



MÉMOIRE DE MASTER

Option : géotechnique et environnement

Présenté par M^{elle} DJERBAL Lynda

Thème

Dynamique d'évolution du glissement de terrain d'Ain El Hammam

Soutenu devant le jury :

- | | | |
|----------------------------------|------------------------|------------|
| • M ^r BAHAR Ramdane | P ^r , UMMTO | président |
| • M ^r MELBOUCI Bachir | P ^r , UMMTO | rapporteur |
| • | | |
| • | | |

Master 2 : Promotion 2009-2010

Remerciements

Ce mémoire a été réalisé au Laboratoire Géo-matériau Environnement et Aménagement de la faculté du génie de la construction de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

Je tiens à remercier particulièrement les personnes qui ont accepté de faire partie du jury.

J'adresse mes vifs remerciements et exprime ma profonde gratitude à Monsieur MELOUCI Bachir, professeur à l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, qui m'a aidé et m'a encouragé à persévérer dans la recherche en me montrant la bonne voie à suivre pour réussir à réaliser ce mémoire dans le temps imparti et dans de bonnes conditions ainsi que pour la qualité de son suivi et ses conseils éclairés.

Je tiens aussi à exprimer toute ma gratitude à Monsieur BAHAR Ramdane, directeur du Laboratoire Géo-matériau Environnement et Aménagement, pour sa qualité d'enseignement et pour tous les moyens qu'il a mis à ma disposition, ainsi que pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de présider le jury.

Permettez-moi également de remercier Monsieur FARHANI Amirouche, ingénieur au CTC centre de Tizi-Ouzou, pour sa collaboration et ses informations très utiles pour la finalisation de mon travail.

Je remercie aussi Monsieur CHAUCHE Ali directeur technique du bureau d'étude GEOMICA, pour les informations et la documentation qu'il m'a remises et pour l'intérêt qu'il a accordé à mon travail.

Pour finir, je tiens à remercier toute personne ayant contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

Sommaire

Liste des figures.	I
Liste des tableaux.	III
Liste des annexes.	IV

Introduction générale.	1
------------------------------------	----------

Première partie :

Etude bibliographique

Introduction de la première partie.	4
--	---

Chapitre I : Généralités et causes des glissements de terrain

Introduction.	6
Quelques glissements de terrain survenus dans le monde.	7
I- Les glissements de terrain.	9
Glissements rotationnels.	10
Glissements translationnels.	11
Glissements permanant.	12
Glissements spontanés.	12
II- Les phases des glissements.	12
Selon Terzagui.	13
Selon Vaunat.	13
III- Les causes d'instabilité.	14
1- Les facteurs passifs ou invariables.	14
La géologie du site.	14
La morphologie du site.	15

2- Les facteurs actifs ou variables.....	15
Les facteurs climatiques.....	15
La végétation.....	15
Les facteurs accidentels.....	15
Facteurs anthropiques.....	16
Action de l'eau sur la stabilité des pentes.....	16
Les infiltrations dans le sol.....	16
Les écoulements souterrains.....	17
Les écoulements superficiels.....	17
Influence des points de perte des réseaux hydrauliques sur les glissements de terrain.....	17
Influence des actions sismiques sur les glissements de terrain.....	19
Influence de la végétation sur les glissements de terrain.....	20
Les effets sur les cycles d'eau.....	20
Les effets mécaniques sur le sol.....	20
Conclusion.....	21

Chapitre II : Evaluation et surveillance des glissements de terrain

Introduction.....	23
I- Techniques d'évaluation des glissements de terrain.....	23
1- Recherche sur les catastrophes antérieures et reconnaissance du site.....	23
2- Evaluation du risque de glissement de terrain par photographies Aériennes.....	25
3- Utilisation des images satellites pour l'interprétation des pentes Instables.....	25
II- Etude et évaluation détaillées des glissements de terrain.....	26
1- Evaluation du risque par exploration géophysique.....	26
2- Evaluation du potentiel de risque par forages et sondages.....	28
3- Evaluation du risque par analyse de la stabilité des pentes.....	29
III- La surveillance des glissements de terrain.....	30
1- Surveillance continue.....	30
2- Surveillance discontinue.....	31
Alerte et alarme.....	31
Les données nécessaires à la définition du système de surveillance.....	34

1. Le phénomène et son environnement.	34
2. Les éléments d'un système de surveillance.	35
Conclusion.	41
Conclusion de la première partie.	42

Deuxième partie :

Etude du glissement de terrain d'Ain El Hammam

Introduction de la deuxième partie.	44
--	----

Chapitre I : Etude des causes et la structure du glissement de terrain d'Ain El Hammam.

Introduction.	46
I. Historique du glissement de terrain d'Ain El Hammam.	47
II. Conditions majeurs à la formation du glissement de terrain d'Ain El Hammam.	49
II.1- Cadre géologique et géomorphologique.	49
II.2- Cadre climatique et hydrologique.	54
III. Les causes du glissement de terrain d'AEH.	59
1. L'effet de la pente.	59
2. La structure feuilletée du schiste et le pendage des couches.	59
3. La nature des formations géologiques.	59
4. La perméabilité des passages altérés.	60
5. L'effet de l'eau.	60
- Les fortes précipitations.	60
- L'hydrologie du site.	60
- Les eaux accidentelles.	61
6. La couverture neigeuse.	61
7. La surcharge importante de la crête.	61
8. La suppression des réseaux de drainage.	61
9. L'effet de la sismicité de la région.	61
IV. La structure du glissement.	62
1. Hypothèses de surfaces de rupture.	62
1.1 La surface de rupture identifiée à partir des mesures inclinométriques (GEOMICA)	62
1.2 Les surfaces définies à partir des investigations du groupement des trois laboratoires.	64

1.3 Résultats des coupes géologiques.	64
a. Un glissement superficiel.	65
b. Un glissement semi-profond.	65
c. Un glissement profond.	65
2. Surface instable.	68
✓ Surface instable définie par le groupement.	68
✓ Surface instable définie dans le cadre du projet.	68

Chapitre 2 : Analyse de l'évolution dans le temps et des conséquences du glissement.

Introduction.	73
I. Evolution du mouvement.	73
1. Période (1969 – 2005).	73
2. Période (2006 – 2008).	75
3. Période (novembre 2008 – avril 2009).	81
4. Période (mai 2009 à ce jour).	85
II. Comparaison de quelques photos prises à des dates différentes.	86
III. Les mesures des déplacements annuels (à partir d'images radar).	94
IV. Etude et interprétation du mouvement de quelques points entre janvier 2004 et février 2009.	95
Conclusion.	101
Conclusion de la deuxième partie.	102
Conclusion générale	103
Bibliographie.	106
Annexes.	110

Liste des figures

Figure (1) : la zone de glissement de Villatina Medellin.	7
Figure (2) : glissement de la Clapière en France.....	7
Figure (3) : vue du glissement de monta gnon.....	8
Figure (4) : profil du glissement de Champ-la-Croix.	8
Figure (5) : plan de la zone de terrain en mouvement.	9
Figure (6) : glissement rotationnel.....	10
Figure (7) : glissement translationnel.	11
Figure (8) : diagramme illustrant la dynamique d'un glissement de terrain.	13
Figure (9) : plan d'action relatif à la surveillance d'un glissement au Séchilienne.....	32
Figure (10) : exemple d'organigramme de système de surveillance.....	40
Figure (11) : les massifs du domaine Kabyle.	49
Figure (12) : carte structurale schématique de la chaîne maghrébide montrant la disposition des zones externes et des zones internes de la Grande Kabylie.	50
Figure (13) : carte géologique de Fort National.	51
Figure (14) : histogramme de la période (1913/1938).	55
Figure (15) : histogramme de la période (1968/1994).	55
Figure (16) : histogramme des précipitations pour la période (1997/2006).	56
Figure (17) : coupe géologique dans la direction perpendiculaire au glissement.	63
Figure (18) : coupe géologique dans la direction du glissement.....	63
Figure (19) : coupe géologique réalisée à partir des sondages (SC01,SC02,SC03).....	66
Figure (20) : coupe géologique réalisée à partir des sondages (SC03,SC04,SC05).....	67
Figure (21) : coupe géologique réalisée à partir des sondages (SC03,Si02,Si03).	67
Figure (22) : comparaison des zones instables définies à Ain El Hammam.	69
Figure (23) : position de la ligne d'arrachement.	70

Figure (24) : Coupe géologique ancienne actualisée en 2006 du glissement d'Ain El Hammam.	74
Figure (25) : fissure dans le gabionnage.	75
Figure (26) : affaissement de la route.	75
Figure (27) : la fissure apparue au sud de l'immeuble incluant une menuiserie.	76
Figure (28) : Coté sud de l'immeuble APC/CNEP.	77
Figure (29) : Dégradation et affaissement du dallage du trottoir et fissures dans les cloisons de l'immeuble n° 19.	78
Figure (30) : Fissures constatés sur le mur de soutènement de la battisse.	79
Figure (31) : état complètement dégradé des constructions Timsiline.	79
Figure (32) : fissures dans le mur de soutènement.	80
Figure (33) : affaissement de la zone du marché.	80
Figure (34) : état complètement instable de l'immeuble.	82
Figure (35) : état de dégradation de l'immeuble n° 19.	83
Figure (36) : état de dégradation de la maison individuelle.	83
Figure (37) : état de la construction Timsiline.	84
Figure (38) : affaissement de la zone du marché.	84
Figure (39) : immeuble APC affecté par le mouvement.	85
Figure (40) : bilan des déplacements des périodes (1995-2000 et 2004-2009).	95
Figure (41) : B 200_286_103_E (subsidence forte).	96
Figure (42) : B 199_311_096_E (subsidence forte).	97
Figure (43) : B 160_303_100_E (subsidence forte).	98
Figure (44) : B 176_300_106_E (subsidence moyenne).	99
Figure (45) : B 188_296_108_E (subsidence moyenne).	99
Figure (46) : B 194_292_105_E (subsidence moyenne).	100

Liste des tableaux

Tableau (1) : les valeurs des coefficients de sécurité.	18
Tableau (2) : domaines d'application des méthodes d'analyse de la stabilité des Pentes.	30
Tableau (3) : les différents types de matériels de mesures, leur utilisation et leur Rendement.	37
Tableau (4) : Valeurs des précipitations mensuelles de la période (1913/1938 après comblement.	54
Tableau (5) : Valeurs des précipitations mensuelles d'Ain El Hammam (1968/1994).	55
Tableau (6) : Valeurs des précipitations moyennes mensuelles à la station d'Ain El Hammam période (1997-2006).	56
Tableau (7) : mesure de déplacements coté Nord de l'immeuble.	77
Tableau (8) : les mesures des déplacements à l'entrée de l'immeuble.	78
Tableau (9) : résultats des mesures inclinométriques traités (SC02).	81
Tableau (10) : résultats des mesures inclinométriques traités (SC04).	81
Tableau (11) : les déplacements mesurés dans l'immeuble APC.	85

Liste des annexes

Annexe [A] : coupes des sondages carottés.	109
Annexe [B] : coupes géologiques et cartes d'implantation des plans de coupe.	118
Annexe [C] : coupe des hypothèses de plans de glissements.	125
Annexe [D] : résultats d'analyse du sol.	127
Annexe [E] : résultats des analyses chimiques de l'eau.	131
Annexe [F] : le système d'information géographique.	133
Annexe [G] : résultats des mesures inclinométriques.	144

Introduction générale

Introduction générale

Les mouvements de terrain sont de plus en plus réponsus et leurs conséquences ne cessent d'être plus lourdes, entraînant des coûts et des désordres plus au moins importants. L'étude et l'évaluation exactes de cet aléa est très difficile en particulier quand des masses et des volumes très importants sont mis en mouvement.

La géomorphologie du Nord de l'Algérie est caractérisée essentiellement par des pentes raides et abruptes, affectées souvent par des mouvements de terrain plus au moins importants. Ce risque constitue l'un des phénomènes naturels les plus réponsus dans cette région du pays. En effet, ces mouvements sont observés dans plusieurs wilaya : Alger, Constantine, Mila, Médéa, Tizi-Ouzou,... qui sont affectés par des mouvements de terrain très actifs ces dernières années.

Le mouvement qui a attiré le maximum d'attention, depuis sa réactivation en novembre 2008, est celui qui affecte la ville d'Ain El Hammam (Une ville située à environ 50 km au Sud-Est du chef lieu de la Wilaya de Tizi-Ouzou) en raison de sa localisation en zone fortement urbanisée. En effet, ce mouvement est très actif et ne cesse d'engendrer des désordres et des coûts importants, c'est pour cela que nous avons choisi d'étudier ce dit mouvement dans le présent mémoire.

Le mémoire est réparti en deux parties :

La première est une partie bibliographique, où nous avons étudié l'aléa glissement de terrain en général. Dans la seconde, nous avons mis la lumière sur un glissement de terrain très actif caractérisant la wilaya de Tizi-Ouzou.

La première partie

Afin de mieux étudier l'aléa, glissement de terrain, cette partie a été répartie en deux chapitres :

Dans le premier chapitre, nous avons présenté les différents types de glissements de terrain et les causes pouvant les induire ou accélérer leur mouvement.

Le second porte sur l'étude des différentes techniques d'évaluation et de prévision des mouvements de terrain ainsi que les techniques de surveillance de cet aléa.

La deuxième partie

Dans cette partie, nous avons étudié le mouvement de terrain affectant la ville d'Ain EL Hammam située à quelques kilomètres du chef lieu de la wilaya de Tizi-Ouzou. Cette partie, aussi, a été répartie en deux chapitres :

Le premier chapitre porte sur une étude géologique et hydrologique de la zone instable. Cette étude nous a permis de définir quelques facteurs influant sur l'évolution de ce mouvement de terrain, ainsi que sa structure très complexe caractérisée par une superposition et un emboîtement de plusieurs glissements (certains sont profonds et d'autres peu profonds).

Le deuxième chapitre porte sur une étude de la dynamique de ce mouvement. Un mouvement très actif, affectant la zone instable délimitée dans le chapitre précédent, et un potentiel de risque d'instabilité de la commune d'Ain El Hammam ont été constatés.

Le mémoire se termine par une conclusion générale résumant les résultats obtenus avec une série de recommandations.

PREMIERE PARTIE :

Etude bibliographique

Chapitre I :

Généralités et causes des glissements de terrain.

Chapitre II :

Evaluation et surveillance des glissements de terrain.

Introduction de la première partie

Les glissements de terrain constituent l'un des phénomènes naturels les plus rencontrés. L'étude et la compréhension de cette instabilité qui cause des problèmes de plus en plus importants, qui affectent des volumes plus au moins importants, et dont le coût du confortement et des différentes installations ne parviennent généralement pas à stabiliser le versant, conduit à effectuer une étude sérieuse nous permettant de mieux analyser ce phénomène et de cerner tous les facteurs influant sur son activité et sa dynamique.

En fait, les causes pouvant déstabiliser un versant initialement stable ou réactiver une ancienne instabilité découlent de plusieurs origines. Elles peuvent être dues à la structure du versant, à sa morphologie, aux conditions climatiques et hydriques de la région, et surtout à l'activité de l'homme.

A cause de l'impact importante de ce phénomène sur l'économie et la vie des citoyens, il est important d'assurer la prévision et la détection du potentiel de risque d'un versant et la surveillance de :

- ✦ Son évolution en fonction de l'évolution des différents facteurs pouvant influencer le mécanisme et l'évolution du mouvement,
- ✦ Des confortements réalisés, permettant la détection de toutes anomalies, s'avèrent

L'objectif du présent travail consiste à étudier les différents mécanismes de glissement de terrain, leurs causes et les techniques de prévision et de surveillance de leurs instabilités.

Ce travail est réparti en deux chapitres :

Dans le premier chapitre sont présentés les différents mécanismes de glissements de terrain et les causes pouvant les induire.

Le deuxième chapitre porte sur l'étude des différentes techniques de prévision des glissements de terrain ainsi que sur les méthodes de surveillance de ces paramètres et des causes pouvant les induire ou les accélérer.

chapitre I:

généralités et causes des glissements de terrain

Introduction

L'intention des chercheurs et des autorités publiques s'est tournée ces dernières années vers un phénomène naturel qui ne cesse de s'amplifier et de causer des désordres de plus en plus importants. Ce phénomène que l'on dit naturel est un déplacement du sol qui peut être plus ou moins brutal, et cela sous l'effet d'influences naturelles et météorologiques (tels l'érosion, la pesanteur, les séismes...) ou anthropiques (tels l'exploitation de matériaux, déboisement, terrassements, surcharges...)

On distingue deux types de mouvements de terrain :

1/ les mouvements rapides

Ils se propagent brutalement et ils se déclenchent soudainement, ils regroupent les chutes de pierres et de blocs, les éboulements, et les coulées boueuses.

2/les mouvements lents

Ce phénomène entraîne des déformations progressives du terrain, ces dernières ne sont pas très visibles par l'homme, il regroupe les tassements, les affaissements, les glissements, le fluage, le retrait-gonflement, le fauchage...

Ces catastrophes sont de plus en plus courantes à cause des effets des activités humaines, les cas de désordres dans lesquels on peut attribuer une partie des causes à l'urbanisation dans des zones à risque, au déboisement des forêts, à l'abandon des prairies...sont très nombreux

Les mouvements de terrain précèdent les tremblements de terre et les éruptions volcaniques, si on fait un bilan sur quelques décennies. Cela a conduit à accroître les recherches pour mieux connaître leurs causes et leurs mécanismes, afin de pouvoir prévenir et prendre des précautions contre ces catastrophes.

Quelques glissements de terrain survenus dans le monde

Glissement de Villatina Medellin en Colombie (1987)

Cette catastrophe a eu lieu dans une zone urbaine, ce glissement s'est produit dans une roche argileuse fracturée qui a une pente d'environ 20%.

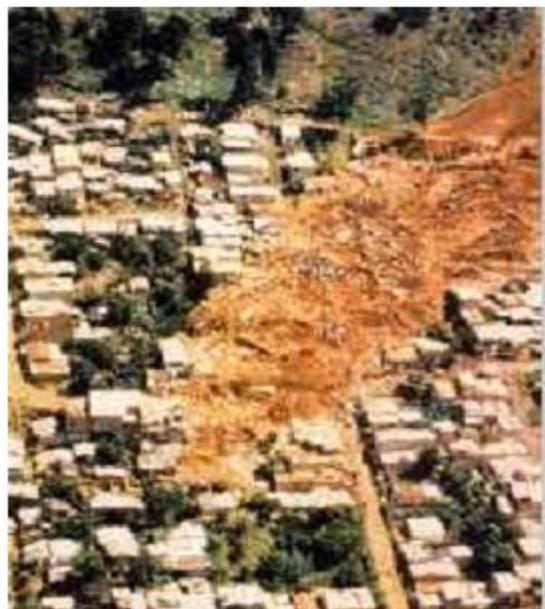


Figure (1) : la zone de glissement de Villatina Medellin [1].

Glissement de la Clapière (Alpes maritimes en France)

Ce glissement est surveillé depuis 1970, par le Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement (CETE) d'Aix en Provence, d'une hauteur de plus de 650 [m], la masse instable est de l'ordre de 50 millions de m³, elle glisse de 1 à 10 m/an, ce glissement est susceptible de barrer la vallée de la Tinée.



Figure (2) : glissement de la Clapière en France [1].

Glissement de Montagnon en Suisse

C'est le glissement le plus actif du Valais, il s'étend sur une distance de 2,8 km et sa surface est d'environ 3 km², la pente moyenne de ce versant est de 18°.

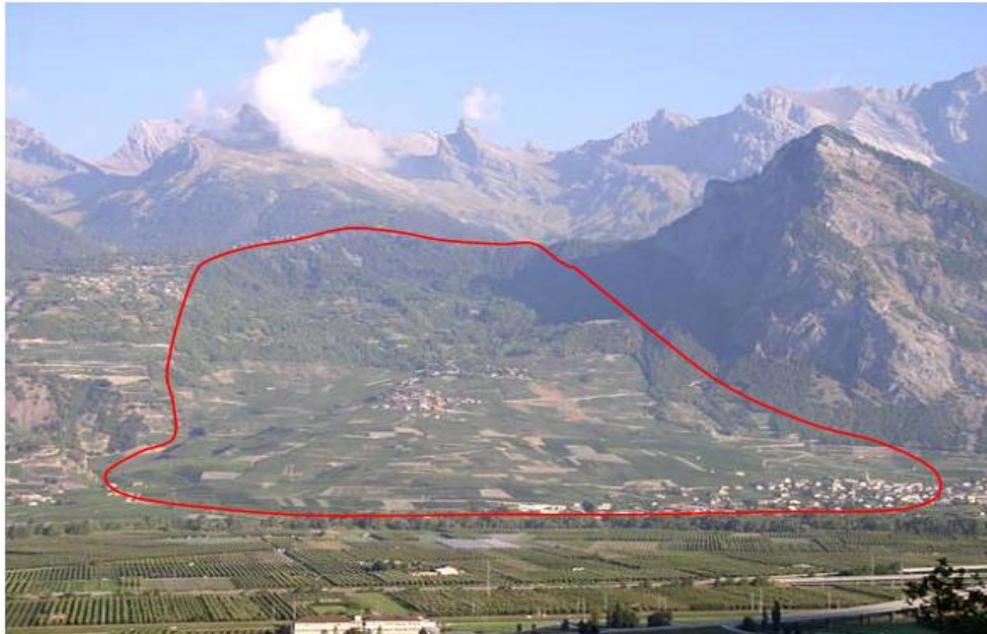


Figure (3) : vue du glissement de Montagnon [2].

Glissement de Champ-la-Croix

Il intéresse les formations marno-calcaire du Keuper, sa surface de rupture est située à une profondeur de 10 [m]. En 1981 des tassements de 15 cm sur une période d'un mois ont été observés, le versant continu toujours à se déformer et ces déformations constituées un risque sur les voies et le trafic.

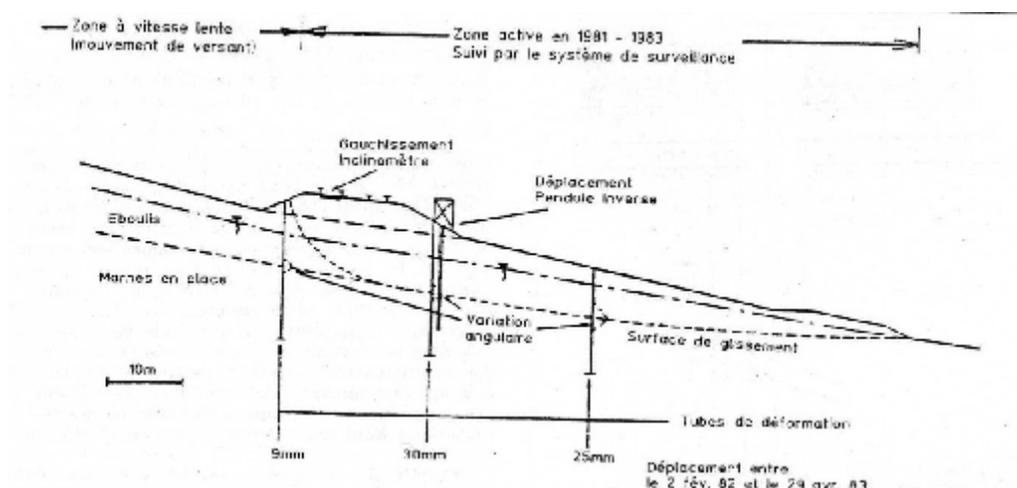


Figure (4) : profil du glissement de Champ-la-Croix [3].

Glissement d'El-Biar en Algérie

Ce glissement date de 1785, plusieurs études et reconnaissances ont été faites, et des travaux de confortement ont été réalisés (des drainages essentiellement), malgré cela les mouvements continuent toujours, la surface en mouvement est supérieure à 35 ha.

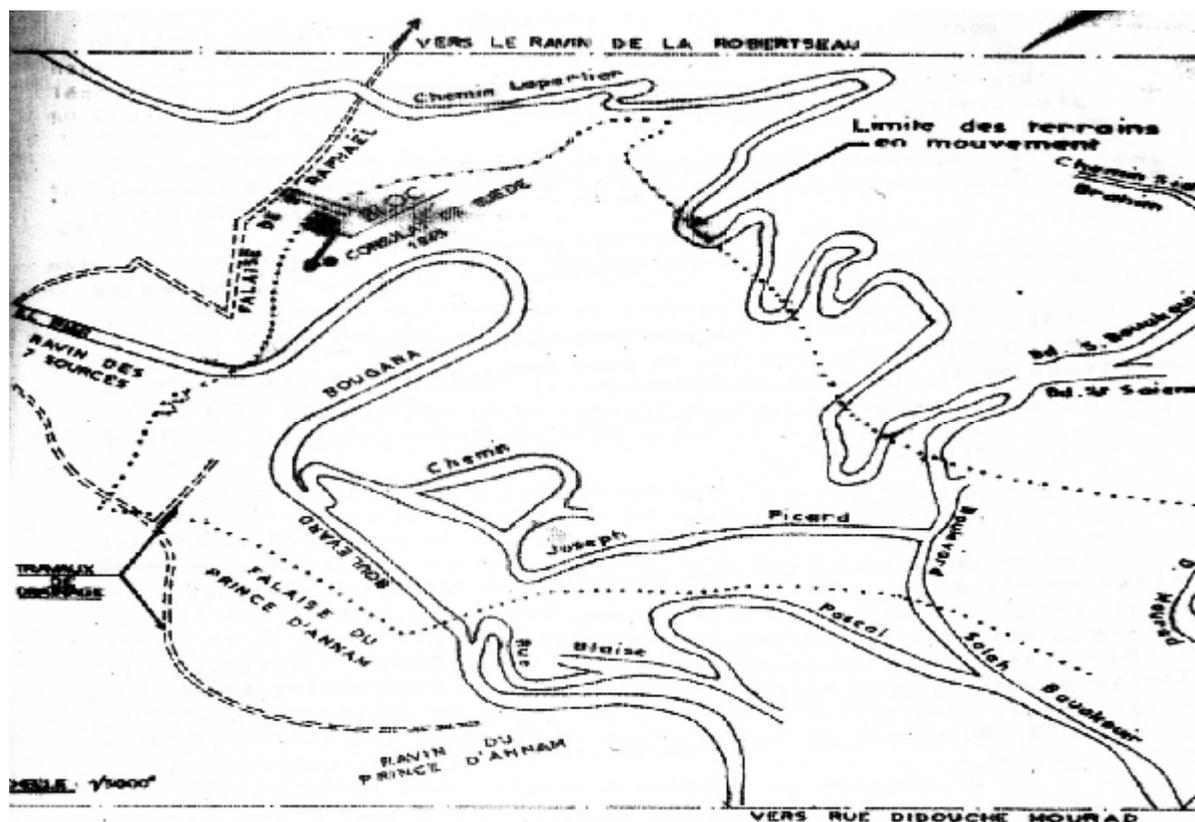


Figure (5) : plan de la zone de terrain en mouvement [4].

I- Les glissements de terrain

C'est un déplacement lent, de quelques millimètres par an à quelques mètres par jour en période de rupture (la période la plus active), d'une masse de sol le long d'une surface de rupture. Cette surface se trouve à une profondeur qui varie de l'ordre du mètre (dans ce cas les signes sont spectaculaires et visibles en surface) à quelques dizaines de mètres et peut atteindre quelques centaines dans des cas exceptionnels. Son ampleur est très variable allant d'un glissement de talus simple localisé au mouvement pouvant concerner tout un versant.

Les indices caractéristiques pouvant être observés dans les glissements de terrain sont généralement la formation d'une niche d'arrachement, des fissurations, des bourrelets (au pied), des arbres basculés ou tordus, des zones de rétention d'eau...comme on peut

observer aussi une coulée d'un matériau remanié à forte teneur en eau dans la partie aval du glissement (coulée boueuse).

Il peut se produire sur des pentes modérées à raides, il se produit généralement dans des terrains meubles, il se différencie par leur forme et leur vitesse.

1/selon la forme

On distingue principalement deux formes du glissement de terrain :

Ø Glissements rotationnels

Ils se produisent généralement dans des terrains meubles homogènes (argileux et silteux) ou dans des roches homogènes où les discontinuités géologiques sont insuffisantes pour influencer la forme de la surface de glissement. La masse se déplace vers l'aval le long d'une surface assimilée généralement dans les calculs de stabilité à un arc de cercle.

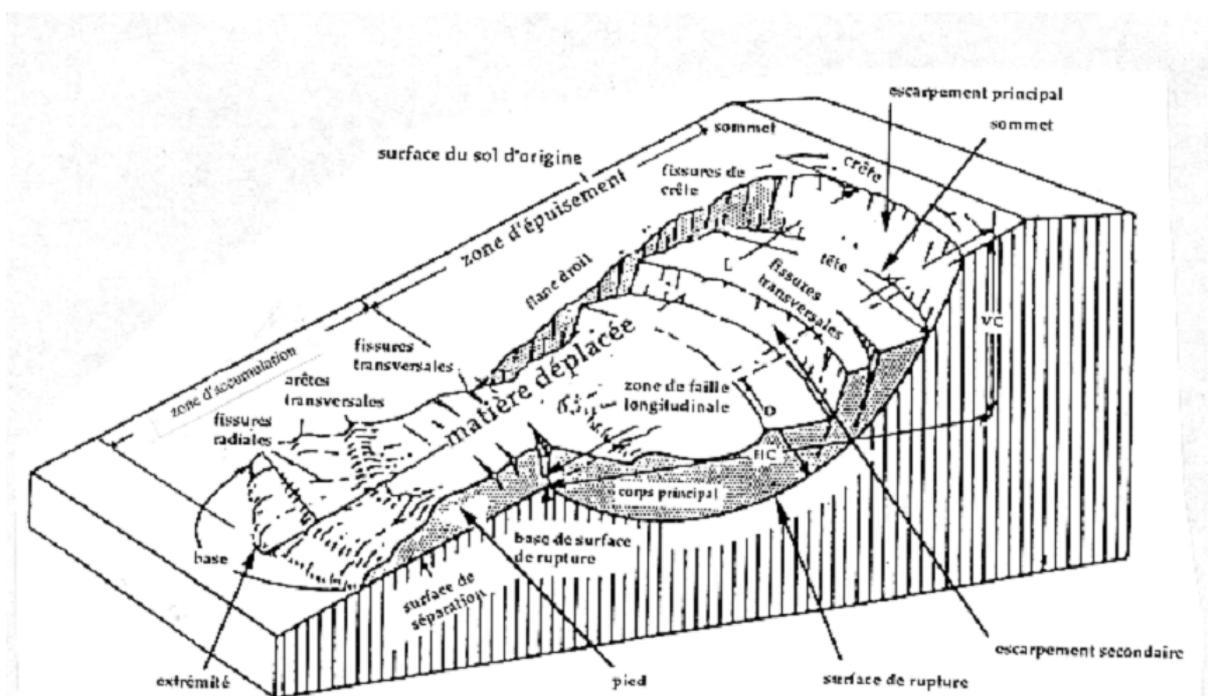


Figure (6) : glissement rotationnel. [5]

Ø Glissements translationnels (plans)

On rencontre ce type de glissements généralement dans les sols stratifiés ou dans les roches fissurées il se produit le long du joint de stratification (il se produit généralement au contact entre le substratum et le matériau de couverture). L'ensemble des couches se déplacent selon une surface de rupture plus ou moins plane. L'épaisseur des terres glissées peut atteindre plusieurs dizaines de mètres.

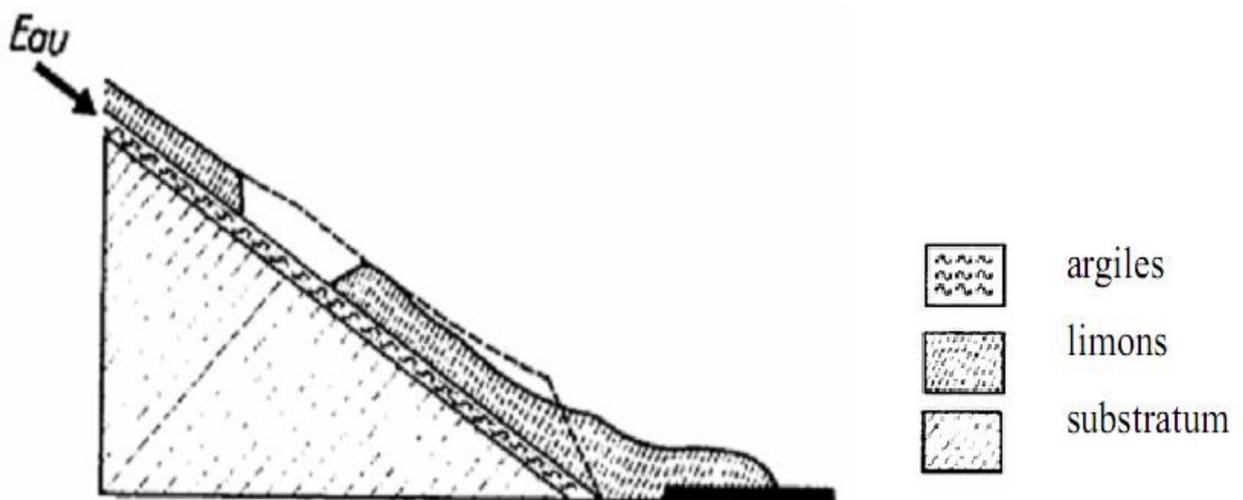


Figure (7) : glissement translationnel. [1]

Dans certains cas les glissements sont plus complexes, ils résultent d'un emboîtement de glissements rotationnels, dans ce cas la surface de rupture globale n'est plus circulaire (glissements par escaliers, glissements régressifs), on rencontre généralement ce type d'instabilité dans des terrains hétérogènes et anisotropes.

2/selon la vitesse

On distingue :

∅ Glissement de terrain permanent

C'est un mouvement qui s'étend sur une longue période, la masse de terre se déplace régulièrement vers l'aval le long d'une surface de rupture existante, avec des phases d'accélération et de réactivation.

∅ Glissement de terrain spontané

C'est un mouvement relativement rapide qui se produit contrairement au glissement permanent le long d'une nouvelle surface de glissement, il se déclenche de manière subite avec des vitesses instantanées élevées, la teneur en eau étant insuffisante pour induire la liquéfaction du matériau (le sol garde une partie de sa cohésion) donc une surface de glissement peut être observée (pas de coulée).

II- Les phases des glissements

Les glissements de terrain se caractérisent par des phases d'activité où les vitesses de déplacement sont élevées alternées avec des phases de calme.

✓ K. Terzaghi (1950) proposent quatre phases

ü La phase de préparation : dans cette phase on remarque une absence d'évolution mesurable ou un mouvement de faible amplitude qui peut conduire à une diminution progressive des caractéristiques du terrain.

ü La phase du paroxysme (rupture) : c'est une période généralement de courte durée pendant laquelle on observe des déplacements importants. La stabilisation du glissement a lieu généralement après cette phase.

ü La phase d'amortissement (relaxation) : elle succède immédiatement à la phase de paroxysme c'est la phase la plus couramment rencontrée par le géotechnicien car il est amené à intervenir dans cette phase pour stabiliser ou surveiller le phénomène.

ü La phase de stabilisation : le versant est stabilisé pour une durée indéterminée.

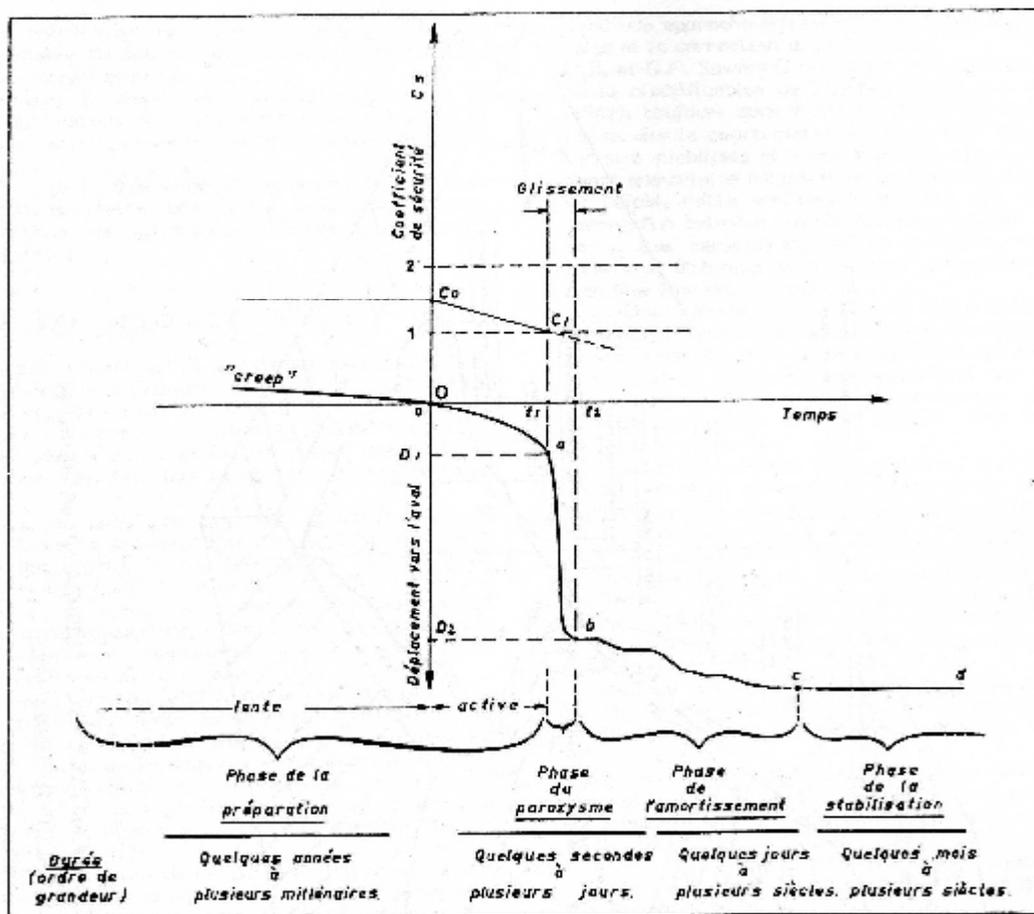


Figure (8) : diagramme illustrant la dynamique d'un glissement de terrain [6].

Ensuite Vaunat et al. (1994) proposent les quatre phases suivantes [7]

- Pré rupture

Ce phénomène a été décrit pour la première fois par Bjerrum (1967), il est connu sous le nom de rupture progressive.

- Rupture

La vitesse de déplacement dans cette phase est relativement élevée, elle peut atteindre quelques dizaines de mètres en quelques heures. Elle correspond au déplacement d'un massif engendré par une rupture du matériau.

- Post rupture
Elle succède à la période de rupture, durant cette période les vitesses moyenne de déplacement présentent des pics qui peuvent atteindre plusieurs centimètres par jour.
- Réactivation
Elle correspond à un déplacement du massif selon une ligne de rupture préexistante formée par un glissement ancien.

III- Les causes d'instabilité

L'évaluation de la stabilité (ou la non stabilité) d'une pente constitue l'un des problèmes les plus complexes de la géotechnique, du fait de leur dépendance de plusieurs facteurs qui interviennent généralement simultanément et leur évaluation (quantification) est souvent très difficile et très variable d'une part, et d'autre part, le fait qu'il faut les déceler et déterminer leur influence, et connaître les facteurs qui jouent un rôle important dans la stabilité de la pente qu'il faudra prendre en compte dans chaque cas particulier.

On peut grouper ces facteurs en deux catégories :

1- Les facteurs passifs ou invariables

Généralement faciles à évaluer, on distingue :

- La géologie du site
Un glissement peut concerner le substratum rocheux (roches fissurées, les roches marneuses, roches schisteuses...) ou les couches de sol superficielles (couverture d'altération, les marnes, les argiles, les calcaires...)
 1. La structure du matériau
C'est l'étude des différentes roches et sols rencontrés, elle doit faire apparaître des informations essentielles tels les types de couches rencontrées (la présence de niveaux altérés, alternance de roches dures (compactes) et tendres, l'alternance de couches altérés et résistantes), la nature des joints de stratification, le pendage des couches, la présence de failles et de plissements...

2. La lithologie du site

Elle étudie les caractéristiques des sols et roches existants sur le terrain, telle la composition, la texture, les caractéristiques mécaniques, la perméabilité, la susceptibilité d'altération...

- La morphologie du site

Définition de toutes les formes pouvant révéler l'existence de mouvements de terrain (telle la pente topographique du terrain) et leurs mécanismes (bourelets, fissures, arbres inclinés...), l'âge des formations topographiques du site car le potentiel du risque de glissement de terrain peut être calculé aussi en évaluant l'âge de formation des pentes (pour une ancienne topographie le risque d'instabilité est inférieur par rapport à une topographie plus récente car l'ancienne a déjà résisté aux actions (sismiques, climatiques...) qui ont affecté le versant). De plus, l'emplacement et le type d'instabilité pouvant affecté le versant peuvent être déterminés en analysant la topographie du terrain tels l'inclinaison de la pente, son aspect, sa direction et sa courbure...

2- Les facteurs actifs ou variables

- Les facteurs climatiques

La pluie, la neige, le gel, le vent sont des facteurs variables et incontrôlables pouvant déclencher ou accélérer le processus glissement de terrain par l'effet de l'érosion, altération du sol ou de la roche, circulation d'eau en surface, augmentation de la pression interstitielle, arrachement des arbres...)

- Végétation

La couverture végétale joue un rôle très important dans la stabilité des talus qui peut être favorable (les racines augmentent la cohésion du sol), ou défavorable (l'effet du vent sur les arbres qui constitue un effort moteur, l'effet de levier qui peut arracher les arbres et laisser des vides dans le sol, l'érosion de la roche...), de plus, elle peut nous renseigner sur la position de la nappe.

- Facteurs accidentels (séismes, vibrations, tremblements de terre...)

Les vibrations créées dans le sol par ces actions accidentelles et la modification des conditions aux limites (augmentation des efforts) peuvent être à l'origine du déclenchement ou de la réactivation d'un glissement de terrain.

- Facteurs anthropiques
 - a) Modification de l'hydrologie : les pertes des réseaux hydrauliques, toute modification de l'hydrologie par une activité humaine.
 - b) Modification du relief : terrassement (suppression d'une butée, augmentation de la pente, surcharge du versant par un remblai).
 - c) Les surcharges dues aux structures qui constituent un moment moteur.

Action de l'eau sur la stabilité des pentes

L'une des principales causes du déclenchement des glissements de terrain étant d'origine hydraulique, la compréhension du fonctionnement hydrologique des pentes instables est nécessaire dans l'étude des mouvements de terrain.

Les infiltrations d'eau dans le sol

Elles engendrent des actions déstabilisatrices qui peuvent être résumées par :

- L'accroissement du poids volumique des sols par augmentation de la teneur en eau (augmentation du degré de saturation), [8]
- Le changement du comportement rhéologique du sol (le sol peut passer d'un état solide à l'état visqueux), [8]
- L'action mécanique exercée par les pressions de l'eau sur la cohésion de la masse de sol engendrée par la diminution de la succion qui joue un rôle cohésif,
- L'augmentation du niveau de la nappe d'eau qui peut être importante, ce qui fait chuter le coefficient de sécurité (le mouvement peut être nul ou faible sous une certaine hauteur piézométrique donnée, une augmentation de cette hauteur peut déstabiliser le versant et déclencher un mouvement de terrain),

Les écoulements souterrains

Ils jouent aussi un rôle défavorable très important dans l'activation des glissements de terrain, les raisons liées à ce phénomène, pouvant déstabiliser le terrain sont généralement :

- l'action des pressions de courant qui exercent une poussée sur le matériau qu'elle traverse (le freinage de l'écoulement de l'eau, qui se met sous pression et engendre une poussée sur le sol),
- le colmatage du terrain résultant des dépôts, des particules fines se trouvant en suspension dans l'eau, dans les interstices du milieu poreux, ce phénomène diminue la perméabilité du matériau et engendre une augmentation de la pression interstitielle,
- l'érosion souterraine qui diminue la résistance mécanique du sol et augmente la perméabilité du milieu et les débits d'eau,

Les écoulements superficiels (ruissellements)

Ils donnent lieu à une érosion externe, qui risque de modifier la géométrie du versant, ce qui modifie les conditions de stabilité.

Influence des points de perte des réseaux hydrauliques sur les glissements de terrain

L'un des facteurs pouvant déclencher un glissement de terrain est l'eau qui s'infiltré dans le sol. Des études de la possibilité que les pertes des réseaux hydrauliques puisse accélérer le processus du glissement de terrain, faites par (R. DERGHOUIM et M. MEKSAOUINE), sur le cas du Ciloc de Constantine, à partir d'un calcul plastique par éléments finis (pour cela ils ont utilisés deux modèles géotechniques des matériaux : le modèle élastique parfaitement plastique de Mohr-Coulomb et le modèle des sols avec écrouissage « Hardening soil model (HSM) », les calculs sont réalisés sur le langage « Plaxis »), ont confirmé l'effet important des débits injectés dans le sol prévenant des points de perte des réseaux hydrauliques sur l'instabilité du site.

Les effets des infiltrations se traduisent par :

- Un accroissement du poids volumique apparent du sol, qui est dû à l'augmentation de la pression inertielle « u » et une diminution de la contrainte effective « σ' » qui conduit à une instabilité [9]
- Changement du comportement rhéologique du sol (il passe d'un état solide à l'état visqueux)
- La circulation des eaux provenant des points de pertes des réseaux peut entraîner une altération progressive du terrain et une diminution de ses caractéristiques mécaniques.

Influence des actions sismiques sur les glissements de terrain

Elles sont à l'origine de nombreuses instabilités et mouvements de versants, l'origine des instabilités est la structure géologique du sol, mais peuvent aussi prévenir d'une sollicitation sismique (dynamique) qui induit l'apparition des forces d'inertie (d'origine sismique), la génération de surpressions interstitielles, la réduction des caractéristiques mécaniques du sol, une désorganisation de l'hydrologie et de la structure du versant... Il faut aussi prendre en considération les effets de site qui sont liés à la structure géologique du versant et la topographie qui provoquent une amplification importante de l'effort sismique cette amplification est due aux phénomènes de réflexion, de réfraction, et de diffractions des ondes de volume et de surface. Elles apportent des modifications sur les caractéristiques du signal (durée de vibration, et l'amplitude de l'effort) et son spectre de réponse.

Ces effets peuvent entraîner une amplification très importante de l'effort, les rapports d'amplitude crête/base varient de 3 à 5 et peuvent atteindre 10 dans certains cas particuliers, ce rapport dépend de la morphologie et de la pente du terrain, ainsi que des propriétés mécaniques du sol, donc une prise en compte de l'amplification de l'accélération sismique dans la modélisation et l'analyse des glissements de terrain s'avère nécessaire pour permettre une meilleure compréhension du phénomène.

Les mécanismes de rupture des pentes sous séisme sont souvent très difficiles à évaluer en raison de la complexité de la géologie locale et du manque d'informations sur le comportement rhéologique et hydrologique des matériaux. Les séismes peuvent provoquer des glissements dans des pentes initialement stables ou instables, ces glissements sont semblables à ceux dus aux causes habituelles (statiques), il s'agit des mécanismes de rupture par cisaillement des talus et pentes naturelles, ces derniers dépendent de la forme de la surface de rupture (plane, circulaire, logarithmique...). Sous l'effet du séisme, deux facteurs déclenchant peuvent avoir lieu :

- La diminution des caractéristiques du matériau et de sa résistance au cisaillement sous l'effet des vibrations sismiques.

- Les effets du site qui conduisent à une amplification de l'effort (réflexion, réfraction et diffractions des ondes)

On peut citer comme exemples de glissements provoqués (déclenchés) par une accélération sismique : le séisme de Guatemala en 1976 où on a recensé plus de 10 000 glissements et le séisme de Loma Prieta en Californie en 1989 où se sont produits plus de 1000 glissements et éboulements.

Une série de calculs (méthode de Bishop et méthode de Phi-c réduction) effectués, par SEDDIKI Ahmed (2008) dans le but d'obtenir le diplôme de magister, en tenant compte de plusieurs facteurs influant (la saturation, et l'action sismique) confirme l'influence importante de ces facteurs sur la stabilité des pentes. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau (1) : donnant les valeurs du coefficient de sécurité obtenues par les deux méthodes : [1]

Calcul n°	PETAL-LCPC (méthode de Bishop)	PLAXIS ("méthode Phi-c reduction")
1	2.40	2.43
2	1.18	1.24
3	1.77	1.78
4	0.86	0.90

Avec :

Calcul n° 1 : sous l'action seule du poids propre (sans nappe).

Calcul n°2 : effet de la nappe qui atteint le terrain naturel.

Calcul n° 3 : l'effet du séisme (avec une accélération horizontale égale à : 0,10g).

Calcul n° 4 : la nappe et le séisme sont pris en compte au même temps.

Influence de la végétation sur les glissements de terrain

La végétation arborée peut jouer un rôle stabilisateur et un rôle déstabilisateur, et constitue l'un des signes indicateurs des glissements pouvant être identifiés sur le site. On peut résumer l'interaction existante entre la végétation et les glissements de terrain en deux aspects :

- **Les effets sur les cycles d'eau**

L'eau joue un rôle important dans le déclenchement des glissements de terrain. En fait les précipitations d'eau (pluie, neige, eau de ruissellement...) tendent à s'infiltrer dans le sol par gravité, cette eau circule dans le sol mais son écoulement peut être bloqué par une couche de sol de moindre perméabilité et donner lieu à des écoulements latéraux, et l'eau qui ne s'est pas infiltrée ruisselle en surface. Mais en présence de la végétation, une partie de ces précipitations est interceptée par le couvert végétal, et la vitesse de précipitation sera freinée car l'eau atteint le sol par égouttement des feuilles et écoulement sur le tronc, ce qui permet d'éviter l'érosion et de protéger le sol.

De plus, elle réduit l'énergie de l'eau en ruissellement superficiel, et les racines de ces arbres absorbent une partie de l'eau du sol, ce qui permet d'extraire l'eau contenue dans le sol (la végétation joue le rôle d'une pompe), mais cette action existe uniquement en période de végétation -c'est donc une action limitée dans le temps- et diminue avec l'âge de l'arbre.

D'autre part la présence de ces dernières favorise l'infiltration car la perméabilité du sol augmente en présence de la végétation, et l'eau de pluie est retenue par le tapis végétal pendant une durée suffisante pour s'infiltrer, et cela constitue un facteur défavorable qui peut entraîner une instabilité du versant.

- **Les effets mécaniques sur le sol**

La végétation contribue à la stabilisation des sols, en augmentant leur résistance au cisaillement. De nombreuses recherches ont démontré l'effet néfaste du déboisement sur l'activation ou la réactivation des glissements de terrain (on peut citer à titre d'exemple l'île de Vancouver au Canada où Jacob a constaté sur 1004 glissements de terrain qui se sont produits au cours des vingt dernières années que la puissance des mouvements en zone déboisées est neuf fois plus importante par rapport aux forêts naturelles. Cependant la végétation arborée peut maîtriser uniquement les glissements d'une profondeur inférieure à deux mètres selon une étude faite par Berger et al. en 2006. De plus, sur un glissement déjà en activité la végétation augmente les infiltrations et les écoulements latéraux, aussi les racines déstabilisent le sol en créant des chemins facilitant l'infiltration de l'eau.

Il faut noter aussi l'effet du vent qui peut déraciner les arbres et perturber le sol en laissant des vides qui favorisent les infiltrations.

On peut également utiliser la forêt comme signe indicateur, pour pouvoir dater des processus géomorphologiques antérieurs ; sur un sol en mouvement l'arbre tend à suivre la direction du mouvement et s'incline, mais l'arbre tend à maintenir une croissance verticale donc on remarque qu'il sont courbés (les troncs sont en forme de crosses) ce qui permet d'estimer la direction du glissement (à partir de la direction des courbures) et l'amplitude des mouvements (qui dépend de l'importance de l'angle d'inclinaison des arbres). Pour pouvoir dater les différents processus géomorphologiques (mouvements de terrain) on fait appel à une science qui étudie et analyse l'excentricité des cernes. Cette méthode donne généralement des résultats précis. Dans les alpes, elle a été utilisée à plusieurs reprises. On peut aussi mettre en relation la croissance de l'arbre, l'activité du glissement et les conditions climatiques, ce qui permet d'évaluer l'impact de l'évolution climatique sur les glissements de terrain.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons défini les différents types de glissements de terrain en effectuant une classification en fonction de la forme, de la surface de rupture et une autre en fonction de la vitesse du mouvement.

Nous avons aussi étudié les différentes phases d'un glissement de terrain et les causes pouvant induire ou déclencher une instabilité. Ces causes sont dus : soit à la géologie, la géomorphologie et l'hydrologie du site, qui sont des facteurs de prédisposition du site ou des facteurs passifs, ou à des actions variables et anthropiques (qui peuvent être un terrassement, une surcharge en tête du versant, une perte dans un réseau d'assainissement...). L'instabilité peut aussi provenir d'une combinaison de ces paramètres.

Nous avons aussi étudié l'influence de certains de ces facteurs sur l'activité des glissements de terrain telle que : l'action de l'eau, l'action d'un chargement sismique, l'action de la végétation arborée...

chapitre II:

Evaluation et surveillance des glissements de terrain

Introduction

Dans ce chapitre, On va introduire les différentes techniques d'évaluation et de surveillance des glissements de terrain.

Vu les incertitudes sur les analyses de stabilité des pentes classiques, qui ne permettent pas de mesurer les déformations et les déplacements accompagnant un glissement de terrain, les techniques de surveillance et d'évaluation des mouvements constituent un moyen important permettant l'analyse et l'évaluation du potentiel de risque d'un glissement de terrain.

Cette méthode peut aussi être utilisée afin de prévoir des mouvements ou des instabilités dans les versants qui étaient initialement stables.

I Techniques d'évaluation des glissements de terrain

1- Recherche sur les catastrophes antérieures et reconnaissance du site

La première étape consiste en une recherche sur les catastrophes antérieures et une reconnaissance de terrain pour essayer de déceler tous les indices pouvant nous renseigner sur l'existence d'instabilités antérieures (arbres penchés ou tordus, poteaux inclinés, fissures dans le sol et les structures, bourrelets...). Pour cela on doit essayer de récolter le maximum d'informations et de documents concernant le site étudié (les dossiers géotechniques précédents, les levés topographiques...)

a) Recherche sur les catastrophes antérieures

- Les cartes topographiques : elles nous permettent de connaître toutes les actions naturelles et humaines exécutées sur la surface du versant (l'altération, l'érosion, les déblais, les remblais...) ; donc ces dernières peuvent être utilisées afin d'identifier les différentes formes géomorphologiques, hydrologiques, et les pentes du terrain.
- Les cartes géologiques : elles peuvent être utilisées pour acquérir des informations sur les structures géologiques et les matériaux du site.

Les informations géologiques nécessaires pour l'étude et l'évaluation des glissements de terrain que doit comporter une carte géologique peuvent se résumer ainsi : les discontinuités structurales, les failles et les fissures, pendages et directions des différentes couches géologiques, la nature des couches...

Cependant ces dernières sont souvent à petite échelle et ne donnent pas des détails et des résultats efficaces à l'échelle du site étudié, de plus, la majeure partie des détails sont des hypothèses, ce qui rend l'identification des caractéristiques à l'échelle du site très difficile.

- Les documents sur le glissement :

Il est très utile de réunir tous les documents disponibles concernant le site étudié car ils peuvent nous renseigner sur les mouvements de terrain antérieurs, on peut aussi avoir les détails des instabilités particulières qu'a connu le site, de plus, les informations collectées sur les anciens glissements peuvent être compilées sous forme d'inventaire (cartes d'aléas) donnant l'emplacement, le temps, le type, l'étendue, et l'intensité du glissement de terrain...

- Enregistrement des précipitations (pluviométrie) :

A partir des documents de pluviométrie récoltés, on peut établir des corrélations entre la quantité de précipitation (journalière ou mensuelle...) et l'apparition des instabilités (glissements de terrain). Les études effectuées sur l'activité des glissements de terrain anciens et l'historique des précipitations (journalières par exemple) peuvent être exploités afin de déterminer les seuils de précipitation qui peuvent déclencher les différentes instabilités.

Il est utile de prendre aussi en considération les fréquences des événements importants qui se sont produits dans la région tels que les séismes, les ouragans, les inondations...

b) Reconnaissance du terrain

En premier lieu on doit effectuer un examen visuel complet afin de déceler les indices de mouvements antérieurs et en cours d'activité. Les objectifs de cette reconnaissance consistent à vérifier et modifier les informations rassemblés dans la première phase (recherche des catastrophes antérieures) ; ensuite on doit opter pour une étude approfondie (reconnaissance géologique et topographique, étude de la végétation).

A partir de ces études on peut réaliser des cartes de risque de glissement de terrain.

2- Evaluation du risque de glissement à partir des photographies aériennes

On peut identifier les pentes instables plus rapidement et de façon efficace par vision stéréoscopique à partir de photographies aériennes, du fait que certains éléments qui apparaissent dans ces photographies peuvent être interprétés pour identifier les détails du terrain (la topographie, le drainage, l'érosion, l'occupation des sols...). De plus, les cartes de risque d'aléa glissements de terrain (carte de susceptibilité aux risques) sont fondées généralement sur les topographies aériennes, les cartes de risque permettent de réduire les catastrophes liées aux mouvements de terrain, des photographies aériennes à une échelle 1/10 000 sont suffisantes pour déterminer la topographie du glissement.

Les photographies verticales sont souvent les plus utilisées, bien que les photographies obliques donnent des lectures détaillées de la topographie du versant.

A partir de ces photographies, on peut évaluer aussi les déformations des pentes, les zones de terrassements, les fronts d'érosion, les affleurements rocheux, les petits escarpements et les fissures, en utilisant des photographies à différentes échelles.

Cependant, la topographie et les indices de glissements (fissures, niches d'arrachements, bourrelets...) peuvent être masqués par la couverture végétale.

Dans le cas des glissements profonds une lecture précise de la topographie est nécessaire afin de pouvoir localiser les surfaces en mouvements, et cela en déterminant quelques facteurs tels la position et la direction des pentes, l'escarpement (pentes raides, formées par l'érosion, formées par des failles...), les zones de dépression, les fissures (de tension ou de compression)..., afin de pouvoir identifier les pentes instables et les directions des mouvements. La forme des pentes en mouvement peut être exploitée afin de déterminer la forme de la ligne de rupture (plane ou circulaire). Cependant, ces lectures doivent être complétées et confirmées par une reconnaissance du site pour pouvoir déterminer les détails cachés qui n'apparaissent pas dans les photographies.

1- Utilisation des images satellites pour l'interprétation des pentes instables

C'est une méthode indirecte d'évaluation et de localisation des zones susceptibles aux glissements de terrain, les images satellites peuvent être utilisées dans l'étude de la structure géologique et hydrologique des versants, les données fournies par ces images constituent un moyen de localisation et d'évaluation des zones instables (zones de risques de glissements de terrain). Ces images sont utilisées pour lire la topographie du terrain, comme pour les photographies aériennes, par des images stéréoscopiques, de plus, les données multi spectrales fournissent des informations sur la température du sol, l'étude des couleurs, et nous permet d'avoir la distribution de l'eau souterraine et des eaux

superficielles, l'état de la végétation, les fissures.... Ainsi de toutes ces informations, on peut évaluer le potentiel du risque de glissement de terrain étudié.

De plus, le fait que les satellites peuvent contrôler la surface de la terre continuellement nous permet d'avoir des images des zones étudiées à n'importe quel moment et continuellement, ce qui nous permet donc de contrôler et d'évaluer l'évolution du mouvement de terrain, d'évaluer le changement du potentiel du risque, et d'identifier des zones instables non identifiées antérieurement. Cependant ces images peuvent être utilisées uniquement pour lire des topographies de glissements de terrain à grande échelle [5]

II. Etude et évaluation détaillées des glissements de terrain

Dans des sites où le potentiel de risque de glissement de terrain est élevé on doit faire une étude approfondie et détaillée afin de pouvoir déterminer des mesures préventives, et mieux comprendre le comportement de l'instabilité, pour cela on utilise plusieurs méthodes.

II-1- Evaluation du risque par exploration géophysique

Les méthodes de prospection géophysique sont des méthodes approchées permettant de mesurer plusieurs caractéristiques physiques du site à partir de la surface du sol.

a. II-1-1- la prospection sismique

Cette méthode utilise la vitesse de propagation des ondes de choc, celle-ci est influencée par plusieurs paramètres (la porosité, le degré de saturation, la profondeur de la couche...); ce qui nous permet de déterminer l'épaisseur du sol de surface, l'existence de couches de faibles caractéristiques, la position du substratum rocheux, les zones de failles et de fractures dans la roche (le substratum).

Cette méthode nous permet aussi d'évaluer la stabilité (ou la non stabilité) des pentes à partir des facteurs géologiques suivants : [5]

- L'épaisseur des couches de sol de surface, et des couches d'altération,
- La densité des fissures et la nature de la roche de fond (le substratum rocheux),
- L'emplacement, l'étendue, et la nature des zones de faille,

Initialement, les ondes primaires (p) ont été utilisées dans cette méthode, mais les observations récentes indiquent que l'utilisation des ondes secondaires (s) donne une meilleure corrélation avec les propriétés du substratum rocheux.

Les principales limitations de cette méthode sont : [10]

- si la vitesse dans une couche croît avec la profondeur, l'hypothèse d'homogénéité conduit à une erreur sur la position de l'interface,
- on ne peut pas faire apparaître une couche à faible vitesse située sous une couche à plus forte vitesse,
- on ne peut pas repérer des couches dont l'épaisseur est inférieure à l'ordre de grandeur de l'espacement des géophones.

II-1-2- prospection électrique

Cette technique consiste à mesurer les propriétés mécaniques du substratum rocheux et du sol superficiel afin de déterminer l'épaisseur de la couche de sol de surface ou la couche altérée, la quantité d'eau contenue dans le sol.

Le principe de cette méthode consiste à faire circuler un courant électrique dans le sol et mesurer la résistance spécifique du sol, cette résistance est influencée par plusieurs facteurs tel la taille des grains, la porosité du sol ou de la roche, le degré de saturation, les minéraux du sol ou de la roche (les minéraux constituant le terrain sont généralement isolants sauf le graphite et les sulfures), la nature des sels dissous dans l'eau et leur concentration...

Cette méthode est utilisée pour déterminer la nature et la qualité du substratum rocheux, on peut aussi déterminer si le substratum contient de l'eau. Toutes ces informations nous permettent d'évaluer la stabilité des pentes, cette méthode est aussi bien adaptée à l'étude des circulations et des accumulations d'eau dans le versant, ce qui nous permet de mieux modéliser le mouvement.

II-1-3- Les diagraphies physiques

Une diagraphie consiste à mesurer à l'aide de différentes sondes les caractéristiques des formations géologiques traversées lors d'un forage en fonction de la profondeur. On dispose de deux types de diagraphies :

- les diagraphies instantanées pour lesquelles on enregistre les caractéristiques de la formation géologique pendant le forage
- les diagraphies différées pour lesquelles les caractéristiques du matériau sont déterminées après forage.

Ces mesures permettent d'estimer et d'étudier les propriétés physiques du sol (le degré de saturation, le pendage des couches, matériau, les minéraux constituant le matériau...) autour d'un sondage.

Les données obtenues à partir de ces diagraphies physiques peuvent être exploitées pour évaluer et analyser la stabilité des versants.

II-2- Evaluation du potentiel de risque de glissement par forages et sondages

Cette technique est utilisée pour évaluer les caractéristiques du sol et du substratum rocheux, les sondages réalisés peuvent être destructifs , ou non avec prélèvement d'échantillons destinés pour des essais de laboratoire (détermination des caractéristiques physiques et mécaniques du sol), de plus, la prise d'échantillons au voisinage de la ligne de rupture nous permet de connaître les caractéristiques physiques et mécaniques du sol dans cette zone (zone de faiblesse), si les mouvements sont profondes on peut exécuter des trous à la pelle.

L'avantage de cette méthode est de permettre l'examinations et l'observation directe des échantillons, qui fournissent une coupe précise du terrain et permettent de corriger les résultats obtenus par les méthodes de prospection géophysique, cette méthode permet également de repérer les zones de faiblesse même si leur épaisseur est faible (ces zones ne peuvent pas être déterminées par la prospection géophysique), de voir les traces de cisaillement dans les matériaux cohérents, d'installer des piézomètres afin d'évaluer le niveau de la nappe souterraine et la qualité de l'eau, des cellules de prise de la pression interstitielle et d'installer des inclinomètres pour mesurer les déplacements en profondeur et déterminer la position de la ligne de rupture.

Le forage doit être bouché afin de pouvoir l'utiliser pour d'autres études (telles les diagraphies physiques).

II-3- Evaluation du risque de glissement de terrain par analyse de la stabilité des pentes

La stabilité des pentes est évaluée à l'aide d'un coefficient de sécurité. On utilise cette méthode pour évaluer le risque de glissement d'une pente naturelle ou artificielle (pente en déblai ou en remblai) ou pour concevoir les travaux de renforcement pour des pentes qui ont subies un mouvement ou présentant des signes d'instabilité.

L'analyse de la stabilité des pentes nécessite la détermination des facteurs suivants :

- la structure géologique des matériaux,
- l'étendue de la masse en mouvement,
- la forme de la surface de glissement,
- le niveau de la nappe,
- la position de la ligne de rupture,
- la nature des couches rencontrées, et leurs propriétés physiques et mécaniques (le poids spécifique, la teneur en eau, le degré de saturation, les conditions de drainage, la résistance au cisaillement...).

On dispose de plusieurs méthodes d'analyse et d'évaluation du risque de glissement de terrain, or le choix de la méthode à utiliser pour évaluer la stabilité de la pente dépend de la forme de la surface de rupture. Le domaine d'application des différentes méthodes est résumé dans le tableau suivant : [5]

Forme de la surface de glissement	Méthodes d'analyse	Proposé par
Surface droite	Méthode de pente infinie	
Surface pliée	Méthode à coins	
Surface circulaire	Méthode à cercle de friction	Taylor (1948)
	Méthode suédoise (ou Fellenius)	Fellenius (1956)
	Méthode de Bishop	Bishop (1955)
	Méthode de Janbu	Janbu (1957)
Surface générale	Méthode de Morgenstem-Price	Morgenstem et al. (1965)
	Méthode de Spencer	Spencer (1968)

Tableau (2) : domaines d'application des méthodes d'analyse de la stabilité des pentes [5]

Cependant, l'estimation de la surface de rupture de la pente est difficile, donc on calcule le facteur de sécurité pour des surfaces de glissement d'essai, puis on adopte le cas donnant le coefficient de sécurité minimum.

Les facteurs de sécurité obtenus sont utilisés pour l'évaluation de la stabilité ou la non stabilité de la pente, théoriquement une valeur supérieure à l'unité indique une pente stable, cependant, l'incertitude et la variabilité des paramètres intervenant dans les méthodes d'analyse de la stabilité conduisent à adopter un coefficient de sécurité légèrement supérieur à l'unité.

III La surveillance des glissements de terrain

La mise en surveillance ou en observation d'un versant nous permet de confirmer le risque d'instabilité et d'évaluer l'étendue et la dynamique du mouvement, ainsi que les biens et les personnes exposées au risque, toutes ces informations nous permettent de définir un système d'alerte ou le confortement à adopter.

Cette technique est basée sur un recueil périodique de données quantitatives et qualitatives nous informant sur l'évolution du mouvement (évolution des fissures, les déplacements en surface, les déplacements en profondeur, les types de désordres dans les ouvrages...) qui sont exploités et interprétés afin de définir l'état de sécurité en fonction d'un seuil critique défini pour le mouvement étudié.

En fonction de l'évolution du mouvement (évolution vers la stabilité ou vers des mouvements accélérés), l'étendue et l'importance du mouvement, des caractéristiques du site et du degré de sécurité recherché, et vu l'importance du facteur temps dans la gestion de ces mouvements, on distingue deux types de surveillance.

1- Surveillance continue

On adopte ce type de surveillance dans les cas où le risque d'instabilité est fort (mouvements présentant de forts enjeux par exemple). Le système de surveillance est permanent (ce système permet de produire des informations interprétables en quelques secondes) et les données d'évaluation du mouvement sont immédiatement transmises et traitées afin de déterminer l'état de sécurité. Dans ce type de surveillance, on peut opter soit pour des veilleurs permanents sur le site ou bien pour un système automatisé (télétransmission). On doit aussi prévoir un système d'alerte et un plan d'action en cas de risque.

La phase d'interprétation est la plus importante dans un système de surveillance car elle détermine l'état de sécurité et les dispositions à prendre, et nécessite l'intervention de spécialistes connaissant le site et le système de surveillance.

2- Surveillance discontinue

Les informations sont produites périodiquement ou sur interrogation. Dans ce cas le système n'est pas en état de veille permanent (les données sont produites tous les mois ou toutes les semaines...) dans certains cas, les informations sont produites en permanence (système automatisé) mais leur interprétation est périodique.

Dans ce type de surveillance si l'intervalle de temps entre les mesures est important et mal adapté, on risque le déclenchement de l'instabilité, sans que le système mis en place ne puisse le prévoir.

Alerte et alarme

1) L'alerte

Quand le mouvement atteint son seuil critique ou une anomalie est détectée l'alerte est alors lancée, on distingue :

- Alerte technique

Qui correspond à la défaillance ou au non fonctionnement du matériel de surveillance (inclinomètres ou appareils de mesure endommagés).

- Alerte opérationnelle

Ce type d'alerte est lancé quand le phénomène dépasse le seuil critique fixé dans le système de surveillance, ou quand un phénomène inquiétant est détecté.

Dans ce cas, on doit opter pour :

- Un renforcement de la surveillance (par exemple en passe d'une surveillance discontinue à une surveillance continue),

- Une évaluation de la situation de sécurité par des spécialistes afin de définir le niveau de sécurité,
- Transmettre l'alerte au responsable de la sécurité afin de prendre des décisions concernant le site (fermer une route, évacuer la population...),
- La mise en place d'un plan de secours,

2) Alarme

C'est le signal qui annonce un danger, elle représente le dernier niveau de l'alerte qui correspond au cas de risque extrême. Dans ce cas, on est appelé à exécuter les mesures d'urgence, les règles d'action en cas de déclenchement de l'alarme doivent être définies au préalable dans le système de surveillance pour chaque type de situation pouvant survenir

La figure (9) : présente le plan d'action (de secours) relatif à la surveillance d'un glissement de terrain de grande ampleur au Séchilienne, Isère : [11]

SECHILIENNE

Plan de secours L.P.C. LYON

Phases de déclenchement d'une alerte
(sur 24 heures)

L'EVENEMENT

susceptible de conduire au déclenchement d'une alerte

Les ouvertures mesurées sur les capteurs A13, A22, A23, C1, C2 évoluent à une vitesse supérieure à 100 mm/mois

NIVEAU 1 : IDENTIFICATION

Accès au Centre d'Exploitation

LARDET R.
ROMAGNY J.C.
GOUIN T. (*) *sur présentation*
DURANTHON J.P. (*) *d'un*
EVRARD H. (*) *mot de passe*
GUILLEMIN P.
DUMONT P.
BENOIT A. (*) : personnel d'astreinte

NIVEAU 2 : CONFIRMATION

Analyse
Appel des Thiébauds (76 72 ...)
Interrogation Station Météo
Modification du paramétrage du Terminal de Site
Intervention sur le site

EVRARD H. 74 57
GOUIN T. 78 00
DURANTHON J.P. 72 37
ROCHET L. 78 41

NIVEAU 3 : DECISION, PRE-ALERTE

L.P.C. LYON informe :

	<i>Tél.</i>	<i>Fax</i>
<i>Directeur Protection Civile</i>	76 60	76 44
<i>Chef de Cabinet du Préfet</i>	76 60	76 51
<i>Chef opérationnel SIACED/PC</i>	76 60	76 60
<i>CODIS 38</i>	76 96	76 21

NIVEAU 4 : ALERTE

Mise en place d'un P.C. DE CRISE au L.P.C. LYON

Les données nécessaires à la définition du système de surveillance

Pour pouvoir définir un système de surveillance compatible au site et au phénomène étudié on doit définir les facteurs suivants :

1. Le phénomène et son environnement

1.1. La typologie du glissement de terrain

Les facteurs qu'il faut définir et suivre afin de mettre en œuvre une surveillance sont généralement : la dimension, les causes prépondérantes, la cinématique du glissement, l'évolution du mouvement, la position de la surface de rupture..., qui sont très variables, et qu'il faut définir pour chaque cas particulier de glissement.

1.2. L'environnement du système

Ce facteur est fondamental dans le choix du type de surveillance à adopter. Donc on doit identifier toutes les contraintes liées à l'environnement du site d'origine naturelles ou artificielles.

- Problème d'accessibilité qui découle de la morphologie du site (routes coupées ou impraticables, existence de routes permettant l'acheminement du matériel et des engins),
- Le relief qui peut conditionner le type de matériel de communication à utiliser (difficulté de communications radioélectriques),
- Le climat (températures extrêmes, humidité ou salinité de l'air, orages, foudres...) qui peut endommager l'appareillage,
- La végétation arborée importante (possibilité de tendre des câbles, installation des mires pour les levés topographiques...)
- L'activité du mouvement : si le mouvement est très actif l'accès du personnel devient risqué, et les instruments de mesure nécessitent une protection (la surveillance dans ce cas est coûteuse),
- L'environnement technologique du site (existence d'énergie électrique, lignes téléphoniques...),
- Existence de certaines espèces animales pouvant endommager les installations et les instruments de mesure,
- L'impact du système sur les installations existantes (perturbation des réceptions radio et TV),

Les responsables de la sécurité (maire, gestionnaire de l'ouvrage...) définissent l'objectif de sécurité. Le spécialiste désigné pour l'étude et la surveillance du phénomène apporte au responsable les éléments techniques nécessaires pour la définition du degré de sécurité.

L'estimation de l'aléa, des probabilités de son apparition et des enjeux éventuels (risques immédiats, risques différés, effet sur l'économie...), la possibilité de réactivation du mouvement après rupture, conditionnent le choix et la durée du système de surveillance.

Il faut aussi définir les mesures à prendre en cas d'alarme afin de diminuer les conséquences du mouvement (fermer un ouvrage, pousser à un niveau de sécurité supérieur, lancer l'annonce de danger...).

Le degré de sécurité défini influe aussi sur le choix du système de surveillance. Ce paramètre est évalué par le maître d'ouvrage.

En effet, le choix du système de surveillance découle d'un compromis entre la technique et le coût d'une part, et d'autre part, le degré de sécurité recherché.

2. Les éléments d'un système de surveillance

Un système de surveillance se compose de trois éléments (entrée, traitement, sortie) qui sont organisés et bien choisis afin de répondre aux exigences de la surveillance et de la sécurité.

I. Les entrées du système

Cet élément est constitué des paramètres d'évolution, qui représentent le phénomène, mesurés sur le site et de l'inspection visuelle.

Afin de choisir l'appareillage à utiliser et les paramètres à mesurer on se pose un ensemble de questions : Quoi mesurer ? Quels sont les paramètres qu'il faut mesurer ? Où mesurer ? Quel est le nombre de repères ou de points de mesure à adopter ? Quels types d'appareils doit-on utiliser ? Quelle est la précision nécessaire ?

ü Les facteurs qu'on cherche à déterminer

Ils sont de deux types :

- Les paramètres décrivant l'évolution du mouvement (déplacements en surface, en profondeur, rotation de certains points...)
- Les facteurs influents sur l'évolution du glissement (l'eau, le climat, les précipitations...)

La combinaison et l'étude simultanée des deux types de paramètres nous permet de mieux comprendre le comportement de la masse instable et de déterminer les facteurs les plus défavorables pour lesquels il faudra limiter les effets.

Ü Le choix des points d'implantation des capteurs ou des repères

Il doit être soigneux et astucieux, car il conditionne la compréhension du mécanisme et de l'évolution du mouvement.

On peut disposer ces repères de manières différentes, par exemple dans la partie la plus active, au point de départ, au niveau d'un ouvrage menacé, implantation de certains capteurs témoins dans la zone stable...

Cependant l'inaccessibilité de certaines zones peut conditionner ce choix.

Ü On distingue en général, deux types de capteurs

- § Les capteurs automatiques qui nécessitent l'utilisation d'une centrale d'acquisition.
- § Les capteurs manuels, dans ce cas la présence d'un technicien sur le site pour prendre les mesures est nécessaire.

Le tableau (3) : donne les différents types de matériels, de mesures, leur utilisation et leur rendement [11].

Matériel de mesures	Manuel Automatique	Utilisation	Vulnérabilité	Coût
Mire à vernier	M	Mesure de déplacements	faible	faible
Évier	M	Mesure de déformations	faible	faible
Fissuromètre	M/A	Mesure de déformations	faible	faible
Distancemètre à fil invar	M/A	Mesure de déplacements	élevée	faible
Distancemètre à laser optique	M/A	Mesure de déplacements	élevée	moyen
Extensomètre	M/A	Mesure de déformations	moyenne	faible
Pendule inverse	M/A	Mesure de déplacements	élevée	moyen
Tassomètre	M/A	Mesure de déplacements	élevée	faible
Servo-accéléromètre en frottement	A	Mesure de rotations	moyenne	moyen
Nivelle (éclinomètre)	M/A	Mesure de rotations	faible	faible
Inclinomètre	M	Mesure de rotations	moyenne	élevé
Détecteur de rupture	A	Détection d'un changement d'état	moyenne	faible
Détecteur de contact	A	Détection d'un dépassement de seuil	moyenne	faible
Pluviomètre Pluviographe	A	Mesure du volume de précipitations	faible	faible
Nivomètre	A	Mesure de la hauteur de précipitation de neige	moyenne	moyen
Limnigraphe	A	Mesure du niveau de cours d'eau	moyenne	moyen
Thermomètre	A	Mesure de la température	faible	faible
Capteur de pression interstitielle	M/A	Mesure de la pression interstitielle	moyenne	faible
Piézomètre ouvert	M	Mesure du niveau d'eau	moyenne	faible
Géophone	A	Mesure de vibrations acoustiques	élevée	moyen

En outre, le choix du type d'appareil à adopter dépend du degré de précision recherché et des objectifs de sécurité fixés, ainsi que du type et de l'ampleur du mouvement, et du relief du versant (accessibilité du site...).

II. Traitement des données

On peut choisir entre une surveillance automatisée (partiellement ou totalement) et une surveillance manuelle.

ü Traitement manuel

Si on dispose du personnel qualifié sur le site pour effectuer les mesures, les dépouillements et l'interprétation des résultats obtenus, et si les frais de ce personnel pendant la durée de la surveillance, qui est généralement très longue, ne sont pas très importants (il faut tenir compte du facteur économique), la surveillance manuelle peut être adopter, ce type est généralement adopté dans les cas où la durée de surveillance n'est pas très importante.

ü Traitement automatique

Du fait de l'éloignement du site par rapport au centre de traitement, ou du manque du personnels spécialisés permettant de traiter les données rapidement (manque du personnel pendant les week-ends, et le risque de ne pas pouvoir interpréter les données pendant cette période avec un risque de déclenchement du mouvement), ou de la difficulté d'accéder au site, et de l'importance du risque nécessitant une durée importante de surveillance, le choix d'un traitement automatique de données est nécessaire. Ce système nous permet de détecter l'évolution et le danger et de déclencher l'alarme rapidement.

Un système de traitement ou de surveillance doit permettre certaines fonctions telle une acquisition des données et leur validation, une combinaison des mesures, leur stockage, leur transmission, d'effectuer les tests (comparer les valeurs obtenues avec la valeur critique), la génération d'alerte.

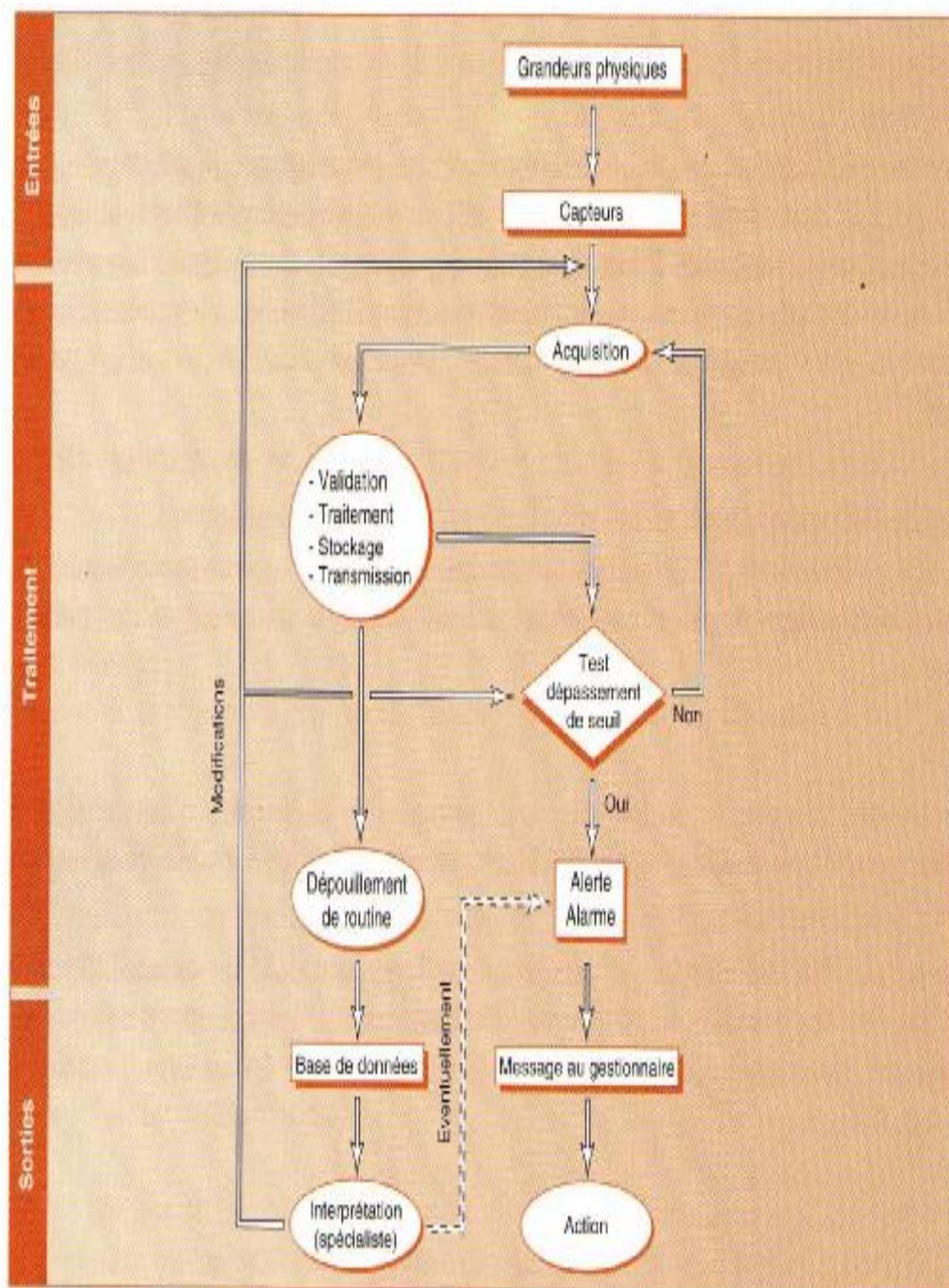
Cependant, une inspection visuelle du site est toujours nécessaire afin de déceler certains facteurs que le système ne peut pas détecter.

III. Les sorties du système de surveillance

Le système de surveillance peut fournir deux types d'informations en sortie :

- § L'évolution des paramètres physiques décrivant le mouvement (déplacements, ouverture des fissures, rotation de certains points...) qui sont analysés par des spécialistes, ces informations servent à déterminer l'évolution des paramètres décrivant le mouvement en fonction du temps.
- § L'évolution des facteurs influents sur le glissement qui sont combinés (sous forme de courbes donnant un paramètre en fonction de l'autre par exemple) afin de pouvoir prévoir un changement du mouvement ou une évolution dangereuse. Ce système peut aussi fournir en sortie un message d'alerte ou d'alarme si le mouvement atteint son seuil critique ou un danger particulier a été détecté.

La figure (10) : Exemple d'organigramme de système de surveillance [11]



Conclusion

Ce chapitre illustre les différentes techniques d'évaluation du potentiel de risque et de surveillance des glissements de terrain.

On peut évaluer le potentiel du risque d'une instabilité par différentes techniques telle une recherche sur les catastrophes antérieures et une reconnaissance du site, une étude et une analyse des photographies aériennes ou des images satellites, des prospections géophysiques, les forages et sondages ou par des méthodes d'analyse de la stabilité.

Cette méthode permet la détermination de la stabilité (ou la non stabilité) des versants, et la cartographie des zones susceptibles au glissement.

La surveillance d'un terrain instable nous permet de prévoir l'évolution dans le temps des paramètres du mouvement et le degré de sécurité observé dans le versant. On distingue deux types de surveillance : une surveillance continue adoptée pour les glissements de terrain de grande ampleur ou dans les cas de risques importants, et une surveillance discontinue quand le risque d'instabilité est moyen ou faible.

Conclusion de la première partie

Les glissements de terrain se différencient par leur forme et leur dynamique. En fonction de leur forme, on peut distinguer deux types : les glissements rotationnels et les glissements translationnels. En fonction de la dynamique du mouvement deux types aussi sont définis : les glissements permanents et les glissements spontanés. Cependant, dans un cas général, les glissements sont souvent plus complexes, et présentent des formes et une dynamique quelconque (complexe) résultant d'un emboîtement de plusieurs glissements induisant une instabilité globale du versant.

Les causes des instabilités se repartissent en deux grandes catégories :

- ∅ Facteurs passifs : ils sont des facteurs de prédisposition du site à glisser, ils sont faciles à évaluer. On distingue des facteurs dus à la géologie du site et d'autres dus à sa morphologie.
- ∅ Facteurs actifs : ils sont généralement à l'origine du déclenchement et de la réactivation des mouvements de terrain. Ces derniers sont très variables et leur estimation est très difficile.

L'étude de quelques facteurs influant sur les mouvements de terrain (action de l'eau, action des efforts sismiques et l'action de la végétation) démontre le rôle important de ces facteurs sur la stabilité des versants.

La réalisation des ouvrages (routes, ponts, structures...) sur des pentes nécessite une étude de l'état de stabilité du versant sans et avec l'ouvrage. En fait, la réalisation d'un ouvrage ou des terrassements dans une pente se trouvant à la limite de stabilité risque d'induire un mouvement de terrain. Pour faciliter cette tâche, un recensement des versants présentant un potentiel de risque de glissement de terrain, donné sous forme de cartes de risque, est recommandé. Afin de réaliser ces cartes, on fait appel aux différentes techniques de prévision des glissements de terrain. On distingue :

- ∅ Les techniques d'évaluation du potentiel de risque des glissements de terrain.
- ∅ Les techniques d'évaluation détaillées adoptées généralement dans les cas où le potentiel de risque d'instabilité est élevé.

Afin de vérifier la fiabilité du confortement réalisé ou de mieux comprendre le comportement d'un versant instable, on adopte généralement une surveillance du site. En fonction de l'étendue du mouvement, de son évolution, des caractéristiques du site et de l'état de sécurité, on distingue deux types de surveillance :

- ∅ Une surveillance continue adoptée pour des cas de risques forts.
- ∅ Une surveillance discontinue.

Le choix du type de surveillance et du type d'appareils de mesure, ainsi que les paramètres à surveiller résulte d'un compromis entre la technique et le coût d'une part, et le degré de sécurité recherché et l'étendue du mouvement d'autre part.

Deuxième partie :

Etude du glissement de terrain d'Ain El Hammam

Introduction de la deuxième partie.

CHAPITRE I :

Etude des causes et la structure du glissement de terrain d'Ain El Hammam.

CHAPITRE II :

Analyse de l'évolution dans le temps et des conséquences du glissement.

Conclusion de la deuxième partie.

Introduction de la deuxième partie

Les glissements de terrain constituent un phénomène naturel de plus en plus rencontré en Algérie. La morphologie du Nord Algérien, caractérisée essentiellement par des montagnes de pentes raides, donne souvent lieu à des mouvements de terrain d'intensité variable. Les cas de désordre liés à cet aléa sont de plus en plus importants et leurs conséquences de plus en plus lourdes.

Le cas qui a marqué la région, ces dernières années, et a suscité le maximum d'attention est celui d'Ain El Hammam, vu l'étendue et l'ampleur très importantes de ce dernier. En effet, il s'agit d'un glissement de terrain très actif affectant une partie importante de la ville d'Ain El Hammam et le versant situé en aval de celle-ci.

Dans cette partie du mémoire, nous allons étudier la structure et les principales causes du glissement de terrain d'Ain El Hammam ainsi que sa dynamique d'évolution.

Cette partie est répartie en deux chapitres :

Le premier portera sur l'étude des différentes conditions (géologiques, géomorphologiques, climatiques et hydrologiques) qui ont conduit à l'apparition du glissement d'Ain El Hammam, les principales causes de ce mouvement et de sa structure feront l'objet de ce chapitre.

Dans le second, nous avons étudié la dynamique d'évolution de ce mouvement en utilisant :

- Des cartes de mesures de déplacements géo référenciés ;
- Des photos prises à des dates différentes et des observations sur le terrain ;
- Des résultats de mesures inclinométriques.

Chapitre I

Etude des causes et de la structure du glissement de terrain d'Ain El Hammam.

Introduction

La maîtrise et la compréhension des causes pouvant induire des instabilités nous permettent souvent de bien cerner le problème et d'adopter des solutions bien adaptées au problème étudié. Cependant, ces facteurs sont très variables et difficiles à déterminer. Pour pouvoir définir leur influence sur l'activité du mouvement, on préconise souvent une surveillance des paramètres du mouvement (vitesses de déplacements, rotation...) en fonction de l'évolution des facteurs probables pouvant l'induire (facteurs climatiques, facteurs géologiques et géomorphologiques, facteurs anthropiques et les facteurs accidentels).

Dans ce chapitre, on va essayer de déterminer les causes probables du déclenchement du glissement de terrain d'Ain El Hammam en étudiant :

- La géologie et la géomorphologie du site (les différentes coupes géologiques et les coupes des sondages, la pente du site, la direction du pendage des couches...).
- Le cadre climatique et hydrologique de la région.
- Les conditions de réactivation des mouvements.
- Les effets anthropiques.

Le mouvement de terrain qui affecte la ville d'Ain EL Hammam est très complexe. La définition d'un plan de glissement est très difficile du fait de l'hétérogénéité du site et de la reconnaissance insuffisante.

Les plans de ruptures ou les déformations du site liées au mouvement de terrain ne sont pas visibles dans les carottes extraites à cause de leur déstructuration et de la qualité médiocre du carottage. De plus, Les huit sondages réalisés ne fournissent pas assez d'informations sur l'étendu du mouvement et les volumes mis en jeu.

La mauvaise implantation des sondages et la concentration des reconnaissances au sommet du versant, ne donnent aucun renseignement sur le reste du versant qui présente beaucoup d'anomalies.

On essayera tout de même, de donner quelques hypothèses de surfaces de rupture, dans ce chapitre, qui restent à vérifier par des reconnaissances et des études supplémentaires.

I Historique du glissement de terrain d'Ain El Hammam

Le glissement de terrain d'Ain El Hammam remonte à un temps lointain ; des observations du site et des photographies aériennes montrent l'existence d'indices de mouvements de terrain très anciens [27].

La présence de terrains remaniés en profondeur et l'équilibre fragile du versant peuvent s'expliquer par un déplacement dû à des glissements de panneaux de volumes très importants de schistes remaniés, cette activité a disparu pendant une longue durée et ses indices ont apparemment été masqués par l'érosion du versant et la végétation [27].

Dans les documents dont nous disposons, seules les instabilités apparues depuis 1969 sont reportées, donc on ignore complètement si des signes d'instabilité ont été observés avant cette date.

En 1969 : les premiers signes d'instabilité ont commencé au mois de décembre, après de fortes pluies, les indices les plus visibles ont été localisés au Nord-Ouest de l'ancienne ville [28], le mouvement a provoqué des désordres dans la route N° 15 (actuel boulevard Colonel Amirouche), les bâtiments environnants et le remblai du marché.

Suite à ces désordres des études géotechniques ont été réalisées par le laboratoire Ex. L.N.T.P.B. Le laboratoire a effectué (9) sondages carottés et (8) puits à ciel ouvert en 1971 (plus des essais de laboratoire), en plus des informations tirées lors de la réalisation d'une tranchée afin d'exécuter un drainage, ainsi que des essais in situ au pénétromètre dynamique et une reconnaissance géophysique (réalisation de deux profils sismiques).

Les informations tirées de ces travaux ont permis de déterminer les causes d'instabilité, la position de la surface de rupture, l'allure du substratum qui est irrégulière, et la proposition de solutions pour stabiliser le sol, ainsi que quelques recommandations.

Ces études indiquent que la couche instable est de faible épaisseur, elle concerne la couche du remblai et la zone altérée du substratum (couche argilo-schisteuse). Les résultats de ces études ont permis d'élaborer un plan d'occupation du sol interdisant les constructions en hauteur sur le site du marché et ses environs [28].

Vers les années 1990 : des bâtiments (R+5) ont été édifiés le long du boulevard Colonel Amirouche (bâtiments 14 – 15 – 19). Des instabilités ont été signalées dans le site (lors de la construction du bâtiment de la BDL. L'école située en amont a connu des désordres dans la structure et dans la maçonnerie, des affaissements localisés...).

En 2002 : les désordres réapparaissent.

En 2004 : des nouveaux désordres sont apparus après les précipitations abondantes de l'hiver de 2004-2005.

En 2006 : à la suite de fortes pluies orageuses plusieurs bâtiments du boulevard Colonel Amirouche ont subi des désordres. Le bureau d'étude GEOMICA, a été alors engagé pour effectuer une étude géotechnique et une reconnaissance par sondages.

Un léger affaissement de la petite route descendante au Sud-Est a été observé, ce qui démontre que le mouvement affecte aussi le versant. Les mouvements, pendant cette période allant jusqu'à novembre 2008, ont été relativement lents (centimétriques à décimétriques).

En novembre 2008 : des pluies abondantes ont provoqué une réactivation du mouvement, et les déplacements ne cessent de s'amplifier pour atteindre un maximum en mars et avril 2009. Les déplacements pendant cette période ont été de grande ampleur (dislocation d'immeubles et d'ouvrages de soutènement, des désordres dans les chaussées, la rupture des réseaux hydrauliques...)

Sous l'effet des infiltrations issues des réseaux hydrauliques défectueux et des précipitations, un risque de poursuite et d'aggravation des mouvements ne serait pas exclu.

En mai et juin 2009 : plusieurs immeubles ont été évacués et démolis, et depuis la vitesse du mouvement a diminué surtout en partie située à l'amont du marché. Dans le versant, les déplacements sont toujours visibles et des signes de mouvements sont apparents.

II. Conditions majeurs à la formation du glissement de terrain d'Ain El Hammam

II.1- Cadre géologique et géomorphologique

1. Cadre géologique de la région

Le massif de la grande Kabylie, forme avec ses équivalents structuraux (massif d'Alger, de petite Kabylie et Edough) le socle cristallophyllien du domaine Kabyle des maghrébides.

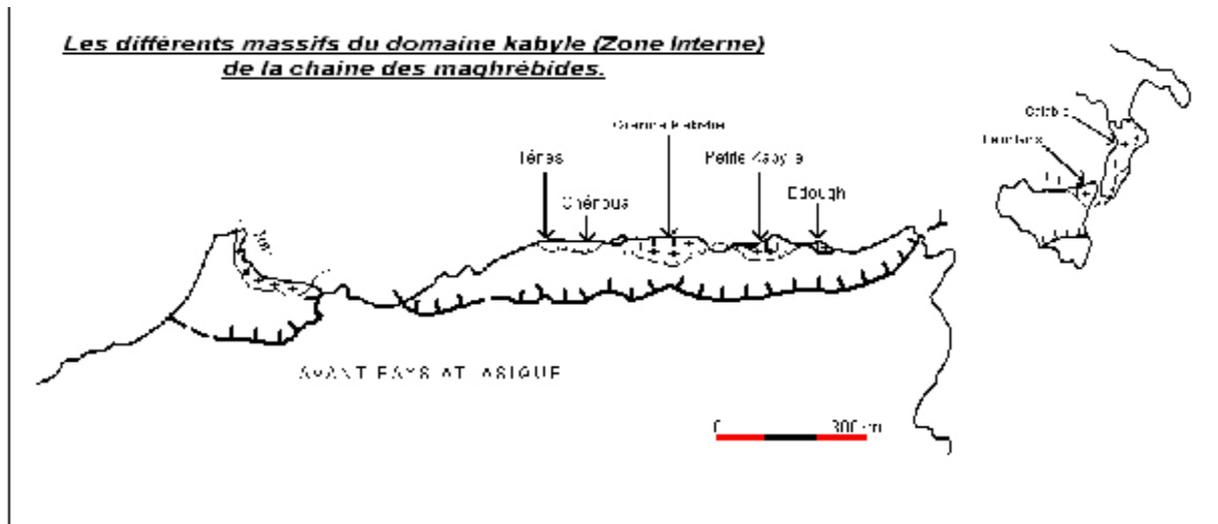


Figure (11) : les massifs du domaine Kabyle [29].

Les zones internes de ce segment alpin - figure ci-dessus – comporte trois ensembles géologiques distincts : [29]

Le premier : métamorphique composé de terrains cristallins et surtout cristallophylliens [29].

Le second : de nature sédimentaire, peu à pas métamorphique, d'âge cambrien à carbonifère [29].

Le troisième : forme la dorsale (chaîne calcaire), il est d'âge mésozoïque à cénozoïque [29].

Le massif cristallophyllien est constitué d'une série de petits massifs, qui sont ceux de Thenia, Beni Amrane, Aissa-Mimoun-Belloua et la grande Kabylie. Il occupe une position centrale dans les maghrébides [29].

Ce massif est limité structurellement, au nord par les flyschs Nord Kabyle, et au Sud par la dorsale Kabyle chevauchant les flyschs Sud Kabyle [29].

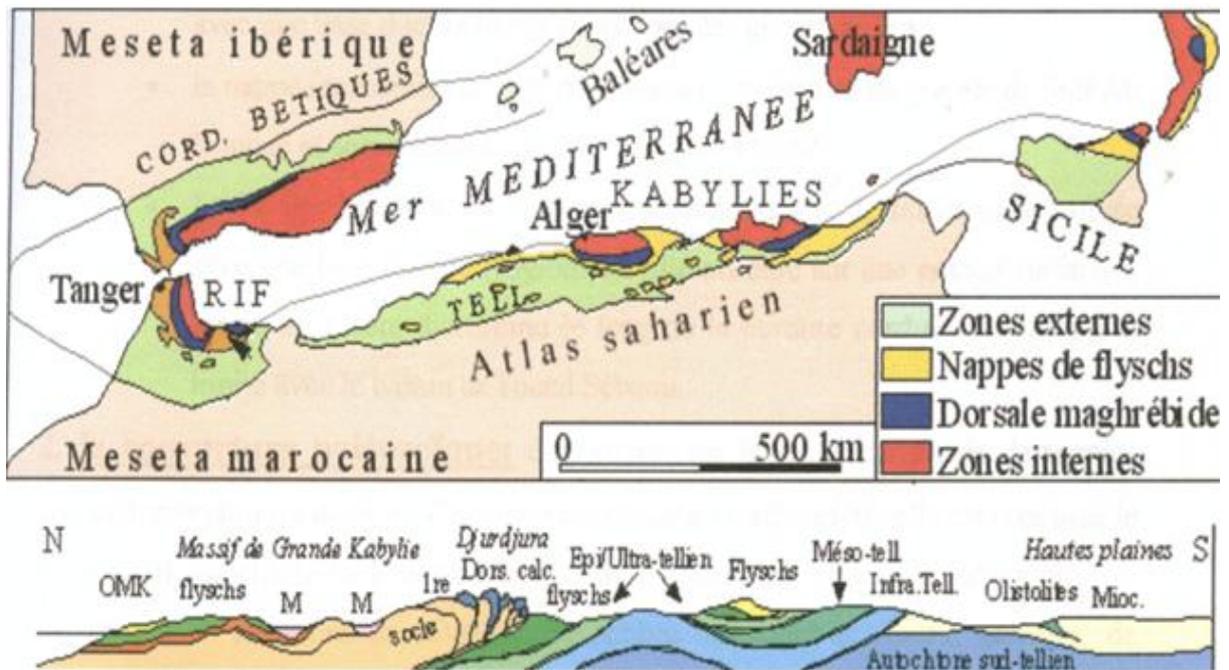


Figure (12) : Carte structurale schématique de la chaîne maghrébide montrant la disposition des zones externes et des zones internes de la grande Kabylie (Durand Delga 1980)[29].

2. Cadre géologique local

La carte géologique de Fort National (Larbaa Nath Irathène) datée de 1906 montre que la région de Ain El Hammam est localisée sur des terrains métamorphiques (terrains schisteux micacés occupant une bonne partie de la ville).

D'après l'étude géologique faite par GEOMICA (rapport de la phase II. 2009), les niveaux lithologiques du terrain sont les suivants :

- Æ **Un ensemble schisteux** : il est constitué de schistes satinés et de micaschistes.
- Æ **Un ensemble gneissique** : contenant les gneiss oillés et les gneiss fins.
- Æ **Un ensemble intrusif** : il est formé de granites, de pegmatites et d'aprites.
- Æ **Des roches basiques** : s'exprimant par des amphibolites.

La crête qui porte la ville d'Ain El Hammam est constituée essentiellement de schistes satinés de couleur grise foncée [27], dans ces schistes s'intercalent localement des bancs de quartzites [29].

Ces schistes présentent une schistosité de direction moyenne orientée ENE-WSW et une inclinaison de 30° à 60° vers le Sud. Cependant, on constate la présence d'ondulations et de petits replis fracturés par endroits. Cette couche de schistes satinés est en contact soit avec les micaschistes, soit avec les gneiss.

Les micaschistes apparaissent à la base des schistes satinés, leur schistosité est de direction ENE-WSW. Ces roches se débitent en plaquettes suivant leur plan de schistosité principal, elles sont de couleur crème foncée à marron claire. Les schistes rencontrés dans ce site sont plus au moins altérés. Cette altération a été facilitée par la fracturation de la partie supérieure de la roche. L'altération produit un limon argileux de couleur rougeâtre contenant des fragments de schistes.

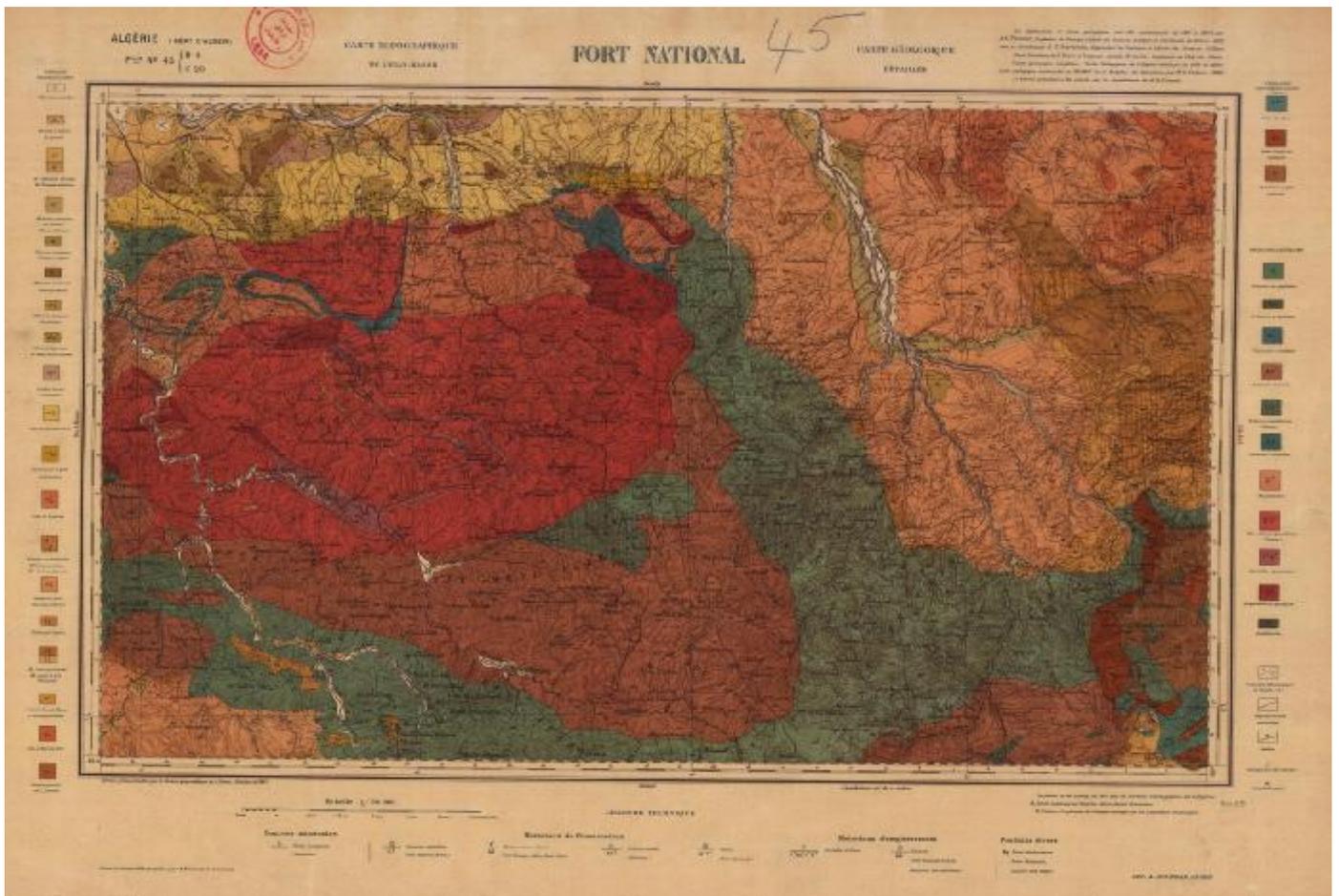


Figure (13) : carte géologique de Fort National [29].

3. Cadre géomorphologique

La zone affectée se présentait à l'origine sous forme d'un versant à pente raide, orientée généralement suivant une direction Nord-Sud. L'allure actuelle du versant est différente et a été modifiée par les travaux d'urbanisation et les terrassements réalisés en crête (la crête qui porte la ville d'Ain El Hammam) [29].

L'examen des photographies aériennes permet de déterminer l'existence d'une formation de schistes sériciteux sensibles à l'altération, occupant l'espace entre les

deux cols (NW 1055 et SE 1070) suivant une direction ENE-WSW. On constate aussi des indices géomorphologiques indiquant l'existence de glissements antérieurs au droit de la crête urbanisée (versant côté SW) [27].

Des indices géomorphologiques indiquant l'existence de mouvements réactivés récemment sont observés sur le site, telles que des niches d'arrachement, des fissures dans le sol, des arbres et des piliers électriques inclinés, des affaissements...



Poteaux électriques inclinés



Pente raide du versant



Arrachement et Dislocation su sol



Fissure dans le sol

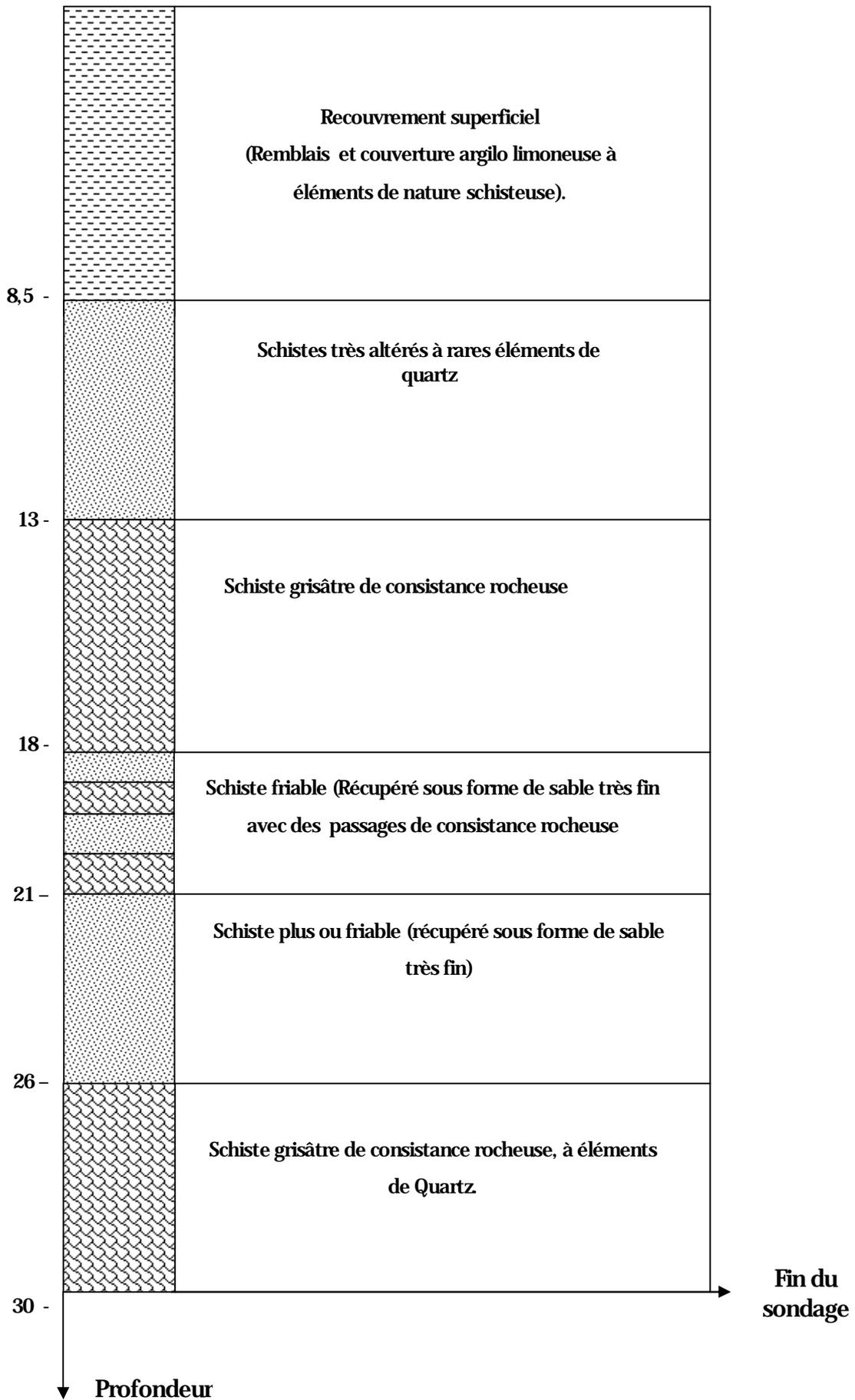


Affaissement



Arrachement du terrain

Coupe du sondage carotté SC 01: coordonnées UTM : X=617178, Y= 4047856



II.2- Cadre climatique et hydrologique

L'eau constitue souvent un facteur déstabilisant des versants et agit négativement sur les caractéristiques géotechniques du sol. Une étude de ce facteur s'avère donc indispensable dans l'analyse de la stabilité des versants.

1- le cadre climatique de la région d'Ain El Hammam

Le climat de Ain El Hammam est de type méditerranéen, continental, relativement froid et humide en hiver, chaud et sec en été. [29]

La période des fortes pluies s'étale dans cette région sur 5 à 6 mois (entre novembre et mars, voir les figures (9), (10) et (11)).

A partir d'une étude des données climatiques, d'Ain El Hammam, qui s'étale sur plusieurs années, on constate que le mois le plus pluvieux de l'année est le mois de décembre et le plus sec est le mois de juillet.

On constate aussi, que la région de Ain El Hammam est caractérisée par de fortes précipitations. Or les études de stabilité des versants ont démontré la relation existante entre les précipitations élevées et la réactivation de glissements anciens ou l'amorce de nouvelles instabilités.

2- Quelques données climatiques d'Ain El Hammam

Tableau (4) : Valeurs des précipitations mensuelles de la période (1913/1938 après comblement [29].

Station	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUI	AOU	Année
Ain El Hammam	47	94	159	162	153	137	154	113	83	32	6	9	1149

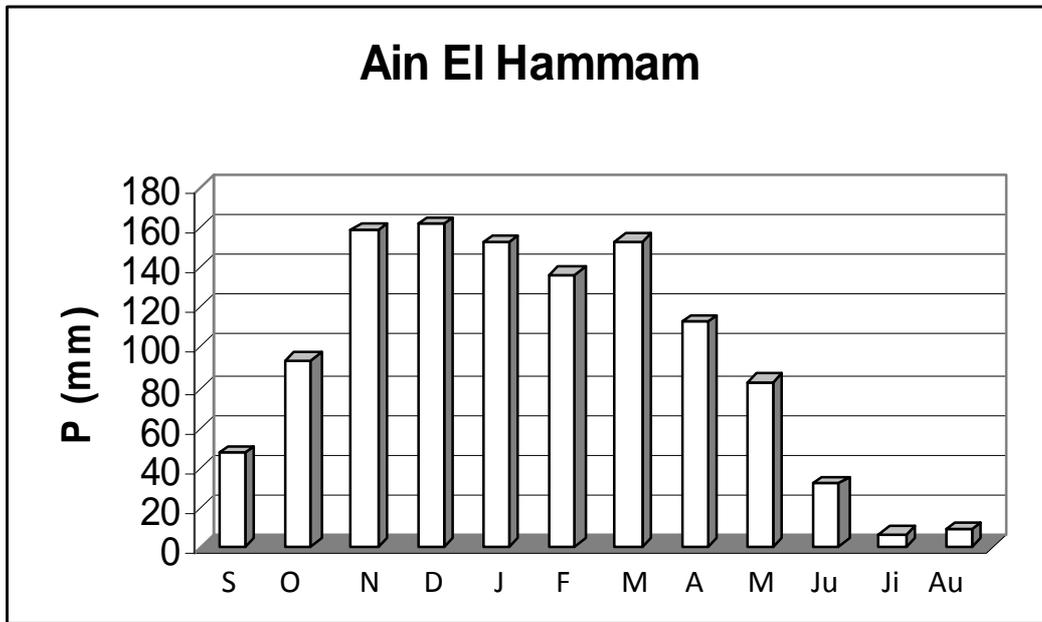


Figure (14) : histogramme de la période (1913/1938) [29].

Tableau (5) : Valeurs des précipitations mensuelles d'Ain El Hammam (1968/1994) [29].

Station	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUI	AOU	Année
Ain El Hammam	49.86	83.10	130.92	177.34	130.99	138.82	137.13	109.74	64.95	18.58	4.99	12.54	1058.83

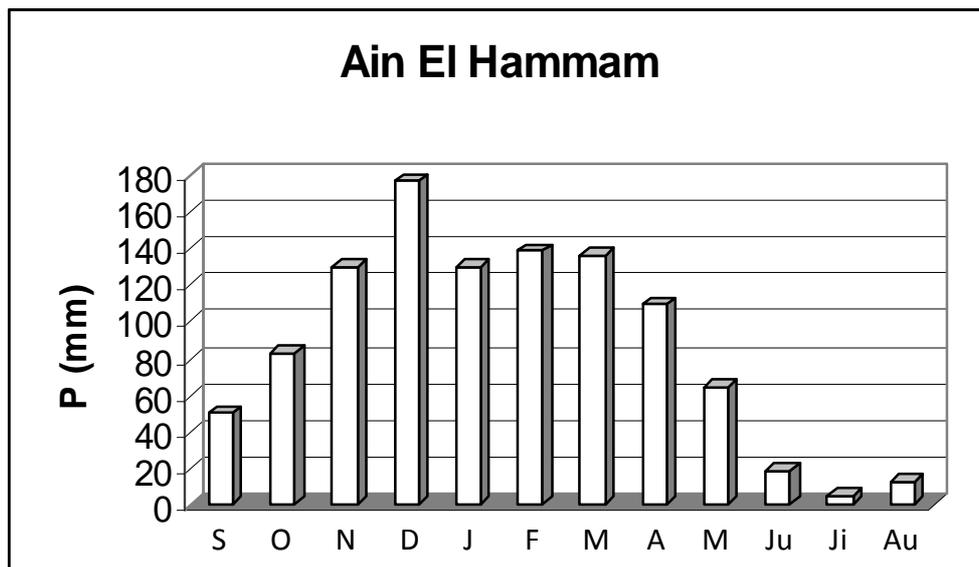


Figure (15) : histogramme de la période (1968/1994) [29].

Tableau (6) : Valeurs des précipitations moyennes mensuelles à la station d'Ain El Hammam période (1997-2006) [29].

MOIS	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU
P.moy (mm)	42,6	67,2	130,8	186,9	160,7	100,8	56,9	116,6	117,3	7,2	4,4	18,4

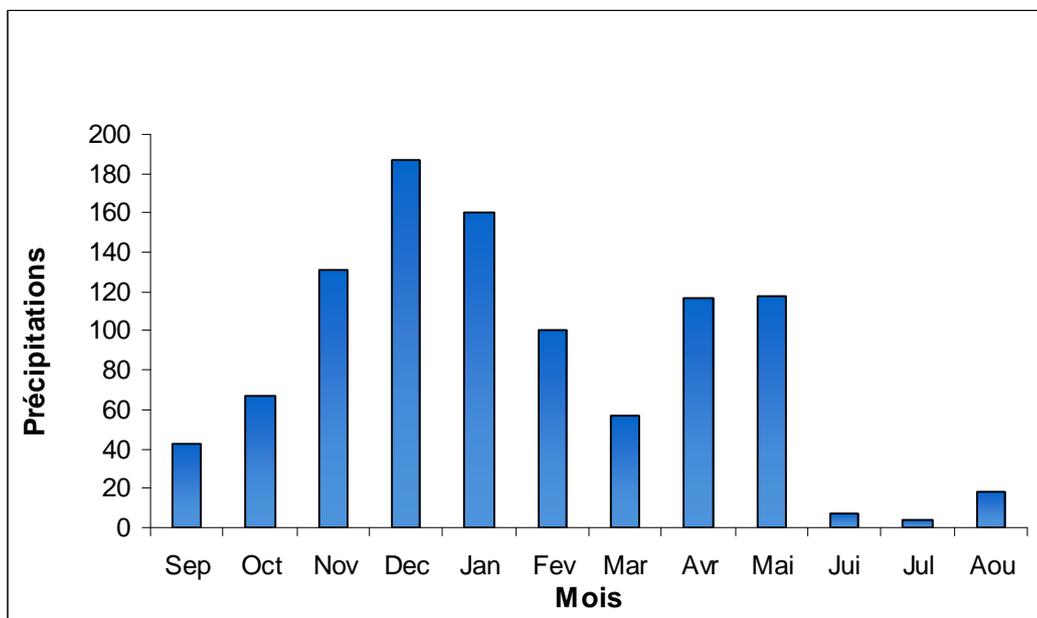


Figure (16) : histogramme des précipitations pour la période (1997/2006) [29].

3- Régime hydrographique de la région d'Ain El Hammam

Le régime hydrographique d'Ain El Hammam est caractérisé par des cours d'eaux d'écoulement torrentiel et semi-permanent, et de nombreuses sources (d'où l'appellation de Ain El Hammam).

Cependant, on a constaté que le réseau hydrographique initial qui permettait le drainage des eaux pluviales a été supprimé par les constructions et les jets de remblais anarchiques.

On a remarqué aussi que la sortie aval du site (le versant situé en aval de la ville) sert d'exutoire pour les eaux usées et les eaux pluviales.



Photos montrant l'écoulement des eaux usées dans le versant.



Réseau d'assainissement non raccordé



Cours d'eau



Jets anarchique de remblais [29]



état complètement urbanisé de la ville

III. Les causes du glissement d'Ain El Hammam

Cette instabilité peut provenir de plusieurs origines. A partir de l'étude géologique et géomorphologique vue précédemment et d'une étude de l'historique des différentes conditions climatiques et anthropiques qui ont précédé et accompagné les différentes phases d'activité de ce mouvement, on distingue quelques causes pouvant être à l'origine de ce glissement :

1. L'effet de la pente

Le versant présente une pente raide avec un angle d'inclinaison de 30° à 60°, ce qui favorise l'apparition des instabilités.

La photo suivante montre la pente importante du versant



2. La structure feuilletée du versant et le pendage aval des couches

On a constaté que le pendage des couches et les plans de schistosité de la roche en place se trouvent dans la direction de la pente (pendage aval, voir les coupes géologiques jointe en annexe).

3. La nature des formations géologiques

A partir des sondages on constate que :

- les schistes présents sur le site (schistes satinés) sont de faible résistance ;
- l'alternance de sols peu consistants et altérés, avec des schistes compacts et résistants en profondeur, qui favorise un mouvement profond du versant ;
- la fracturation de la roche qui favorise l'altération du substratum et les infiltrations des eaux ;

- La présence d'une couche de remblai de faibles caractéristiques, d'une épaisseur allant de 1,70 à 9,70 [m], qui peut être à l'origine d'un glissement superficiel.

4. La perméabilité des passages altérés

La forte perméabilité des passages altérés, constatée lors de la réalisation des sondages carottés, favorise un écoulement profond dans les passages et l'altération du substratum. L'alternance de couches perméables et imperméables favorise un écoulement transversal, et une réduction des caractéristiques mécaniques du sol, ce qui peut provoquer un glissement profond

5. L'effet de l'eau

a. Les fortes précipitations

L'activation et/ ou la réactivation du glissement de terrain d'Ain El Hammam est généralement précédée par des événements climatiques exceptionnels, caractérisés par de fortes précipitations (voir l'historique).

En conclusion, les fortes précipitations, qui caractérisent le climat de la région d'Ain El Hammam, ont un rôle important dans le déclenchement du glissement de terrain qui affecte la ville. Nous avons constaté que le mouvement a ralenti en en mai et juin 2009 (période correspondant à l'arrêt des pluies).

b. L'hydrologie du site

L'hydrologie de ce site est caractérisée par :

- La présence de plusieurs sources dans le versant ;
- Des cours d'eau de type torrentiels et semi-permanent ;
- La présence éventuelle d'une nappe phréatique ;

Ce qui entraîne une diminution des caractéristiques mécaniques du terrain (diminution de la résistance au cisaillement) et une altération progressive du substratum rocheux.

c. Les eaux accidentelles

Le mouvement de terrain a causé la rupture de plusieurs réseaux hydrauliques (réseaux d'assainissements et réseaux d'alimentation en eau potable). Les infiltrations des eaux en provenance de ces réseaux défectueux ont modifié les conditions de stabilité du versant et ont déstabilisé la pente (voir chapitre I de la première partie).

6. La couverture neigeuse

L'importante couverture neigeuse qui caractérise la région d'Ain El Hammam, constitue un facteur favorisant les infiltrations et l'altération dans le versant. En effet, la fonte progressive des neiges sature le sol et favorise l'infiltration de l'eau dans le versant. Et l'effet du gel dégel qui contribue considérablement à la fracturation et à l'altération du schiste. De plus, cette couverture constitue une surcharge du versant.

7. La surcharge importante de la crête

Malgré les signes d'instabilité apparus il y a environ 40 ans, la surcharge de la crête est importante (terrassements, construction d'immeubles, le trafic important...). Cette dernière a modifié considérablement le relief du site et a surchargé la pente. Les travaux exécutés dans ce site ont modifié les conditions de stabilité initiales. L'amortissement des mouvements après la démolition de quelques immeubles confirme le rôle important de cette surcharge sur l'activité du mouvement.

8. La suppression des réseaux de drainage

Les réseaux de drainage des eaux ont été supprimés par l'urbanisation et les jets de remblais anarchiques. Cette modification favorise l'érosion (modification du relief) et les infiltrations dans le versant.

9. L'effet de la sismicité de la région

Les séismes jouent un rôle important dans le déclenchement des instabilités (voir la partie bibliographique). La région d'Ain El Hammam étant située dans la zone 2a (zone de sismicité moyenne). L'effet de celui-ci doit être pris en charge dans l'étude du mouvement de terrain qui affecte la région, car il contribue à l'accentuation et à l'amorce des instabilités.

IV. La structure du glissement

L'instabilité qui affecte la ville d'Ain El Hammam est très complexe, caractérisée par des périodes de calme et de réactivation, déclenchée généralement par des incidents climatiques exceptionnels. La surface affectée par cette instabilité ne cesse d'augmenter.

Les signes morphologiques observés dans le versant indiquent que le mouvement atteint ce dernier. En effet, des affaissements, des fissures, des arbres inclinés,... ont été constatés. Ce qui confirme l'instabilité de celui-ci et l'existence d'un mouvement de terrain.

L'analyse des résultats des mesures inclinométriques, effectuée au niveau des sondages SC02 et SC04 où une rupture a été observée à des profondeurs de 17 et 16 [m], nous permet de définir une surface de rupture située à environ 17 [m] de profondeur au niveau de la ville.

Cependant, on ne peut pas confirmer que c'est la seule surface de glissement, car on dispose d'aucune information sur l'état de stabilité des couches profondes.

De plus, les résultats des sondages indiquent une alternance de niveaux rocheux résistants et d'autres friables et peu consistants. L'interface de ces couches peut être une zone favorisant un déplacement de terrain et peut constituer des surfaces de glissement situées à des profondeurs supérieures à celle donnée par les mesures inclinométriques.

1. Hypothèses de surfaces de rupture

1.1. La surface de rupture identifiée à partir des mesures inclinométriques (GEOMICA)

A partir des ruptures des inclinomètres observées :

- Dans le sondage carotté SC02 à une profondeur de 17 [m].
- Dans le sondage carotté SC04 à une profondeur de 16 [m].
- Et la rupture du tube piézométrique installé dans le sondage carotté SC01 à partir de 26 [m].

Deux coupes géologiques ont été réalisées par le laboratoire GEOMICA, indiquant la position et la forme probable de la surface de rupture (figure ci-dessous).

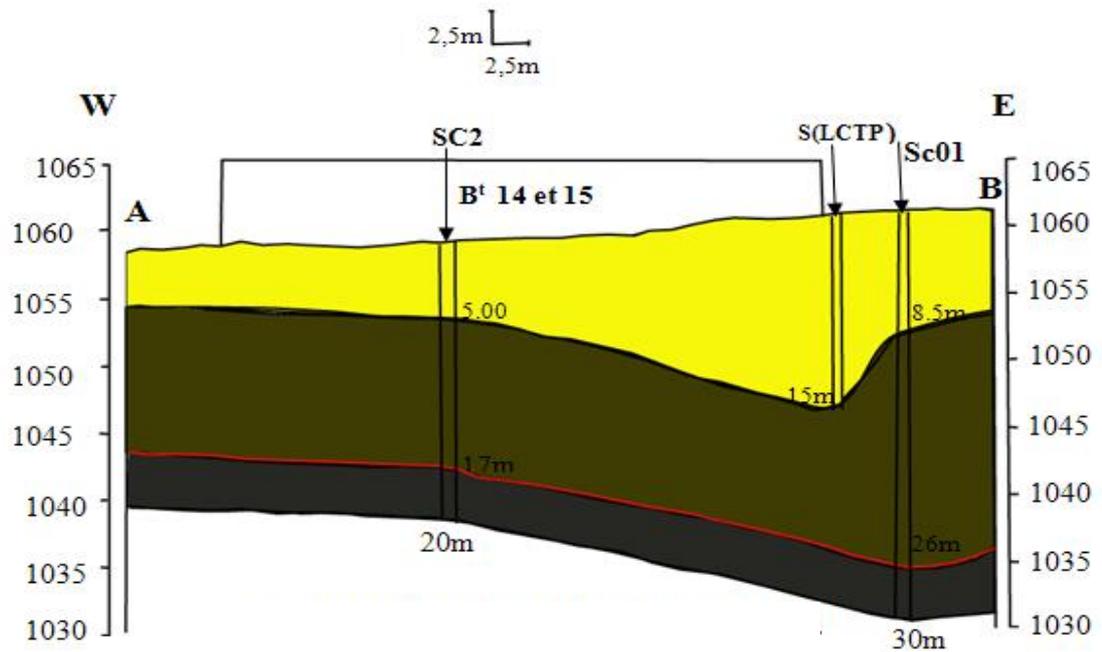


Figure (17) : Coupe géologique dans la direction perpendiculaire au glissement [29].

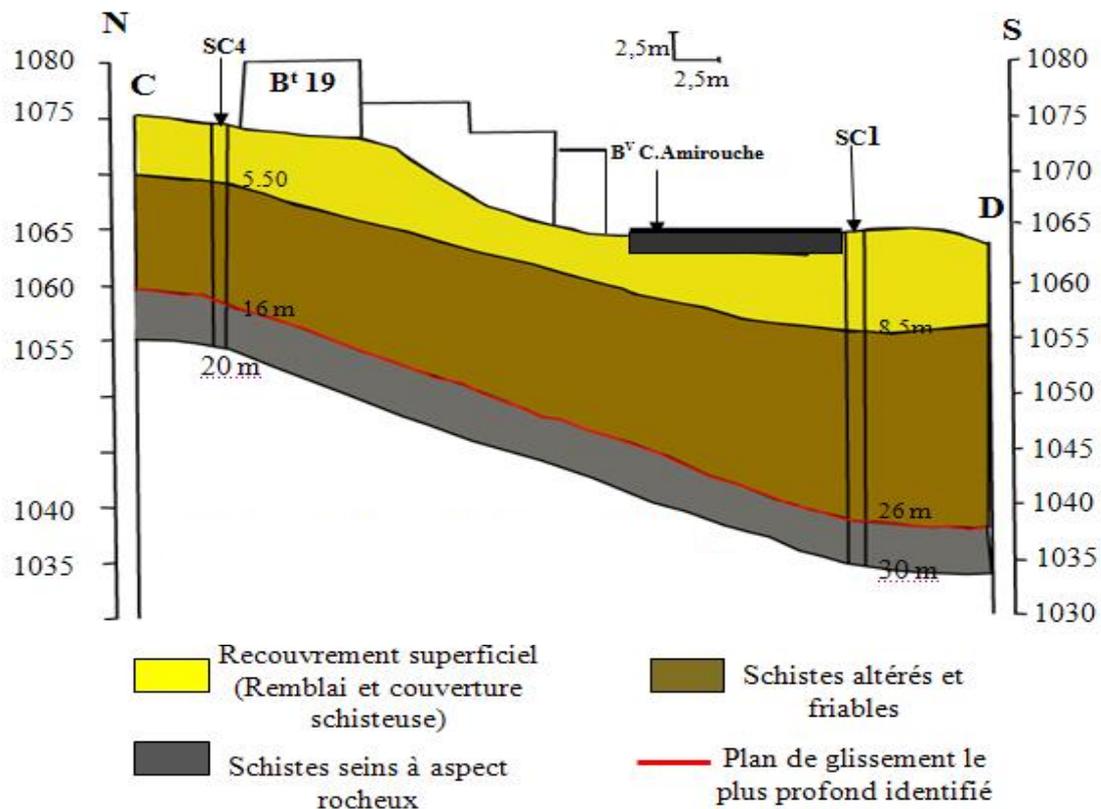


Figure (18) : Coupe géologique dans la direction du glissement [29].

1.2. Les surfaces définies à partir des investigations du groupement des trois laboratoires

Trois hypothèses de surfaces de glissements sont émises :

A. Un glissement superficiel

Il est d'une épaisseur d'environ 10 [m], ce mouvement mobilise la couche de remblai et d'éboulis superficielle et une tranche de faible épaisseur de schiste généralement altéré et déstructuré. Il affecte une partie de la ville (la limite amont se trouve au boulevard colonel Amirouche) et une parie très réduite du versant [27].

B. Un glissement semi-profond

Il est d'une épaisseur de 15 à 20 [m], il mobilise une partie de la roche schisteuse. Ce mouvement affecte une partie de la ville d'Ain El Hammam (la partie instable) et une grande partie du versant [27].

C. Un glissement profond

Il est d'une épaisseur de 20 à 45 [m], il affecte une partie du substratum schisteux fissurée sur toute la hauteur du versant instable. La masse instable a été déjà sollicitée par des mouvements de terrain plus anciens. Le mouvement affecte toute la partie instable de la ville et du versant [27].

1.3. Résultats des coupes géologiques

A partir des résultats des sondages carottés réalisés à la ville d'Ain El Hammam, trois coupes géologiques ont été réalisées.

A cause de l'absence de sondages et de toutes informations géologiques dans le versant, nous permettant de réaliser une coupe longitudinale, afin d'évaluer la position des surfaces de rupture probables, et vu l'implantation de tous les sondages dans la crête urbanisée du versant ; seules des coupes dans la direction perpendiculaire aux mouvements ont été réalisées.

Afin d'émettre des hypothèses de surfaces de rupture possibles, on se sert :

- Des résultats des sondages carottés (joints en annexe);
- Des trois coupes géologiques réalisées à partir des sondages ;

- Du levé topographique de la région ;
- Des résultats des analyses mécaniques et physiques réalisées sur des échantillons intacts et remaniés par le laboratoire GEOMICA (voir annexe) ;
- des ruptures des inclinomètres (dans le sondage SC02 à 17 [m] et dans le sondage SC04 à 16 [m]) et des ruptures des piézomètres (à une profondeur de 26 [m] dans le sondage SC01 et de 11 [m] dans le sondage SC05).

Trois hypothèses de glissements de terrain sont alors émises :

a. **Un glissement superficiel**

Ce mouvement affecte la couche superficielle de remblais et d'éboulis. Il se produit à l'interface entre la couverture superficielle (constituée de remblais et d'éboulis) et le schiste altéré et déstructuré. La surface de rupture se trouve à une profondeur d'environ 10 [m]. Ce mouvement affecte une partie de la ville (la zone instable) et probablement une faible partie du versant.

b. **Un glissement semi-profond**

Cette instabilité est favorisée par l'altération et les caractéristiques médiocres du sol caractérisé par un état peu plastique et peu à moyennement consolidé. Le mouvement affecte la couche de schiste altérée et déstructurée et mobilise une couche de sol sur une profondeur de 11 à 20 [m] sur une grande partie du versant.

c. **Un glissement profond**

Ce mouvement mobilise tout le versant sur une profondeur de 16 à 45 [m]. Il se développe à l'interface entre la couche de schiste altérée et oxydée, avec des passages limoneux et argileux, et la roche schisteuse en place. En effet, l'état peu plastique de la couche de schiste altérée et la structure feuilletée et lisse du schiste favorise l'apparition d'un mouvement de terrain à l'interface de ces deux formations.

La présence de glissements de terrain plus profonds, se produisant à la faveur des niveaux remaniés profonds, au-delà du passage rocheux défini comme étant un substratum dans les différentes études réalisées, n'est pas exclue.

En fait, l'interprétation des résultats des sondages réalisés dans la ville d'Ain El Hammam, nous conduit à soupçonner la présence de niveaux altérés et remaniés en profondeur (on remarque une alternance de niveaux remaniés et altérés de faible résistance et de niveaux rocheux compacts et résistants parfois d'épaisseur importante).

D'après les résultats de l'étude du groupement des trois laboratoires (ANTEA-TTI-HYDROENVIRONNEMENT), l'hypothèse d'un mouvement très profond entraînant tout le versant est très probable.

Les résultats des mesures inclinométriques effectuées par le laboratoire LCTP, dans le cadre de l'étude de la stabilité de la ville d'Ain El Hammam (du côté de l'hôpital d'Ain El Hammam, une zone située à quelques kilomètres de la zone instable), donnent des déplacements de l'ordre de quelques centimètres (environ deux centimètres en 54 jours). La présence de ce mouvement confirme l'hypothèse d'existence d'un mouvement de terrain impliquant une partie de la montagne (la partie sur laquelle est construite la ville d'Ain El Hammam).

Ce mouvement est probablement très profond car les signes d'instabilité ne sont pas apparents malgré l'ampleur du mouvement qui atteint 1,91 [cm] en 54 jours (les résultats des mesures sont joints en annexe).

Le mouvement est probablement en phase de démarrage ou de réactivation, il est caractérisé par des déplacements lents de faible ampleur, qui peuvent être accélérés par une variation brusque, plus au moins importante, de l'un des facteurs influents.

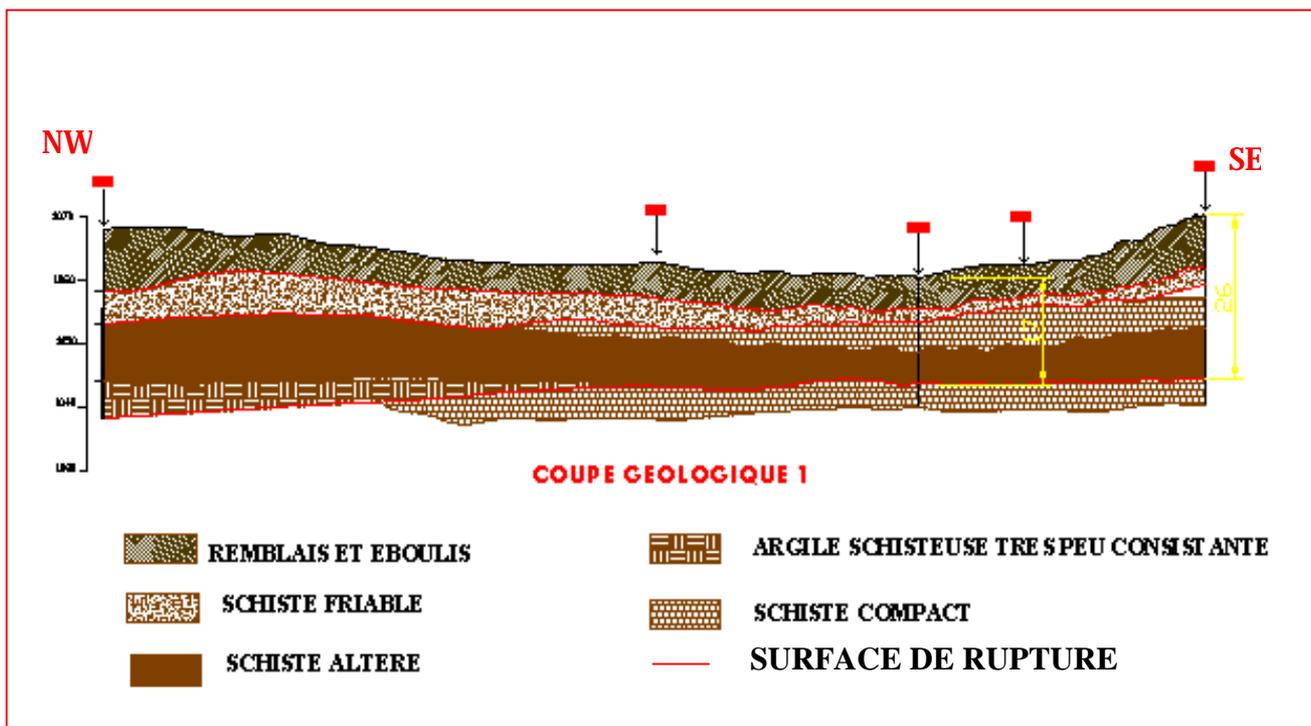


Figure (19) : coupe géologique réalisée à partir des sondages (SC01,SC02,SC03).

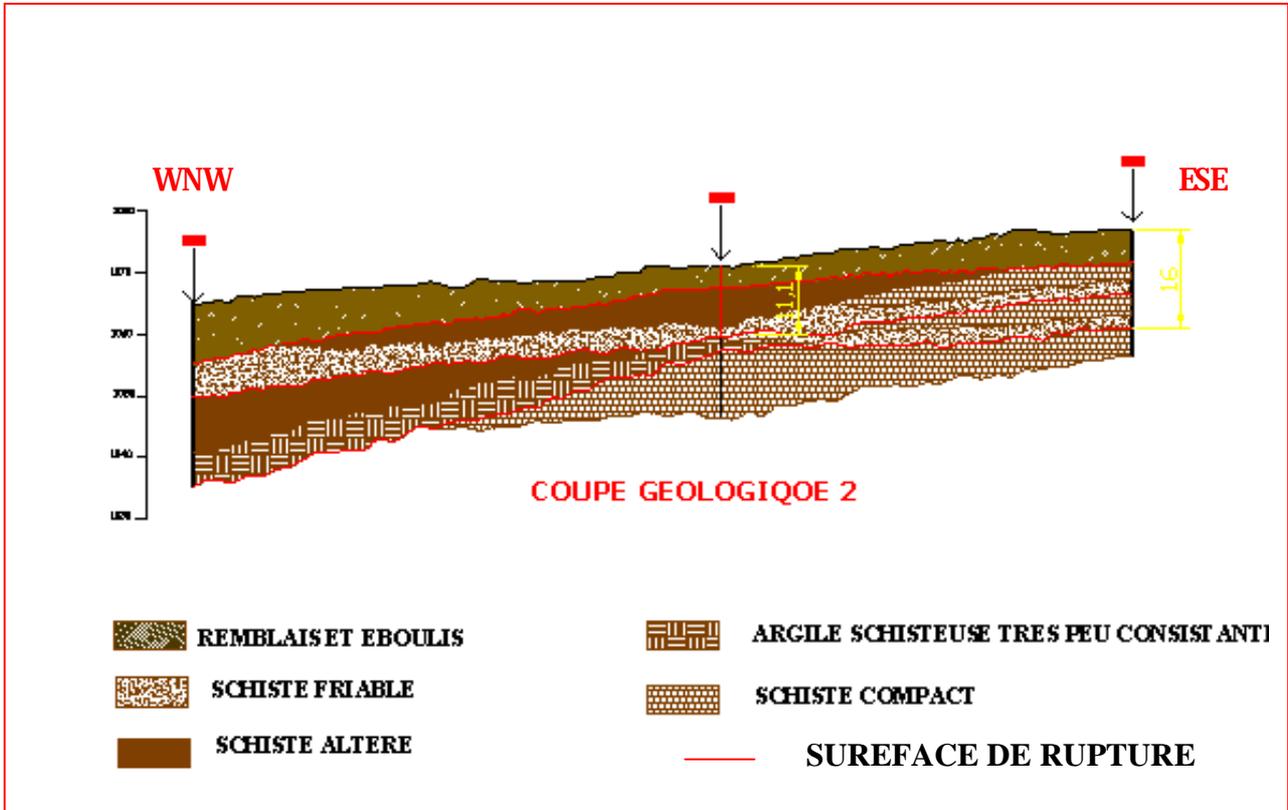


Figure (20) : coupe géologique réalisée à partir des sondages (SC03,SC04,SC05).

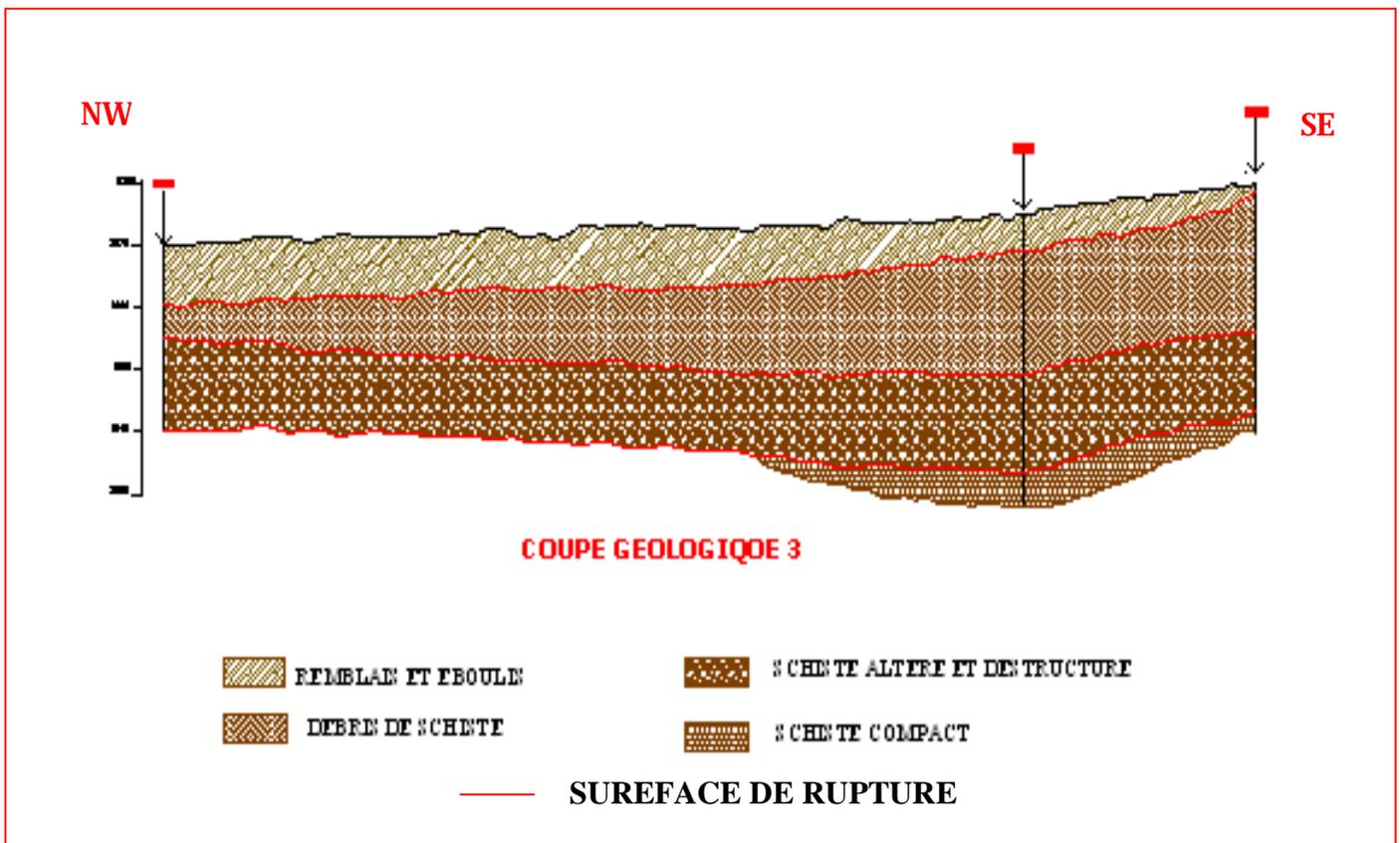


Figure (21) : coupe géologique réalisée à partir des sondages (SC03,Si02,Si03).

2. La surface instable

✓ Surface instable définie par le groupement

Une surface instable de 10 [ha] a été définie par le groupement « ANTEA-TTI-HYDROENVIRONNEMENT » (voir la figure ci-dessous).

Les dimensions de cette surface sont :

- ◆ Longueur maximale entre la couronne et le pied = 500[m] ;
- ◆ Largeur maximale au niveau du boulevard Amirouche = 400[m] ;
- ◆ Largeur au niveau de la cote 1000[m] = 300[m] ;
- ◆ Largeur au niveau de la cote 950[m] = 260[m] ;
- ◆ Dénivellation maximale = 250 [m].

Remarque

La surface instable définie par le groupement, « ANTEA-TTI-HYDROENVIRONNEMENT », ne prend pas en considération le cisaillement observé dans le sondage inclinométrique SC04.

✓ Surface instable définie dans le cadre du projet

Une surface instable d'environ 15 [Ha] a été déterminée. L'instabilité affecte une partie de la ville d'Ain El Hammam et le versant situé en aval de cette partie. Cette surface a été définie à partir :

- des résultats des mesures inclinométriques ;
- des signes de mouvement déterminés sur le site ;
- d'une photographie aérienne ;
- du levé topographique de la région ;

Afin de définir la zone instable un système d'information géographique (SIG) a été réalisé. A partir de ce système, la surface et le périmètre affectés par le mouvement de terrain ont été déterminés (la surface instable est d'environ 15,70 [Ha] et le périmètre d'environ 1,40 [Km])

La surface instable ne cesse pas d'augmenter depuis l'apparition du mouvement en 1969. En fait, une instabilité, affectant la zone du marché et les bâtiments environnants, a été définie en 1969, ensuite l'instabilité atteint le versant et le boulevard colonel Amirouche, et actuellement elle affecte tous le versant et une partie importante de la ville.

Le mouvement évolue dans toutes les directions (vers la partie stable de la ville et vers le versant...), et cette évolution est causée par les suppressions de butée

engendrées par le glissement de terrain. Une extension des mouvements, vers les zones définies actuellement comme étant stables, n'est pas exclue.

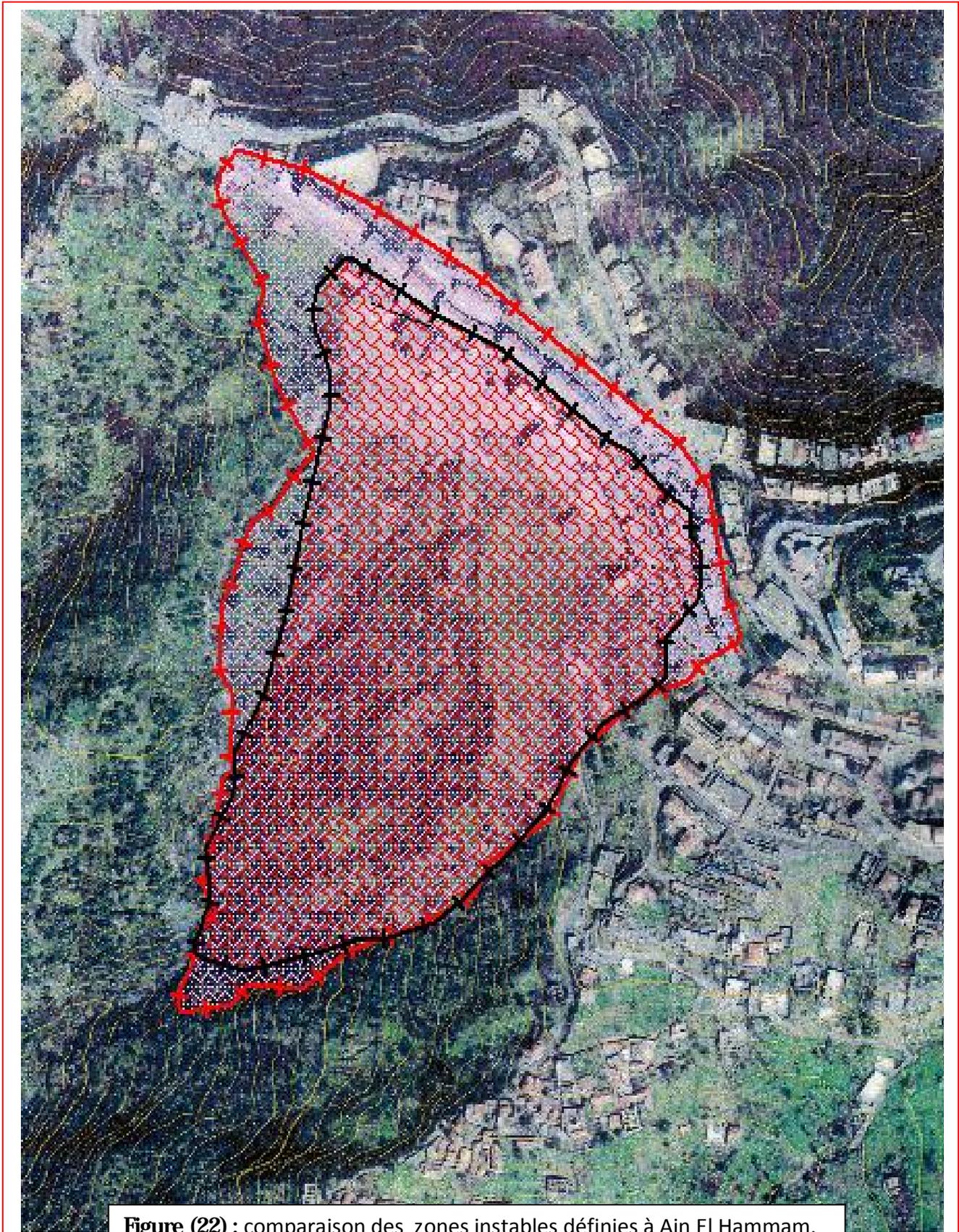


Figure (22) : comparaison des zones instables définies à Ain El Hammam.

Les dimensions du glissement sont :

- ◆ longueur de la couronne au niveau du Boulevard Colonel Amirouche= 545 [m]
- ◆ largeur au niveau de la cote 1000 = 327 [m]
- ◆ largeur au niveau de la cote 950 = 218 [m]
- ◆ longueur maximale entre la couronne et le pied = 566 [m]
- ◆ cote de la couronne = 1095
- ◆ cote du pied = 830
- ◆ dénivellation entre la couronne et le pied = 265 [m]

Une rupture (ligne d'arrachement d'une longueur d'environ 227 [m]) est localisée dans la partie amont du versant, cette rupture peut décrire une nouvelle instabilité affectant le versant. La suppression de butée engendrée par ce mouvement a déstabilisé les immeubles situés en amont, des déplacements ont été constatés dans cette zone, alors que la partie amont de la ville, est plus au moins stable. Ce qui démontre que cette instabilité est indépendante du glissement de terrain étudié, c'est une nouvelle instabilité apparue dans le versant, qui peut s'étendre jusqu'à la ville. La position de cette ligne est définie dans un système d'information géographique.

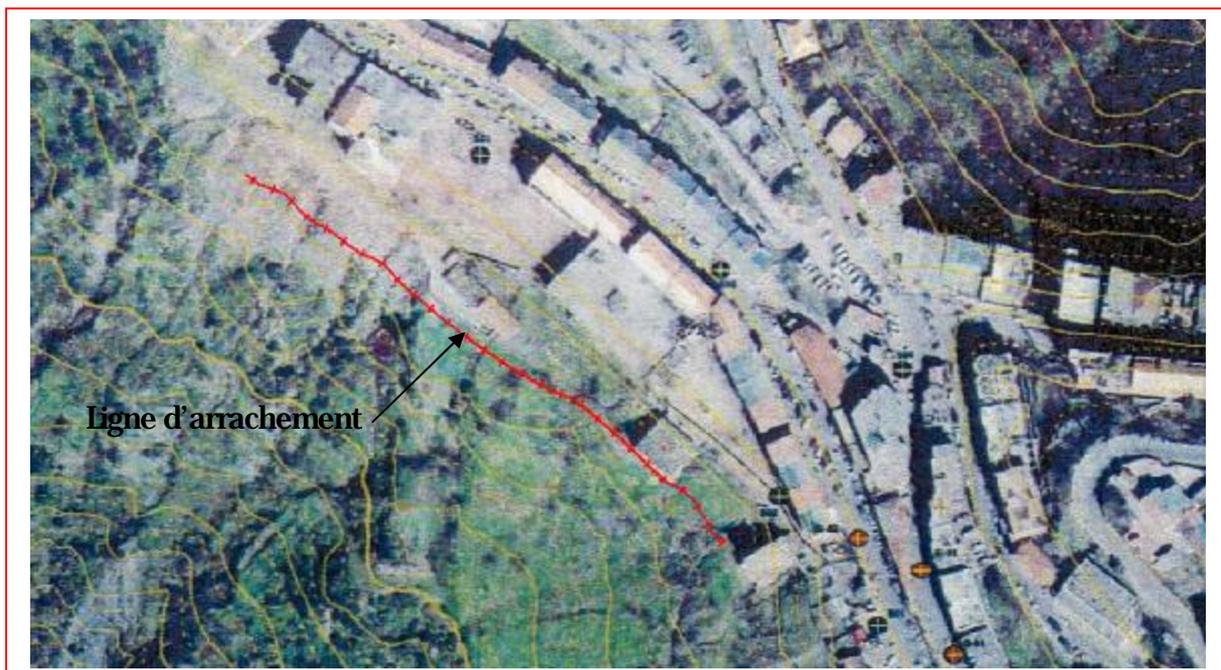


Figure (23) : position de la ligne d'arrachement.

Conclusion

L'analyse des résultats des sondages carottés a montré l'existence de sols de faible résistance, remaniés et altérés, en profondeur ainsi qu'une couche superficielle, de 1,70 à 9,70[m] d'épaisseur ainsi que de remblais et d'éboulis de très faible résistance (voir coupes des sondages). En outre, la direction du pendage des couches et des plans de schistosité se trouve dans le sens de la pente (voir les coupes géologiques), ce qui favorise les instabilités. De plus, l'existence d'une surcharge importante de la crête a modifiée considérablement la géologie et les conditions de stabilité du versant.

Le régime climatique de la région est caractérisé par de fortes précipitations qui s'étalent sur une période de 5 à 6 mois. L'hydrologie de ce site est caractérisée par des cours d'eau torrentiels et semi-permanent et l'existence de plusieurs sources.

Tous ces facteurs favorisent l'activation et la réactivation de mouvements de terrain, et contribuent considérablement au déclenchement du glissement de terrain d'Ain El Hammam.

Il est souhaitable d'approfondir cette étude afin de mieux connaître l'influence de chacun de ces paramètres et leurs influences sur les caractéristiques mécaniques particulièrement la résistance au cisaillement des formations géologiques présentes sur le site.

Trois hypothèses de glissements sont émises (un glissement superficiel, un glissement semi-profond et un glissement profond), ces surfaces doivent être confirmées par des études complémentaires, cependant, la présence d'un glissement plus profond n'est pas exclu.

Une surveillance de l'évolution de ce mouvement et des paramètres susceptibles de le provoquer est conseillée afin de :

- Mieux cerner le phénomène et ses conséquences ;
- Déterminer l'étendue du mouvement et la surface instable ;
- Se prononcer sur la stabilité du reste de la montagne ;
- Définir la position et la forme exactes de la surface de glissement ;
- Pouvoir choisir un système de confortement adapté à cette instabilité ;
- Evaluer le potentiel de risque et le degré de sécurité ;

Chapitre II

Analyse de l'évolution dans le temps et des conséquences du glissement.

Introduction

Le glissement de terrain qui affecte la ville d'Ain El Hammam, est très complexe, il est caractérisé par une structure très complexe résultant de l'emboîtement et la superposition de plusieurs glissements, constituant une instabilité globale du versant.

Le mouvement n'a pas cessé d'évoluer, depuis son amorce en 1969, aussi bien en profondeur que latéralement, en affectant des masses et des volumes de plus en plus importants et en entraînant des désordres et des coûts très lourds.

Afin d'évaluer la dynamique de ce mouvement très complexe, malgré le manque d'informations exploitables auquel nous sommes confronté, nous tenterons d'exploiter :

- ◆ des photos prises à des dates différentes et des observations de terrain ;
- ◆ deux mesures inclinométriques réalisées les 15 et 28 avril 2009 dans les sondages SC02 et SC04;
- ◆ des résultats d'analyse d'images radar, donnant la moyenne du déplacement annuel de quelques points, s'étalant sur deux périodes [(1995 à 2000) et (janvier 2004 à février 2009)].

I- Evolution du mouvement

Le glissement de terrain qui affecte la ville d'Ain El Hammam, depuis son amorce en décembre 1969, n'a pas cessé d'évoluer et d'affecter des masses et des volumes de plus en plus importants. Pour mieux cerner le mouvement quatre phases (périodes) sont mises en évidence.

Période (1969 - 2005)

Un mouvement de terrain s'est déclenché, suite à de fortes pluies, en décembre 1969. Le mouvement de terrain affectait, à cette époque, uniquement la couche de remblais et d'éboulis et le couvert argileux schisteux altéré. La profondeur de la surface de glissement définie par le laboratoire Ex LNTPB était faible (inférieure à 10 [m]). Il s'agissait, en cette période, d'un glissement superficiel affectant le remblai et la couche altérée du substratum schisteux.

La vitesse du mouvement pendant cette période était faible et les déplacements très lents (de l'ordre de quelques centimètres par an). Le mouvement affectait uniquement la zone du marché et les bâtiments environnants.

La longueur de la zone instable était d'environ 100 [m] et sa largeur d'environ 70 à 90 [m]. La dénivellation de cette zone était d'environ 20 [m] (mesurée entre la tête et le pied du glissement).

Les désordres observés sur site étaient d'ampleur moyenne (à l'exception des désordres observés lors de l'amorce du mouvement en 1969, où des ouvertures des joints de dilatation, des fissures dans quelques immeubles, ondulation des routes... ont été signalés).

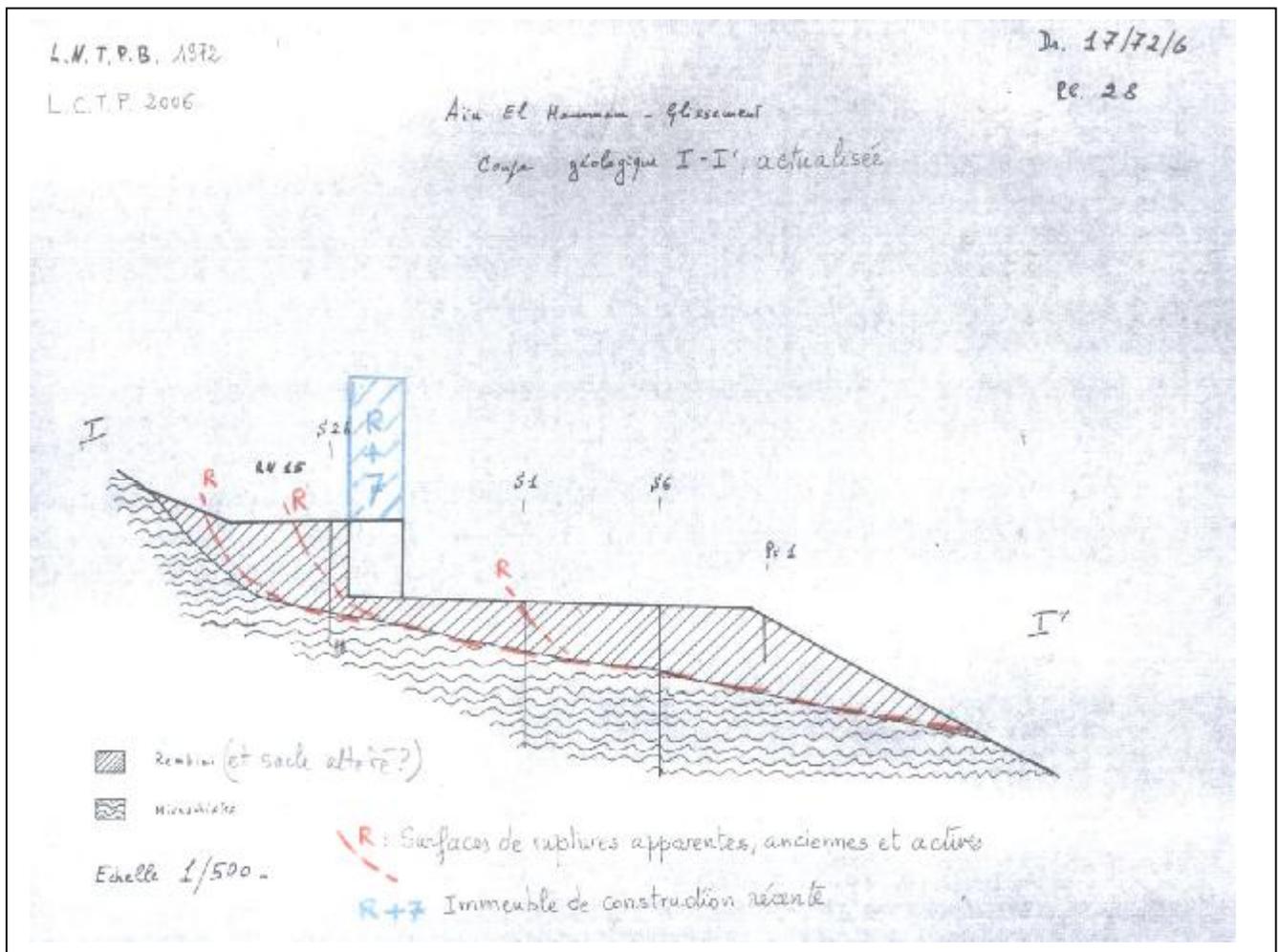


Figure (24) : Coupe géologique ancienne actualisée en 2006 du glissement d'Ain El Hammam [30].

Période (2006 - 2008)

De fortes pluies orageuses ont déstabilisé le versant. Des désordres ont été alors observés dans plusieurs bâtiments du boulevard Colonel Amirouche et sur les routes, en plus d'un léger affaissement de la route descendante vers le Sud-Est et d'une fissure du gabionnage qui soutient le talus au droit de cette route (la fissure atteint la ville) qui ont été observés.

L'instabilité observée dans le versant (route descendante au Sud-Est et le gabionnage) démontre que le mouvement atteint celui-ci et prend une autre ampleur (avant cette date aucun mouvement de terrain n'a été signalé dans cette zone).

Le mouvement a évolué latéralement en affectant une surface plus importante. En plus de cette évolution latérale, une évolution en profondeur n'est pas exclue. Cette évolution, est peut être due, à l'altération progressive du substratum schisteux favorisée par les infiltrations des eaux de précipitations et des eaux usées (suppression du système de drainage par l'urbanisation intense de la ville et la rupture de plusieurs réseaux hydrauliques).

Les déplacements, observés en surface, pendant cette période étaient relativement lents (centimétriques à décimétriques). L'absence de repères topographiques et des mesures inclinométriques, rend impossible, l'évaluation exacte de la dynamique d'évolution du mouvement de terrain d'Ain El Hammam qui a pris une nouvelle forme en affectant le versant et des zones initialement stables de la ville d'Ain El Hammam.



Figure (25) : fissure dans le gabionnage [29].



Figure (26) : affaissement de la route [29].

- Une rupture du sol, à la limite avale (coté sud) de la maison incluant une menuiserie (la fissure était assez profonde avec une ouverture de quelques centimètres (écartement max = 30 [cm]) et une longueur de quelques dizaines de mètres), a été aussi observée. Cette fissure (fissure de traction) est accompagnée par un arrachement du terrain, d'ordre centimétrique à décimétrique selon les endroits. La rupture et le déplacement (vers le sud) du terrain indiquent l'apparition d'une nouvelle instabilité affectant le versant.



Figure (27) : la fissure apparue au sud de l'immeuble incluant une menuiserie [29].

Constats sur quelques immeubles

Immeuble APC/CNEP (n° 14 - 15)

Cet immeuble a été réalisé en 1990. Des fissures et des décalages résultant du mouvement de terrain étaient apparents. En fait, l'immeuble a subi un double mouvement dans les deux sens (vertical et horizontal) :

- Un mouvement vers le sud (sens du glissement de terrain), ce mouvement est très marqué (voir les photos).
- Un mouvement vers l'Est, ce mouvement résulte d'un tassement différentiel de l'immeuble (mouvement moins marqué).

La route nationale N° 15 a été aussi affectée par le mouvement de terrain. En effet, des fissures et des affaissements ont été observés.

Tableau (7) : mesure de déplacements coté Nord de l'immeuble [29].

Date de la mesure	Déplacement max en sens vertical	Déplacement max en sens horizontal (vers le sud-ouest)
Septembre 2006	2 [cm]	7 [cm]

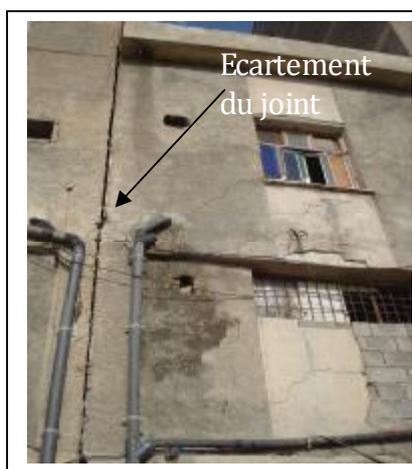


Figure (28) : Coté sud de l'immeuble APC/CNEP [31]

● Immeuble n° 19

Des signes d'affaissements et des fissures ont été observés sur la façade Est de cet immeuble

Tableau (8) : les mesures des déplacements à l'entrée de l'immeuble [29].

Date de la mesure	Déplacement max en sens vertical	Déplacement max en sens horizontal (vers le sud-ouest)
23/09/2006	5cm	7cm



Figure (29) : Dégradation et affaissement du dallage du trottoir et fissures dans les cloisons de l'immeuble n° 19 [31].

🔴 Construction incluant une menuiserie

Il s'agit d'une construction privée située en en contre bas de la zone du marché. Cette battisse a subit des désordres considérables.

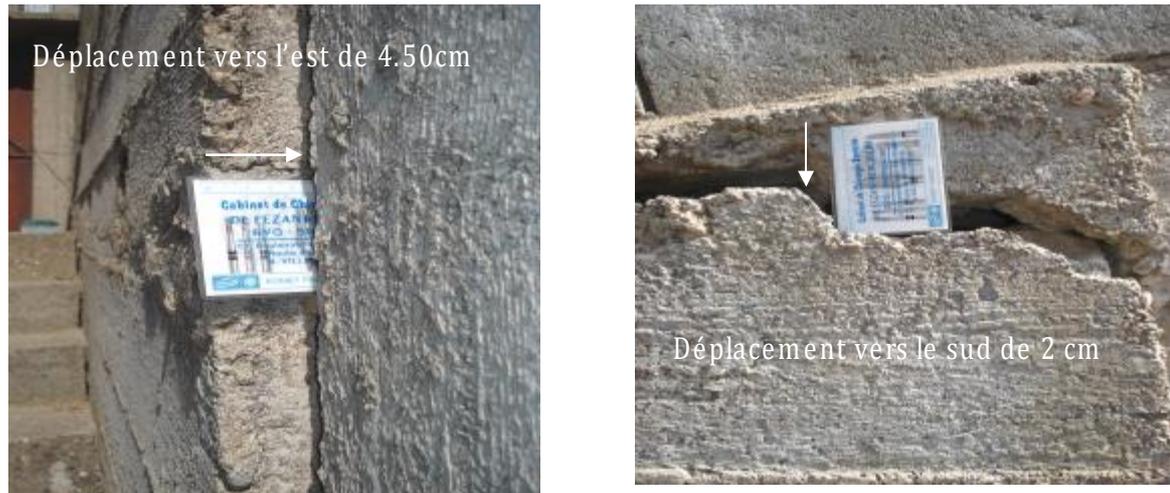


Figure (30) : Fissures constatés sur le mur de soutènement de la battisse [31].

🔴 Constructions anciennes (construction Timsiline)

Des fissures importantes ont été observées sur ces constructions (voir la figure ci-dessous).



Figure (31) : état complètement dégradé des constructions Timsiline [31].

 **Zone du marché**

Des fissures dans le mur de soutènement et un léger affaissement ont été observés.



Figure (32) : fissures dans le mur de soutènement [31].



Figure (33) : affaissement de la zone du marché [31].

Période (novembre 2008 - avril 2009)

L'instabilité du versant pendant cette période était bien marquée, avec des déplacements relativement rapides (période du paroxysme ou de rupture, mars et avril 2009). Des déplacements importants de la partie orientale ont été observés en mars et avril (déplacement horizontal= 1 à quelques mètres, déplacement vertical= 1,5 à 3 mètres) [27].

Afin de mettre en évidence la forme et la profondeur de la surface de glissement, deux inclinomètres ont été installés dans les sondages carottés SC02 et SC04.

Deux mesures ont été effectuées (les 15 et 28 Avril 2009). Les résultats de ces mesures sont présentés dans les figures jointes en annexe et récapitulés dans les deux tableaux ci-dessous. Les résultats de ces mesures démontrent l'intensité forte du mouvement.

Tableau (9) : résultats des mesures inclinométriques traités (SC02) [29].

Sondage Inclinométrique	Lecture	Date De Lecture	Direction Principale A (coté sud)	Direction Secondaire B (Cote est)
SC2 Coté B^t 14 et 15	L0 (Mesure d'étalonnage)	07/04/09		
	L1	15/04/09	Déplacement maximal = 2.2 cm	Déplacement maximal = 0.32 cm
	L2	28/04/09	Déplacement maximal = 7 cm	Déplacement maximal = 1.72cm

Tableau (10) : résultats des mesures inclinométriques traités (SC04) [29].

Sondage Inclinométrique	Lecture	Date De Lecture	Direction principale (coté sud)	Direction secondaire (Cote est)
SC4 Coté Bt19	L0	15/04/09		
	L1	21/04/09	-	1.10 cm
	L2	28/04/09	Déplacement maximal = 7.7 cm	-

La profondeur du substratum définie par les cinq sondages réalisés est largement supérieure à celle définie en 1969. Ce qui confirme l'hypothèse de l'altération progressive du substratum et explique l'évolution importante, en profondeur et latérale, du mouvement de terrain. Cette altération est probablement due à l'effet des eaux infiltrées dans les diaclases du schiste et aux cycles gel- dégel aux quels la roche est soumise (le climat de la région est caractérisé par un hiver froid et humide (une couverture neigeuse importante) et un été sec et chaud).

Une aggravation des désordres observés, dans les immeubles n° 14, 15 et 19, la route nationale n° 15, la zone du marché...a été constatée. Les immeubles n° 14, 15 et 19 et une construction ancienne ont été évacués, suite au danger signalé (voir les figures ci-dessous).

Les ouvrages les plus touchées par le mouvement de terrain pendant cette période étaient :

● Les immeubles APC (immeubles 14 et 15)



Figure (34) : état complètement instable de l'immeuble [29].

● Immeuble n° 19



Figure (35) : état de dégradation de l'immeuble n° 19.

● Immeuble incluant une menuiserie



Figure (36) : état de dégradation de la maison individuelle.

● **Constructions anciennes**



Figure (37) : état de la construction Timsiline.

● **La zone du marché**



Figure (38) : affaissement de la zone du marché [29].

Période (mai 2009 à ce jour)

En mai et juin 2009 les immeubles n° 14, 15 et 19 et les constructions anciennes, vu le danger qu'elles constituait, ont été démolis. Depuis, le mouvement a ralenti et les signes d'instabilité ne sont plus très importants en surface.

Des déplacements (ouverture dans les joints de dilatation) ont été enregistrés dans les immeubles APC les résultats de ces mesures sont récapitulés dans le tableau suivant :



Figure (39) : immeuble APC affecté par le mouvement

Tableau (11) : les déplacements mesurés dans l'immeuble APC

Étage	Date de mesure	Déplacements dans sens longitudinal		Déplacements dans le sens transversal
		Au niveau du plancher	Au niveau des poteaux	
Premier étage	13-07-2009	8,5 [cm]	15,5 [cm]	-
	15-06-2010	10 [cm]	18,5 [cm]	7 [cm]
Deuxième étage	13-07-2009	10 [cm]	17 [cm]	-
	15-06-2010	12,5 [cm]	20 [cm]	-

Au niveau de l'escarpement, observé à la limite sud de la maison individuelle abritant une menuiserie, des déplacements et des désordres importants sont toujours observés. La maison a subi des désordres importants dans la structure et la maçonnerie et des

fissures sont visibles dans le sol le long de l'ouvrages et s'étendent même au-delà de celui-ci. L'ouverture de la fissure, mesurée en Avril 2010, est d'environ 20 [cm]. En fait, une extension progressive des désordres vers la ville et latéralement est très probable.

II- Comparaison de quelques photos prises à des dates différentes

Afin de mieux comprendre la dynamique du glissement d'Ain El Hammam des photos prises à des dates différentes seront comparées

- Boulevard colonel Amirouche



Septembre 2006

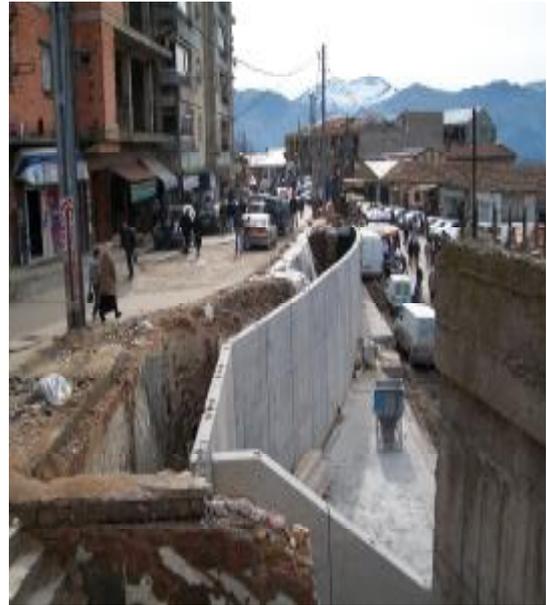


Avril 2009

- Rue Bounouar



Septembre 2006



Avril 2009

- Immeuble APC/CNEP (n° 14 et 15)



Septembre 2006



Avril 2009

- immeuble n° 19



septembre 2006



Avril 2009

- Zone du marché



Septembre 2006



Avril 2009



Janvier 2010

- Zone du marché



Septembre 2006



Avril 2009

- Le gabionnage localisé à la limite Sud Est du site



Septembre 2006



Avril 2009



Avril 2010

- Construction Timsiline



Septembre 2006



2008

- Construction privée incluant une menuiserie



Janvier 2010



Avril 2010



Janvier 2010



Avril 2010

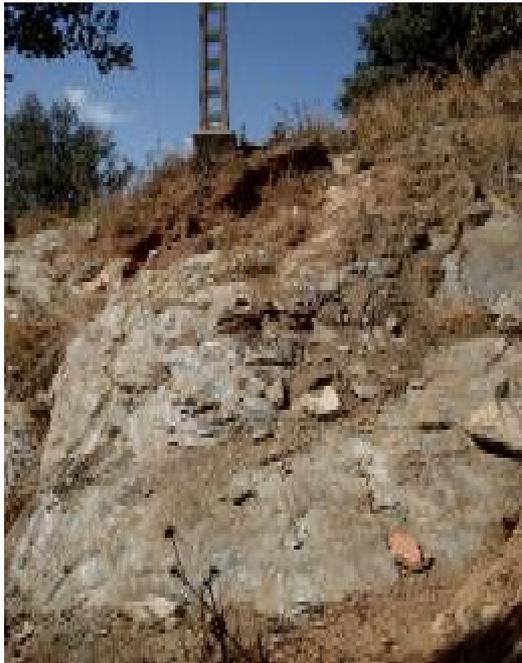


Septembre 2006



Avril 2009

- Limite ouest du glissement de terrain



Septembre 2006



Janvier 2010

- Rupture localisée dans le versant



Septembre 2006



Avril 2009



Janvier 2010



Avril 2010

III- Les mesures des déplacements annuels (à partir d'images radar)

Des déplacements mesurés pendant deux périodes (période 1995-2000 et période 2004-2009), à partir d'images radar à l'aide du logiciel SPN (une étude réalisée par le groupement « ANTEA-TTI-HYDROENVIRONNEMENT »), nous renseignent sur l'étendu et l'ampleur du mouvement pendant ces périodes.

La vitesse moyenne des déplacements annuels est donnée par une échelle de couleurs allant du bleu au rouge (voir la figure ci-dessous).

A partir de ces figures, nous avons constaté plusieurs points instables détectés dans la commune d'Ain El Hammam aussi bien dans les zones urbaines que dans les versants. En effet, la commune d'Ain El Hammam montre dans l'ensemble un potentiel de risque de mouvement de terrain.

Les images, données dans le rapport préliminaire du groupement, ont été scannées, calées et véciorielisées.

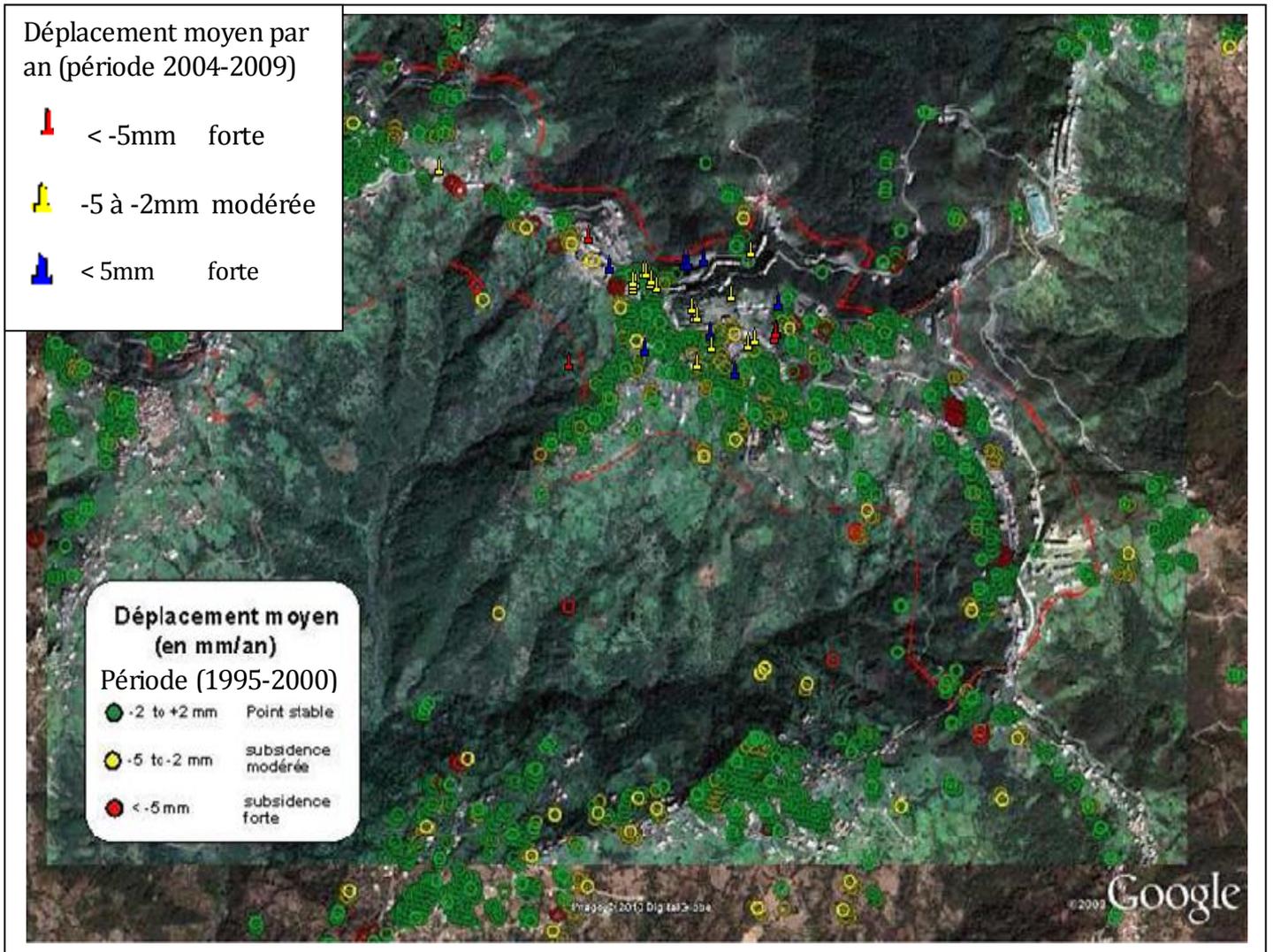
Le résultat de la superposition des déplacements, mesurés pendant les deux périodes, nous permet de mieux comprendre l'évolution du glissement et sont intensité.

En fait, nous avons constaté un passage de certain point de l'état stable (couleur verte) vers l'état instable (couleurs jaune, rouge ou bleu) et de l'état de subsidence moyenne à l'état de forte subsidence. Cette variation démontre que le mouvement a évolué dans le temps et l'ampleur de celui-ci devient de plus en plus importante.

Un passage d'un taux de déplacement négatif (points jaunes, déplacements enregistrés entre 1995 et 2000) vers un taux de déplacement positif (points bleus, déplacements enregistrés entre 2004 et 2009), est aussi enregistré. Ceci peut être expliqué par l'effet d'une poussée latérale engendré par la rupture (le glissement de terrain).

L'étude de l'évolution du mouvement de certains points, situés aux alentours de la zone instable (pendant la période de janvier 2004 à février 2009), nous permet de mettre en évidence des phases de calme et d'accélération.

En effet, deux phases d'accélération ont été enregistrées (en 2005 et 2007) avec des déplacements atteignant 1[cm] en quelques mois (4 à 5 mois) en certains points (voir les figures ci-dessous).



IV- Etude et interprétation du mouvement de quelques points entre janvier 2004 et février 2009

B 200_286_103_E (subsidence forte)

Quatre phases sont définies afin d'étudier la dynamique du mouvement de ce point :

- **La première phase** : cette phase est caractérisée par des déplacements très lents de l'ordre de 1 à 2 [mm] (période de calme).
- **La deuxième phase** : elle est caractérisée par une accélération du mouvement (entre décembre 2004 et mai 2005) avec un déplacement d'environ 8 [mm] pendant cette période (5 mois).

- **La troisième phase** : des déplacements lents caractérisent le mouvement du point pendant cette période, avec un déplacement maximal de 5 [mm] en 16 mois (entre mai 2005 et octobre 2006).
- **La quatrième phase** : une accélération du mouvement est observée, avec un déplacement d'environ 19 [mm] en une année (entre octobre 2006 et octobre 2008).

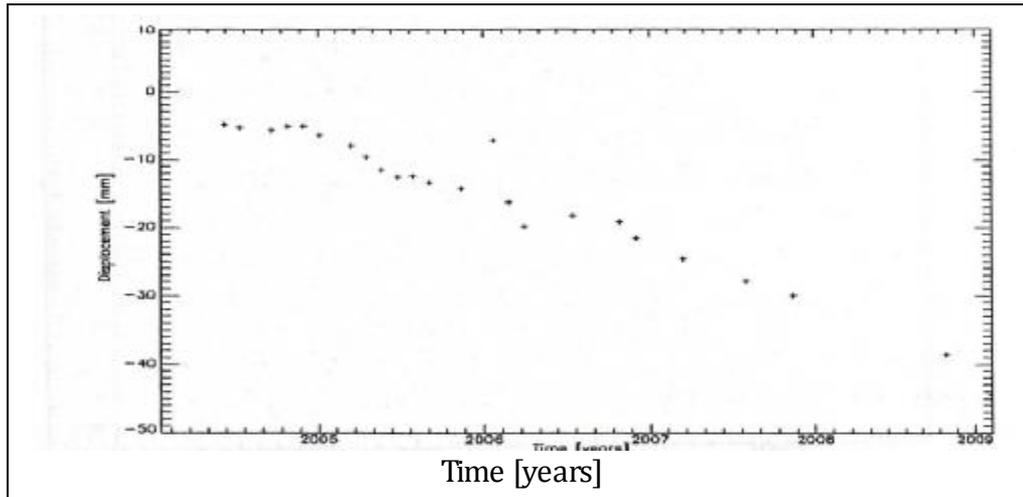


Figure (41) : B 200_286_103_E (subsidence forte) [27].

B 199_311_096_E (subsidence forte)

Cinq phases sont mises en évidence afin de mieux comprendre le mouvement de ce point :

- **La première phase** : le mouvement est relativement lent pendant cette phase. Un déplacement d'environ 4 [mm] a été enregistré entre janvier 2004 et avril 2005.
- **La deuxième phase** : une accélération du mouvement (entre avril 2005 et novembre 2005) avec un déplacement d'environ 12 [mm] en une période de 7 mois.
- **La troisième phase** : des déplacements très lents sont observés pendant cette période (période de calme). Le déplacement maximal enregistré est d'environ 2 [mm] en une année (entre novembre 2005 et novembre 2006).
- **La quatrième phase** : une accélération du mouvement est observée, avec un déplacement d'environ 11 [mm] en une période de 8 mois (entre novembre 2006 et juillet 2007).
- **La cinquième phase** : un ralentissement du mouvement est observé pendant cette période, avec un déplacement moyen d'environ 2 [mm] entre juillet 2007 et novembre 2008.

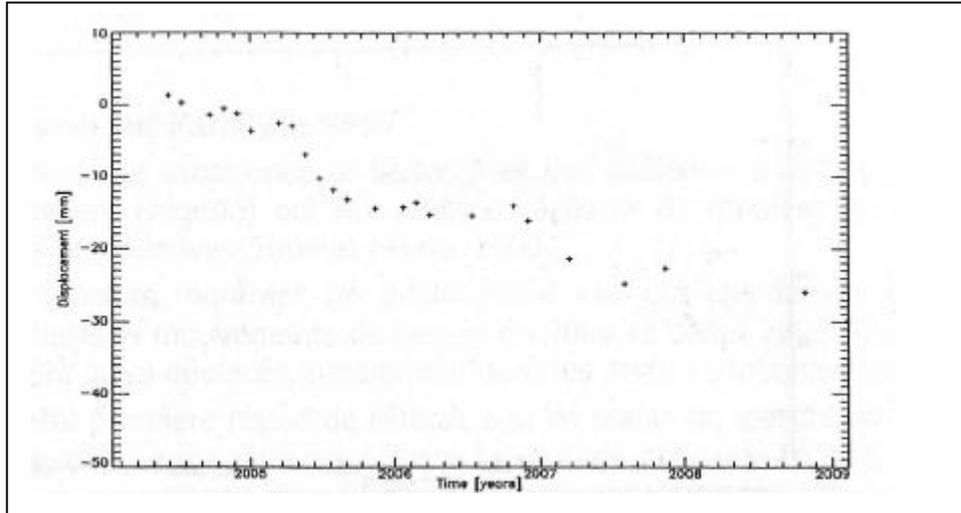


Figure (42) : B 199_311_096_E (subsidence forte) [27].

B 160_303_100_E (subsidence forte)

Pour ce point aussi quatre phases sont observées :

- **La première phase** : un déplacement très faible dans le sens positif est observé pendant cette période (soulèvement du point). Le déplacement moyen mesuré pour cette phase est d'environ 2 [mm] (entre janvier et décembre 2004).
- **La deuxième phase** : une accélération et un changement de la direction du mouvement sont observés. En fait, dans la première phase du mouvement, un soulèvement, probablement dû à une poussée importante engendrée par le mouvement de terrain à cet endroit, qui tend à le soulever (entre décembre 2004 et août 2005).
- **La troisième phase** : est caractérisée par une fluctuation du mouvement, qui peut être causée par une poussée importante des terres en cet endroit. Cette poussée est probablement engendrée par le glissement de terrain (période correspondant à l'apparition de nouveaux désordres liés au mouvement).
- **La quatrième phase** : une accélération du mouvement caractérise cette phase du glissement de terrain avec un déplacement moyen d'environ 21 [mm] entre août 2006 et novembre 2008 (environ 15 mois).

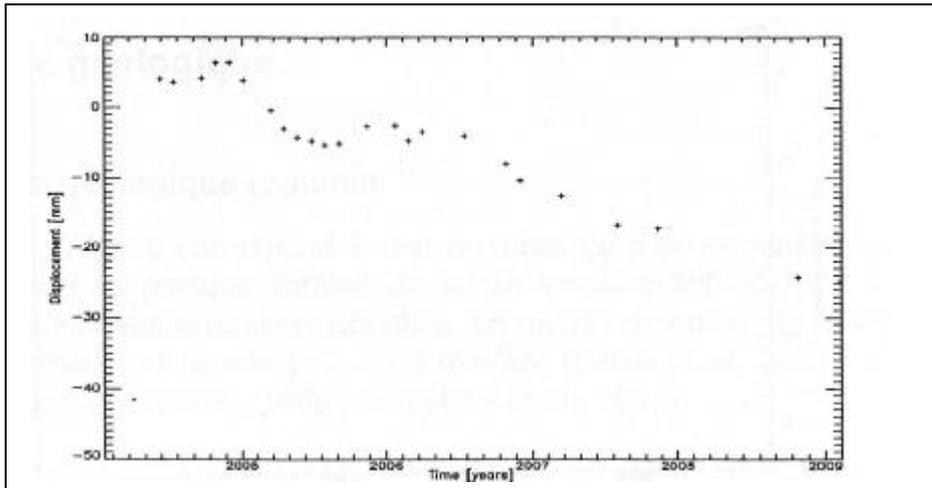


Figure (43) : B 160_303_100_E (subsidence forte) [27].

B 176_300_106_E (subsidence moyenne)

Trois phases caractérisent le mouvement de ce point :

- **La première phase** : une sensible stabilité caractérise cette phase, avec des déplacements très faibles de l'ordre de 2 à 3 [mm] (mesurés entre janvier 2004 et janvier 2006).
- **La deuxième phase** : le mouvement de ce point pendant cette période est complexe. En effet, un mouvement positif de l'ordre de 6 [mm] (soulèvement) est mesuré entre janvier et avril 2006 (une période où le mouvement a connu une réactivation). Le changement de la direction du mouvement est probablement dû à une poussée importante engendrée par le mouvement en cet endroit. Ce mouvement a été suivi par une sensible stabilité (pendant environ trois mois) et un changement de direction (affaissement) et accélération du mouvement, correspondant à une rupture ou à un cisaillement du matériau sous l'effet des fortes pressions auxquelles il a été soumis (un déplacement d'environ 7 [mm] entre avril et décembre 2006 a été mesuré).
- **La troisième phase** : pendant cette phase le mouvement a ralenti. En fait, un déplacement faible a été mesuré pendant la période allant de décembre 2006 à novembre 2008 (un déplacement maximal de l'ordre de 6 [mm]).

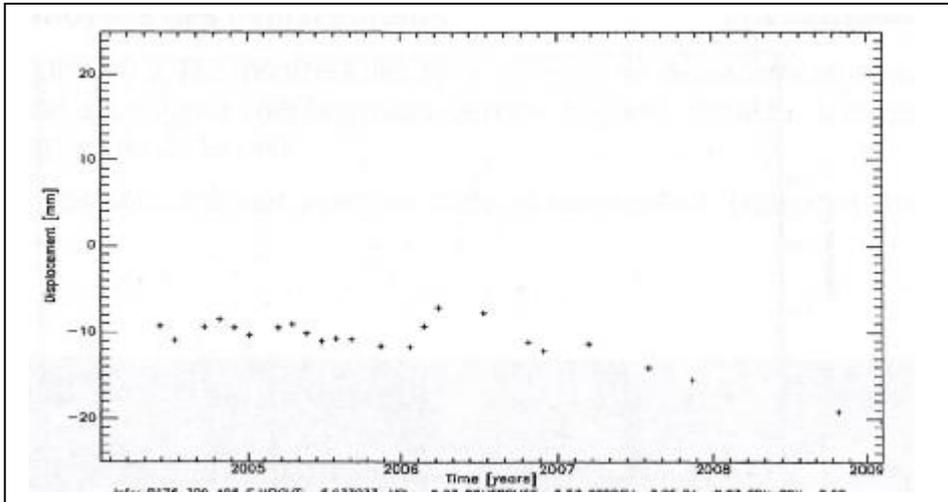


Figure (44) : B 176_300_106_E (subsidence moyenne) [27].

B 188_296_108_E (subsidence moyenne)

Trois phases sont mises en évidence pour l'étude de l'évolution du mouvement de ce point :

- **La première phase** : des déplacements très faibles caractérisent cette phase du mouvement. Un déplacement moyen de l'ordre de 5 [mm] enregistré entre janvier 2004 et décembre 2006 (soit une période d'environ 35 mois).
- **La deuxième phase** : une sensible instabilité caractérise le mouvement du point, avec une accélération du déplacement qui atteint environ 10 [mm] pendant la période de décembre à novembre 2007.
- **La troisième phase** : durant cette période aucune variation importante du mouvement n'a été mesurée.

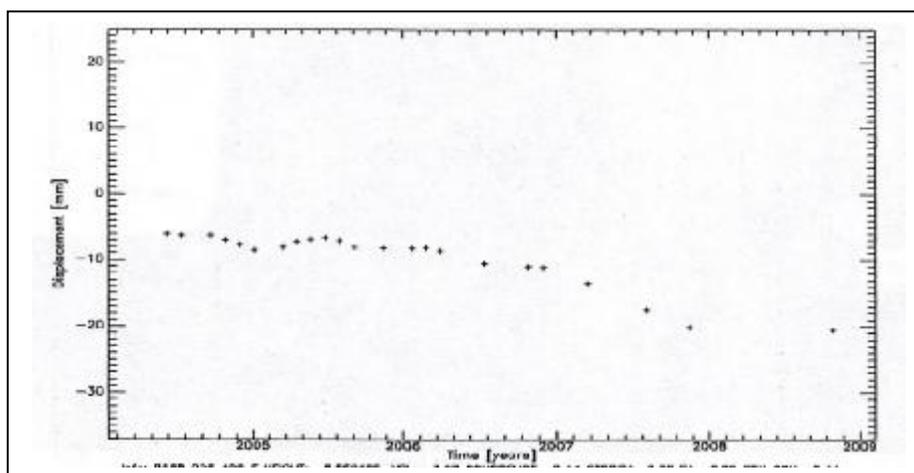


Figure (45) : B 188_296_108_E (subsidence moyenne) [27].

B 194_292_105_E (subsidence moyenne)

Cinq phases sont définies afin d'illustrer le mouvement de ce point :

- **La première phase** : des déplacements faibles sont mesurés pendant cette phase de l'évolution du mouvement (un déplacement moyen d'environ 2 [mm] entre janvier et décembre 2004).
- **La deuxième phase** : une sensible accélération et un changement de la direction (un soulèvement) du mouvement ont été enregistrés. Le soulèvement est probablement dû à une forte poussée des terres engendrée par le mouvement de terrain (durant la période de décembre 2004 à avril 2005, des désordres ont été signalés dans la ville d'Ain El Hammam). En fait, ce point se trouvant dans la partie amont du glissement de terrain (à quelques mètres du sondage carotté SC05) a forcément subi une forte poussée lors de l'amorce du mouvement qui s'est traduite par un soulèvement.
- **La troisième phase** : cette phase s'étale d'avril 2005 à juillet 2006. Une sensible stabilité et un déplacement (soulèvement) très faible ont été observés pendant cette phase du glissement de terrain.
- **La quatrième phase** : une accélération du mouvement entre juillet et novembre 2006, avec un déplacement (soulèvement) d'environ 5 [mm].
- **La cinquième phase** : un déplacement très lent caractérise le mouvement pendant cette période, cependant, un déplacement dans le sens négatif (affaissement) a été observé à partir de novembre 2007.

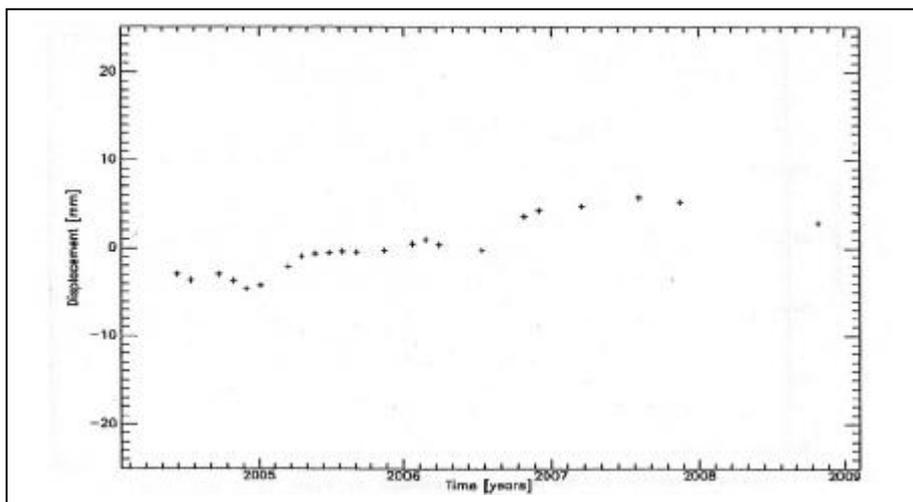


Figure (46) : B 194_292_105_E (subsidence moyenne) [27].

En conclusion, le mouvement de terrain qui affecte la ville d'Ain El Hammam et ses alentours est caractérisé par des phases de calme et d'activation (d'accélération du mouvement).

Les phases d'accélération correspondent généralement aux périodes de forte pluviométrie (généralement entre octobre et avril).

En effet, une réactivation périodique du mouvement est observée, en particulier pour des événements climatiques exceptionnels où des précipitations abondantes sont observées (notamment l'hiver 2005 et l'hiver 2008)

Conclusion

Le mouvement de terrain, qui affecte la ville d'Ain El Hammam et le versant situé en aval de celle-ci, évolue sans cesse. Un bilan du déplacement moyen annuel de quelques points, situés dans la ville instable et ses alentours, pendant les périodes (1995-2000) et (2004-2009), montre le passage dans certains endroits de l'état de stabilité, représenté par les points de couleur verte vers un état d'instabilité (couleur rouge ou jaune), ainsi qu'une augmentation de l'intensité du mouvement (passage d'une vitesse de -2 à -5 [mm/an]) à une vitesse de déplacement supérieure à -5 [mm/an].

Une évolution en profondeur et latérale très importante du mouvement depuis son amorce en 1969 est très apparente :

- ◆ La longueur maximale de la surface instable en 1969 était d'environ 100 [m] ; sa longueur actuelle est supérieure à 560 [m].
- ◆ La largeur de la surface instable définie en 1969 était de 70 à 90 [m] ; sa largeur actuelle est d'environ 545 [m].
- ◆ La profondeur maximale de la surface de rupture définie par le laboratoire EX - LNTPB en 1969 était inférieure à 10 [m] ; la profondeur actuelle est supérieure à 40 [m].
- ◆ En 1969 un seul plan de glissement a été défini dans la zone du marché (le mouvement affectait la couche de remblais et le couvert argilo-schisteux) ; actuellement trois surfaces de glissement sont observées.

Conclusion de la deuxième partie

A partir des documents récoltés et analysés (mesures inclinométriques réalisées par le laboratoire LCTP du côté de l'hôpital d'Ain El Hammam, mesures inclinométriques réalisées par GEOMICA à la ville d'Ain El Hammam, les résultats d'interprétation d'images radar), nous avons constaté que la commune d'Ain El Hammam présente un potentiel de risque au mouvement de terrain.

Afin de mieux comptabiliser le niveau de sécurité (l'état de risque) et mieux gérer l'aléa, une surveillance de la commune d'Ain El Hammam et ses alentours, est recommandée pour dresser une carte de risque de mouvement de terrain de cette région.

Une surface instable de l'ordre de 15 [ha] a été déterminée, affectant aussi bien la ville que le versant situé en aval de cette ville. Nous avons aussi constaté le caractère très actif du mouvement.

Des phases d'accélération et de calme sont observées (les périodes d'accélération correspondent généralement à des périodes de forte pluviométrie) ce qui démontre l'influence importante de l'eau sur ce mouvement de terrain.

La principale conclusion au quelle nous sommes arrivées est que ce glissement de terrain est très complexe. En effet, plusieurs surfaces de glissements ont été déterminées. Le mouvement de terrain qui affecte la ville d'Ain El Hammam résulte de la superposition et de l'emboîtement de plusieurs glissements (certains superficiels et d'autres profonds), formant une instabilité globale.

Conclusion générale

Conclusion générale

Certaines pentes naturelles sont ou peuvent devenir instables. Cette instabilité constitue l'un des risques naturels les plus difficiles de la mécanique des sols. Cette difficulté résulte du fait que l'estimation de la stabilité dépend de plusieurs facteurs qui interagissent généralement simultanément. Ces facteurs peuvent être groupés en deux grandes catégories :

- ✦ Les facteurs passifs ou invariables (facteurs de prédisposition du site à glisser)
- ✦ Les facteurs actifs ou variables

Il en est de même pour le glissement d'Ain El Hammam où des facteurs « actifs » et « passifs » ont contribué conjointement à l'amorce et à l'activité de ce mouvement. L'étude de cette instabilité a révélé le caractère très actif du mouvement d'étendue très importante.

Nous avons déterminé une surface instable d'environ 15 [ha], affectée par un glissement de terrain très actif. Cependant, la commune d'Ain El Hammam présente dans l'ensemble un potentiel instable correspondant probablement à un mouvement de terrain en phase de démarrage ou de réactivation.

L'accélération et la réactivation périodique du mouvement, correspondent généralement à des périodes de forte pluviométrie, démontrant, ainsi l'effet important de l'eau sur cette instabilité.

L'étude géologique et géotechnique du versant instable, qui aurait pu nous permettre d'élaborer, des coupes longitudinales (dans le sens du mouvement) et qui aurait pu nous renseigner sur l'étendu et la profondeur de ce mouvement de terrain, n'a jamais été réalisée ; ce qui nous réduit à émettre des hypothèses uniquement sur la partie de la ville où sont implantés les sondages

Afin de mieux comprendre ce mouvement et de déterminer la ou les positions exactes des plans de glissement et les volumes mobilisés par ce mouvement des études géologique et géotechnique approfondies doivent être réalisées. Pour cela il faudra :

- Réaliser une étude géologique et hydrologique sérieuse de la région afin de mieux cerner les causes du mouvement et d'adopter un confortement adapté à cette instabilité.
- Réaliser des sondages complémentaires (d'une profondeur de 80 à 100 [m] dans la ville et sur le versant instables) afin de déterminer la profondeur exacte du substratum (voir s'il n'y a pas des passages altérés plus profonds) et d'avoir l'allure et la position exactes de la surface de rupture. Ces sondages doivent être équipés d'inclinomètres (assez résistants pour supporter des

déplacements plus importants sans se cisailer) ou de piézomètres, afin de se prononcer sur la stabilité des couches profondes.

- Prévoir une surveillance des paramètres du mouvement (déplacement, rotations,...) et des facteurs influents (en particulier les précipitations et les infiltrations) afin de pouvoir déterminer leur influence sur l'évolution de ce glissement.

Cette étude nous permettra d'élaborer une carte de risque de mouvement de terrain de cette région montagneuse. Cette carte servira d'outil d'aide à la décision aux services d'urbanisation, qui disposera ainsi, d'une carte de potentiel de risque des mouvements de terrain pour chaque zone.

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

- [1] : SEDDIKI. A (2008) – analyse de la stabilité des pentes sous séisme- mémoire de magister, Université de M'sila, 94 pages.
- [2] : BIANCHETTI. G et CRESTIN. G (mai 2004) – le glissement de Montagnon (Leytron, Canton du Valais, Suisse) – INTERREG 3 A – Projet RISKYDROGEO - Workshop du CREALP à Sion, 11 pages.
- [3] : DELMAS. P, CARTIER. G et POUGET. P (1987) – méthodes d'analyse des risques liés aux glissements de terrain - Bull. liaison labo. P et Ch. 150/151 (1987) p 29 à 39.
- [4] : BOUZID Ramdane (1985) – contribution à l'étude des glissements de terrain cas du glissement d'El Biar- Alger – mémoire de magister en génie civil, Ecole nationale polytechnique, 88 pages.
- [5] : Comité technique AIPCR des terrassements, drainage, couches de forme (C12) (1997) – glissement de terrain techniques d'évaluation du risque – 129 pages.
- [6] : MILLIER-LACROIX. A (janvier 1981) – classification des talus et versants instables- Bull. liaison labo. P et Ch. Spécial X, P 11 à 15.
- [7] : guide technique (1998) – stabilisation des glissements de terrain – laboratoire central des ponts et chaussées, 97 pages.
- [8] : PONTON. J (2008) mémoire de master 2, Université Louis Pasteur, Strasbourg I – caractérisation hydro-géophysique par tomographie électrique d'un glissement de terrain argileux de type « coulée » à l'échelle de la parcelle et du versant.
- [9] : DERGHOUIM. R, MEKSAOUINE. M (juillet 2008) – influence des points de perte des réseaux hydrauliques sur les glissements de terrain (cas du Ciloc de Constantine) – conférence internationale sur la science des matériaux (CSM6) Beyrouth, Liban, p 255 à 264.
- [10] : BENAÏSSA. A (2003) – glissements de terrain calcul de stabilité- office des publications universitaires, 95 pages.
- [11] : Guide Technique (1994) – surveillance des pentes instables – Laboratoire central des ponts et chaussées, 125 pages.
- [12] : LEBOURG. T et FRAPPA. M (2001) – mesure géophysiques pour l'analyse des glissements de terrain – Revue Française de géotechnique n° 95-96, 2001, p 33 à 41.
- [13] : LEROI. E, FAVRE. J-L, REZIG. S (2001) – cartographie de l'aléa mouvement de terrain par l'analyse statistique sous SIG – Revue Française de géotechnique n° 95-96, 2001, p 155 à 165.

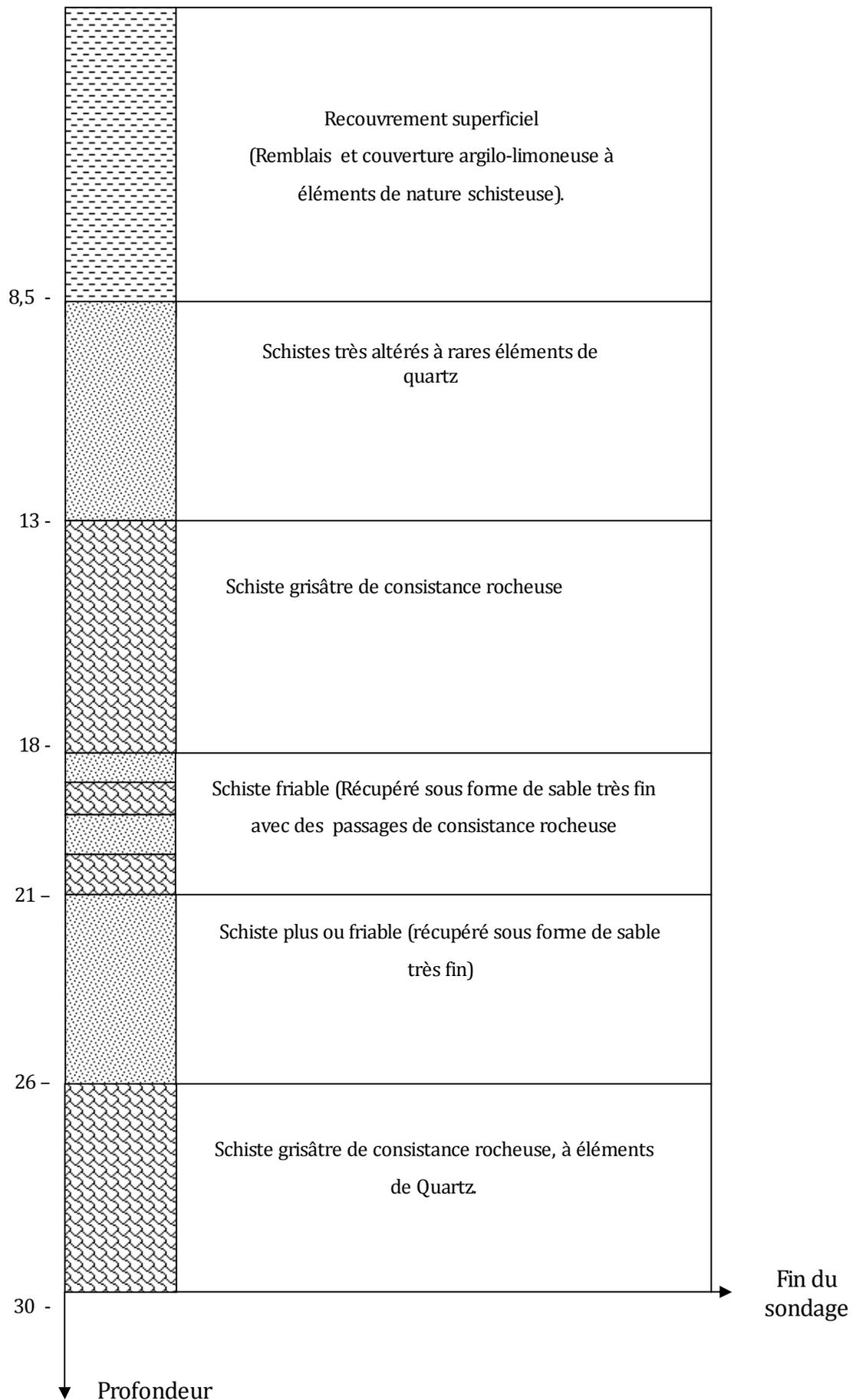
- [14] : BODELLE Jacques et WEBER Christian (janvier 1981), service géologique national, Orléans, France – la prévention des risques géologiques en France - Bull. liaison labo. P et Ch. Spécial X, P 15 à 27.
- [15] : Division prévention des dangers (septembre 2009) – glissement de terrain (dynamique, danger et surveillance), Office fédéral de l'environnement.
- [16] : MIGNON. G et COJEAU. R (2002) – Rôle de l'eau dans la remobilisation de glissement-coulée (Berclonnette, France) – Swets & Zeitlinger, Lisse ISBM 90 5809 393 X, p 239 à 244.
- [17] : ARNAUD. F (2007) – influence de la végétation arborée sur l'activité des glissements de terrain superficiels – mémoire master recherche, Université Louis Pasteur de Strasbourg, 70 pages.
- [18] : MAQUAIRE. O, THIERY. Y, MALET. J-P, PUISSANT. A (2006) – évaluation et cartographie par SIG du risque glissement de terrain, application aux Alpes du sud – UMR CNRS 6554 LETG.
- [19] : Dossier d'information : risques naturels majeurs (septembre 2004) – les mouvements de terrain – Ministère de l'écologie et du développement durable, 24 pages.
- [20] : CASSON. B, DELACOURT. C, BARATOUX. D, SQARZOUNI. Cet ALLEMAND. P (2003) – potentiel de la télédétection pour l'étude des mouvements gravitaires – congrès SIRNAT « les journées pour la prévention des risques naturels » BRGM, Orléans – 6 pages.
- [21] : CHAMPETIER de RIBES. G (1987) – la cartographie des mouvements de terrain des ZERMOS aux PER – Bull. liaison labo. P et Ch. 150/151 (1987) p 9 à 20.
- [22] : GARRY. G et DECAILLO. P (1987) – la représentation cartographique des risques naturels – Bull. liaison labo. P et Ch. 150/151 (1987) p 20 à 29.
- [23] : PACHOUD. A (janvier 1981) – influence de la disparition de l'activité agricole traditionnelle sur la stabilité des pentes en montagne - Bull. liaison labo. P et Ch. Spécial X, P 49 à 55.
- [24] : FLAGEOLLET. J-C (janvier 1988), Université Louis Pasteur de Strasbourg – les mouvements de terrain et leur prévention – 224 pages.
- [25] : GERVREAU. E (juin 1991) – étude et prévision de l'évolution des versants naturels en mouvement - série géotechnique GT47, 194 pages.
- [26] : COJEAN. R (2001) - instabilité déclenchée par l'événement climatique particulier de l'hiver 1999 : exemple dans les Alpes Vaudoises, Suisse- Revue Française de géotechnique n° 95-96, 2001, p 7 à 14.
- [27] : Rapport interne du groupement des trois bureaux d'étude « ANTEA-TTI-HYDROENVIRONNEMENT » (septembre 2009) - étude des glissements de terrain de Ain El Hammam –

- [28]** : rapport interne LNTPB (1972) – marché d’Ain El Hammam étude géologique et géotechnique du glissement -
- [29]** : rapport interne GEOMICA (2009) - étude géotechnique de la zone de glissement et de tassement de Ain El Hammam (phase II) –
- [30]** : BOUGDAL. R (2010) – les glissements de terrain en Kabylie – journée d’étude sur les glissements, Université de Tizi-Ouzou, 1 juin 2010.
- [31]** : rapport interne GEOMICA (2006) – étude géotechnique de la zone de tassement d’Ain El Hammam (phase I) –
- [32]** : rapport interne LCTP (novembre 2009) – recueil des mesures inclinométriques- N° dossier 31 07 0071.

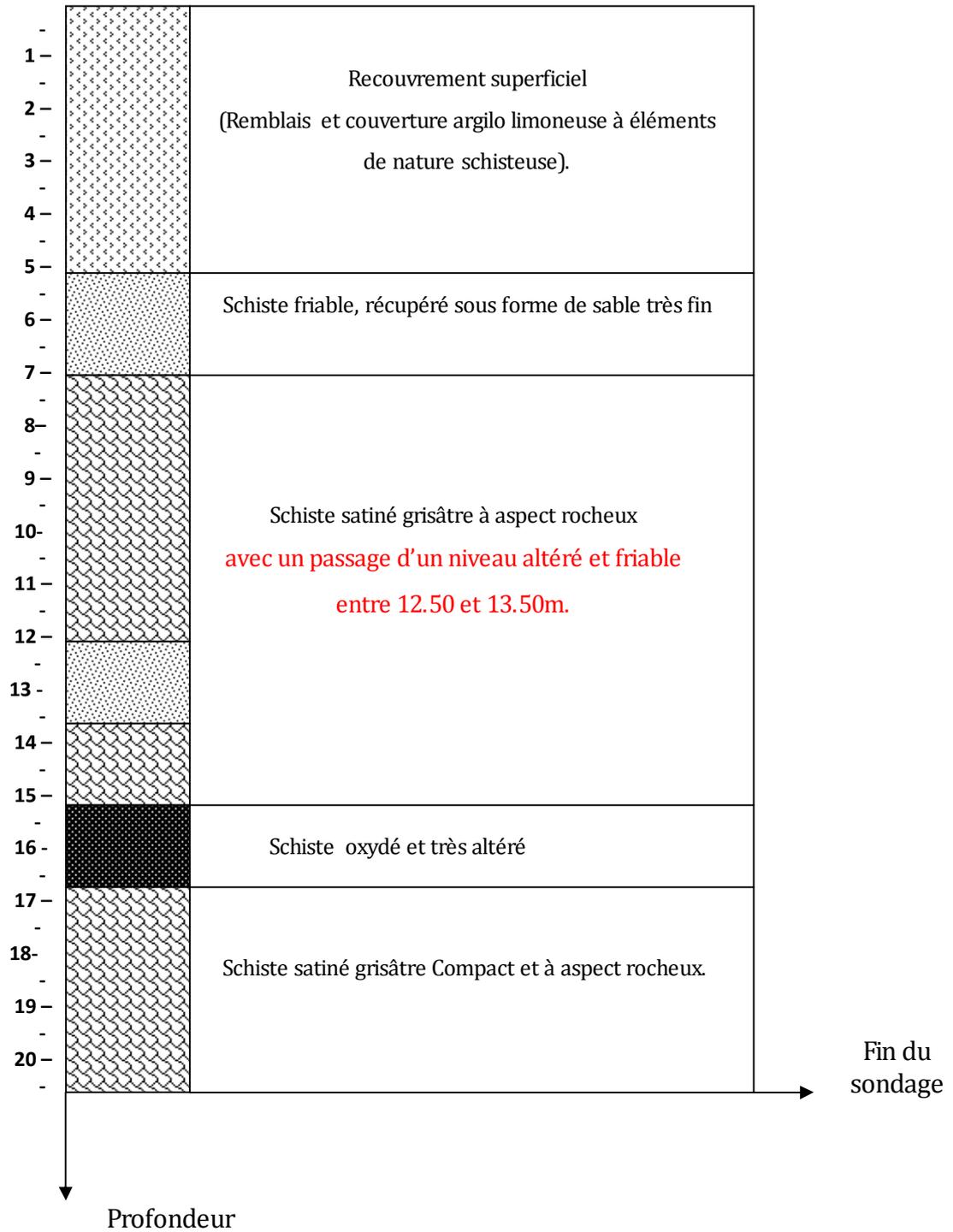
ANNEXE [A]

Coupes des sondages carottés

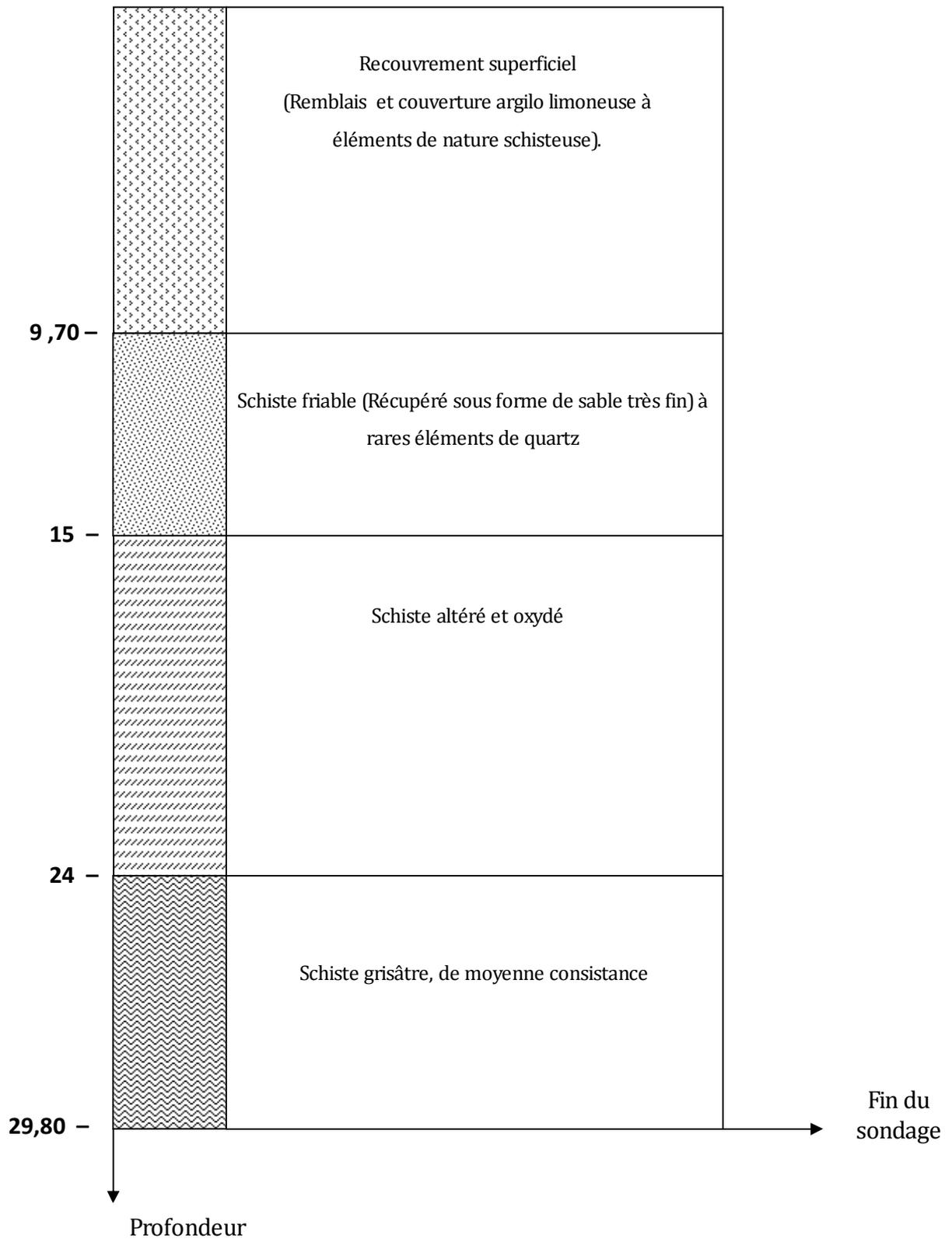
Sondage SC 01 : coordonnées UTM : X=617178 [m], Y= 4047856 [m]



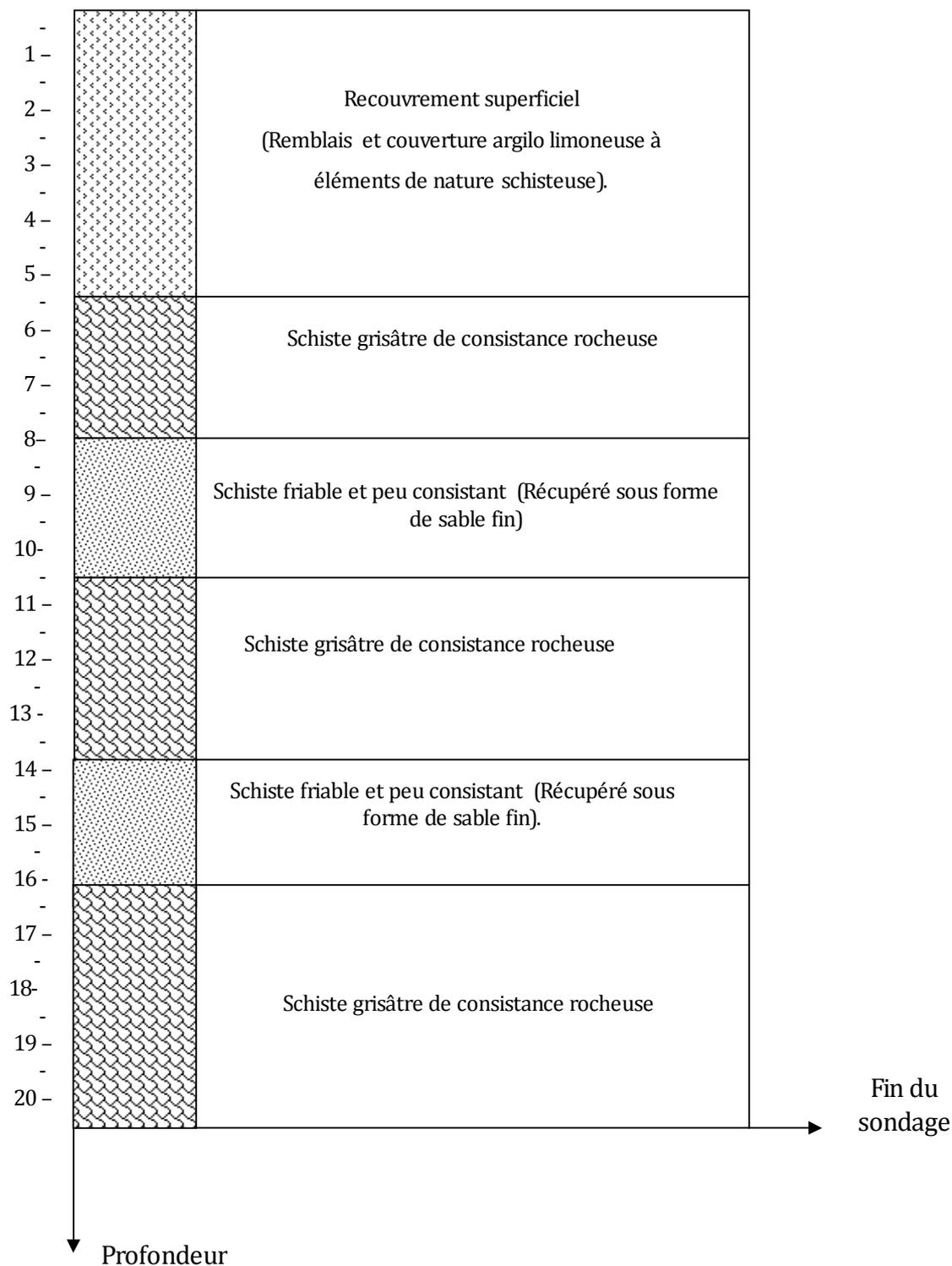
Sondage SC 02 : coordonnées UTM : X=617140 [m], Y= 4047904 [m]



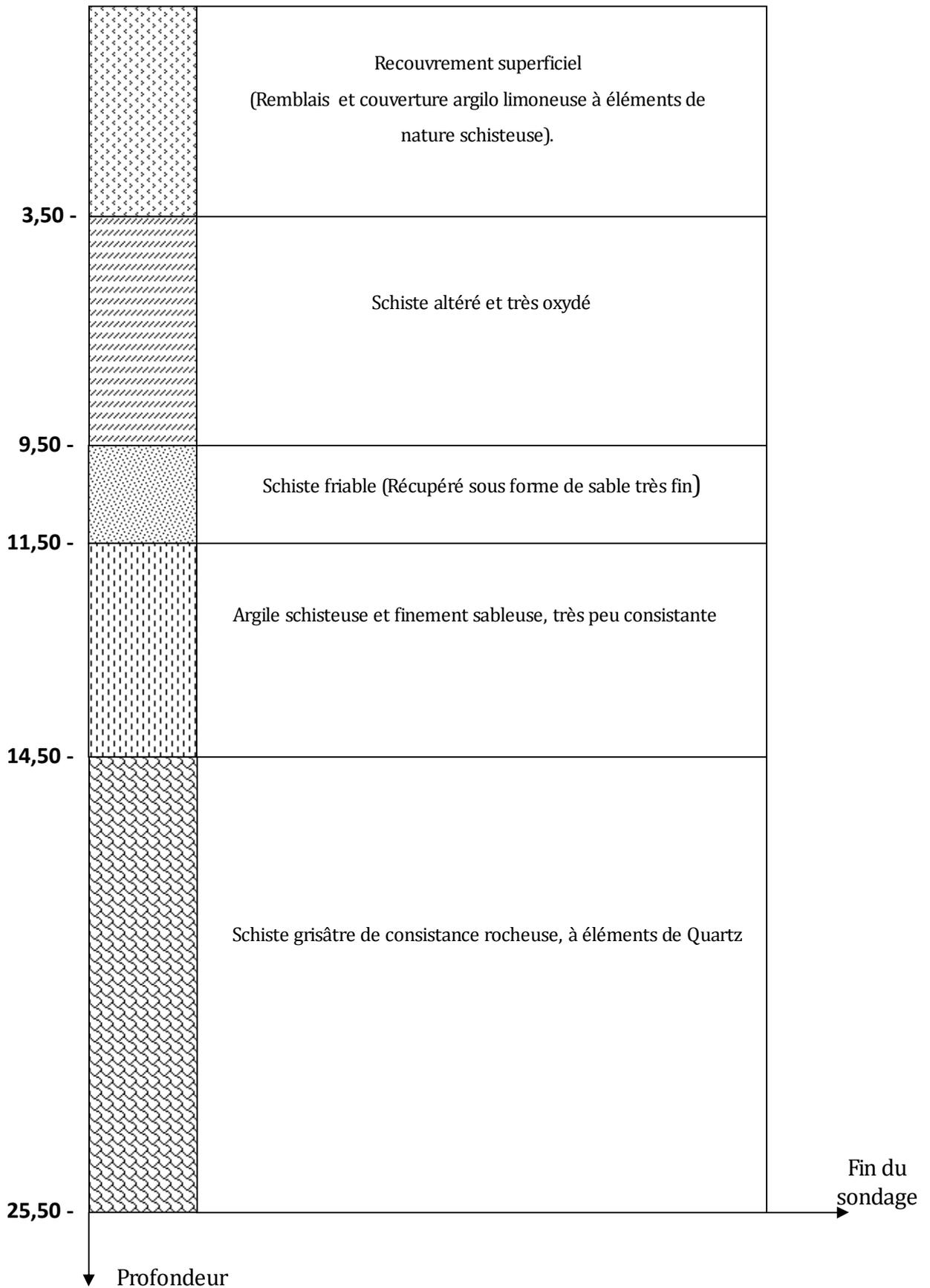
Sondage SC 03 : coordonnées UTM : X=617027 [m], Y= 4048027[m]



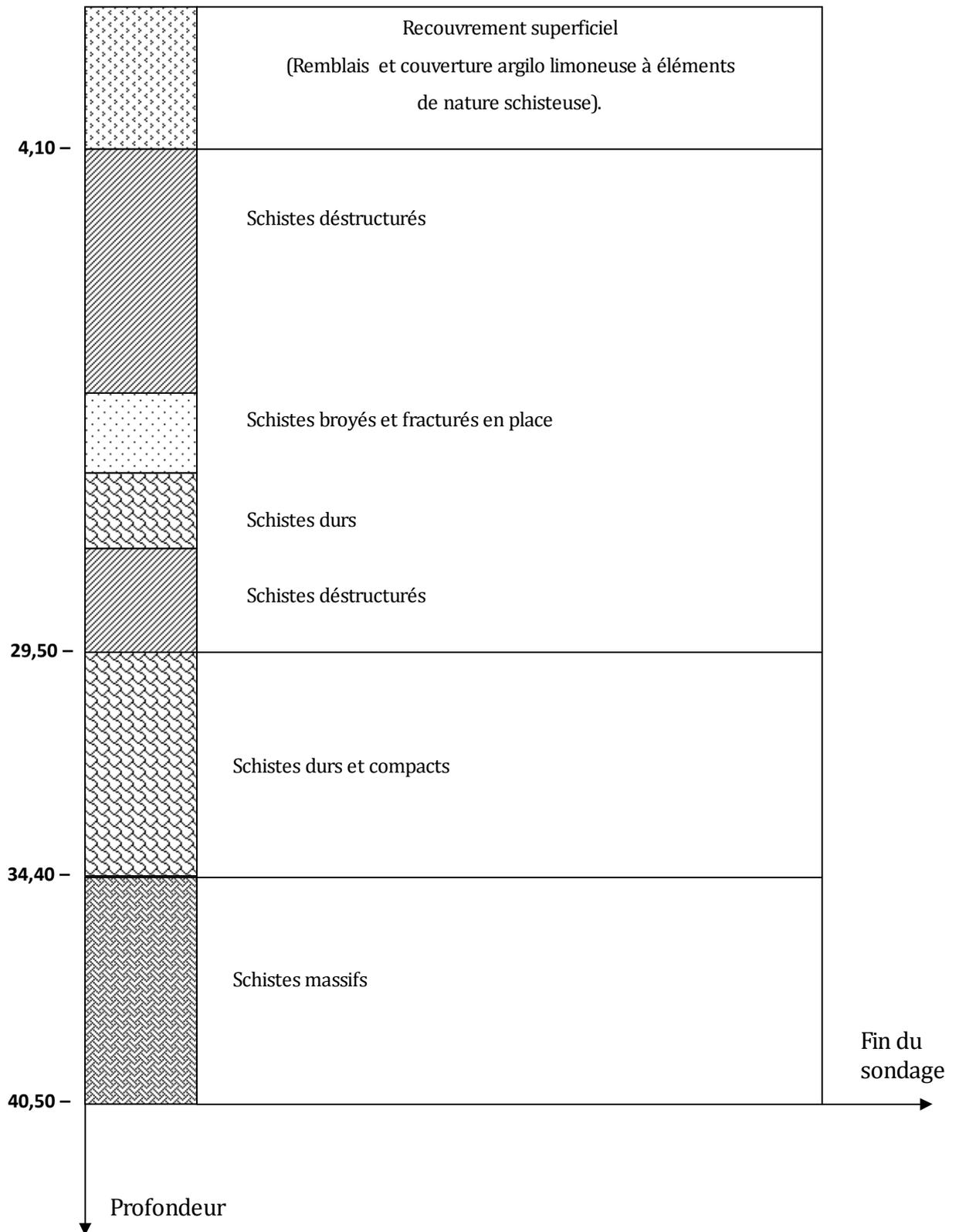
Sondage SC 04 : coordonnées UTM : X=617184 [m], Y= 4047950 [m]



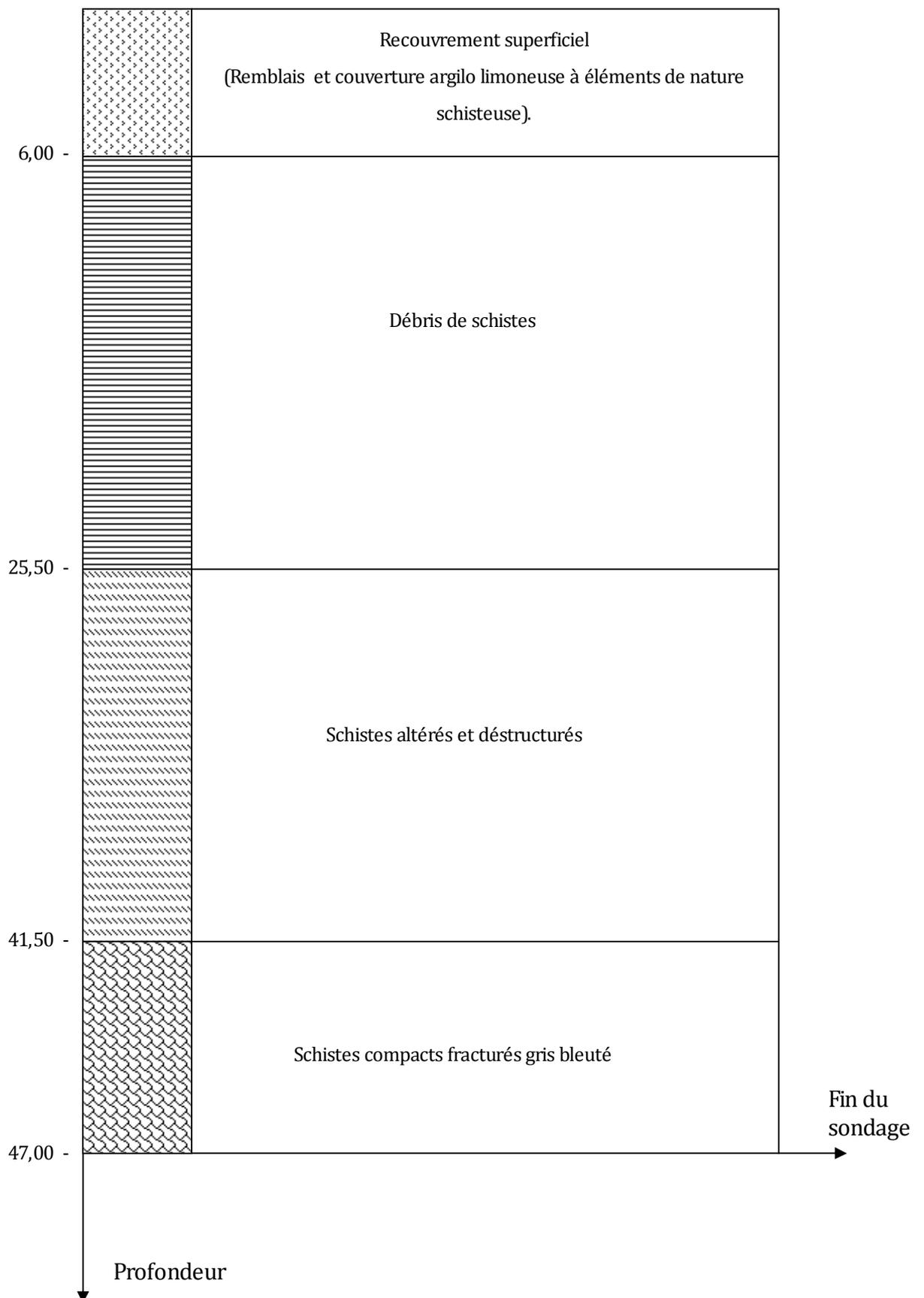
Sondage SC 05 : coordonnées UTM : X=617116 [m], Y= 4047986 [m]



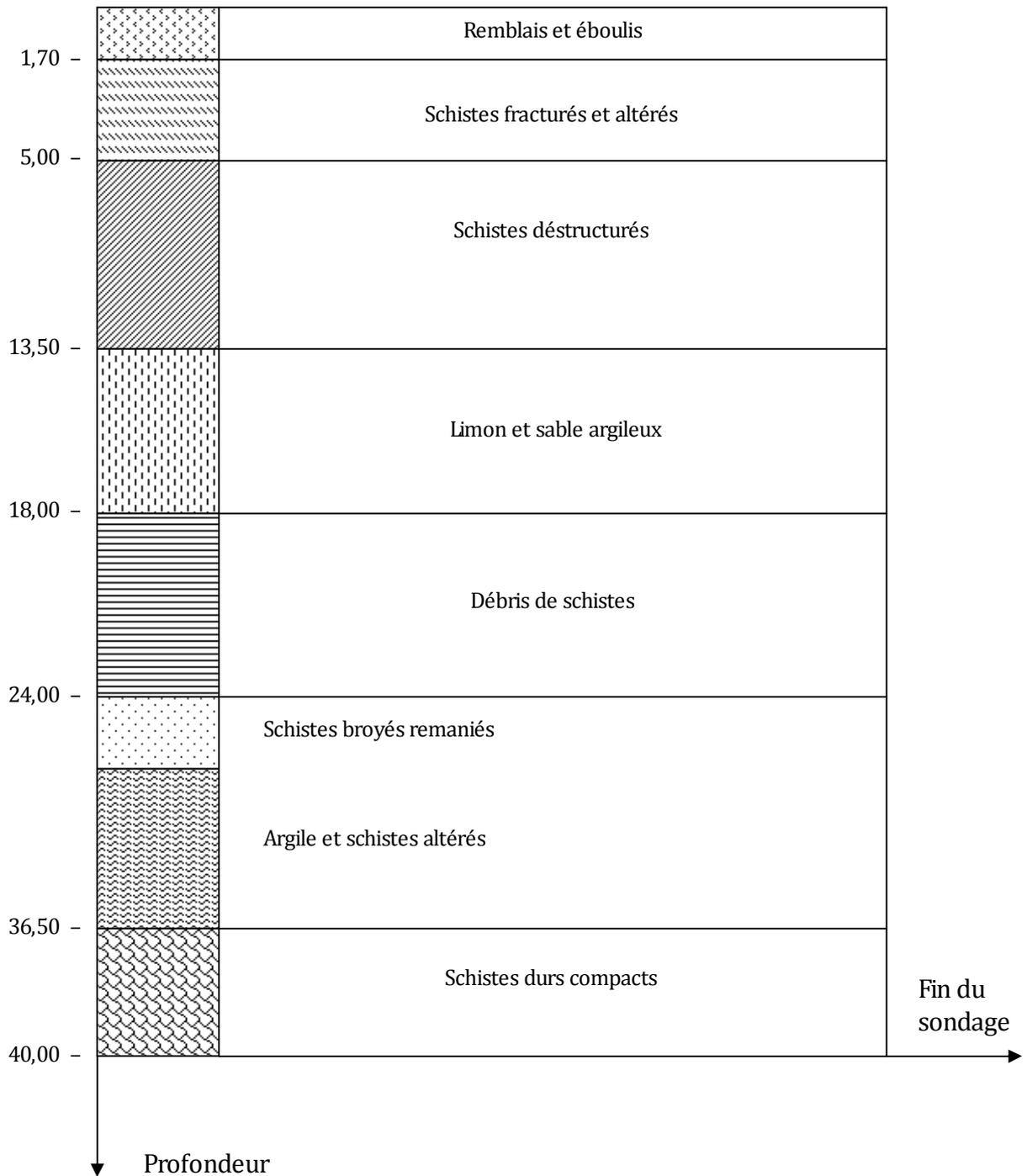
Sondage Si 01 : coordonnées UTM : X=617193 [m], Y= 4047877 [m]



Sondage Si 02 : coordonnées UTM : X=617169 [m], Y= 4047888 [m]

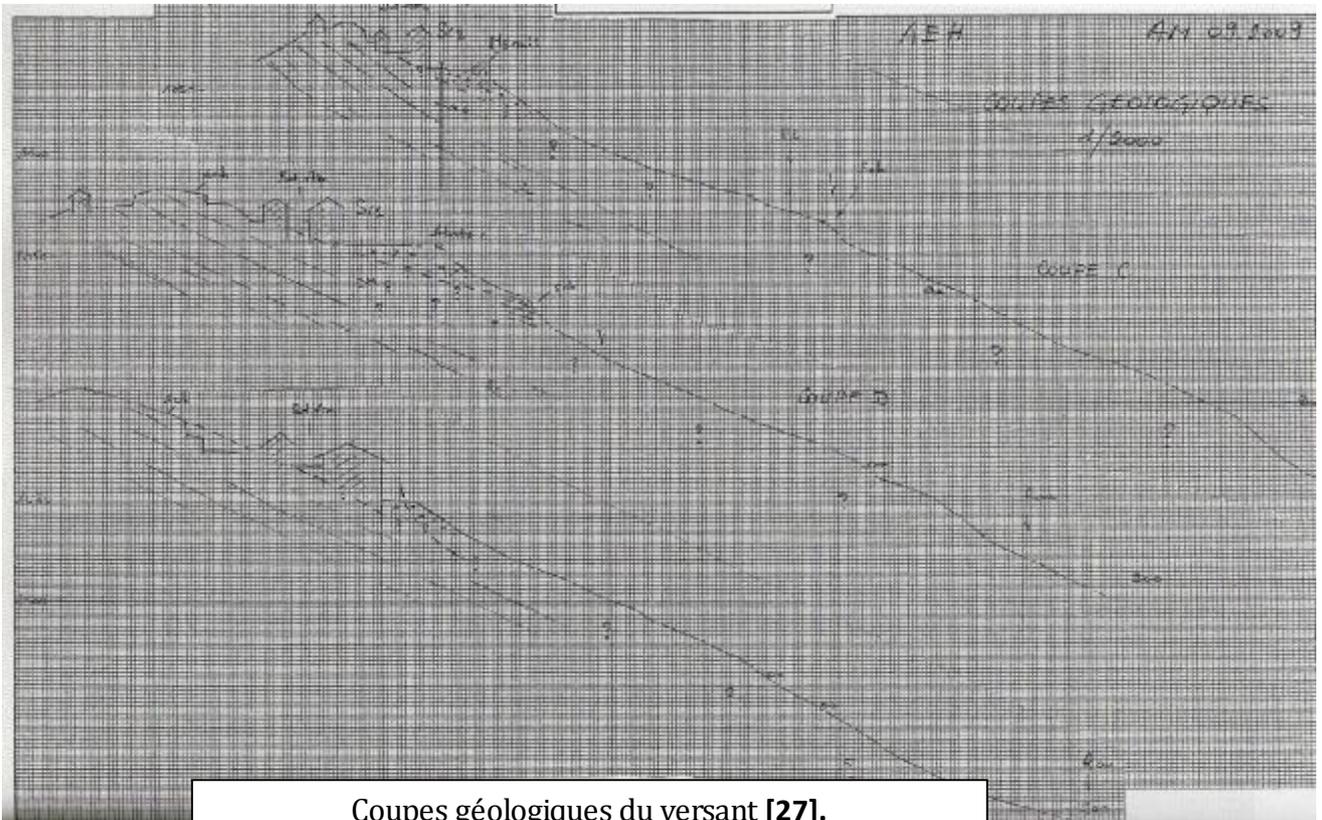
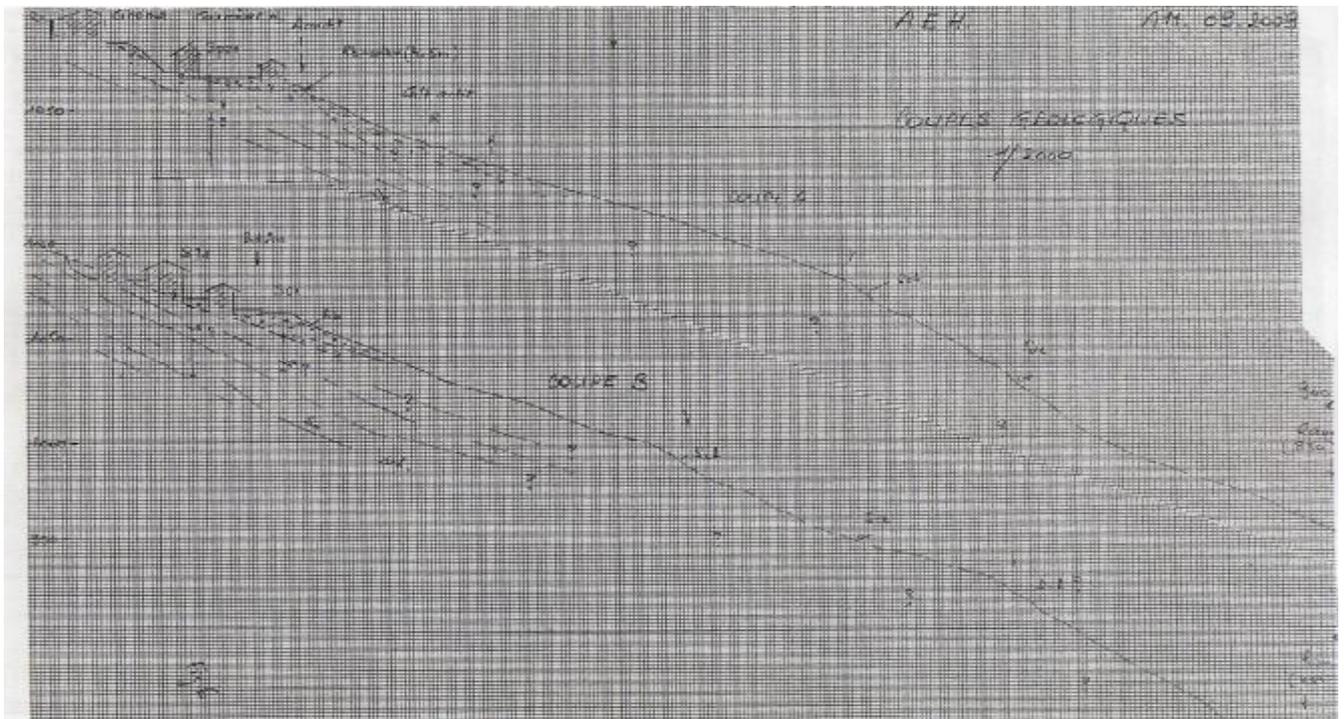


Sondage Si 03 : coordonnées UTM : X=617205 [m], Y= 4047845 [m]

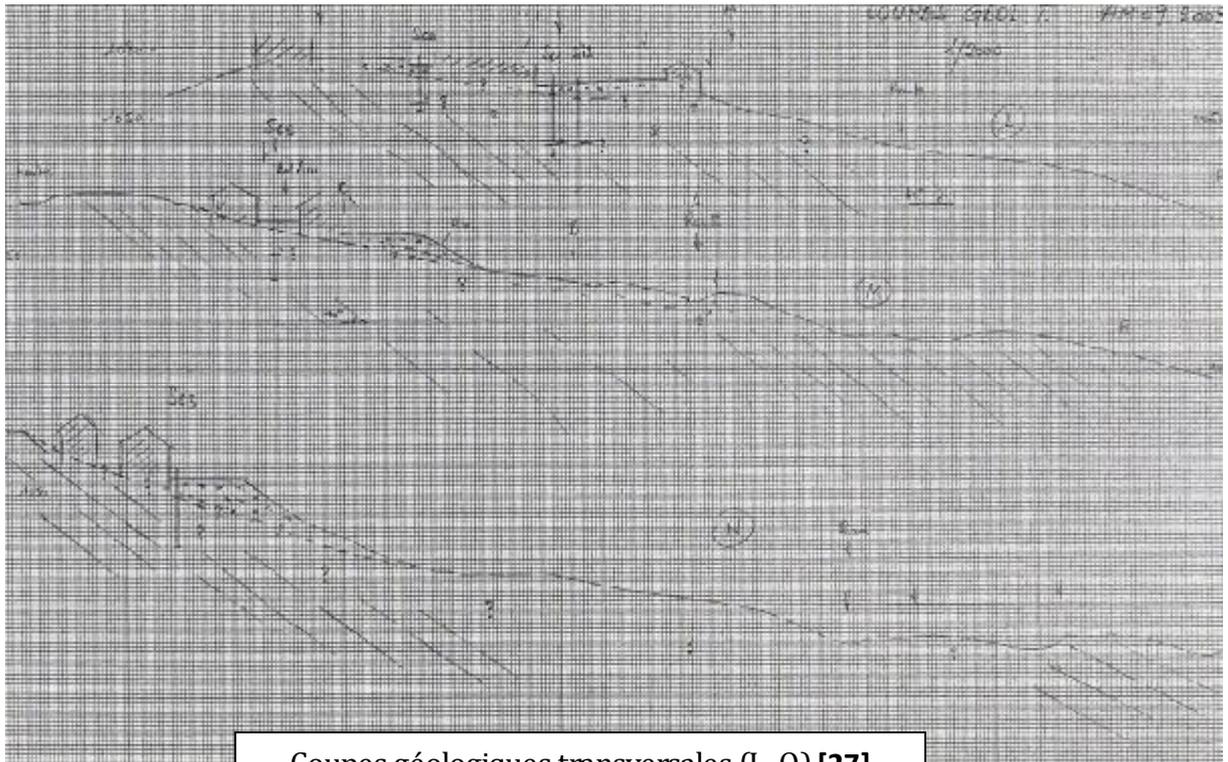


ANNEXE [B]

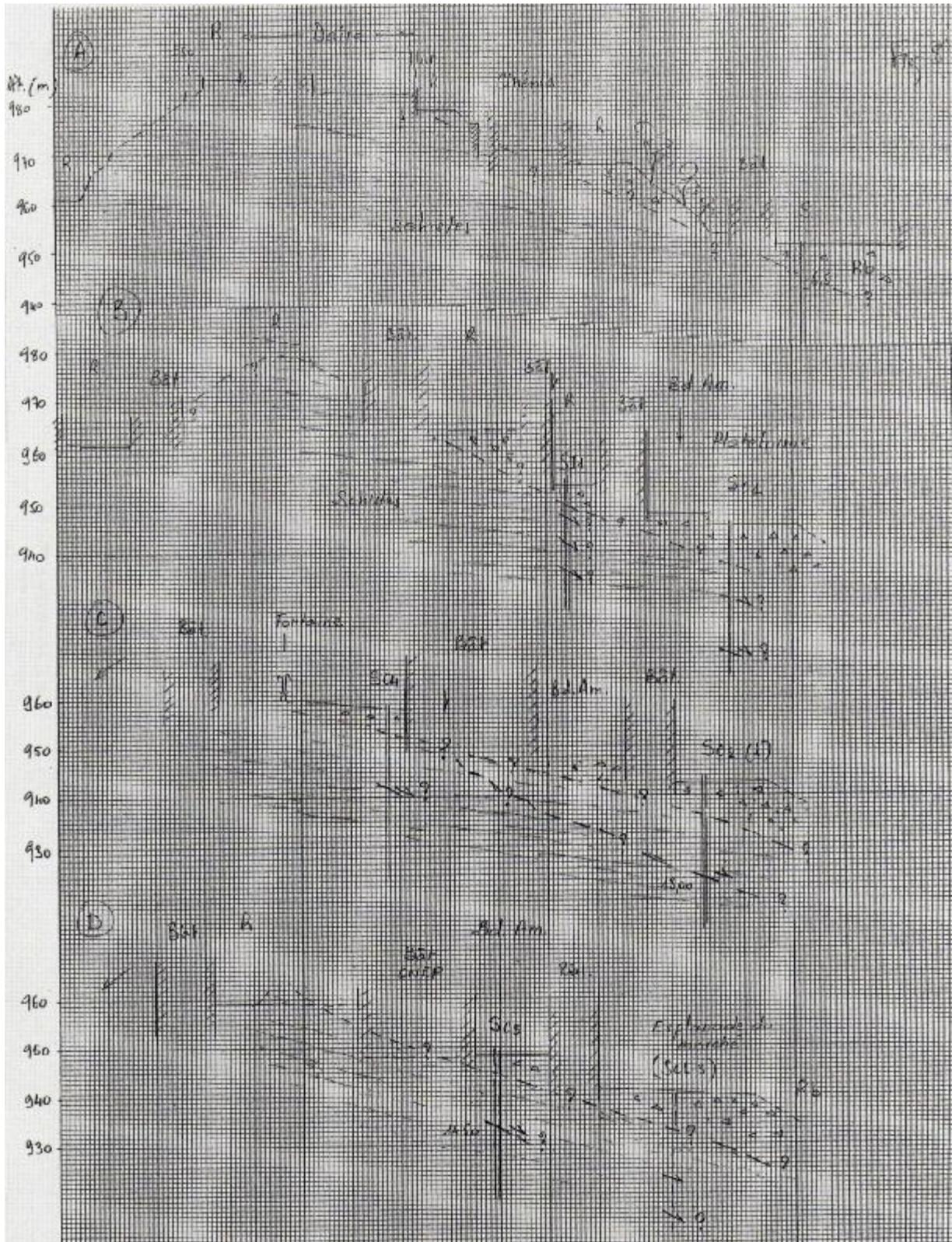
coupes géologiques et cartes d'implantations des plans coupe



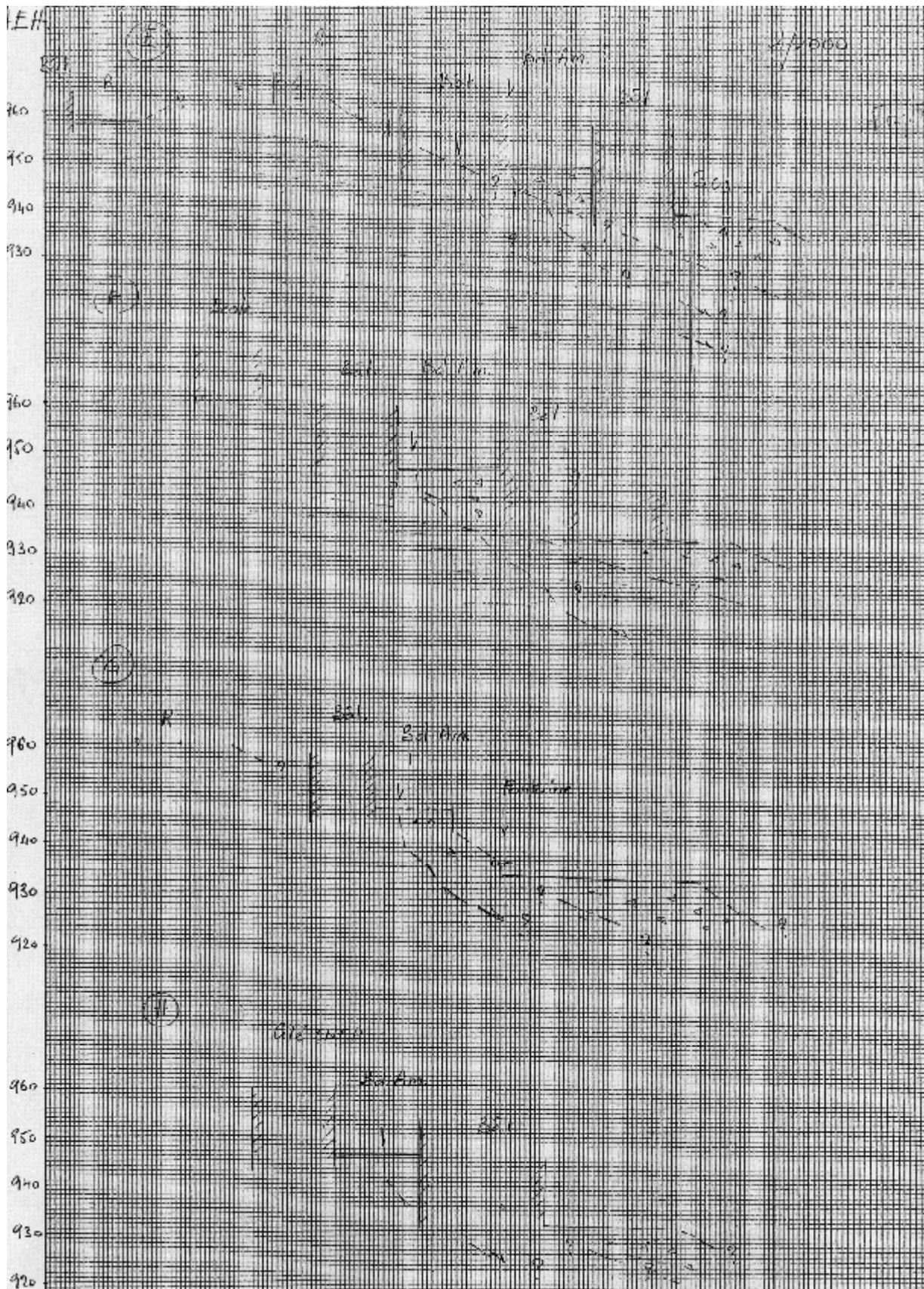
Coupes géologiques du versant [27].



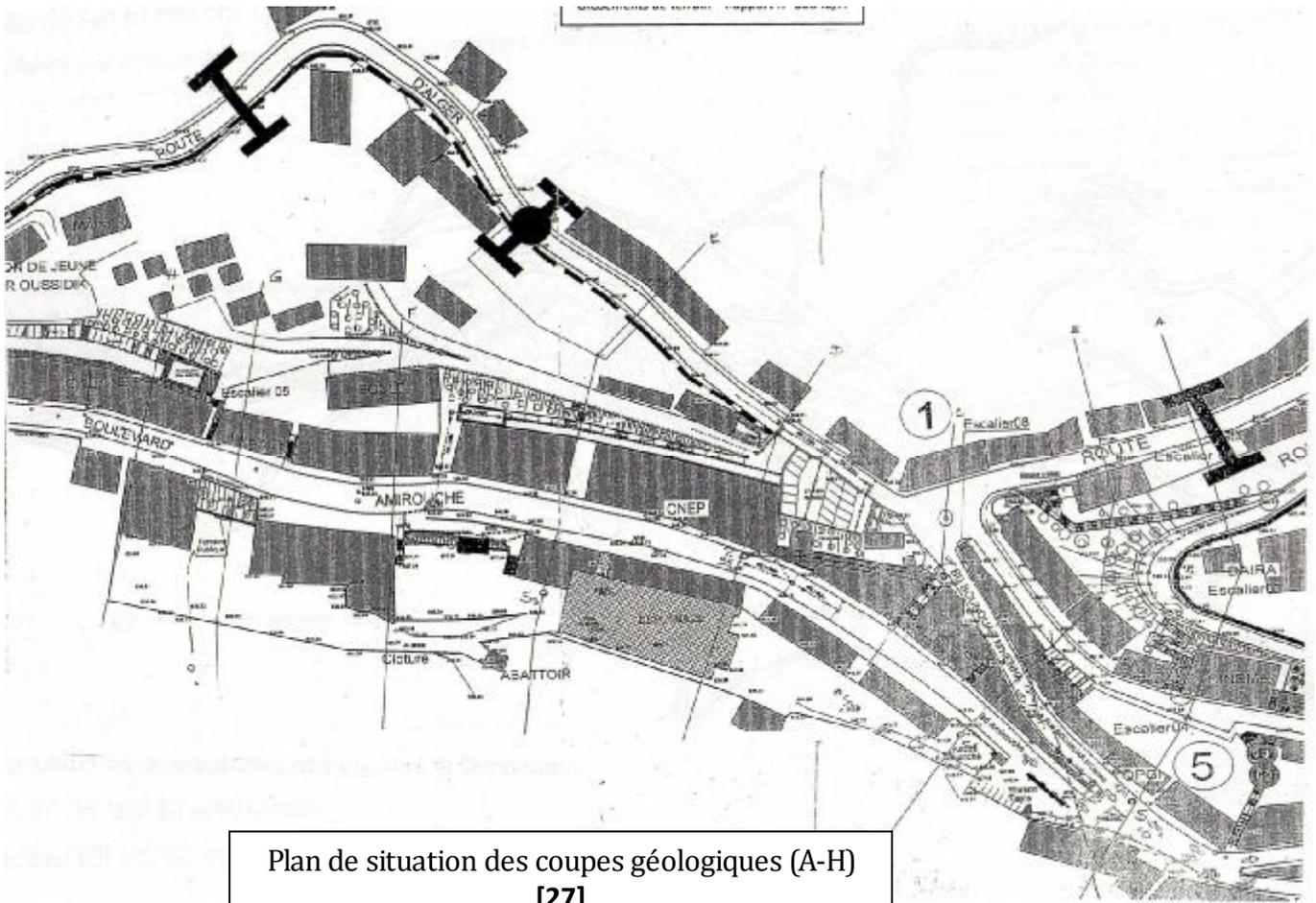
Coupes géologiques transversales (L- Q) [27]



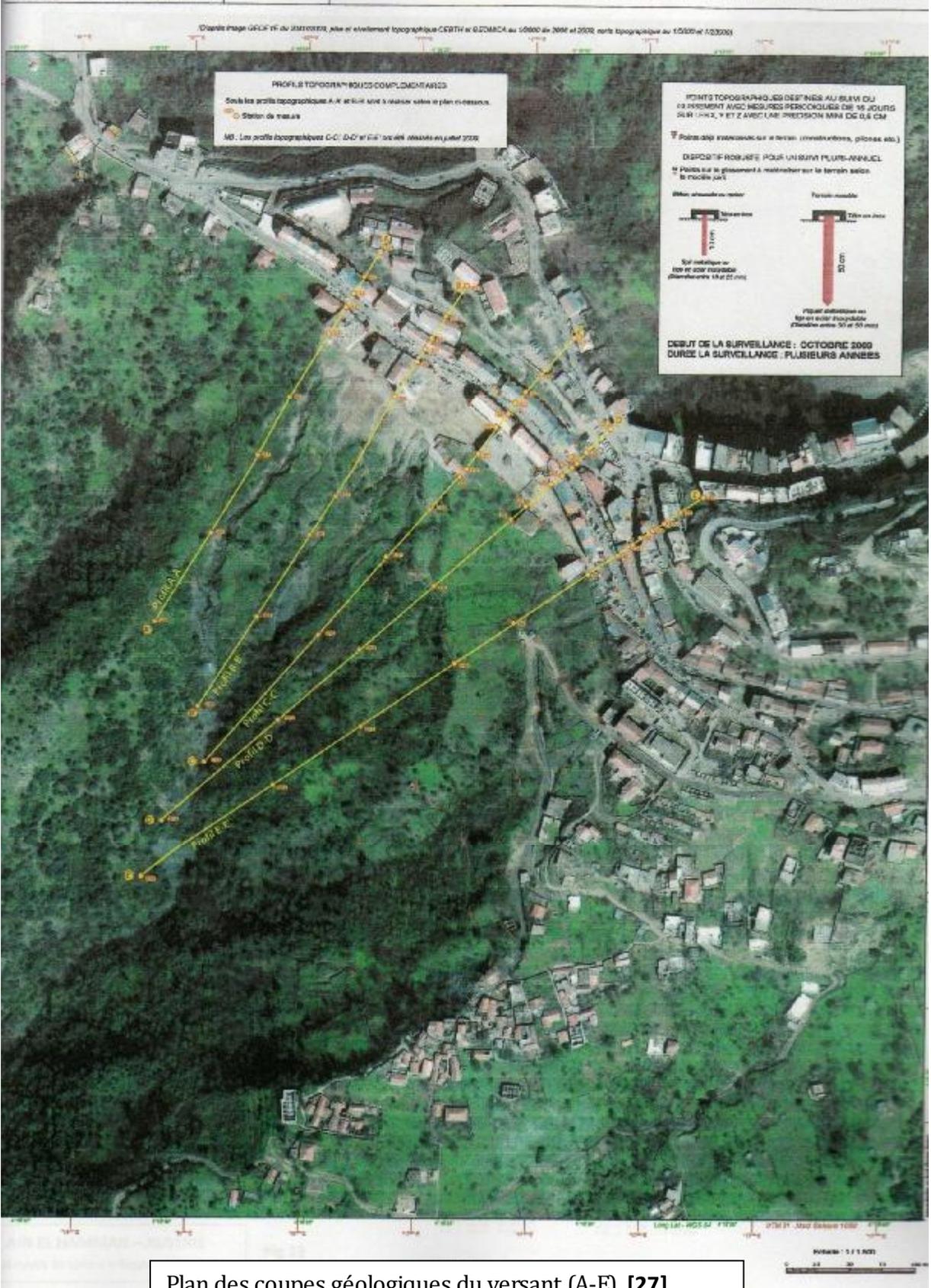
Coupes géologiques interprétatives des sondages [27]



Coupes géologiques interprétatives [27]



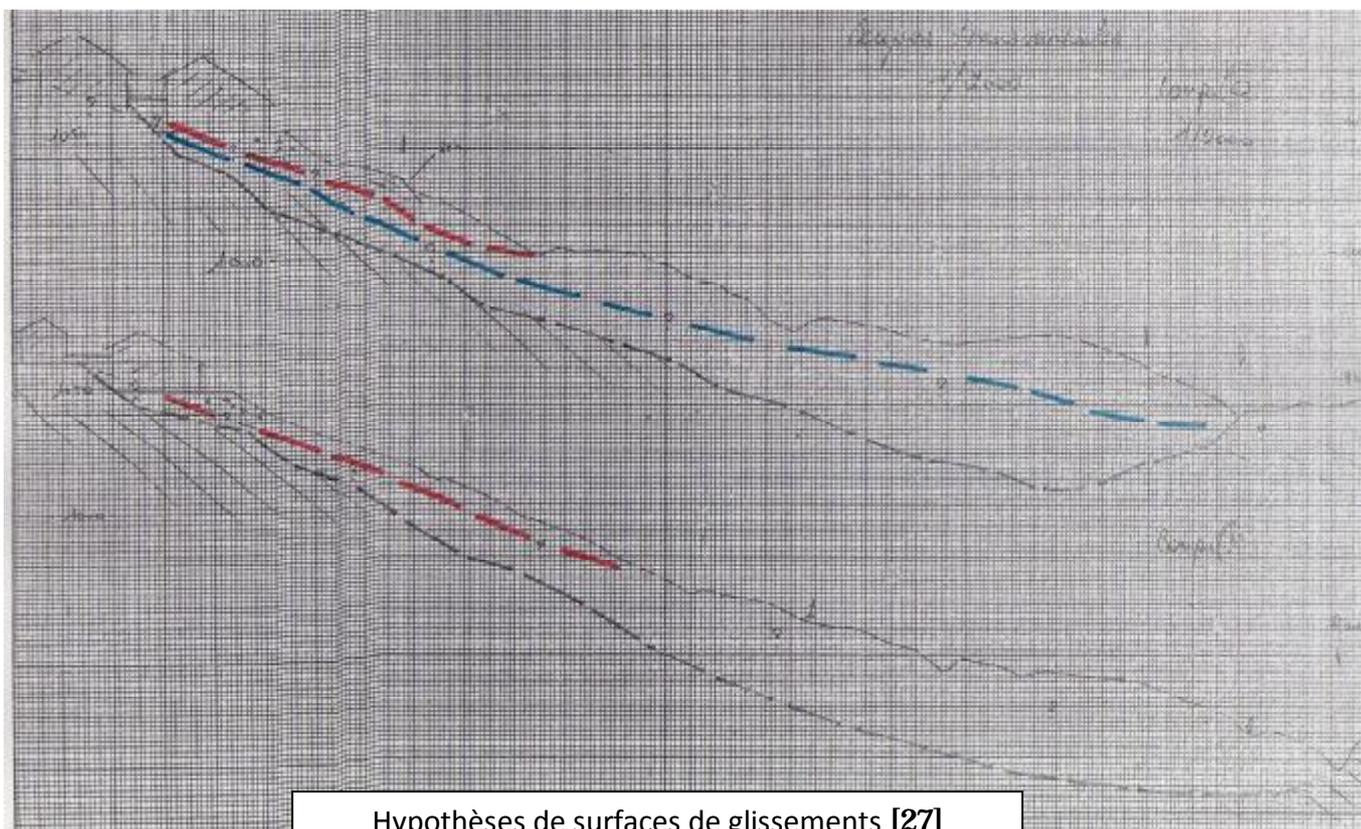
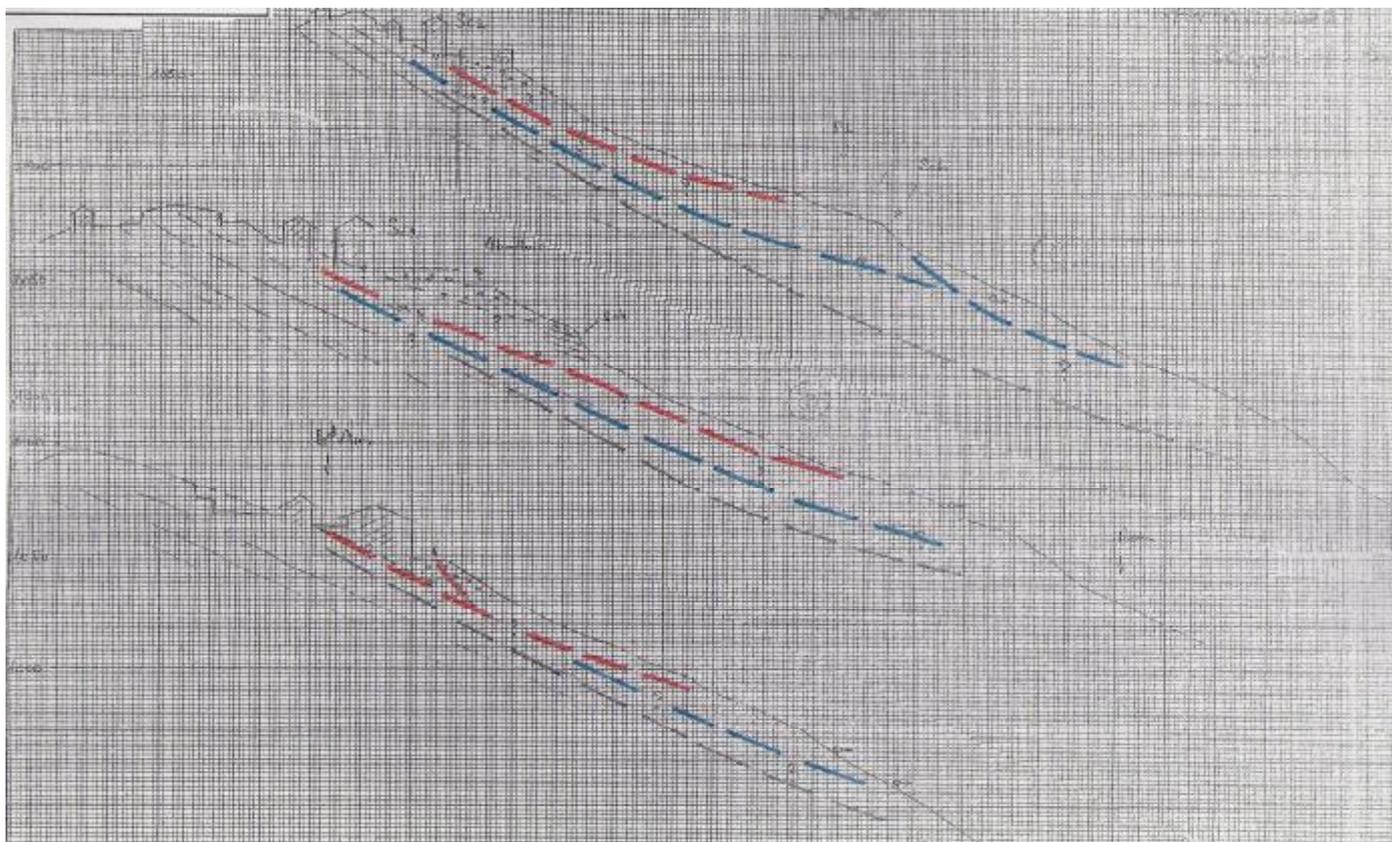
Plan de situation des coupes géologiques (A-H)
[27]



Plan des coupes géologiques du versant (A-E) [27]

ANNEXE [C]

Coupes des hypothèses de surfaces de glissements



Hypothèses de surfaces de glissements [27]

ANNEXE [D]

**résultats d'analyses du sol
(physiques, mécaniques et chimiques)**

ESSAIS AU LABORATOIRE

Un programme d'essais de laboratoire de type physique et mécanique et des analyses chimiques du sol et de l'eau a été établi et exécuté.

1- Résultats des essais physico-mécaniques

Les résultats obtenus à partir des essais physico-mécaniques effectués sur des échantillons de sol intacts et remaniés prélevés au niveau des cinq sondages sont résumés ci-dessous : [29]

✓ Le recouvrement superficiel se caractérise par [29]

- Un état non saturé avec des teneurs en eau naturelles assez faibles qui varient de 7.71 à 13.61%.
- Une granulométrie caractéristique d'un sol essentiellement grossier et hétérogène.
- Des densités sèches moyennes à élevées. Elles varient de 1.88 à 2.02 t/m³.
- Un état très peu plastique ($W_L \approx 24\%$ et $I_p \approx 3.43\%$).
- Des Cohésions faibles et des angles de frottement élevés. Soit, une cohésion de 0.17 à 0.34 [Bars], pour des angles de frottement qui varient de 36.80° à 46.51°.
- Un état peu consolidé, non gonflant et moyennement compressible. Soit ; ($0.59 < P_c \text{ Bars} < 1.84$; $1.19\% < C_g < 2.06\%$ et $15.81\% < C_c < 16.13\%$).

✓ Les niveaux altérés et friables de la formation schisteuse en place se caractérisent par [29]

- Des teneurs en eau naturelle faibles et très variables ($4,38 < W\% < 11.65 \%$).
- Des densités sèches moyennes à élevées. Elles varient de 1.79 à 2.31 t/m³.
- Une granulométrie caractéristique d'un sol essentiellement grossier et hétérogène.
- Un état très peu plastique ($19.05 < W_L < 31.78$ et $1.47 < I_p < 7.3$).
- Des Cohésions faibles et des angles de frottement assez élevés. Soit, une cohésion de 0.09 à 0.58 [Bars], pour des angles de frottement qui varient de 14.27° à 35.37°.
- Un état peu à moyennement consolidé, non gonflant et moyennement compressible. Soit, ($1.14 < P_c \text{ Bars} < 1.25$; $1.30\% < C_g < 1.51\%$ et $10.86\% < C_c < 11.15\%$).

Synthèse des résultats des essais d'identification physique [29]

Sondages	Sc1	Sc1	Sc1	Sc2	Sc2	Sc3	Sc3	Sc3	Sc5	Sc5	Sc5
Ech/ Profond (m)	4.00 – 4.20	13.00 – 13.10	19.00 – 19.10	2.00 – 2.20	6.00 – 6.20	6.50 – 6.70	16.50 – 16.70	23.00 – 23.95	4.50 – 4.70	9.50 – 9.70	13.20 – 13.40
gh (t/m3)	2.21	2.30	2.29	2.21	2.41	2.13	2.00	1.99	2.08	1.98	1.96
gd (t/m3)	2.02	2.10	2.17	2.05	2.31	1.88	1.83	1.79	1.88	1.85	1.79
W %	10.28	9.46	5.35	7.71	4.38	13.61	9.44	11.65	10.58	6.84	9.13
Wsat %	12.76	10.60	8.94	11.74	6.24	16.30	17.69	18.97	16.11	16.94	18.78
Sr%	80.57	89.26	59.79	65.71	70.25	83.54	53.36	61.45	65.68	40.36	48.63

1- Résultats des analyses chimiques du sol

Les résultats des analyses chimiques effectuées sur des échantillons de sol prélevés au niveau des sondages carottés exécutés sont résumés dans tableaux récapitulatifs.

Les résultats obtenus attestent que les échantillons analysés ne présentent aucune agressivité notable vis-à-vis des bétons en infrastructure [29]. En effet,

- Les taux de sulfates obtenus varient de 0.05 à 0.12% (Classe A0) ;
- Les taux de chlorures sont de l'ordre de l'ordre de 0.019 %.
- Les valeurs du PH obtenues varient de 7.88 à 8.41 ;
- Les taux de carbonates sont inférieurs 0.22%.

Les résultats de l'analyse chimique du sol [29]

<i>Sondage</i>	S1	S1	S2	S2	S4	S4
<i>Profondeur (m)</i>	6.50-6.95	10.50-10.90	4.00-4.20	10.00-1.20	5.30-5.50	9.00-9.20
<i>Teneur SO₄⁻ (%)</i>	0.06	0.15	0.10	0.05	0.06	0.06
<i>Symbole classe agressivité</i>	A0	A0	A0	A0	A0	A0
<i>pH</i>	8.15	8.33	8.30	8.36	8.41	8.38
<i>Symbole classe agressivité</i>	A0	A0	A0	A0	A0	A0
<i>Classe d'agressivité</i>	A0	A0	A0	A0	A0	A0
<i>Teneur Cl (%)</i>	0.048	0.048	0.019	0.038	0.038	0.019
<i>Teneur en carbonates(%)</i>	0.10	0.20	0.10	0.22	0.60	0.21

<i>— Sondage</i>	SC03	SC03	SC03	SC05	SC05
<i>Profondeur (m)</i>	4.00-4.20	8.00-8.20	20.00-20.20	6.50-6.70	12.00-12.20
<i>Teneur SO₄⁻ (%)</i>	0.08	0.05	0.05	0.10	0.12
<i>Symbole classe agressivité</i>	A0	A0	A0	A0	A0
<i>pH</i>	7.88	8.20	8.06	8.15	8.10
<i>Symbole classe agressivité</i>	A0	A0	A0	A0	A0
<i>Classe d'agressivité</i>	A0	A0	A0	A0	A0
<i>Teneur Cl (%)</i>	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019
<i>Teneur en carbonates(%)</i>	0.22	<0.20	0.22	0.22	<0.20

Symbole classe d'agressivité A0 : Environnement non agressif
Niveau de protection : 1

ANNEXE [E]

résultats des analyses chimiques de l'eau

1- Résultats des analyses chimiques de l'eau

Afin de vérifier l'état d'agressivité des eaux d'infiltration qui s'effectuent au niveau du site, un échantillon d'eau a été prélevé au niveau du sondage piézométrique SC05 et soumis à une analyse chimique [29].

Les résultats obtenus sont résumés dans un tableau ci-dessous. Ces résultats attestent que l'échantillon d'eau analysé ne présente une agressivité notable [29].

- La teneur en sulfates est 65.47mg/l.
- La teneur en chlorures est 60.80 mg/l.
- La valeur du PH obtenue est de 7.33 ;

Résultats de l'analyse chimique de l'eau au niveau du sondage SC05 [29]

<i>Sondage</i>	S5 (Eau)
<i>Teneur SO₄⁻ (mg/l)</i>	65.47
<i>Symbole classe agressivité</i>	A0
<i>pH</i>	7.33
<i>Symbole classe agressivité</i>	A0
<i>Classe d'agressivité</i>	A0
<i>Teneur Cl (mg/l)</i>	60.80

Symbole classe d'agressivité A0 : Environnement non agressif
Niveau de protection : 1

ANNEXE [F]

le système d'information géographique

Introduction

L'utilisation des systèmes d'informations géographiques nous permet d'associer une base de données à une carte muette (carte d'état majeure, photographie aérienne, photo satellite...) et nous permet aussi d'interroger les cartes et de modifier l'information en fonction des données récentes et d'intégrer toutes les informations nouvelles dans la base de donnée initiale. Ce système est considéré comme étant un système d'aide à la décision, ceci en effectuant des analyses thématiques nous permettons de localiser et de mieux cerner le problème étudié.

En fait, ce système une fois conçue permet la collecte, la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation et l'affichage de données à références spatiales.

Présentation du travail

Afin de réaliser le système d'information géographique nous avons procédé comme suit :

1) Calage des cartes

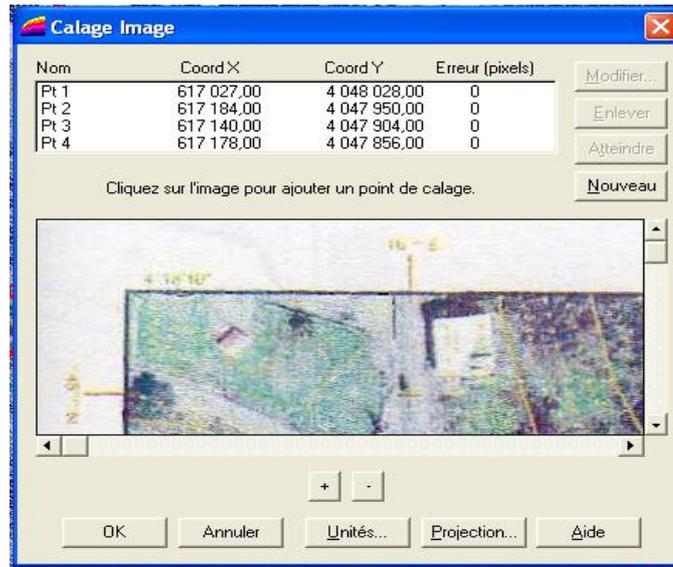
Afin de pouvoir exploiter les cartes et les photographies aériennes (données dans le rapport préliminaire de la phase A du groupement « ANTEA-TTI-HYDROENVIRONNEMENT ») elles ont été scannées et calées sur Mapinfo version 6.5. Cette étape consiste à introduire les coordonnées (X.Y) de la photographie aérienne afin de la géo référencier.

Pour caler les cartes on procède comme suit :

- a. Ouvrir la carte sur mapinfo en cliquant : *fichier* > *ouvrir table* ; on choisit le type de fichier : *Fichier de type* > *image raster* et on ouvre la carte



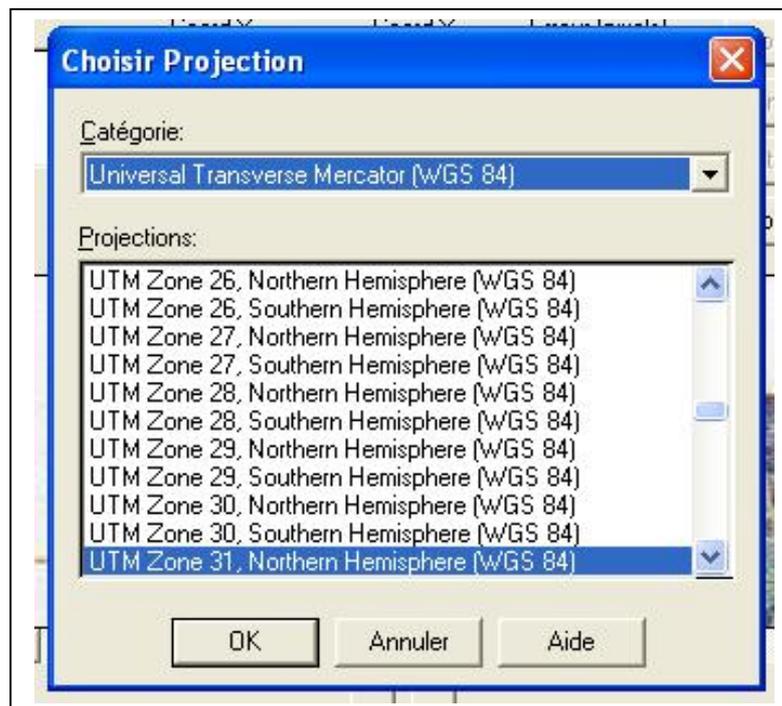
b. Cliquer : *table > image raster > modifier calage* ;



c. Choisir l'unité à l'aide du bouton « unités » (voir la figure ci-dessus) ;

d. Définir le type de projection à l'aide du bouton « projection » (voir la figure ci-dessus)

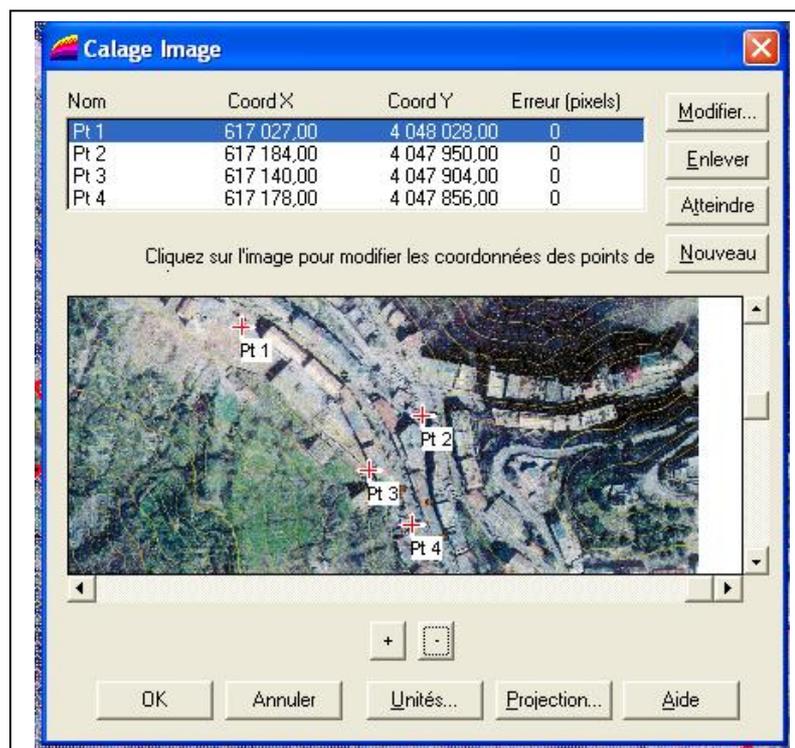
- Catégorie UTM (WGS 84)
- Projection : UTM zone 31, northern



- e. Cliquer sur les points de calage et entrer les coordonnées (X,Y) correspondant au point ;
- f. Enregistrer la carte calée.

- **Calage des photographies aériennes**

- Ouvrir la carte, photographie aérienne (1 ou 2), sur mapinfo en cliquant : *fichier > ouvrir table*, on choisit le type de fichier à l'aide de : *Fichier de type > image raster* ; et on ouvre la table « *photographie aérienne* »
 - Cliquer : *table > image raster > modifier calage* ;
 - Choisir l'unité à l'aide du bouton « unités » (on choisit : mètres) ;
 - Définir le type de projection à l'aide du bouton « projection » (voir la figure ci-dessus)
 - Catégorie UTM (WGS 84)
 - Projection : UTM zone 31, northern
 - Cliquer sur les points de calage et entrer les coordonnées (X,Y) correspondant au point ;
- Avec :
- ü Pt 1 correspond au sondage SC03
 - ü Pt 2 correspond au sondage SC04
 - ü Pt 3 correspond au sondage SC02
 - ü Pt 4 correspond au sondage SC01

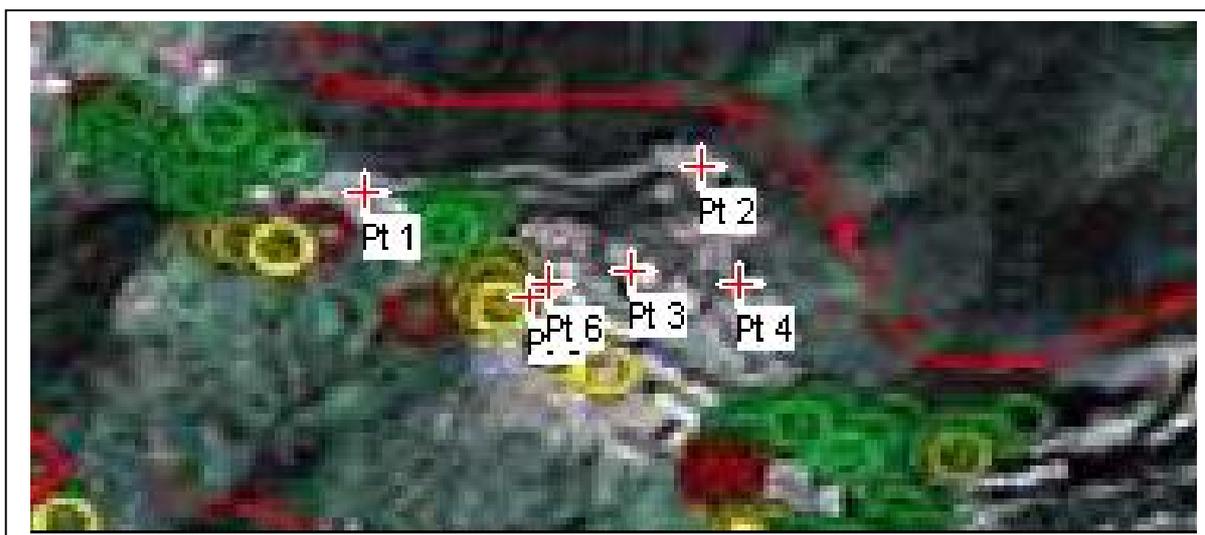


- Les cartes sont enregistrées sous : *photo aérienne calée.tab*
photo aérienne calée 2.tab

- **Calage de la carte des déplacements entre 1995 et 2000**

Afin de caler cette carte nous avons suivi la même procédure (procédure de calage des photographies aériennes).

Les coordonnées (X.Y) utilisées pour le calage de cette carte sont :



Pt 1 : X= 616818,60	Y= 4048205,85
Pt 2 : X= 617068,29	Y= 4048237,51
Pt 3 : X= 617038,53	Y= 4048129,70
Pt 4 : X= 617117,52	Y= 4048129,19
Pt 5 : X= 616983,83	Y= 4048085,79
Pt 6 : X= 616999,34	Y= 4048096,66

- La table est enregistrée sous : *déplacements 95-2000.tab*

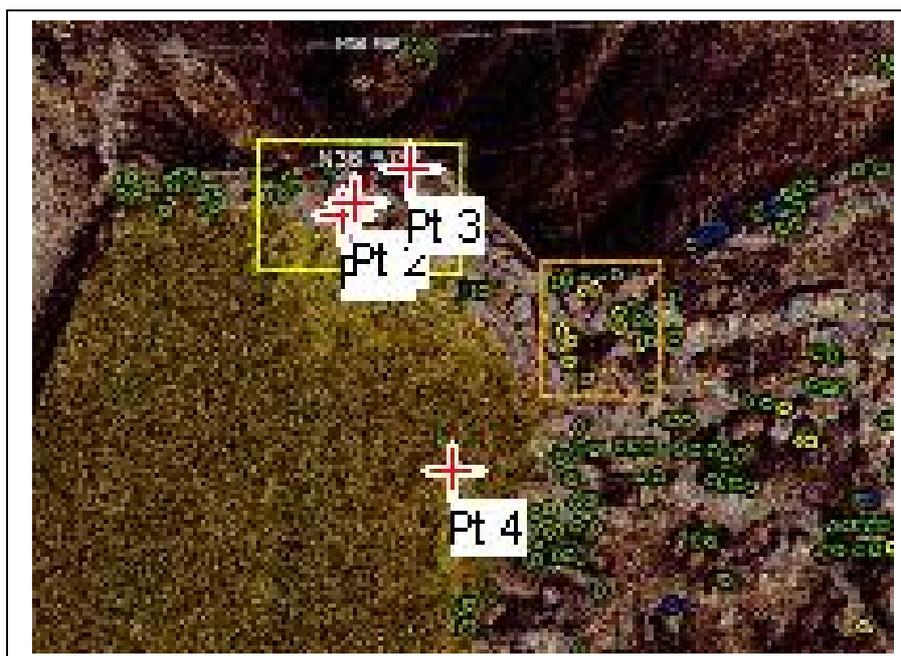
- **Calage de la carte « déplacements 2004-2009 »**

Nous avons suivi la même procédure pour le calage de la carte.

Les coordonnées des points de calage sont :

Pt 5 : X= 616985,41	Y= 4048087,41
Pt 6 : X= 616999,34	Y= 4048096,66
Pt 5 : X= 617058,65	Y= 4048124,70
Pt 6 : X= 616109,10	Y= 4047810,90

- La table calée est enregistrée sous : *déplacements 2004-2009*



2) Vectorielisation des cartes (construction des différentes couches)

Cette étape nous permet de tracer les limites des objets spatiaux ou de définir des surfaces et des objets. Pour ce faire on utilise plusieurs types d'éléments (les points, les lignes, les polygones).

a. Zone instable définie par le groupement

Afin de pouvoir caler la zone instable définie par le groupement « ANTEA-TTI-HYDROENVIRONNEMENT » sur celle définie dans le cadre de ce projet et pouvoir effectuer une comparaison nous avons procédé à la vectorielisation de la table « photo aérienne calée.tab » en utilisant l'élément polygone. Pour construire cette couche nous avons procédé comme suit :

- Appuyer sur le bouton droit de la souris ;
- Cliquer : gestion des couches ;
- Rendre la couche modifiable (cocher la case « modifiable » voir la figure) ;



- Choisir le style de polygone ;
- Dessiner les limites de la zone ;
- Enregistrer la couche de dessin sous : *INSTAB DEF FRANC.tab*

b. Zone instable définie dans le cadre du projet

Afin de déterminer la zone instable nous avons procédé à la vécitorialisation de la table « photographie aérienne calée.tab » en utilisant des éléments polygone (on suit la même procédure).

La couche de dessin est enregistré sous : *zone en mouv def.tab*

c. L'escarpement

L'escarpement observé sur site a été positionné sur la photographie aérienne en utilisant des éléments lignes. Pour cela nous avons procédé comme suit :

- Appuyer sur le bouton droit de la souris ;
- Cliquer : gestion des couches ;
- Rendre la couche modifiable (cocher la case « modifiable ») ;
- Choisir le style de ligne ;
- Dessiner la limite de l'escarpement en utilisant une poly-ligne ;
- Enregistrer la couche de dessin sous : *RUP menuiserie.tab*

d. Les sondages carottés

Les sondages carottés sont positionnés sur la photographie aérienne calée en utilisant des éléments point (symbole). Pour ce faire nous avons suivi la procédure suivante :

- Appuyer sur le bouton droit de la souris ;

- Cliquer : gestion des couches ;
- Rendre la couche modifiable (cocher la case « modifiable ») ;
- Choisir le style de symbole ;
- Positionner les sondages ;

Enregistrer la couche de dessin sous : *implantation des sondages.tab*

e. Les points instables

Afin de pouvoir caler les points instables, définis entre 2004 et 2009, sur ceux définis entre 1995 et 2000, nous avons redessiné ces points sur une couche de dessin en respectant les couleurs figurant sur la carte (bleu, rouge, jaune). Pour construire cette couche nous avons procédé de la même manière que pour la construction de la couche « implantation des sondages ».

Enregistrer la couche de dessin sous : *points instables.tab*

3) Construction d'une base de données sur mapinfo

L'association d'une base de données aux couches de dessin nous permet d'interroger des cartes muettes et d'avoir les informations nécessaires rapidement et d'effectuer des analyses thématiques, des statistiques...

Afin de construire une base de données sur mapinfo on procède comme suit :

- Cliquer : *table> gestion des tables> modifier structure*
- Créer les champs



a. La zone instable

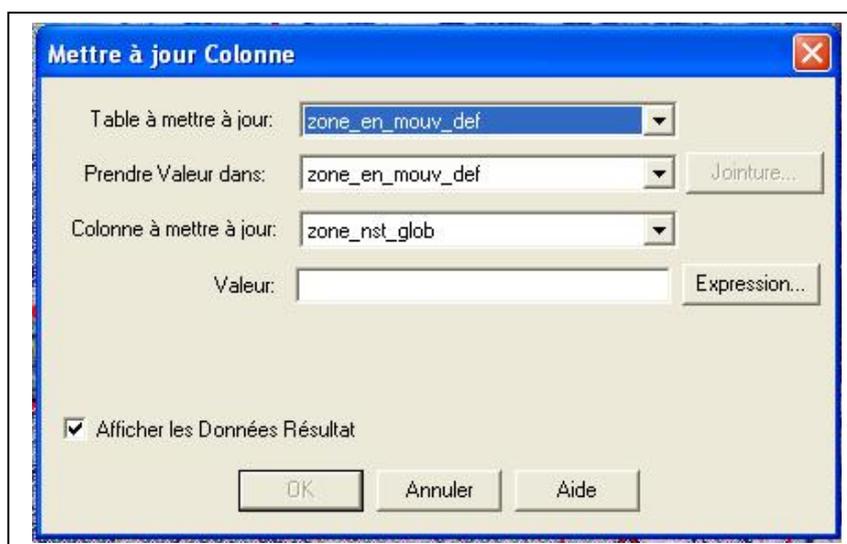
Une base de données a été associée à la « table zone en mouv def.tab ». la base de données contient 10 champs (zone_nst_glob ; perimetre_inst ; long_max ; largeur_max ; larg_cote950 ; larg_cote1000 ; dénivellation_ma ; surface_inst ; cote_somme ; cote_pied)

Remarque : le logiciel n'admet pas les vides et les ponctuations.

zone_nst_glob	perimetre_inst	long_max	largeur_max	larg_cote950	larg_cote1000	dénivellation_ma	surface_inst	cote_somme	cote_pied
zone instable de la ville	1 824,97	566	545	218	327	265	157 010,8	1 095	830

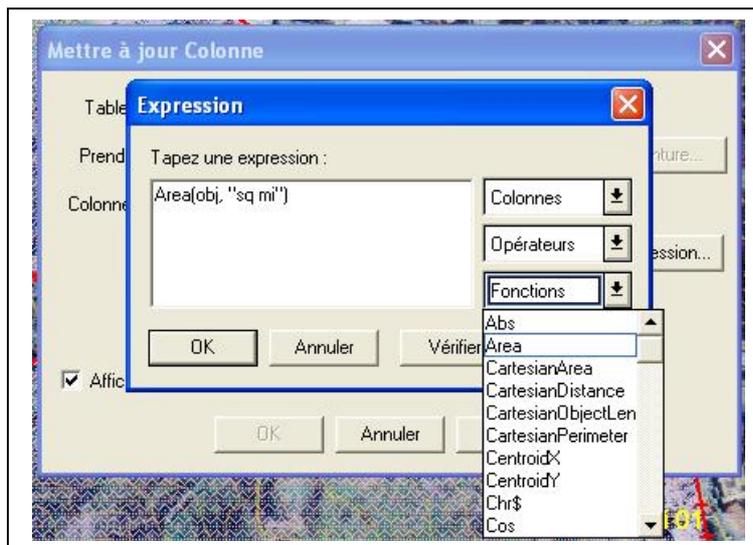
Base de données obtenue sur mapinfo pour la zone instable

Afin de mesurer la surface et le périmètre de la zone instable, nous avons procédé comme suit : *table> mettre à jour colonne* (prendre valeur dans la table « zone en mouv def.tab ») (voir la figure)



Pour calculer la surface instable nous avons suivi le cheminement suivant (voir figure) :

- ü Prendre valeur dans : la table « zone en mouv def.tab »
- ü Colonne à mettre à jour : surface_inst
- ü Cliquer sur : *expression > fonctions > area*



Pour calculer le périmètre instable on suit la procédure suivante :

- Ü Prendre valeur : dans la table « zone en mouv def.tab »
- Ü Colonne à mettre à jour : perimetre_inst
- Ü Cliquer sur : *expression* > *fonctions* > *perimeter*

Afin de remplir les autres colonnes on clique [i] et on tape les informations correspondant à chaque champ.

b. L'escarpement situé au sud de la menuiserie

Afin de définir cette couche 5 champs sont construits sur mapinfo (ID ; long_inst_m ; epaiss_escar_m_janvier ; epaiss_escar_m_avril ; date_detection)

Pour remplir les colonnes on clique [i] et on tape les informations correspondant à chaque colonne.

ID:	zone de rupture menuiserie
long_inst_m:	227
epaiss_escar_m_janvier:	1,2
epaiss_escar_m_avril:	1,5
date_detection:	septembre 2006

La base de données obtenue sur mapinfo pour la rupture menuiserie

c. Les sondages carottés

La couche où sont implantés les sondages carottés « implantation des sondages.tab » contient 8 champs (Nsondage ; X ; Y ; Z ; profondeur ; profondeursubstratum ; installation ; observation)
On procède de la même manière pour le remplissage de la base de données.

Nsondage	X	Y	Z	profondeur	profondeursubstratum	installation	observation
03	617 027	4 048 027	1 065	29,8	NON APPARENT	piezometre	completement obsuré
04	617 184	4 047 950	1 077	20,5	16	inclinometre	rupture à 16 m
01	617 178	4 047 856	1 068	29,5	26	piezometre	rupture à 11m
i02	617 169	4 047 888	1 070	47	41.50	inclinometre	le schiste est fracturé
i03	617 205	4 047 845	1 075	40	36.50	piezometre	aucune information
02	617 140	4 047 904	1 058	20	17	inclinometre	rupture à 17 m
05	617 116	4 047 986	1 070	25,5	14.50	piezometre	completement obsuré
i01	617 193	4 047 877	1 074	45,5	29.50	inclinometre	dégradé

La base de données obtenue sur mapinfo pour les sondages

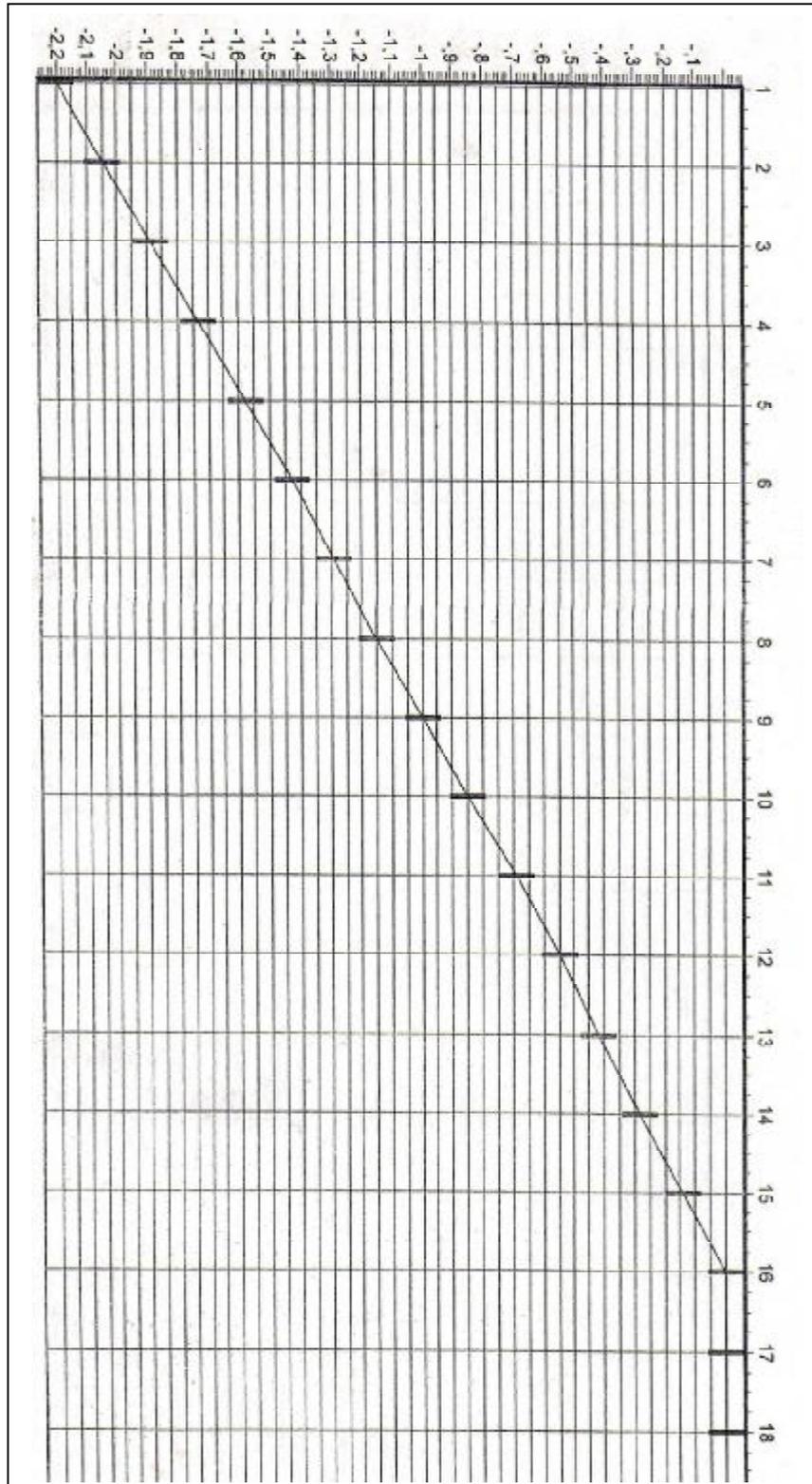
- Afin de comparer les mesures des déplacements réalisées pendant la période (1995-2000) et celles réalisées pendant la période (2004-2009) :
Ouvrir la table « *déplacements 95-2000.tab* » ;
Ouvrir la table « *déplacements 2004-2009.tab* »
Ouvrir la table « *points instables.tab* » ;
- ü Enregistrer le document sous : *dépla point sup.wor*
- Afin de comparer les mesures des déplacements réalisées pendant la période (1995-2000) et celles réalisées pendant la période (2004-2009) :
Ouvrir la table « *photo aérienne calée.tab* » ;
Ouvrir la table « *zone en mouv def.tab* »
Ouvrir la table « *INSTAB DEF FRANC.tab* » ;
- ü Enregistrer le document sous : *comparaison des surf inst.wor*
- Afin facilité l'utilisation des tables elles seront enregistrées sous un même document comme suit :
Ouvrir la table « *photo aérienne calée.tab* »
Ouvrir la table « *zone en mouv def.tab* »
Ouvrir la table « *RUP menuiserie.tab* »
Ouvrir la table « *implantation des sondages.tab* »
- ü Enregistrer le document sous : *étude d'inst compl.wor*

ANNEXE [G]

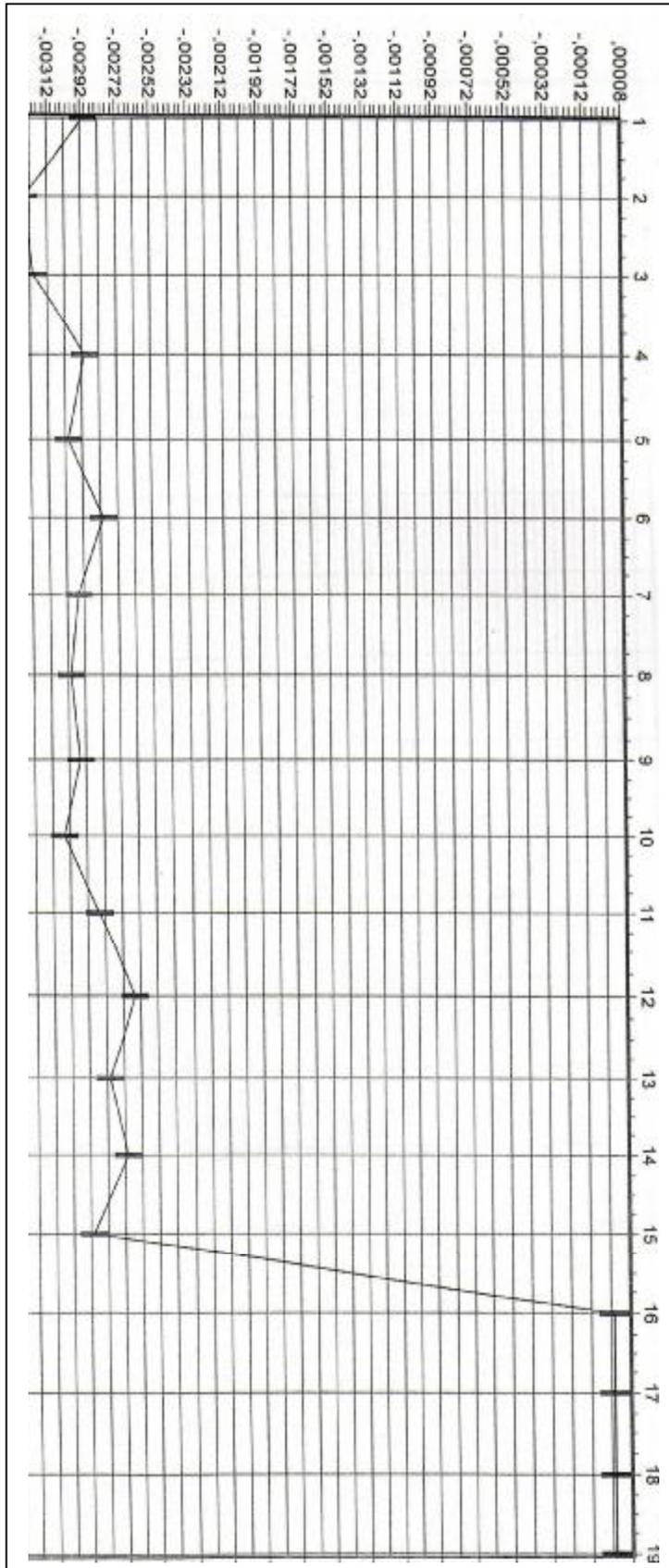
résultats des mesures inclinométriques

1. Résultats des mesures inclinométriques réalisées par GEOMICA

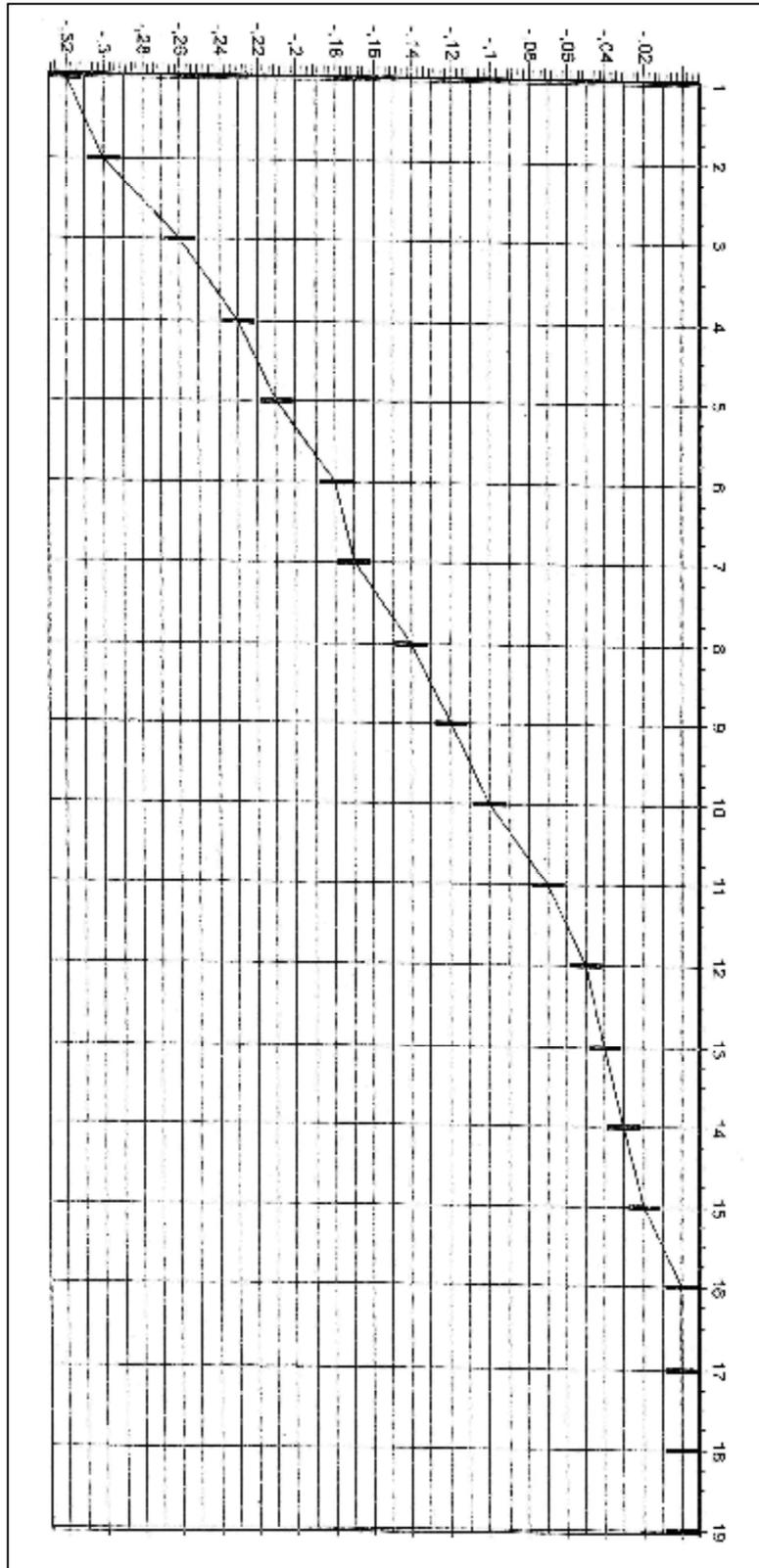
Résultats inclinométriques du sondage SC02
Déplacement relatif dans la direction principale.
Date de mesure : 15/04/2009



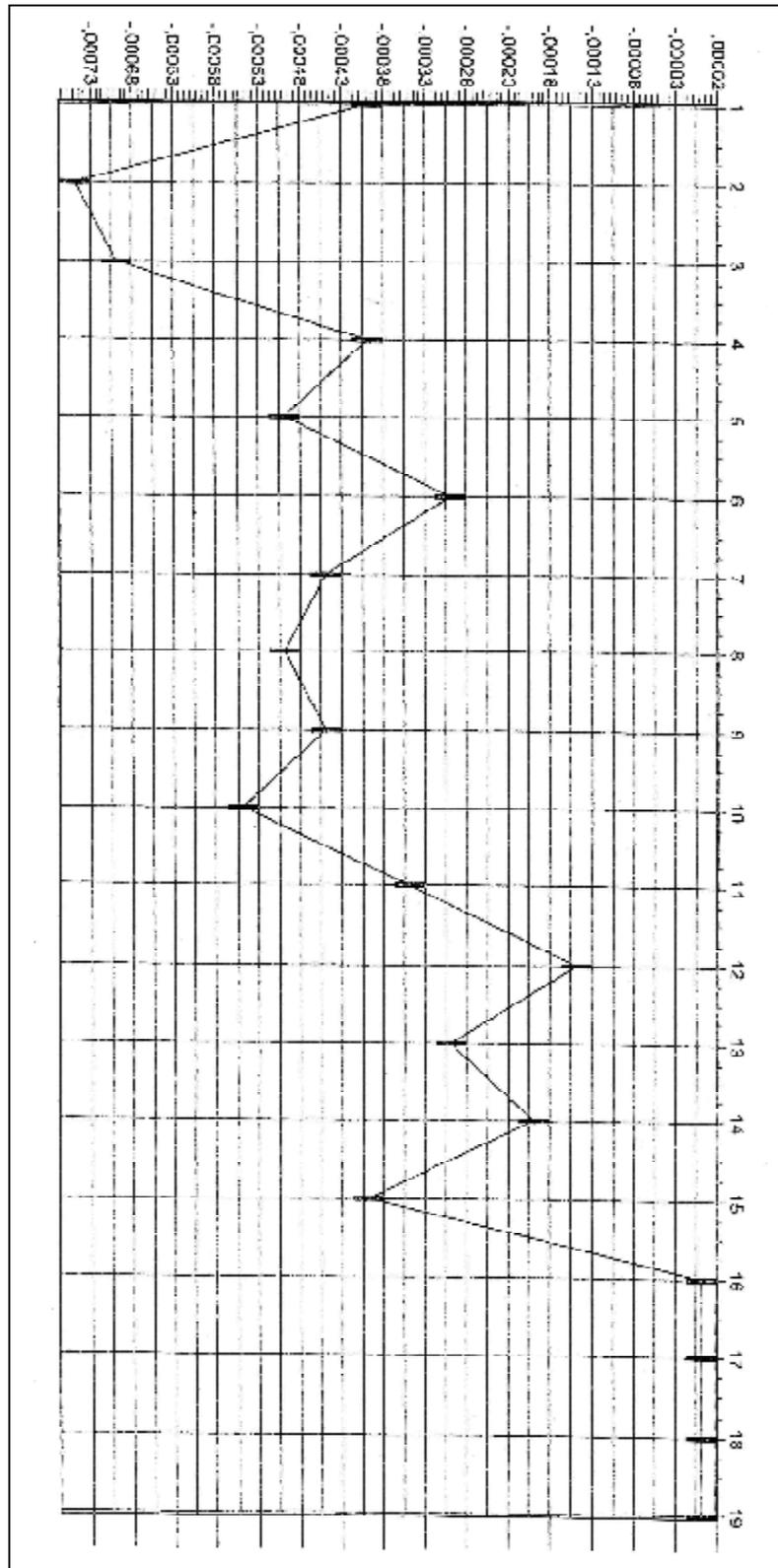
Variation angulaire relatives en radians dans la direction principale
Date de mesure : 21/04/2009



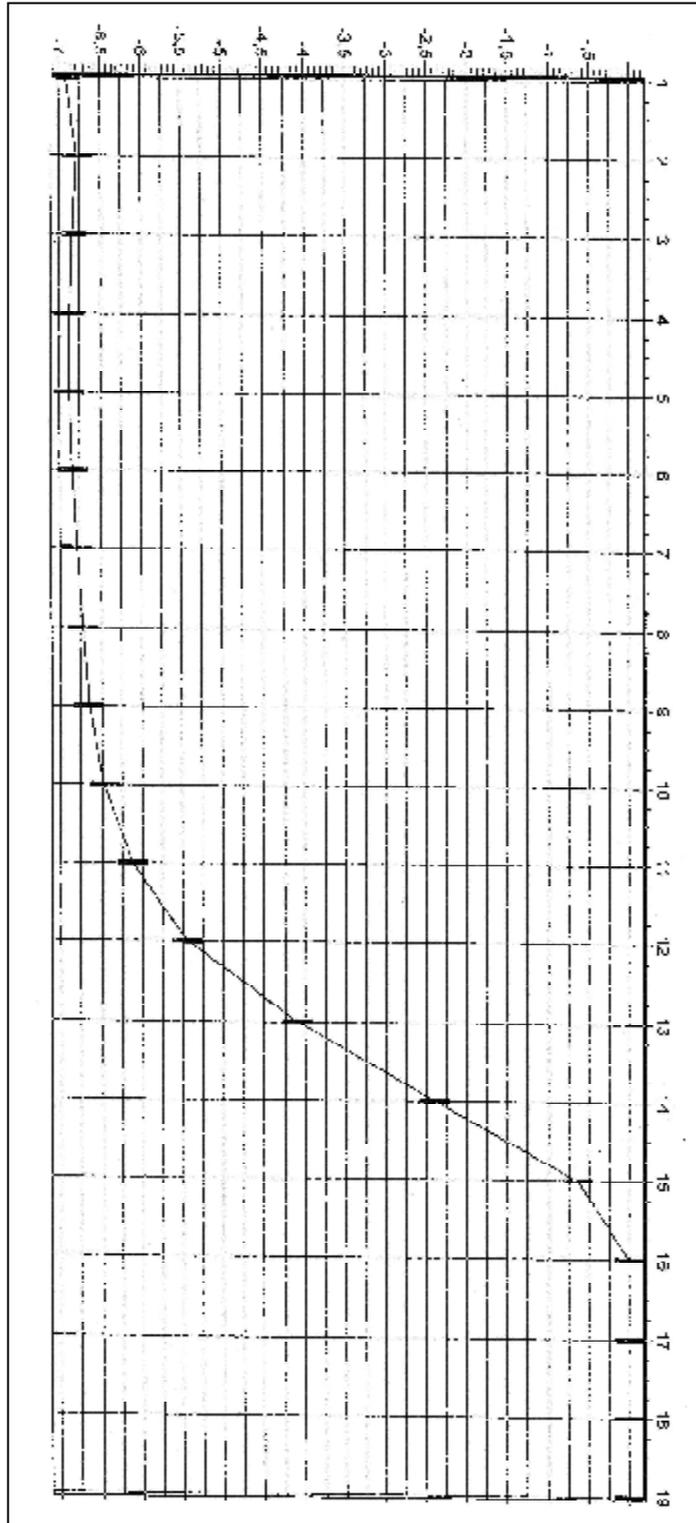
Déplacement dans la direction secondaire
Date de mesure : 21/04/2009



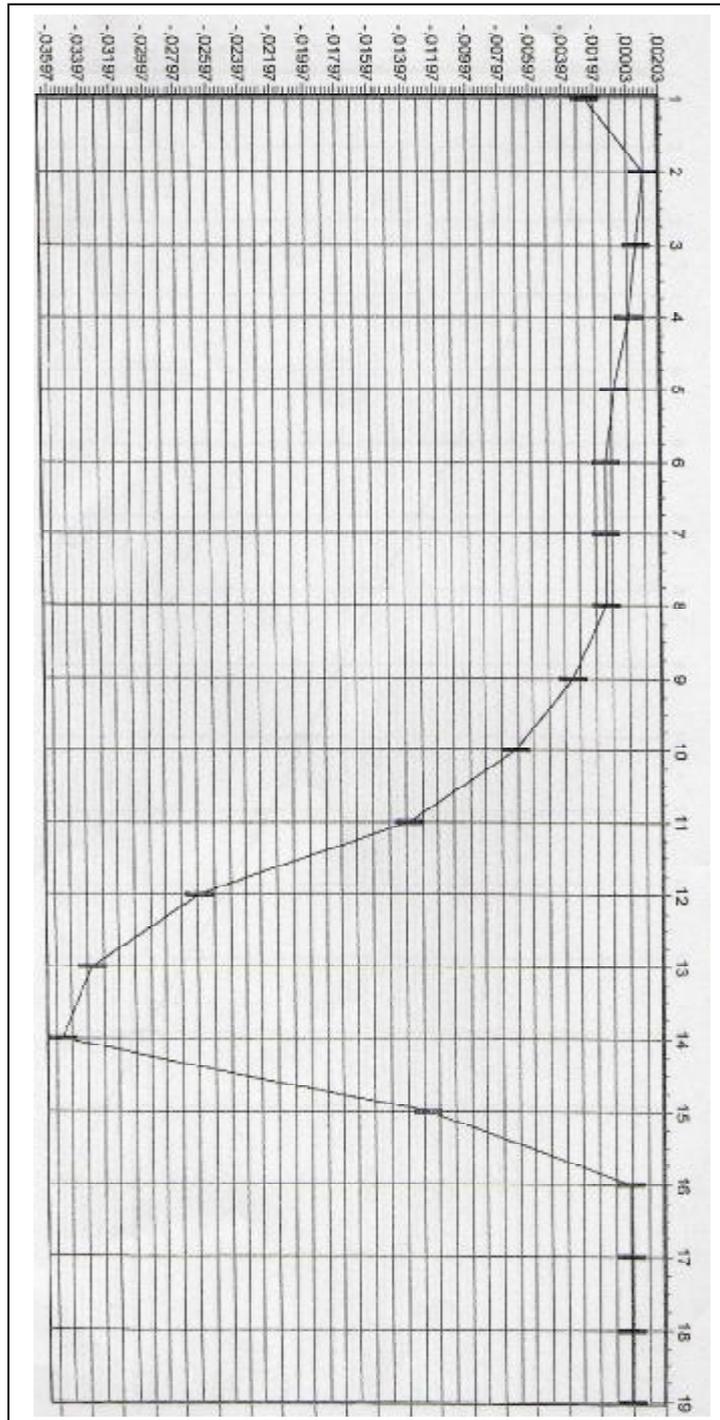
Variation angulaire en radian dans la direction secondaire
Date de mesure : 21/04/2009



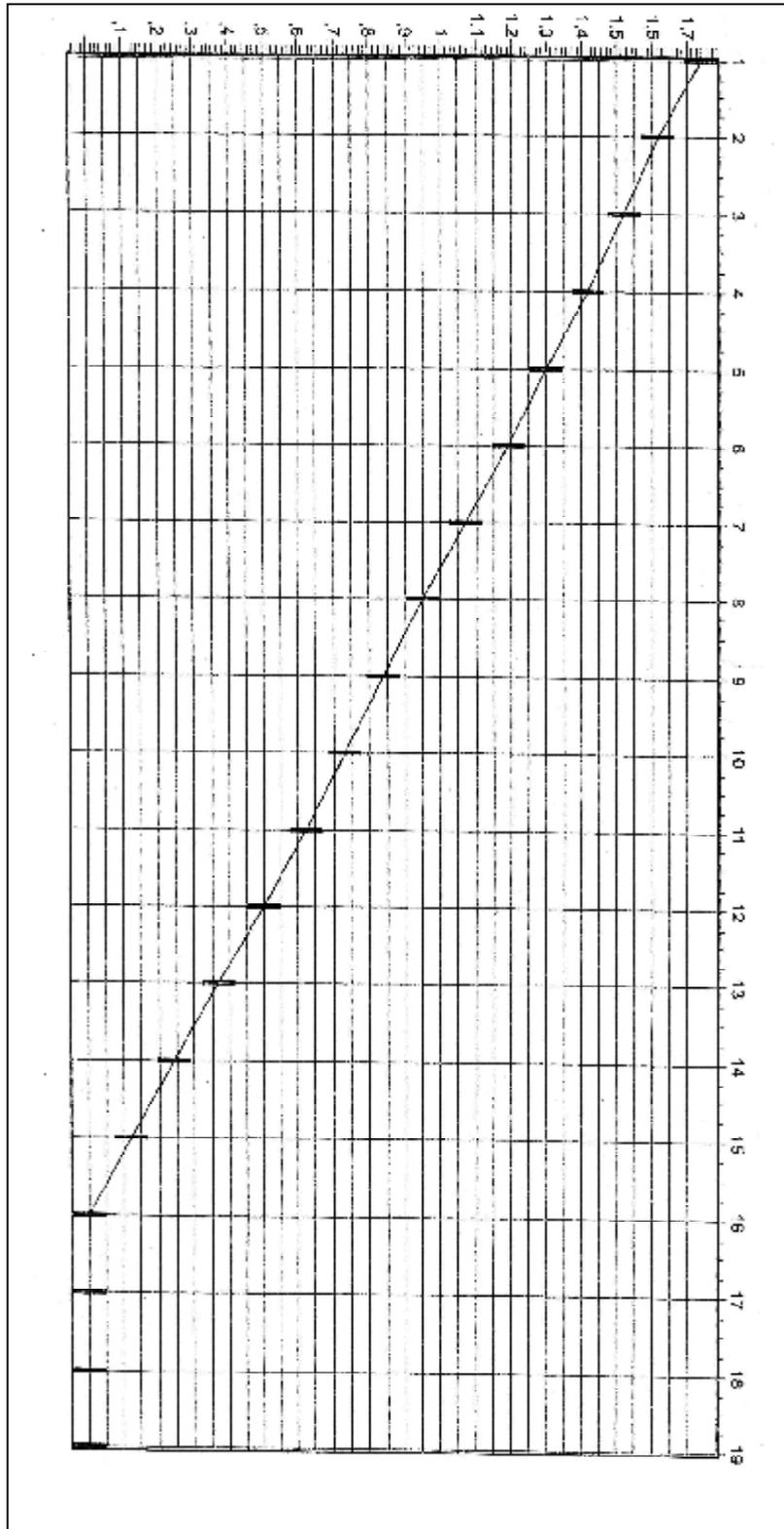
Déplacement dans direction principale
Data de mesure : 28/04/2009



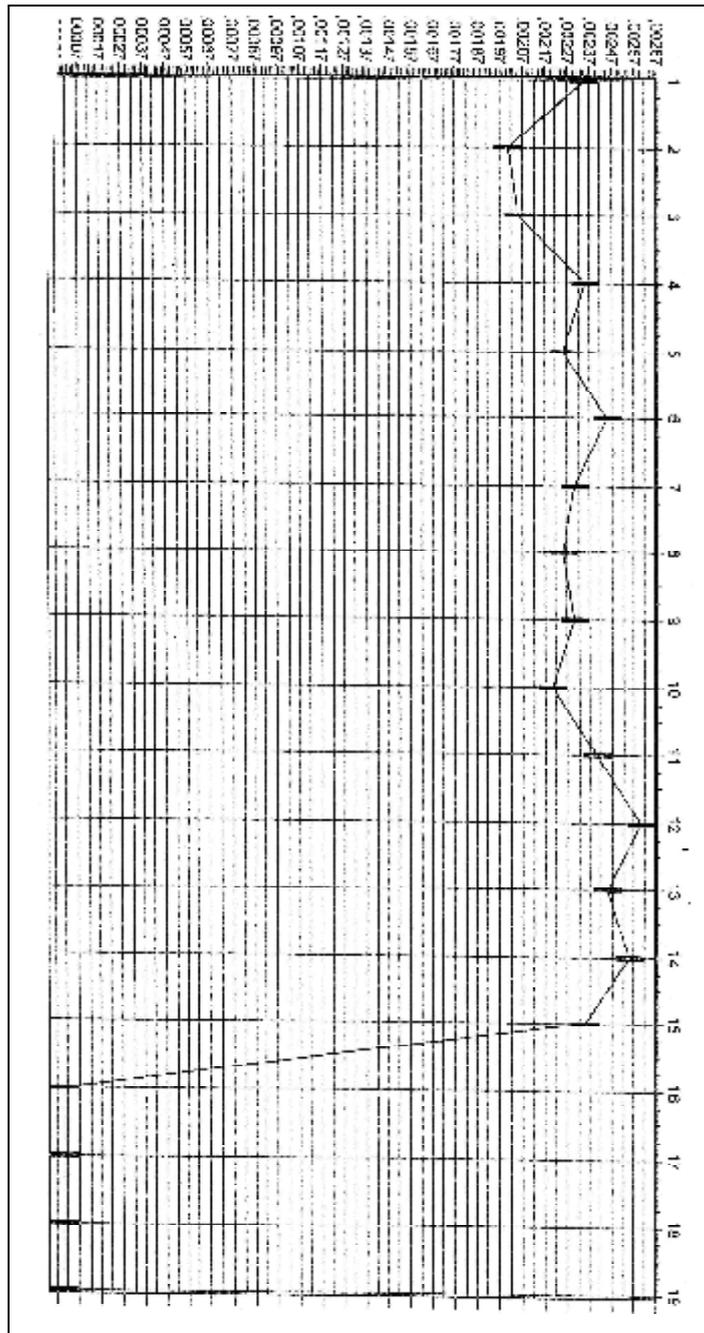
Variation angulaire relative en radians dans la direction principale
Date de mesure : 28/04/2009



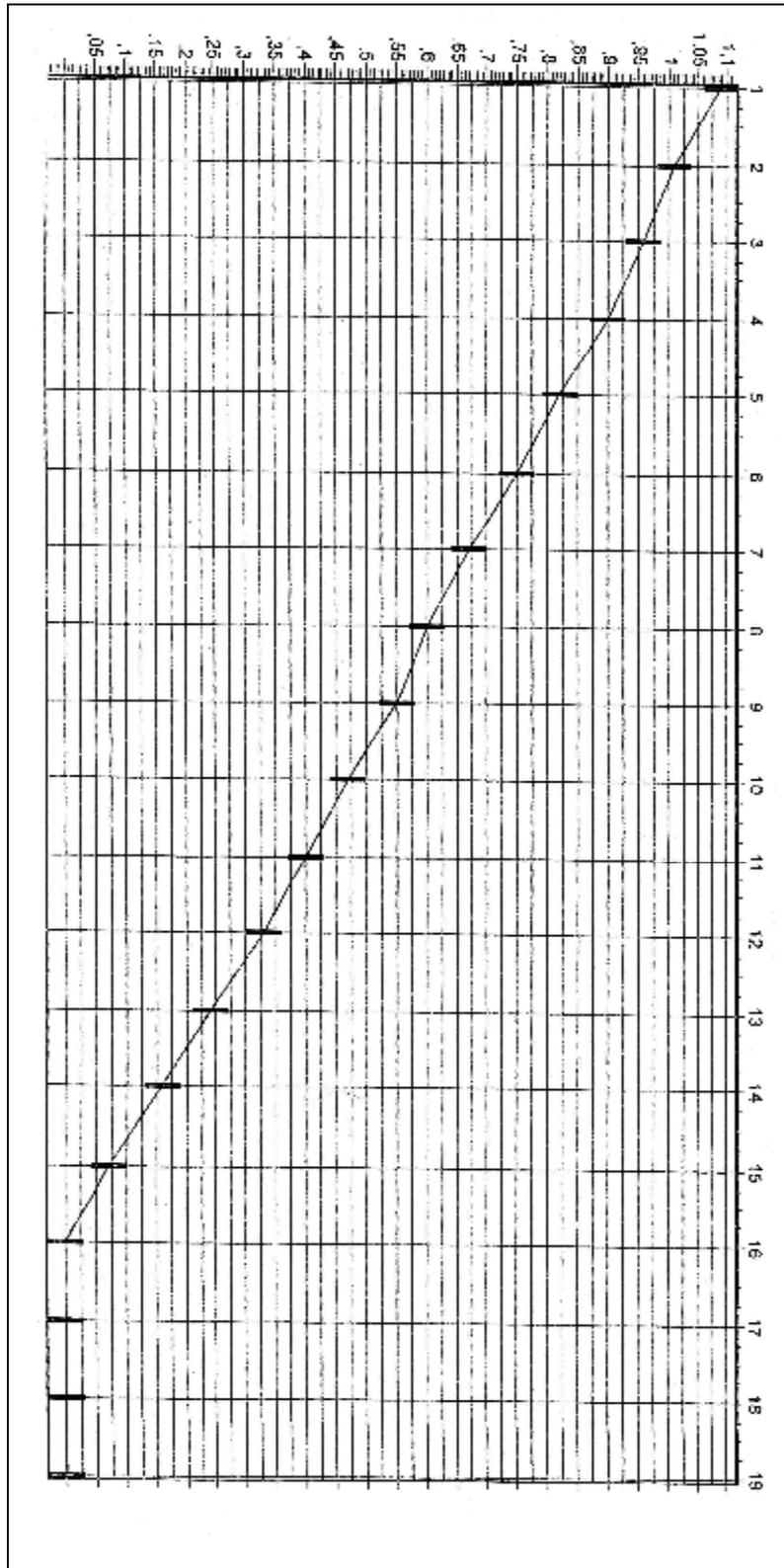
Déplacement relatif dans la direction principale
Date de mesure : 28/04/2009



Variation angulaire en radians dans la direction secondaire
Date de mesure : 28/04/2009

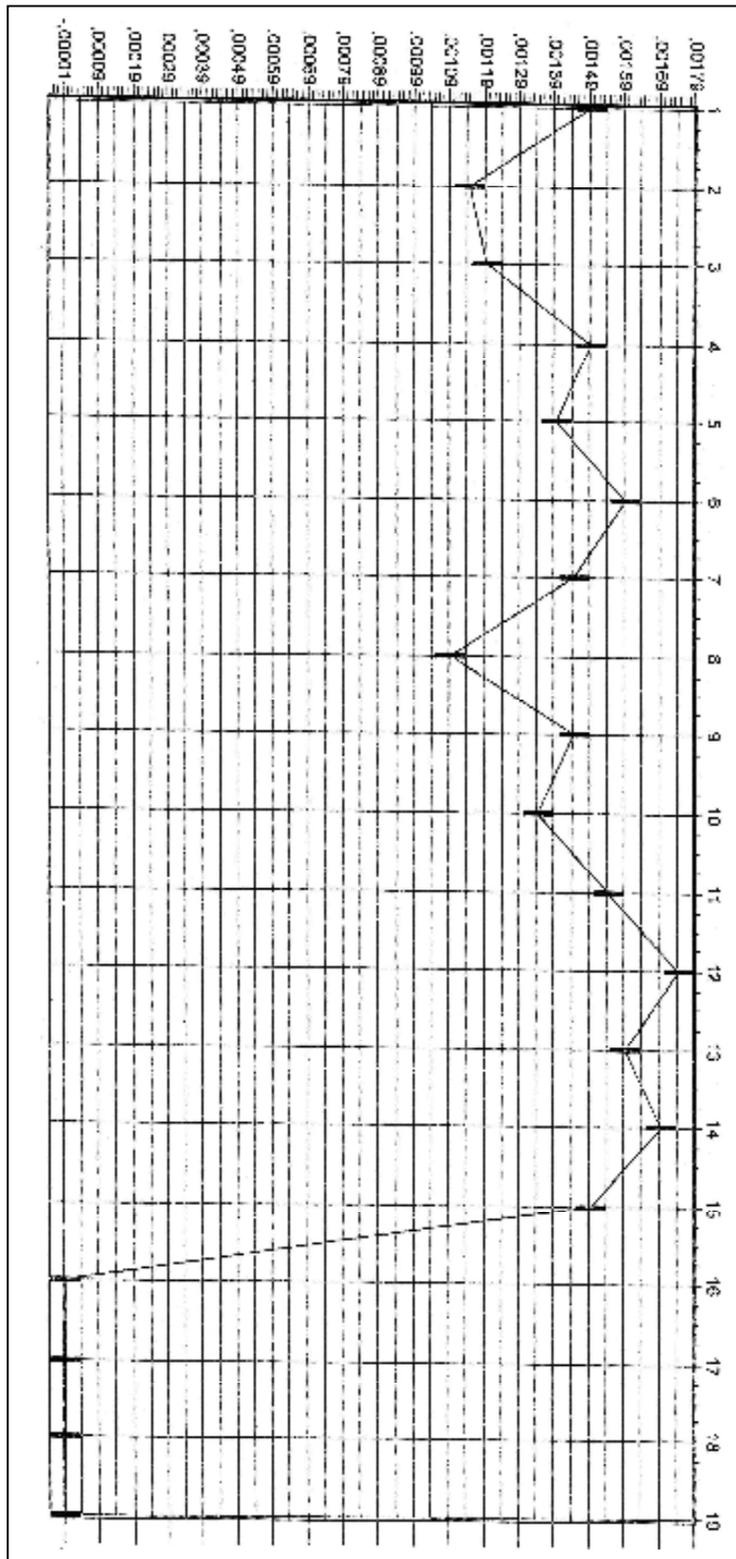


Résultats des mesures inclinométriques dans le sondage SC04
Déplacement relatif dans la direction secondaire
Date de mesure : 21/04/2009



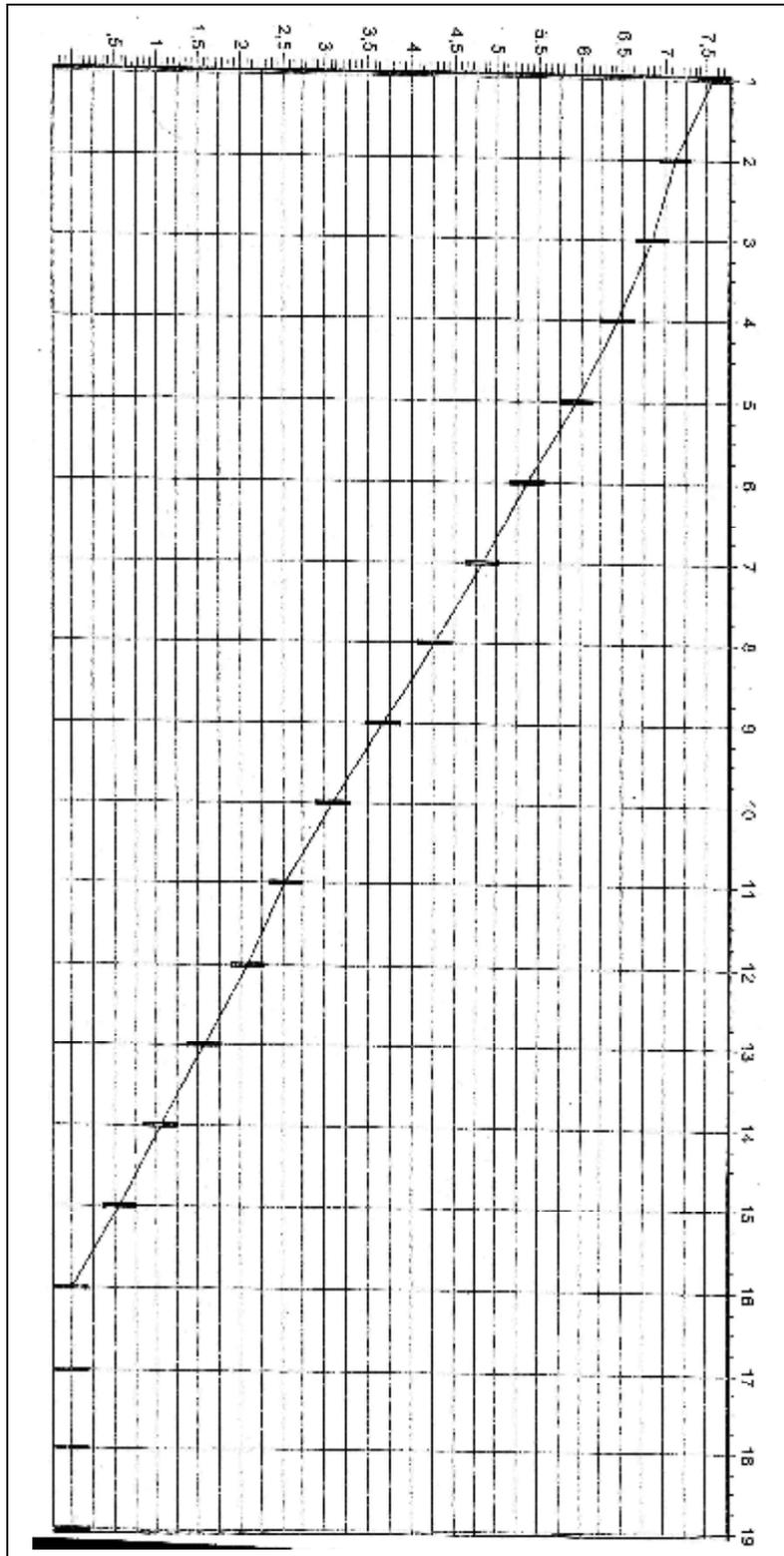
Variation angulaire dans la direction secondaire en radians

Date de mesure : 21/04/2009



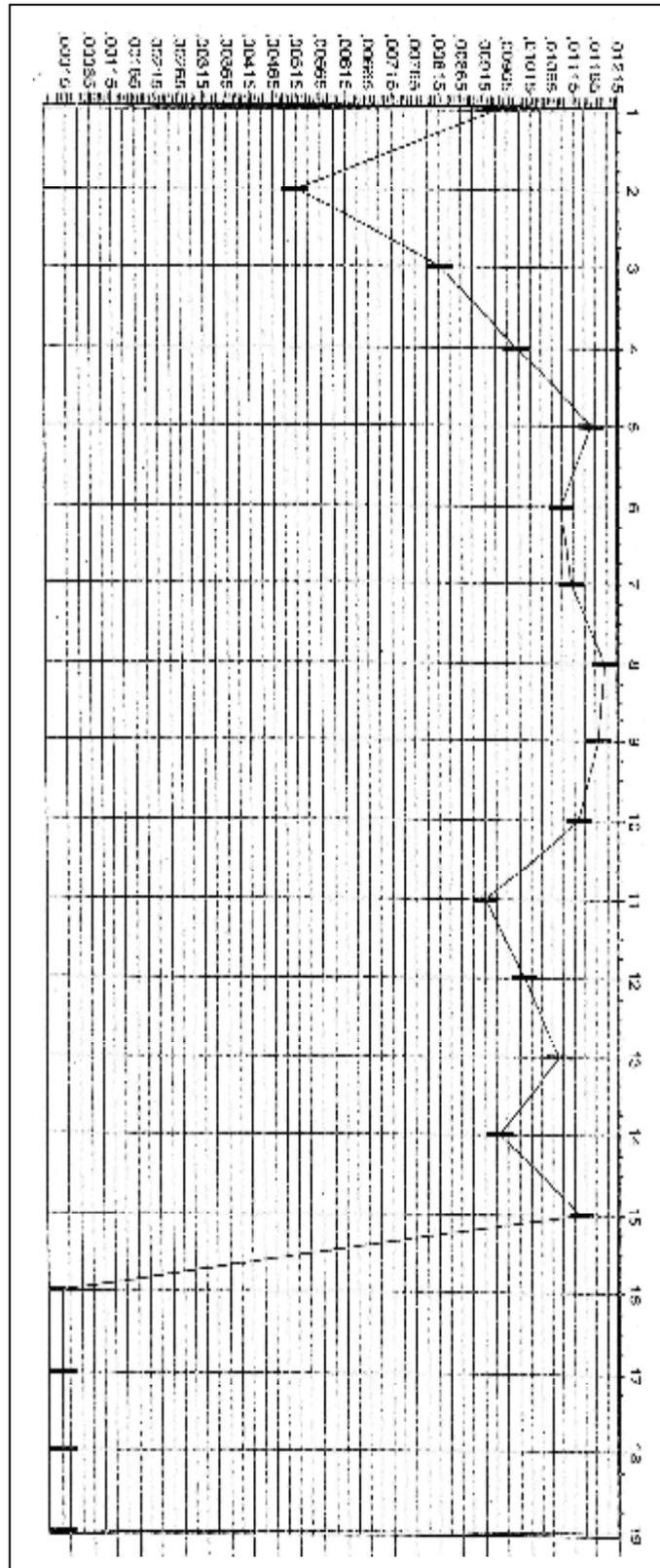
Déplacement relatif dans la direction principale

Date de mesure : 28/04/2009



Variation angulaire dans la direction secondaire en radians

Date de mesure : 28/04/2009



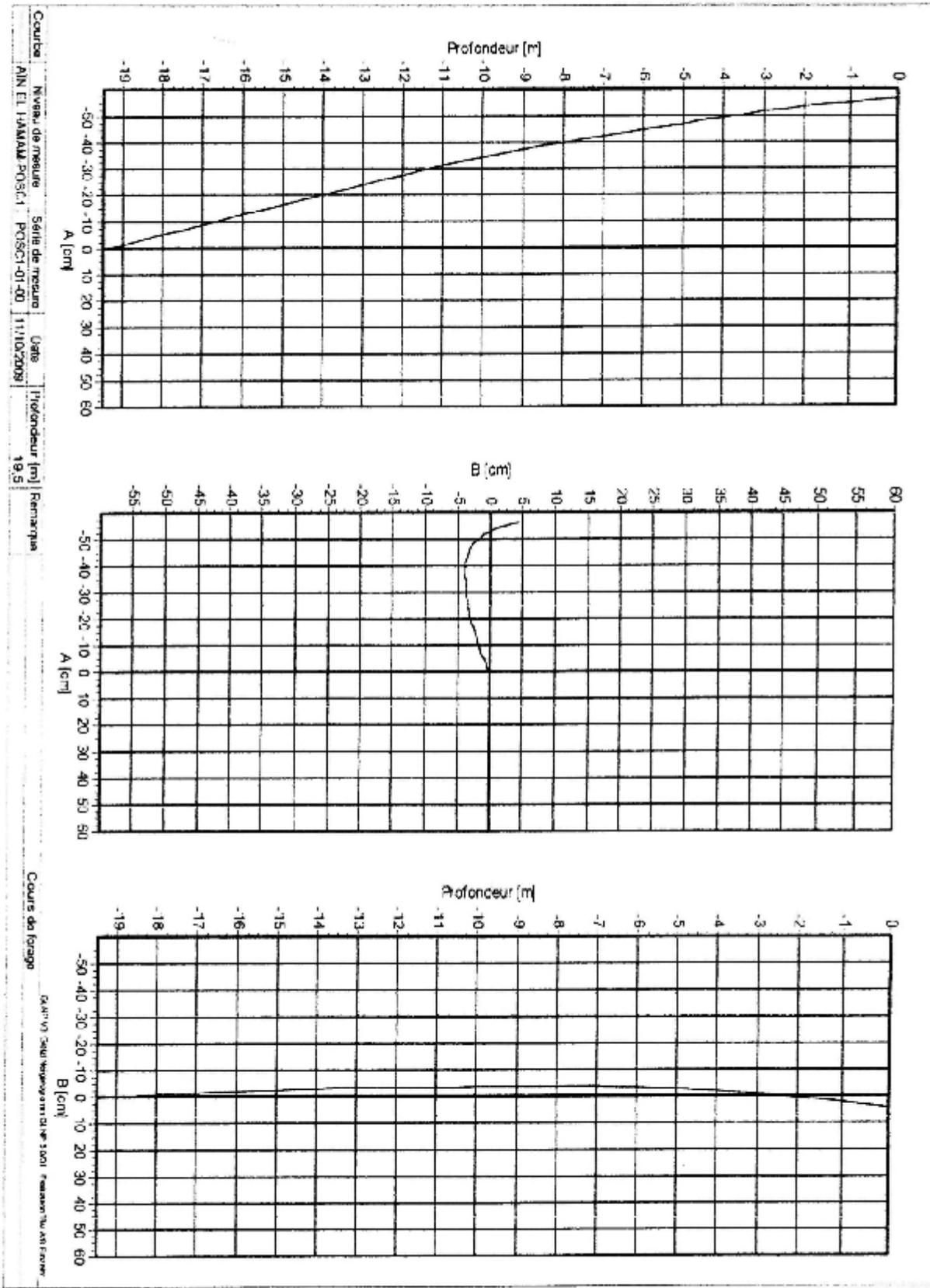
2. Résultats des mesures inclinométriques réalisés par ICTP

Erreur/Valeurs moyennes

Projet: Glissement Ain El Hammam
 Messager: AIN E. HAMAM-POSC1

Série de mesure: POSC1-01-00

Schritt	Profondeur	A 1	A 2	FA	A	SUM A	B 1	B 2	B 3	B	SUM B
m	m	cm	cm	mm	cm	cm	cm	cm	mm	cm	cm
0,00	0,00				0,00	-56,63				0,00	4,21
0,50	-0,50	-0,78	0,78	-0,10	-0,77	-55,86	1,01	-1,06	-0,28	1,04	3,17
1,00	-1,00	-0,77	0,75	-0,08	-0,78	-55,11	0,98	-1,07	-0,45	1,03	2,14
1,50	-1,50	-0,74	0,73	-0,05	-0,74	-54,37	0,97	-1,03	-0,30	1,00	1,15
2,00	-2,00	-0,73	0,73	0,00	-0,73	-53,63	0,85	-0,89	-0,15	0,87	0,28
2,50	-2,50	-0,90	0,89	-0,05	-0,90	-52,74	0,56	-0,64	-0,43	0,60	-0,32
3,00	-3,00	-0,95	0,95	-0,03	-0,95	-51,78	0,56	-0,65	-0,40	0,61	-0,93
3,50	-3,50	-1,04	1,03	-0,05	-1,04	-50,75	0,55	-0,62	-0,35	0,59	-1,54
4,00	-4,00	-1,12	1,11	-0,03	-1,12	-49,63	0,52	-0,57	-0,28	0,55	-2,06
4,50	-4,50	-1,20	1,19	-0,05	-1,19	-48,44	0,50	-0,54	-0,20	0,52	-2,58
5,00	-5,00	-1,20	1,19	-0,05	-1,20	-47,25	0,43	-0,45	-0,08	0,44	-3,02
5,50	-5,50	-1,22	1,20	-0,10	-1,21	-46,04	0,13	-0,22	-0,50	0,15	-3,20
6,00	-6,00	-1,19	1,17	-0,08	-1,18	-44,86	0,14	-0,18	-0,15	0,15	-3,98
6,50	-6,50	-1,15	1,13	-0,08	-1,14	-43,72	0,17	-0,26	-0,45	0,21	-3,57
7,00	-7,00	-1,14	1,12	-0,08	-1,13	-42,59	0,15	-0,21	-0,30	0,19	-3,75
7,50	-7,50	-1,20	1,19	-0,05	-1,19	-41,40	0,10	-0,15	-0,25	0,13	-3,88
8,00	-8,00	-1,18	1,17	-0,05	-1,18	-40,23	0,05	-0,10	-0,23	0,07	-3,95
8,50	-8,50	-1,48	1,43	-0,15	-1,45	-38,78	-0,13	0,05	-0,38	-0,09	-3,87
9,00	-9,00	-1,48	1,44	-0,10	-1,45	-37,33	-0,11	0,03	-0,45	-0,07	-3,80
9,50	-9,50	-1,51	1,49	-0,08	-1,50	-35,83	-0,03	-0,01	-0,20	-0,01	-3,79
10,00	-10,00	-1,52	1,50	-0,05	-1,51	-34,32	-0,03	-0,01	-0,20	-0,02	-3,77
10,50	-10,50	-1,52	1,50	-0,08	-1,51	-32,81	-0,05	0,00	-0,25	-0,03	-3,75
11,00	-11,00	-1,55	1,54	-0,08	-1,54	-31,27	-0,06	0,01	-0,23	-0,04	-3,71
11,50	-11,50	-1,79	1,77	-0,08	-1,78	-29,49	-0,15	0,06	-0,48	-0,10	-3,61
12,00	-12,00	-1,80	1,79	-0,08	-1,80	-27,69	-0,14	0,06	-0,38	-0,10	-3,51
12,50	-12,50	-1,85	1,84	-0,08	-1,84	-25,85	-0,11	0,04	-0,33	-0,08	-3,43
13,00	-13,00	-1,87	1,85	-0,08	-1,86	-23,99	-0,12	0,05	-0,35	-0,09	-3,35
13,50	-13,49	-1,90	1,88	-0,08	-1,88	-22,09	-0,12	0,07	-0,25	-0,10	-3,25
14,00	-13,99	-1,91	1,90	-0,08	-1,90	-20,19	-0,18	0,13	-0,23	-0,15	-3,10
14,50	-14,49	-1,83	1,81	-0,08	-1,82	-18,37	-0,32	0,27	-0,20	-0,30	-2,90
15,00	-14,99	-1,86	1,85	-0,10	-1,85	-16,51	-0,30	0,21	-0,48	-0,25	-2,55
15,50	-15,49	-1,89	1,88	-0,08	-1,88	-14,63	-0,27	0,18	-0,48	-0,23	-2,32
16,00	-15,99	-1,89	1,87	-0,10	-1,88	-12,75	-0,27	0,19	-0,38	-0,23	-2,10
16,50	-16,49	-1,89	1,88	-0,08	-1,88	-10,87	-0,24	0,18	-0,33	-0,21	-1,88
17,00	-16,99	-1,88	1,86	-0,13	-1,87	-9,00	-0,21	0,17	-0,23	-0,19	-1,69
17,50	-17,49	-1,85	1,85	-0,03	-1,85	-7,15	-0,39	0,34	-0,23	-0,35	-1,33
18,00	-17,99	-1,85	1,83	-0,10	-1,84	-5,31	-0,39	0,32	-0,35	-0,35	-0,98
18,50	-18,49	-1,80	1,79	-0,10	-1,80	-3,51	-0,37	0,32	-0,25	-0,35	-0,63
19,00	-18,99	-1,79	1,78	-0,13	-1,77	-1,74	-0,36	0,27	-0,45	-0,32	-0,31
19,50	-19,49	-1,75	1,73	-0,10	-1,74	0,00	-0,38	0,27	-0,43	-0,31	0,00



Déformation

Projet: Cassament Ain El Hammam
 Messpegel: AIN EL HAMAM-POSC1

Série de mesure: Série-de-mesure-de-référence

POSC1-01-01
 POSC1-01-00

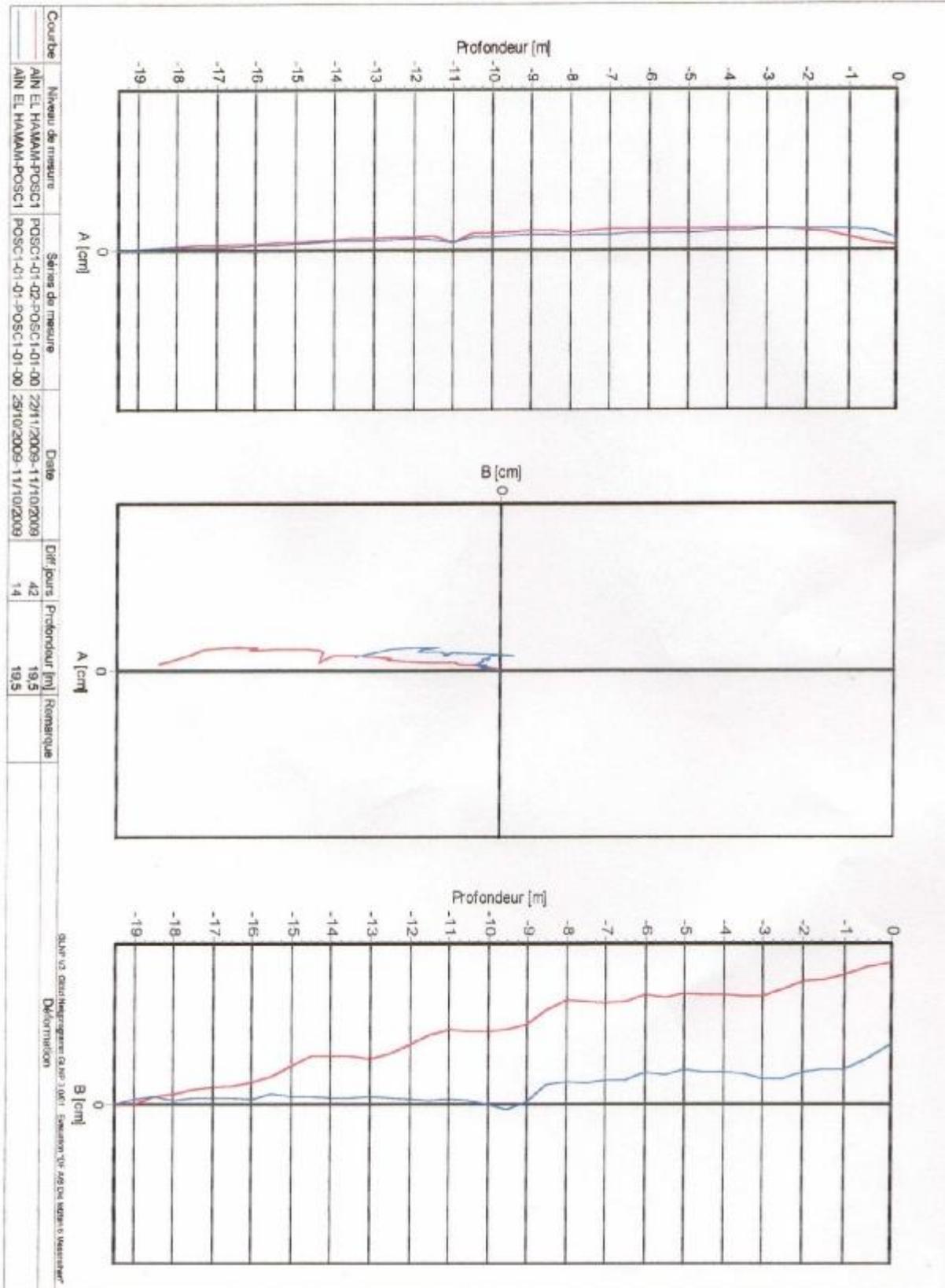
Schritt	Profondeur	A	A Ref	A Diff	SUM A	SUM A Ref	SUM A Diff	B	B Ref	B Diff	SUM B	SUM B Ref	SUM B Diff
m	m	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-56,68	-56,63	-0,05	0,00	0,00	0,00	3,98	4,21	-0,23
0,50	-0,50	-0,74	-0,77	0,03	-55,94	-56,66	-0,07	0,95	1,04	-0,06	3,00	3,17	-0,17
1,00	-1,00	-0,75	-0,78	0,01	-55,19	-55,10	-0,08	0,99	1,03	-0,04	2,01	2,14	-0,13
1,50	-1,50	-0,74	-0,74	0,00	-54,45	-54,36	-0,08	0,99	0,99	0,00	1,02	1,15	-0,13
2,00	-2,00	-0,74	-0,74	0,00	-53,71	-53,63	-0,08	0,66	0,67	-0,01	0,15	0,28	-0,12
2,50	-2,50	-0,90	-0,90	0,00	-52,82	-52,73	-0,08	0,57	0,60	-0,03	-0,42	-0,32	-0,09
3,00	-3,00	-0,95	-0,95	0,00	-51,86	-51,78	-0,08	0,61	0,60	0,00	-1,02	-0,93	-0,10
3,50	-3,50	-1,04	-1,04	0,00	-50,83	-50,75	-0,08	0,60	0,58	0,02	-1,63	-1,51	-0,11
4,00	-4,00	-1,12	-1,12	0,00	-49,71	-49,63	-0,07	0,56	0,55	0,01	-2,18	-2,06	-0,12
4,50	-4,50	-1,20	-1,19	0,00	-48,51	-48,44	-0,07	0,52	0,52	0,00	-2,70	-2,58	-0,12
5,00	-5,00	-1,20	-1,20	0,00	-47,31	-47,24	-0,07	0,45	0,44	0,01	-3,15	-3,02	-0,13
5,50	-5,50	-1,21	-1,21	0,00	-46,10	-46,03	-0,07	0,16	0,17	-0,02	-3,31	-3,20	-0,11
6,00	-6,00	-1,18	-1,18	0,00	-44,93	-44,86	-0,07	0,17	0,16	0,01	-3,48	-3,36	-0,12
6,50	-6,50	-1,14	-1,14	0,00	-43,79	-43,72	-0,06	0,16	0,21	-0,03	-3,66	-3,57	-0,09
7,00	-7,00	-1,13	-1,13	0,00	-42,66	-42,59	-0,06	0,19	0,18	0,00	-3,84	-3,75	-0,09
7,50	-7,50	-1,18	-1,19	0,00	-41,46	-41,40	-0,05	0,12	0,13	-0,01	-3,96	-3,88	-0,08
8,00	-8,00	-1,18	-1,18	0,00	-40,28	-40,23	-0,05	0,08	0,07	0,01	-4,04	-3,95	-0,09
8,50	-8,50	-1,44	-1,45	0,01	-39,05	-39,05	-0,05	-0,10	-0,09	0,01	-3,94	-3,86	-0,07
9,00	-9,00	-1,45	-1,45	0,00	-37,39	-37,33	-0,06	-0,13	-0,07	-0,06	-3,81	-3,80	-0,01
9,50	-9,50	-1,51	-1,50	0,00	-36,89	-36,83	-0,05	-0,04	-0,01	-0,03	-3,77	-3,79	0,02
10,00	-10,00	-1,51	-1,51	0,00	-34,37	-34,32	-0,05	0,01	-0,02	0,02	-3,77	-3,77	0,00
10,50	-10,50	-1,51	-1,51	0,00	-32,87	-32,81	-0,05	-0,01	-0,03	0,02	-3,76	-3,74	-0,01
11,00	-11,00	-1,56	-1,54	-0,02	-31,30	-31,27	-0,03	-0,03	-0,04	0,01	-3,73	-3,71	-0,02
11,50	-11,50	-1,77	-1,78	0,01	-29,53	-29,49	-0,04	-0,11	-0,10	0,00	-3,62	-3,60	-0,02
12,00	-12,00	-1,80	-1,80	0,00	-27,73	-27,69	-0,04	-0,09	-0,10	0,00	-3,53	-3,51	-0,02
12,50	-12,50	-1,85	-1,84	0,00	-25,89	-25,85	-0,04	0,07	0,08	0,01	-3,46	-3,43	-0,03
13,00	-13,00	-1,87	-1,88	0,00	-24,02	-23,98	-0,04	-0,08	-0,09	0,00	-3,38	-3,34	-0,03
13,50	-13,49	-1,90	-1,89	0,00	-22,13	-22,09	-0,03	-0,10	-0,10	0,00	-3,28	-3,25	-0,03
14,00	-13,99	-1,90	-1,90	0,00	-20,22	-20,18	-0,03	-0,16	-0,15	0,00	-3,12	-3,10	-0,03
14,50	-14,49	-1,83	-1,82	0,00	-18,40	-18,37	-0,03	-0,29	-0,29	0,00	-2,83	-2,80	-0,03
15,00	-14,99	-1,85	-1,86	0,00	-16,54	-16,51	-0,02	-0,25	-0,25	0,00	-2,58	-2,55	-0,03
15,50	-15,49	-1,89	-1,88	0,00	-14,65	-14,63	-0,02	-0,22	-0,23	0,01	-2,36	-2,32	-0,04
16,00	-15,99	-1,88	-1,88	0,00	-12,77	-12,75	-0,02	-0,25	-0,23	0,02	-2,12	-2,09	-0,02
16,50	-16,49	-1,89	-1,88	0,00	-10,88	-10,87	-0,02	-0,21	-0,21	0,00	-1,91	-1,88	-0,02
17,00	-16,99	-1,88	-1,87	-0,01	-9,01	-8,99	-0,01	-0,20	-0,19	0,00	-1,71	-1,69	-0,02
17,50	-17,49	-1,85	-1,85	0,00	-7,16	-7,15	-0,01	-0,36	-0,36	0,00	-1,35	-1,33	-0,02
18,00	-17,99	-1,84	-1,84	0,00	-5,32	-5,31	-0,01	-0,36	-0,35	-0,01	-0,99	-0,97	-0,01
18,50	-18,49	-1,80	-1,79	0,00	-3,52	-3,51	-0,01	-0,33	-0,34	0,01	-0,66	-0,63	-0,03
19,00	-18,98	-1,78	-1,77	0,00	-1,75	-1,74	-0,01	-0,33	-0,32	-0,01	-0,33	-0,31	-0,02
19,50	-19,49	-1,75	-1,74	-0,01	0,00	0,00	0,00	-0,33	-0,31	-0,02	0,00	0,00	0,00

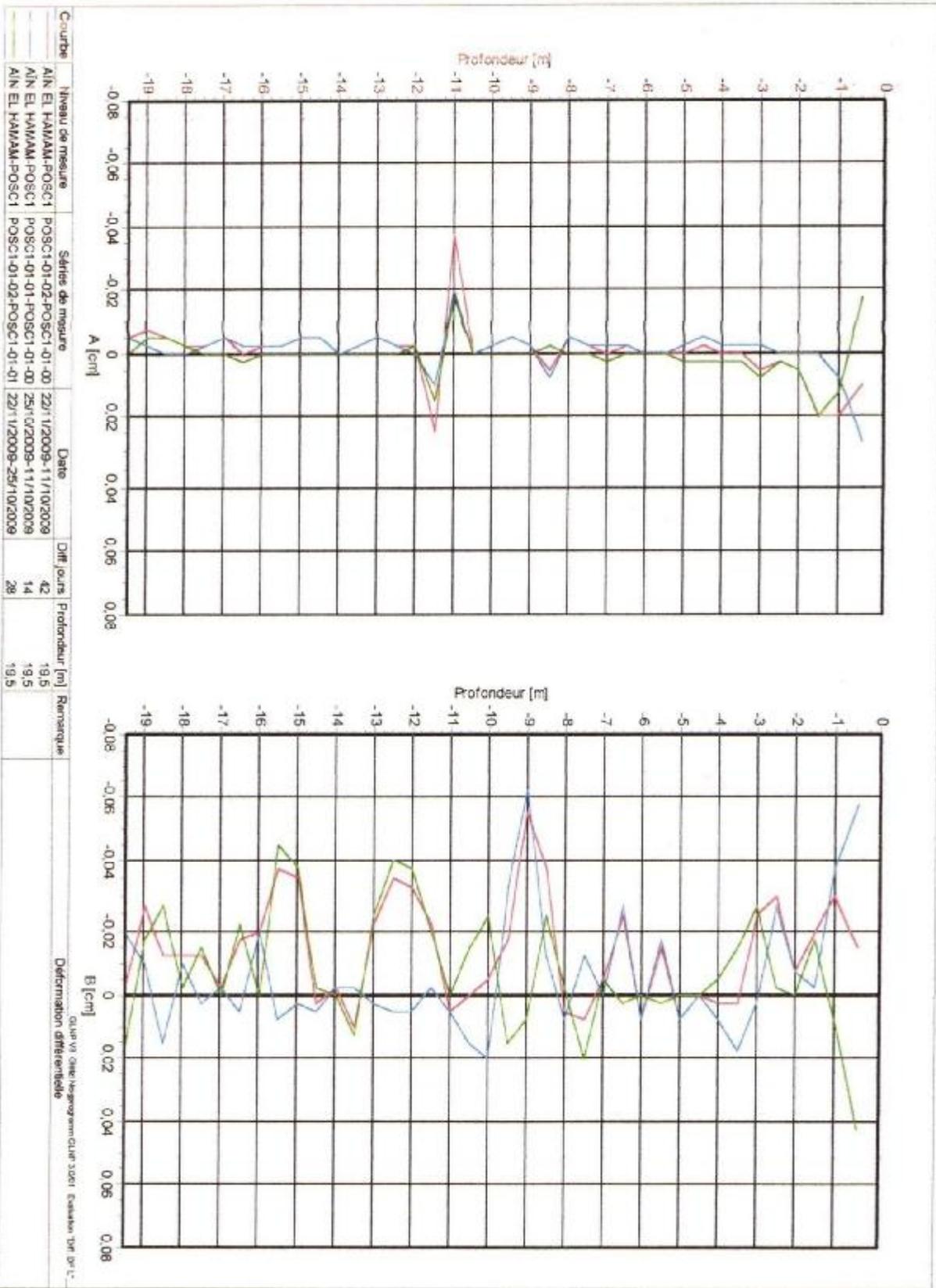
Déformation

Projet: Glissement Ain El Hammam
 Messpegel: AIN EL HAMAM-POSC1

Série de mesure: POSC1-01-02
 Série-de-mesure-de-référence: POSC1-01-00

Schnitt	Profondeur	A	A Ref	A Diff	SUM A	SUM A Ref	SUM A Diff	B	B Ref	B Diff	SUM B	SUM B Ref	SUM B Diff
m	m	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-56,66	-56,63	-0,02	0,00	0,00	0,00	3,68	4,21	-0,53
0,50	-0,50	-0,76	-0,77	0,01	-55,90	-55,86	-0,03	1,02	1,04	-0,02	2,66	3,17	-0,52
1,00	-1,00	-0,74	-0,76	0,02	-55,16	-55,10	-0,05	1,00	1,03	-0,03	1,66	2,14	-0,49
1,50	-1,50	-0,72	-0,74	0,02	-54,44	-54,36	-0,07	0,98	0,99	0,02	0,68	1,15	-0,47
2,00	-2,00	-0,73	-0,74	0,01	-53,71	-53,63	-0,08	0,86	0,87	-0,01	-0,18	0,28	-0,46
2,50	-2,50	-0,89	-0,90	0,00	-52,82	-52,73	-0,09	0,57	0,60	-0,03	-0,75	-0,32	-0,43
3,00	-3,00	-0,95	-0,95	0,00	-51,87	-51,78	-0,08	0,59	0,60	-0,02	-1,33	-0,83	-0,40
3,50	-3,50	-1,04	-1,04	0,00	-50,83	-50,75	-0,08	0,59	0,58	0,00	-1,92	-1,51	-0,41
4,00	-4,00	-1,12	-1,12	0,00	-49,72	-49,63	-0,08	0,55	0,55	0,00	-2,47	-2,06	-0,41
4,50	-4,50	-1,19	-1,19	0,00	-48,52	-48,44	-0,08	0,52	0,52	0,00	-2,99	-2,58	-0,41
5,00	-5,00	-1,20	-1,20	0,00	-47,33	-47,24	-0,08	0,45	0,44	0,01	-3,44	-3,02	-0,42
5,50	-5,50	-1,21	-1,21	0,00	-46,12	-46,03	-0,08	0,16	0,17	-0,01	-3,60	-3,20	-0,40
6,00	-6,00	-1,18	-1,18	0,00	-44,94	-44,86	-0,08	0,17	0,18	-0,01	-3,77	-3,36	-0,41
6,50	-6,50	-1,14	-1,14	0,00	-43,80	-43,72	-0,08	0,19	0,21	-0,02	-3,95	-3,57	-0,38
7,00	-7,00	-1,13	-1,13	0,00	-42,67	-42,59	-0,08	0,15	0,18	-0,03	-4,13	-3,75	-0,38
7,50	-7,50	-1,19	-1,19	0,00	-41,48	-41,40	-0,08	0,14	0,13	0,01	-4,27	-3,88	-0,39
8,00	-8,00	-1,18	-1,18	0,00	-40,30	-40,23	-0,07	0,08	0,07	0,01	-4,35	-3,95	-0,39
8,50	-8,50	-1,44	-1,45	0,01	-38,86	-38,78	-0,08	-0,13	-0,09	-0,04	-4,22	-3,86	-0,35
9,00	-9,00	-1,45	-1,45	0,00	-37,41	-37,33	-0,07	-0,13	-0,07	-0,06	-4,10	-3,80	-0,30
9,50	-9,50	-1,51	-1,50	0,00	-35,90	-35,83	-0,07	-0,03	-0,01	-0,02	-4,07	-3,79	-0,28
10,00	-10,00	-1,51	-1,51	0,00	-34,39	-34,32	-0,07	-0,02	-0,02	0,00	-4,05	-3,77	-0,28
10,50	-10,50	-1,51	-1,51	0,00	-32,88	-32,81	-0,07	-0,03	-0,03	0,00	-4,02	-3,74	-0,28
11,00	-11,00	-1,58	-1,54	-0,04	-31,30	-31,27	-0,03	-0,03	-0,04	0,01	-3,99	-3,71	-0,28
11,50	-11,50	-1,76	-1,78	0,03	-29,54	-29,49	-0,06	-0,13	-0,10	-0,02	-3,87	-3,60	-0,26
12,00	-12,00	-1,80	-1,80	0,00	-27,74	-27,69	-0,06	-0,13	-0,10	-0,03	-3,74	-3,51	-0,23
12,50	-12,50	-1,85	-1,84	0,00	-25,90	-25,85	-0,06	-0,11	-0,08	-0,03	-3,62	-3,43	-0,19
13,00	-13,00	-1,87	-1,86	0,00	-24,09	-24,06	-0,06	-0,11	-0,09	-0,02	-3,52	-3,34	-0,17
13,50	-13,49	-1,90	-1,89	0,00	-22,14	-22,09	-0,04	-0,09	-0,10	0,01	-3,43	-3,25	-0,18
14,00	-13,99	-1,90	-1,90	0,00	-20,23	-20,19	-0,04	-0,16	-0,15	0,00	-3,28	-3,10	-0,18
14,50	-14,49	-1,83	-1,82	0,00	-18,41	-18,37	-0,04	-0,29	-0,29	0,00	-2,98	-2,80	-0,18
15,00	-14,99	-1,86	-1,86	0,00	-16,55	-16,51	-0,03	-0,25	-0,25	-0,04	-2,70	-2,55	-0,14
15,50	-15,49	-1,89	-1,88	0,00	-14,66	-14,63	-0,03	-0,27	-0,23	-0,04	-2,43	-2,32	-0,11
16,00	-15,99	-1,88	-1,88	0,00	-12,78	-12,75	-0,03	-0,25	-0,23	-0,02	-2,18	-2,09	-0,09
16,50	-16,49	-1,83	-1,88	0,00	-10,90	-10,87	-0,03	-0,23	-0,21	-0,02	-1,95	-1,88	-0,07
17,00	-16,99	-1,88	-1,87	-0,01	-9,02	-8,99	-0,02	-0,20	-0,19	0,00	-1,76	-1,69	-0,07
17,50	-17,49	-1,85	-1,85	0,00	-7,17	-7,15	-0,02	-0,39	-0,30	-0,01	-1,38	-1,33	-0,05
18,00	-17,99	-1,84	-1,84	0,00	-5,33	-5,31	-0,02	-0,37	-0,35	-0,01	1,02	-0,98	-0,04
18,50	-18,49	-1,80	-1,80	0,00	-3,53	-3,51	-0,01	-0,36	-0,35	-0,01	-0,66	-0,63	-0,03
19,00	-18,99	-1,78	-1,77	-0,01	-1,75	-1,74	-0,01	-0,35	-0,32	-0,03	-0,32	-0,31	0,00
19,50	-19,49	-1,75	-1,74	-0,01	0,00	0,00	0,00	-0,32	-0,31	0,00	0,00	0,00	0,00



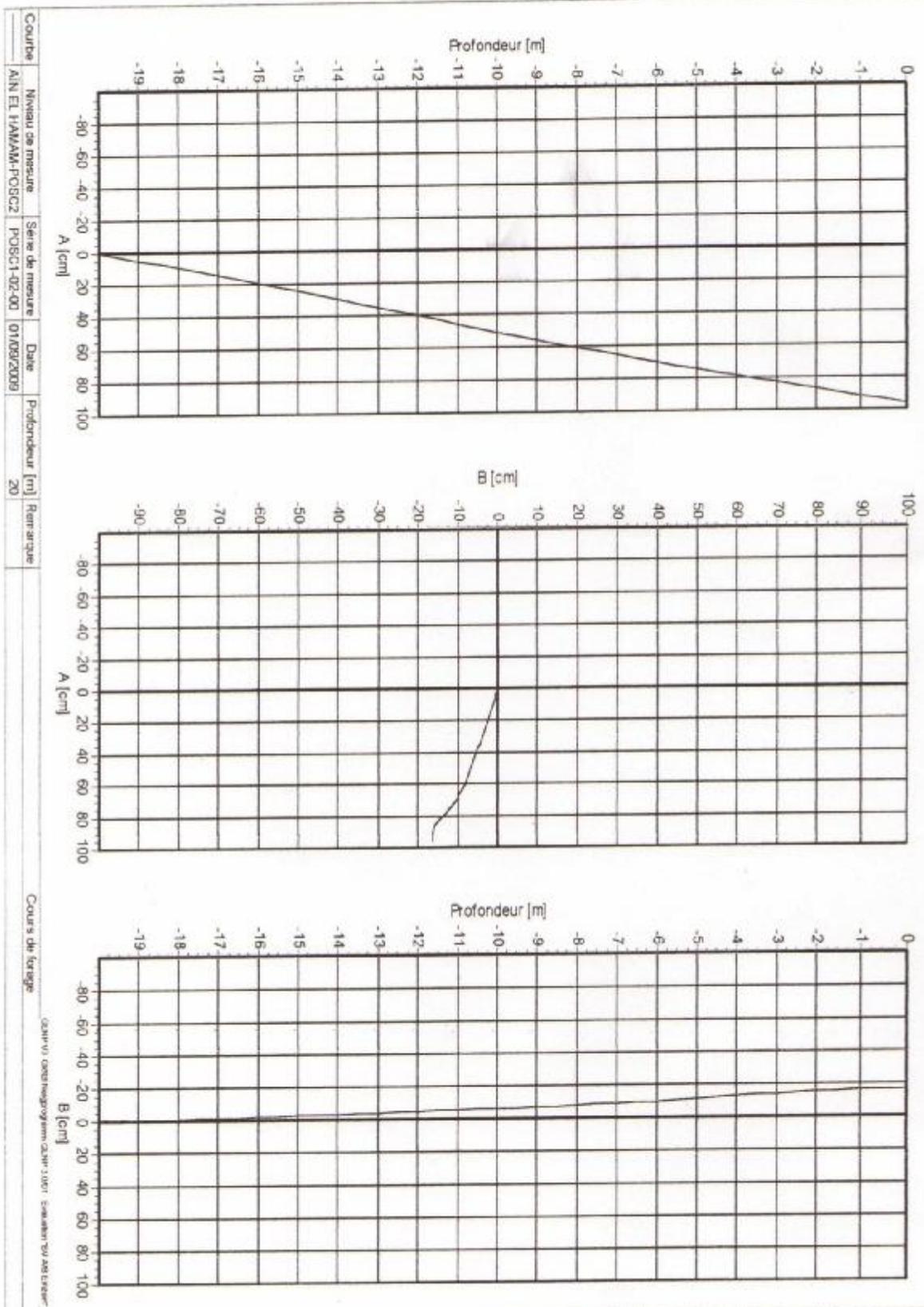


Erreur/Valeurs moyennes

Projekt: Gissement Ain El Hammam
Messpegel: AIN EL HAMAM-POSC2

Série de mesure: POSC1-02-00

Schritt m	Profondeur m	A 1 cm	A 2 cm	FA mm	A cm	SUM A cm	B 1 cm	B 2 cm	FB mm	B cm	SUM B cm
0,00	0,00				0,00	95,69				0,00	-16,49
0,50	-0,50	2,20	-2,21	-0,05	2,20	93,49	-0,07	0,01	-0,28	-0,04	-16,46
1,00	-1,00	2,19	-2,19	0,00	2,19	91,30	-0,19	0,14	-0,25	-0,17	-16,28
1,50	-1,50	2,19	-2,20	-0,05	2,20	89,10	-0,23	0,22	-0,03	-0,23	-16,05
2,00	-2,00	2,20	-2,21	-0,03	2,20	86,90	-0,22	0,21	-0,05	-0,22	-15,84
2,50	-2,50	2,03	-2,04	-0,03	2,03	84,87	-0,81	0,58	-0,15	-0,60	-15,24
3,00	-3,00	2,05	-2,07	-0,05	2,06	82,81	-0,69	0,63	-0,33	-0,66	-14,58
3,50	-3,50	2,10	-2,11	-0,03	2,11	80,70	-0,77	0,74	-0,10	-0,76	-13,82
4,00	-4,00	2,11	-2,11	0,03	2,11	78,59	-0,80	0,77	-0,13	-0,78	-13,04
4,50	-4,50	2,10	-2,10	0,00	2,10	76,48	-0,78	0,79	0,05	-0,79	-12,26
5,00	-5,00	2,11	-2,11	0,03	2,11	74,37	-0,75	0,83	0,40	-0,79	-11,47
5,50	-5,49	2,27	-2,27	0,03	2,27	72,10	-0,63	0,59	-0,18	-0,61	-10,86
6,00	-5,99	2,25	-2,26	-0,03	2,26	69,84	-0,56	0,50	-0,28	-0,53	-10,33
6,50	-6,49	2,27	-2,27	-0,05	2,27	67,57	-0,69	0,50	-0,48	-0,54	-9,79
7,00	-6,99	2,30	-2,30	-0,03	2,30	65,27	-0,57	0,51	-0,35	-0,54	-9,25
7,50	-7,49	2,36	-2,37	-0,05	2,37	62,91	-0,55	0,45	-0,48	-0,50	-8,75
8,00	-7,99	2,37	-2,37	0,00	2,37	60,54	-0,55	0,48	-0,33	-0,51	-8,24
8,50	-8,49	2,35	-2,37	-0,05	2,36	58,18	-0,45	0,45	-0,03	-0,45	-7,79
9,00	-8,99	2,48	-2,48	-0,10	2,47	55,71	-0,43	0,33	-0,53	-0,38	-7,41
9,50	-9,49	2,50	-2,51	-0,10	2,51	53,21	-0,38	0,28	-0,46	-0,33	-7,08
10,00	-9,99	2,54	-2,56	-0,10	2,55	50,66	-0,34	0,27	-0,35	-0,31	-6,78
10,50	-10,49	2,60	-2,61	-0,10	2,61	48,06	-0,30	0,25	-0,28	-0,28	-6,50
11,00	-10,99	2,63	-2,65	-0,10	2,64	45,42	-0,32	0,26	-0,33	-0,29	-6,21
11,50	-11,49	2,60	-2,63	-0,10	2,62	42,80	-0,45	0,37	-0,40	-0,41	-5,80
12,00	-11,99	2,61	-2,63	-0,10	2,62	40,18	-0,46	0,36	-0,50	-0,42	-5,39
12,50	-12,49	2,63	-2,64	-0,08	2,63	37,55	-0,44	0,36	-0,33	-0,41	-4,96
13,00	-12,99	2,54	-2,66	-0,08	2,65	34,90	-0,44	0,39	-0,28	-0,41	-4,57
13,50	-13,48	2,68	-2,70	-0,08	2,69	32,22	-0,44	0,40	-0,18	-0,42	-4,14
14,00	-13,98	2,71	-2,73	-0,10	2,72	29,50	-0,45	0,43	-0,13	-0,44	-3,71
14,50	-14,48	2,61	-2,64	-0,10	2,53	26,97	-0,34	0,29	-0,23	-0,31	-3,39
15,00	-14,98	2,50	-2,52	-0,10	2,51	24,46	-0,34	0,27	-0,35	-0,31	-3,06
15,50	-15,48	2,52	-2,54	-0,13	2,53	21,93	-0,37	0,29	-0,38	-0,33	-2,75
16,00	-15,98	2,53	-2,54	-0,10	2,54	19,39	-0,39	0,29	-0,48	-0,34	-2,41
16,50	-16,48	2,53	-2,55	-0,13	2,54	16,86	-0,37	0,30	-0,33	-0,34	-2,07
17,00	-16,98	2,52	-2,54	-0,10	2,53	14,33	-0,41	0,34	-0,40	-0,38	-1,70
17,50	-17,48	2,41	-2,44	-0,13	2,42	11,90	-0,36	0,32	-0,23	-0,34	-1,35
18,00	-17,98	2,40	-2,42	-0,13	2,41	9,50	-0,33	0,26	-0,35	-0,29	-1,06
18,50	-18,48	2,40	-2,43	-0,13	2,41	7,08	-0,29	0,24	-0,25	-0,27	-0,80
19,00	-18,98	2,38	-2,40	-0,13	2,39	4,70	-0,29	0,22	-0,33	-0,26	-0,54
19,50	-19,48	2,35	-2,38	-0,13	2,37	2,33	-0,31	0,21	-0,48	-0,26	-0,28
20,00	-19,98	2,31	-2,35	-0,23	2,33	0,00	-0,27	0,29	0,13	-0,28	0,00



Déformation

Project: Giessemant A/n El Hammam
 Messpegel: AIN EL HAMAM-POSC2

Série de mesure:
 Série-de-mesure-de-référence

POSC1-02-01
 POSC1-02-00

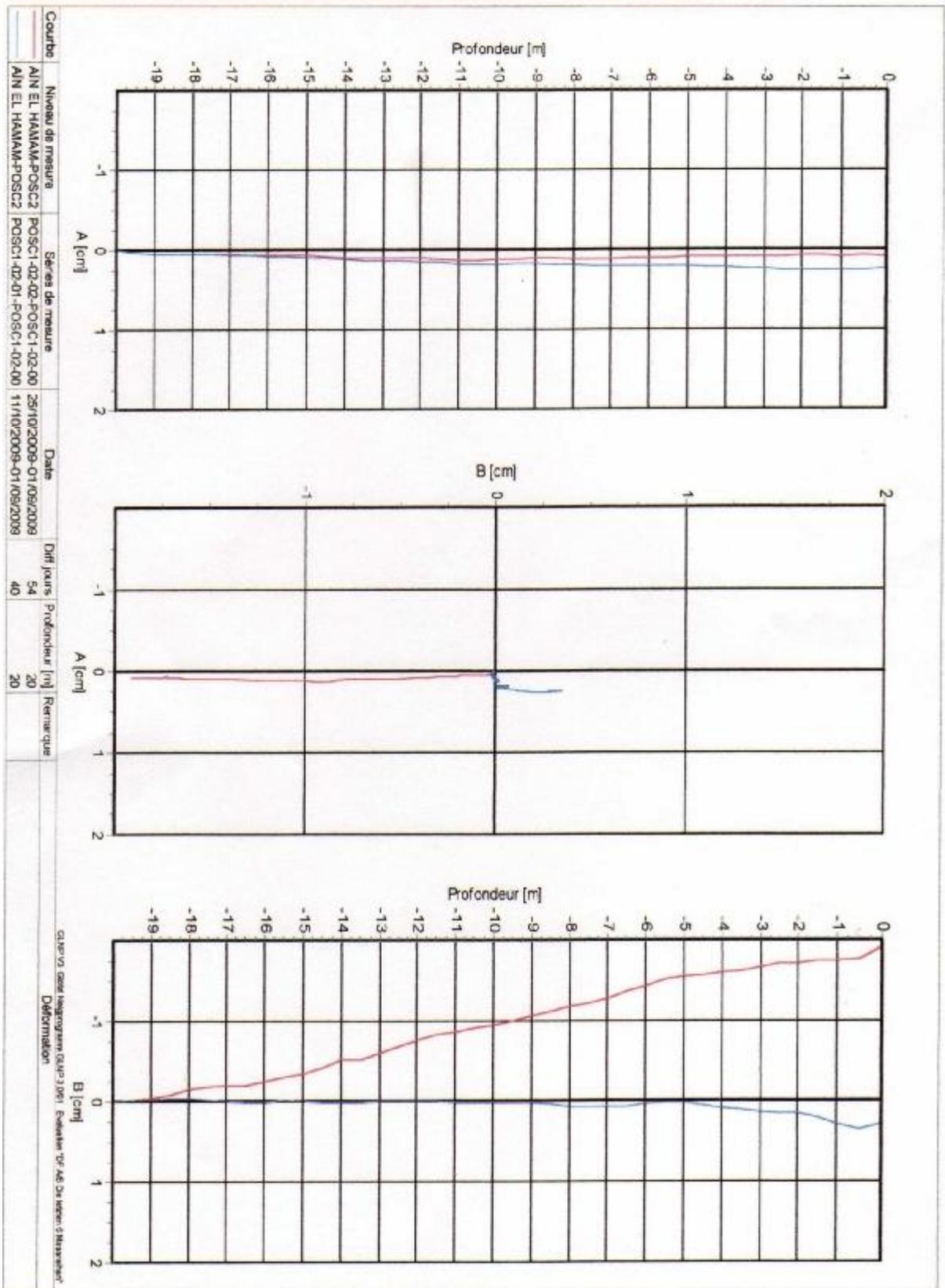
Schritt m	Profondeur m	A cm	A Ref cm	A Diff cm	SUM A cm	SUM A Ref cm	SUM A Diff cm	B cm	B Ref cm	B Diff cm	SUM B cm	SUM B Ref cm	SUM B Diff cm
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	95,93	95,69	0,24	0,00	0,00	0,00	-16,21	-16,49	0,28
0,50	-0,50	2,20	2,20	0,00	93,73	93,49	0,24	-0,11	-0,04	-0,07	-16,10	-16,45	0,35
1,00	-1,00	2,18	2,19	-0,01	91,56	91,30	0,26	-0,11	-0,17	0,07	-15,99	-16,28	0,29
1,50	-1,50	2,20	2,20	0,00	89,36	89,10	0,25	-0,14	-0,23	0,09	-15,86	-16,06	0,20
2,00	-2,00	2,21	2,20	0,00	87,15	86,90	0,25	-0,15	-0,22	0,04	-15,68	-15,83	0,16
2,50	-2,50	2,04	2,03	0,00	85,11	84,87	0,24	-0,58	-0,60	0,01	-15,10	-15,24	0,14
3,00	-3,00	2,07	2,06	0,01	83,05	82,81	0,24	-0,65	-0,66	0,02	-14,45	-14,58	0,13
3,50	-3,50	2,12	2,11	0,01	80,93	80,70	0,23	-0,73	-0,76	0,03	-13,72	-13,82	0,10
4,00	-4,00	2,12	2,11	0,01	78,81	78,59	0,22	-0,76	-0,78	0,02	-12,96	-13,04	0,08
4,50	-4,50	2,12	2,11	0,01	76,69	76,48	0,21	-0,76	-0,79	0,03	-12,20	-12,25	0,06
5,00	-5,00	2,12	2,11	0,01	74,57	74,37	0,20	-0,75	-0,79	0,04	-11,45	-11,46	0,01
5,50	-5,49	2,27	2,27	0,00	72,30	72,10	0,20	-0,62	-0,61	-0,01	-10,64	-10,88	0,02
6,00	-5,99	2,27	2,26	0,01	70,04	69,84	0,20	-0,54	-0,53	-0,01	-10,30	-10,33	0,03
6,50	-6,49	2,27	2,27	0,00	67,77	67,57	0,19	-0,56	-0,54	-0,04	-9,72	-9,79	0,07
7,00	-6,99	2,30	2,30	0,00	65,47	65,27	0,19	-0,54	-0,54	0,00	-9,18	-9,25	0,07
7,50	-7,49	2,37	2,37	0,00	63,10	62,91	0,19	-0,50	-0,50	0,00	-8,68	-8,75	0,07
8,00	-7,99	2,38	2,37	0,01	60,72	60,54	0,18	-0,51	-0,51	0,00	-8,17	-8,24	0,07
8,50	-8,49	2,37	2,36	0,01	58,36	58,18	0,18	-0,42	-0,45	0,03	-7,75	-7,79	0,04
9,00	-8,99	2,47	2,46	0,01	55,89	55,71	0,17	-0,36	-0,36	0,02	-7,39	-7,41	0,02
9,50	-8,49	2,51	2,50	0,00	53,38	53,21	0,17	-0,32	-0,33	0,01	-7,07	-7,08	0,02
10,00	-9,99	2,54	2,54	0,00	50,84	50,66	0,18	-0,30	-0,31	0,01	-6,77	-6,78	0,01
10,50	-10,49	2,60	2,61	0,00	48,24	48,06	0,18	-0,28	-0,28	0,00	-6,49	-6,50	0,01
11,00	-10,99	2,54	2,64	0,00	45,60	45,42	0,18	-0,29	-0,29	0,00	-6,20	-6,21	0,01
11,50	-11,49	2,54	2,61	0,02	42,96	42,80	0,15	-0,40	-0,41	0,01	-5,81	-5,80	0,00
12,00	-11,99	2,53	2,62	0,01	40,33	40,18	0,14	-0,41	-0,42	0,00	-5,39	-5,39	-0,01
12,50	-12,49	2,54	2,63	0,01	37,69	37,55	0,13	-0,41	-0,41	-0,01	-4,98	-4,96	0,00
13,00	-12,99	2,55	2,65	0,00	35,04	34,90	0,13	-0,42	-0,41	-0,01	-4,56	-4,57	0,01
13,50	-13,48	2,59	2,69	0,00	32,35	32,22	0,13	-0,44	-0,42	-0,01	-4,13	-4,14	0,02
14,00	-13,98	2,73	2,72	0,01	29,62	29,50	0,12	-0,44	-0,44	0,00	-3,69	-3,71	0,02
14,50	-14,48	2,55	2,53	0,02	27,07	26,97	0,10	-0,31	-0,31	0,01	-3,38	-3,39	0,01
15,00	-14,98	2,52	2,51	0,01	24,55	24,46	0,09	-0,31	-0,31	0,00	-3,08	-3,08	0,01
15,50	-15,48	2,54	2,53	0,01	22,01	21,93	0,08	-0,31	-0,33	0,02	-2,77	-2,75	-0,01
16,00	-15,98	2,54	2,53	0,01	19,47	19,39	0,08	-0,37	-0,34	-0,02	-2,40	-2,41	0,01
16,50	-16,48	2,54	2,54	0,00	16,93	16,86	0,07	-0,34	-0,34	0,00	-2,06	-2,07	0,01
17,00	-16,98	2,54	2,53	0,01	14,39	14,33	0,06	-0,36	-0,36	0,02	-1,70	-1,70	0,00
17,50	-17,48	2,43	2,42	0,01	11,96	11,90	0,05	-0,33	-0,34	0,02	-1,38	-1,35	-0,02
18,00	-17,98	2,41	2,41	0,00	9,55	9,50	0,05	-0,28	-0,29	0,01	-1,10	-1,06	-0,03
18,50	-18,48	2,41	2,41	0,00	7,13	7,08	0,05	-0,27	-0,27	0,00	-0,53	-0,50	-0,03
19,00	-18,98	2,39	2,39	0,00	4,74	4,70	0,05	-0,26	-0,26	-0,01	-0,58	-0,54	-0,02
19,50	-19,48	2,38	2,37	0,01	2,36	2,33	0,03	-0,27	-0,26	0,00	-0,30	-0,28	-0,02
20,00	-19,98	2,36	2,33	0,03	0,00	0,00	0,00	-0,30	-0,28	-0,02	0,00	0,00	0,00

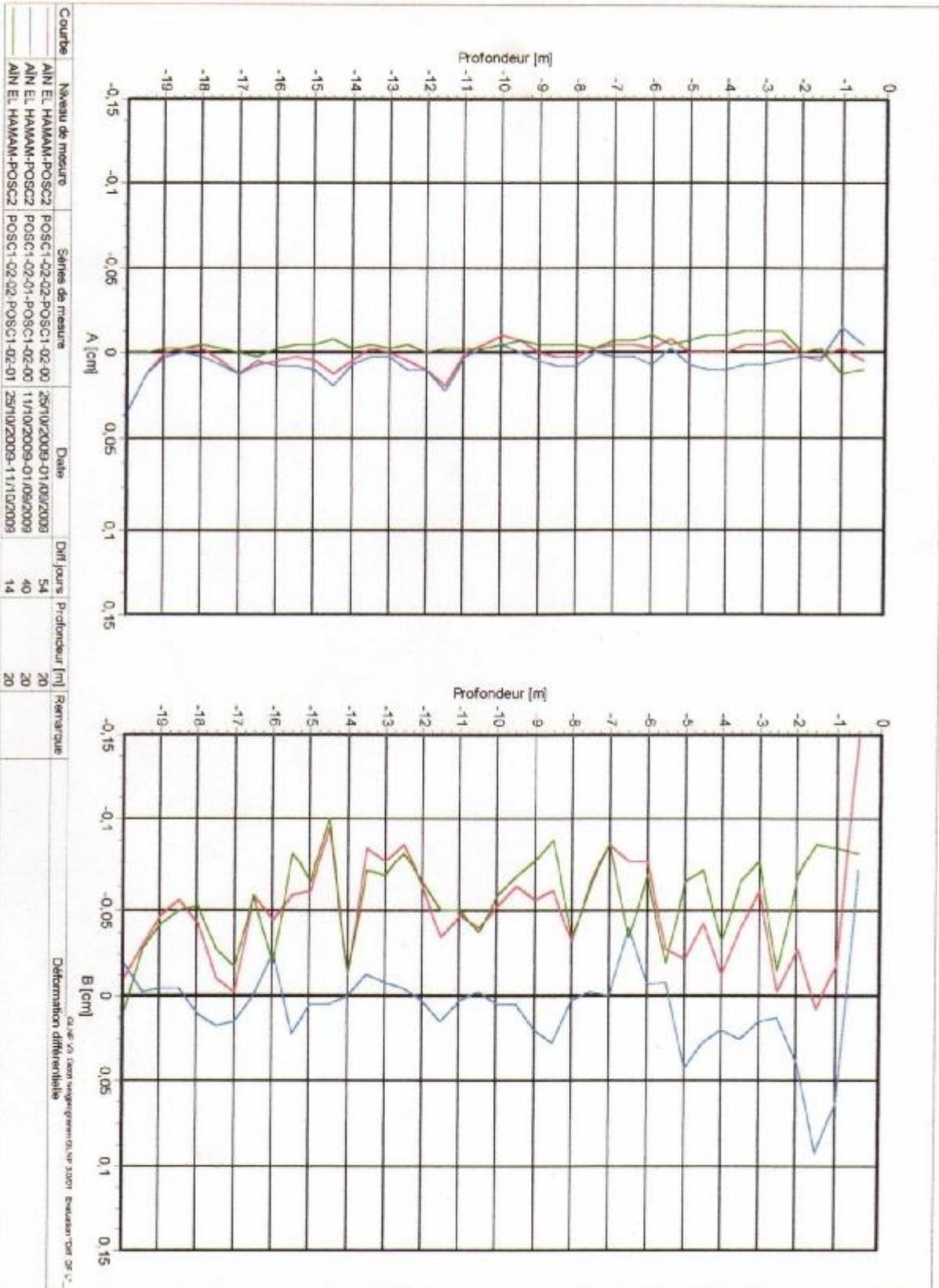
Déformation

Projet: Glissement Ain El Hammam
 Messcege: A/N EL HAMAM-POSC2

Série de mesure: POSC1-02-02
 Série de mesure de référence: POSC1-02-00

Schnitt m	Profondeur m	A cm	A Ref cm	A Diff cm	SUM A cm	SUM A Ref cm	SUM A Diff cm	B cm	B Ref cm	B Diff cm	SUM B cm	SUM B Ref cm	SUM B Diff cm
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	95,77	95,69	0,08	0,00	0,00	0,00	-18,40	-18,49	-1,91
0,50	-0,50	2,21	2,20	0,00	93,55	93,49	0,07	-0,19	-0,04	-0,15	-18,21	-18,45	-1,76
1,00	-1,00	2,19	2,19	0,00	91,38	91,30	0,08	-0,19	-0,17	-0,02	-18,02	-18,28	-1,74
1,50	-1,50	2,20	2,19	0,00	89,18	89,10	0,07	-0,22	-0,23	0,01	-17,80	-18,06	-1,75
2,00	-2,00	2,21	2,20	0,00	86,97	86,90	0,07	-0,24	-0,21	-0,03	-17,56	-18,84	-1,72
2,50	-2,50	2,03	2,03	-0,01	84,95	84,87	0,08	-0,50	-0,59	0,00	-18,96	-15,24	-1,72
3,00	-3,00	2,06	2,06	0,00	82,89	82,81	0,08	-0,72	-0,65	-0,06	-18,24	-14,58	-1,66
3,50	-3,50	2,10	2,11	0,00	80,79	80,70	0,09	-0,80	-0,75	-0,04	-16,44	-13,62	-1,62
4,00	-4,00	2,11	2,11	0,00	78,68	78,59	0,09	-0,80	-0,75	-0,01	-14,65	-13,04	-1,61
4,50	-4,50	2,11	2,10	0,00	76,57	76,48	0,09	-0,83	-0,78	-0,04	-13,82	-12,28	-1,56
5,00	-5,00	2,11	2,11	0,00	74,46	74,37	0,09	-0,81	-0,79	-0,02	-13,01	-11,47	-1,54
5,50	-5,49	2,27	2,27	-0,01	72,20	72,10	0,10	-0,64	-0,61	-0,03	-12,37	-10,96	-1,51
6,00	-5,99	2,26	2,26	0,00	69,94	69,84	0,10	-0,60	-0,53	-0,08	-11,77	-10,33	-1,44
6,50	-6,49	2,27	2,27	0,00	67,68	67,57	0,10	-0,62	-0,54	-0,07	-11,15	-9,79	-1,36
7,00	-6,99	2,29	2,30	0,00	65,38	65,27	0,11	-0,63	-0,54	-0,08	-10,53	-9,25	-1,28
7,50	-7,49	2,36	2,36	0,00	63,02	62,91	0,11	-0,58	-0,50	-0,07	-9,97	-8,75	-1,21
8,00	-7,99	2,37	2,37	0,00	60,65	60,54	0,11	-0,55	-0,51	-0,03	-9,42	-8,24	-1,18
8,50	-8,49	2,36	2,36	0,00	58,29	58,18	0,11	-0,51	-0,45	-0,06	-8,91	-7,79	-1,12
9,00	-8,99	2,47	2,46	0,00	55,82	55,71	0,11	-0,44	-0,38	-0,05	-8,48	-7,41	-1,07
9,50	-9,49	2,50	2,50	-0,01	53,32	53,21	0,11	-0,39	-0,33	-0,06	-8,09	-7,08	-1,00
10,00	-9,99	2,54	2,54	-0,01	50,79	50,68	0,12	-0,36	-0,31	-0,05	-7,73	-6,78	-0,95
10,50	-10,49	2,60	2,60	0,00	48,19	48,06	0,13	-0,32	-0,28	-0,04	-7,41	-6,50	-0,91
11,00	-10,99	2,64	2,64	0,00	45,55	45,42	0,13	-0,34	-0,29	-0,05	-7,08	-6,21	-0,86
11,50	-11,49	2,64	2,61	0,02	42,91	42,80	0,11	-0,45	-0,41	-0,04	-6,63	-6,80	-0,83
12,00	-11,99	2,63	2,62	0,01	40,28	40,18	0,10	-0,48	-0,42	-0,06	-6,15	-6,39	-0,77
12,50	-12,49	2,64	2,63	0,01	37,65	37,55	0,09	-0,40	-0,41	0,00	-5,66	-6,96	-0,68
13,00	-12,98	2,65	2,65	0,00	35,00	34,90	0,09	-0,49	-0,41	-0,08	-5,17	-4,57	-0,61
13,50	-13,48	2,69	2,69	0,00	32,31	32,22	0,10	-0,51	-0,42	-0,08	-4,67	-4,14	-0,52
14,00	-13,98	2,73	2,72	0,00	29,59	29,50	0,09	-0,45	-0,44	-0,01	-4,22	-3,71	-0,51
14,50	-14,48	2,54	2,53	0,01	27,05	26,97	0,08	-0,41	-0,31	-0,09	-3,81	-3,39	-0,42
15,00	-14,98	2,52	2,51	0,01	24,54	24,46	0,07	-0,37	-0,31	-0,06	-3,44	-3,06	-0,36
15,50	-15,48	2,54	2,53	0,00	22,00	21,93	0,07	-0,39	-0,33	-0,06	-3,05	-2,75	-0,30
16,00	-15,98	2,54	2,53	0,01	19,46	19,39	0,07	-0,39	-0,34	-0,04	-2,66	-2,41	-0,25
16,50	-16,48	2,55	2,54	0,01	16,92	16,86	0,06	-0,40	-0,34	-0,06	-2,27	-2,07	-0,20
17,00	-16,98	2,54	2,53	0,01	14,37	14,33	0,05	-0,35	-0,38	0,00	-1,89	-1,70	-0,19
17,50	-17,48	2,43	2,42	0,00	11,95	11,90	0,04	-0,35	-0,34	-0,01	-1,54	-1,35	-0,18
18,00	-17,98	2,41	2,41	0,00	9,54	9,50	0,04	-0,33	-0,29	-0,04	-1,21	-1,05	-0,14
18,50	-18,48	2,41	2,41	0,00	7,13	7,08	0,05	-0,32	-0,27	-0,05	-0,89	-0,80	0,09
19,00	-18,98	2,39	2,39	0,00	4,74	4,70	0,05	-0,30	-0,26	-0,05	-0,58	-0,54	-0,04
19,50	-19,48	2,35	2,37	0,01	2,36	2,33	0,03	-0,29	-0,26	-0,03	-0,29	-0,28	-0,01
20,00	-19,98	2,35	2,33	0,03	0,00	0,00	0,00	-0,25	-0,28	-0,01	0,00	0,00	0,00





Déformation

Projet: Glissement Ain El Hamam
 Messpegel: AIN EL HAMAM-POSC2

Série de mesure: POSC1-02-03
 Série de mesure de référence: POSC1-02-00

Schritt m	Profondeur m	A cm	A Ref cm	A Diff cm	SUM A cm	SUM A Ref cm	SUM A Diff cm	B cm	B Ref cm	B Diff cm	SUM B cm	SUM B Ref cm	SUM B Diff cm
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	95,77	95,69	0,08	0,00	0,00	0,00	-17,47	-16,49	-0,98
0,50	-0,50	2,19	2,20	-0,01	93,58	93,49	0,09	-0,21	-0,04	-0,17	-17,27	-16,45	-0,82
1,00	-1,00	2,19	2,19	-0,01	91,39	91,30	0,09	-0,13	-0,17	0,04	-17,14	-16,28	-0,86
1,50	-1,50	2,20	2,20	0,00	89,20	89,10	0,09	-0,16	-0,23	0,07	-16,98	-16,05	-0,93
2,00	-2,00	2,21	2,20	0,01	86,99	86,90	0,09	-0,20	-0,22	0,02	-16,78	-15,83	-0,94
2,50	-2,50	2,03	2,03	-0,01	84,96	84,87	0,09	-0,50	-0,60	0,00	-16,19	-15,24	-0,94
3,00	-3,00	2,05	2,06	-0,01	82,91	82,81	0,10	-0,71	-0,65	-0,05	-15,47	-14,58	-0,89
3,50	-3,50	2,10	2,11	0,00	80,81	80,70	0,10	-0,78	-0,75	-0,02	-14,70	-13,82	-0,87
4,00	-4,00	2,11	2,11	0,00	78,69	78,59	0,10	-0,78	-0,78	0,00	-13,92	-13,04	-0,87
4,50	-4,50	2,11	2,10	0,00	76,59	76,48	0,10	-0,79	-0,78	0,00	-13,13	-12,28	-0,87
5,00	-5,00	2,11	2,11	0,00	74,47	74,37	0,10	-0,76	-0,79	0,03	-12,37	-11,46	-0,90
5,50	-5,49	2,27	2,27	0,00	72,20	72,10	0,10	-0,63	-0,51	-0,02	-11,74	-10,86	-0,88
6,00	-5,99	2,26	2,28	0,00	69,95	69,84	0,10	-0,58	-0,53	-0,03	-11,18	-10,33	-0,85
6,50	-6,49	2,27	2,27	0,00	67,68	67,57	0,10	-0,58	-0,54	-0,04	-10,60	-9,79	-0,81
7,00	-6,99	2,30	2,30	0,00	65,38	65,27	0,11	-0,59	-0,54	-0,05	-10,01	-9,25	-0,76
7,50	-7,49	2,36	2,36	0,00	63,02	62,91	0,11	-0,58	-0,50	-0,06	-9,45	-8,75	-0,70
8,00	-7,99	2,37	2,37	0,00	60,65	60,54	0,11	-0,53	-0,51	-0,01	-8,93	-8,24	-0,69
8,50	-8,49	2,37	2,36	0,01	58,28	58,18	0,10	-0,45	-0,45	0,00	-8,48	-7,79	-0,69
9,00	-8,99	2,47	2,46	0,00	55,81	55,71	0,10	-0,43	-0,38	-0,04	-8,06	-7,41	-0,65
9,50	-9,49	2,50	2,50	0,00	53,31	53,21	0,10	-0,32	-0,33	0,01	-7,74	-7,08	-0,65
10,00	-9,99	2,54	2,54	0,00	50,77	50,68	0,11	-0,30	-0,31	0,01	-7,44	-6,78	-0,66
10,50	-10,49	2,60	2,60	0,00	48,17	48,08	0,11	-0,28	-0,28	-0,01	-7,15	-6,50	-0,65
11,00	-10,99	2,64	2,64	0,00	45,53	45,42	0,11	-0,29	-0,29	0,00	-6,86	-6,21	-0,65
11,50	-11,49	2,64	2,61	0,02	42,90	42,80	0,09	-0,44	-0,41	-0,03	-6,43	-5,90	-0,53
12,00	-11,99	2,63	2,62	0,01	40,27	40,18	0,08	-0,48	-0,42	-0,07	-5,95	-5,39	-0,56
12,50	-12,49	2,64	2,63	0,01	37,63	37,55	0,08	-0,44	-0,41	-0,03	-5,51	-4,98	-0,53
13,00	-12,98	2,65	2,65	0,00	34,98	34,90	0,07	-0,46	-0,41	-0,05	-5,05	-4,57	-0,48
13,50	-13,48	2,69	2,69	0,00	32,29	32,22	0,07	-0,46	-0,42	-0,04	-4,59	-4,14	-0,44
14,00	-13,98	2,72	2,72	0,00	29,57	29,50	0,07	-0,50	-0,44	-0,06	-4,09	-3,71	-0,38
14,50	-14,48	2,53	2,53	0,00	27,04	26,97	0,07	-0,41	-0,31	-0,09	-3,68	-3,39	-0,28
15,00	-14,98	2,52	2,51	0,01	24,52	24,46	0,06	-0,38	-0,31	-0,07	-3,30	-3,08	-0,22
15,50	-15,48	2,54	2,53	0,01	21,99	21,93	0,06	-0,32	-0,33	0,01	-2,98	-2,75	-0,23
16,00	-15,98	2,54	2,53	0,01	19,45	19,39	0,05	-0,39	-0,34	-0,05	-2,59	-2,41	-0,18
16,50	-16,48	2,55	2,54	0,01	16,90	16,86	0,04	-0,36	-0,34	-0,03	-2,23	-2,07	-0,16
17,00	-16,98	2,54	2,53	0,01	14,36	14,33	0,03	-0,38	-0,38	0,00	-1,85	-1,70	-0,15
17,50	-17,48	2,42	2,42	0,00	11,94	11,90	0,04	-0,42	-0,34	-0,07	-1,43	-1,35	-0,08
18,00	-17,98	2,41	2,41	0,00	9,54	9,50	0,04	-0,31	-0,28	-0,02	-1,12	-1,08	-0,06
18,50	-18,48	2,41	2,41	0,00	7,13	7,08	0,04	-0,28	-0,27	-0,01	-0,84	-0,80	-0,04
19,00	-18,98	2,39	2,39	0,00	4,74	4,70	0,04	-0,25	-0,26	0,01	-0,59	-0,54	-0,05
19,50	-19,48	2,38	2,37	0,01	2,36	2,33	0,03	-0,29	-0,28	-0,03	-0,30	-0,28	-0,03
20,00	-19,98	2,36	2,33	0,03	0,00	0,00	0,00	-0,30	-0,28	-0,03	0,00	0,00	0,00

