



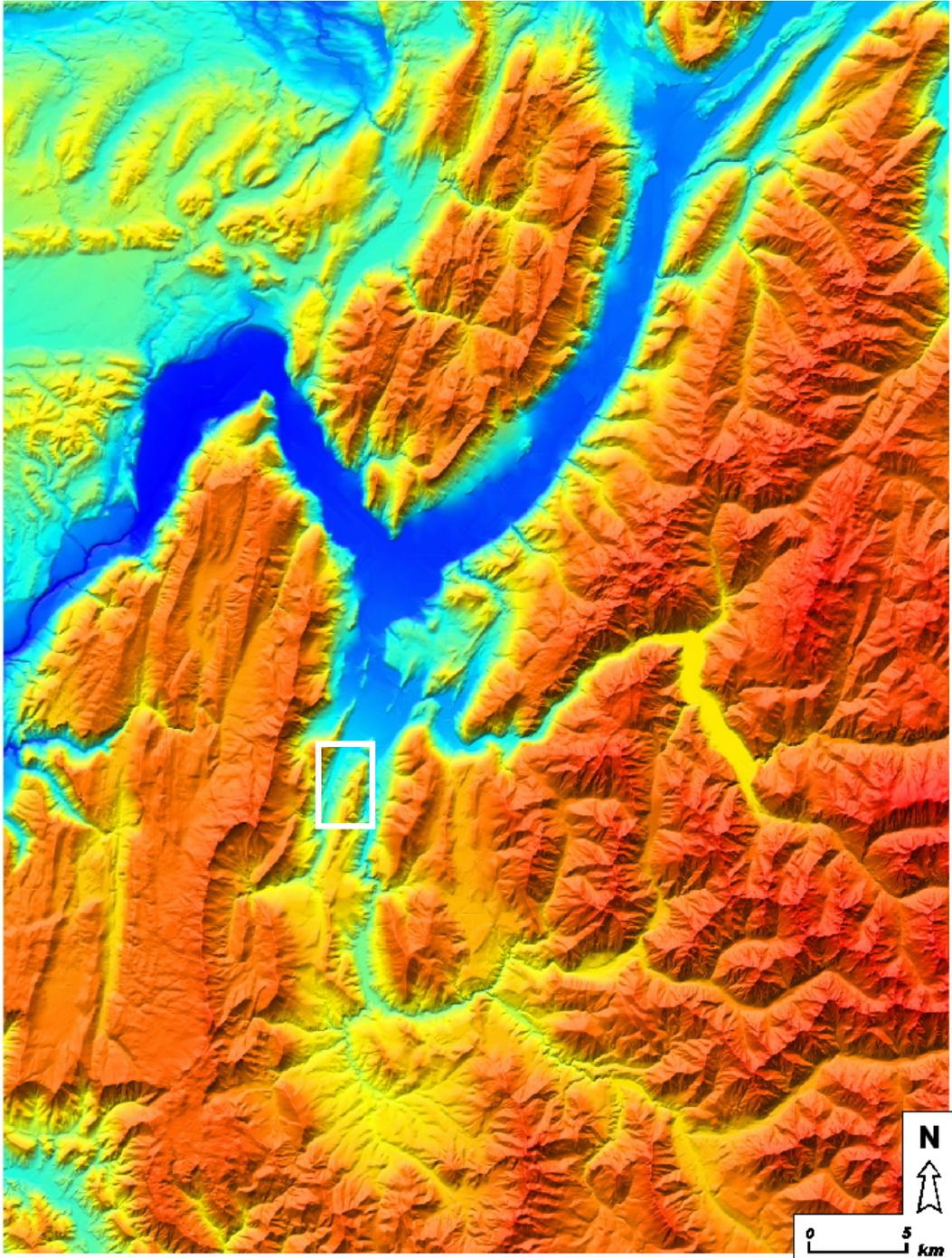
Risques Naturels et évolution climatique

Cycles d'ateliers VOR

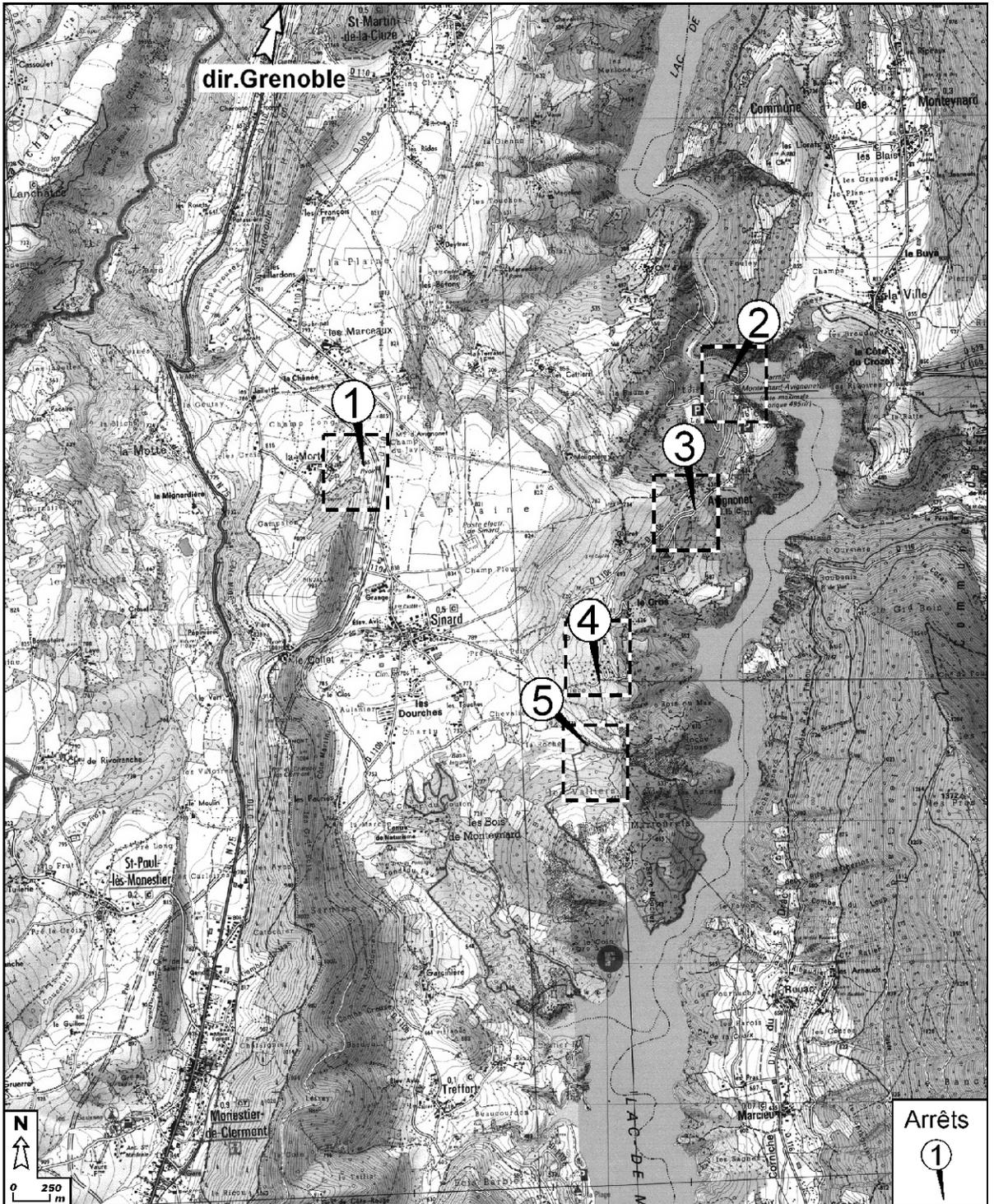
Les Glissements de terrain du Trièves

18 juin 2008

Organisation: D. Jongmans (LGIT) ;
G. Bièvre (LGIT & CETE de Lyon) ;
T. Villemin (EDYTEM)



Modèle numérique de terrain de la région de Grenoble



Extrait fonds topo IGN 1/25.000

Plan de localisation des arrêts

Liste des arrêts

Arrêt 1 Stations de référence (sismologique et GPS)
Panorama sur le Trièves - Introduction géologique
Observatoire de mouvement de terrain

Arrêt 2 Barrage de Monteynard
Structure géologique
Evolution du Drac - Influence climatique

Arrêt 3 Carrefour Mas d'Avignonet
Caractéristiques géotechniques
Morphologie

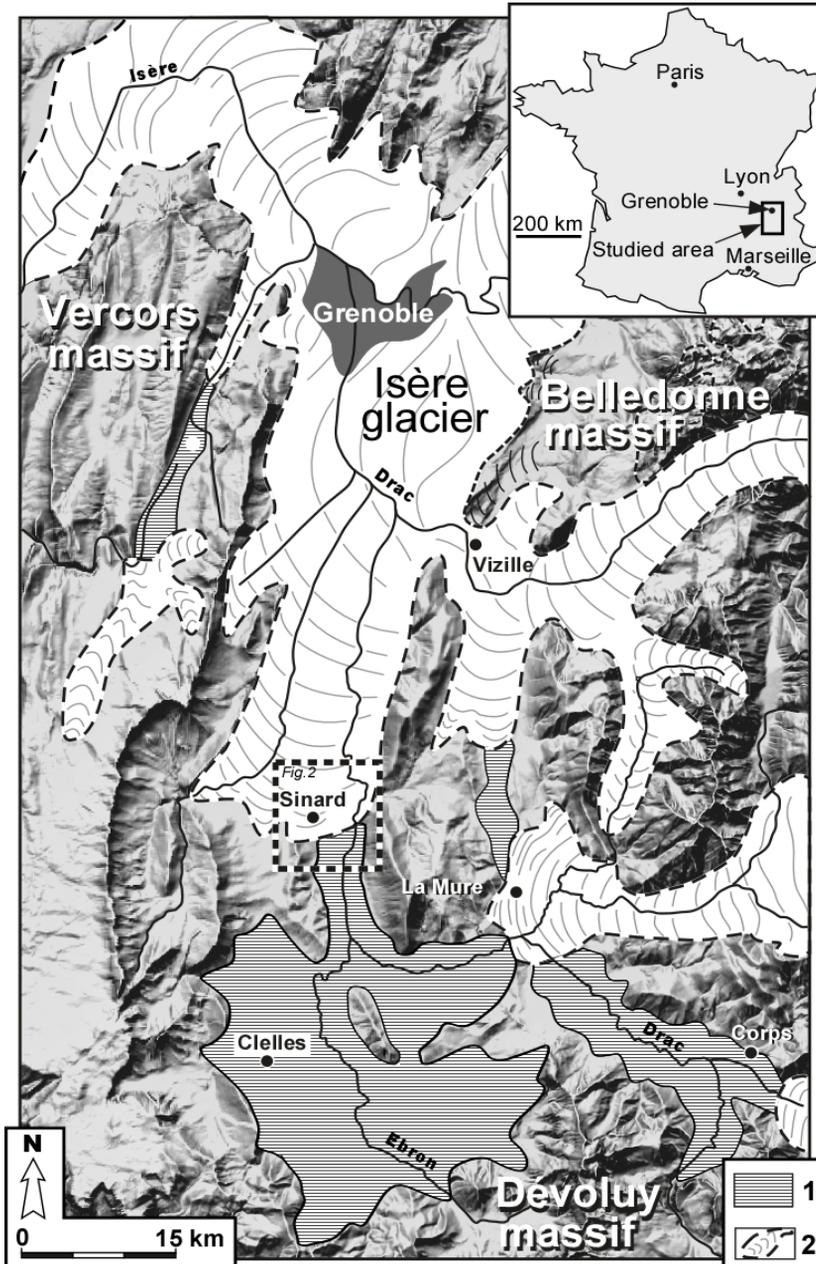
Arrêt 4 Glissement Mas d'Avignonet
Reconnaitances géophysiques et géotechniques
Hydrodynamique du mouvement
Historique-Enjeux

Arrêt 5 Glissement L'Harmalière
Historique
Risques - Enjeux
Paramètres de contrôle (Climat – Circulation de l'eau
-Rhéologie de l'argile - Séismes – Géométrie du bedrock)

Arrêt 1: Station de référence

1.1 Introduction géologique

Histoire - Structure - Panorama

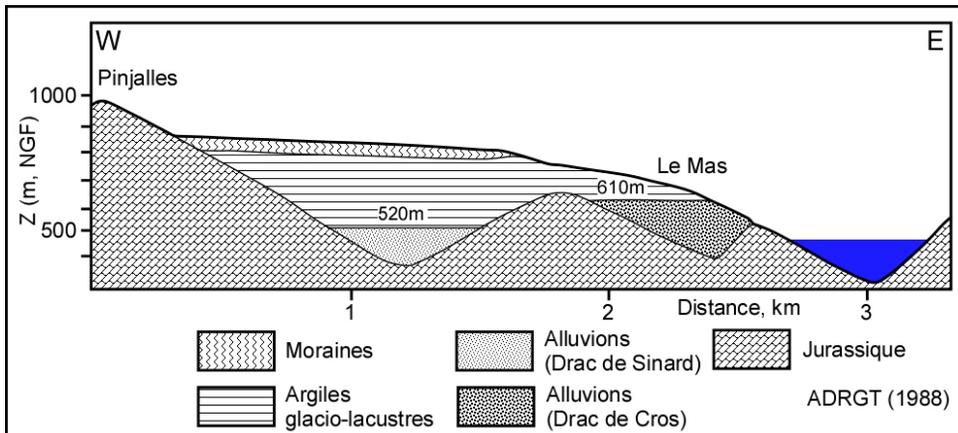
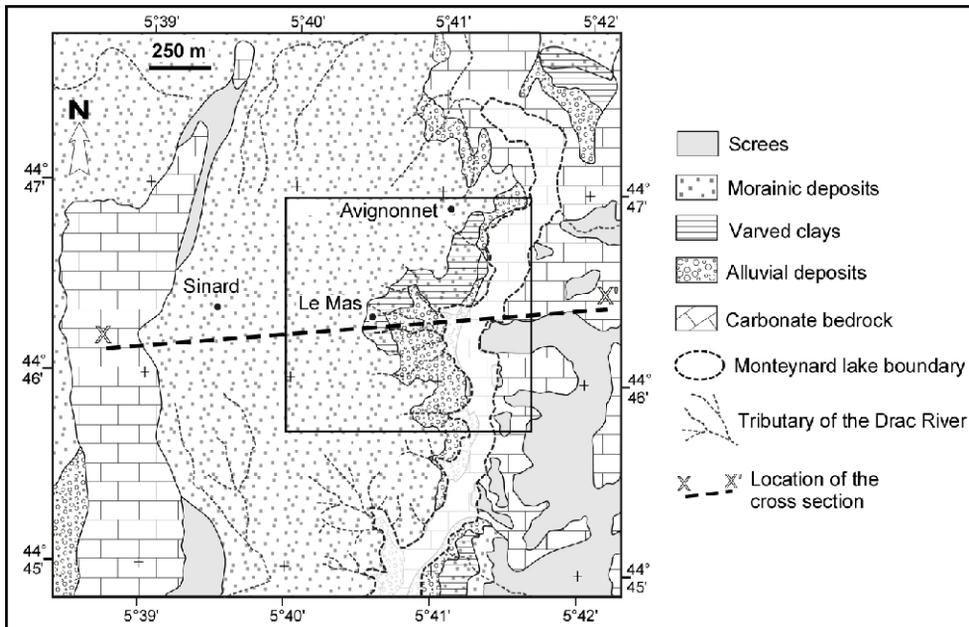
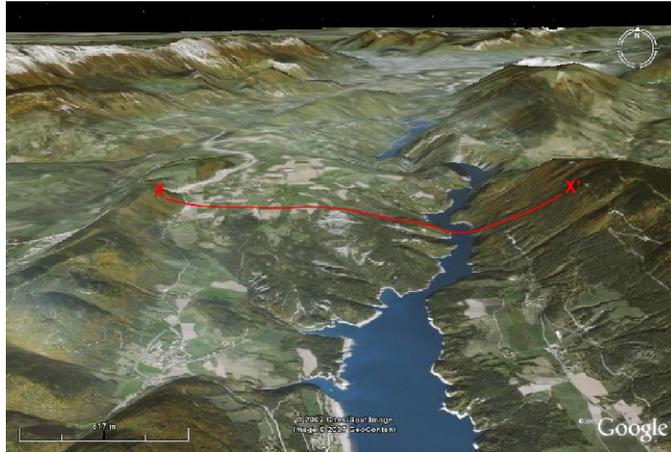


Extension du glacier de l'Isère au Würm (45.000 ans), adapté de Monjuvent (1973). **1** : dépôts d'Argiles litées dans le Tièves ; **2** : extension des glaciers à la fin du Würm.

Arrêt 1: Station de référence

1.1 Introduction géologique

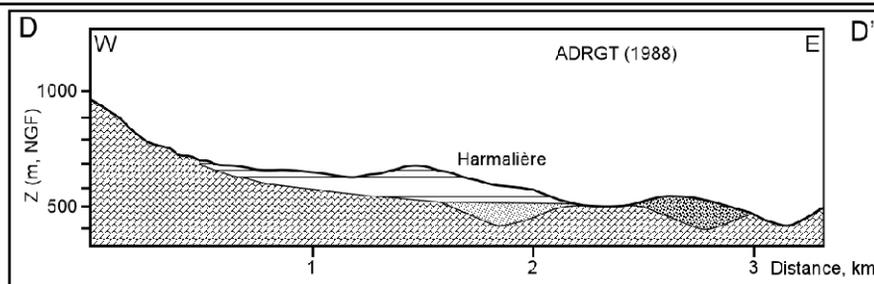
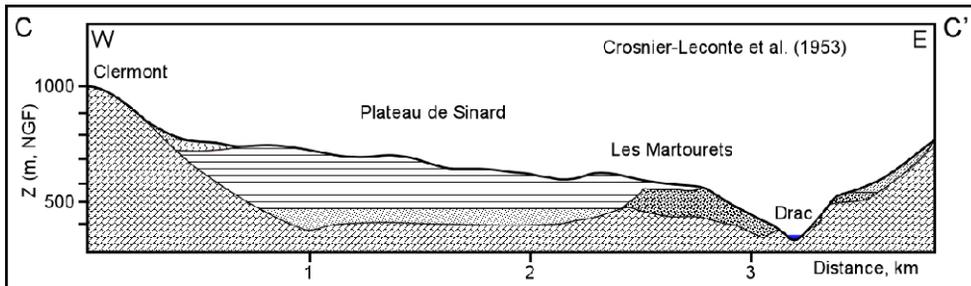
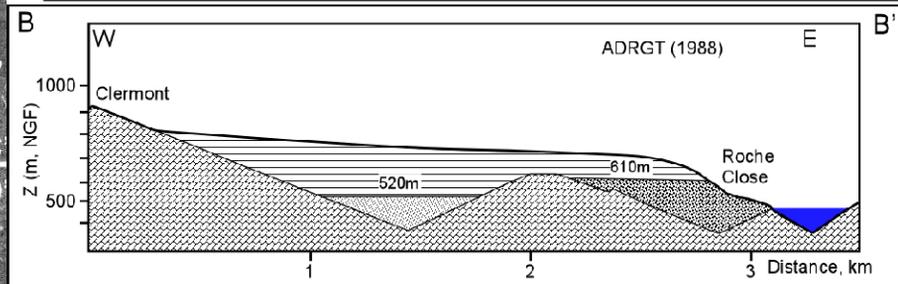
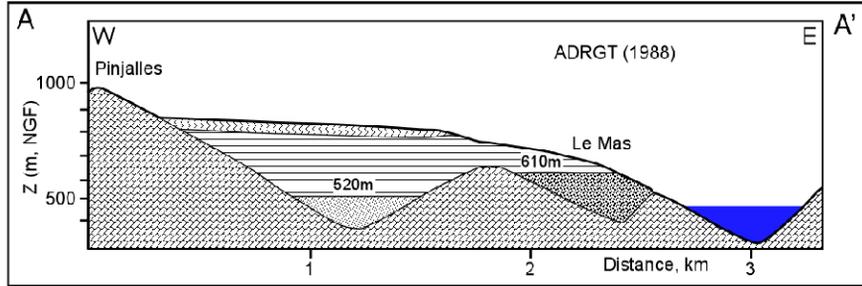
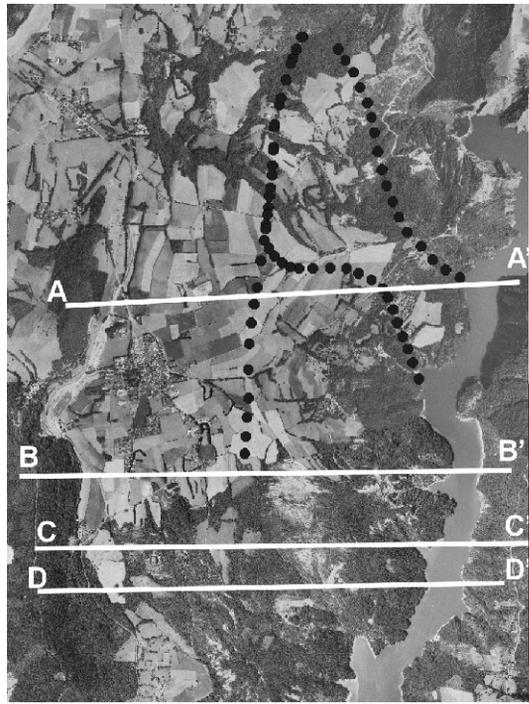
Histoire - Structure - Panorama



Arrêt 1: Station de référence

1.1 Introduction géologique

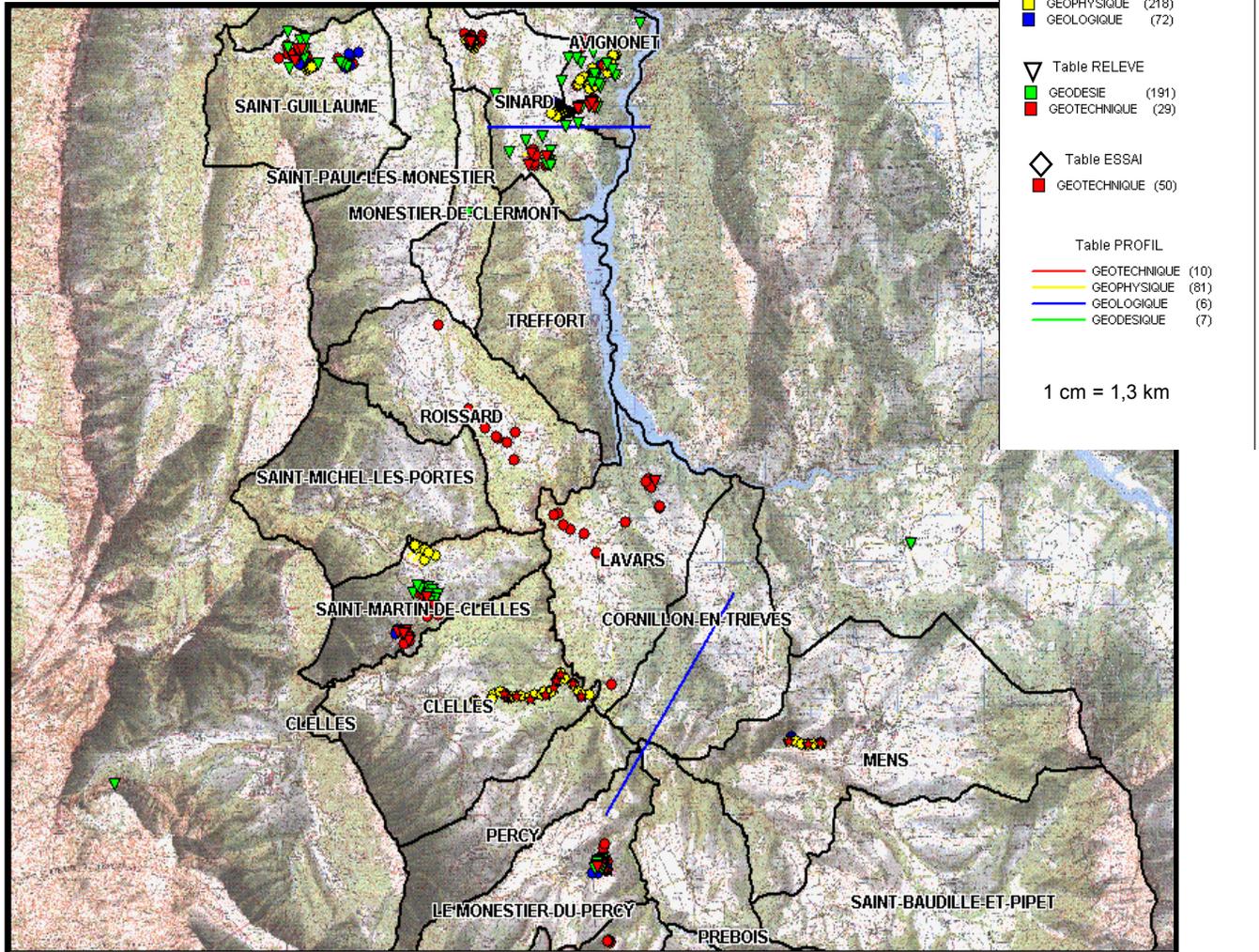
Histoire - Structure - Panorama



Arrêt 1: Station de référence

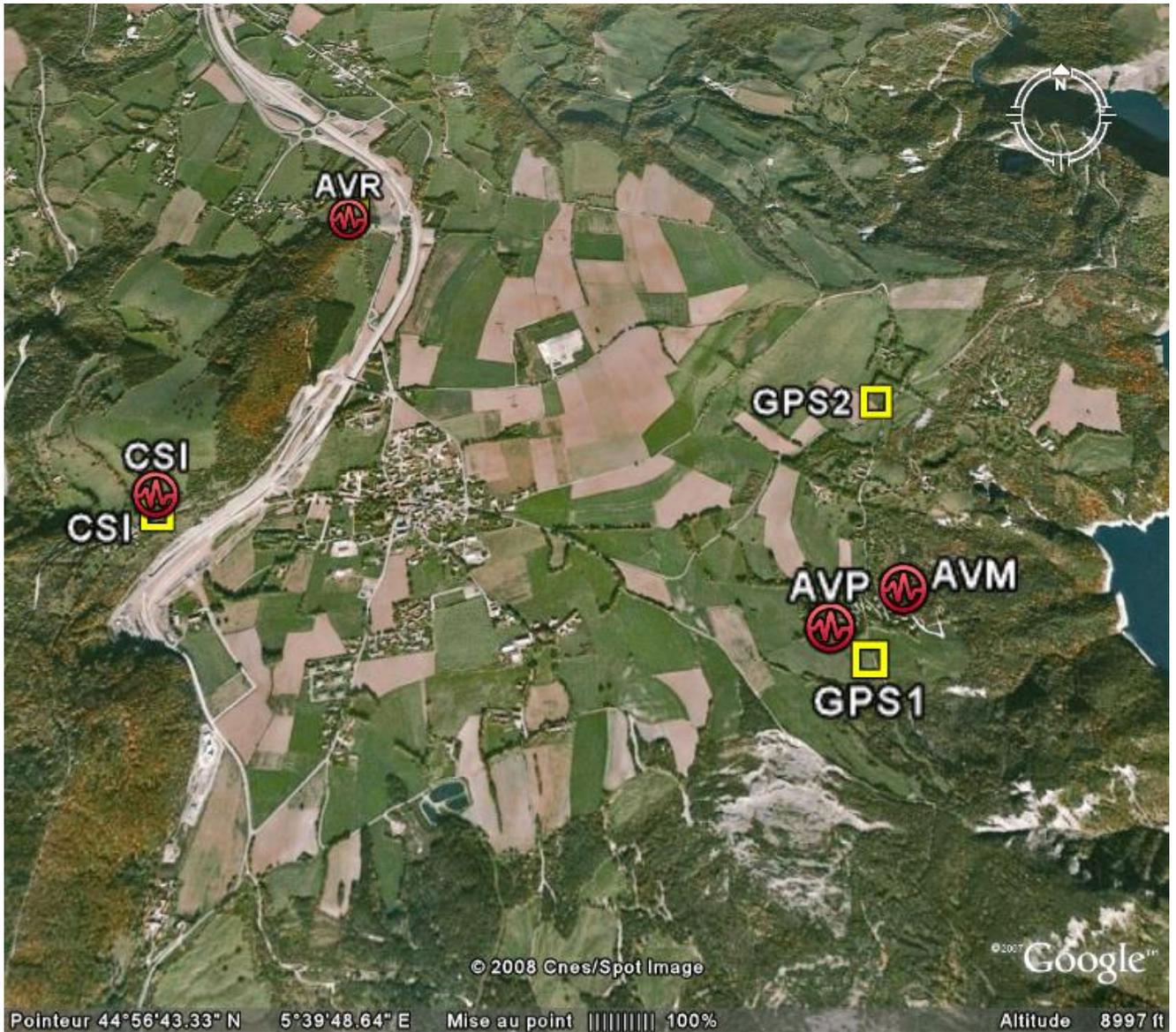
1.2 Observatoire de Mouvements de terrain

Constitution d'une base de données



Arrêt 1: Station de référence

1.2 Observatoire de Mouvements de terrain



Stations sismologiques et GPS permanentes (Avignonet)

Arrêt 1: Station de référence

1.2 Observatoire de Mouvements de terrain

Mesures sismiques

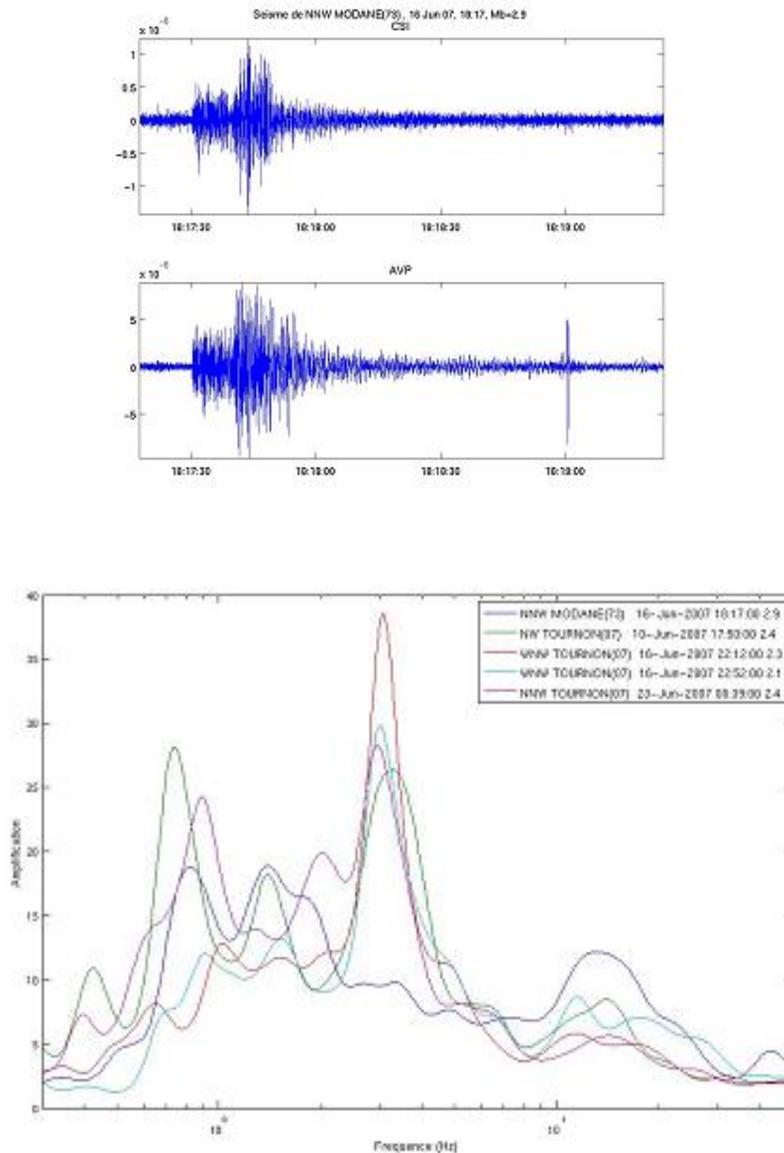


Fig 8a: Effets de site :

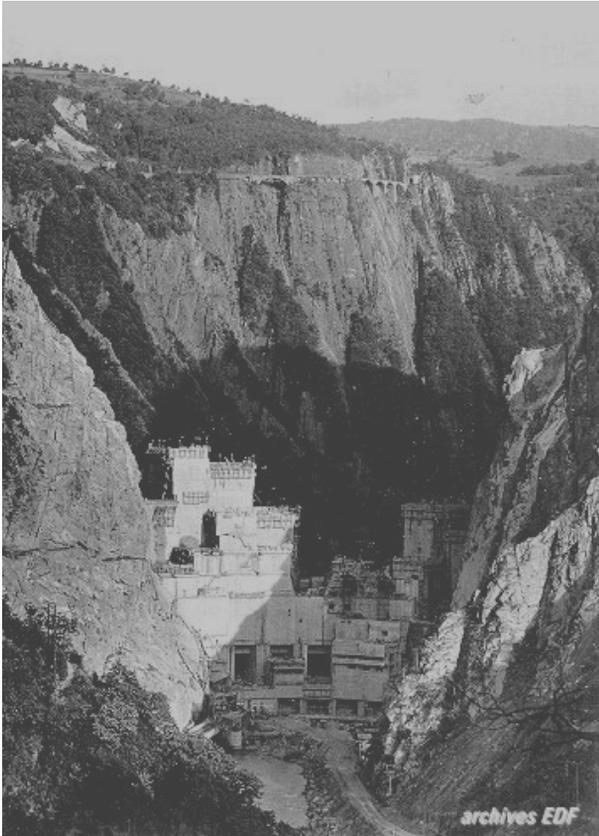
Haut : effet de site à AVP :

Gauche : Séisme du 16 juin 2007 à Modane, enregistré à AVP (glissement) et CSI (référence).

Droite : Rapports spectraux (AVP/CSI) pour 5 séismes su mois de juin 2007.

Arrêt 2: Barrage de Monteynard

2.1 Structure géologique



Barrage voûte: $V=275.00 \text{ hm}^3$

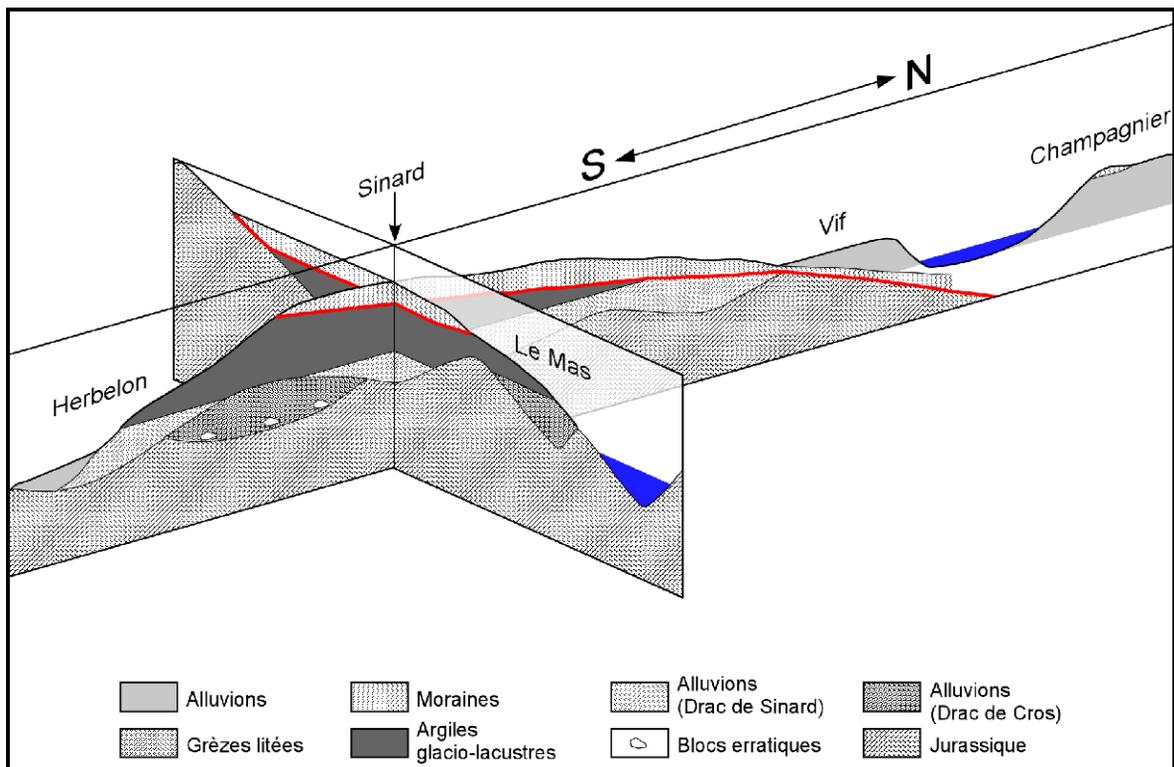
Construction: 1955-1962

Hauteur: 153 m

Arrêt 2: Barrage de Monteynard

2.1 Structure géologique (de haut en bas)

- **Couverture morainique** : présente sur l'ensemble du secteur, elle est composée de galets et blocs au sein d'une matrice argileuse (épaisseur : 2 à 7/8 m) ; cette couverture s'est mise en place lors de la dernière avancée du glacier ;
- **Argiles litées** : alternance +/- rythmique de lits argileux et silteux, centimétriques à décimétriques ; l'épaisseur varie de 0 à env. 250 m ; la série présente des intercalations sablo-graveleuses (notamment à la base) qui témoignent de l'évolution de la dynamique de dépôt au cours du temps ;
- **Alluvions anciennes indurées** : mises en place à l'interglaciaire Riss-Würm, ces dépôts sont principalement composés de galets pris dans une matrice fine localement indurée ;
- **Calcaires marneux** : datés du Lias (Jurassique), ils constituent le substratum sur lequel repose l'ensemble des formations quaternaires locales.



Coupe géologique pseudo-3D au niveau de Sinard avec la base du glacier (rouge).

Arrêt 2: Barrage de Monteynard

2.2 Evolution du Drac

Influence du climat - Histoire climato-géologique

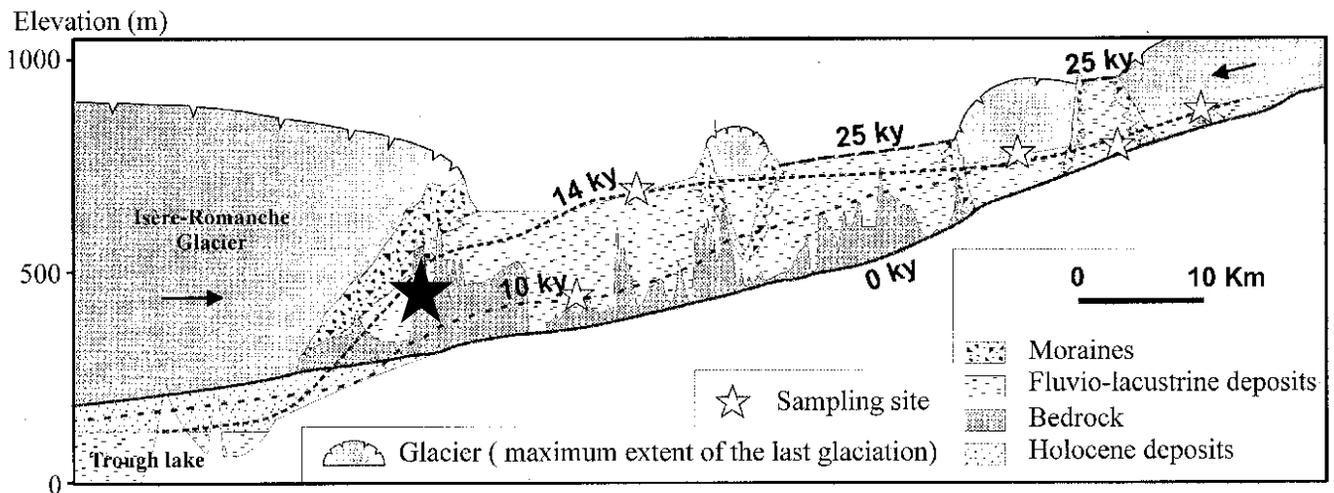


Fig. 10. Postglacial evolution of the Drac River long-profile, inferred from ^{10}Be terrace ages. Inferred subsequent river long-profiles are indicated by dashed lines and annotated by age. These profiles, as well as glacier profiles and incised lithological units, are projected onto the valley axis (Brocard, 2003).

Il y a 25000 ans: début du retrait des glaciers

Il y a 14000 ans : fonte rapide des glaciers: réchauffement climatique, incision très rapide du Drac (6 cm/an)

Depuis 7000 ans : incision à environ 1 cm/an. A Avignonet, niveau du Drac sous la base de la couche d'argile

Arrêt 3: Carrefour Mas d'Avignonet

3.1 Argiles du Trièves

Caractéristiques géotechniques

Minéralogie :

Niveaux argileux (sombres) : illite (65-85 %), carbonates (25 %), chlorite (10-30 %), interstratifiés expansibles mal cristallisés illite-smectite (< 10 %), montmorillonite ; un peu de quartz et de feldspaths.

Niveaux clairs (silts) : calcite (50 %) et quartz.

Granulométrie :

40% des lits clairs < 2 μ , 60% pour les lits sombres.

Densité sèche : 1.48 à 1.64

Teneur en eau naturelle : 23 \pm 6 %

Porosité : env. 40 %

Limites d'Atterberg : LL = 32-38 ; IP = 10-25.

Perméabilité :

Env. 10⁻¹⁰ m/s perpendiculairement au litage.

Env. 10⁻⁸ m/s parallèlement au litage.

Angle de frottement : $\Phi_r=17-19^\circ$ (CD)

Cohésion : $C_r=0-7$ kPa (CD)

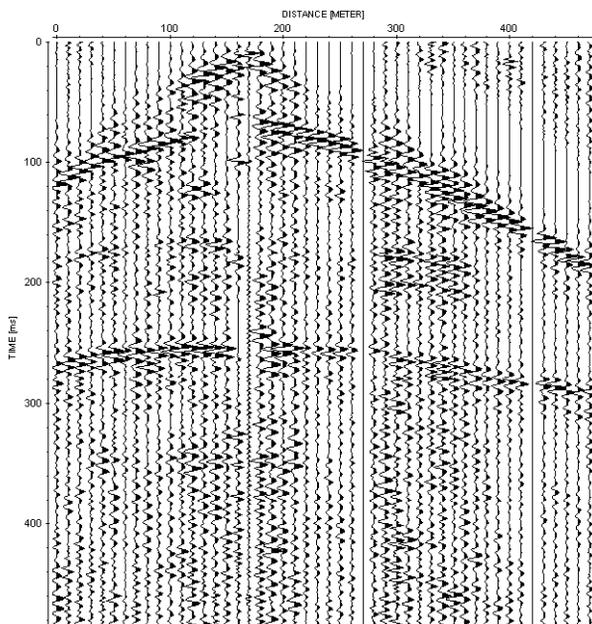
OCR (overconsolidation ratio): 13-20

Arrêt 3: Carrefour Mas d'Avignonet

3.1 Argile du Trièves

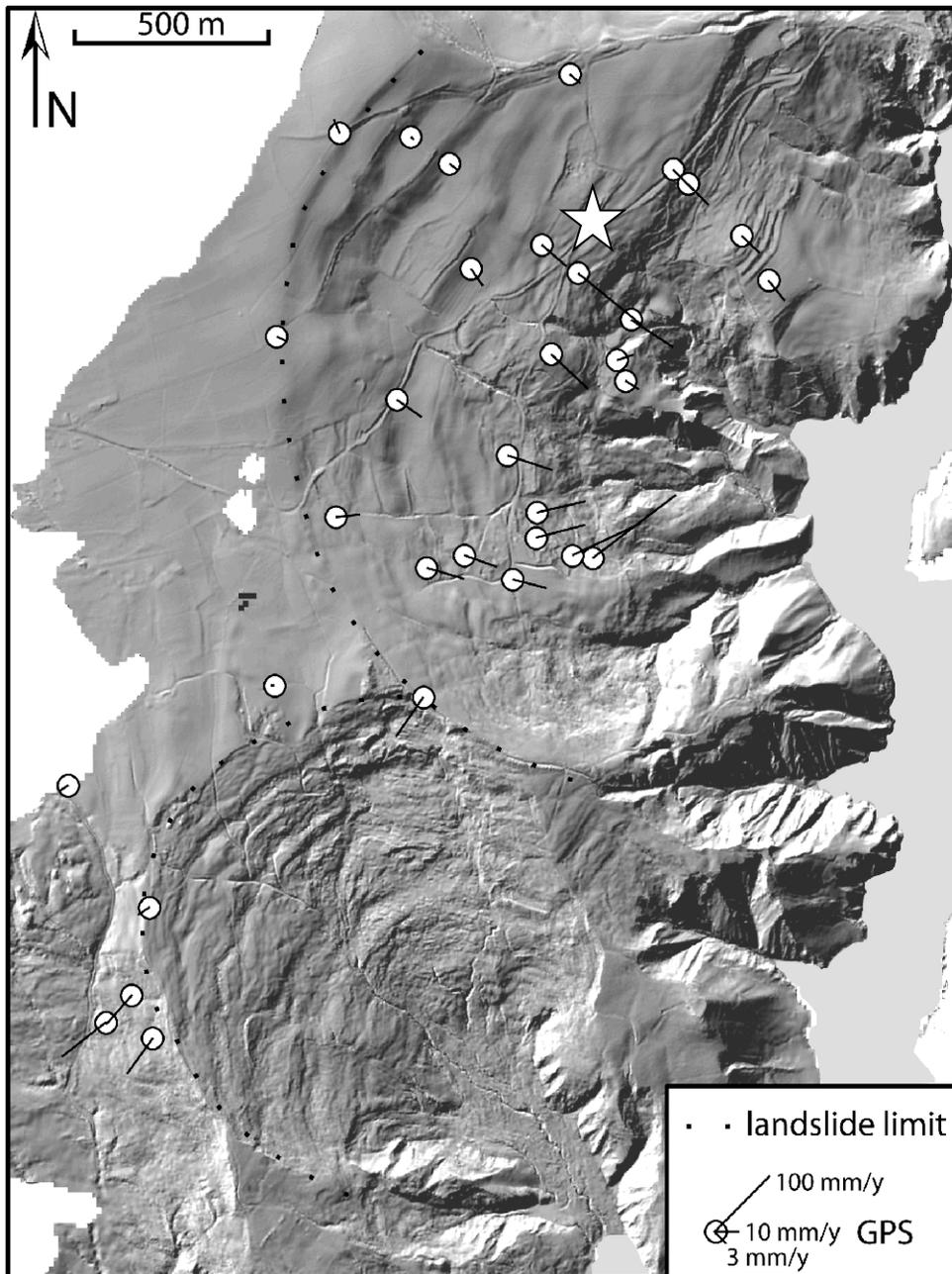
Caractéristiques géotechniques - hydrogéologie

- Pente moyenne des versants 10-15°
- Surfaces de ruptures à des profondeurs différentes (5 m, 12-20 m, 40 m) - présence de couches de sable interstratifiées
- Niveau d'eau très proche de la surface du sol
- Activité de glissement liée à pluviométrie et à fonte des neiges (peu de données quantitatives)
- Evolution de glissements à coulées



Arrêt 3: Carrefour Mas d'Avignonet

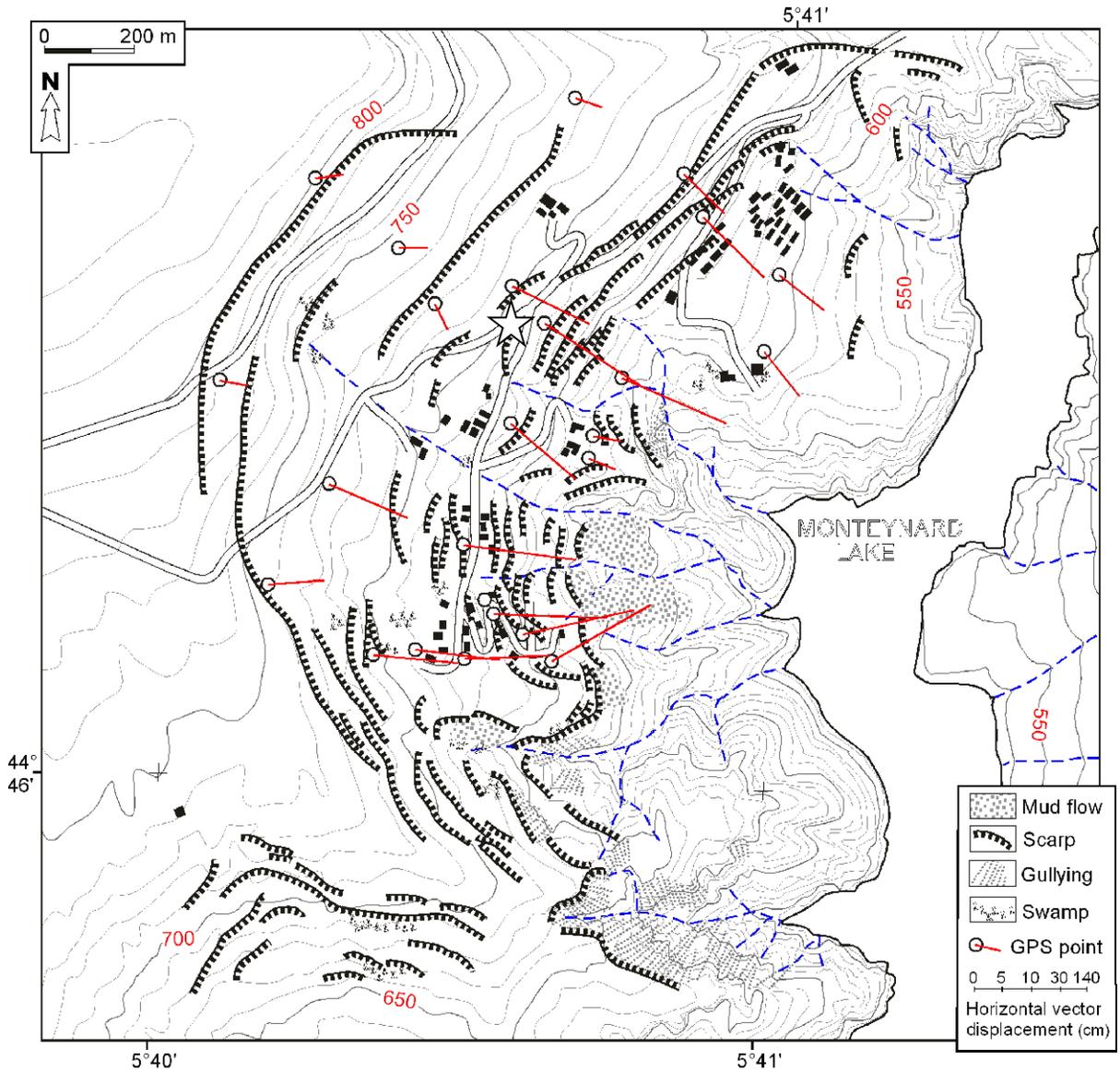
3.2 Morphologie GPS- Taux de déplacement - profil Lidar



Modèle numérique de terrain (obtenu par LIDAR) et localisation des points GPS)

Arrêt 3: Carrefour Mas d'Avignonet

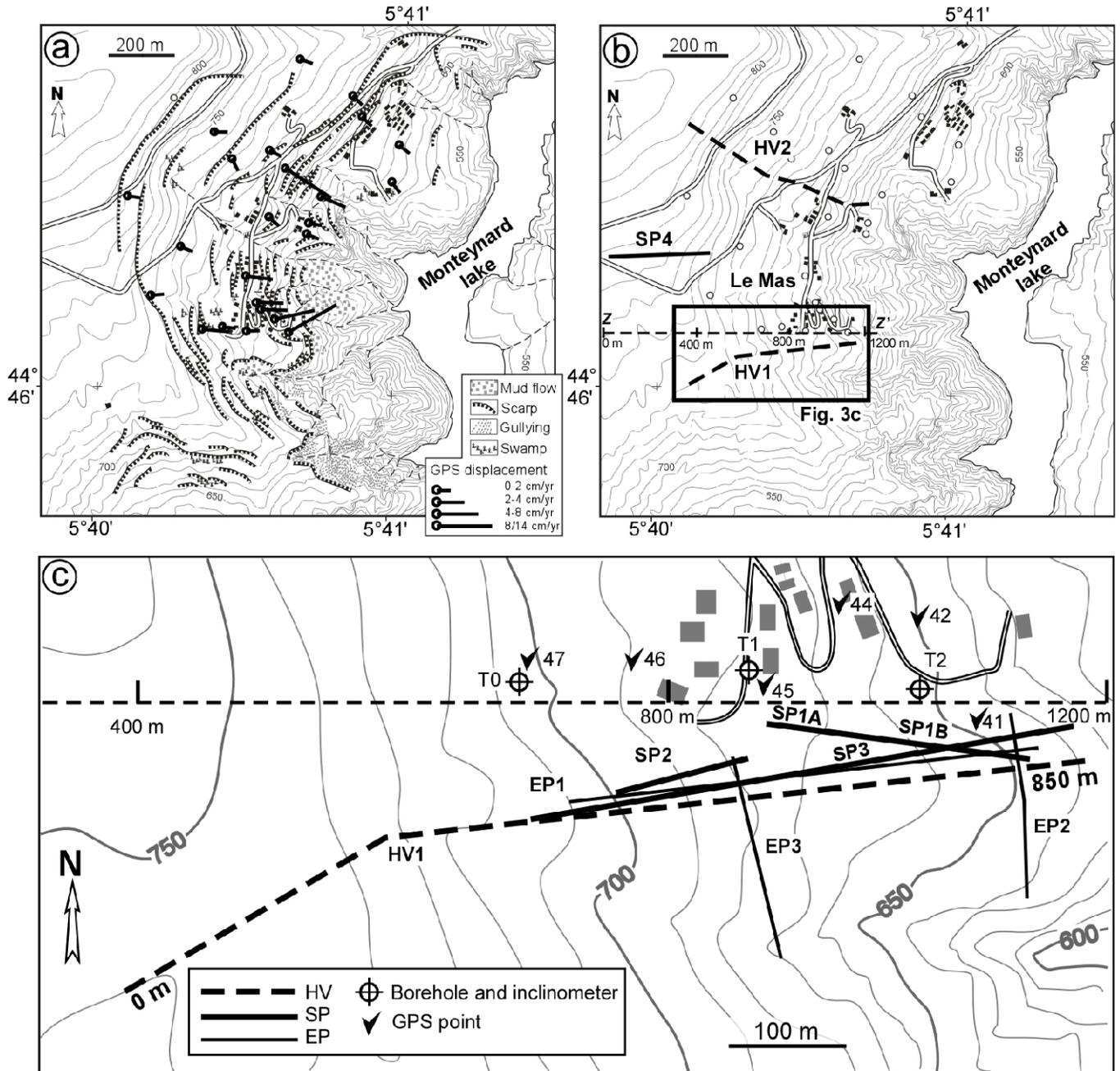
3.2 Morphologie



Glissement d'Avignonet: escarpements et vecteurs de taux de déplacements

Arrêt 4: Mas d'Avignonet

4.1 Reconnaissances géophysiques et géotechniques

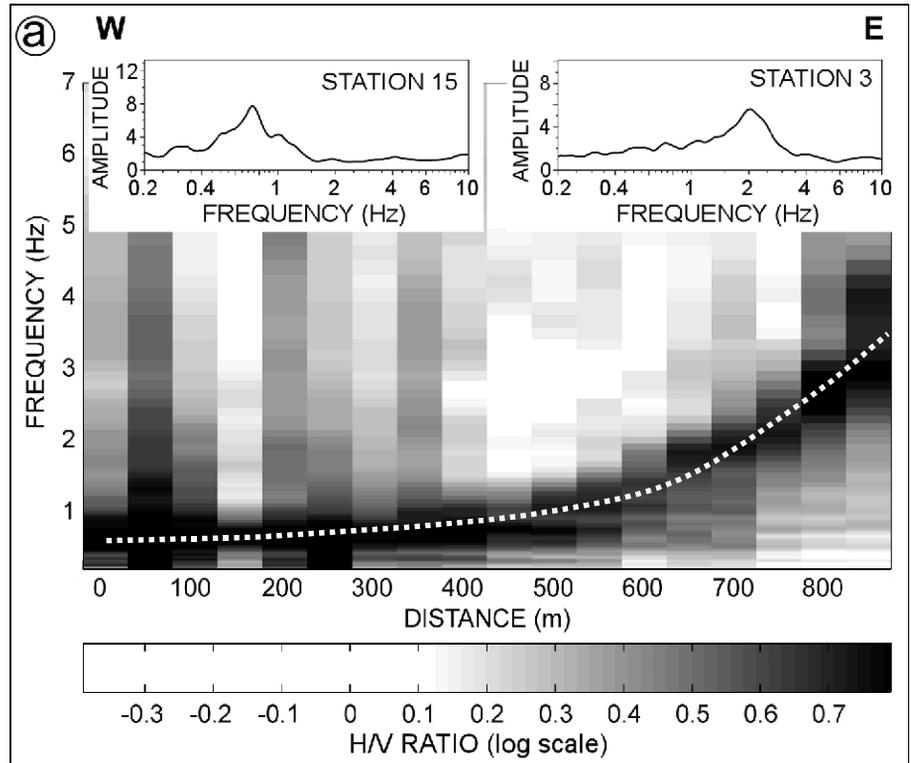


a) Carte des taux de déplacements b) et c) Localisation des essais géophysiques et géotechniques

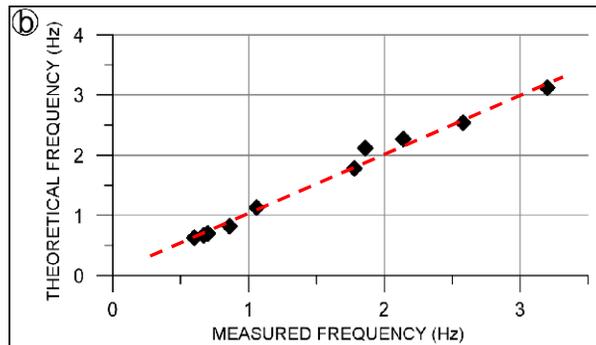
Arrêt 4: Mas d'Avignonet

4.1 Reconnaissances géophysiques et géotechniques

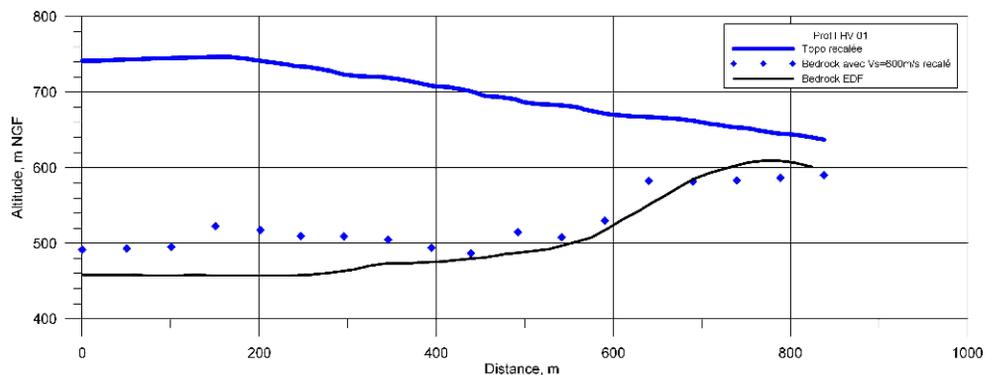
Profil H/V 1



Relation entre fréquences de résonance théoriques et mesurées

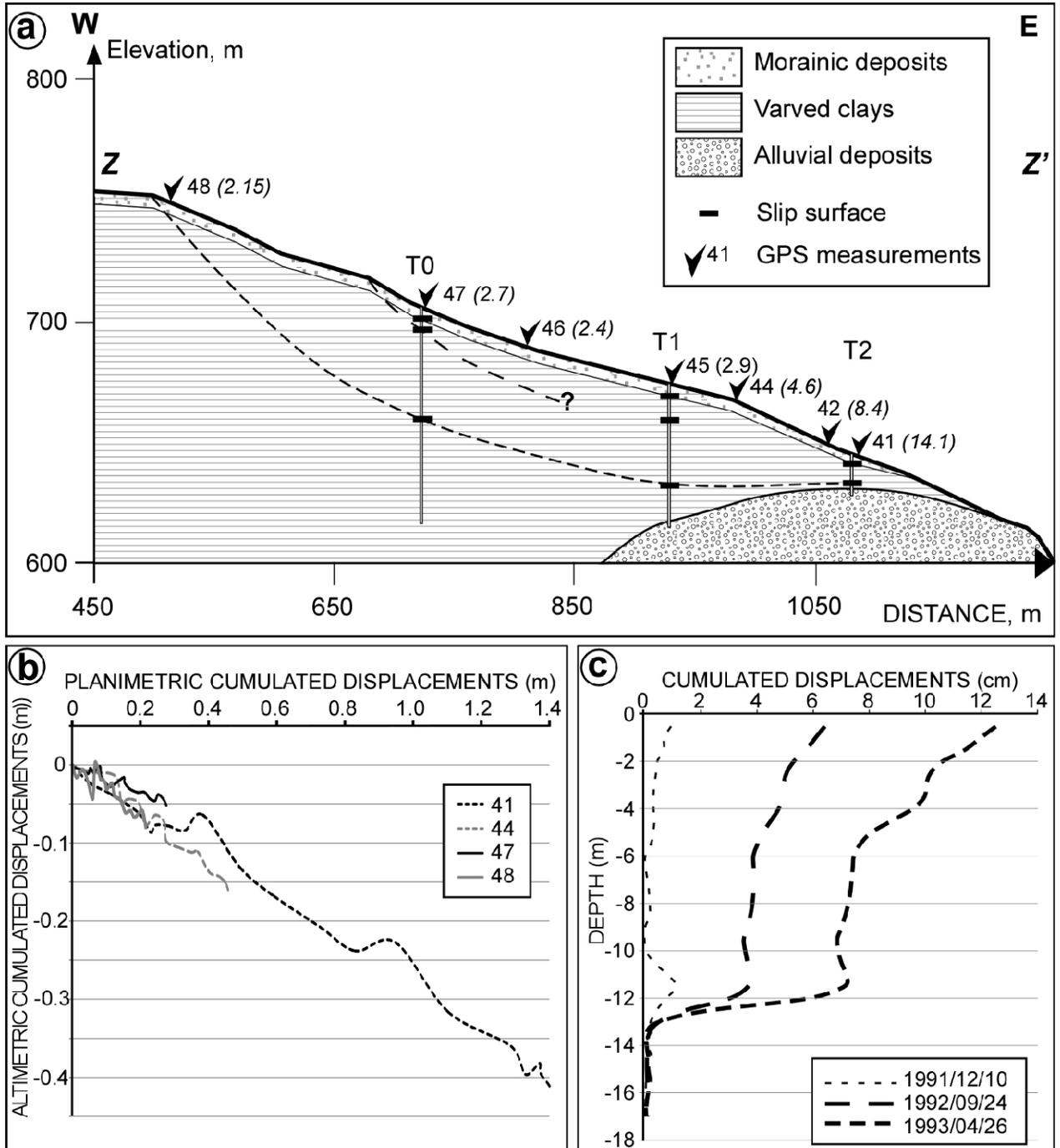


Profondeurs de la base de la couche d'argile (H/V) et du Bedrock(EDF).



Arrêt 4: Mas d'Avignonet

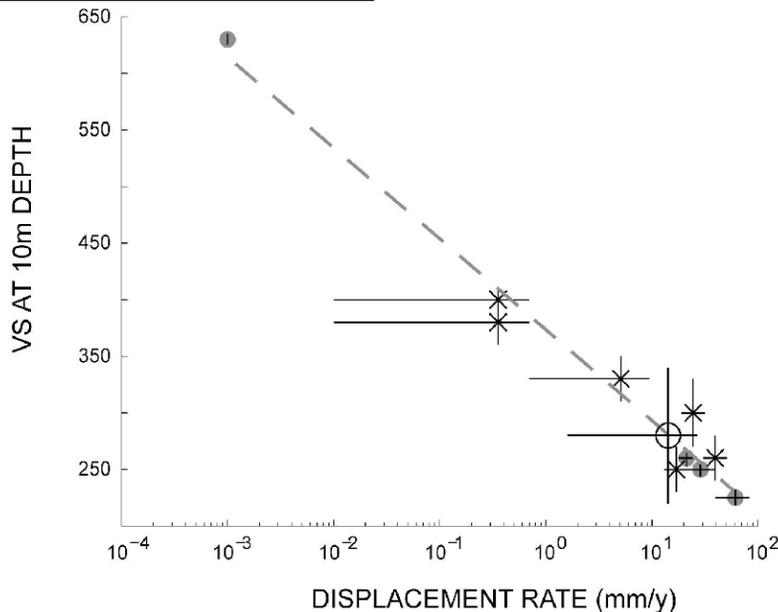
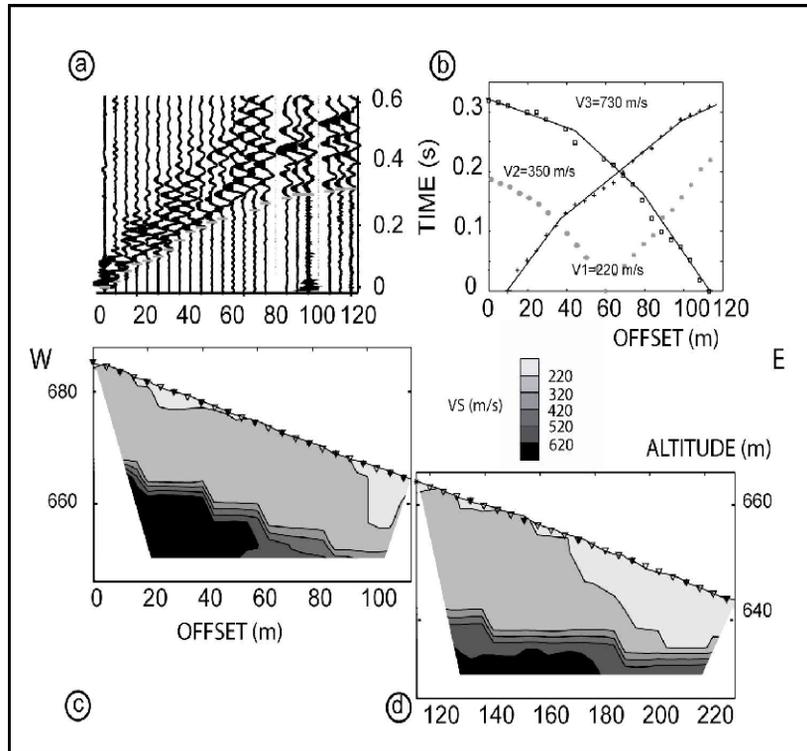
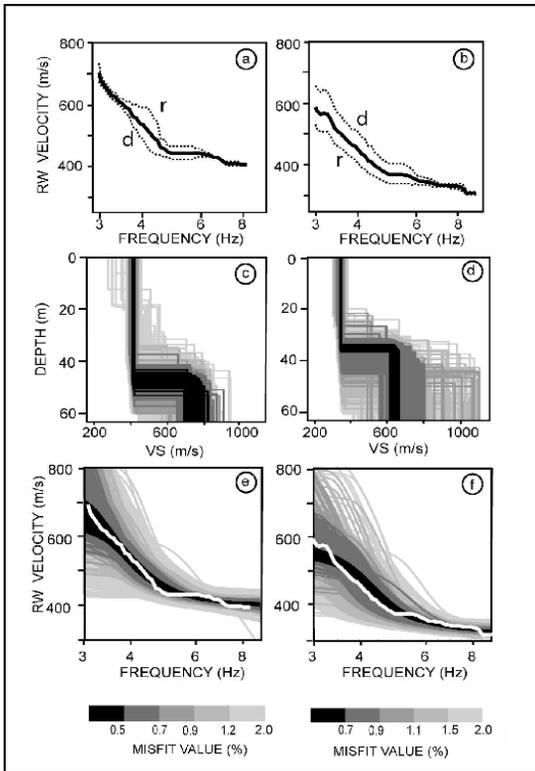
4.1 Reconnaissances géophysiques et géotechniques



a) Coupe géotechnique avec les lignes de rupture et les taux de déplacements **b)** données GPS et **c)** données inclinométriques au point 41.

Arrêt 4: Mas d'Avignonet

4.1 Reconnaissances géophysiques et géotechniques

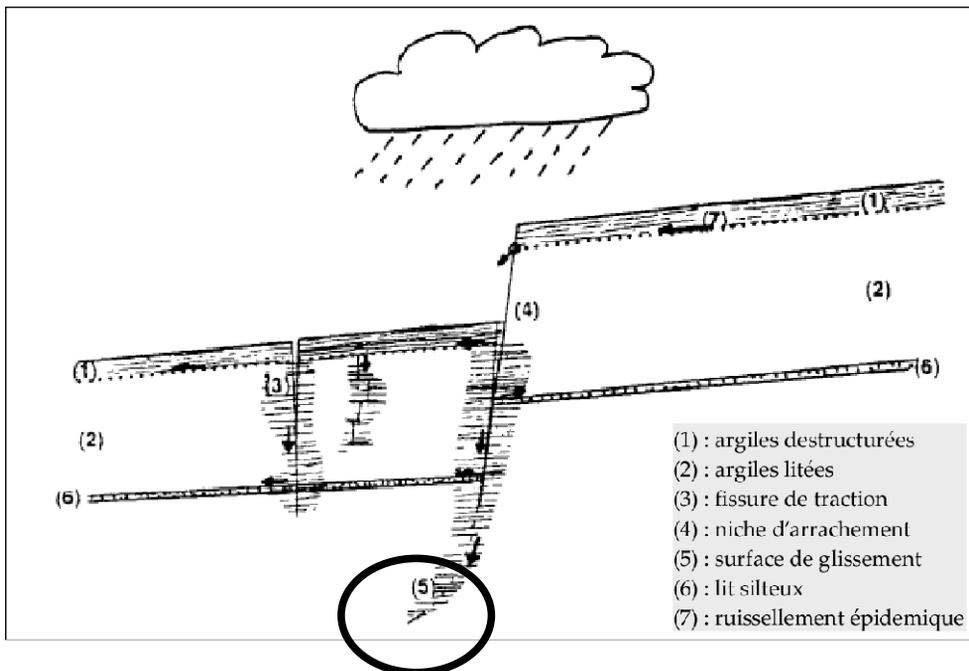


Haut à gauche: Mesure de Vs par inversion des ondes de surface. **Haut à droite:** Tomographie sismique réfraction en ondes S. **Bas:** Relation entre valeurs de Vs (vitesse des ondes de cisaillement) et les taux de déplacement mesurés en surface.

Arrêt 4: Mas d'Avignonet

4.2 Hydrodynamique du mouvement

Modèle conceptuel d'infiltration d'eau dans un massif d'argiles litées

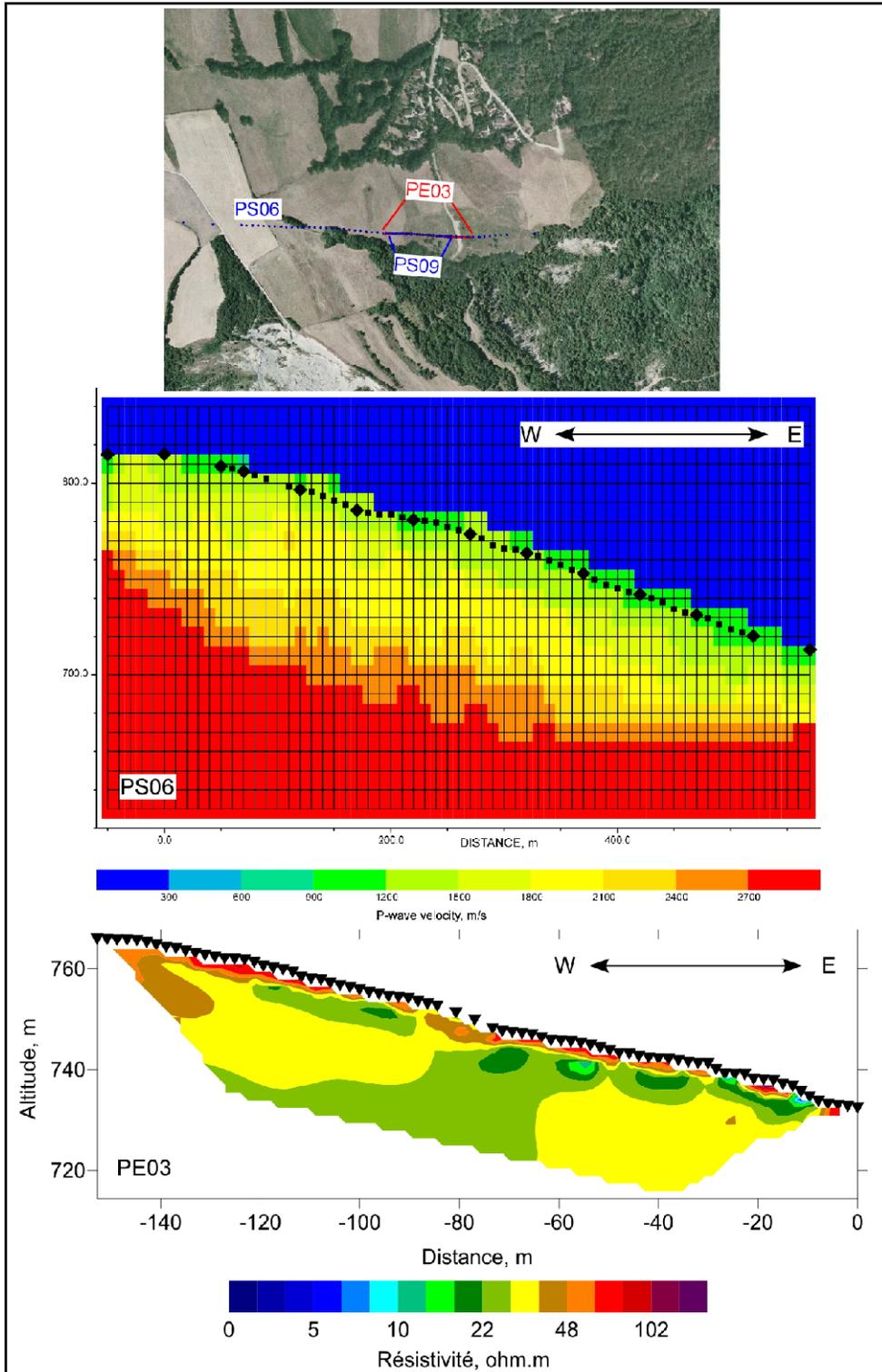


- Ces fissures se prolongent-elle jusqu'aux surfaces de glissement superficielles ?
- Permettent-elle l'alimentation en eau des surfaces de glissement ?
- La dynamique du glissement est-elle liée en partie à l'ouverture-fermeture de ces fissures et fractures en surface ?

Arrêt 4: Mas d'Avignonet

4.2 Hydrodynamique du mouvement

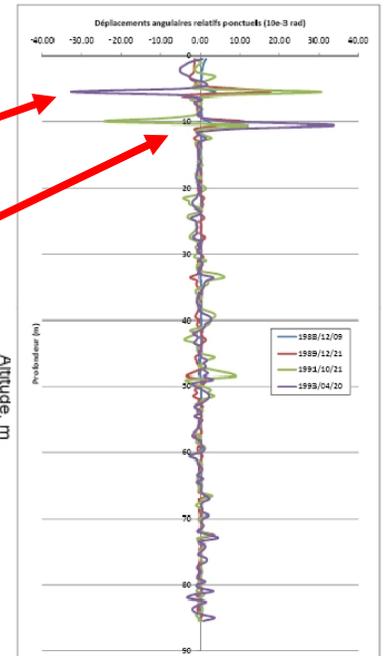
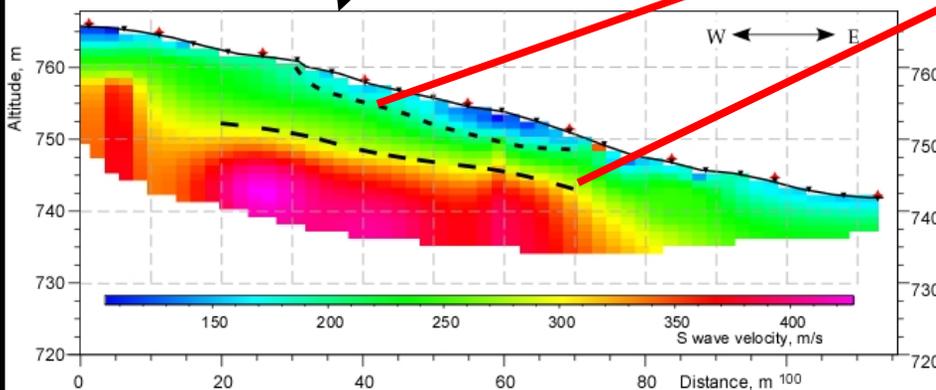
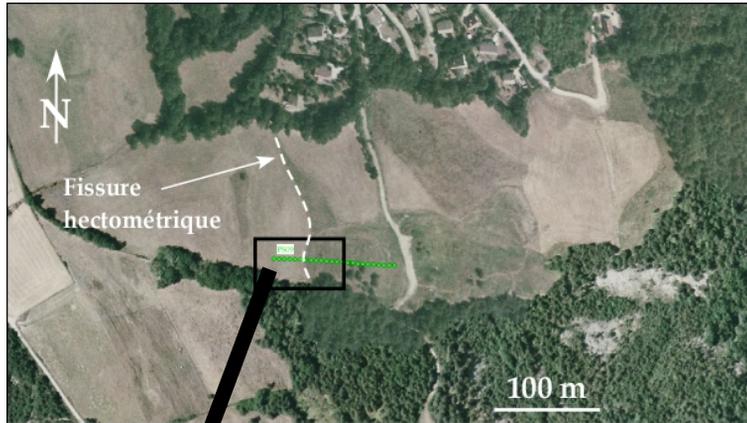
Reconnaitances géophysiques



Arrêt 4: Mas d'Avignonet

4.2 Hydrodynamique du mouvement

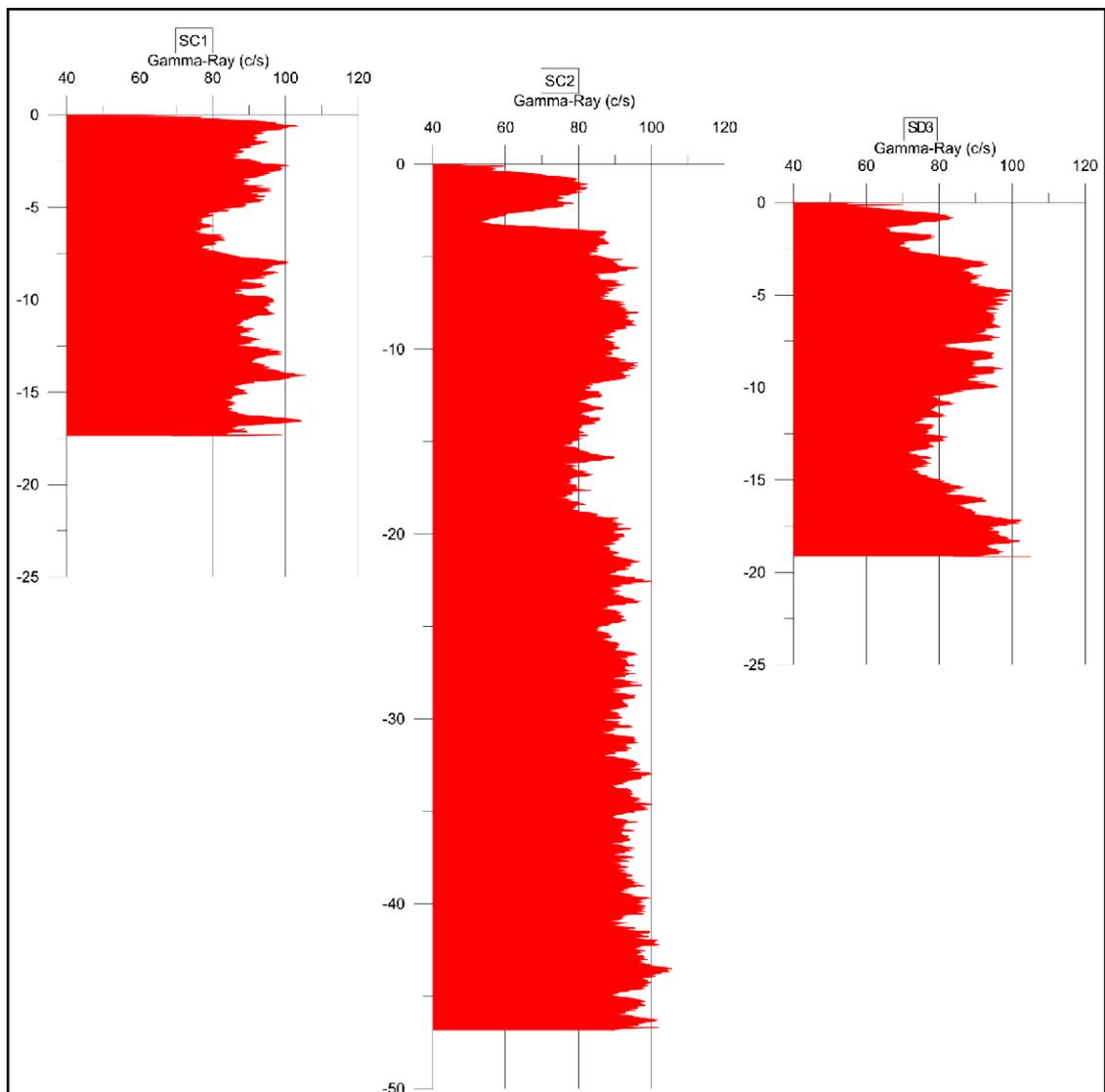
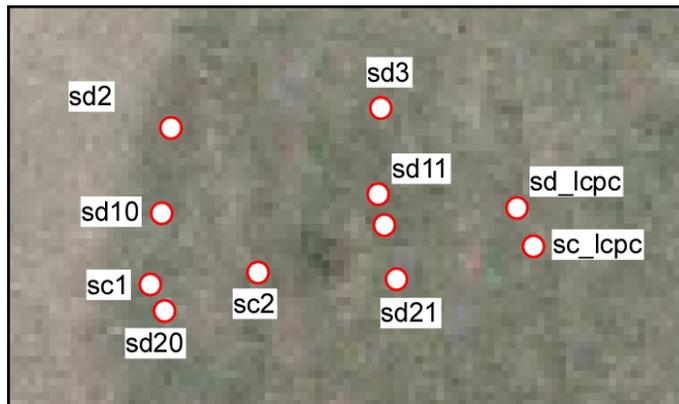
Reconnaitances géophysiques



Arrêt 4: Mas d'Avignonet

4.2 Hydrodynamique du mouvement

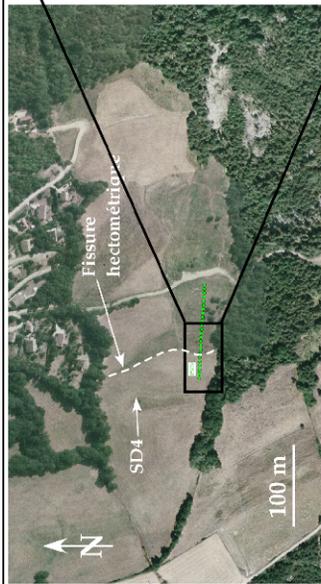
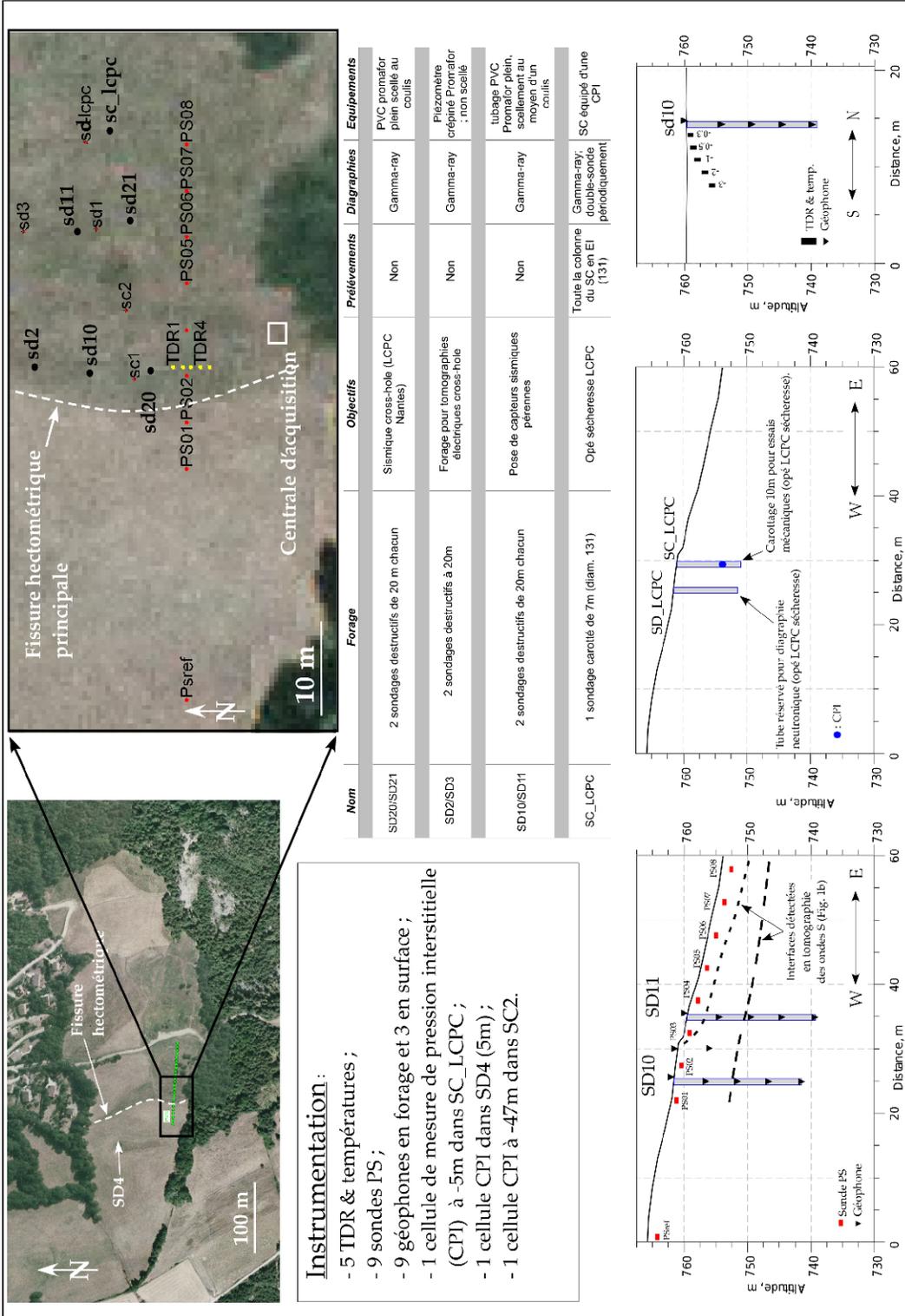
Reconnaisances géophysiques



Arrêt 4: Mas d'Avignonet

4.2 Hydrodynamique du mouvement

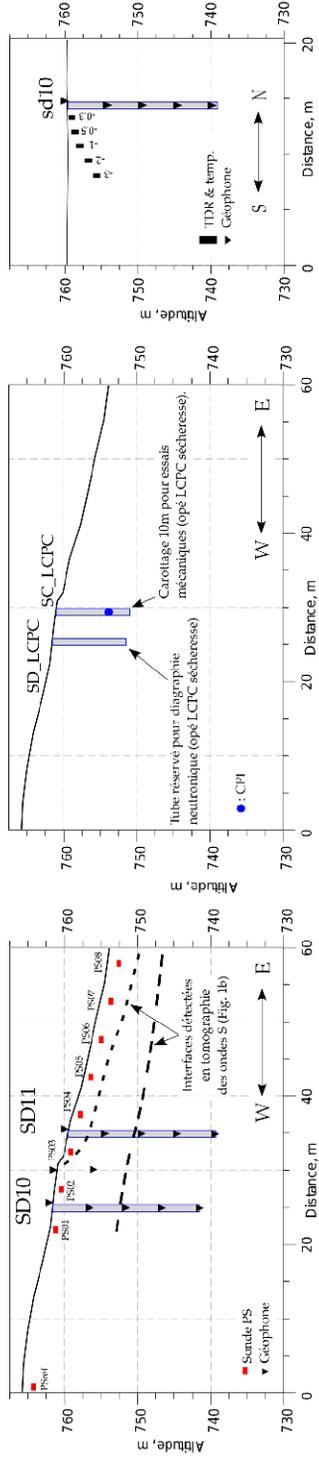
Instrumentation en cours



Instrumentation :

- 5 TDR & températures ;
- 9 sondes PS ;
- 9 géophones en forage et 3 en surface ;
- 1 cellule de mesure de pression interstitielle (CPI) à -5m dans SC_LCPC ;
- 1 cellule CPI dans SD4 (5m) ;
- 1 cellule CPI à -47m dans SC2.

Nom	Forage	Objectifs	Prélevements	Diagraphies	Equipements
SD20/SD21	2 sondages destructifs de 20 m chacun	Sismique cross-hole (LCPC Nantes)	Non	Gamma-ray	PVC promoteur plein scellé au caillou
SD2/SD3	2 sondages destructifs à 20m	Forage pour tomographies électriques cross-hole	Non	Gamma-ray	Piezomètre érinépiné Promator ; non scellé
SD10/SD11	2 sondages destructifs de 20m chacun	Pose de capteurs sismiques périmés	Non	Gamma-ray	tubage PVC Promator plein, scellément au moyen d'un caillou
SC_LCPC	1 sondage caroté de 7m (diam. 131)	Opé sécheresse LCPC	Toute la colonne du SC en EI (131)	Gamma-ray; double-sonde périodiquement	SC équipé d'une CPI



Arrêt 4: Mas d'Avignonet

4.3 Risques -Vulnérabilité - Enjeux

-1976, débute à **AVIGNONET**, dans la **Combe du MAS**, la construction d'un lotissement de 31 maisons.

-1981 : des désordres apparaissent sur les infrastructures et constructions récentes du lotissement du Mas. Sur les 31 lots initialement prévus, seuls 16 sont bâtis.

-1985 un suivi du site est mis en place sous maîtrise d'ouvrage du Conseil Général et pilotage du service RTM de 1984 à 1992, d'importants travaux à l'amont et au droit du lotissement, essentiellement afin de tenter de ralentir les mouvements : tranchées drainantes, captages de sources, drains subhorizontaux, étanchéification de ruisseaux, réfection des réseaux EP-EU

-1990: le service RTM a élaboré un PER qui a été approuvé, après avis du Conseil d'Etat, le 6 septembre 1990. Ce document classe toute la combe du Mas en zone rouge dangereuse

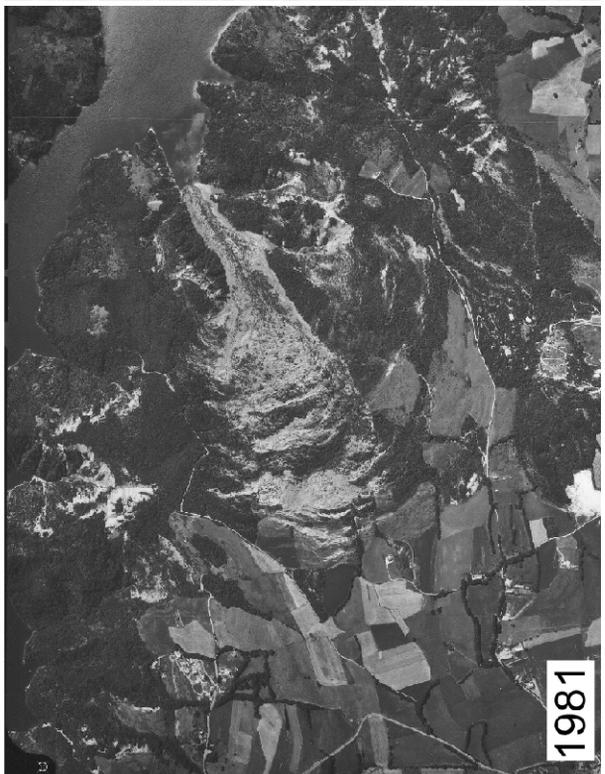
- à partir de 1995 surveillance par GPS, à partir de 26 repères

-2001, étude géotechnique d'actualisation du risque du glissement et une étude de l'état de solidité des bâtiments du lotissement. Evacuation de trois maisons.

- 2004 : mise en application d'une procédure dite loi Barnier.

Arrêt 5: l'Harmalière

5.1 Historique Photos aériennes



Arrêt 5: l'Harmalière

5.1 Historique

- Début du 20ème siècle: grand chantier de reboisement pour lutter contre les glissements de terrain. Glissements actifs en aval de la cote 600 m.
- 1964, limite amont des glissements à la cote >650 m
- mars 1981: glissement de 45 ha avec une coulée boueuse de $250 \cdot 10^3 \text{ m}^3$. Niche d'arrachement principale de 30 m de haut à la cote 710 m. Aménagement d'une portion busée pour évacuer les eaux.
- 1983, 1988, 1995, 1996, 2001, 2004: régressions successives avec destruction des buses enterrées. Entre 1981 et 2004, régression de 200 m, soit environ 8 m/an.

5.2 Risques - Enjeux

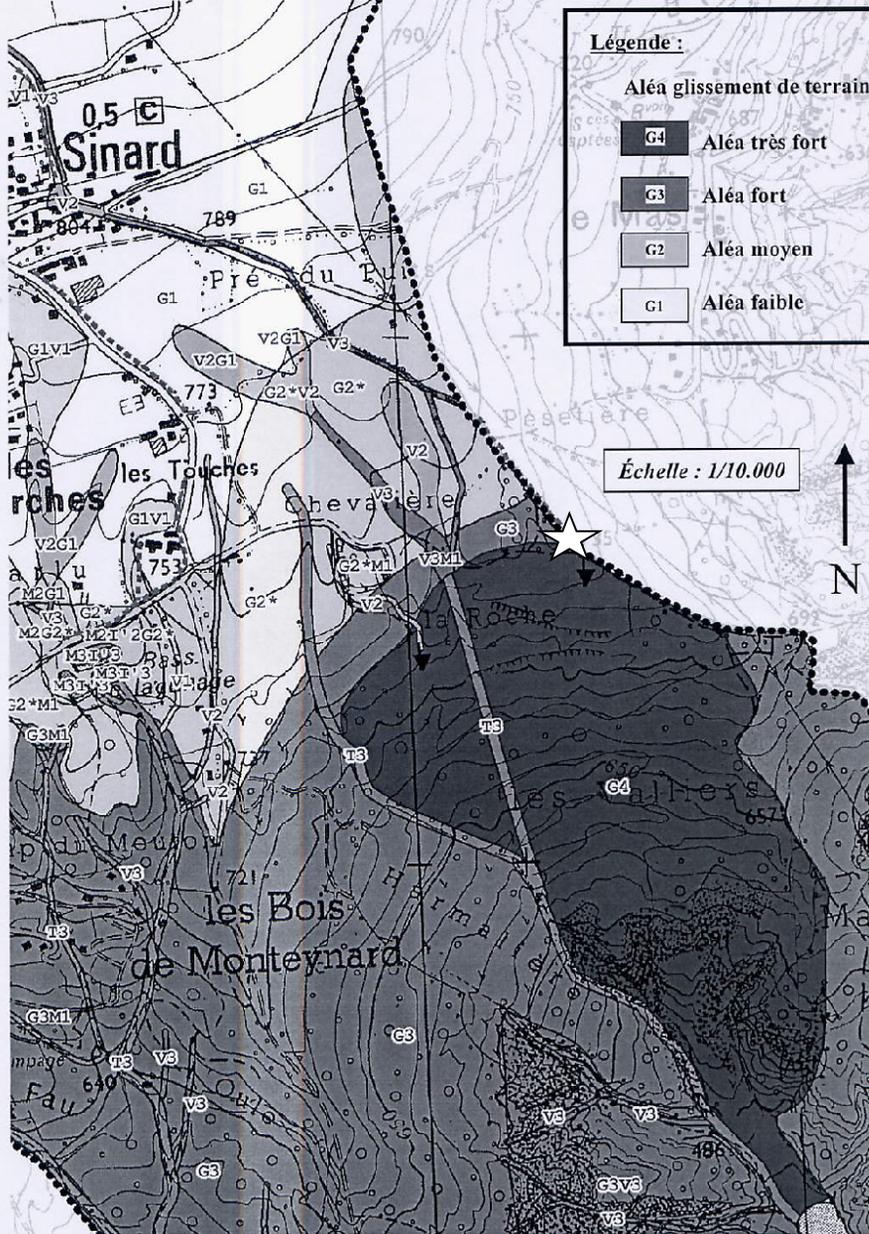
- Ensemble de la combe de l'Harmalière en glissement profond et rapide avec mouvements saccadés sans relation très nette avec le climat ou la topographie de surface.
- Pas d'enjeu significatif à court terme en dehors d'un pylone EDF déplacé en 1978 et des terrains agricoles, un chalet évacué en 1988, fissures dans une maison.
- A moyen terme, problème de la stabilité de la zone Sud du village de Sinard (voir carte RTM)

Arrêt 5: l'Harmalière

Commune de Sinard
Extrait de la carte des aléas (09/2004) sur le secteur de
l'Harmalière-les Valliers



PROJET - DOCUMENT NON DÉFINITIF



Arrêt 5: l'Harmalière

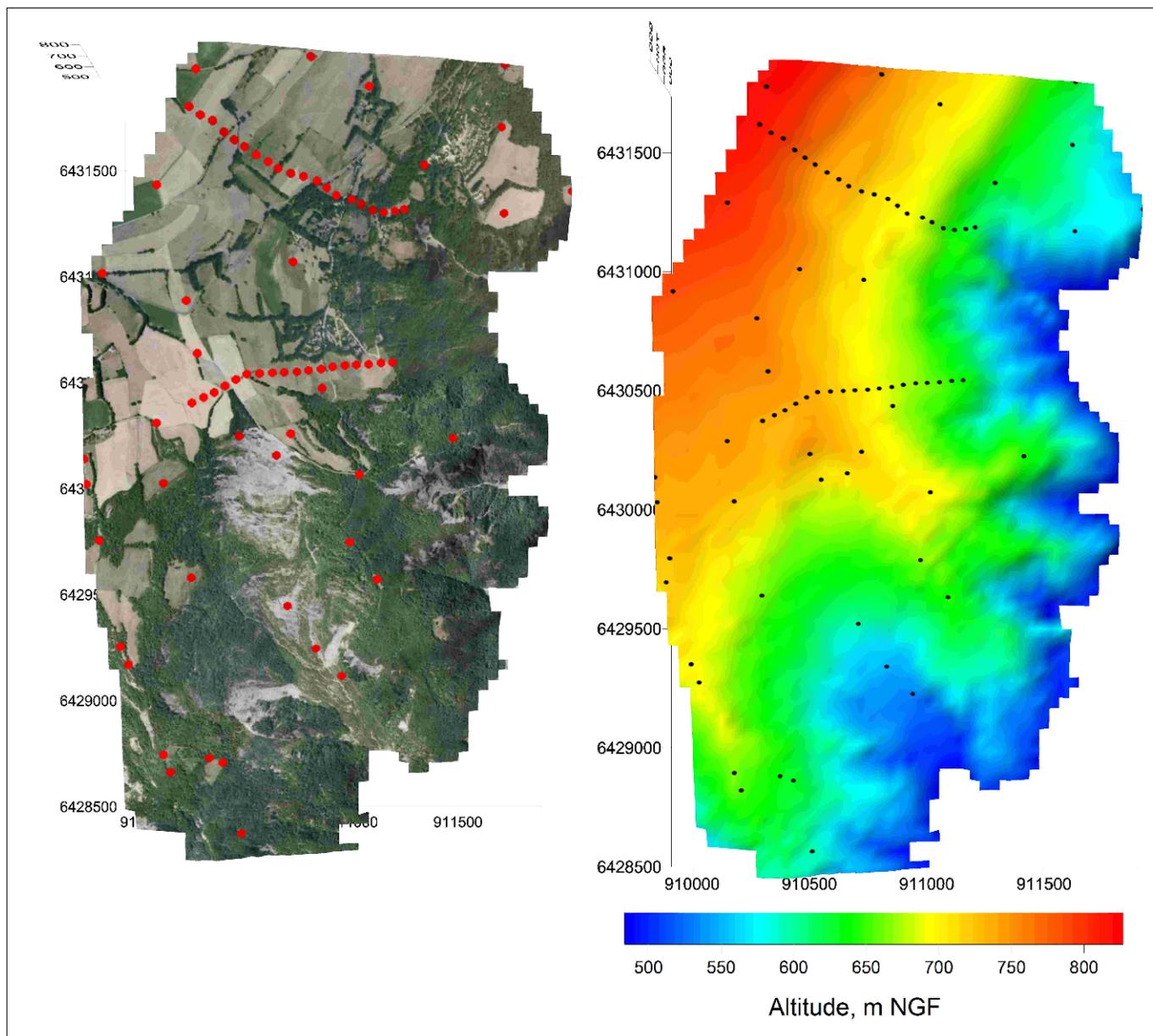
5.3 Dynamique et paramètres de contrôle des glissements

Comment expliquer la différence entre les comportements des glissements de L'Harmalière et d'Avignonet

- Conditions climatiques: Influence certaine (Toutes les régressions brutales en hiver-printemps) mais relation complexe entre pluviométrie (fonte des neiges) et glissements de terrain (manque de données).
- Circulation de l'eau dans les argiles: complexe. Difficulté de drainage. Rôle probable des couches sableuses interstratifiées sur la circulation et la localisation des surfaces de rupture.
- Rhéologie de l'argile du Triève : mauvaise compréhension du passage solide-liquide qui correspond au risque majeur pour les pertes en vies humaines (Salle en Beaumont, 1994, 4 morts). Mise en place de système de surveillance.
- Topographie du Bedrock. Facteur de contrôle expliquant différence entre Avignonet et L'Harmalière (voir figure).
- Rôle des séismes : inconnu mais probablement significatif

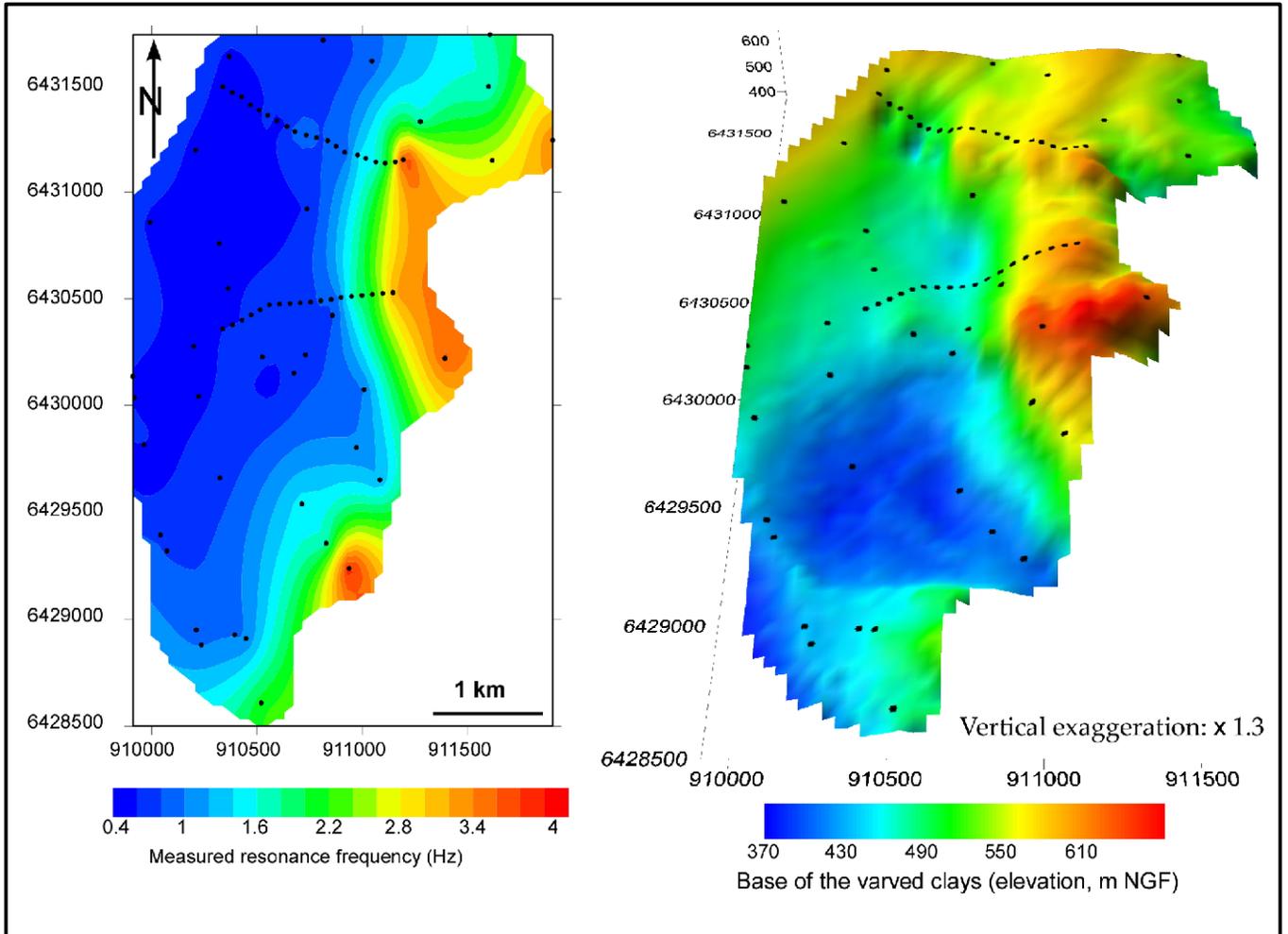
Arrêt 5: l'Harmalière

Cartographie régionale de la base des argiles litées
par mesures de bruit de fond sismique (H/V)



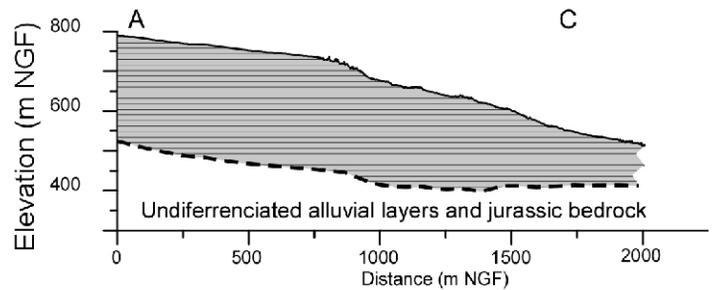
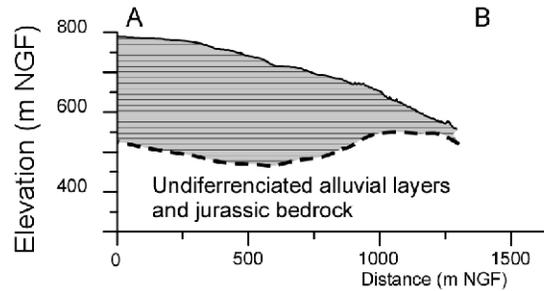
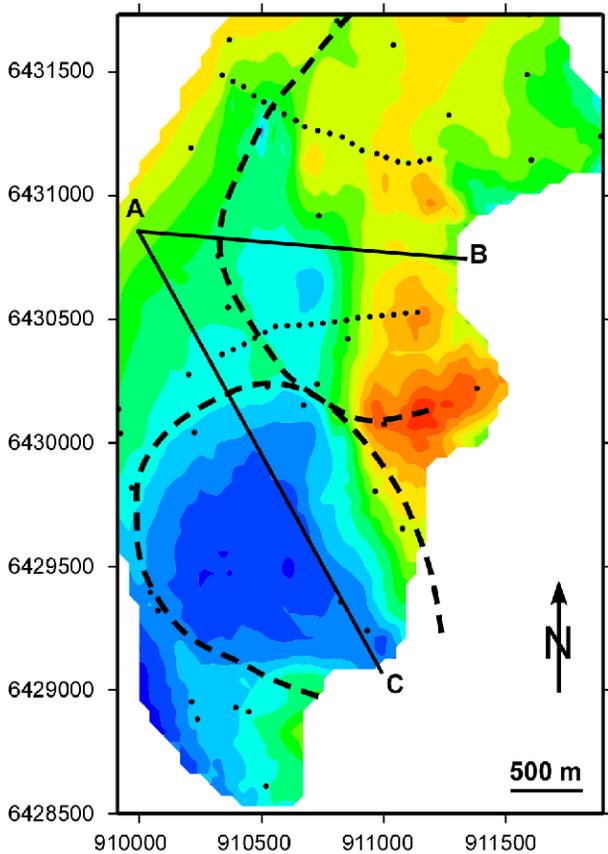
Arrêt 5: l'Harmalière

Cartographie régionale de la base des argiles litées
par mesures de bruit de fond sismique (H/V)



Arrêt 5: l'Harmalière

Cartographie régionale de la base des argiles litées par mesures de bruit de fond sismique (H/V)



- LiDAR topography
- - - Base of varved clays after H/V measurements
- ▨ Varved clays

- Cross sections
- - - Avignonet & Harmalière slides limits
- Ambient vibration measurements