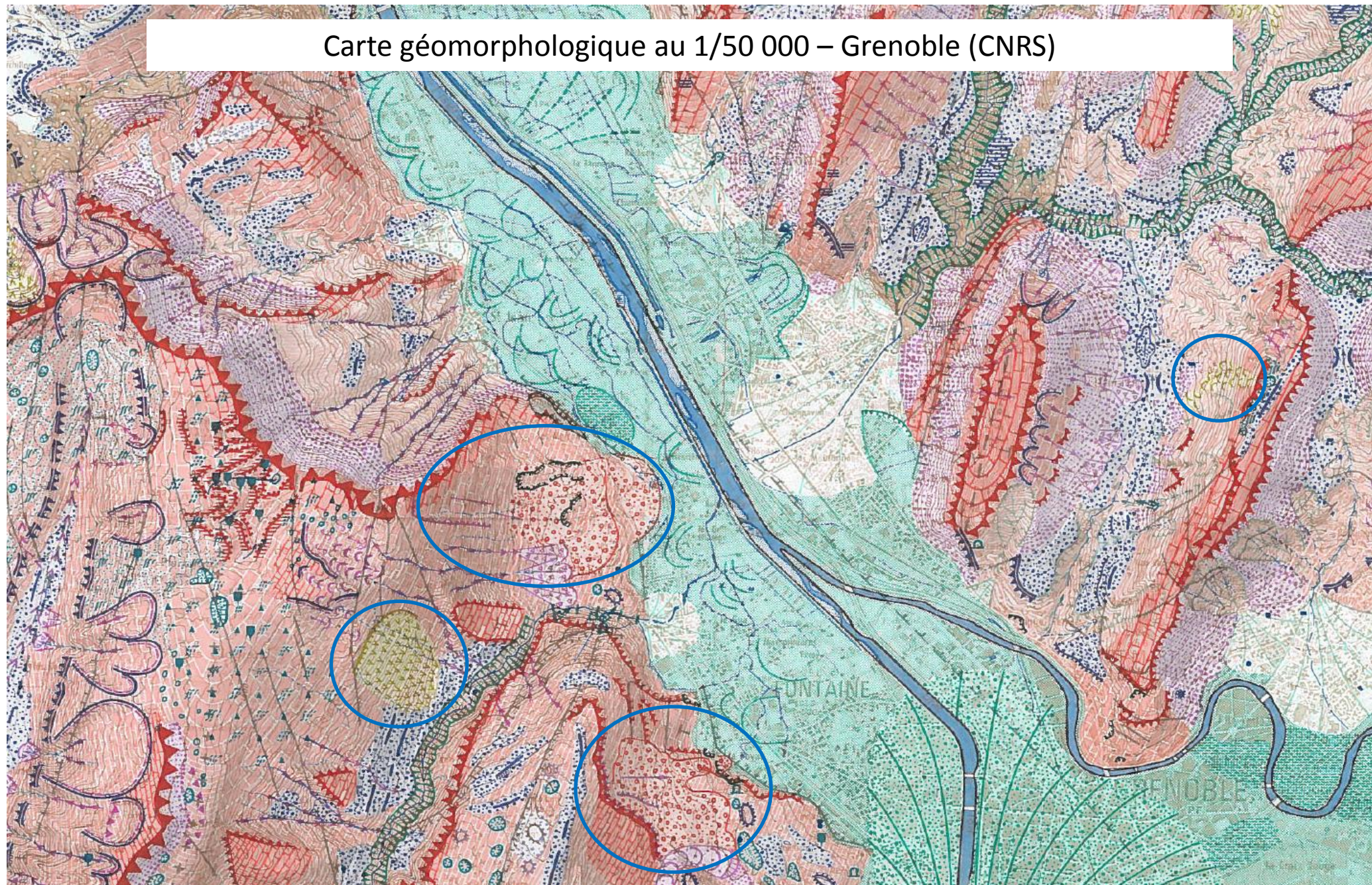
Carte BRGM au 1/250 000

Mouvements gravitaires sur la carte BRGM au 1/50 000



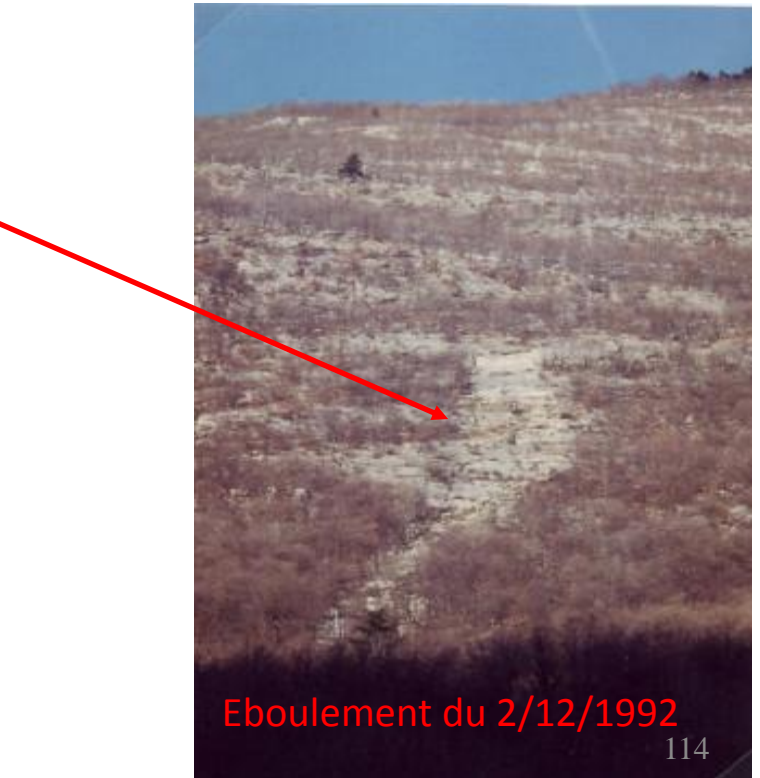
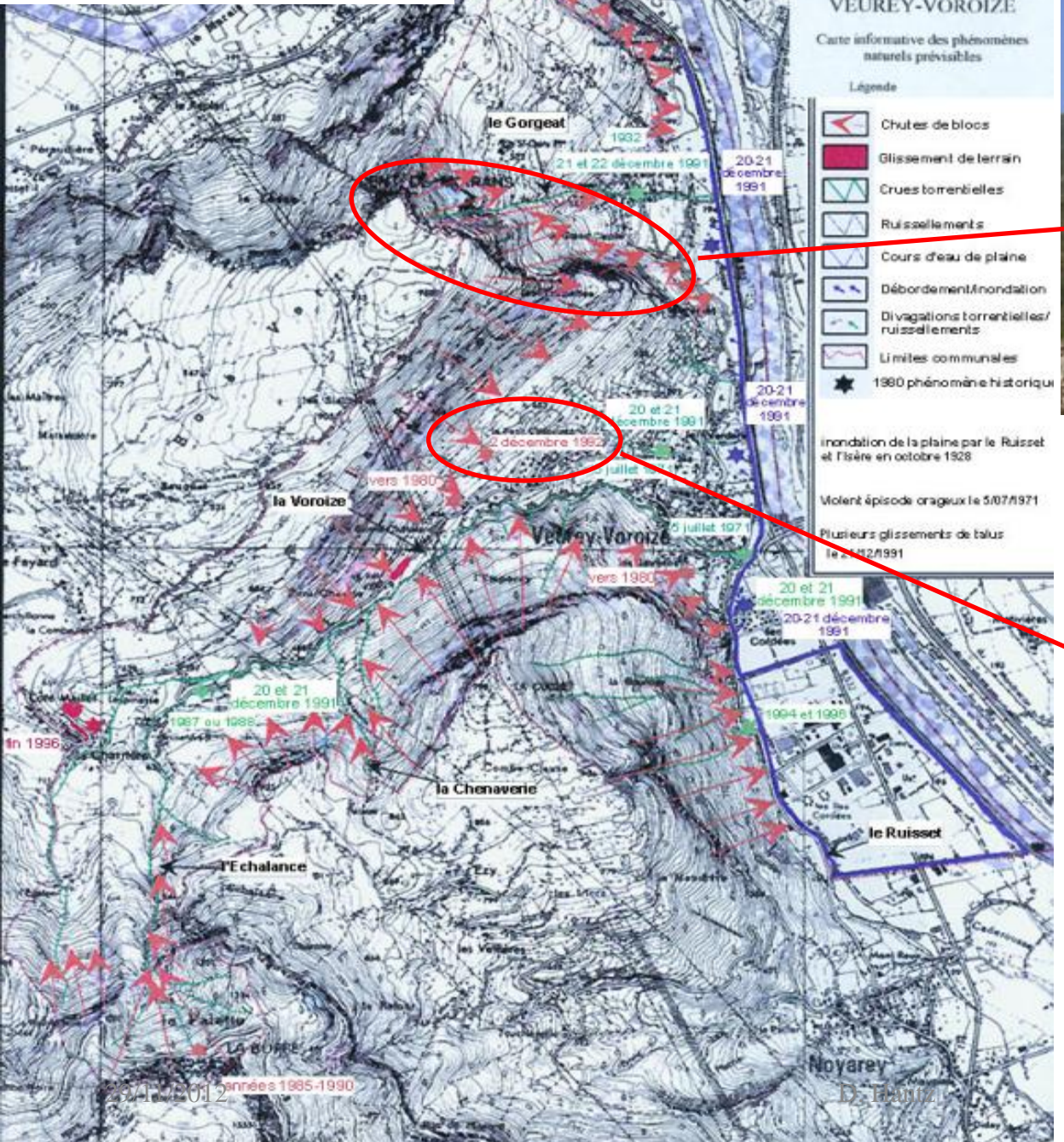
Eby : éboulement – Ey : éboulis stabilisé – Ex : éboulis actifs

Carte géomorphologique au 1/50 000 – Grenoble (CNRS)



Carte informative des phénomènes naturels prévisibles)

Plan de Prévention des risques Naturel Prévisibles hors débordement de l'Isère VEUREY-VOROIZE



Eboulement du 2/12/1992