

République Algérienne Démocratique et populaire  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

UNIVERSITE DE JIJEL

جامعة جيجل

Geo.01/06

Faculté des sciences

Département des sciences  
de la terre



جامعة جيجل  
كلية العلوم  
قسم علوم الأرض

01  
/  
06

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état  
en géologie

Option : Géologie de l'ingénieur

Thème

*Etudes de stabilité d'un glissement de terrain  
à Ouled Amieur « EL MILIA »  
W. de JIJEL*

Membres de jury :

Président : M<sup>me</sup> Zeroual Fatima.

Examineur : Mr Remoume Karim.

Encadré par :

Mr. Benzaid Riad

M<sup>me</sup>.Remoume Houria

Réalisé par :

Mr. Boultine Noureddine

Mr. Boudjada Réda

Promotion Juillet 2006

### **Résumé :**

Le secteur étudié correspondant au versant constituant le quartier « Oueled Amieur » situer à El Milia, wilaya de Jijel, est occupé essentiellement par des formations Argileuses, Marneuses surmontant des schistes.

Le site de part sa prédisposition au glissement à connu l'intervention d'actions mécaniques et anthropiques externes qui sont venues rompre son équilibre préexistant.

Cependant, l'action jouée par l'eau dans la déstabilisation du terrain reste primordial. Dans le but que le terrain retrouve le profile de stabilité ; on à fait recours à des méthodes de confortements, qui sont : le drainage et le soutènement par des palplanches.



## Remerciement

*Nous tenons à remercier avant tout dieu qui nous a donné la force et la volonté pour terminer ce modeste travail.*

*Nos sincères remerciements et notre profonde gratitude d'abord à nos promoteurs Mr .BENZIAD RIAD et M<sup>me</sup>. REMOUME pour ses disponibilités , pour ses énormes compétences scientifiques et morales.*

*Nous tenons à remercier également les membres du jury, pour avoir accepté de juger ce mémoire.*

*Nous ne terminons pas sans avoir exprimer nos vifs remerciements à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.*

*En fin, nous remercions toutes les personnes qui ont aidé de loin ou de près même par le simple mot d'encouragement.*

*Réda et Noureddine*



# Sommaire

Page

## PREMIERE PARTIE

### CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA REGION

I-1- Situation géographique.....	1
I-2- Morphologie (relief).....	3
I-3- Climat et couvert végétal.....	3
I-4- Réseau hydrographique.....	3
I-5- Aspect socio-économique.....	5
I-6- Historique des différents travaux sur la région.....	5
I-7- Objet et méthode de travail.....	6

### CHAPITRE II : CADRE GEOLOGIQUE

II-1- Géologie régional.....	7
II-1-1- Introduction.....	7
II-1-2- Les grands ensembles structuraux.....	7
II-1-2-1- Le domaine interne.....	8
II-1-2-2- Le domaine externe.....	9
II-1-3- Les formations post nappes.....	12
II-1-3-1- L'oligo-miocène Kabyle et les ollistostromes.....	12
II-1-3-2- Les ollistostromes.....	12
II-1-3-3- Le numultique.....	12
II-1-3-4- Le numidien.....	12
II-1-3-5- Les roches magmatiques.....	13
II-2- Cadre géologique local.....	15
II-2-1- Introduction.....	15
II-2-2- Tectonique du secteur.....	16
II-2-2-1- Les failles.....	16
II-2-2-2- Les plis.....	16
II-2-3- La lithologie sommaire du site d'étude.....	17



### **CHAPITRE III : HYDROLOGIE ET HYDROGEOLOGIE**

III-1- Introduction.....	19
III-2- Hydrologie.....	19
III-2-1- Caractéristiques physiques du bassin.....	19
III-2-2- Le cadre hydro climatologique.....	19
III-2-2-1- Précipitations.....	22
III-2-2-2- Température.....	24
III-2-2-3- Humidité et évaporation.....	24
III-3- Le cadre hydrogéologique du bassin versant.....	24
III-3-1- Unités lithologiques du bassin versant.....	25
III-3-2- Domaine propre à notre sous bassin.....	27
III-3-3- Perméabilité des différents unités lithologiques du sous bassin	
Oued El Kebir maritime.....	27

### **CHAPITRE IV : LES DIFFERENTS METHODES DE LA RECONNAISSANCE DES SOL**

IV-1- Introduction.....	29
IV-2- Programme de reconnaissance géotechnique.....	29
IV-2-1- Travaux in situ.....	29
IV-2-1-1- Essai de pénétration dynamique (DPT).....	29
IV-2-1-2- Sondage mécanique.....	32
IV-2-1-3- L'essai à l'inclinomètre.....	33
IV-2-2- Les essais de laboratoire.....	34
IV-2-2-1- Paramètres physiques.....	35
IV-2-2-2- Paramètres mécaniques.....	36
IV-2-2-2-1- Essai de cisaillement rectiligne.....	36
IV-2-2-2-2- Essai de compressibilité à l'oedomètre.....	40

### **CHAPITRE V : PROGRAMME DE RECONNAISSANCE GEOTECHNIQUE**

V-1- Introduction.....	43
V-2- Reconnaissance du site.....	43
V-2-1- Situation et topographié.....	43
V-3- Reconnaissance des sols .....	45
V-3-1- Organisation de la reconnaissance .....	45

V-3-2- Interprétation des essais in situ .....	46
V-3-3- Interprétation des essais au laboratoire .....	46
V-3-3-1- Granulométrie et sédimentométrie .....	46
V-3-3-2- Essais physiques .....	46
V-3-3-3- Essais mécaniques.....	47

## **CHAPITRE VI : LES GLISSEMENTS DE TERRAIN**

VI-1- Introduction .....	49
VI-2- Description générale du phénomène .....	50
VI-3- Classification des mouvements de terrain .....	50
VI-3-1- Talus artificiels.....	50
VI-3-2- Pentes naturelles.....	51
VI-4- Description des principaux types de mouvements.....	51
VI-4-1- Glissement.....	51
VI-4-2- Ecoulements.....	53
VI-4-3- Fluages et solifluxion .....	53
VI-4-4- Coulées boueuses.....	53

## **CHAPITRE VII : CALCUL DE STABILITE**

VII-1- Hypothèse de calcul.....	54
VII-2- Stabilité en rupture circulaire avec coefficient de sécurité globale.....	54
VII-2-1- Méthode des tranches de FELLENIUS .....	54
VII-2-2- Méthode des tranches de BISCHOP simplifiée.....	58
VII-3- Stabilité en rupture plan (glissement plan).....	59
VII-4- Recherche de coefficient de sécurité minimal.....	60
VII-5- Choix de la méthode et du coefficient de sécurité.....	60
VII-6- Etude de stabilité du site Ouled Amieur El Milia.....	61
VII-6-1- Etude du glissement survenu au versant Ouest du quartier Ouled Amieur.....	61
VII-6-1-1- Principaux facteurs du glissement de Ouled Amieur (El Milia).....	63
VII-6-1-2- Caractéristiques géologiques et géotechniques de la zone de glissement.....	64
VII-6-2- Calcul de stabilité.....	64
VII-6-2-1- Glissement circulaire (en aval du talus).....	64
VII-6-2-1-1- Application numérique de calcul de stabilité.....	65
VII-6-2-2- Le glissement plan en amont du talus.....	70

## Liste des figures

I-1 : Situation géographique du secteur étudié.....	2
I-2 : Réseau hydrographique de la région d'El Milia.....	4
II-1 : Schéma structural de la chaîne Alpine de la méditerranée occidentale.....	7
II-2 : Le domaine des Flyschs .....	10
II-3 : Les grandes ensembles géologiques des Magribides en Algérie.....	11
II-4 : Esquisse géologique de la petite Kabylie.....	14
II-5 : Coupe dans le massif de Microgranite d'El Milia.....	15
II-6 : Coupe lithologique (corrélation des sondages).....	18
III-1 : Réseau hydrographique et stations hydrométrique.....	20
III-2 : Graphique embriométrique(Année 1996-2005).....	21
III-3 : Les grands domaines hydrologiques.....	25
IV-1 : Schéma général d'un pénétromètre dynamique.....	30
IV-2 : Exemple graphique du pénétromètre dynamique.....	31
IV-3 : L'inclinomètre.....	33
IV-4 : Principe de mesure inclinométrique,(module Telmac).....	34
IV-5 : Courbes granulométriques.....	35
IV-6 : Schéma de la boîte de Casagrande.....	37
IV-7 : Détermination de la rupture par la courbe ( $\tau, \sigma$ ).....	38
IV-8 : Courbe de l'évolution de $\tau$ en fonction de $\Delta L/L_0$ .....	38
IV-9 : Loi de Coulomb.....	39
IV-10 : Schéma de l'oedomètre.....	40
IV-11 : Courbe ( $e-\log \sigma$ ).....	41
IV-12 : Courbe ( $e-\log \sigma$ ).....	42
V-1 : Géomorphologie du site en trois dimensions.....	44
VI-1 : Illustration d'un glissement de terrain.....	49
VI-2 : Différents types de ruptures circulaires.....	51
VI-3 : Remblai sur sol mou.....	51
VI-4 : Rupture circulaire sous un soutènement.....	51
VI-5 : Glissement plan.....	52
VI-6 : Glissement rotationnel .....	52

<b>VI-7 : Glissements successifs emboîtés.....</b>	<b>52</b>
<b>VI-8 : Exemple du fluage.....</b>	<b>53</b>
<b>VII-1 : Découpage en tranches d'un talus.....</b>	<b>55</b>
<b>VII-2 : Force agissant sur une tranche n .....</b>	<b>55</b>
<b>VII-3 : présence de nappe .....</b>	<b>58</b>
<b>VII-4 : Rupture plane.....</b>	<b>59</b>
<b>VII-5 : Grille de recherche du centre de rotation.....</b>	<b>60</b>
<b>VII-6 : Déplacement du rez de chaussé d'une maison en amont du talu.....</b>	<b>62</b>
<b>VII-7 : Rupture circulaire en aval du talus (derrière l'usine S.C.S).....</b>	<b>62</b>
<b>VII-8 : Profil A-B du cercle N°1.....</b>	<b>72</b>
<b>VIII-1 : Tranchée drainant .....</b>	<b>74</b>
<b>VIII-2 : Fuseau granulaire pour le choix du filtre.....</b>	<b>77</b>
<b>VIII-3 : Coupe schématique des tranchées drainantes proposées au niveau du site de Oueled Amieur.....</b>	<b>78</b>
<b>VIII-4 : Caractéristiques d'une palplanche.....</b>	<b>81</b>
<b>VIII-5 : Implantation d'un rideau de palplanches .....</b>	<b>82</b>
<b>VIII-6 : Centrage et guidage d'engin de battage.....</b>	<b>83</b>
<b>VIII-7 : Définition des paramètres du calcul d'un rideau sans encrage .....</b>	<b>85</b>
<b>VIII-8 : Diagramme de répartition des contraintes.....</b>	<b>86</b>
<b>VIII-9 : Décomposition du rideau.....</b>	<b>88</b>
<b>VIII-10 : Profile des palplanches utilisées.....</b>	<b>89</b>
<b>VIII-11 : Coupe schématique d'implantation des palplanches .....</b>	<b>91</b>
<b>VIII-12 : Vue en plan de la mise en place des solutions proposées(drainage et palplanches).....</b>	<b>92</b>



## Liste des tableaux

Tableau-III-1 : données moyennes des précipitations et températures (Années 1996-2005).....	21
Tableau -III-2 : Précipitation moyenne mensuelles de la station de l'Aéroport d'Achoit.....	23
Tableau- V-1 : Valeurs des données topographiques du site de Oueled Amiour.....	43
Tableau-V-2 : Les valeurs des principaux caractéristiques physiques du terrain.....	46
Tableau -V-3 : Résultats des essais mécaniques (résistance au cisaillement $\langle C \rangle$ , angle de frottement interne $\langle \phi \rangle$ ).....	47
Tableau -VII-1 : présentation des résultats de calcul de Fs du cercle N°1 (en état naturel du sol).....	67
Tableau VII-2 : présentation des résultats de calcul de Fs du cercle N°1 (en état saturé du sol).....	69
Tableau VIII-1 : Coefficients de poussée et butée.....	85
Tableau VIII-2 : présentation de résultats de calcul.....	86
Tableau VIII-3 : Nuance d'acier utilisé.....	89
Tableau VIII-4 : Caractéristiques du palplanches type OMIGA EP 4 à 9 m/m MODULE DE 268 à 1383 cm <sup>3</sup> /ml .....	90

***Chapitre I :***  
***Présentation de la région***

**I- Données générales sur la région :****I-1- Situation géographique:**

La ville d'EL Milia est une des plus importantes villes de la Wilaya de Jijel. El Milia se situe à 60 Km au Est de la capital du Wilaya de JJEL. Ses coordonnées sont :

- Longitude :  $36^{\circ}$  -  $45^{\circ}$  N
- Latitude :  $6^{\circ}$  -  $16^{\circ}$  E

El Milia est limitée administrativement par les communes suivantes :

- Au Nord : Collo et Oued zhour.
- A l'Est : Ain Kechra.
- A l'Ouest : El Ancere.
- Au Sud : Sedi Maroufe et Settara.

La superficie de la commune d'El Milia est de  $185 \text{ Km}^2$  pour une population de 15013 habitants (recensement de 1998)

El Milia est desservie par la route nationale n° 27 qui traverse le territoire de la ville et qui relie Jijel à Constantine, et la route n° 43 qui relie El Milia avec Skikda en passant par Sattara.

La figure suivante représente la situation géographique du secteur étudié sur un fond topographique de la région d'El Milia et ses environs –Oueled Amieur- (fig-I-1).



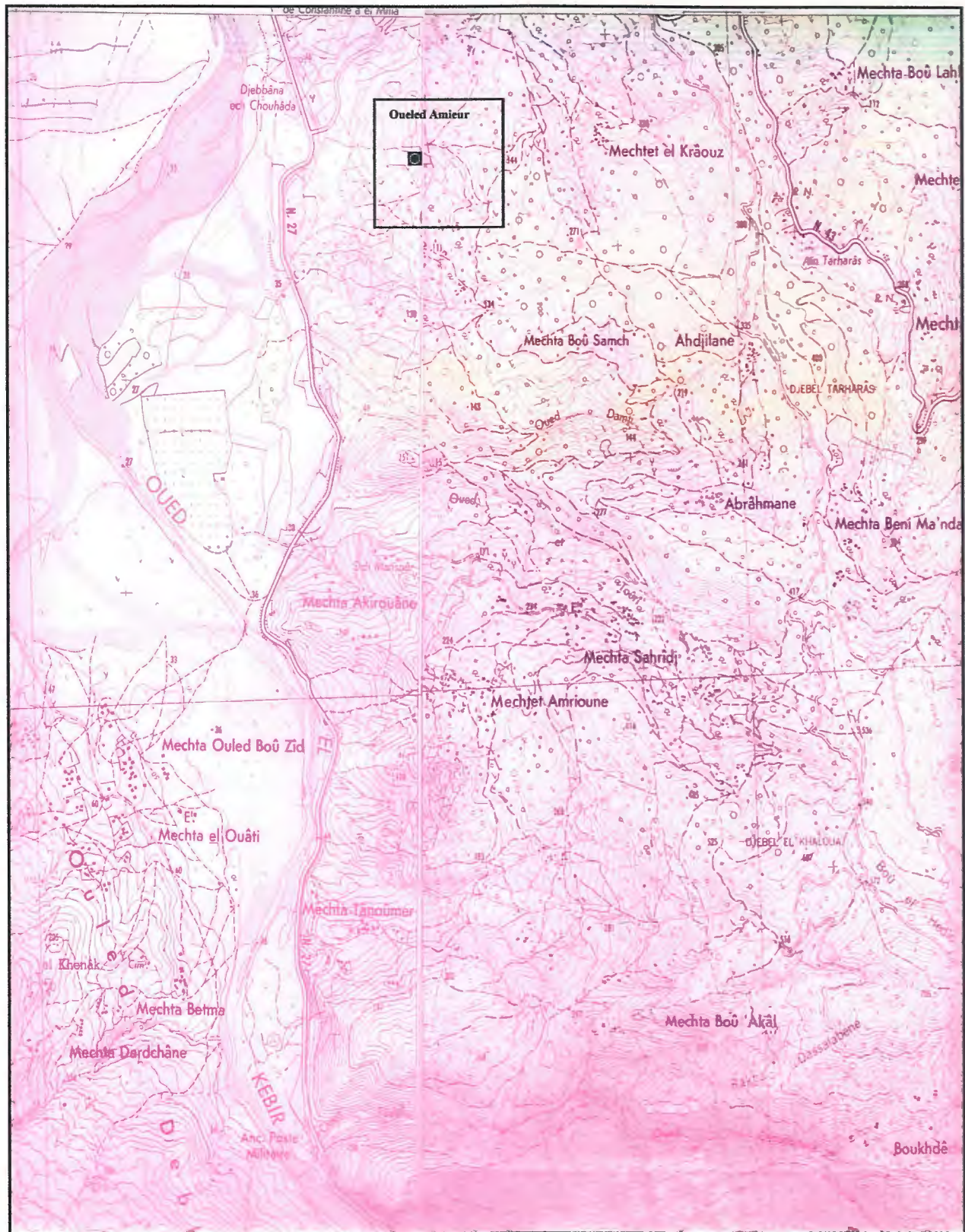


Fig-I-1-Situation géographique du secteur étudié.

0 250 500 m



Echelle :



**I-2-Morphologie (relief):**

La région d'El Milia présente généralement une morphologie bien marquée par des dômes, dont l'altitude ne dépassant pas 200m avec un étendu moyen de l'ordre de 1km.

Au sud le Moul ed Demaméne constitue un massif très isolé, culminant à 1176m, le point le plus haut par lequel il se relie à un autre relief (le Kef Berra) ne se situe qu'à 430m d'altitude.

**I-3-Climat et couvert végétal :****I-3-1-Climat :**

La région d'El Milia est caractérisée par le climat méditerranéen, marqué par un hiver doux et humide, et un été chaud et sec. La pluviométrie de la région est de l'ordre de 1080mm/an, ce qui fait de la région l'une des plus arrosées en Algérie.

**I-3-2-Couvert végétal :**

La végétation couvre une grande partie de la superficie du territoire de la région. Ce ci est du aux ; conditions climatiques, nature des terrains et les fortes précipitations caractérisant la région. Ces conditions ont permis le développement de forêts très denses, ces derniers sont essentiellement représentés par des chênes de liège, des broussailles, des oliviers, des cactus et d'autres arbres fruitiers.

**I-4-Réseau hydrographique :**

La région d'El Milia, possède un réseau hydrographique très important représenté essentiellement par ; l'Oued El Kebir qui s'écoule du sud vers le nord parallèlement à la route nationale n°27, et qui reçoit de nombreux Oueds :

- Oued Bou siaba qui draine le massif de M'cid Aïcha et lui-même reçoit Oued Machatt.
- Oued Oudadène.
- Oued Adder.

- On note la présence de plusieurs chaabats et d'autres affluents de moindre importance qui s'accordent aux l'Oued El Kebir ; (voir fig suivante).

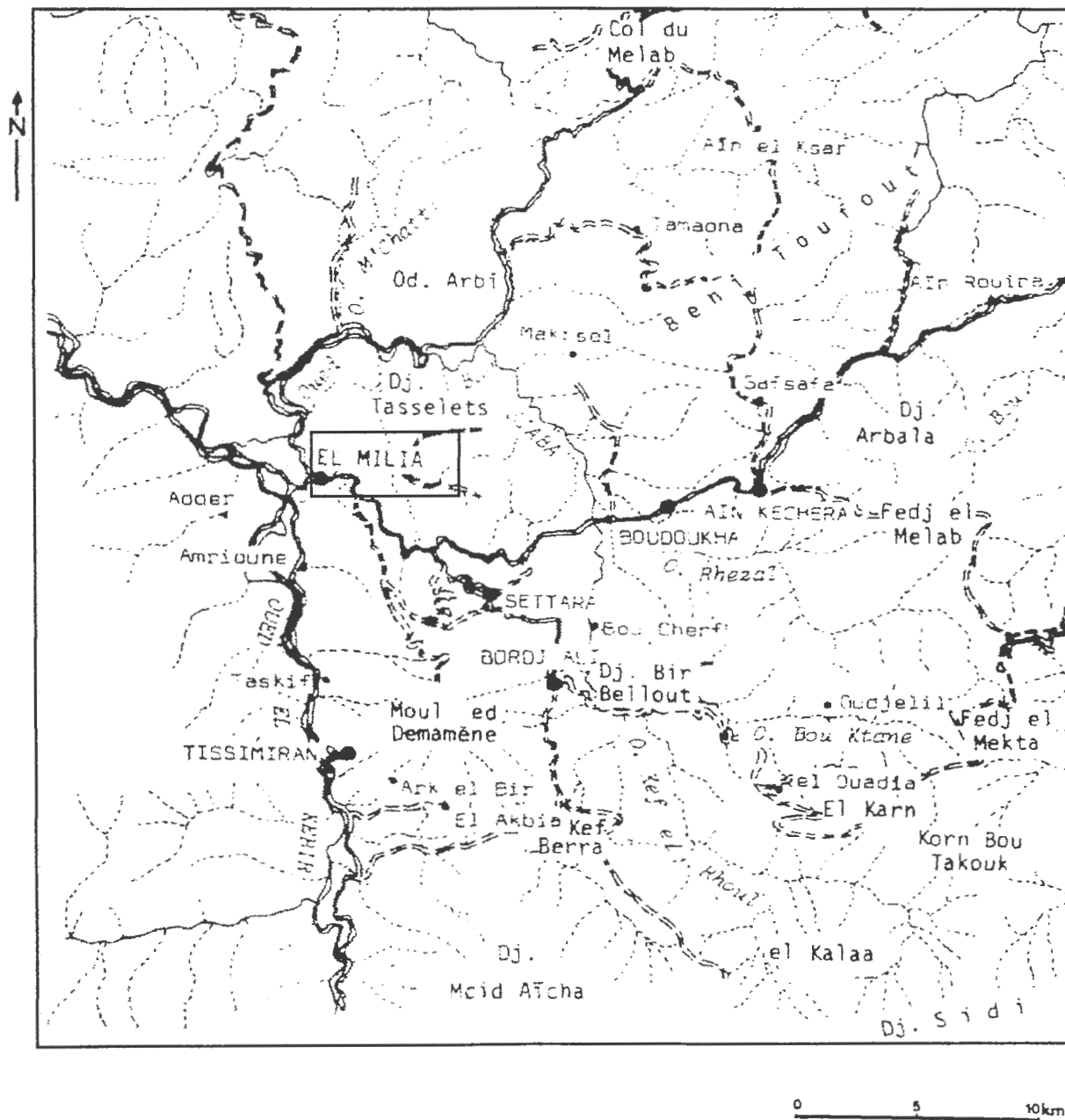


Fig-I-2-Réseau hydrographique de la région d'El Milia. [3]

**I-5- Aspect socio-économique :**

La daïra d'El Milia, domaine sur deux communes, Oueled Yahya et El Milia, cette dernière est la plus grande de point de vue superficie et activité humaine ; Elle compte 80.000 habitants, est dotée d'infrastructures variées, qui sont destinées pour répondre aux besoins de la population en matière de : scolarité, santé, loisirs, industrie et autres domaines.

On peut citer :

-Les écoles : 36 établissements qui touchent les différents paliers de scolarité, répartis comme suivants : trois lycées, huit C.E.M et 25 écoles primaires .

- Un hôpital avec capacité de 400 lits, une polyclinique et 5 centres de santé .

-Autres infrastructures : mosquées, maison de jeunes, sales de sports, terrains de sport.

Les différentes activités qui caractérisent la commune, touchent plusieurs secteurs dont on peut citer : Agriculture, B.T.P, industries légères et moyenne ainsi que des secteurs non productifs (administrations). (Fiche Techniques, 2005)

**I-6- Historique des différents travaux sur la région :**

L'intérêt de la partie orientale de la Petite Kabyle avait été depuis longtemps soupçonné par les géologues. En effet, cette région montagneuse est caractérisée par un contraste géologique assez important et un potentiel en substance utiles non négligeable. Ces richesses minières ont fait d'elle un sujet de recherche pour de nombreux géologues. Ainsi la région a fait l'objet de plusieurs études géologiques.

Sur le plan régional, la mise à jour de la géologie du massif de Petite Kabylie a débuté avec les travaux de Durand Délga, (1955) ; Raoult, (1974) et Bouillin, (1977).

Les travaux de ces auteurs ont largement contribué à l'identification des grands traits géologiques de cette région et son dispositif structural. Ces travaux ont été suivis par Des travaux ponctuels menés par différents auteurs, dont les plus récent sont :

- Djellit (1987), portant sur l'évolution tectono-metmorphique du socle Kabyle et polarité de mise en place des nappes flyschs en Petite Kabylie occidentale.
- Fougnot (1990), portant sur le magmatisme miocène du littoral Nord Constantinois.

- Mahdjoub et Merle (1990), portant sur la cinématique des déformations tertiaires dans le massif de Petite Kabylie (Algérie de nord oriental).
- Mahdjoub (1991), portant sur la cinématique des déformations et évolution P-T, anté alpine en Petite Kabylie (Algérie nord oriental).
- Nemmour (1993), portant sur la cinématique des déformations dans la partie orientale du massif de Petite Kabylie.
- Ouabadi (1994), portant sur Pétrologie, géochimie et origine des granitoïdes pérallumineux à cordiérites de la kabylie de collo et du Filfila.
- Amri, (1996) ; portant sur la cinématique des déformations ductiles et fragiles de la région des Beni Blaidés-Oued Zhor (Petite Kabylie).
- Kehal (1998), portant sur l'altération hydrothermales et minéralisations à Sn, Ta, Nb... liées aux Pegmatites.
- Drarni (1998), portant sur les datations par les chronologiques: Rb-Sr et U et Pb un exemple d'application choisie dans le massif de Petite Kabylie.
- Boufetouha (2000), portant sur l'étude pétrologiques, géochimiques et métallogéniques des skarns associées aux granites miocènes de la Kabylie de collo.

#### **I-7-Objet et méthode de travail :**

L'étude que nous nous proposons de réaliser dans le site de Oueled Amieur (El Milia), a pour bute d'assurer la stabilité du versant de Oueled Amieur (zone instable), afin de protéger l'usine de céramique et les habitats individuels qui se situe à la proximité de la zone instable.

A ce propos le plan de travail suggérer pour réalisé cette étude est comme suit :

- Une présentation de la région d'étude dans son cadre régional.
- Une caractérisation du cadre géologique (régional et local).
- Une caractérisation du cadre hydrologique et hydrogéologique.
- Une présentation des différentes méthodes de reconnaissances géotechnique.
- Le programme des reconnaissances géotechniques.
- L'étude du glissement de terrain.
- Solution et confortement.
- Une conclusion avec des recommandations pour assurer la sécurité d'usine et des habitats avoisinantes.



*Chapitre II :*  
*Cadre géologique*

## II-1- Géologie régionale :

### II-1-1- Introduction :

L'orogène Alpin comporte en méditerranée occidentale deux branches principales; une branche nord et une branche sud ou maghrebides. (Voir fig : II-1)

Les maghrebides sont formées par un empilement de nappes, charriées transversalement sur la plate forme africaine. [1]

La région d'El Milia, faisant l'objet de notre étude, appartient à la partie occidentale du massif de la petite Kabylie, qui à son tour fait partie intégrante des magribides.

### II-1-2- Les grands ensembles structuraux :

L'Algérie du nord est subdivisée en trois domaines paléogéographiques. [2], [3] (Voir fig :II-1)

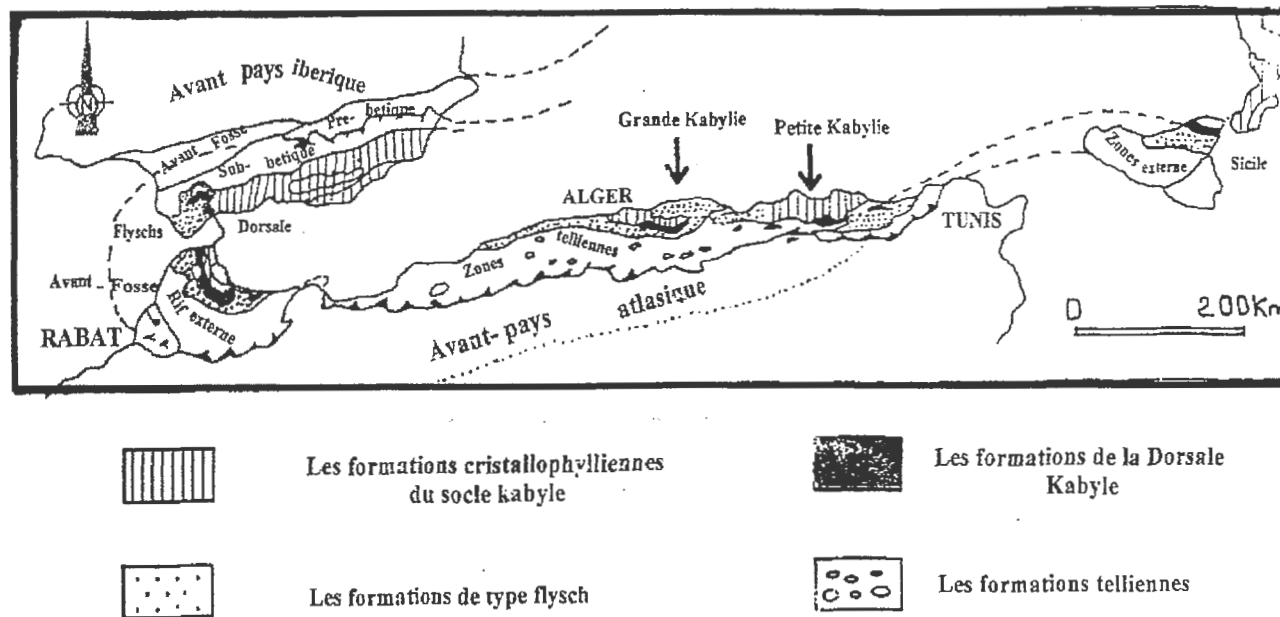


Fig-II-1 : Schéma structural de la chaîne Alpine de la méditerranée occidentale (D'après Durand Délga, 1969).

**II-1-2-1- Le domaine interne :**

Il est représenté par les formations cristallophylliennes du Socle Kabyle et leur couverture sédimentaire, les formations du Socle Kabyle constitue trois pointements amygdalines le long du littoral Algérien, ces pointements sont représentés par : (Voir fig II-3)

- Le massif de Chenoua à l'ouest d'Alger.
- Le massif de la Grand Kabylie au centre.
- Le massif de la Petite Kabyle à l'est.

**-Socle kabyle :**

Les formations cristallophylliennes du socle Kabyle sont largement représentées en Petite Kabylie, le socle Kabyle comporte deux grands ensembles. : [2], [3]

**a- Un ensemble supérieur :** Cet ensemble schisteux est formé de micaschiste de schiste et de phyllade.

**b- Un ensemble inférieur :** essentiellement Gneissique, constitué de paragneiss d'orthogneiss et de gneiss granulitique, avec des intercalations de marbres et d'amphibolites.

**- Dorsal kabyle :**

Cette dernière à été respectivement nommée « chaîne liasique », selon Ficheur (1903), ou « chaîne calcaire » d'après Glangeaud (1932), et dorsal Kabyle pour Durand Delga (1963).

Grâce à ces reliefs carbonatés cette dorsale marque la limite entre le socle Kabyle au nord et les zones Telliennes de la Petites Kabylie au sud, elle montre des termes allant du Permo-Trias discordant sur le Socle Kabyle à l'oligocène. [4]

Les séries qu'elle présente, permettent de la subdiviser en trois sous domaines qui sont du nord au sud : [4]

**a- La dorsal interne :**

Elle comporte une série complète du Permo-Trias au Néocomien.

Ce Néocomien est directement surmonté par des calcaires Biogènes à caractère littoraux de l'Eocène inférieur moyen. [4]

**b- La dorsal médian :**

Elle est caractérisée, surtout, par la constance de ses dépôts marneux à micros faunes pélagique du Turonien, au Lutétien inférieur et par une lacune des termes du Crétacé moyen.

**c -La dorsal externe :**

Elle est caractérisée par des séries détritiques peu épaisses et lacuneuses.

Elles comportent des calcaires silicifiés, surmontés par des conglomérats du Companien, qui les recouvrent en discordance. Ces derniers soulignent une intense érosion Sénonienne, les dépôts de la dorsal externe s'étalent jusqu'au lutétien.

La dorsal externe apparaît en contact anormal avec les flyschs.

**II-1-2-2- Le domaine Externe :**

Il correspond aux domaines des flyschs et au domaine tellien.

**- Les séries De Type Flyschs :**

Ce sont des séries d'âges Crétacés à Paléogène. En Algérie, ces séries occupent une position allochtones, elles sont, classiquement, subdivisées en deux principaux types de flysch. (Voir fig : II-2)

**a - Le flysch Mauritanien:**

Il comporte de bas en haut :

- Un préflysch calcaire fin, à calpionnelles du Crétacé inférieur.
- Une épaisse série gréseuse qui atteint l'Albien moyen.
- Des conglomérats et argiles du Paléocène-Eocène. [5]



a- Le Flysch Massylien :

Comme son homologue mauritanien, il se présente sous trois ensembles :

- A la base, le classique, flysch Albo- Aptien ; c'est un terme argile quartzitique du Crétacé supérieur.

- Des phanites noires et blanchâtres, intercalées, dans des micros brèches du Sénonien.

- Des argiles, alternant avec des micros brèches non cimentées du Crétacé supérieur.

[4] ; [6]

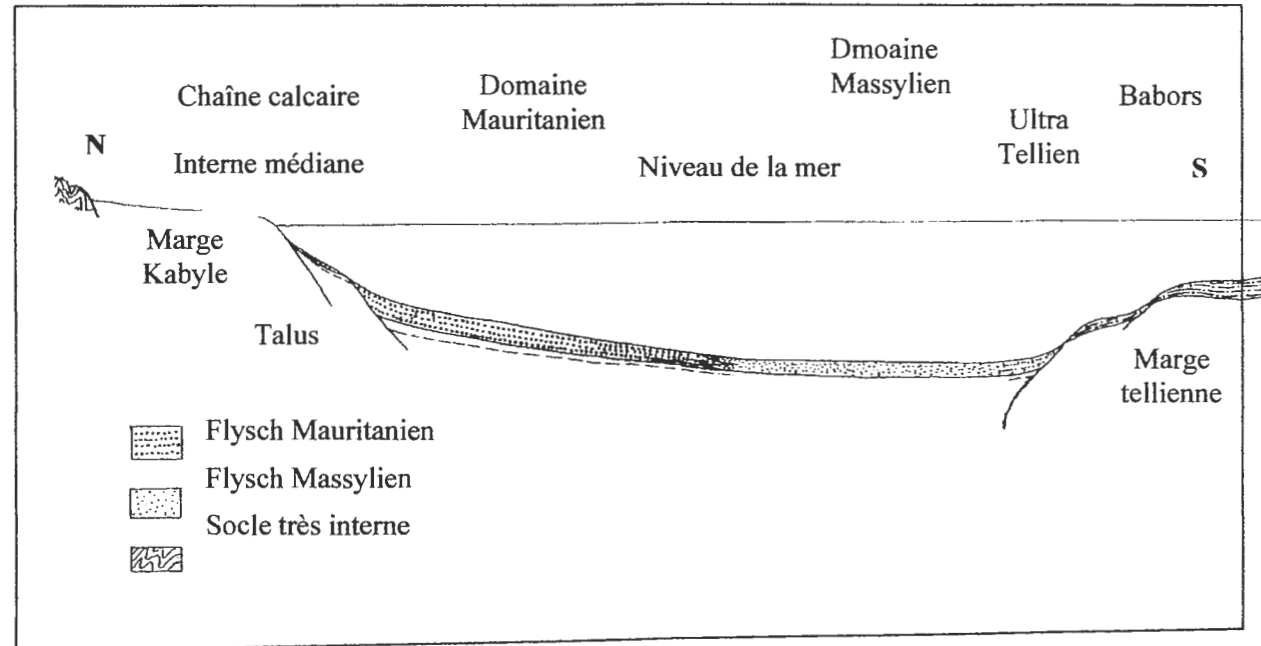


Fig-II-2: Le domaine des Flysch. [7]

- **Les Séries Telliennes** :

Issues du sillon tellien, elles sont représentées par des séries épaisses allant du Néocomien au Lutétien. Se situant au sud du socle Kabyle [3], les séries telliennes présentent ; des dolomies et des calcaires à silex au Lias, des calcaires et radiolarites au malm, des marnes calcaires du Néocomien, au Lutétien et des marnes à niveaux conglomératique au Sénonien.

Les séries telliennes peuvent être subdivisées en plusieurs séries. [8]

a- Une série Ultra Tellienne :

b- Une Série Tellienne, sens stricte :

c- Une série Péni Tellienne : passant vers le nord, aux Baboures, chaque série montre une évolution paléogéographique distincte.

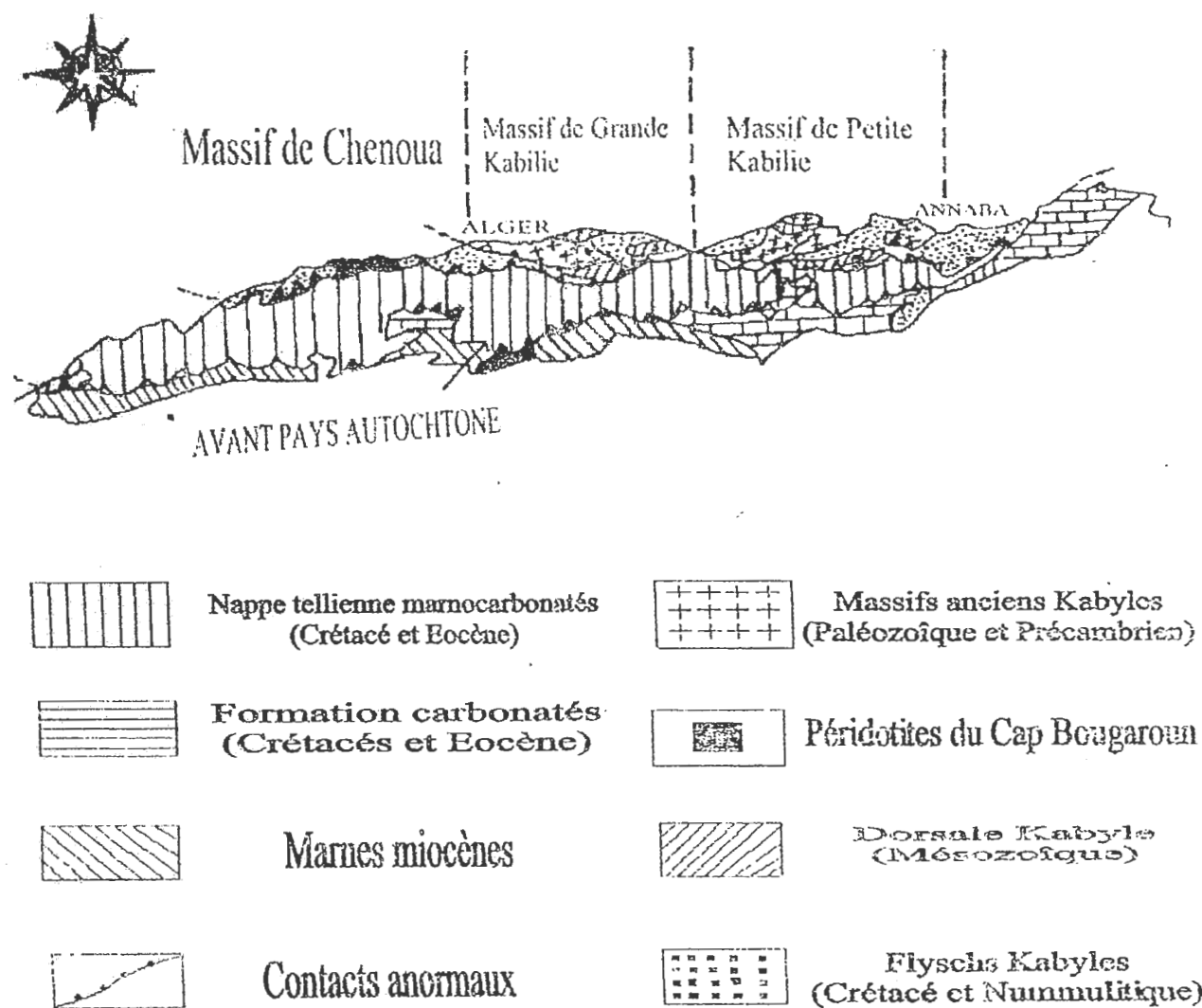


Fig-II-3 : Les grands ensembles géologiques des maghrébides en Algérie. [1]

**II-1-3- Les formations post nappes :****II-1-3-1-: L'oligo-Miocène kabyle et les Olistostromes :**

Il représente la couverture sédimentaire transgressive et discordante du socle kabyle, les formations de l'Oligo-Miocène Kabyle sont constituées de trois principaux termes : [3]

- Un terme de base : comporte des conglomérats reposant en discordance sur le socle Kabyle.
- Un terme médian : formé de grès lithique, micacés à débris provenant du Socle Kabyle associés à des pélites micacées.
- Un terme supérieur : pélitique et siliceux à radiolaires et diatomées.

Après l'Oligo-Miocène, succèdent des olistostromes.

**II-1-3-2 - Les Olistostromes :**

Se sont des formations tectono-sédimentaires à débris des flyschs intercalés dans des passées greso-micacées.

L'âge des Olistostromes est supposé être Aquitanien à Burdigalien inférieur probable. [3]

**II-1-3-3- Le numultique :**

Ces formations constituent la couverture de la dorsale kabyle et du flysch mauritanien, il s'agit de formation ; grés-micacées qui débutent à la fin du Lutétien jusqu'au Priabonien et se terminent à l'Oligocène supérieur (Lahondère, 1979). [3]

**II-1-3-4- Le numidien :**

Affleurant dans la région de Jijel et d'El Milia à l'ouest, et dans la région de Collo et de Skikda à l'Est, il se caractérise par les formations suivantes (Lahondère, 1979) : [3]

- **A la base :** Des argiles sous numidiennes colores vari de teinte rouge verte violacée à Tubatomaculum d'âge oligocène supérieur, et des grés numidiens de couleur jaunâtre à blanchâtre en banc épais à quartz roulés très hétérogènes d'âge Aquitanien à Burdigalien inférieur (Lahondère, et al, 1979).

- **Au sommet** : Des formations supra-numidiennes comportant des argiles et des marnes à intercalation ; de silexites du Burdigalien basal.

**Remarque :**

Le Flysch numidien repose en contact anormal sur toutes les formations précédentes et constitue structurellement la nappe la plus haute de l'édifice Alpin.

**II-1-3-5- Les roches magmatiques :**

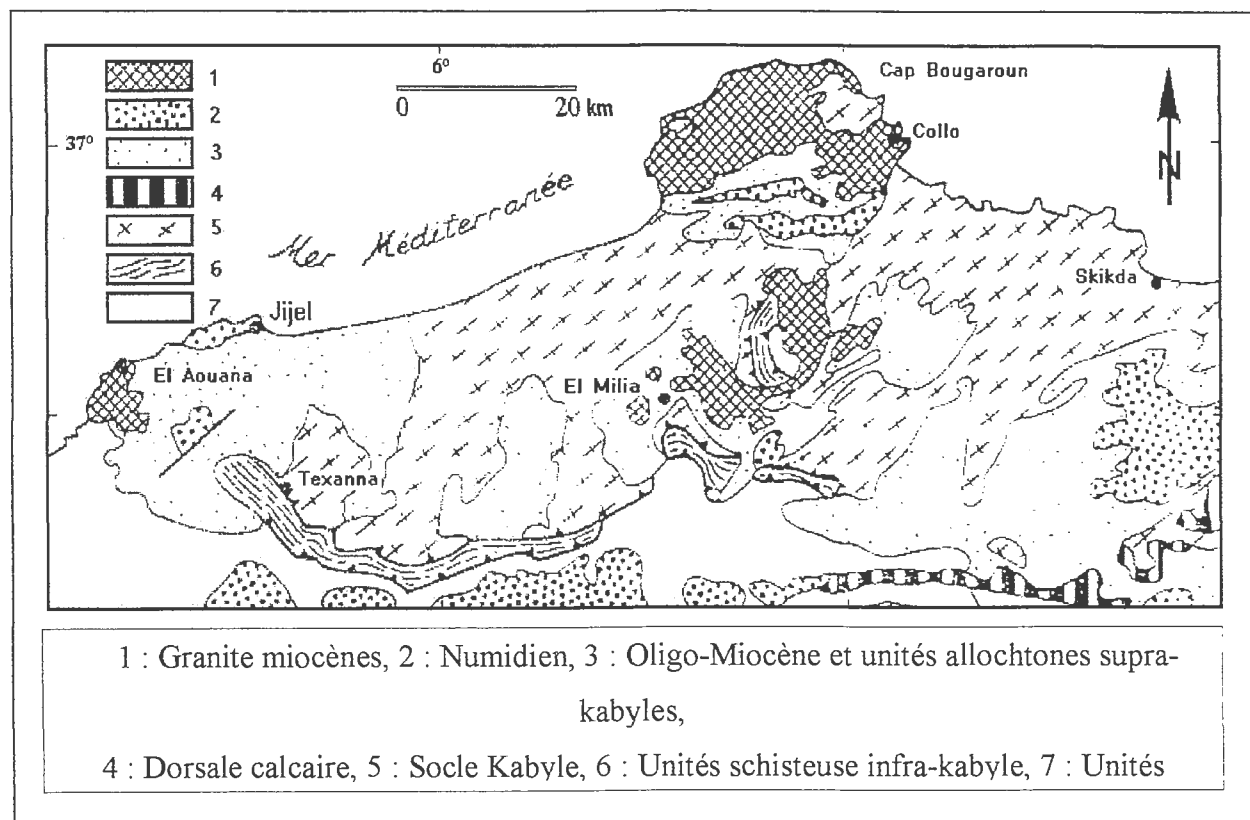
L'une des caractéristiques de la partie Nord-Est du massif de la Petite Kabylie est l'important magmatisme Miocène qui engendre d'importantes masses ;

Le grand développement des roches éruptives, et en particulier la présence de massif de granite Miocène, constitue l'un des caractères originaux de la Petite Kabylie et particulièrement de la Kabylie de Collo et d'El-Milia. [3] voire (fig-II-4).

Les roches magmatiques sont principalement représentées par :

- Les roches basiques et ultrabasiques (Péridotites, Gabbros, Diorites, Micro diorites et Dolorites) de Texanna et Cap Bougaroun.
- Les roches granitiques (Granites, Microgranites et Granodiorites) de la Kabylie de Collo et d'El-Milia. Ces roches granitiques résultant d'un épisode magmatique Miocène, sont une particularité de la partie orientale de la Petite Kabylie. [3], [9], [10], [11]
- Les roches volcaniques (Rhyolites, Trachites, Andésites, Dacites) dans la région de Cavallo, Cap de Fer et Collo.





**Fig-II-4 : Esquisse géologique de la petite Kabylie  
 (Andrieux et Djellit, 1989).**

## II-2- Cadre géologique local :

### II-2-1- Introduction :

La région d'El Milia est quasiment représentée par des roches magmatiques : granites et microgranites, (plus de 80% de la surface apparente). Pour l'ensemble, se manifestant sous forme d'arènes granitiques ou micro-granitiques. [3] (Voir Fig-II-5).

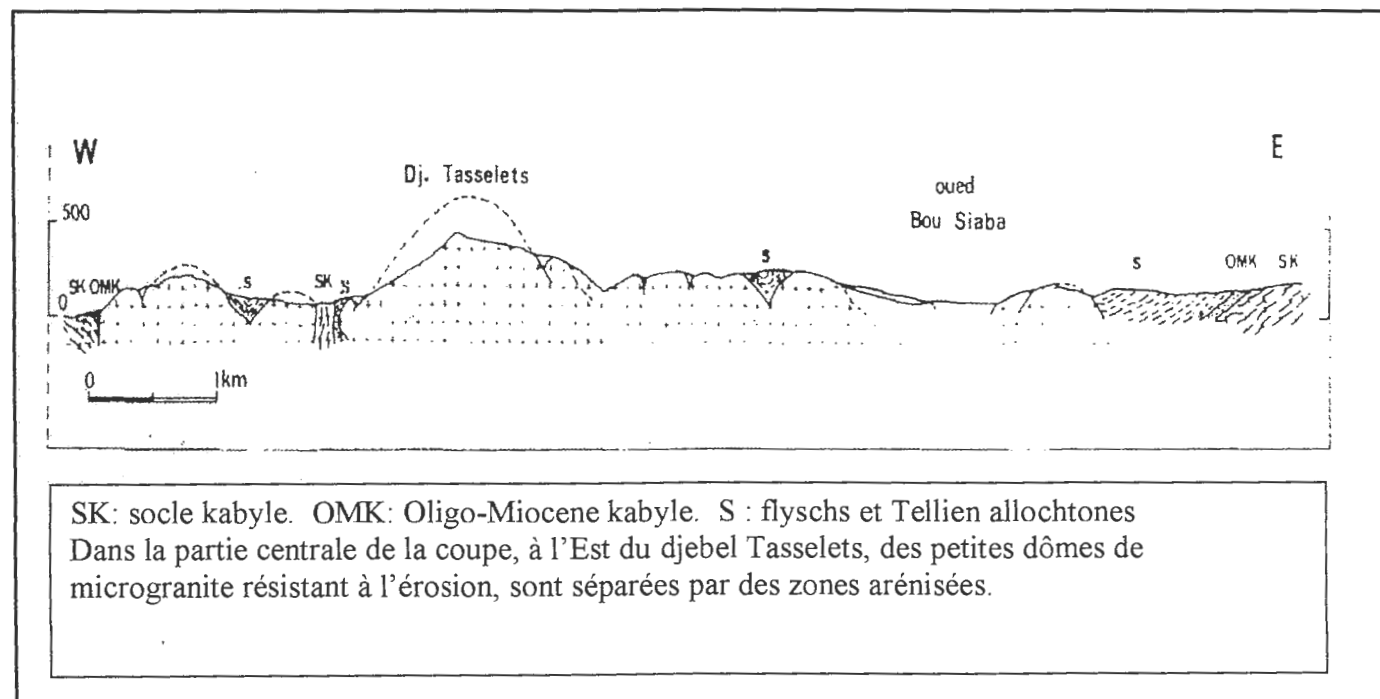


Fig - II-5 : Coupe dans le massif de microgranite d'El Milia. [3]

Le complexe volcano-sédimentaire d'El Milia est représenté par les formations suivantes :

- Roches éruptives : miocène (granites et microgranites) pour l'essentiel, affleurant sous forme de dômes qui culminent vers 200m.
- Le socle kabyle (schistes), près du massif de Moul ed Demamèn au sud d'El Milia
- Des unités supérieures métamorphiques de moul ed Demamèn, constitué par des flyschs mauritaniennes et leurs soubassements ; épi-métamorphisés.
- Oligo-miocène kabyle, des olistostromes et des flyschs charriés sur le socle kabyle.
- Miocène post-nappe (Burdigalien-Langhien).

-Formations quaternaire : constituées essentiellement par des alluvions des oueds et des terrasses alluvionnaires associées avec des sables et des argiles. [3]

### II-2-2- Tectonique du Secteur :

La structure du secteur étudié, comme l'ensemble de la Petite Kabylie, est le résultat d'une succession d'évènements tectoniques, qui se sont succédés depuis le paleozoïque jusqu'à nos jours. Ces phases se sont manifestées par des déformations cassantes et des déformations souples.

#### II-2-2-1- Les Failles

La carte géologique établie par J.M. Villa, et nos observations personnelles sur terrain, ont permis de mettre en évidence divers accidents cassants repartis comme suit:

1- Des Failles d'orientation E-W: Elles sont des failles normales ; plongeant vers le Sud, et forment la première famille.

2-Des Failles d'orientation NE-SW: Elles recourent la première famille, vers. Elles constituent la deuxième famille.

3- Des Failles de direction N-Sud: Elles recourent les accidents de la deuxième famille, et forment, elles même un troisième groupe.

4- Des Failles de direction NW-SE: Elles recourent les failles de la deuxième et troisième faille.

Généralement, toutes les failles, précédemment décrites sont caractérisées par un rejet relativement faible et une extension peu importante.

#### II-2-2-2- Les Plis

La région étudiée, est caractérisée par un vaste pli anticlinal de direction NE-SW. Ce dernier se trouve affecté, par les différentes familles de failles déjà évoquées, ses deux flancs ont une pente relativement douce.

Enfin, il est important, de noter que la tectonique qui a touché la région était accompagnée par des manifestations hydrothermales le long des failles et des fissures, en provoquant des phénomènes de sericitisation, de kaolinisation et de silicification dans les granites, microgranites et essentiellement les gneiss.

**II-2-3-La lithologie sommaire du site d'étude :**

Dans le but d'établir une étude géologique plus approfondie, on a utilisé des données de sondages réalisées par le laboratoire national d'habitat et de construction (L.N.H.C).

Les formations rencontrées sur le terrain se résument, de haut en bas par les résultats des sondages suivants :

**- Sondage N°1 :** 0,00 / 9.80 m : Remblai argileux  
9.80 / 12.00 : marnes. Marnes argileuses  
12.00 m : schistes

**- Sondage N°2 :** 0,00 / 3.00 m : Remblai Argileux  
3.00 / 9.00 m : marnes, marnes Argileuse  
9.00 / 12.00 m : schistes

**- Sondage N°3 :** 0,00 / 4.00 m : Remblai argileux  
4.00 / 9.00 m : marnes Argileuse  
9.00 / 12.00 m : schisteuse

Les formations traversées sont essentiellement à caractères argileux. On trouve des marnes reposant sur un substratum schisteux.

La corrélation des données de sondages, nous ont permis, la réalisation d'une coupe lithologique montrée par la (figure II-6).



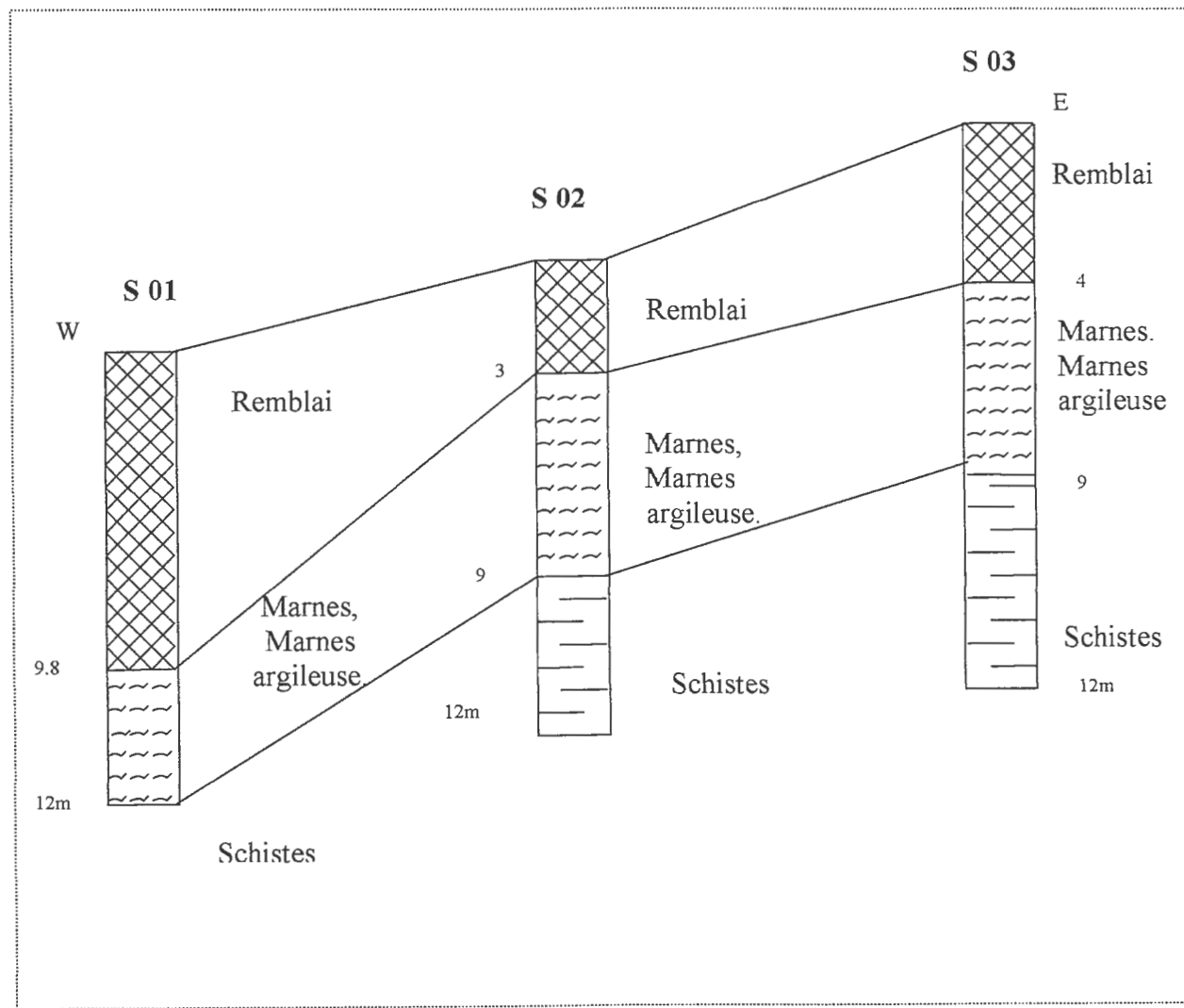


Fig.II-6 : Coupe lithologique. [12]

En conclusion, à partir de l'étude géologique, du site sujet de notre travail, on peut établir les constatations qui se résument ci-dessous :

- la couche superficielle est représentée par un remblai atteignant 9 m d'épaisseur.
- le substratum est représenté par les marnes schisteuses.
- le toit du substratum présente une pente assez importante.



***Chapitre III :***  
***Hydrogéologie et hydrologie***  
***de la région***

**III-1-Introduction :**

L'eau joue un rôle important dans la déstabilisation des terrains de n'importe quelle nature. Les données suivantes concernent les formations situées aux alentours des bassins versant de l'Oued El Kébir ; mais le peu des données que nous avons pu récoltées dans notre étude bibliographique nous a permis d'aborder ce chapitre.

**III-2- Hydrologie :****III-2-1- Caractéristiques physiques du bassin :**

Le bassin du Kébir-Rhume1 qui s'étend sur une superficie totale d'environ 8 800 km<sup>2</sup>, est drainé par deux cours d'eau importants : dans la partie sud, l'oued Rhume1 et dans la partie ouest. L'oued Endja. Leur confluence à l'aval de Grarem donne l'oued El Kébir, lequel rejoint plus au nord la Méditerranée.

Ces principaux oueds s'inscrivent dans un contexte géographique qui présente de l'amont à l'aval des aspects nettement contrastés: au relief plat et dénudé et au chevelu hydrographique assez lâche des hautes-plaines, succèdent de basses collines telliennes aux vallées encaissées, lesquelles se prolongent au nord par des massifs montagneux (massifs anciens de la petite Kabylie) 'affectés par une densité de drainage importante. [14]

**III-2-2- Le cadre hydroclimatologique :*****Les données disponibles :***

Les données hydrologiques utilisées dans cette note sont offertes par l'INRH Voir (fig-III-1-). [14]

Elle représente l'ensemble des sous bassins constituant le bassin de Kébir-Rhumel et leur confluence.

Notre zone d'étude occupe la partie septentrionale du bassin versant du Kébir-Rhumel (sous bassin : Oued Kébir maritime) ; ce dernier s'étend sur une superficie de 1339 Km<sup>2</sup>, voir Fig-III-1-(partie encadrée).



Les données exploitées pour notre étude couvrent une période commune de dix années civiles (1996-2005), excepté la station de l'aéroport d'Achoit -Tahir. Voir tableau III-1 et la figure III-2-qui représentent un graphique ombrométrique de données moyennes des précipitations et températures des dernières dix années.

mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUI	AUT	SEP	OCT	NOV	DEC
Pluviométrie(1996-2005)	152,6	121,1	52,5	84,3	52,3	16,6	3,7	15,8	89,5	72,9	179,6	182,6
Température (°c)	11,69	11,28	13,57	15,14	18,39	21,55	24,84	25,98	23,32	20,36	15,49	12,41

TableauIII-1 : données moyennes des précipitations et températures (Années 1996-2005) [13].

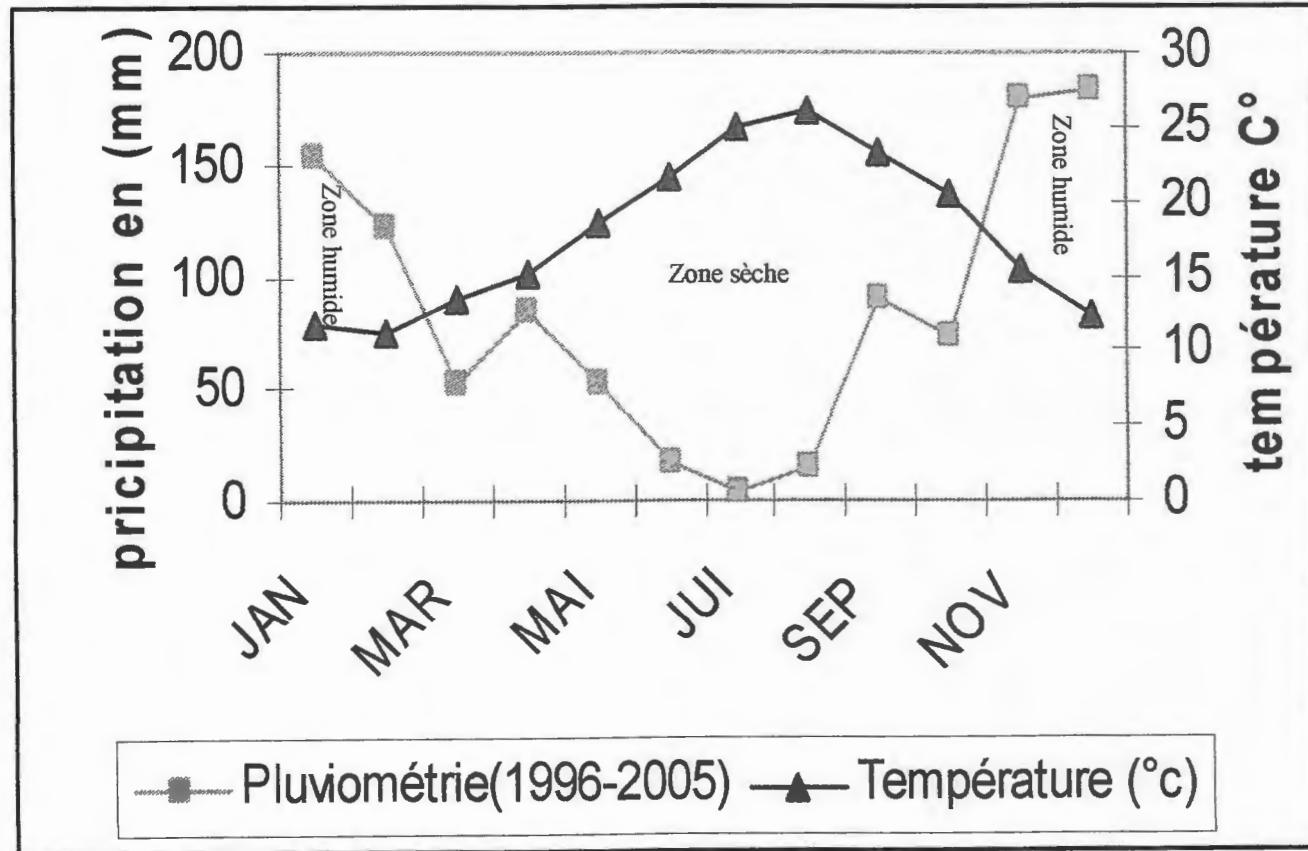


Fig.III-2-Graphique ombrométrique (Année 1996-2005)

\*La zone comprise entre les deux courbes indique la période la plus sèche de l'année.

\*Les deux autres zones indiquent la période humide.

**III-2-2-1- Précipitations :**

La région d'El Milia en particulier et Jijel en général est considérée parmi les régions qui enregistrent les précipitations les plus importantes dans notre pays.

La région est dotée de plusieurs stations pluviométriques et nous avons pris en considération, pour notre étude, les valeurs enregistrées par les stations de L'Aéroport (Tahire)

Les valeurs des précipitations sont enregistrées pendant la période s'étalant de l'année 1996 jusqu'à l'année 2005 et sont présentées dans le tableau III-1.

D'après les données du tableau, on note que :

- Le mois le plus pluvieux est : décembre avec une moyenne de : 182.6 mm
- Le mois le plus sec est : juillet avec une moyenne de : 3.7 mm

Dans le tableau III-2 on donne les précipitations moyennes mensuelles de dix ans :



	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUI	AUT	TOTAL
1996-1997	45	130	110	128	58	13	12	82	29	27	6	7	647
1997-1998	111	197	188	121	42	148	68	106	130	4	0	20	1135
1998-1999	94	52	338	141	163	97	62	43	6	4	2	6	1008
1999-2000	270	24	251	250	109	42	17	33	95	14	1	3	1109
2000-2001	26	90	118	85	248	111	14	51	30	4	0	3	780
2001-2002	39	1	125	142	72	67	38	50	15	4	16	86	655
2002-2003	50	103	182	407	333	115	31	130	71	8	7	0	1437
2003-2004	128	76	82	221	137	83	75	97	81	56	1	4	1041
2004-2005	76	35	267	159	262	231	86	122	5	0	1	18	1262
2005-2006	56	21	135	172	<b>En cours de traitement</b>								

Tableau III-2 : Précipitation moyenne mensuelles de la station de l'Aéroport d'Achoit. [13]

**III-2-2-2-Température :**

Les températures dans la région sont basses en hiver et élevées en été.

-Le mois le plus frais : février avec une moyenne de : 11.28°C.

-Le mois le plus chaud est : Août avec une moyenne 25.98°C.

Dans le graphique ombrométrique (fig III.2), on observe l'évolution des températures et précipitations le long de l'année. La période de sécheresse s'étale entre Avril et Octobre.

(Graphique réalisé sur une période de dix ans)

**III-2-2-3- Humidité et évaporation :**

A cause des précipitations importantes enregistrées pendant les périodes pluvieuses et la présence des côtes à faibles distances, le taux d'humidité de la région est relativement élevé et situe au dessus de 90% le long de l'année.

Les grandes valeurs de l'évaporation sont enregistrées entre le mois de juin et celui de Septembre.

**III-3- Le cadre hydrogéologique du bassin versant :**

L'oued Kebir-Rhumel, long de 200 km, draine plusieurs domaines géologiques hydrogéologiques très différents. Il va de soi que cette hétérogénéité du bassin versant provoque des influences différentes sur le régime des cours d'eau conjointement à celles dues à la répartition des précipitations.

De la source à la mer, on rencontre schématiquement cinq (5) grands domaines géologiques et hydrogéologiques (fig-III- 3). [14]

III-3-1-Unités lithologiques du bassin versant :

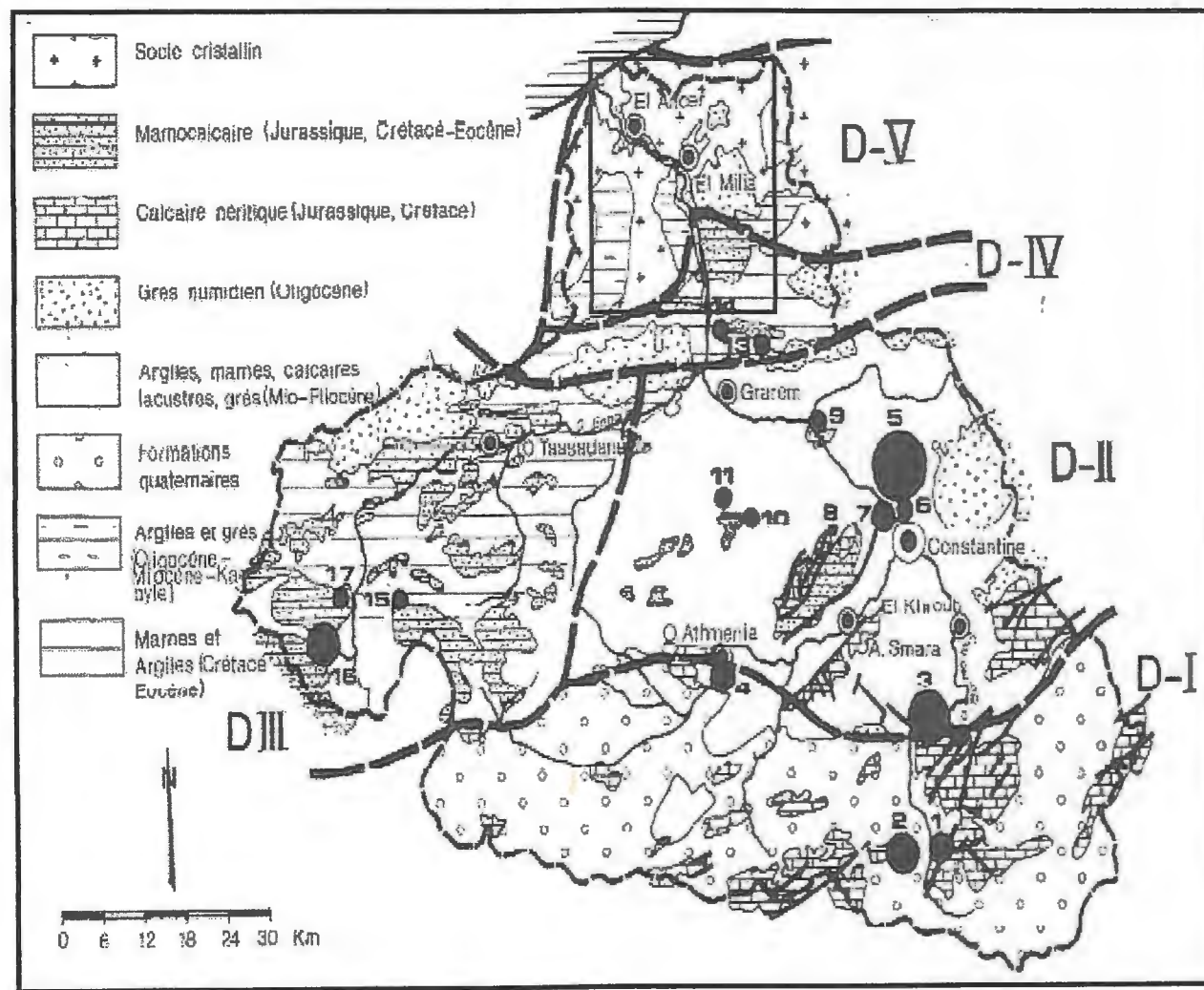


Fig-III- 3 - Les grands domaines hydrogéologiques. [14]

Sources de débit > 10 Ils - 1: Aïn Fesguia (90 Us) - 2: Aïn Fourchi (300 Us) - 3: A. B oumenoug (450 Ils) - 4: H. Grouz (400'110 I/s) - 5: H. Bouziane (3Z0 5, 700 Ils) - 6: Sidi MCid (290, 10 Ils) - 7: Salah Bey (299 20 Ifs) - 8: Ibn Ziad (10 Ils) -9: A. Kheneg (10 Us) - 10: Aïn Tinn (320, 14 Ils) - 11: Marchau (13 Ils) - 13: A. Gamra. (12 Ils) - 14: Bedsi (15 Ils) - 15:A. Djemila (11 Us) - 16: A. Hammam (21') 1.50 Ils) - 17: A. Mechaâl (10 Ils).

**III-3-1-1- Le domaine des Hautes- Plaines Sud- Constantinoises**

Il est constitué de deux grandes unités lithologiques:

- Les massifs carbonatés du néritique constantinois:

Composés de 1 000 à 1 200 m de calcaires jurassiques et crétacés, ils émergent en horsts très karstiliés de 10 à 100 km<sup>2</sup> limités par des abrupts imposants.

Au pied de ces massifs, dans la zone d'éboulis, émergent de grosses sources karstiques: Ain Fesguia (90 l/s).

D'El Khroub et de Constantine) à la base du Guérioun, Aïn Fourchi (pompages de 300 l/s aux fins de l'irrigation) au sud d'Aïn M'lila et à l'est du Djebel Nif Ennser, Aïn Bou-Merzoug (400 l/s: AEP de Constantine) au nord du massif du Fortas.

- Les trop-pleins non captés alimentent les oueds (haut-Rhumel et Bou Merzoug) qui drainent les différentes plaines quaternaires cloisonnées par les djebels calcaires.

Sur l'ensemble de ces plaines, les nappes phréatiques sont activement exploitées pour l'irrigation par gravité des cultures maraîchères.

**III-3-1-2- Le bassin néogène de Constantine-Mila :**

Ce bassin mio-pliocène est à dominante argileuse à l'exception de quelques affleurements de calcaires lacustres renfermant des ressources exploitées localement. Par ailleurs, émergent de nombreux horsts de calcaires néritiques d'âge jurassique crétacé donnant lieu à des aquifères karstiques hydrothermaux tel le système de Hamma Bouzianc-Constantine.

La station de Grarem, sur le bas-Rhumel, reçoit les écoulements issus de l'ensemble des domaines 1 et 2.

**III-3-1-3- Le domaine des «nappes» tectoniques de Djemila :**

A l'ouest de Ferjioua, en position occidentale par rapport au domaine 2, les «nappes» de Djemila sont formées d'une alternance de marnes et de calcaires marneux (Jurassique Crétacé-Eocène). Les niveaux calcaires les plus épais donnent des sources à débit relativement faible, excepté la source faiblement thermique de Aïn Hamman (21°-150 Us) qui contribue en partie à l'alimentation de l'oued El Kébir-amont (oued Enndja).

**III-3-1-4- Le domaine de la dorsale kabyle et des massif gréseux numidiens :**

Ce domaine, situé à la confluence de l'oued Enndja et de l'oued Rhumel au nord de Grarem, est constitué essentiellement de grès numidiens sous lesquels apparaissent des calcaires jurassiques très tectonisés de la dorsale kabyle. Ces calcaires donnent naissance à des émergences à débit non négligeable.

**III-3-1-5- Le domaine du socle granitique et cristalloyphyllien de la petite Kabylie d'E1****Milia :**

Au sud d'E1 Milia, la vallée du Kébir-Rhumel s'encaisse dans les formations du socle. Cette vallée, large de 1 à 2 km, renferme des graviers et sables alluviaux abondants. La nappe alluviale, en partie exploitée, constitue à l'opposé des formations du socle, la ressource hydraulique la plus importante du secteur. [14].

**III-3-2-Domains propre à notre sous bassin :**

Comme montré dans la fig-III-3 ; les domaines qui occupent la superficie de notre sous bassin sont :

\*Le domaine D-IV : essentiellement marqué par des grès Numidiennes, des argiles, marnes crétaées.

\*Le domaine D-V : essentiellement caractérisé par le socle cristallin, grès numidien et OMK.

**III-3-3-perméabilité des différents unités lithologiques du sous bassin Oued Kébir maritime:**

Formations	Perméabilité
Grés	En grand interstices
Schistes	Semi imperméables
Marnes et Argiles	Imperméables
Complexe gréseux	Semi imperméables
Argiles, Limons	Peu imperméables
Arènes	Perméables d'interstices
Alluvions	Perméables d'interstices
Granites	Imperméables



La région d'El Milia est globalement constituée par des granites et des microgranites qui sont imperméables en gros, mais l'ensemble des affleurements sont des arènes, cette dernière perméabilité d'interstice variable.

En outre que les granites, la région montre des affleurements de grès Numidien et des formations d'oligo-miocène Kabyle (OMK) qui présente des aquifères importants et tout dépend des dimensions des interstices et des bancs de grès.

Les alluvions ; essentiellement les terrasses alluvionnaires de Oued el Kébir, constituent les aquifères les plus importants de la région.

En gros on peut dire que la région présente des perméabilités variables considérées comme étant peu perméable ; en outre que la région a une forte précipitation ; on déduira donc que l'ensemble des écoulements sont superficiels ; ce qui favorise l'instabilité des terrains.

L'allure générale obtenue à la région d'El Milia ( exemple de l'années 1996-2005; fig.III-3) est caractéristique d'un bassin très peu perméable (socle granitique) et soumis à une forte pluviosité (1200 mm/an ).

Les débits des hautes eaux, liés principalement aux précipitations, sont très élevés (supérieurs à ceux observés à Grarem malgré une superficie de bassin 10 fois plus faible) et remarquablement linéaires alors que les débits d'étiage, marqués par une certaine rupture de pente, sont très faibles ; car très peu soutenus par les eaux souterraines, lesquelles n'apparaissent que sur une période réduite. Il faut toutefois rester prudent quant à la fiabilité des débits de base obtenus en raison des imprécisions des mesures en basses-eaux.

## *Deuxième partie*



*Chapitre : IV*

*Les différentes méthodes de  
reconnaissance des sols*

**IV-1-Introduction :**

Les reconnaissances et les études géotechniques complètent celles réalisées par la géologie et l'hydrogéologie. Elles doivent permettre de préciser la description des terrains en question, leurs états de comportement pendant l'exécution puis l'exploitation de l'ouvrage concerné. Enfin de définir les méthodes d'exécution, le dimensionnement des ouvrages, et les précautions particulières.

**IV-2- Programme de reconnaissance géotechnique :**

Il se fait en fonction des caractéristiques de l'ouvrage à réaliser et de la nature géologique des terrains de la zone étudiée.

L'étude comporte deux types de travaux :

**IV-2-1- Travaux in situ :**

Toute étude géotechnique doit commencer par une reconnaissance in situ qui permet de déterminer les caractéristiques des sols en place dont sa dépendre le type de la fondation.

Les essais in situ réalisées sont :

**IV-2-1-1-Essai de pénétration dynamique (DPT) :**

L'essai DPT est le plus simple et le moins coûteux des essais in situ. Ceci explique sa large utilisation.

**a- Description de l'essai :**

Ce type d'essai, qui consiste à faire pénétrer dans le sol par battage des tiges métalliques à l'aide d'un mouton tombant en chute libre, il met en œuvre un matériel plus simple et plus robuste.

[15], [17]

**b- Principe de l'essai :**

L'essai consiste à battre un train de tiges se terminent par une pointe conique dans le sol à l'aide d'un mouton de masse  $M$  tombant d'une hauteur fixe  $H$  et de mesurer le nombre de coup  $N_d$  nécessaires pour faire pénétrer la pointe sur une hauteur  $h$ .

Comme l'illustre la (fig-IV-1), l'appareil est essentiellement composée des éléments suivants :

[16]

- Le mouton sous forme d'une masse tombant en chute libre fixe et battant l'enclume du pénétromètre.
- L'enclume qui transmet l'énergie de battage aux tiges.
- Les tiges qui à leur tour transmettent l'énergie à la pointe.
- La pointe qui est caractérisée par son angle et son diamètre.

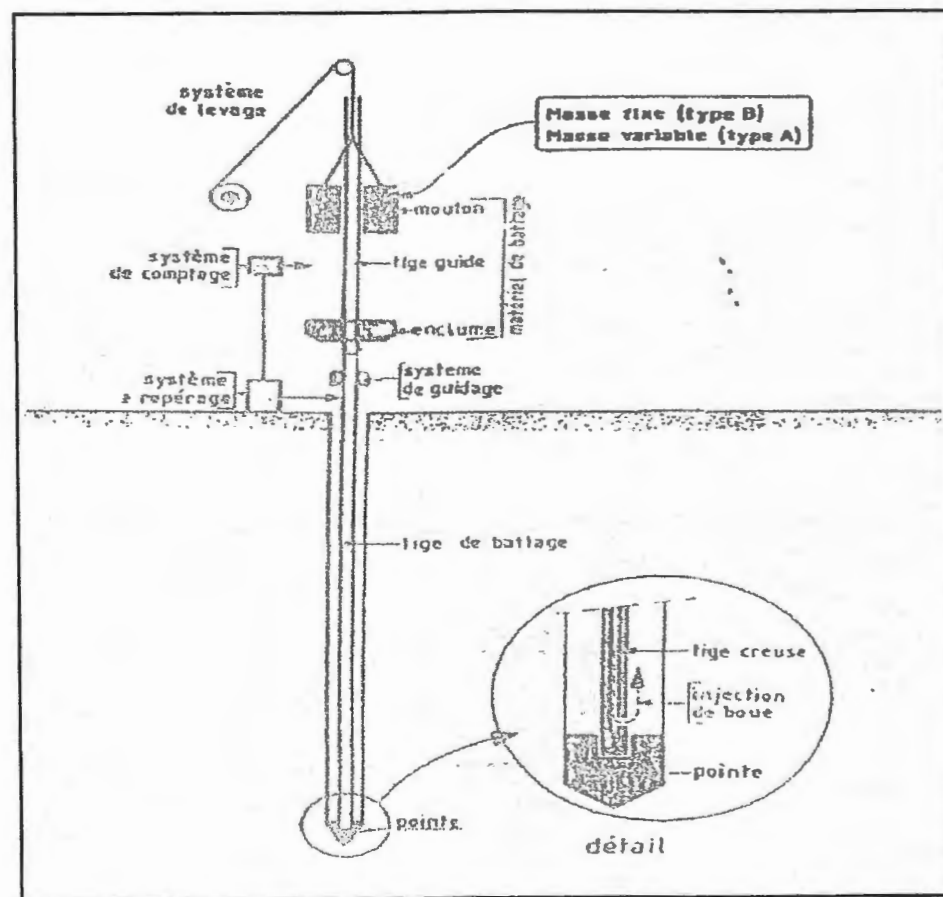


Fig-IV-1 : Schéma général d'un pénétromètre dynamique. [16], [19]



**c- Présentation des résultats d'essai de DPT :**

Les résultats de l'essai en général sont reportés sur un graphique (arythmique ou semi-log) donnant en fonction de la profondeur atteinte par l'extrémité inférieure des tiges. Le nombre de coups  $N_d$  correspondant à un enfoncement de 10, 20, 25 ou 30 centimètre. [16] (Fig-IV-2)

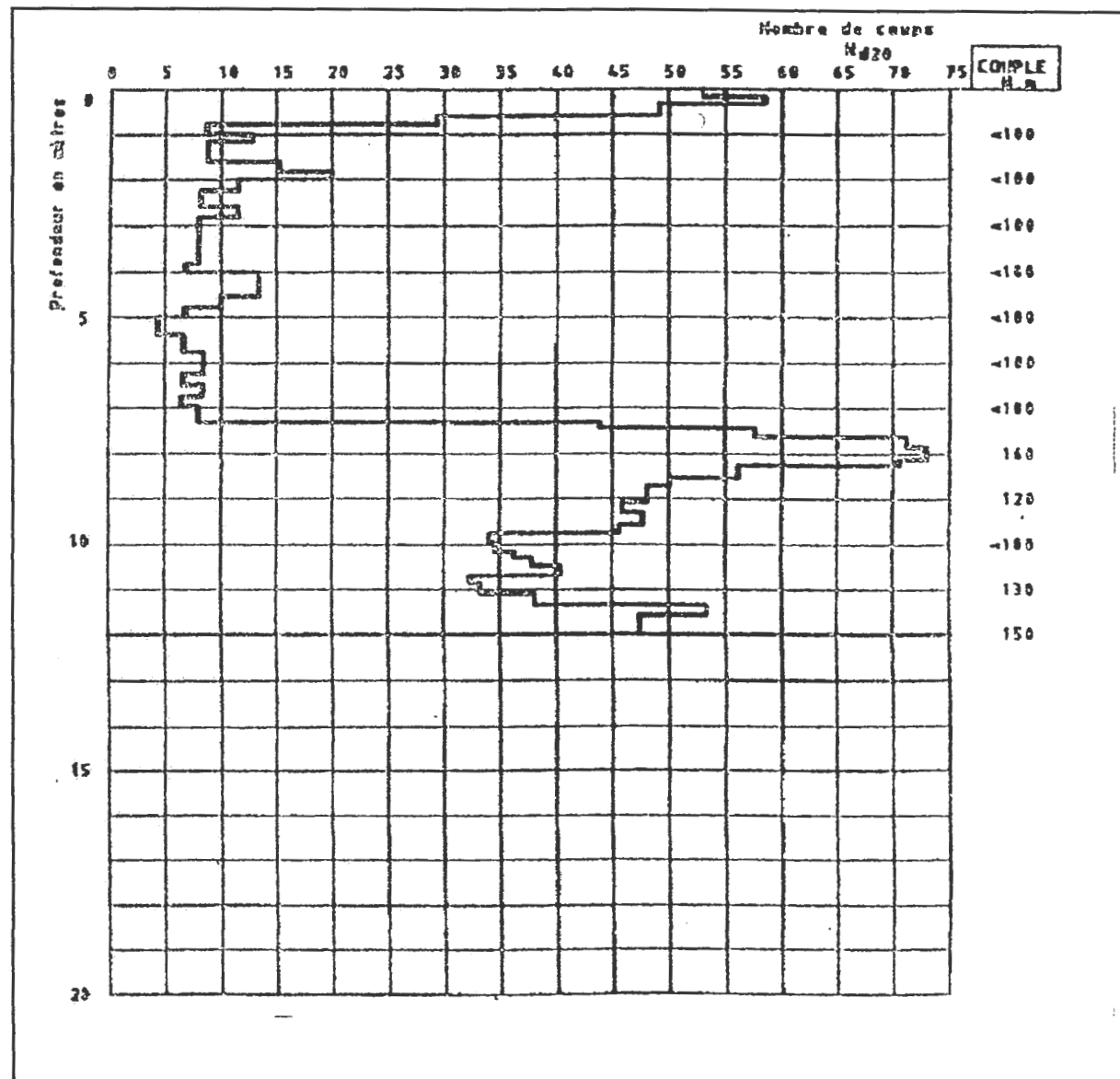


Fig-IV-2 : Exemple graphique du pénétromètre dynamique. [16]

Cette résistance est souvent appelée : « Résistance dynamique conventionnelle :  $R_d$  ». [17]

$$R_d = \frac{M^2 \times H}{H} \times \frac{1}{m + P_z} \times \frac{1}{E} \dots\dots\dots (1)$$

$R_d$  : Résistance dynamique de pointe.

$M$  : Poids du mouton.

$H$  : Hauteur de chute du mouton en (cm.).

$P_z$  : Poids des tiges en daN à la profondeur (Z.).

$A$  : Section droite de la pointe en (cm<sup>2</sup>).

$E$  : Refus (enfoncement par coup en cm; N : nombre de coup/20)

❖ Les essais de pénétromètre dynamique sont effectués dans le but :

- D'avoir une estimation qualitative de la résistance du sol.
- Détecter des anomalies souterraines.
- Définir des zones d'égale résistance.
- Estimer empiriquement la contrainte admissible du sol ( $Q_{adm}$ ).
- Fixer d'une manière approximative le type et la profondeur d'ancrage des fondations dans la formation la plus résistante.

#### IV-2-1-2- Sondage mécanique :

Deux types de sondages peuvent être réalisés :

- Des sondages destructifs : apportent peu d'information et peu coûteux.
- Des sondages carottés ou non destructifs : coûtent généralement très cher avec prélèvement des échantillons.

Les sondages mécaniques donnent beaucoup de renseignement si on peut les suivre sur le chantier. Ils doivent être implantés après une reconnaissance de terrain et une campagne géophysique. Ils fournissent une coupe précise des terrains et permettent d'étalonner les diverses méthodes de reconnaissance géophysique. Ils sont également très utiles pour repérer les zones de faiblesse, les traces de cisaillement dans les matériaux cohérents, d'installer des piézomètres et des

cellules de prise de pression interstitielle et d'installer parfois des inclinomètres. Ils permettent enfin de prendre des échantillons non remaniés destinés au laboratoire. Ces prises d'échantillons sont particulièrement intéressantes au voisinage de surface de glissement. C'est en effet le long de cette surface que l'on cherche à connaître les caractéristiques mécaniques des matériaux. [18]

#### IV-2-1-3- L'essai à l'inclinomètre :

Cet appareillage est coûteux et l'exploitation des mesures est complexe.

##### a- Principe :

On reconstitue par mesure successives à l'aide d'une sonde, le profile déformé d'un tube souple placé dans un forage initialement vertical (fig-IV-3).

Il existe différents types d'appareils inclinométriques; dans le model **TELEMAC**, suspendue à un câble gradué est relié à un pendule et contient une tige calibrée sur laquelle sont fixées quatre (4) cordes vibrantes. (fig-IV-4-a et b)

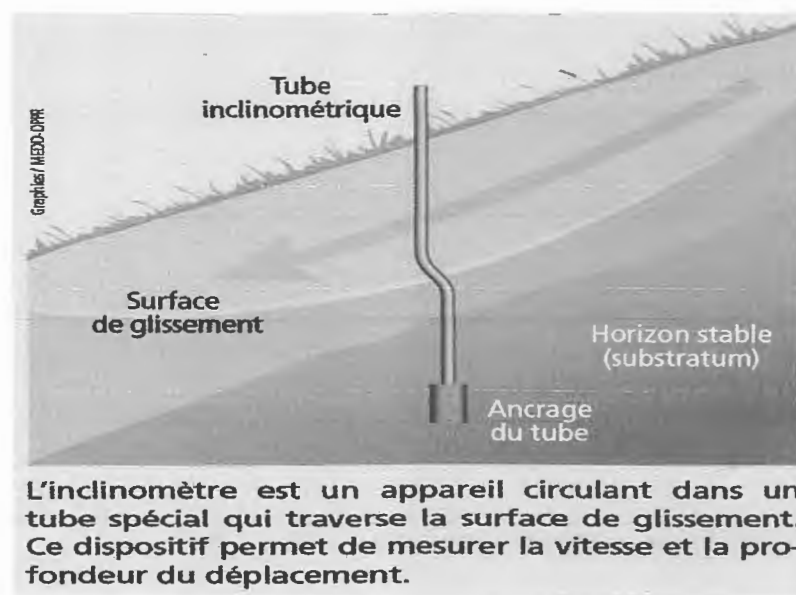
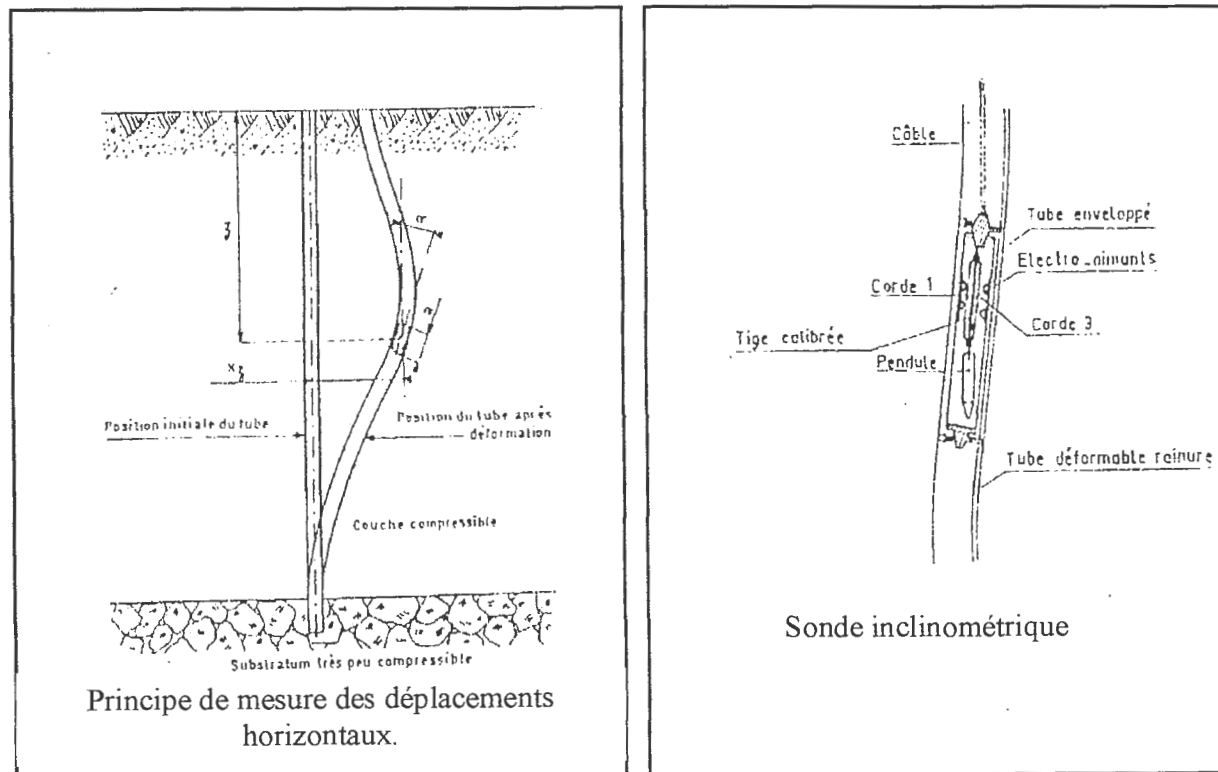


Fig-IV-3 : Schéma d'un inclinomètre.

**b- Mesure :**

L'inclinaison du tube dans lequel coulisse la sonde, provoque une flexion de tige donc des variations de tension des cordes vibrantes que l'on mesure. Ceci permet de déduire l'inclinaison du tube. La précision est de l'ordre du 1/1000 sur la tangente de l'angle que fait la sonde avec la verticale. [16]

➤ Cet appareillage est cependant coûteux et l'exploitation des mesures est complexe.



(Fig-IV-4-a)

(Fig-IV-4-b)

**Fig-IV-4 : Principe de mesure inclinométrique, (model Telmac). [16]****IV-2-2- Les essais de laboratoire :**

Les essais de laboratoire ont un rôle majeur pour certains types de problèmes et offrent un accès direct aux paramètres indispensables pour les calculs géotechniques du sol, mesurés sur les échantillons intacts, prélevés à différentes profondeurs dans les sondages réalisés.

IV-2-2-1- Paramètres physiques :

Ces paramètres nous permettent de déterminer la nature du sol, sa structure et ses propriétés physiques avec précision. Ces paramètres sont :

- a- Teneur en eau  $w\%$  qui définit pour certains volume de sol, le rapport du poids de l'eau au de la matière sèche.
- b- Degrés de saturation  $S_r$  qui indique la quantité d'eau que contient le sol.
- c- Les limites d'Atterberg : On utilise très généralement les limites définies en 1911 par **ATTERBERG** et précisées ensuite par **CASAGRANDE** (valable pour les sols fins : argile et limon) :
  - La limite de liquidité  $W_L$  qui sépare l'état liquidité de l'état solide.
  - La limite de plasticité  $W_P$  qui sépare l'état plastique de l'état solide.

Ces limites sont mesurées sur la moitié, c'est-à-dire la fraction de sol qui passe au tamis de 0.40mm (tamis afnor27).

- L'indice de plasticité  $I_p$  qui est la différence entre la limite de liquidité et la limite de plasticité, il mesure le domaine de plasticité du sol, il s'exprime alors la relation ci-dessous : [19]

$$I_p = w_L - w_p \dots\dots\dots (2).$$

d- L'analyse granulométrie pour mesurer la répartition des grains suivant leurs dimensions pour sol grenue ou pulvérulents, on utilise une série de tamis et l'on note, pour une masse de sol déterminé, les résultats sont données sur un digramme (fig-IV-5). [17]

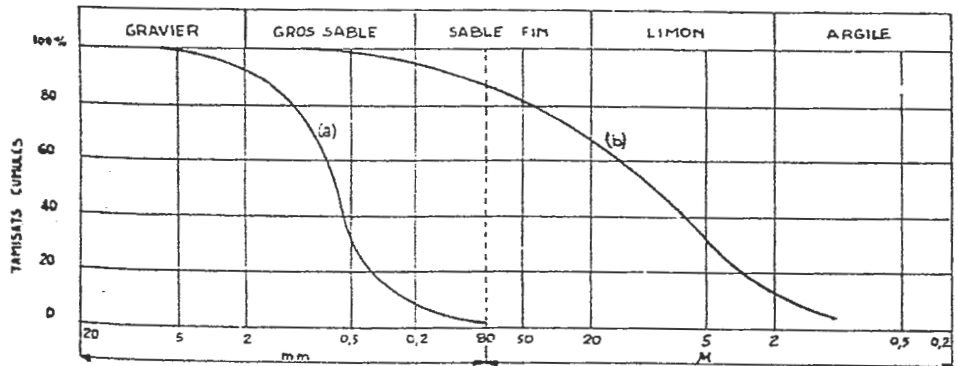


Fig-IV-5 : Courbes granulométriques. [17]

a) sable de Loire.

b) Argile jaune de Chêne lette.



e- L'analyse de la sédimentation pour les sols fins ou  $D \leq 80 \mu\text{m}$ . La procédure de cet essai consiste

À laisser sédimenter les particules dans un liquide de poids volumique  $\gamma$ . [19]

f- Mesure des densités sèches  $\gamma_d$  ( $\text{t/m}^3$ ) et humides  $\gamma_h$  ( $\text{t/m}^3$ ).

#### IV-2-2-2- Paramètres mécaniques :

Ces paramètres permettent de déterminer les caractéristiques mécaniques des sols et le calcul de la déformation de surface. Ils sont définis par les essais suivants :

##### IV-2-2-2-1- Essai de cisaillement rectiligne :

Plusieurs types d'appareils sont habituellement utilisés par les essais de cisaillement. Il existe des appareils pour la détermination in situ de la résistance au cisaillement et des appareils de laboratoire.

Les appareils de laboratoire sont essentiellement représentés par deux appareils :

- L'appareil à compression triaxiale.
- L'appareil à cisaillement rectiligne ou boîte de **Casagrande** qui est d'une utilisation plus facile que le triaxial. On utilise la boîte de Casagrande pour déterminer la résistance au cisaillement.

##### a- Description de la boîte de Casagrande :

Elle se compose d'un bâti et d'une boîte supportée par ce dernier. La boîte est constituée de deux moitiés séparées l'une inférieure mobile et l'autre supérieure, rattachée au bâti par l'intermédiaire d'un anneau dynamométrique (fig-IV-6). [19],[17]

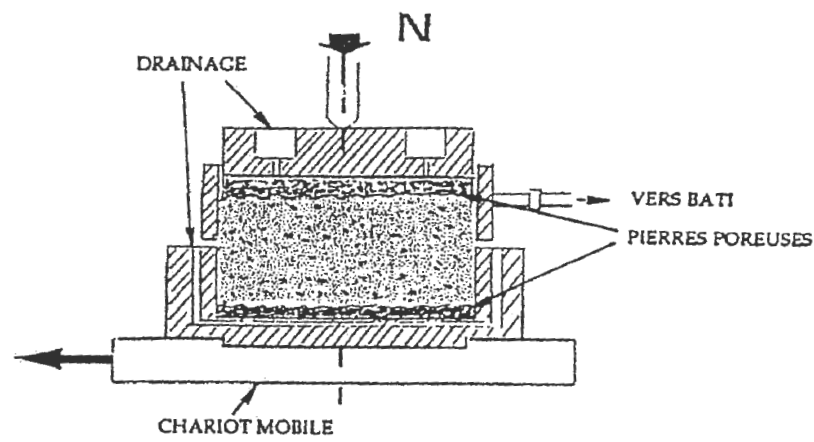


Fig-IV-6 : schéma de la boîte de CASAGRANDE. [16]

Un piston qui coulisse dans le demi boîte supérieure, permet l'application d'un effort normal  $N$  vertical à l'échantillon qui est placé entre deux pierres poreuses. [19]

**b- Principe et mesure :**

Lors de l'essai, on communique à la boîte inférieure, par l'intermédiaire d'un chariot mobile à une vitesse de déplacement constante.

On mesure alors la variation de l'effort horizontal  $T$  qui s'exerce sur la partie supérieure, On peut relever à chaque instant, grâce à des compteurs, le déplacement du piston ainsi que celui du demi boîte inférieure.

Le plan de séparation des deux boîte traverse l'échantillon .la surface de glissement à la rupture est imposée au cours du cisaillement, la surface  $S$  de l'échantillon varie, et l'on admet que la répartition des contraintes est uniforme sur le plan de glissement, ceci entraîne les résultats suivants :

➤ Pour la contrainte normale :  $\sigma = N / S$  ..... (3)

➤ Pour la contrainte tangentielle :  $\tau = T / S$  ..... (4)

Si l'on note  $\Delta L$  le déplacement horizontal et  $L_0$  la longueur de l'échantillon, on peut tracer la courbe de l'évolution de  $\tau$  en fonction de  $\sigma_n$  pour chaque valeur de  $N$ .

→ Donc la rupture peut être caractérisée soit par l'apparition de pic soit par l'existence du palier.

[19]

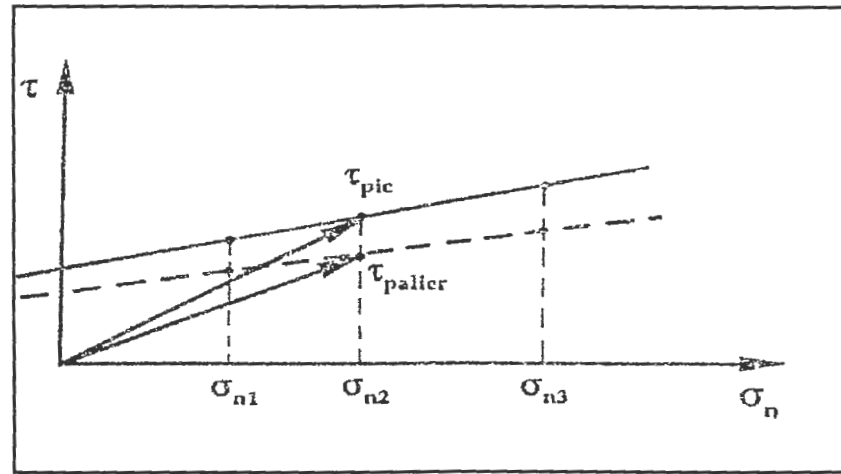


Fig-IV-7 : détermination de la rupture par la courbe  $(\tau, \sigma_n)$ . [19]

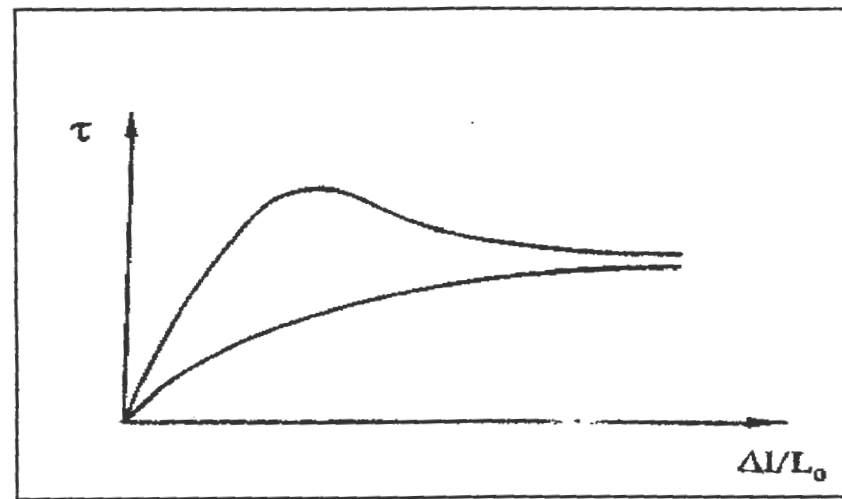


Fig-IV-8 : Courbe de l'évolution de  $\tau$  en fonction de  $\Delta L/L_0$ . [19]

→ Donc les composantes  $\tau$  et  $\delta$  de la contrainte critique provoquent la rupture de l'échantillon cisailé suivant le plan imposé.

Pour déterminer la cohésion  $C$  et l'angle de frottement  $\varphi$ , On réalise la courbe intrinsèque qui répond à la formule de Coulomb :

$$\tau = C + \sigma \tan\varphi \dots\dots\dots (5)$$

C'est un ensemble de deux demi droites issue du pointes  $S$  de l'axe  $\Delta\delta$  et faisant avec cet axe un angle égal à  $\varphi$ , qui sont appelés : « *les droites de Coulomb* » à partir de la courbe intrinsèque on déduit que :

➤ Si la distance :  $OS = H = C \text{ COST } \varphi \neq 0 \dots\dots\dots (6)$

→ Donc la résistance du matériau à la traction est complète, cela implique que la cohésion n'est pas nulle et le matériau est dit cohérent.

➤ Si la distance :  $OS = H = C \text{ COST } \varphi = 0 \dots\dots\dots (7)$

Donc la cohésion est nulle, les droites de Coulomb passent par l'origine, le critère de rupture se réduit à :

$$\tau = \pm \sigma \tan\varphi \dots\dots\dots (8)$$

→ Donc le matériau est dit : « pulvérulent » (fig-V-9). [17]

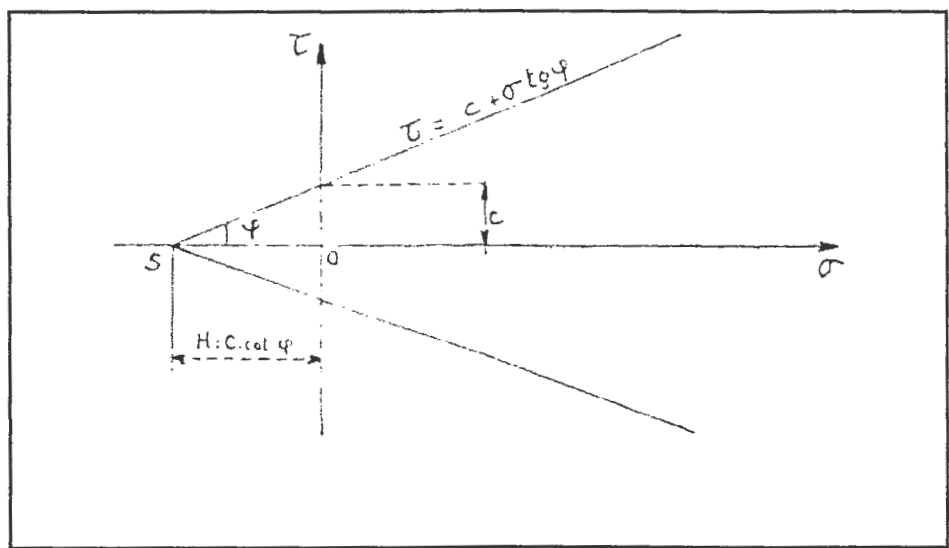


Fig-IV-9 : Loi de Coulomb. [17]

- Donc, l'essai de cisaillement nous permet de calculer la cohésion  $C$  et l'angle de frottement  $\varphi$ , propriétés mécaniques du sol, indispensables pour l'étude de stabilité et le dimensionnement des fondations

#### IV-2-2-2- Essai de compressibilité à l'œdomètre :

Cet essai nous permet de définir les contraintes effectives dues aux surcharges, à différentes profondeurs

##### a- description de l'appareil :

L'œdomètre est un moule cylindrique indéformable qui peut contenir un échantillon de sol de faible épaisseur (12 ou 24mm) comprimé à l'aide d'un piston entre deux pierres poreuses (fig-IV-10). [19]

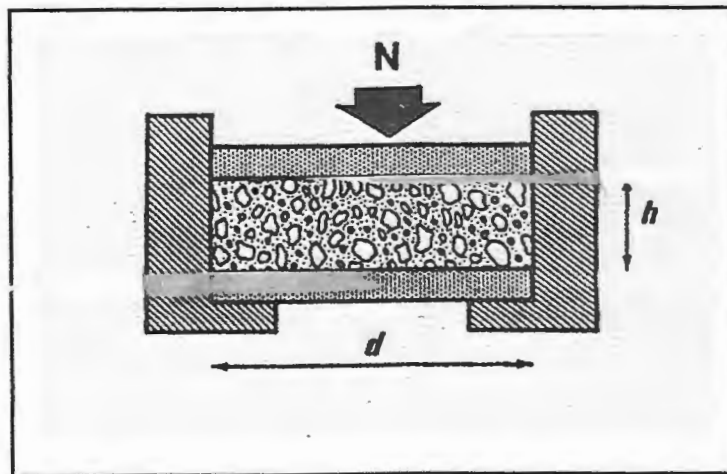


Fig-IV-10 : Schéma de l'œdomètre. [19]



**b- principe et mesure :**

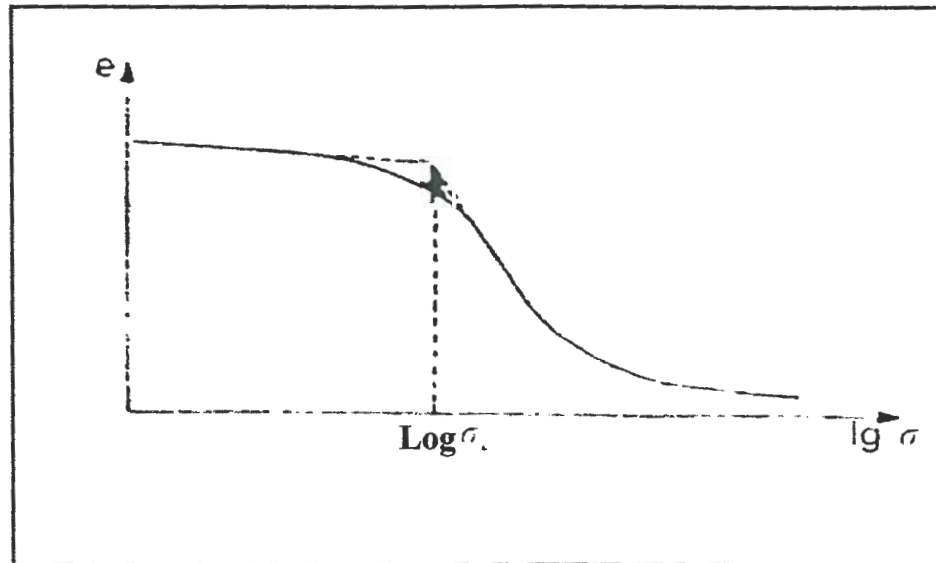
L'essai à l'odomètre s'effectue toujours à drainage ouvert. On applique la charge par paliers en progression géométrique. Chaque palier est maintenu jusqu'à ce que les déformations sous l'effet de la charge deviennent constantes.

À partir des résultats obtenus des indices de vide  $e$  et la contrainte  $\sigma$ , on trace la courbe  $(e-\log\sigma)$  qui a une forme caractéristique. D'abord vers les basses pressions, une branche faiblement inclinée sur l'horizontale, puis on trouve une partie médiane sensiblement rectiligne et enfin vers les très fortes pressions, la courbe tend vers une asymptote horizontale (fig-IV-11) et (fig-IV-12). [17]

Les variations d'indice des vides sont proportionnelles aux variations du logarithme de la pression.

- Le coefficient de proportionnalité est appelé : « Indice de compression :  $C_c$  »
- et on le définit par la formule (9). [17]

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log \sigma} \dots\dots\dots (9).$$



**Fig-IV-11 : Courbe  $(e-\log\sigma)$ .**

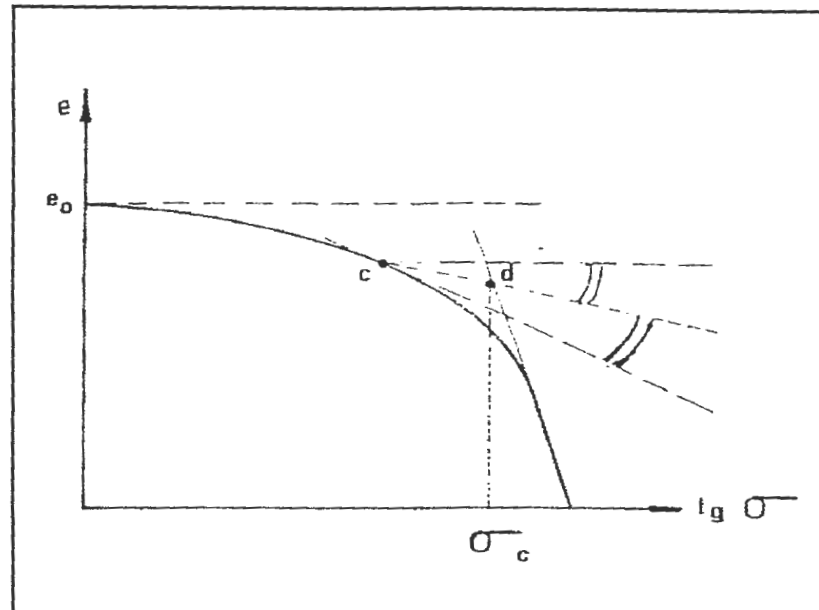


Fig-IV-12 : Courbe (e-logσ).

On déduit aussi à partir de la courbe (e-logσ) de l'essai de l'œdomètre l'indice de gonflement  $C_g$  qui correspond à la pente du diagramme œdométrique.

L'essai œdométrique nous permet de définir deux valeurs indispensables pour le calcul du tassement et qui sont :

- $C_c$  : L'indice de compression qui représente la tangente de la courbe.
- $\sigma'_c$  : La valeur de la contrainte de préconsolidation.

On classe les sols à partir de l'indice de compression  $C_c$  avec les valeurs suivants :

- $C_c / (1+e_0) < 0.015$  : sol incompressible.
- $0.015 < C_c / (1+e_0) < 0.050$  : sol peu compressible.
- $0.050 < C_c / (1+e_0) < 0.20$  : sol moyennement compressible.
- $C_c / (1+e_0) > 0.20$  : sol très compressible.

Avec :  $e_0$  : Indice des vides initial. [20]

*Chapitre V :*  
*Programme de*  
*reconnaissance géotechnique*

**V-1- Introduction :**

Après avoir passé en revue les différentes méthodes, utilisées pour la reconnaissance des sols, nous allons à présent aborder la partie pratique de notre travail.

Dans ce chapitre, on va se pencher sur les essais réalisés in situ ainsi qu'au laboratoire et essayer d'en tirer les renseignements essentiels pour l'étude de la stabilité du site de Ouled Amieur.

**V-2- Reconnaissance du site :****V-2-1- Situation et topographie :**

Le terrain objet de cette étude est situé au Sud-Est de l'agglomération d'El Milia il se trouve sur le versant constituant Le quartier Ouled Amieur, le site en question se présente sous forme d'un talus à relief assez apparent, caractérisé par des pentes douces, moyennes à fortes pouvant atteindre les  $40^\circ$ , on note la modification de la pente naturelle surtout derrière l'Usine (S.C.S) avec un angle d'inclinaison de l'ordre de  $60^\circ$ .

La morphologie du site, est représentée par le schéma ci-après conçu à l'aide du logiciel *Surfer7.0*.

La réalisation de ce schéma à trois dimensions est faite à base des données récoltées à partir de campagne topographique faite sur le site étudié afin de réaliser l'étude de stabilité.

Pour procéder à ce travail on a exploité les données du tableau suivant :

<b>x</b>	<b>y</b>	<b>z</b>
1000	1000	100
975,494	792,216	98,89
1021,01	844,621	105,451
1068,11	908,355	108,072
1091,6	1009,99	108,883
1077,45	1038,86	109,329
1135,58	1016,56	121,611
1217,33	962,275	132,787
1171,09	853,981	118,86
1064,27	843,905	110,206
1163,82	810,683	109,776
1134,7	842,519	

**Tableau-V-1 : Valeurs données topographiques du site de Oueled Amieur.**

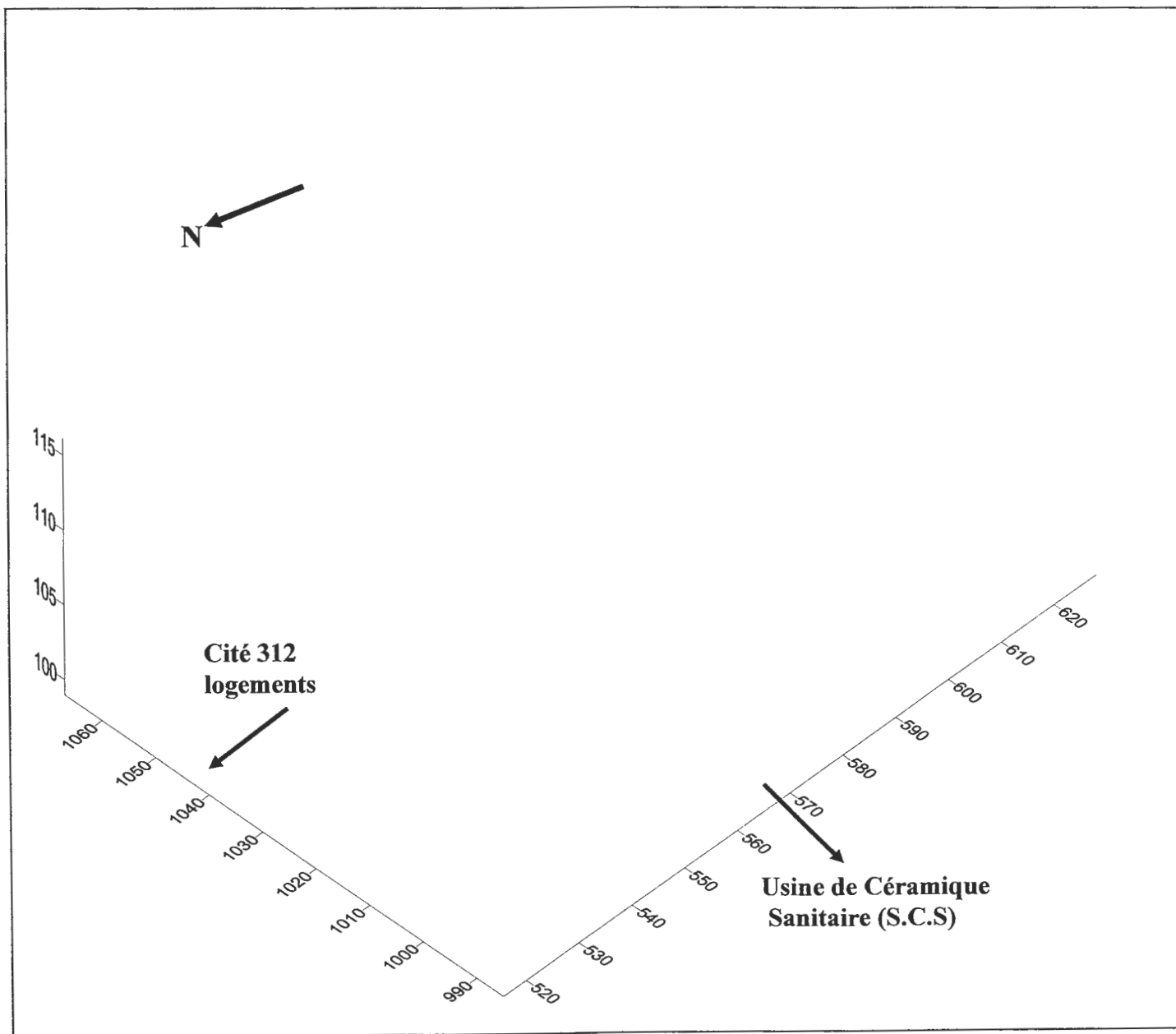


Fig-V-I : Morphologie du site en trois dimensions.



**V-3- Reconnaissance des sols :****V-3-1- Organisation de la reconnaissance :**

Pour déterminer les caractéristiques physiques et mécaniques des sols, et plus particulièrement la résistance des sols en place au cisaillement, le L.N.H.C<sup>1</sup> Rouïba, à programmer et réaliser les travaux suivants :

**a- In situ :**

- Six (06) sondages carottés avec prélèvement d'échantillons intacts et remaniés.
- Dix (10) essais de pénétration dynamique au pénétromètre dynamique lourd (de type BORRO).

**► Remarques :**

- les sondages carottes sont joints en Annexe A.
- Il faut noter aussi que l'utilité d'essais DPT réalisés dans le site de Ouled Amieur n'est pas justifiée vis-à-vis le problème étudié qui est la stabilité du site au glissement.

**b- Au laboratoire :**

Les échantillons prélevés lors des travaux de sondage carottés ont été soumis aux essais de laboratoire suivant :

- Analyse granulométrique et sedimentométriques
- Détermination des limites d'Atterberg :
  - \*Limite de liquidité WL (%)
  - \*Limite de plasticité IP (%)
- Détermination de :
  - \*La densité sèche et de la densité humide du sol  $\gamma_d$  et  $\gamma_h$
  - \*La teneur en eau  $W_n$  (%)
- Essais de cisaillement rectiligne consolidé non drainé, pour déterminer les caractéristiques mécaniques du sol a savoir :
  - \*La cohésion apparente  $C_u$  (bar)
  - \*L'angle de frottement interne  $\varphi$  (°)
- Essai de compressibilité à l'odomètre pour déterminer :
  - \*L'indice de compressibilité  $C_c$  (%)

---

<sup>1</sup> L.N.H.C : Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction (unité de Rouïba)

\*L'indice de gonflement  $C_g$  (%)

\*La contrainte de pré consolidation  $P_c$  (bar)

► **Remarque** : Les résultats et les courbes des essais de laboratoires sont en Annexe A.

### V-3-2- Interprétation des essais in situ :

#### a- Coupes des sondages carottés :

Les coupes lithologiques établies lors des sondages carottés, montre que le sol est formé d'un remblai Argileux avec des passages limoneuse jaunâtre repose sur une couche de marne argileux, et une couche schisteuse comme substratum. On note que le remblai a une épaisseur d'environ 10 m (Sondage S 01).

### V-3-3- Interprétation des essais au laboratoire :

#### V-3-3-1- Granulométrie et sédimentométrie :

L'analyse granulométrique des différents échantillons, montre que le sol appartient à la catégorie des **sols fins**. Le pourcentage des fines dépasse les **50 %**.

#### V-3-3-2- Essais physiques :

Les résultats obtenus sont représentés sur le tableau ci-après (les valeurs minimales et maximales) :

Paramètres	W (%)	Sr (%)	$\gamma_d$ (T/m <sup>3</sup> )	$\gamma_h$ (T/m)	WL (%)	Ip (%)
Lithologie						
Remblai argileux	....	....	....	1.8	....	....
Marne argileux	22-29	95-100	1.57-1.70	2.0	32-47	15-26
schiste	16-26	89-100	1.60-1.81	....	43-50	23-27

**Tableau-V-2: Les valeurs des principaux caractéristiques physiques du terrain. [12]**

Il en ressort de ces résultats qu'il s'agit d'un sol fin, moyennement dense, détrompé à saturer.

D'après le diagramme de plasticité de Casagrande, le sol est classé dans la zone des argiles inorganiques de moyenne plasticité.

### V-3-3-3- Essais mécaniques :

Des différents échantillons ont fait l'objet des essais de cisaillement rectiligne à la boîte de Casagrande du type consolidé, non drainé (Cu).

Les résultats de ces essais sont représentés sur le tableau ci-après :

Paramètres	C (bar)	$\phi$ (°)
<b>Lithologie</b>		
Remblais argileux	0.2	20
Marne argileux	0.36-0.58	22-29
Schiste	0.29-1.15	16-29

**Tableau -V-3 : Résultats des essais mécaniques (résistance au cisaillement <math>\langle C \rangle</math>, angle de frottement interne <math>\langle \phi \rangle</math>. [12]**

#### a- Caractéristiques oedométriques (Calcul de la compressibilité du sol)

- Sondage n° 2 : profondeur : 4.00-4.30m :

$$\frac{C_c}{1+e_0} = \frac{0.119}{1+0.532} = 0.077 \quad , \text{ Avec : } \begin{cases} C_c=11.98\% \\ e_0=0.532 \end{cases}$$

$$0.05 < C_c / (e_0+1) < 0.20 \Rightarrow \text{Sol moyennement compressible.}$$

- Sondage n° 5 : Profondeur : 3.10-3.50m :

$$\frac{C_c}{1+e_0} = \frac{0.143}{1+0.576} = 0.090 \quad , \text{ Avec : } \begin{cases} C_c = 14.30\% \\ e_0 = 0.576 \end{cases}$$

$0.05 < C_c / (e_0 + 1) < 0.20 \Rightarrow$  **Sol moyennement compressible.**

- Sondage n° 6 : Profondeur : 6.00-6.30m :

$$\frac{C_c}{1+e_0} = \frac{0.113}{1+0.454} = 0.077 \quad , \text{ Avec : } \begin{cases} C_c = 11.31\% \\ e_0 = 0.454 \end{cases}$$

$0.05 < C_c / (e_0 + 1) < 0.20 \Rightarrow$  **Sol moyennement compressible.**

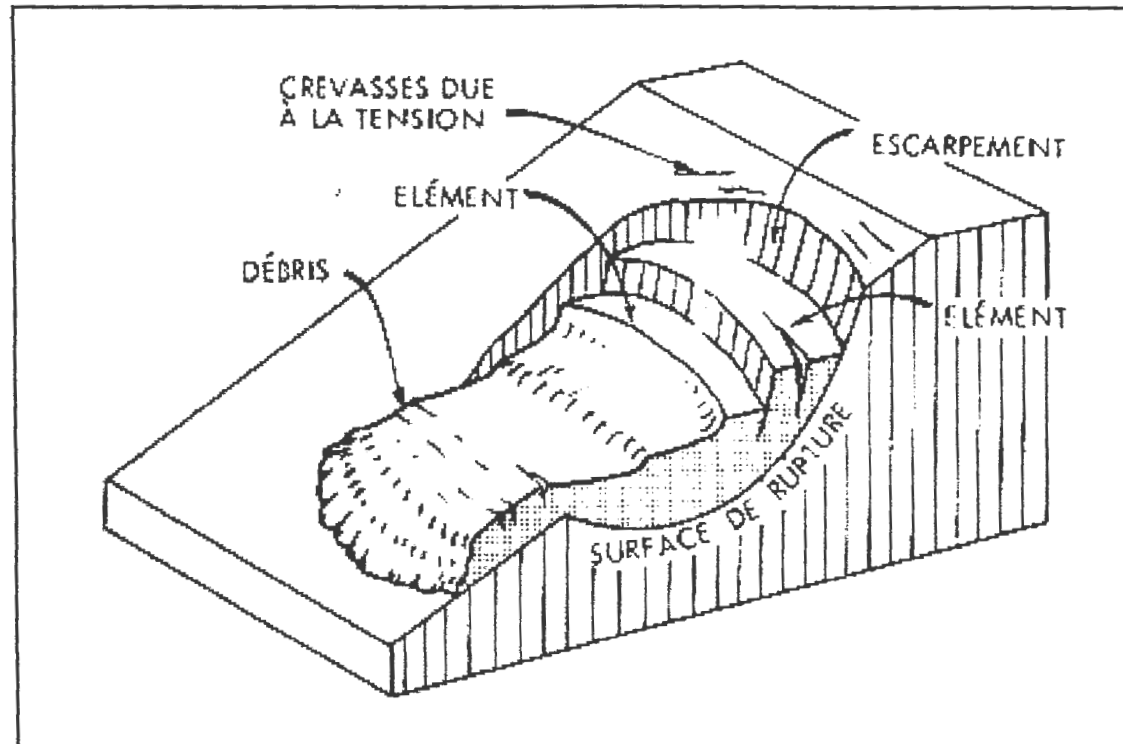
De ces résultats on peut classer le sol dans la catégorie des sols de moyenne compressibilité, non gonflant à relativement gonflant.

*Chapitre VI :*  
*Les glissements de terrain*



**VI-1- Introduction :**

Un mouvement de terrain est un déplacement, plus ou moins brutal, du sol ou du sous-sol sous l'effet d'influences naturelles (agent d'érosion, pesanteur, séisme, etc.) ou anthropiques (exploitation de matériaux, déboisement, terrassement, etc.). Ce phénomène comprend diverses manifestations, lentes ou rapides, en fonction des mécanismes initiateurs, des matériaux considérés et de leurs structures. Les glissements de terrain sont des accidents graves, parfois de grande ampleur, se produisent soudainement et peuvent durer plusieurs mois. Ils affectent aussi bien des ouvrages construits par l'homme que des pentes naturelles.



**FigVI-1 : Illustration d'un glissement de terrain.**

Cependant on peut distinguer différentes causes de rupture :

- Les ruptures dues aux modifications du moment moteur (surcharge des murs de quai par exemple).
- Les ruptures provoquées par les modifications des conditions hydrauliques (apparition d'un écoulement).
- Les ruptures entraînées par les modifications des caractéristiques géotechniques du terrain (rupture à long terme des pentes naturelles).

Plusieurs exemples montrent que la morphologie de glissement présente divers aspects, tant dans les milieux pulvérulents que dans les milieux cohérents.

#### **VI-2- Description générale du phénomène :**

Le moteur des mouvements de terrain est la pesanteur, mais d'autres causes peuvent déclencher le phénomène ou l'amplifier.

- L'eau est un facteur très important, il est une cause très aggravante par l'action de la pression interstitielle, des forces hydrodynamiques, et de la modification des caractéristiques mécaniques des sols fins.
- Les séismes pouvant être un facteur déclenchant des mouvements de terrain de très grandes ampleurs, spécialement pour les zones à forte sismicité.
- Les variations climatiques pluie, fonte des neiges, sécheresse, gel dégel ...etc.
- L'érosion des sols superficiels non cohérents.
- La pente ; plus la pente est raide, plus le mouvement de terrain est accentué.

#### **VI-3- Classification des mouvements de terrain :**

La stabilité des pentes intéresse aussi bien les pentes naturelles que les talus artificiels. Toute étude de cette dernière doit être précédée d'une reconnaissance géologique très fine qui nous permet de mettre en évidence des hétérogénéités locales, plus d'autres facteurs tel que (pendage des couches, circulations d'eau, etc.).

On distingue, selon le type de terrain où ils se produisent, les mouvements suivants :

##### **V-3-1- Talus artificiels :**

Sont essentiellement affectés par des glissements et parfois par des phénomènes de fluage.

On peut les classer en fonctions des types d'ouvrages :

- Talus en déblais. (Fig. : VI-2)
- Talus en remblais sur sol compressible.
- Talus en remblais sur sol mou. (Fig. : VI-3)
- Ouvrages de soutènement vis-à-vis d'un glissement profond. (Fig. : VI-4)
- Stabilité des digues et barrages en terre.

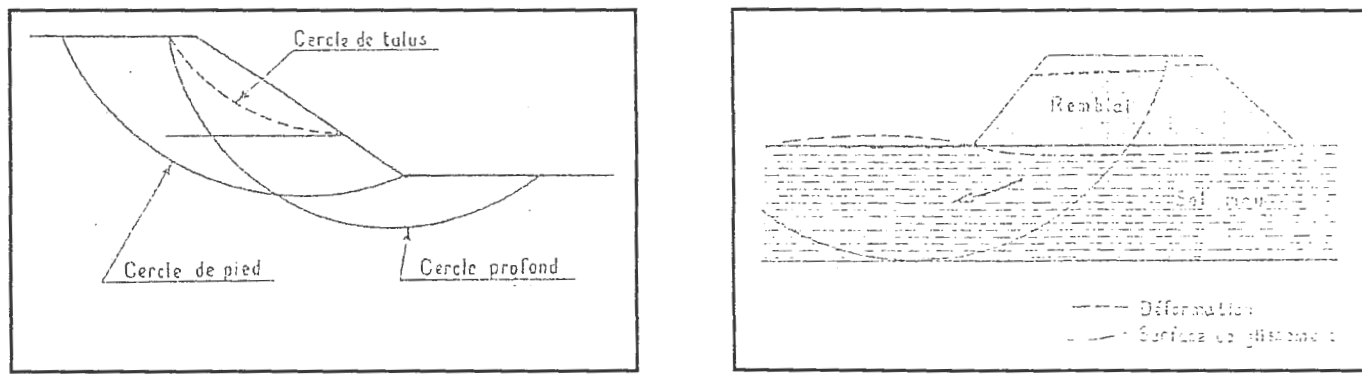


Fig-VI-2 : Différents types de rupture circulaire. [20] Fig-VI-3 : Remblai sur sol mou. [20]

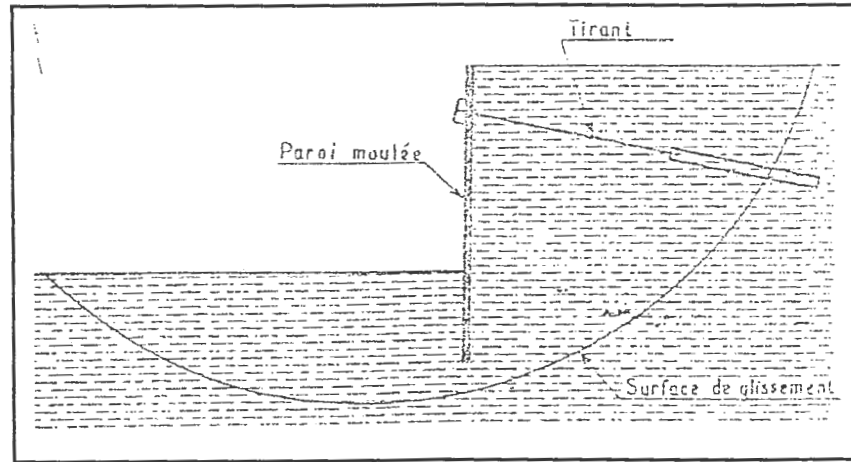


Fig-VI-4 : Rupture circulaire sous un soutènement. [20]

#### VI-3-2- Pentes naturelles :

Les glissements des pentes naturelles peuvent se présenter sous la forme d'un :

- Glissement plan (Fig VI-5) ;
- Glissement rotationnel simple (Fig VI-6) ;
- Glissement rotationnel complexe ; (écroulements, fluages et solifluxions, coulées boueuses) (Fig VI-7)

#### VI-4- Description des principaux types de mouvement :

##### VI-4-1- Glissements :

Les glissements affectent les sols ; ces mouvements ont lieu le long d'une surface définie. Les vitesses de rupture sont variables, dans certains cas la rupture est précédée de signes annonciateurs, dans d'autres cas, elle est brutale. [20], [18]

a- **glissement plan**: qui s'effectue le long d'une surface de rupture sensiblement plane.

(Fig VI-5)

b- **glissement rotationnel simple** : est le plus fréquent. La surface de rupture a une forme simple semblable à un cylindre. (Fig VI-6)

c- **glissement rotationnel complexe** : est un glissement multiple «emboîtés» les uns dans les autres. L'apparition du premier glissement, en bas de la pente, provoque une perte brutale de butée pour les terres situées au dessus, et aussi des glissements successifs remontant vers l'amont.

(Fig VI-7)

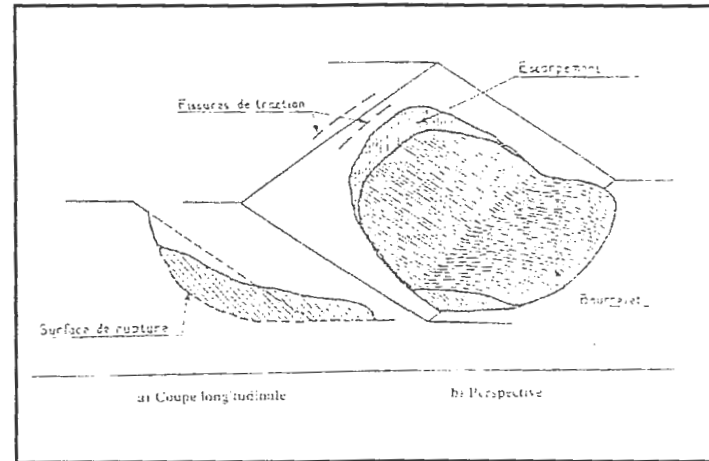


Fig-VI-6 : Glissement rotationnel. . [20], [18]

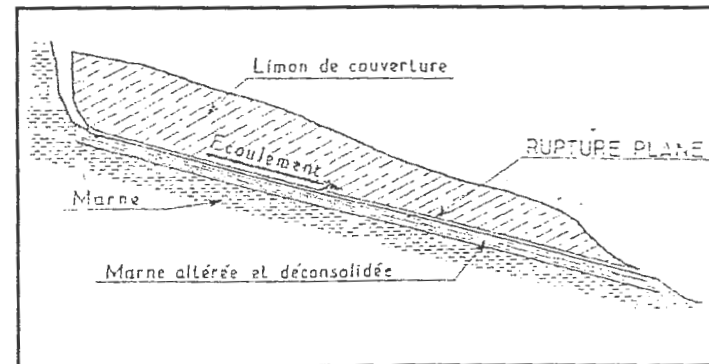


Fig-VI-5 : Glissement plan. . [20], [18]

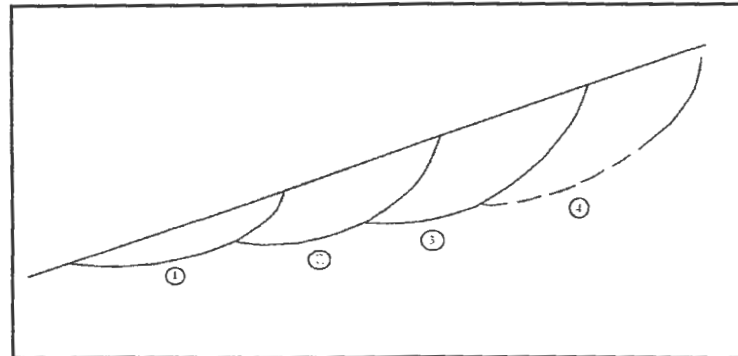


Fig-VI-7: Glissements successifs emboîtés. [20], [18]

**VI-4-2- Ecoulements :**

Concernent les massifs rocheux plus ou moins fracturés, qui se rompent progressivement par tassement, basculement, rupture de bancs rocheux, ...etc. Ils consistent en une chute de terrain rocheux se détachant d'une falaise sous l'action de la pesanteur, complétée ou non par une secousse sismique ou des surpressions d'eau, en général par manque d'appui à la base.

**VI-4-3- Fluages et solifluxions :**

**a- Fluage :** correspond à des mouvements lents dus à des sollicitations proches de la rupture du sol. L'état ultime pouvant être soit la stabilisation, soit la rupture. (Fig. : VI-8)

**b- Solifluxion :** c'est un cas particulier de fluage. C'est un phénomène superficiel provoqué par les variations volumiques du sol au cours des saisons (gel dégel en montagnes, alternance de saisons sèches et pluvieuses). Elle se repère par la présence d'ondulations du sol et par l'inclinaison des arbres. [18]

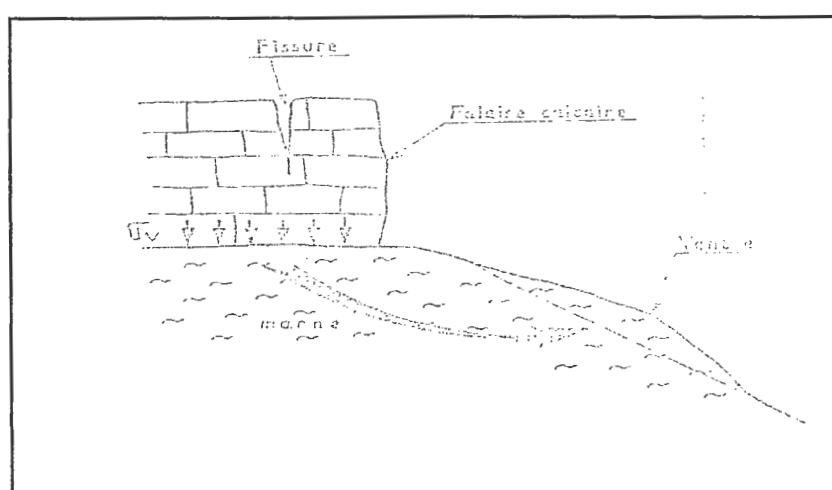


Fig. VI-8 : Exemple de fluage. [20], [18]

**VI-4-4- Coulées boueuses :**

Dues aux infiltrations importantes d'eau, transportant des matériaux solides. Elles se produisent surtout en montagne. Elles sont caractérisées par leur très fort remaniement interne et par leur apparition dans les sols meubles ; l'extension peut être très grand surtout si la teneur en eau est importante.



*Chapitre VII :*  
*Calcul de stabilité*

**VII-1-Hypothèse de calcul :**

Il existe en principe deux possibilités pour calculer la stabilité d'une pente, la première, considère que la masse instable forme un bloc rigide et que le sol a un comportement rigide – plastique, et donc, qu'à la rupture tous les points de la masse stable atteignent en même temps leur seuil de rupture. C'est la méthode de calcul à la rupture. La seconde possibilité est l'application de la méthode des éléments finis en choisissant une loi de comportement complexe.

Parmi les méthodes de calcul à la rupture, on a :

- Les méthodes globales qui ne conviennent que pour des profils de talus simple en sol homogène et isotrope.

- Les méthodes par tranches, qui sont plus souples, le talus est partagé en tranches verticales, Profile de talus non rectiligne, hétérogénéité du sol, la ligne de glissement quelconque.

Cette dernière s'appelle aussi « méthode suédoise » due à **Petterson** (1916) développée pour les ruptures circulaires par **Fellenius** en 1927, perfectionnée par la suite par **Bishop** en 1954, enfin aux ruptures non circulaires par **Nonveiller** en 1965.

**VII-2-Stabilité en rupture circulaire avec coefficient de sécurité globale :****VII-2-1-Méthode des tranches de FELLENIUS :****VII-2-1-1-En absence de nappe :**

Dans cette méthode, on suppose que la surface de rupture potentielle est circulaire, est on néglige totalement les efforts inter tranches, qui se divisent en efforts verticaux  $V_n$  et  $V_{n+1}$  et horizontaux  $H_n$  et  $H_{n+1}$ . Considérons un talus recoupant un certain nombre de couches de sol de caractéristiques différentes :  $C_i, \phi_i, \gamma_i$ .

On veut déterminer le coefficient de sécurité vis-à-vis du glissement ( $F_s$ ), il est défini :

$$F_s = \frac{\sum \text{Moments résistants}}{\sum \text{Moments moteurs}}$$

Soit un cercle quelconque de centre « O » et de rayon « R ».

Cette méthode consiste à diviser le volume concerné dans l'arc E M F en une série de tranches verticales (Fig. : VII-1). [20]

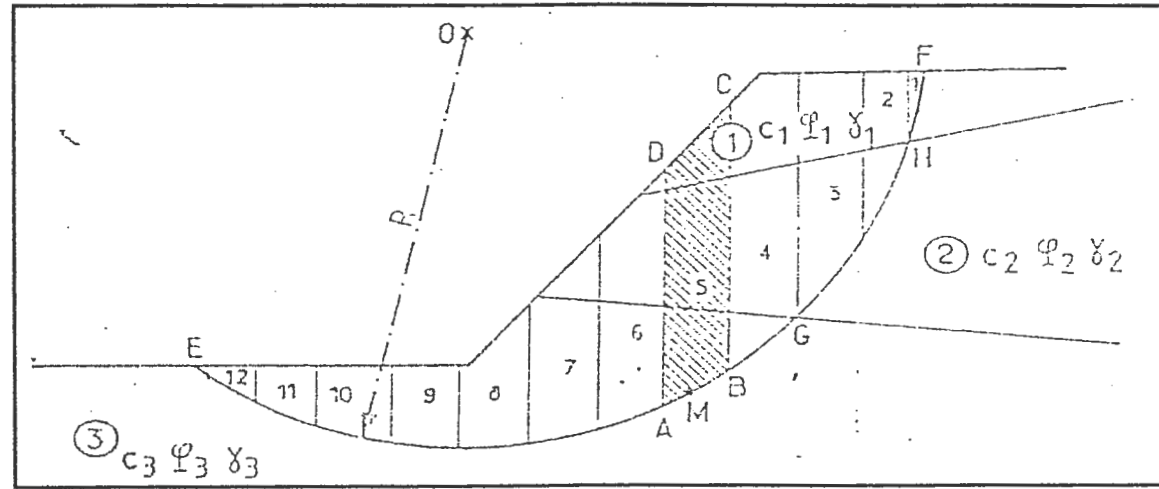


Fig-VII-1 : Découpage en tranches d'un talus. [20], [18]

- Etude de la tranche « A B C D » affectée par l'indice n : (n varie de 1 à 12).

Les différentes forces qui agissent sur cette tranche sont : (Fig. VII-2-a)

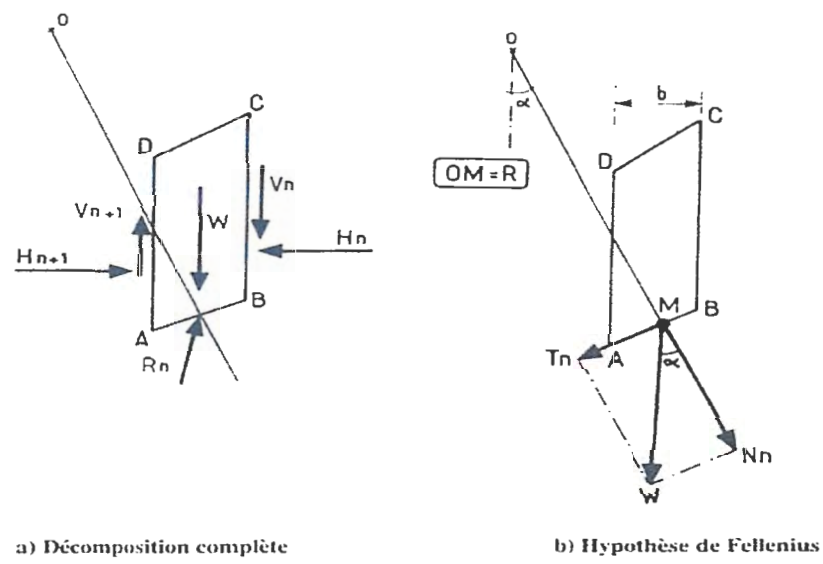


Fig-VII-2 : Forces agissantes sur la tranche n. [20]

-  $W_i$  : poids de la tranche n.

Se décompose en  $\left\{ \begin{array}{l} \text{une force normale (N}_n\text{).} \\ \text{Et une force tangentielle (T}_n\text{)} \end{array} \right.$

-  $R_n$  (force résistante) : résistance du sol due à sa cohésion et son angle de frottement interne.

- Les réactions sur les faces verticales B C et A D décomposées en réactions horizontales :  $H_n$  et  $H_{n+1}$ , et en réactions verticales  $V_n$  et  $V_{n+1}$

Par rapport au centre « O » on a : (Fig. : VII-2- b)

**a- Moment moteur** : Celui du poids des terres, de l'eau interstitielle et des surcharges éventuelles tendant à provoquer le glissement.

**b- Moment résistant** : Celui des réactions s'opposant au glissement.

Le moment résistant est fourni par la valeur maximale que peut prendre la composante tangentielle  $R_n$ .

D'après **Coulomb** :  $R_n = C_i \cdot AB + N_n \cdot \tan \phi_i$

La somme des moments résistants pour toutes les tranches sera :

$$\sum_{n=1}^{n=m} (C_i \cdot AB + N_n \cdot \tan \phi_i)$$

Avec : m : nombre total des tranches.

$C_i, \phi_i$  : caractéristiques mécaniques de la couche dans laquelle se trouve AB.

$$\Rightarrow F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=m} [C_i \cdot AB + N_n \cdot \tan \phi_i]}{\sum_{n=1}^{n=m} T_n} \dots\dots\dots \text{VII-1}$$

$$\text{Avec : } \left\{ \begin{array}{l} N_n = W \cos \alpha \\ T_n = W \sin \alpha \\ L = AB = b / \cos \alpha \end{array} \right.$$

La formule VII-1 devient :  $F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=m} \left[ C_i \cdot \frac{b_i}{\cos \alpha_i} + W_i \cdot \cos \alpha_i \cdot \tan \phi_i \right]}{\sum_{n=1}^{n=m} W_i \cdot \sin \alpha_i} \dots\dots\dots \text{VII-2}$

**Remarque :**

Les Paramètres géométriques intervenant dans le calcul de **F<sub>s</sub>** sont :

$$\left\{ \begin{array}{l} b : \text{la largeur des tranches.} \\ \alpha : \text{l'angle orienté que fait le rayon du cercle passant par le milieu de la base de} \\ \text{la tranche avec la verticale .} \\ \text{Et La hauteur de la tranche pour le calcul du poids (W).} \end{array} \right.$$

**VII-2-1-2- En présence de nappe :**

La prise en compte des écoulements est assez délicate. La méthode des tranches de **Fellenius** est appliquée en utilisant l'équation de Coulomb :  $\tau = C + (\sigma - U) \cdot \text{tg}\phi$

**a- Détermination de la Pression interstitielle : (U)**

La pression interstitielle « U » en chaque point du massif de sol se détermine à partir du réseau d'écoulement.

Considérons la tranche A B C D (Fig. : VI-3), la valeur de « U » est donnée sur la figure par :

$$U = \gamma_w \cdot Z_w$$

$Z_w$  : La distance entre le point M et le point N où l'équipotentielle passant par M recoupe la surface libre.

Par définition de l'équipotentielle, les charges hydrauliques en M et en N sont identiques On a donc  $U = (Z_n - Z_m) \gamma_w$

**b- Calcul du coefficient de sécurité global :**

Soit : **W** : le poids total de la tranche A B C D,  $V_1$  et  $V_2$  les volumes :

$$W = \gamma_h \cdot V_1 + \gamma_{\text{sat}} \cdot V_2$$

**N** et **T** : les composantes normale et tangentielle sur l'arc AB du poids W de la tranche ABCD ((Fig. : VII-3)

La résistance maximale au cisaillement le long de AB est donnée par :

$$C \cdot AB + (N - U \cdot AB) \text{tg} \phi$$

La somme des moments résistants pour toutes les tranches :

$$\sum_{n=1}^{n=m} [C_i \cdot AB + (N - U \cdot AB) \cdot \text{tg} \varphi_i] \Rightarrow F_S = \frac{\sum_{n=1}^{n=m} [C_i \cdot AB + (W_i \cdot \cos \alpha_i - U \cdot AB) \cdot \text{tg} \varphi_i]}{\sum_{n=1}^{n=m} T}$$

La formule devient :

$$F_S = \frac{\sum_{n=1}^{n=m} \left[ C_i \frac{b_i}{\cos \alpha_i} + \left( W_i \cdot \cos \alpha_i - \frac{U \cdot b_i}{\cos \alpha_i} \right) \text{tg} \varphi_i \right]}{\sum_{n=1}^{n=m} W_i \cdot \sin \alpha_i}$$

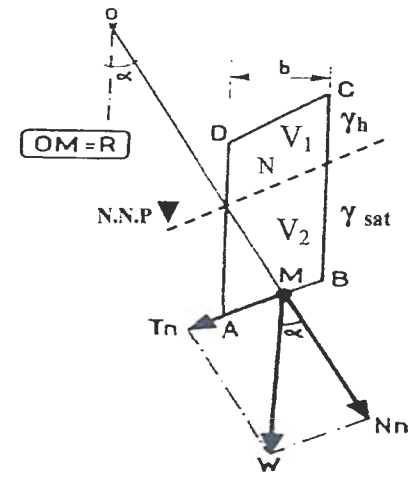


Fig-VII -3- : Présence de nappe

**VII-2-2- Méthode des tranches de Bishop simplifiée :**

Dans cette méthode, on suppose encore que la surface de rupture potentielle est circulaire, on découpe le sol en tranches élémentaires comme celle de **Fellenius**, en on adopte comme hypothèse qu'il y a seulement une réaction horizontale entre les tranches  $H_n$  et  $H_{n+1}$ .

Le coefficient de sécurité  $F_s$  s'écrit comme suit :

**VII-2-2-1- En absence de nappe :**

$$F_S = \frac{\sum_{n=1}^{n=m} [C_i \cdot b_i + W_i \cdot \text{tg} \varphi_i] \times \frac{1}{\cos \alpha_i \cdot (1 + (\text{tg} \alpha_i \cdot \text{tg} \varphi_i / F))}}{\sum_{n=1}^{n=m} W_i \cdot \sin \alpha_i}$$



VII-2-2-2- En présence de nappe :

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^{n=m} [C_i \cdot b_i + (W_i - U \cdot b_i) \cdot \text{tg} \varphi_i] \times \frac{1}{\cos \alpha_i \cdot (1 + (\text{tg} \alpha_i \cdot \text{tg} \varphi_i / F))}}{\sum_{i=1}^{n=m} W_i \cdot \sin \alpha_i}$$

VII-3- Stabilité en rupture plane (glissement plan) :

Soit une pente indéfinie d'inclinaison ( $\beta$ ) dans un sol ayant pour caractéristiques :  
 $\gamma$  : poids volumique au dessus de la nappe,  
 $\gamma_{\text{sat}}$  : poids volumique saturé au dessous de la nappe,  
 $C$  et  $\varphi$  : la cohésion et l'angle de frottement interne du sol  
 La nappe est située sur une hauteur ( $h_w$ ) et s'écoule parallèlement à la pente ce qui est le cas le plus courant (fig. : VII-4). [20]

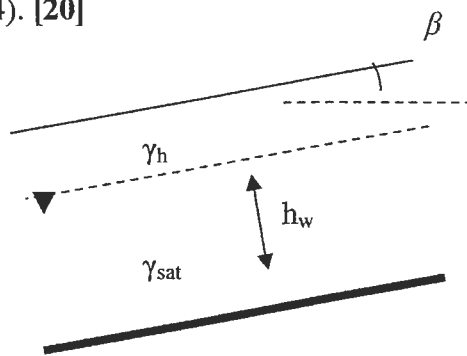


Fig -VII-4 : Rupture plane. [20]

VII-3-1- en présence de nappe :

$$F_s = \frac{C + (\sum_0^z \gamma_i \cdot h_i - \gamma_w \cdot h_w) \cdot \cos^2 \beta \cdot \text{tg} \varphi}{\sin \beta \cdot \cos \beta \sum_0^z \gamma_i \cdot h_i}$$

VII-3-2- en absence de nappe :

$$F_s = \frac{C + \gamma \cdot h \cdot \cos^2 \beta \cdot \text{tg} \varphi}{\gamma \cdot h \cdot (\sin \beta \cdot \cos \beta)}$$

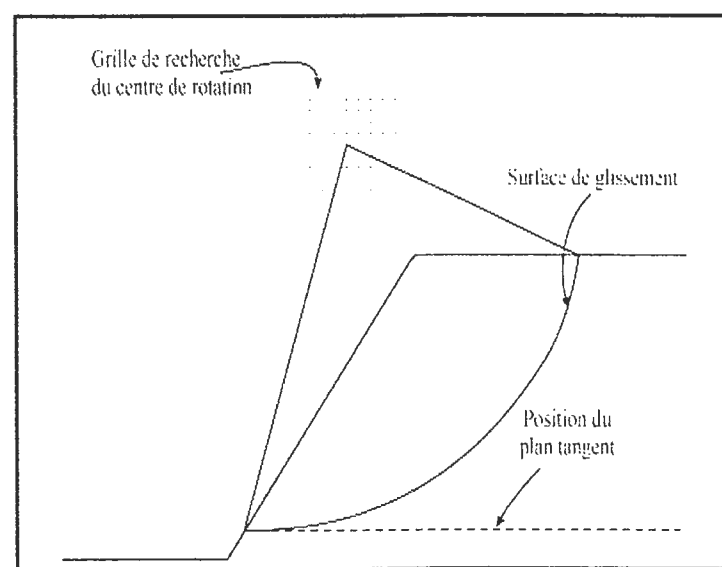
**VII-4-Recherche de coefficient de sécurité minimal :**

Pour donner une valeur précise de  $F_s$ , on commence par diverses lignes de glissements possibles et on cherche pour quelle ligne on obtient la valeur la plus faible de  $F_s$ , puisque c'est le long de cette surface de glissement que la rupture se produira.

Il n'y a pas de méthode précise pour définir ce cercle, la méthode générale consiste à calculer le  $F_s$  pour un nombre suffisant de cercles (fig : VII-5). [20]

En général, il y a beaucoup de possibilités car :

- Pour un cercle donné, on peut faire varier le rayon du cercle.
- La possibilité du centre peut varier horizontalement et verticalement.
- Pour chaque centre de cercle, on porte le  $F_s$  calculé.



**Fig -VII-5 : Grille de recherche du centre de rotation.**

**VII-5-Choix de la méthode et du coefficient de sécurité :**

Le critère fondamental dans le choix de la méthode est la forme de la surface de glissement.

- La rupture le long d'une surface plane.
- La rupture circulaire.
- La rupture le long d'une surface de forme quelconque.

- Pour les ruptures planes, les calculs sont très simples et des formules peuvent être définies pour obtenir facilement les conditions de stabilités.
- En ce qui concerne les ruptures circulaires, les méthodes de calculs font très souvent appel à des hypothèses simplificatrices différentes et des  $F_s$  que l'on évalue sont donc différentes ( ex : méthodes de **Fellenius** ou méthode de **Bishop** ).

La méthode de **Fellenius** donne généralement des  $F_s$  plus faibles que la méthode de **Bishop**, les écarts peuvent atteindre 10 %.

Pour les ruptures selon une surface quelconque, c'est la méthode des perturbations qui est la plus performante.

**Les spécialistes estime que :**

Le talus reste toujours stable si :  $F_s > 1.5$

Le glissement est pratiquement inévitable si :  $F_s < 1$

Le talus est douteux si :  $1 \leq F_s \leq 1.5$

**VII-6-Etude de stabilité du site Ouled Amieur –El Milia:**

Nos observations directes du site, nous ont permis de relever deux glissement de terrains, sur le même profil orienté Est-Ouest dont le premier se trouve a proximité immédiate de l'usine céramique sanitaire (SCS) en amont du talus et l'autre en aval du notre talus.

**VII-6-1-Etude du glissement survenu au versant Ouest du quartier –Ouled Amieur :**

Ce glissement à déclanché durant l'hiver de 1997 sur le versant sud-est de l'agglomération d'EL-Milia.

Selon le L.N.H.C, le glissement à provoqué l'affaissement au niveau des constructions situées dans la partie amont du quartier et le déplacement d'une maison en rez de chaussé ainsi que la rupture du mur de clôture de l'usine (SCS), la rupture de mur en gabion, et de la route en aval du quartier, l'inclinaison des poteaux électriques et des fissurations au niveau des cloisons des constructions du quartier. (fig :VII-6 et 7)



**Fig-VII-6 : Déplacement du rez de chaussé d'une maison  
En amont du talus.**



**Fig-VII-7 : Rupture circulaire en aval du talus (derrière l'usine  
S.C.S).**

**VII-6-1-1-Principaux facteurs du glissement de Ouled Amieur (El-Milia) :**

Avant tout mouvement, il existe un état d'équilibre entre les différents facteurs, les causes des mouvements doivent donc être recherchées dans les variations possibles de ces facteurs.

Le glissement a été le résultat de l'action conjuguée de différents facteurs à savoir :

**a- Facteurs naturels :**

- La nature lithologique du terrain représenté par des marnes argileuse surmontée par des remblais hétérogènes dans une matrice argileuse. Ceci représente le type de terrain le plus vulnérable au glissement et tient au rôle que peut jouer l'eau.

- La pente : le terrain caractérisé par un talus avec une pente de  $13^{\circ}$  en moyenne, taillée en aval avec un angle de l'ordre de  $60^{\circ}$ , orienté Est-Ouest, ce qui favorise le déplacement du terrain par gravité.

- Action de l'eau : dans notre site d'étude cette eau provienne des précipitations importantes qui caractérisent la région ainsi que des infiltrations parasites (fuites au niveau des canalisations).

Aussi, en présence des deux milieux impérmiables ; marnes argileux et schistes qui constituent le terrain, l'eau peut se mettre en charge à leur contact, elle facilite le déclenchement de rupture par décollement de la couverture argileuse. A ceci, nous pouvons ajouter l'action érosive intense jouée par l'eau de ruissellement dans le terrain dénudé et qui favorise le ravinement.

**b- Facteurs mécaniques, anthropiques :**

- La suppression de la butée au pied du versant par les travaux de terrassements pour la construction de l'usine SCS.

Notons que l'ouvrage de soutènement par gabionnage mis en place et qui était censé remplacer le coin de butée supprimé à été emporté lui aussi par le glissement.

- La surcharge du terrains en amont par des remblais hétérogènes provenant des différents terrassements à crée un sur poids favorable au glissement.

- Le déboisement du site a déséquilibré le terrain et ce en favorisant la pénétration des eaux dans la masse et en éliminant la présence des racines favorable à la stabilité des sols.

- L'urbanisation du site qui a pris la forme de constructions individuelles a entraînée des surpoids et des réseaux d'assainissement anarchiques.

**VII-6-1-2- Caractéristiques géologiques et géotechniques de la zone du glissement :**

La zone affectée par le glissement constituée en général par des remblais hétérogène atteints les dix mètres d'hauteur en amont du talus reposants sur une couche marneux argileuse imperméable.

Lors des calculs, on a pris le cas le plus défavorable. A cet effet, nous avons considéré que le terrain est de nature argileuse. L'angle de l'inclinaison du talus est:  $\theta = 60^0$  en aval et de  $13^0$  en amont, l'angle de frottement interne du remblais argileux a été estimé à  $\varphi = 20^0$  et sa cohésion est :  $C = 0.2$  bars. Avec la sortie de l'eau au front de la masse déplacée.

Le calcul de stabilité a été effectué là ou le glissement s'est déclanché suivant le profil Est-Ouest (profil, A B).

Nous avons étudiée deux cas : un premier ou le sol est en état naturel (humide), et un deuxième qui représente le cas le plus défavorable ou le sol sera saturé (saturation due à la nature du sol et aux infiltrations des eaux pluviales et sauvage).

**VII-6-2- Calcul de stabilité :**

**VII-6-2-1- Glissement circulaire :(en aval du talus) :**

On à utilisé la méthode de **Fellenius** (1929) qu'est la plus employée pour l'analyse de stabilité des glissements circulaires, et qui repose sur les hypothèses suivantes :

- La surface de rupture potentielle est circulaire.
- Le sol à un comportement rigide- plastique.
- Le critère de rupture est celui de **Mohr-Colomb**.
- Les efforts inter-tranches sont négligés.

Cependant le coefficient de sécurité « Fs » sera donc calculé par la formule suivante :

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=m} \left[ C_i \frac{b_i}{\cos \alpha_i} + \left( W_i \cdot \cos \alpha_i - \frac{U \cdot b_i}{\cos \alpha_i} \right) \text{tg} \varphi_i \right]}{\sum_{n=1}^{n=m} W_i \cdot \sin \alpha_i} \dots\dots\dots \text{En présence de nappe}$$



$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^{n=m} \left[ C_i \cdot \frac{b_i}{\cos \alpha_i} + W_i \cdot \cos \alpha_i \cdot \tan \varphi_i \right]}{\sum_{i=1}^{n=m} W_i \cdot \sin \alpha_i} \dots\dots\dots \text{En absence de nappe.}$$

#### VII-6-2-1-1- Application numérique de calcul de stabilité pour un cercle de glissement :

Pour notre étude de stabilité, on pris les caractéristiques réduites (on prend un facteur de sécurité égale à 1.5), car nous sommes en présence d'une argile molle souvent saturée, les valeurs sont :

$$\varphi^r = \frac{\varphi}{1.5} = 13.33^\circ \quad , \quad C^r = \frac{C}{1.5} = 0.133 \text{ bars} = 1.33 \text{ t/m}^2$$

Pour le poids volumique on à :  $\gamma_h = 1.8 \text{ t/m}^3$ .

##### a) - Cercle N° :1

- En état naturel du sol : (voir la coupe ci après)

- Calcul de W : poids :

$$\text{Tranche N°1 : Triangle : } W_1 = [(2.4\text{m} \times 2.4\text{m})/2] \times 1.8 \quad V_1 = 2.88\text{m}^3 \quad W_1 = V_1 \times \gamma_h$$

$$W_1 = 5.184\text{T/m}$$

$$\text{Tranche N°2: Trapèze : } W_2 = [(3.75\text{m} + 2.55\text{m}) \times 2.4\text{m}] / 2 \times 1.8 \quad V_2 = 7.56\text{m}^3 \quad W_2 = V_2 \times \gamma_h$$

$$W_2 = 13.608\text{T/m}$$

$$\text{Tranche N°3 : Trapèze : } W_3 = [(3.60\text{m} + 4.20\text{m}) \times 2.4\text{m}] / 2 \times 1.8 \quad V_3 = 9.36\text{m}^3 \quad W_3 = V_3 \times \gamma_h$$

$$W_3 = 16.848\text{T/m}$$

**Tranche N°4 :** Trapèze :  $W_4 = [(2.40\text{m} + 0.30\text{m}) \times 3.9\text{m}] / 2 \times 1.8$      $V_4 = 5.265\text{m}^3$      $W_4 = V_4 \times \gamma_h$

$$W_4 = 9.477\text{T/m}$$

- Calcul de la largeur de la tranche (b) :

$$b = L/4 \quad \text{avec : } L = 9.60\text{m} \quad \Rightarrow \quad b = 9.60/4 \quad \Rightarrow \quad b = 2.4\text{m}$$

-on à :

$$\begin{array}{l} \sin \alpha_1 = 0.707 \\ \alpha_1 = 45^\circ \end{array} \Rightarrow \begin{cases} W_1 \sin \alpha_1 = 5.184 \times 0.707 = 2.036\text{T/m}. \\ \cos \alpha_1 = 0.707 \quad W_1 \cos \alpha_1 = 5.184 \times 0.707 = 2.036\text{T/m}. \end{cases}$$

$$\alpha_2 = 21^\circ \Rightarrow \begin{cases} \sin \alpha_2 = 0.358 \quad W_2 \sin \alpha_2 = 13.608 \times 0.358 = 4.871\text{T/m}. \\ \cos \alpha_2 = 0.933 \quad W_2 \cos \alpha_2 = 13.608 \times 0.933 = 12.696\text{T/m}. \end{cases}$$

$$\alpha_3 = 10^\circ \Rightarrow \begin{cases} \sin \alpha_3 = 0.173 \quad W_3 \sin \alpha_3 = 16.848 \times 0.173 = 2.914\text{T/m}. \\ \cos \alpha_3 = 0.984 \quad W_3 \cos \alpha_3 = 16.848 \times 0.984 = 16.578\text{T/m}. \end{cases}$$

$$\alpha_4 = -7^\circ \Rightarrow \begin{cases} \sin \alpha_4 = -0.121 \quad W_4 \sin \alpha_4 = 9.477 \times 0.121 = -1.147\text{T/m}. \\ \cos \alpha_4 = 0.992 \quad W_4 \cos \alpha_4 = 9.477 \times 0.992 = 9.401\text{T/m}. \end{cases}$$

$$\begin{aligned} * \sum w \cos \alpha &= W_1 \cos \alpha_1 + W_2 \cos \alpha_2 + W_3 \cos \alpha_3 + W_4 \cos \alpha_4 \\ &= 2.036 + 12.696 + 16.578 + 9.401 = 40.711\text{T/m} \end{aligned}$$

$$\sum w \cos \alpha = 40.711\text{T/m}$$

$$\begin{aligned} * \sum w \sin \alpha &= W_1 \sin \alpha_1 + W_2 \sin \alpha_2 + W_3 \sin \alpha_3 + W_4 \\ &= 2.036 + 4.871 + 2.914 - 1.147 = 8.674 \text{T/m} \end{aligned}$$

$$\boxed{\sum w \sin \alpha = 8.674 \text{T/m}}$$

On a :  $L_i = b / \cos \alpha_i$

$$\Rightarrow \begin{cases} L_1 = b / \cos \alpha_1 = 2.4 / 0.707 = 3.394 \\ L_2 = b / \cos \alpha_2 = 2.4 / 0.933 = 2.572 \\ L_3 = b / \cos \alpha_3 = 2.4 / 0.984 = 2.439 \\ L_4 = b / \cos \alpha_4 = 2.4 / 0.992 = 2.419 \end{cases}$$

$$* \sum L_i = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 = 10.824 \text{m.}$$

- Présentation des résultats :

N°tranche	W (t)	$\alpha$ (°)	$\sin \alpha$	W Sin $\alpha$	$\cos \alpha$	W cos $\alpha$	b / cos $\alpha$	C $\times$ b / cos $\alpha$
01	5.184	45	0.707	2.036	0.707	2.036	3.394	4.514
02	13.608	21	0.358	4.871	0.933	12.696	2.572	3.420
03	16.848	10	0.173	2.914	0.984	16.578	2.439	3.243
04	9.477	-7	-0.121	-1.147	0.992	9.401	2.419	3.217
La somme				8.674		40.711	10.824	14.395

**Tableau –VII-1 : présentation des résultats de calcul de Fs du cercle N°1  
(en état naturel du sol).**

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=m} \left[ C_i \cdot \frac{b_i}{\cos \alpha_i} + W_i \cdot \cos \alpha_i \cdot \text{tg} \phi_i \right]}{\sum_{n=1}^{n=m} W_i \cdot \sin \alpha_i} \quad \text{Sachant que : } C'' = 1.33 \text{ T/m}^2 \quad \text{et } \phi'' = 13.33^\circ$$

$$F_s = \frac{1.33 \times 10.824 + (40.711 \times \text{tg} 13.33)}{8.674} \quad \boxed{F_s = 2.77}$$

• En état de sol saturé :

$$\begin{cases} \gamma_{\text{sat}} = \gamma' + \gamma_w \\ \gamma' = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{\gamma_s} \cdot \gamma_s \end{cases} \Rightarrow \gamma_{\text{sat}} = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{\gamma_s} \cdot \gamma_s + \gamma_w$$

$$\text{Avec : } \begin{cases} \gamma_w = 1 \text{ T/m}^3 \\ \gamma_s = 2.7 \text{ T/m}^3 \end{cases} \Rightarrow \gamma_{\text{sat}} = \frac{2.7 - 1}{2.7} \cdot 1.8 + 1 = 2.13 \text{ T/m}^3 \quad \boxed{\gamma_{\text{sat}} = 2.13 \text{ T/m}^3}$$

- calcul w :(poid)

$$\text{Tranche : } N^{\circ}1 : W_1 = V_1 \times \gamma_{\text{sat}} \quad W_1 = 2.88 \text{ m}^3 \times 2.13 \text{ T/m}^3$$

$$\boxed{W_1 = 6.134 \text{ T/m}}$$

$$\text{Tranche : } N^{\circ}2 : W_2 = V_2 \times \gamma_{\text{sat}} \quad W_2 = 7.560 \text{ m}^3 \times 2.13 \text{ T/m}^3$$

$$\boxed{W_2 = 16.102 \text{ T/m}}$$

$$\text{Tranche : } N^{\circ}3 : W_3 = V_3 \times \gamma_{\text{sat}} \quad W_3 = 9.360 \text{ m}^3 \times 2.13 \text{ T/m}^3$$

$$\boxed{W_3 = 19.936 \text{ T/m}}$$

$$\text{Tranche : } N^{\circ}4 : W_4 = V_4 \times \gamma_{\text{sat}}$$

$$W_4 = 5.265\text{m}^3 \times 2.13\text{T/m}^3$$

$$W_4 = 11.214\text{T/m}$$

- Présentation des résultats :

N° Tranche	W (t)	$\alpha$ (°)	$\sin \alpha$	W Sin $\alpha$	$\cos \alpha$	W cos $\alpha$	b/ cos $\alpha$	U= $\gamma_w \cdot h_w$	U.b/cos $\alpha$
01	6.134	45	0.707	4.336	0.707	4.336	3.394	1.2	4.072
02	16.102	21	0.358	5.764	0.933	15.023	2.572	3.3	8.487
03	19.936	10	0.173	3.448	0.984	19.617	2.439	4.2	10.243
04	11.214	-7	-0.121	-1.356	0.992	11.124	2.419	2.1	5.079
La somme				12.192		50.10	10.824		27.881

Tableau VII-2 : présentation des résultats de calcul de  $F_s$  du cercle N°1  
(En état saturé du sol).

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=m} \left[ C_i \frac{b_i}{\cos \alpha_i} + \left( W_i \cdot \cos \alpha_i - \frac{U \cdot b_i}{\cos \alpha_i} \right) \text{tg} \varphi_i \right]}{\sum_{n=1}^{n=m} W_i \cdot \sin \alpha_i}$$

$$F_s = \frac{(10.824 \times 1.33) + (50.10 - 27.881) \text{tg} 13.33}{12.192} = 1.61 \quad \boxed{F_s = 1.61}$$

► **Remarquer** : Les calculs, concernant les autres cercles, sont présentés en «annexe B».

## VII-6-2-2- le glissement plan en amont du talus :

D'après les constatations sur site, ce glissement à la Lure d'un glissement Plan avec une profondeur de l'ordre de trois mètres (3m), c'est à dire la couche de remblai glisse sur la couche marneuse.

L'or du calcul on prés le cas le plus défavorable, a cet effet on à prés les caractéristiques réduites (apparente) du sol :  $\phi'' = 13.33^\circ$  ,  $C'' = 1.33\text{T/m}^2$ ,  $\gamma_h = 1.8\text{T/m}^3$ ,  $\gamma_{\text{sat}} = 2.13\text{T/m}^3$

L'angle d'incliné du talus  $\beta=13^\circ$ , le niveau de la nappe prés a la surface topographique.

Calcul de coefficient de sécurité  $F_s$  :

La surcharge permanente (Q) de la construction située sur l'axe du glissement était estimée 40T

On calcule le coefficient de sécurité  $F_s$  avec les formules suivantes :

$$F_s = \frac{C + \left( \sum_0^z \gamma_i \cdot h_i - \gamma_w \cdot h_w \right) \cdot \cos^2 \beta \cdot \text{tg} \phi''}{\sin \beta \cdot \cos \beta \sum_0^z \gamma_i \cdot h_i} \dots\dots\dots \text{En présence de nappe.}$$

$$F_s = \frac{C + \gamma \cdot h \cdot \cos^2 \beta \cdot \text{tg} \phi''}{\gamma \cdot h \cdot (\sin \beta \cdot \cos \beta)} \dots\dots\dots \text{En absence de nappe.}$$

## a- En état naturel du sol :

$$F_s = \frac{c'' + [(\gamma_h \times h) + Q] \times \cos^2 \beta \times \text{tg} \phi''}{[(\gamma_h \times h) + Q] \times \cos \beta \times \sin \beta}$$

$$= \frac{1.33 + [(1.8 \times 3) + 40] \times \cos^2 13 \times \text{tg} 13.33}{[(1.8 \times 3) + 40] \sin 13 \times \cos 13} = 1.159$$

$F_s = 1.16$
--------------



**b- En état saturé du sol :**

$$F_s = \frac{c' + [(\gamma_{sat} \times h_w) + Q] - (\gamma_w \times h_w)}{\sin \beta \times \cos \beta \times [(\gamma_{sat} \times h_w) + Q]} \cos^2 \beta \times \operatorname{tg} \phi'$$

$$F_s = \frac{1.33 + [((2.13 \times 3) + 40) - 3] \times \operatorname{tg} 13.33 \times \cos^2 13}{\sin 13 \times \cos 13 \times [(2.13 \times 3) + 40]} = 1.09$$

$F_s = 1.09$
--------------

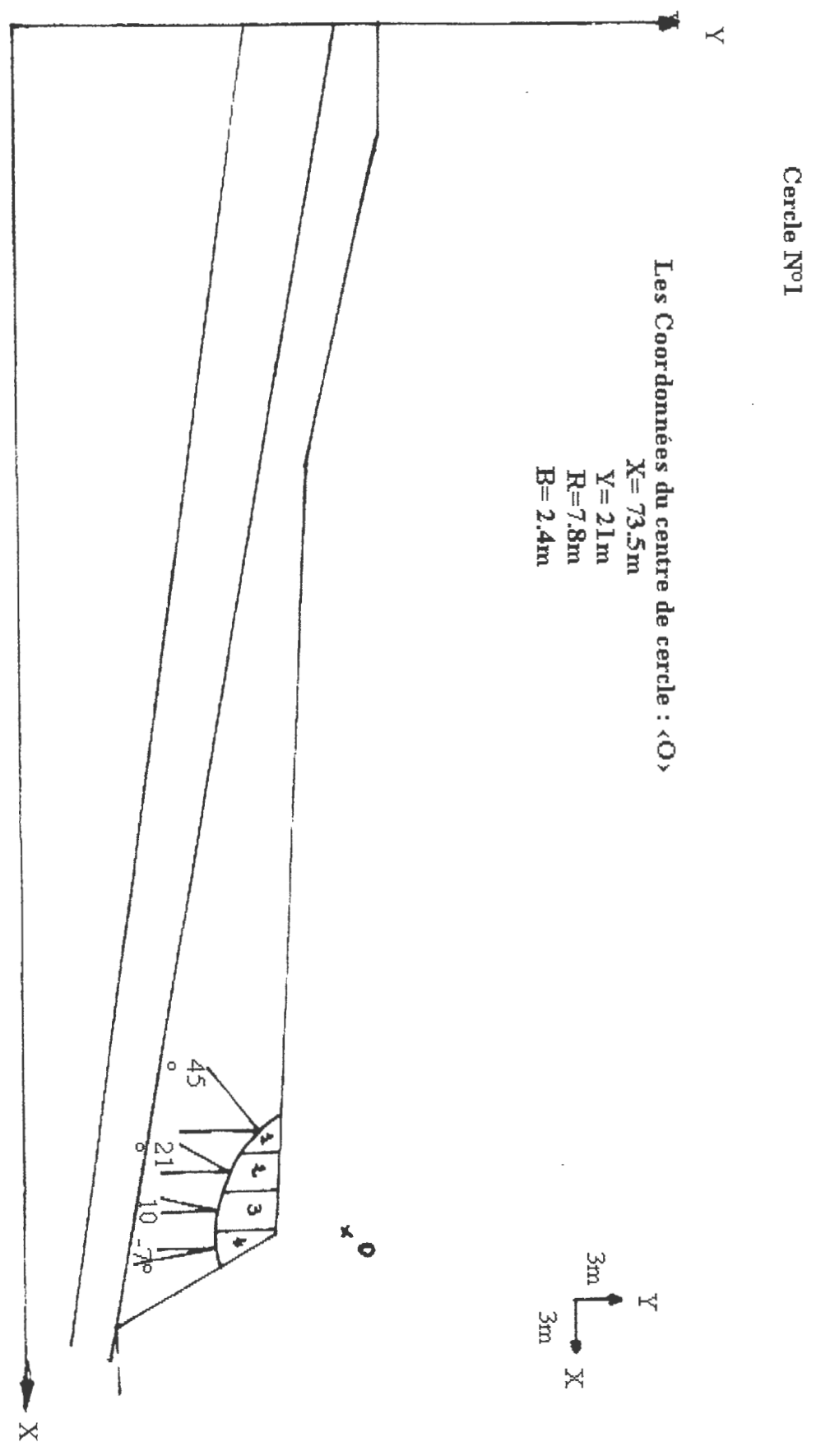


Fig-VII-8 : Profil A-B du cercle N°1

***Chapitre VIII :***  
***Solution et confortement***

**VIII-1-Introduction :**

Après avoir montré les différents facteurs qui favorisent ou accélèrent le glissement étudié, il faut bien chercher l'élimination aussi complète que possible de ces facteurs.

De ce fait on va proposer quelques techniques de confortements jugées adéquates.

L'analyse des facteurs ayant contribué à la déstabilisation du site montre que l'eau constitue le facteur moteur principal, ce pendant, nous pensons que la stabilisation du site sera nettement améliorée par une bonne évacuation des eaux superficielles issues des précipitations, et des eaux sauvages (eaux usées) loin du site en question.

A cet effet nous proposons ce qui suit :

- La mise en place d'un réseau d'assainissement approprié pour la collecte des eaux naturelles et sauvages dans le site.

- Un drainage sur le versant par la réalisation des tranchées drainant disposées dans le sens de la pente.

- Un ouvrage de soutènement en remplaçant le mur en gabion détruit. (Réalisation d'un rideau de palplanches).

- Le reboisement du talus

**VIII-2-Tranchées drainantes :**

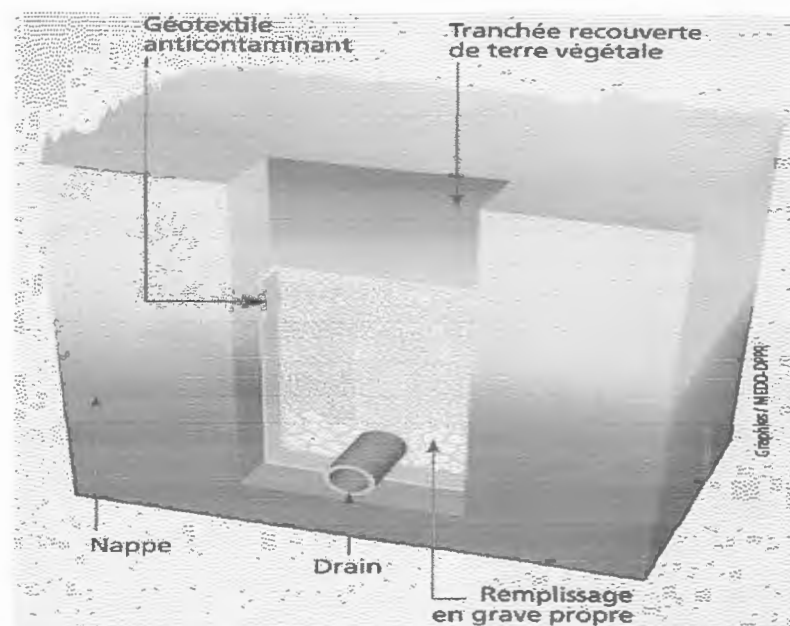
Les tranchées drainantes, sont destinées au drainage des eaux souterraines ou au rabattement des nappes aquifères. Elles sont constituées soit d'un volume de granulats drainant entouré d'une géotextile (qui sert comme couche de séparation anticontaminante), soit d'un géocomposite (qui assure les fonctions de séparation et de drainage). (Voir fig-VIII-1).

Dans les deux cas, l'évacuation de l'eau est généralement assurée par un drain (Tuyaux perforés en PVC, demis buses... etc.).

L'écran géocomposite peut se placer rapidement dans une tranchée étroite creusée par une pelle mécanique.

Dans les talus, la présence d'un ou plusieurs écrans drainant permet d'interrompre la circulation des eaux souterraines et de récolter celle-ci, afin d'éviter leurs effets défavorables sur la stabilité.

Les géotextiles utilisés doivent avoir une ouverture apparente adaptée à la granulométrie du sol à protéger et doivent présenter une perméabilité à l'eau suffisante.



**Fig-VIII-1 : Tranchée drainante**

Sous l'effet de la circulation de l'eau, les particules de sol peuvent migrer vers une zone de sol plus grossier. C'est par exemple ce qui se produit entre le remblai du site étudié et le matériau drainant.

Pour l'éviter, deux zones successives d'un ouvrage hydraulique doivent vérifier des conditions de filtre qui sont des règles granulométriques. [23]

Si les drains sont placés directement au contact d'un sol fin, les particules de ce dernier vont être entraînées par les forces d'écoulement au travers des vides du matériau drainant granulaire ou au travers des trous/fontes des drains plastiques, d'où l'apparition :

Soit d'une formation progressive de vides autour du drain (érosion régressive), soit, au contraire, d'un remplissage (colmatage) de celui-ci, dans les deux cas, des désordres sont à attendre.

Il est donc indispensable d'interposer un ou plusieurs éléments appelés filtres dont la granularité ou ouverture des mailles (matériau tissé, géotextile) est choisi de manière à permettre à l'eau de s'écouler sans entraînement des particules solides.

Les conditions à respecter pour obtenir ce résultat sont appelées « Règles des filtre ».

Les conditions explicitées ci-après doivent être vérifiées aux deux interfaces : entre matériau fin du remblai et filtre puis entre filtre et drain.

Dans chaque cas, (D) désigne la taille des grains du matériau le plus grossier et (d) celle des plus fins.

$$\begin{cases} \text{Matériau à drainer : } d. \\ \text{Matériau du drain : } D. \end{cases}$$

\*Traditionnellement, les filtres sont réalisés en interposant une ou plusieurs couches de granularité intermédiaire ; pour des ouvrages courants, les règles simples suivantes peuvent être appliquées :

$$\begin{cases} - D_{15} \text{ filtre} < 5 \cdot d_{85} \text{ du sol à protéger.} \\ - 4 < \frac{D_{15} \text{ filtre}}{d_{15} \text{ du sol à protéger}} < 20. \\ - D_{50} \text{ filtre} < 25 \cdot d_{50} \text{ du sol à protéger. [20], [23]} \end{cases}$$

#### VIII-2-1-Vérification des conditions de filtre :

D'après la courbe granulométrique, (Fig : VIII-2), on a :

$$d_{50} = 39\mu.$$

$$d_{85} = 0.4\text{mm.}$$

$$d_{15} = 2\mu.$$

$$* D_{15} < 5 d_{85} \quad \Rightarrow \quad D_{15} < 5 (0.4) \quad \Rightarrow \quad D_{15} < 2\text{mm}$$

$$* 4 < \frac{D_{15}}{d_{15}} < 20 \quad \Rightarrow \quad 8\mu < D_{15} < 40\mu$$

$$* D_{50} < 25d_{50} \quad \Rightarrow \quad D_{50} < 25 (39\mu) \quad \Rightarrow \quad D_{50} < 0.975\text{mm}$$

Les résultats précédents nous donnent la possibilité de tracer un fuseau de granularité qui répond aux conditions de filtre entre le sol à protéger (remblai argileux) et le géotextile (matériau drainant). Donc il faut choisir un filtre (géotextile) qui a une granularité comprise dans le fuseau présenté dans la figure VIII-2.

En fin la réalisation des tranchées drainantes sera comme suite :

- ❖ Creuser la tranchée à l'aide d'une pelle mécanique (3m de profondeur en environ).
- ❖ On met d'abord le géotextile, ensuite le drain en P.V.C, tuyau perforé à la face supérieure, puis on met les granulats roulés de Ø (40/50) pour un drainage efficace et rapide.



- ❖ On ferme le géotextile puis on recouvre la tranchée par une couche imperméable (argile), qui sera surmontée par une cunette en béton légèrement armé. (Fig : VIII-3)

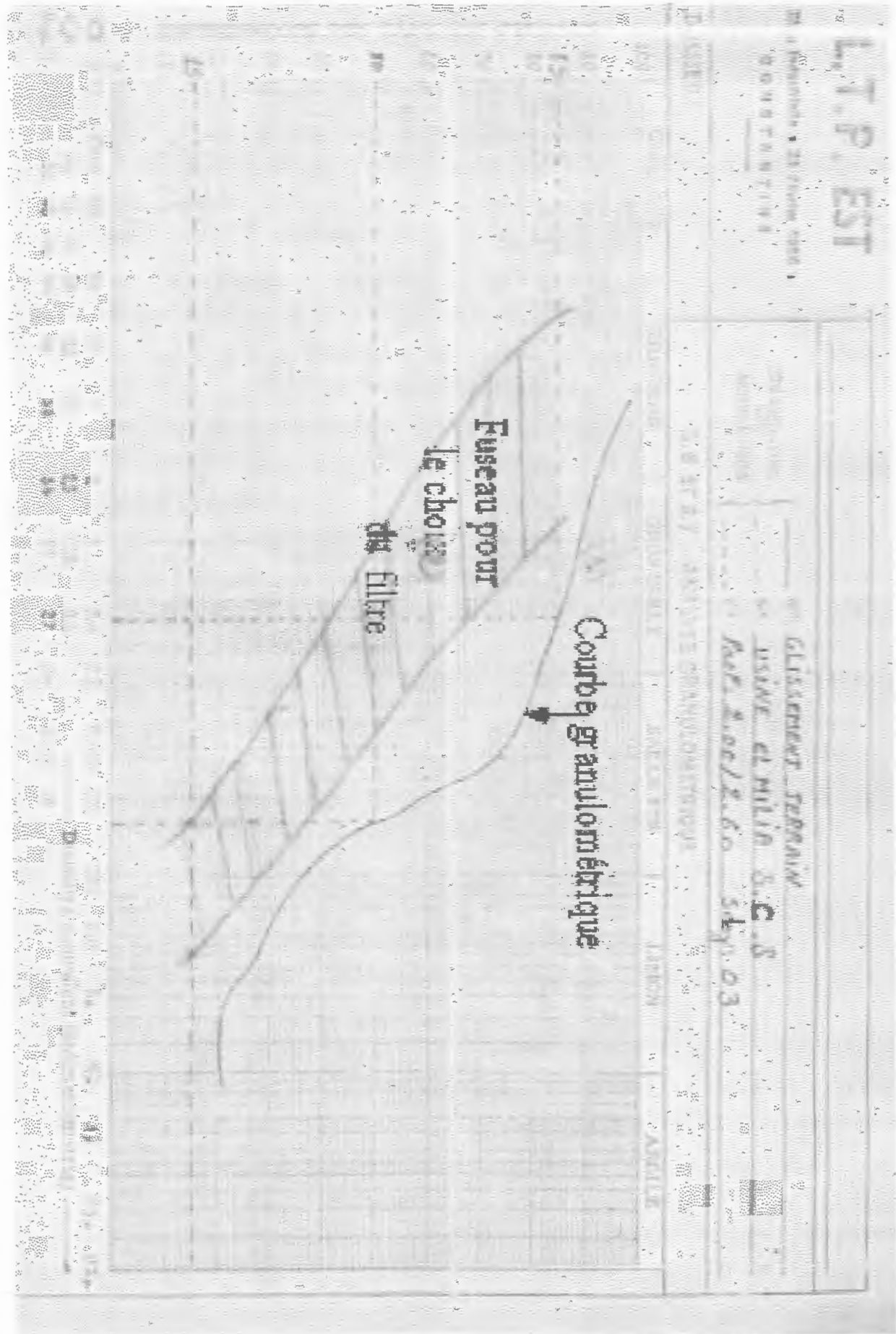
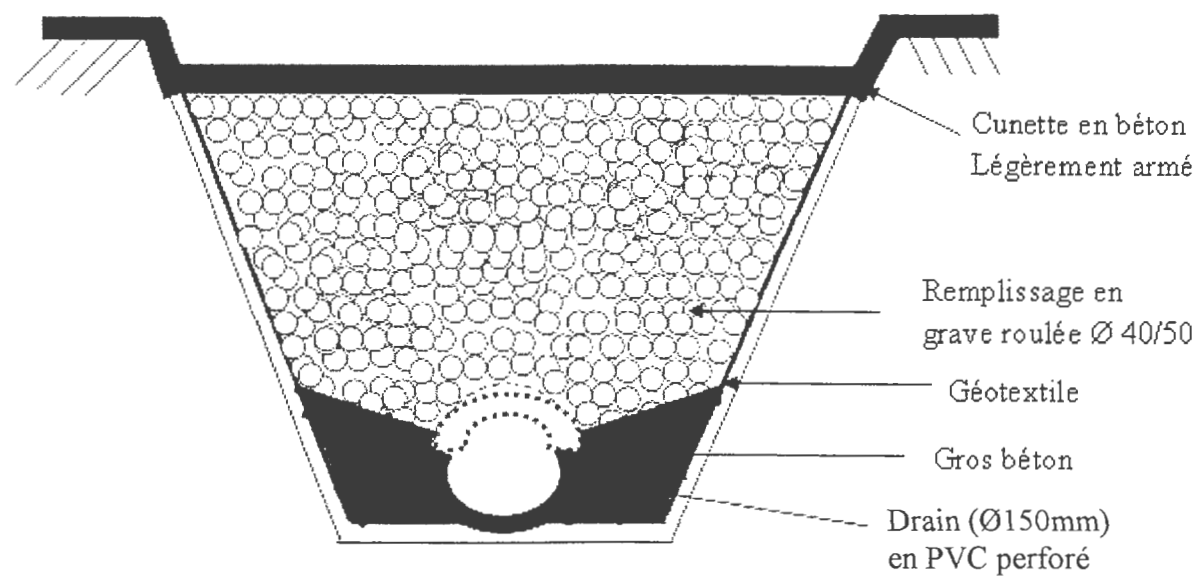


Fig-VIII-2 : Fuséau granulométrique pour le choix du filtre (géotextile).



**Fig-VIII-3: Coupe schématique des tranchées drainantes proposées au niveau du site de Ouled Amieur.**

### VIII-3-Le Reboisement de site :

C'est une solution simple et bénéfique à la fois pour l'environnement et la stabilité du versant. La plantation d'arbres à racines denses et qui peuvent absorber une grande quantité d'eau constitue une solution idéale pour diminuer l'influence de l'eau interstitielle et retenir les terres par les racines.

On peut citer deux espèces d'arbres dont les qualités stabilisatrices sont prouvées :

- **Eucalyptus** : Genre d'arbres, qui a, des racines puissantes. Est qui est capable de se développer dans des conditions très sévères.
- **Acacias** : Sont des légumineuses que l'on utilise soit pour le reboisement des dunes, soit comme essence associées de l'eucalyptus pour améliorer les sols.

**VIII-4- Les ouvrages de soutènements :**

Les murs de soutènements en pied du talus limitent le développement des glissements ; mais cette solution donne généralement des ouvrages très importants en matière de dimension.

**VIII-4-1-Les palplanches :****VIII-4-1-1-Définition:**

Les palplanches sont des pièces longues fabriquées généralement d'acier, peut épaisses, enfoncées dans le sol pour constituer des rideaux plans ; plat ou ondulées les palplanches sont de plus en plus fréquemment utilisés dans les ouvrages .soit a titre définitif exemple : rideau de soutènement, soit à titre provisoire exemple : batardeaux.

On distingue généralement deux types de rideaux en palplanches :

- Les rideaux ancrés.
- Les rideaux sans ancrage. [15]

**VIII-4-1-2-Stabilité des rideaux en palplanches :**

Calculer une palplanche c'est de répondre à deux questions :

- Quelle type de palplanche faudrait il utiliser (le type) ?
- De combien faudrait il l'enfoncée dans le sol (la fiche) ?

**a)-pour un rideau sans ancrage :**

Dans ce cas la stabilité du rideau est assurée uniquement par les réactions du sol sur la partie Enterrées que l'en appelle la fiche. C'est le phénomène de contre butée qui s'impose c'est-à-dire la palplanche pivote autour d'un point ou un axe dans l'extrémité inférieure.

**b)-pour un rideau ancrés :**

Ce type de rideau doivent une part de leur stabilité à une ou plusieurs lignes de tirants qui sont reliés à des plaques d'ancrage enterré dans le sol à quelques distances de la paroi, ces tirants sont attachés sur le rideau dans sa moitié supérieure.

Les rideaux ancrés résistent donc à la poussée des terres à la fois grâce aux efforts d'ancrages et grâce à la butée sur la fiche, en principe dans ce type d'équilibre le pied de la palplanche est immobile, c'est la résistance d'ancrage qui conditionne la stabilité du rideau. [15]

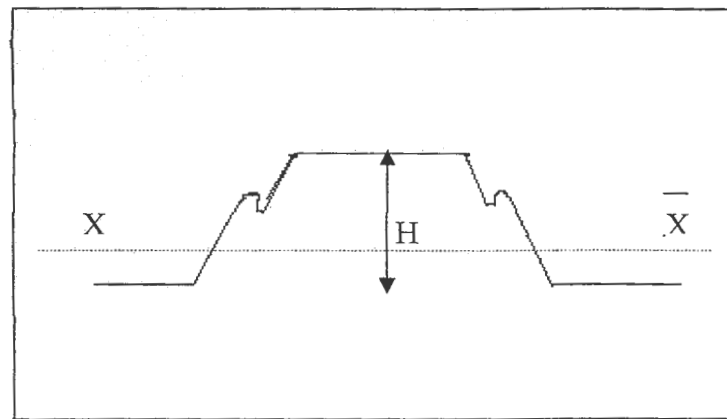
**VIII-4-1-3-Recommandations pour la mise en œuvre des palplanches :**

Les principales techniques de mise en œuvre des palplanches sont au nombre de trois, la percussion ou battage, le vibrage et le fonçage (par fois complémentaires des deux techniques premières).

L'une des plus importantes conditions de bonne exécution d'un ouvrage en palplanches métalliques réside dans le bon choix de la technique de fonçage à utilisé et l'engin de mise en oeuvre adapté au travail effectuer.

Les facteurs intervenant dans le choix de la technique et des engins de mise en oeuvre des palplanches sont :

- La nature des terrains traversés.
- Les caractéristiques des palplanches utilisées (fig : VIII-4).
- La nature et l'importance de l'ouvrage à construire.
- Les conditions d'accès au chantier.
- Les délais d'exécution.
- La disponibilité du matériel.
- L'environnement.



H : hauteur  
 I : moment quadratique  
 par rapport à  $\bar{x}\bar{x}$   
 W : Module de résistance

**Fig : VIII-4 : caractéristiques d'une palplanche [15]**

Le choix de la technique et des engins de mise en oeuvre étant fait, il faut s'assurer, avant le début des travaux, que le matériel approvisionné sur le chantier est en bon état de fonctionnement et conforme à celui préalablement proposé par l'entrepreneur au maître d'oeuvre. [21]

**a- plan de battage :**

Le plan de battage est constitué par un ensemble de dessin définissant précisément et complètement les caractéristiques de l'ouvrage en palplanche à construire. Sur ce plan on doit notamment trouver les éléments suivants :

- L'indication du nord géographique.
- Le positionnement de l'ouvrage par rapport à une base repère.
- Le sens d'écoulement des eaux, pour un ouvrage en site aquatique.
- Le nombre et le type de palplanches regroupées par famille.
- La longueur des palplanches et la cote d'arase théorique de leurs têtes.
- Des dessins détaillés des palplanches spéciales (palplanche d'angle, de raccord...).
- La cotation des angles de raccordement éventuels. [21]



**b- Implantation des ouvrages :**

Il s'agit de matérialiser sur des repères fixés la fibre moyenne des rideau à construire, pratiquement l'implantation consiste à positionner les guides de battage d'une façon générale, on commence par mettre en place les chaînes ou chevalets destinés à porter les cours de moise servant au guidage (fig : VIII-5). [21]



**Fig-VIII-5 : Implantation d'un rideau de palplanches.**

**c- Stockage, manutention et enclenchement des palplanches :**

Les palplanches sont des profiles relativement flexibles, essentiellement conçus pour « travailler » en position verticale, enclenchées les unes dans les autres .Avant d'être mise en ouvre, les palplanches sont d'abord chargées et déchargées plusieurs fois avant d'être stockées à proximité du chantier, Toutes ces opérations doivent être conduites avec soin de façon à ne pas engendrer dans les palplanches des contraintes et des déformations qui pourraient conduire à des déboires lors des opérations d'enclenchement et de fonçage. [21]

#### d- Centrage et guidage des engins de battage :

Pour être efficace et limiter les risques d'apparition de certains incidents graves lors de la mise en œuvre des palplanches (déviations, déversements, déformations...), l'engin de battage doit être parfaitement centré sur celle-ci et sur le martyr du casque de battage. Pour les mêmes raisons, l'engin de battage doit être parfaitement guidé dans les déplacements.

Le dispositif de guidage assurera à la masse frappante une trajectoire confondue avec la fibre moyenne théorique verticale du profil de battage (fig : VII-6).

Il existe deux types de dispositifs de guidage :

- Ceux qui assurent aussi un guidage des têtes de palplanches par l'intermédiaire du casque de battage, c'est le cas des sonnettes et des mats montés sur grue.
- Ceux qui ne guident que l'engin de battage et dont la verticalité et des (et par fois même la tenue) n'est assurée que par l'appuis qu'il prennent sur les palplanches elles-mêmes (mats suspendus, cavaliers). [21]

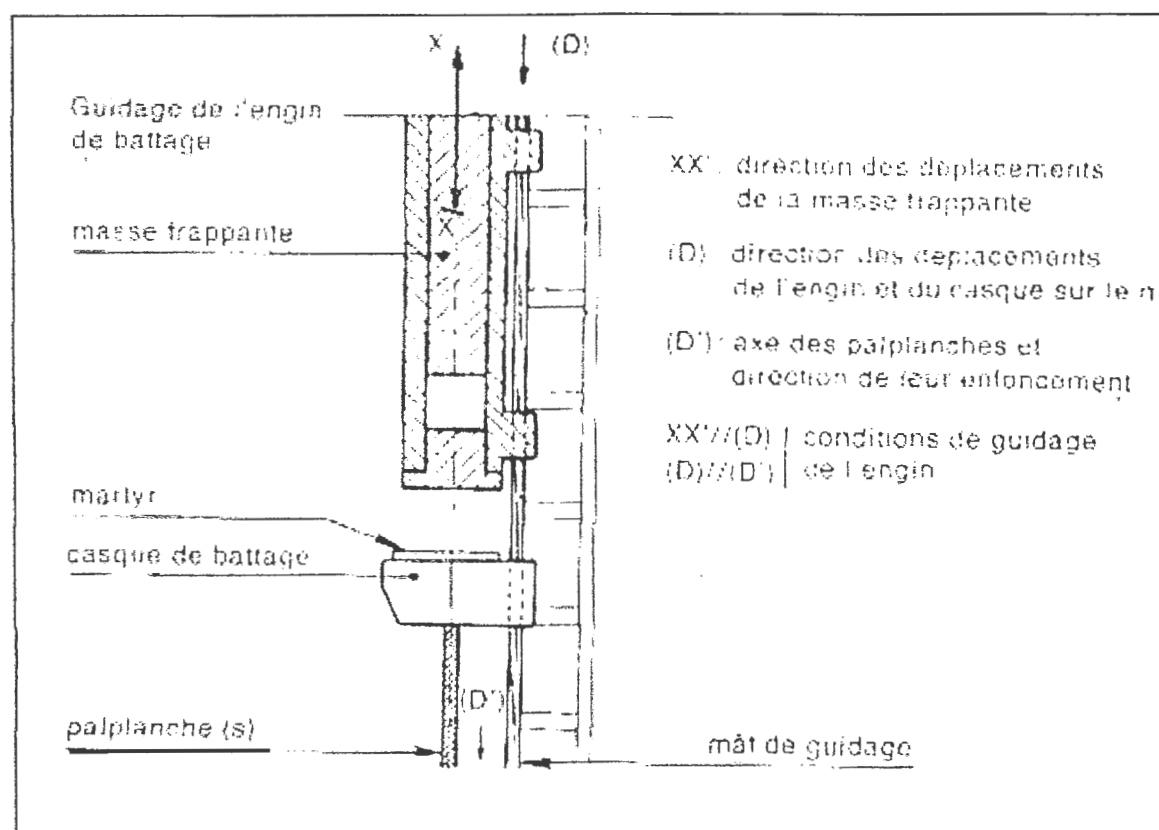


Fig-VIII-6 : Centrage et guidage de l'engin de battage. [21]

**e-Les guides de palplanches :**

Un guide correctement conçu permet d'obtenir un bon alignement du rideau, limité les risques de déversement longitudinaux et transversaux et permet aux palplanches de traverser ou de refouler plus facilement les obstacles qu'elles rencontrent dans le sol. [21]

**f- Contrôles à effectuer au cours de la mise en oeuvre des palplanches :**

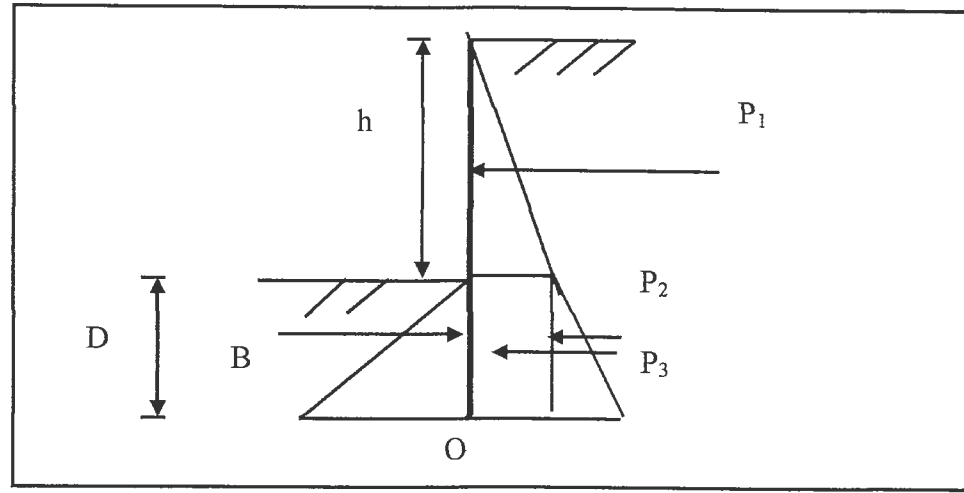
Au cours de la mise en œuvre des palplanches il est nécessaire d'effectuer des contrôles et des vérifications, on peut les résumer dans ce qui suit :

- Contrôle des caractéristiques et de l'état des palplanches approvisionnées.
- Contrôle de la verticalité des palplanches.
- Contrôle du centrage et de guidage des engins sur chantier.
- Contrôle de l'état des têtes des palplanches
- Contrôle de la pénétration des palplanches (relevé de battage). [21]

**VIII-4-1-4- Calcule de stabilité du rideau de palplanche proposé au site de Oueled Amieur:**

Considérons le cas d'un rideau sans ancrage avec simple butée, et ayant une fiche mobilisant la butée limite sur la fiche. Comme le montre la figure VIII-8, les forces agissant sur l'écran sont la force P résultante des poussées à l'amont ( $P_1, P_2, P_3$ ), la force B résultante de la butée limite agissant sur la fiche (D).

On écrit que la somme des moments par rapport au point O située à la base du rideau est nulle, ce qui aboutit à une équation du troisième degré en fonction de D. la résolution de cette équation permet de déterminer la fiche(D).



Avec, (h) : la hauteur du remblai, et D : la fiche d'encastrement.

Fig-VIII-7 : Définition des paramètres du calcul d'un rideau sans ancrage

a- Calcul des coefficients de poussée et de butée :

Dans le cas d'un écran vertical : Les coefficients de poussée et de butée sont successivement calculés avec les deux formules suivantes [24]:

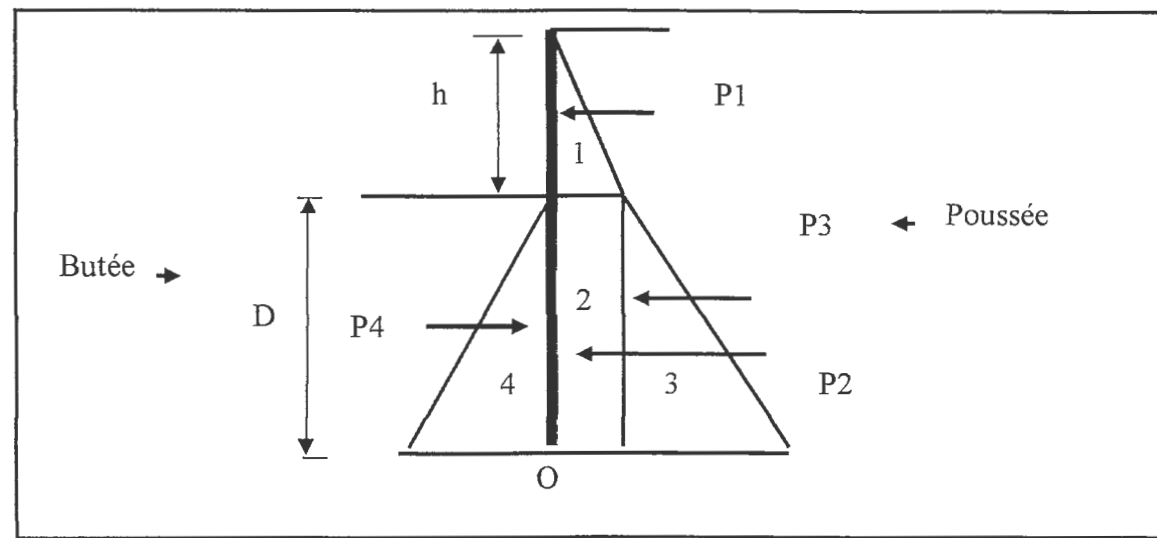
$$K_a = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \quad , \quad K_p = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}$$

Les coefficients de poussée et de butée sont représentés sur le tableau VIII-1

	Angle de frottement interne $\varphi$ (°)	Coefficient de poussée $K_a$	Coefficient de butée $K_p$
Couche de remblai	20	0.50	2.04
Couche de marne argileuse	23	0.44	2.30

Tableau VIII-1 : Coefficients de poussée et butée.

La détermination des pressions permet de tracer le diagramme de répartition des contraintes. (Fig : VIII-8)



FigVIII-8 : Diagramme de répartition des contraintes.

Les calculs des pressions, poussées, et moments sont exposés sous forme tabulaire.

	Diagramme	Surface de diagramme de pression (KN/mètre linéaire)	Hauteur du centre de gravité au-dessus de la base (m)	Moment par rapport à la base du rideau (point O)
Poussée Active	1	$1/2 \times 21.3 \times K_{a1} \times h^2$	$h/3 + D$	$1/2 \times 21.3 \times 16 \times 0.5 \times (h/3 + D)$
	2	$21.3 \times h \times K_{a1} \times D$	$D/2$	$21.3 \times h \times 0.5 \times D^2/2$
	3	$1/2 \times 20 \times D^2 \times K_{a2}$	$D/3$	$1/2 \times 20 \times D^2 \times K_{a2} \times D/3$
Poussée Passive (Butée)	4	$1/2 \times 20 \times K_{p2} \times D^2$	$D/3$	$1/2 \times 20 \times K_{p2} \times D^3/3$

Tableau VIII-2 : présentation des résultats de calcul.

**b- Détermination de la fiche D :**

La hauteur (h) du remblai qu'on doit le soutenir est égale à 4m (talus juste derrière l'Usine).

Si on suppose que le pied est en simple butée, l'équilibre des moments en pied donne :

$$85.2 \times (4/3+D) + 42.6 \times D^2/2 + 1/6 \times 20 \times (K_{a2} - K_{p2}) D^3 = 0$$

$$\boxed{-6.2 D^3 + 21.3 D^2 + 85.2 D + 113.6 = 0} \dots\dots\dots \text{VIII-1}$$

La résolution de cette équation permet de déduire la valeur de la fiche D, ce qui donne

D = 6.15m, ce qui donne une longueur total des palplanche L = 6.15m + 4m = 10.15m ≈ 11m

**c- Calcul du moment fléchissant maximum :**

Le moment fléchissant maximum ( $M_{\max}$ ) se situ la où l'effort tranchant (V) est nul, pour cela en écrit l'équilibre des forces agissant sur l'écran par rapport au point (o) ce qui permet de déterminer la position de l'effort tranchant nul (x) et par la suite calculer le moment maximum ( $M_{\max}$ ) dans le rideau de palplanche.

On écrit alors :

$$V(x) = (1/2 \times 21.3 \times K_{a1} \times h^2) + (21.3 \times h \times K_{a1}) \cdot x + (1/2 \times 20 \times K_{a2}) \cdot x^2 - (1/2 \times 20 \times K_{p2})$$

$$V(x) = 85.2 + 42.6 \cdot x + (1/2 (K_{a2} - K_{p2}) \times 20) \cdot x^2$$

$$V(x) = -18.6 x^2 + 42.6 x + 85.2$$

$$V(x) = 0 \Leftrightarrow -18.6 x^2 + 42.6 x + 85.2 = 0$$

Ce qui donne : x = 3.54m



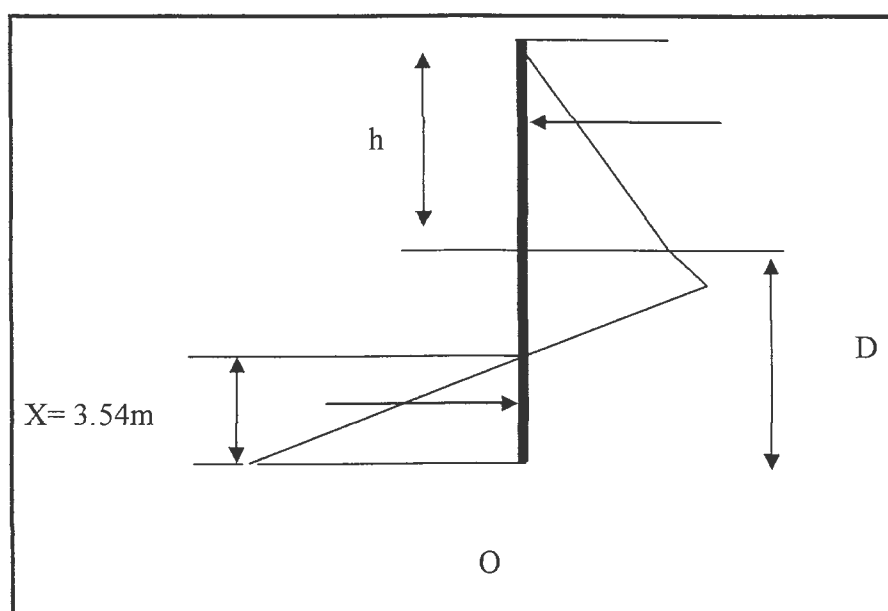


Fig VIII-9 : Décomposition du rideau

Le calcul du moment fléchissant maximum sera donc pour ( $x = 3.54\text{m}$ ) de la base (o) du rideau.

$$M_{\max} = (1/2 \times 21.3 \times K_{a1} \times h^2) + (21.3 \times h \times K_{a1}) \cdot x + (1/2 \times 20 \times K_{a2}) \cdot x^2 - (1/2 \times 20 \times K_{p2})$$

$$= 85.2 + 629.93 + 65.06 - 340.10$$

$$M_{\max} = 440.09 \text{ KN. m/m}$$

#### d- Détermination du module de résistance W du profilé du rideau :

Le moment fléchissant maximum ( $M_{\max}$ ) permet de calculer le module de résistance (W) de la palplanche adéquate. De ce fait pour le choix du type de palplanche il faut vérifier la condition suivante : [15]

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} \leq \sigma_{ad}$$

Ce qui donne :

$$W \geq \frac{M_{\max}}{\sigma_{ad}} = W_{\min}$$

Si on admet un profilé en acier ayant une limite d'élasticité  $\sigma_{ad} = 35.5 \text{ daN/mm}^2$ .

(Tableau VIII-3)

$$\Rightarrow W = 440.09 / (35.5 \times 10^4) = 1239,69 \text{ Cm}^3/\text{ml}$$

Il faut en pratique choisir dans la gamme des palplanches disponibles, celle dont le module est immédiatement supérieur au module W calculé.

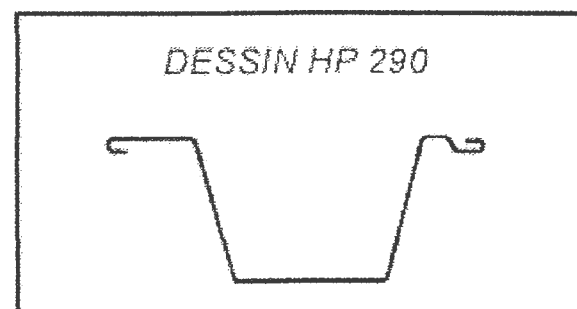
• **Catalogue usuels des profilé des palplanches (OMEGA EP 4 A 9 m/m) :**

NUANCE D'ACIER UTILISÉE			
Désignation	Résistance minimale MN/m <sup>2</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	Limite d'élasticité minimale garantie MN/m <sup>2</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	Allongement minimal en %
S 235 JRC (St. Sp. 37.2)	340-470	235	25
S 275 JRC (St. Sp. 44.2)	420-550	265	22
S 355 JOC (St. Sp. S)	480-630	355	22

**Tableau-VIII-3 Nuance d'acier utilisé.**

- Les palplanches sont produites à partir de bobine d'acier laminé à chaud.
- Les documents d'inspection sont conformes à la norme EN 10204.
- Les conditions techniques de livraison sont conformes à la norme EN 10249 part 1.
- Les tolérances dimensionnelles sont conformes à la norme EN 10249 part 2.

• **Profilé Type des palplanches choisies pour le site de Ouled Amieur :**



**Fig-VIII-10 : profilé des palplanches utilisées.**

TYPE	EPAISSEUR	LARGEUR		HAUTEUR	POIDS		MODULES		SURFACE
		UTILE	TOTALE		ml	m <sup>2</sup>	I/V cm <sup>3</sup> /ml	I cm <sup>4</sup> /ml	
HP 290-4	4,0	720	752	286	41,10	57,00	616	8940	2,20
HP 290- 4.5	4,5	720	752	286	46,10	64,00	693	10050	2,20
HP 290-5	5,0	720	752	287	51,20	71,00	770	11170	2,20
HP 290- 5.5	5,5	720	752	287	56,20	78,00	847	12290	2,20
HP 290-6	6,0	720	752	288	61,20	85,00	924	13401	2,20
HP 290- 6.5	6,5	720	752	288	66,30	92,00	1001	14520	2,20
HP 290-7	7,0	720	752	289	71,30	99,00	1082	15646	2,20
HP 290- 7.5	7,5	720	752	289	76,70	106,50	1155	16764	2,20
HP 290-8	8,0	720	752	290	80,00	111,00	1232	17885	2,20
HP 290- 8.5	8,5	720	752	290	85,10	118,20	1309	18999	2,20
HP 290-9	9,0	720	752	291	90,10	125,10	1383	20135	2,20

**Tableau -VIII-4 : Caractéristiques des palplanches type OMEGA EP 4 A 9 m/m,  
MODULE DE 268 à 1383 cm<sup>3</sup>/ml**

D'après le tableau précédent et selon le module de résistance calculé on adopte les palplanches suivantes : S355 JOC (St. Sp. S) - type HP 290-8.5, qui a comme module de résistance ( $W = I/V$ ) égal à 1309 cm<sup>3</sup>/ml > W calculé = 1239.69cm<sup>3</sup>/ml.

La figure VIII-11 et 12 présente une coupe et une vue en plan des solution proposées pour le site de Ouled Amieur

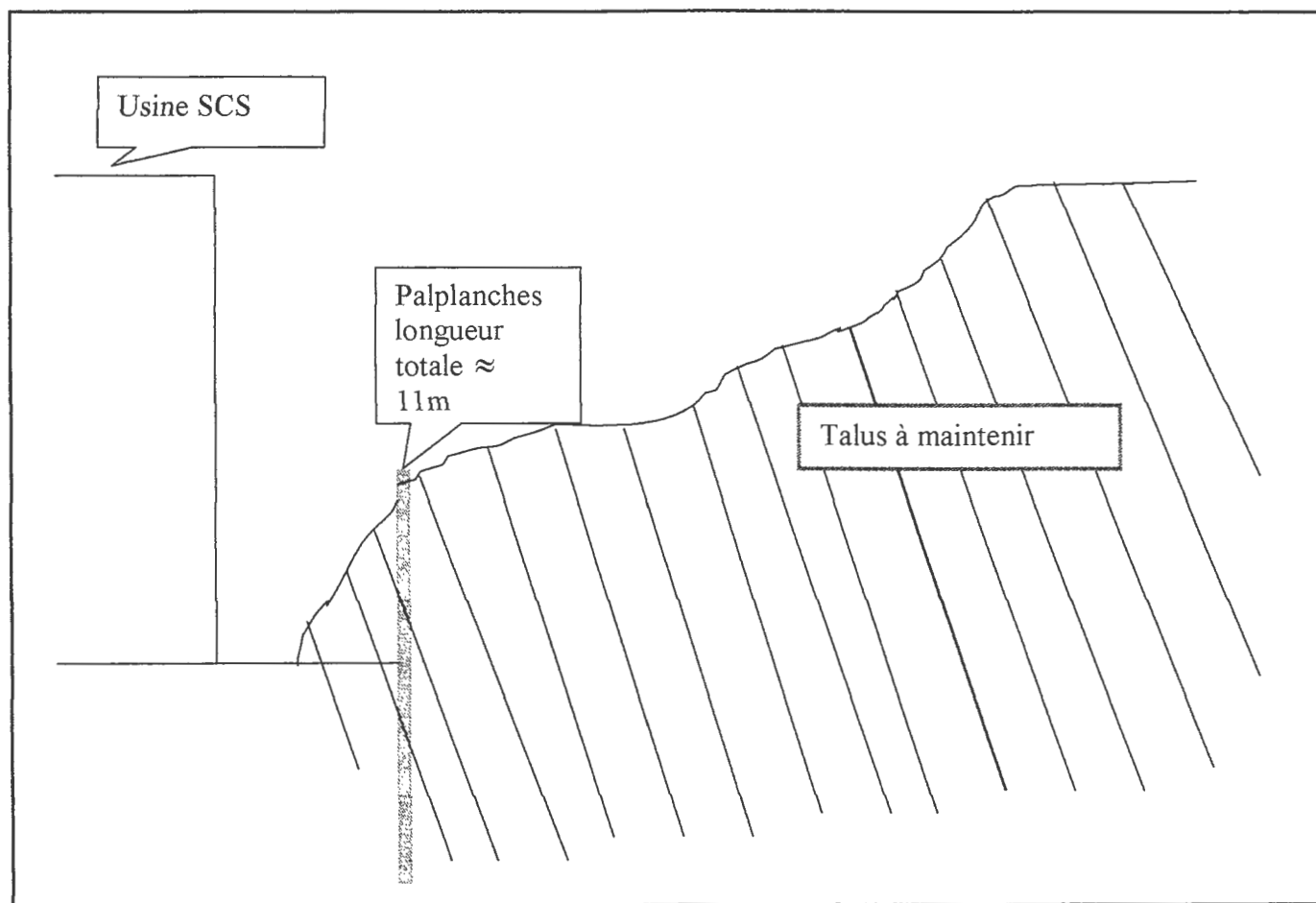


Fig -VIII-11 : Coupe schématique d'implantation des palplanches

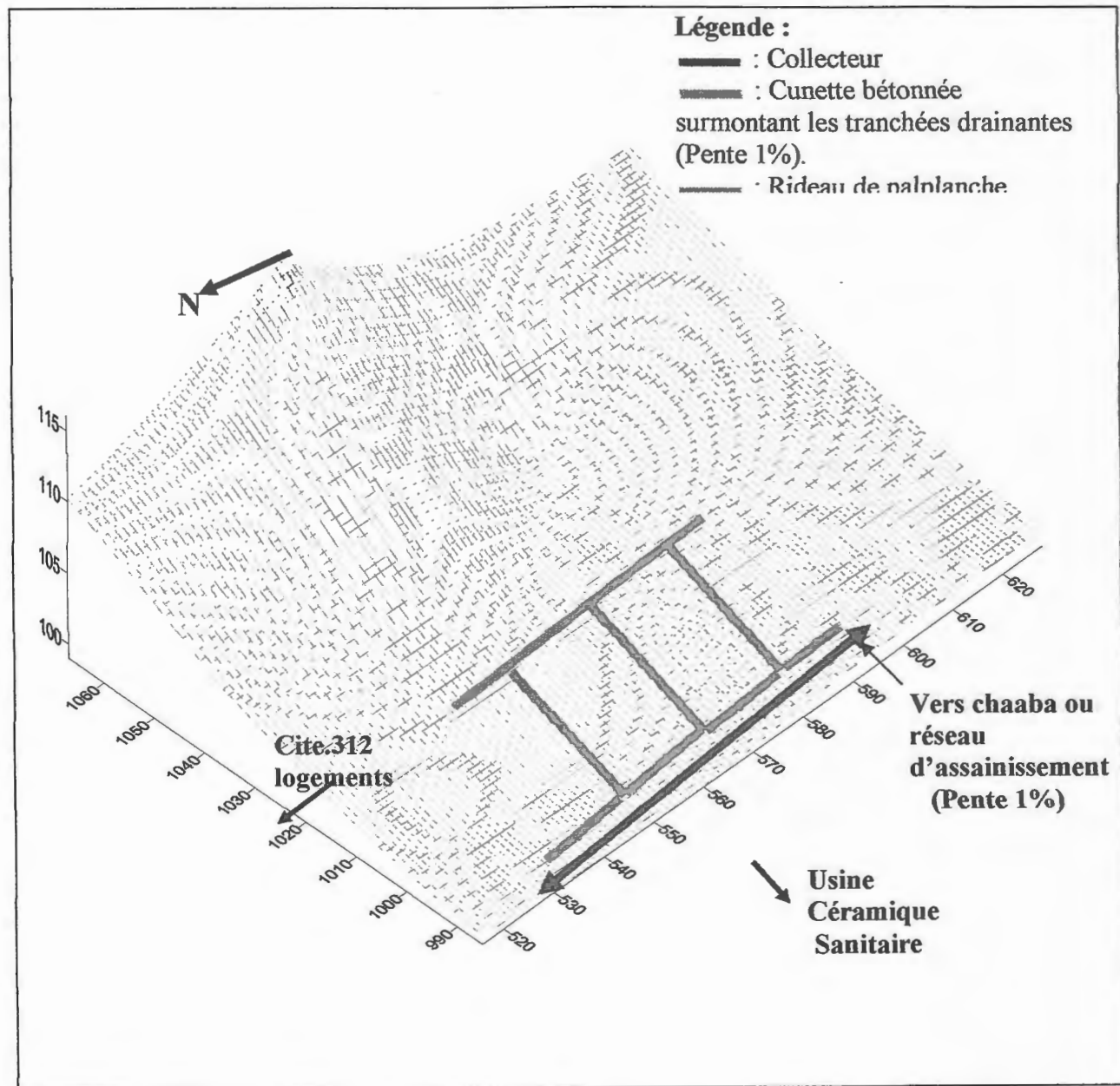


Fig-III-12 : Vue en plan de la mise en place des solutions proposés (Drainage et palplanches)

*Conclusions et  
recommandations*



## CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.

### 1- Conclusions :

L'analyse des différents paramètres tels que la topographie, la géologie (régionale et locale), l'hydrogéologie, les conditions climatiques de la région et les caractéristiques géotechniques aident à mieux comprendre le problème de glissement de terrain Oueled Amieur.

Dans la première partie consacrée à l'aspect géologique de la région ainsi que la géologie du site, on a effectué une synthèse des documents existants ayant traité la géologie de la région, ces informations confirmées par les sorties effectuées avec nos encadreurs, on permis de dire :

- Vu la structure complexe de la région
- Vu la pluviométrie importante de la région.
- Vu le recouvrement du socle par une couche savonneuse de marne et d'argiles de pente d'une épaisseur importante.

Que le site est **vulnérable** et pourrait se comporter d'une manière préjudiciable pour les constructions envisagées (usine + logements) à moins de prendre des précautions et de protéger le terrain et ses alentours avec des méthodes confortative adéquates.

Dans la deuxième partie consacrée à l'étude géotechnique du site, et d'après les résultats de la reconnaissance géotechnique réalisée sur le terrain, le sol en place est constitué essentiellement d'un remblai argileux avec des passages limoneuses jaunâtre moyennement compressible saturé d'eau.

Le calcul de stabilité a été effectué selon des profils en travers **A B** indiqué sur le «levé topographique» Annexe B, en se basant sur données suivantes :

- Remblai argileux ayant une densité humide  $\gamma_h = 1,8 \text{ T/m}^3$
- un angle de frottement interne  $\varphi = 20^\circ$
- une cohésion **C = 0.2 bars**

Le coefficient de sécurité, calculé par la méthode de Fellinius, de certains cercles (C1), (C2) et (C3) sont faible surtout en présence d'eau ou dans le cas où le sol est humide.

Le cercle critique est représenté par le cercle N°3 (**Fs = 0.53** en état saturé, et **0.93** en état humide du sol),

Pour le glissement en amont du talus (glissement plan) on à déterminer des coefficients de sécurité entre **1.09** et **1.16**.

## **2 -Recommandations :**

Les résultats des calculs de stabilité montrent clairement l'influence de l'eau sur la stabilité du site.

On se basant sur les observations faite sur terrain, ainsi que sur les résultats des différents calculs de stabilité, on peut dire que le terrain est toujours en mouvement (présence des fissures de traction, inclinaison des palplanches déjà existantes et des poteaux électriques, destruction du mur en gabion) cependant est suite à notre étude en recommande ce qui suit :

- **Réaliser un réseau de drainage** sur le talus et ces alentours afin d'évacuer les eaux d'infiltration et superficielle provenant au site et de diminuer ainsi les pressions interstitielles
- **prévoir pour les chaussées** des cunettes pour une bonne évacuation des eaux vers les avaloires.
- **Le Reboisement du site** avec des arbres qui permettent de lutter efficacement contre les eaux superficielles en absorbant une certaine quantité d'eau et en fixant par leurs racines les couches superficielles du sol.
- **Réalisation d'un rideau de palplanches**, ce rideau est construit en pied du talus, les palplanches seront fichée dans le sol avec une profondeur de 11m pour avoir une meilleure stabilité du talus.

# ***Bibliographie***

## Bibliographie

- [1] : **Djelit. H (1987)** : Evolution tectono-métamorphique du socle Kabyle en place des nappes de flysch en petite Kabylie occidentale (Algérie). Thèse Doctorat.
- [2] : **Durant Delgat (1955)** : Etude géologique de l'ouest de la chaîne Numédique. Thèse science, Paris, serv, carte geol, Algérie.
- [3] : **J. P. Boulin (1977)** : Géologie Alpine de la petite Kabylie dans les régions de Collo et d'El Milia (Algérie), Thèse doctorat d'état, Université de Paris.
- [4] : **J. F. Raaoult (1969)** : Relation entre la dorsale Kabyle et les flyschs sur la transversale de Dj Ghédir phase tangentielle Eocène, paleogeographié (Nord Constantinois, Algérie). Bull. Soc. Geol. Fr, XI, Paris.
- [5] : **Gelard (1969)** : Le flysch à base schisto-gréseuse de la bordure méridionale et orientale du massif de Chellata ; le flysch mauritanien (Grand Kabylie). Bull. Soc. Geo.Fr.XI, Paris.
- [6] : **J. P. Boulin (1970)** : Définition d'un flysch Massylien et d'un flysch Mauritanien au sein des flyschs allochtones de l'Algérie. C.R.A. C.A.D. Sc. Paris.
- [7] : **J. P. Boulin (1979)** : La transversale de Collo et d'El Milia (Petite Kabylie). Une région chaîne littoral D'Algérie.
- [8] : **J. M. Villa (1980)** : La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens. Thèse de Doctorat d'état, Univ, Pierre et Marie Curie (Paris VI), 3 vol.
- [9] : **M. Raubault (1934)** : La Kabylie de Collo ; Etude géologique. Thèse, Paris.Bull. Ser. Cart, Geol Algérie (2), N°10. Alger.
- [10] : **C. Robin (1970)** : Etude geologique du massif volcanique du Cap Cavallo (El Aouana) Algérie, Thèse, 3<sup>eme</sup> Cycle, Paris, roneot.
- [11] : **B. Semroud (1970)** : Etude Pétrographique du granite du Filifla (Skikda). Thèse, 3<sup>eme</sup> cycle, Algérie.
- [12] : Rapport de laboratoire National de L'habitat et de Construction ( LN.H.C).
- [13] : **Office national de la météorologie** : station météo de Jijel Aéroport, période 1996/2005

- [14] : **Azzedine Mebarki et C. Thomas (1)**: Analyse des relations entre écoulements superficiels et souterrains à partir des hydrogrammes des cours d'eau ; Application au bassin du Kebir-Rhume1 dans le Constantinois (Algérie).
- [15] : **J.Cost et G.Senglérat (1983)** : Cours pratique de mécanique des sols, Tome 2 : calculs des ouvrages, 3ème édition, Dunod.
- [16] : **Bouafia Ali (2004)** : Les essais in situ dans les projets de fondation, O.P.U : 2003 - 2004.
- [17] : **J.Cost et G.Senglerat (1981)** : Cours pratique de mécanique des sols, Tome 1 : Plasticité et calcul des tassements des ouvrages, 3ème édition, Dunod.
- [18] : **Abdel Kader Benaissa (2003)** : Calcul de stabilité, glissement de terrain. O.P.U, 95p
- [19] : **D.Carday (1994)** : Mécanique des sols, (2ème tirage corrigé), Lavoisier- Tec et Doc.
- [20] : **Philipponnat.G et Bertrand. H (2003)** : Fondations et ouvrages en terre, édition Eyrolles.
- [21] : **Gilbert Haiun et Didier Cornet (1983)** : Guide pratique pour l'utilisation des palplanches métalliques, 3ème édition, publication assuré par Sacilor-Paris.
- [22] : **Eric Gervreau (1998)** : Géotechnique Mécanique des sols, exercices résolus, Gaétan Morin éditeur.
- [23] : **Paul Rojet, Gerard Dégoutte** : Aide mémoire de mécanique des sols, les publications de l'ENGREF. Réédition 2005, pp, 39-42.
- [24] : **Bouafia Ali (2005)** : Calcul pratique des fondations et des soutènements, O.P.U : 2005.

#### Site Web :

- [www.canada.gc.ca](http://www.canada.gc.ca) / le glissement dans les terrains argileux.
- <http://geoscape.nrcan.gc.ca>
- [http://geoscape.nrcan.gc.ca/calary/topics/stabilites de talus \\_f. php.](http://geoscape.nrcan.gc.ca/calary/topics/stabilites%20de%20talus_f.php)

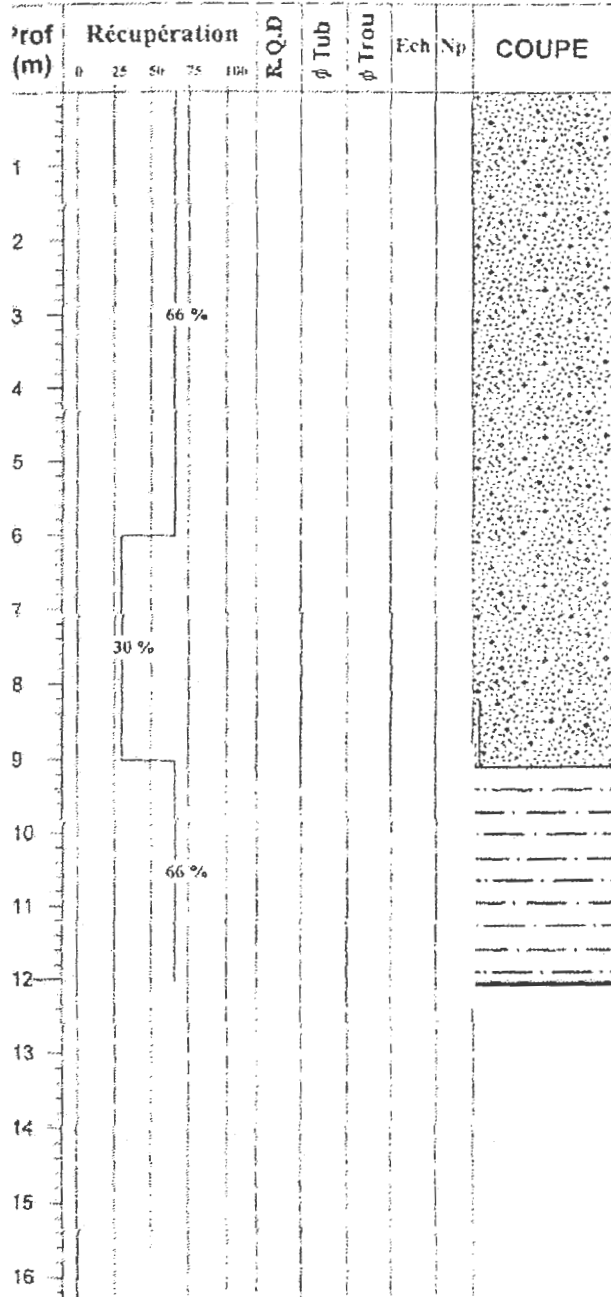
# *Annexes*

# *Annexe : A*



LABORATOIRE NATIONAL DE L'HABITAT ET DE LA CONSTRUCTION  
 UNITÉ DE ROUÏBA

Géfiissement de terrain OULED AMIOUR  
 Dossier N° : MILIA-JIJEL  
 Date essai : 8/11/2003  
 Profondeur totale : 12m  
 Sondage N° : 1



Remblais (sable fin ou limon, cailloux)

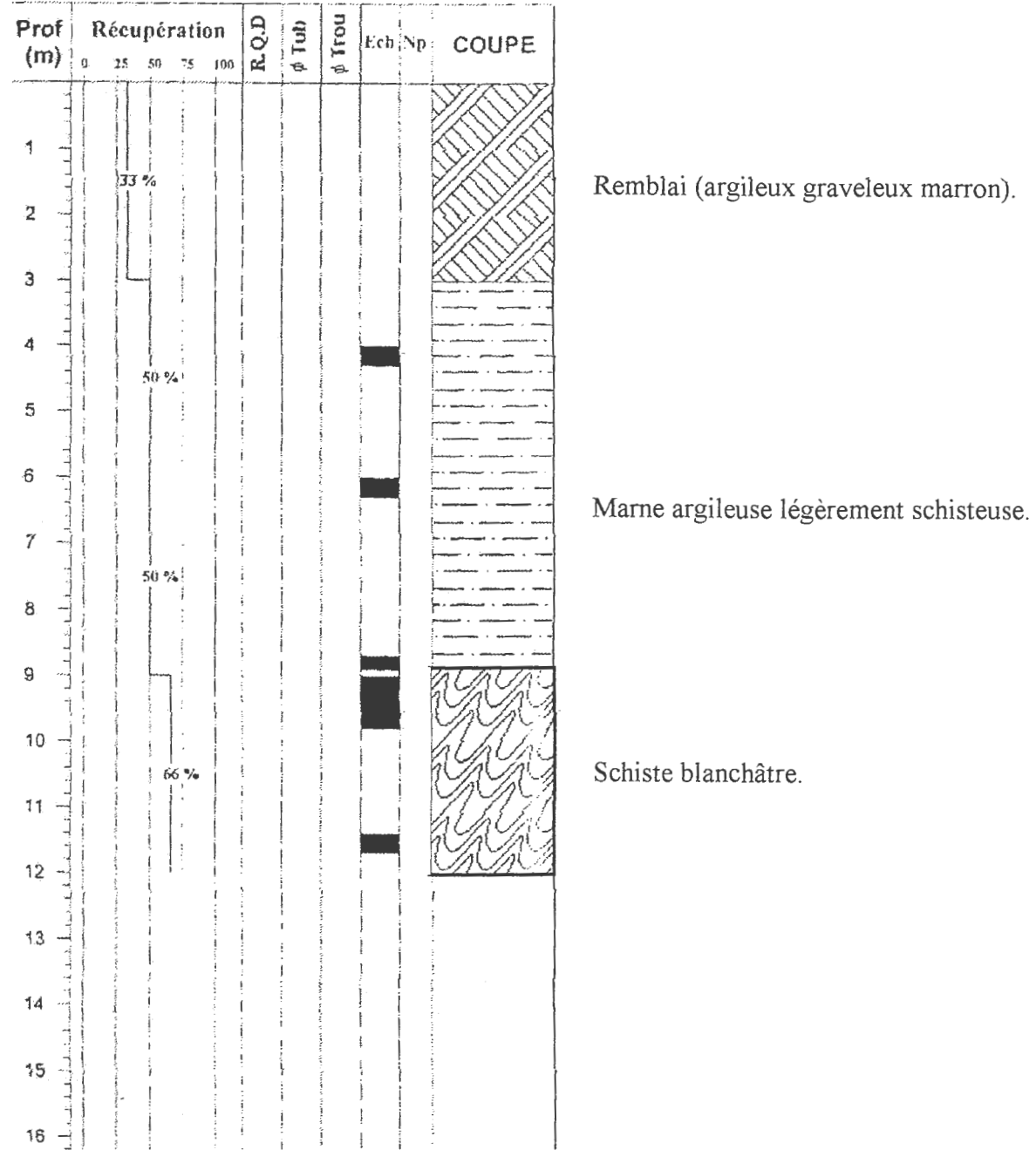
Marne argileux légèrement schisteux



ANNEXE A

LABORATOIRE NATIONAL DE L'HABITAT ET DE LA CONSTRUCTION  
UNITE DE ROUBA

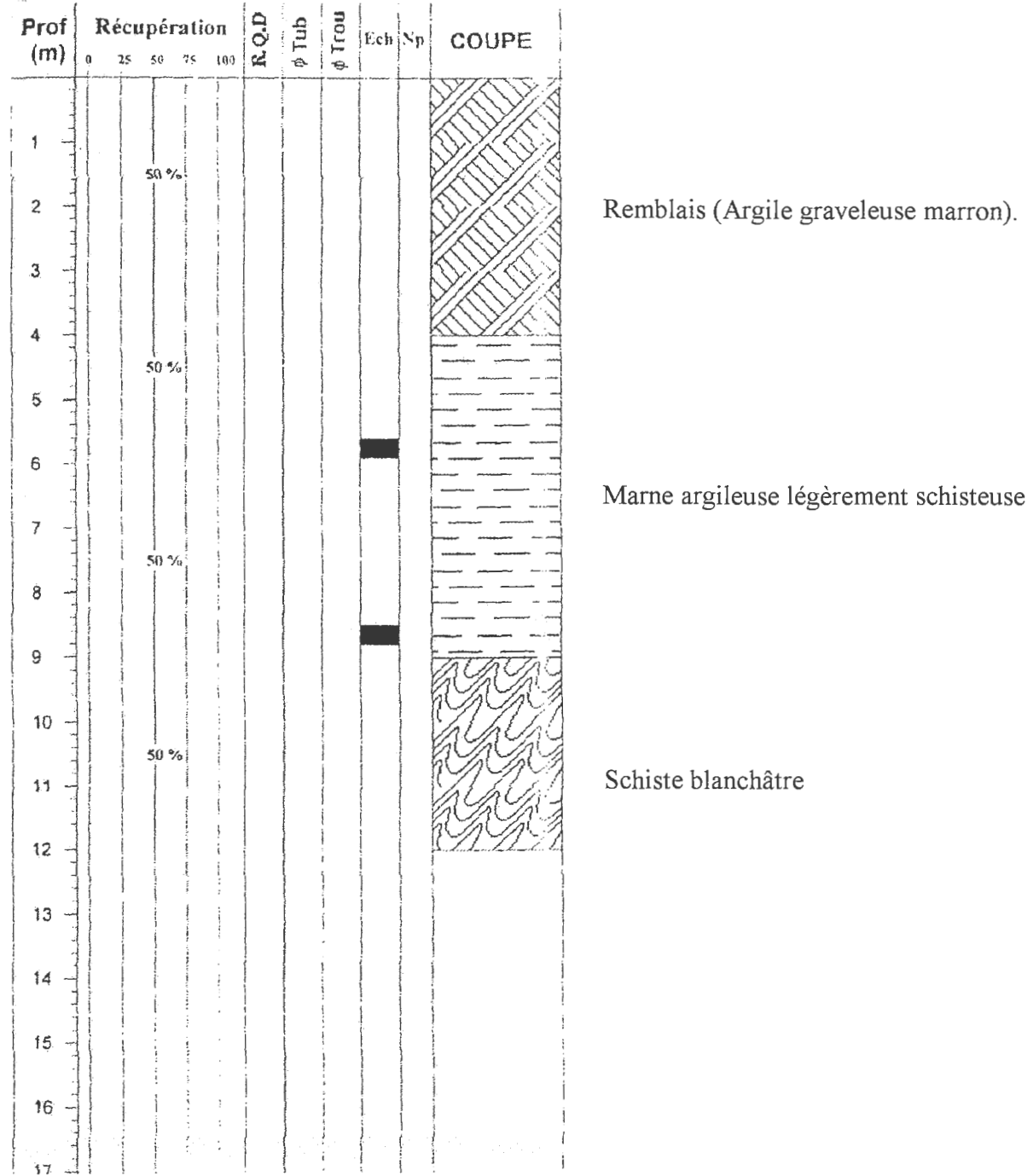
Glissement de terrain OULED AMIOUR  
Dossier N° : MILIA-JIJEL  
Date essai : 8/11/2003  
Profondeur totale : 12m  
Sondage N° : 2



ANNEXE A

LABORATOIRE NATIONAL DE L'HABITAT ET DE LA CONSTRUCTION  
UNITE DE ROUBA

Glissement de terrain OULED AMIOUR  
Dossier N° : MILIA-JIJEL  
Date essai : 8/11/2003  
Profondeur totale : 12m  
Sondage N° : 3



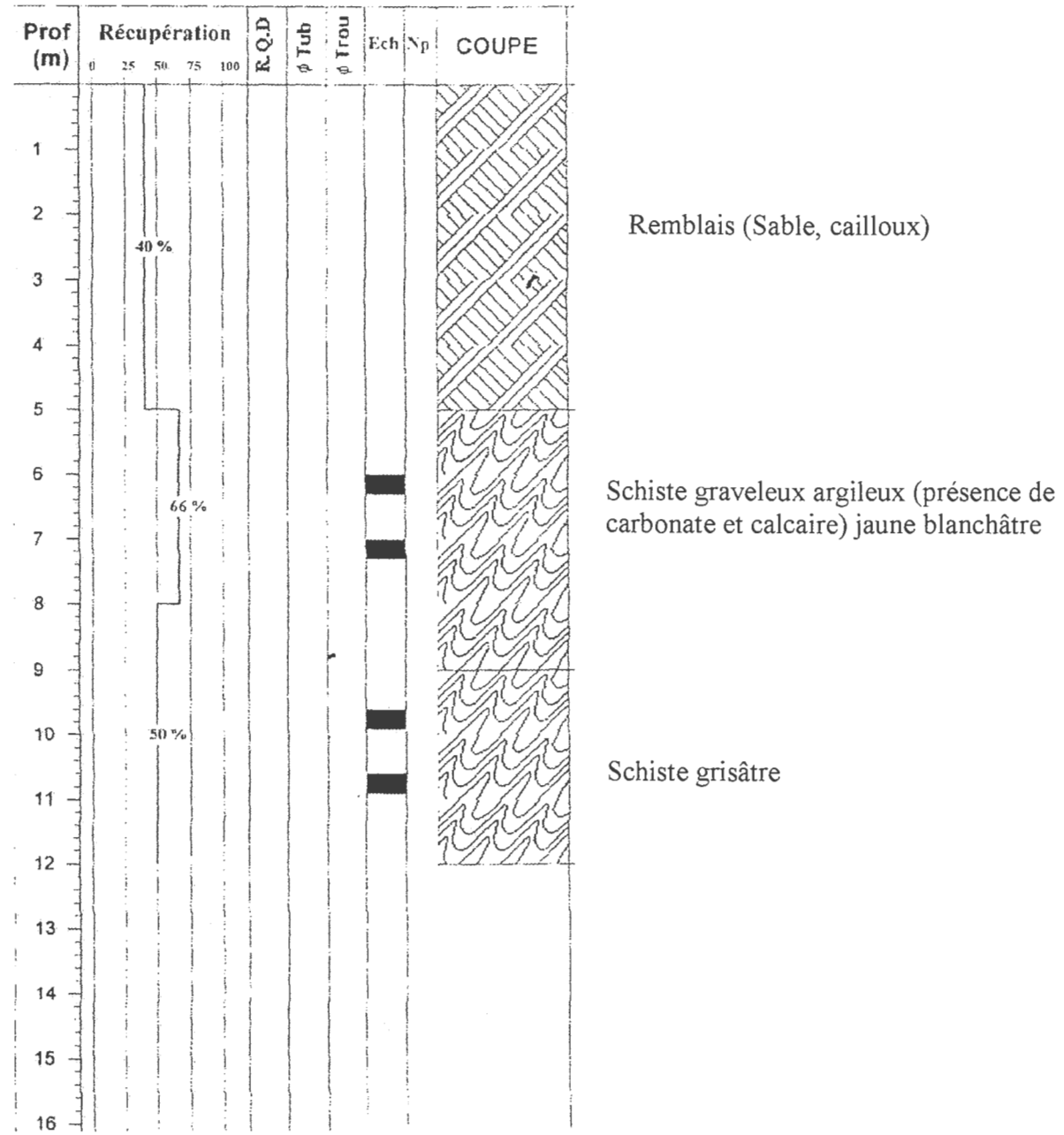




ANNEXE A

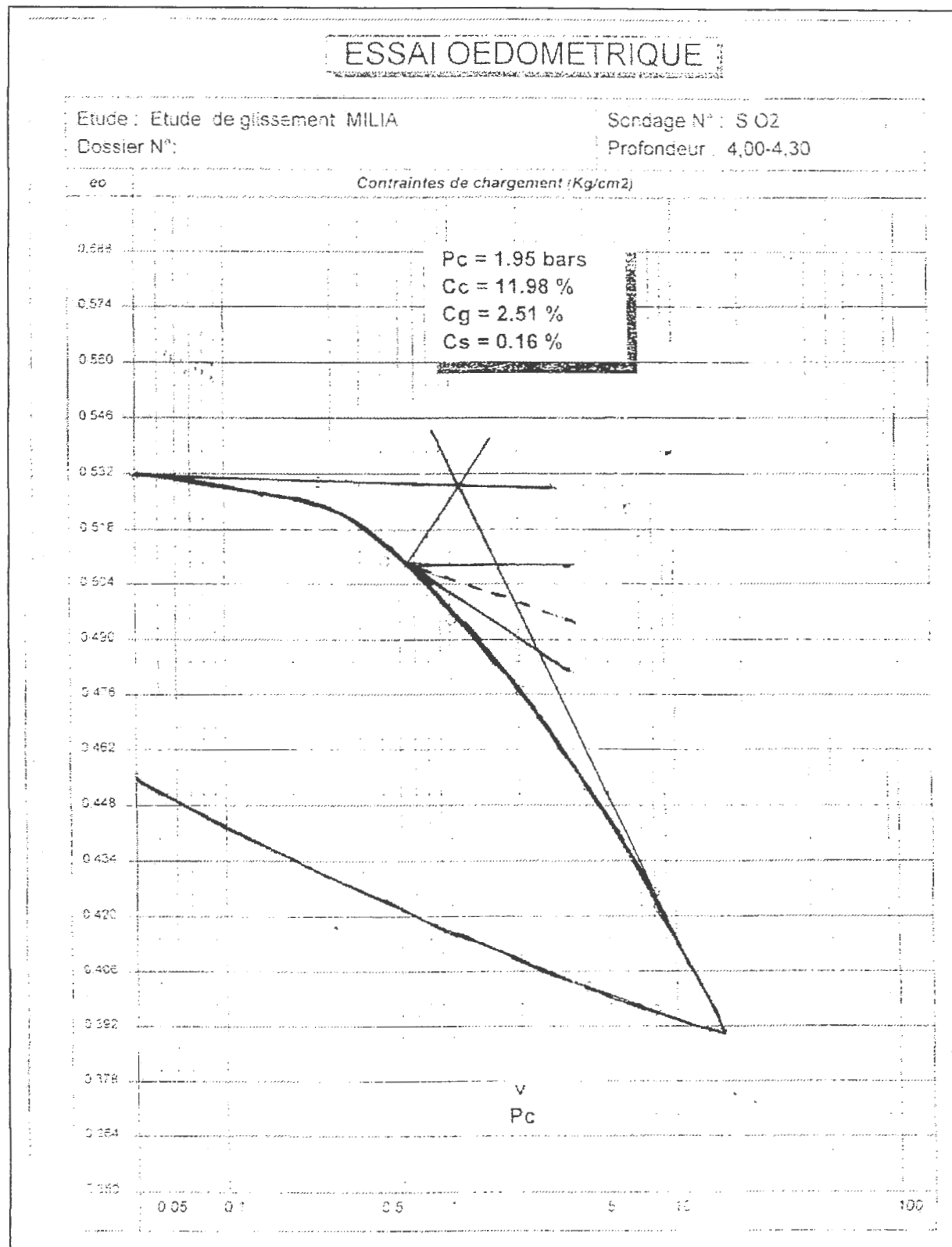
LABORATOIRE NATIONAL DE L'HABITAT ET DE LA CONSTRUCTION  
UNITE DE ROUBA

Glissement de terrain OULED AMIOUR  
Dossier N° : MILIA-JIJEL  
Date essai : 8/11/2003  
Profondeur totale : 12m  
Sondage N° : 6



LABORATOIRE NATIONAL DE L'HABITAT ET DE LA CONSTRUCTION

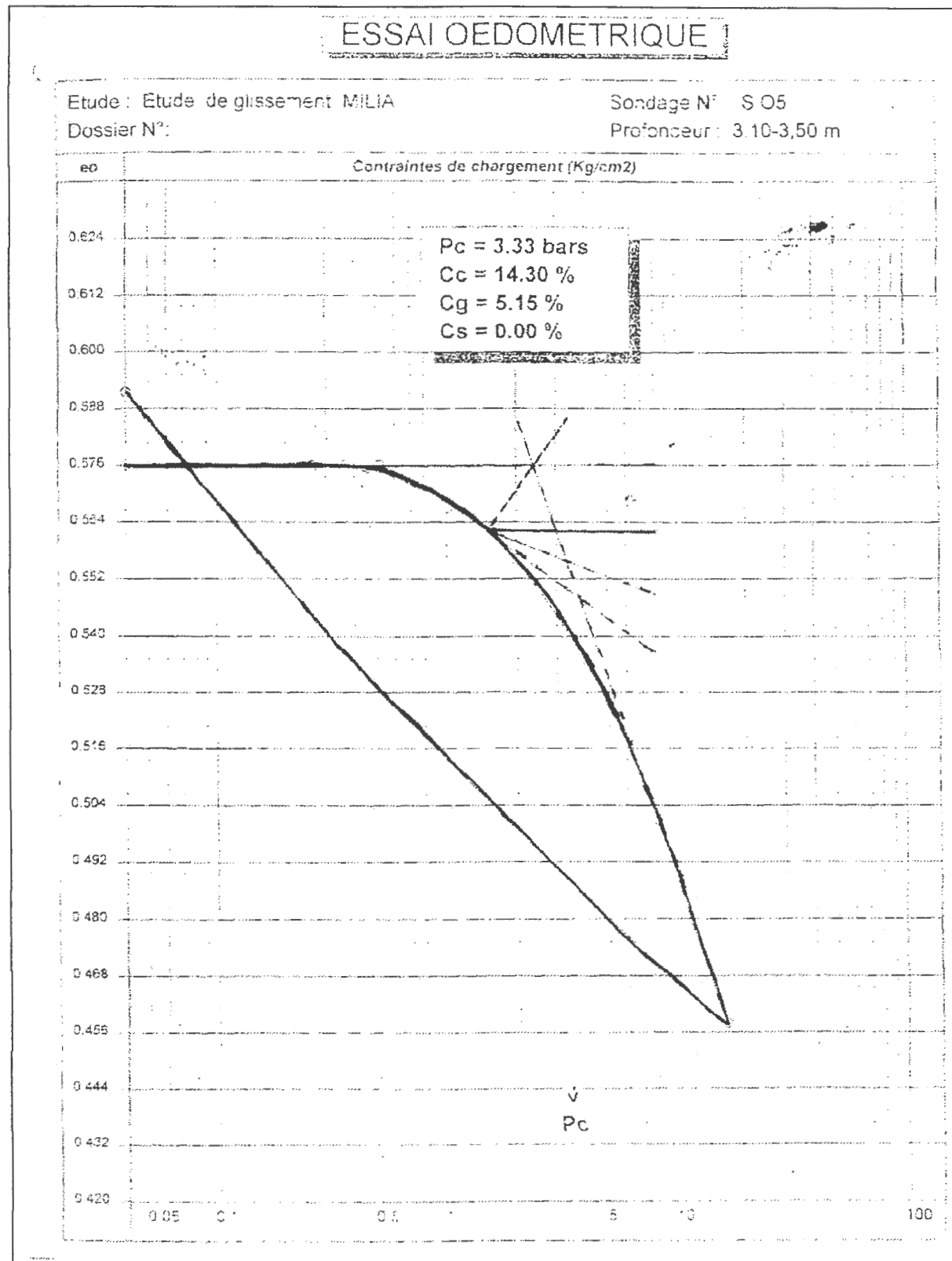
UNITE DE ROUBA





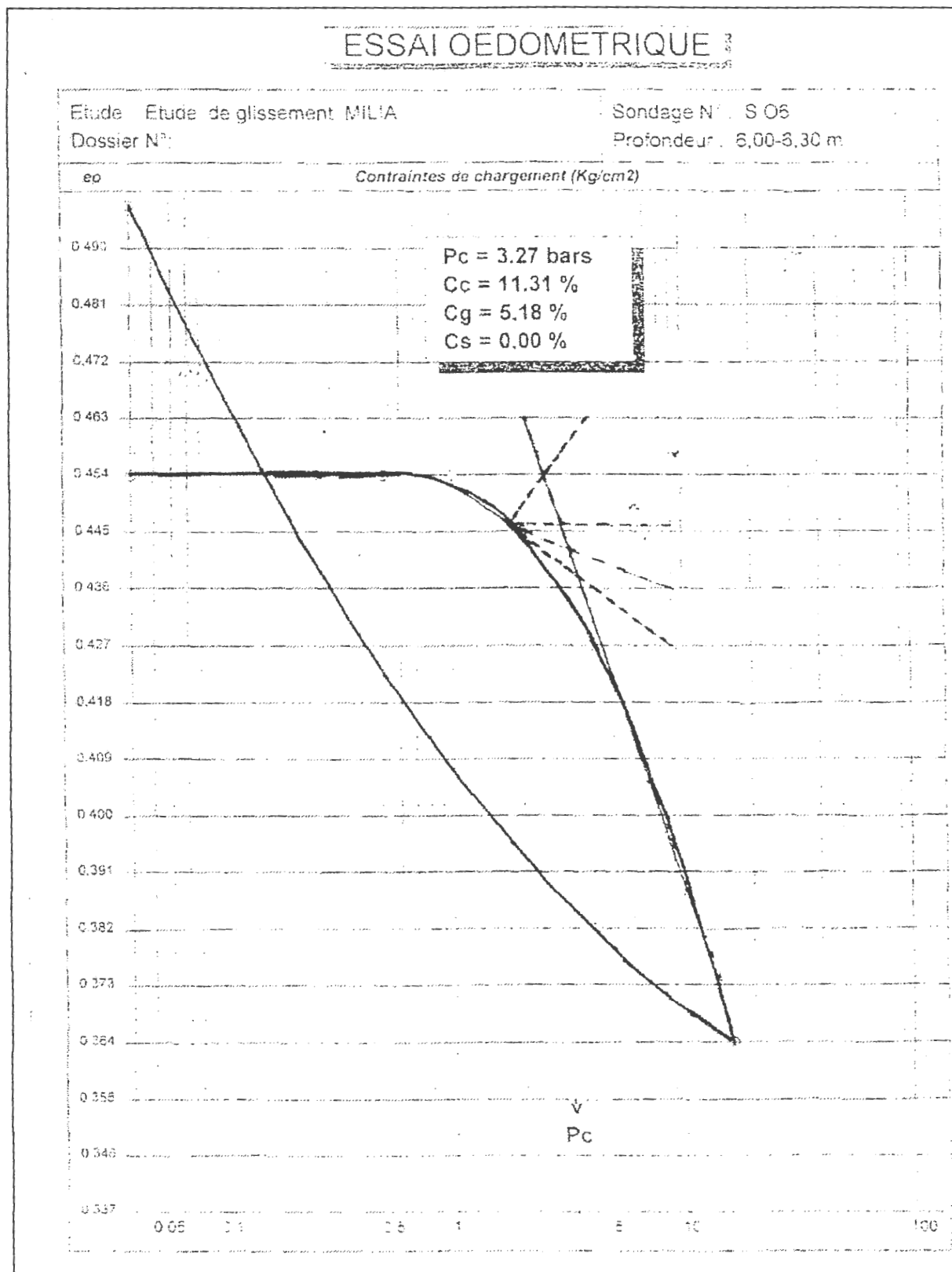
## LABORATOIRE NATIONAL DE L'HABITAT ET DE LA CONSTRUCTION

## UNITE DE ROUBA



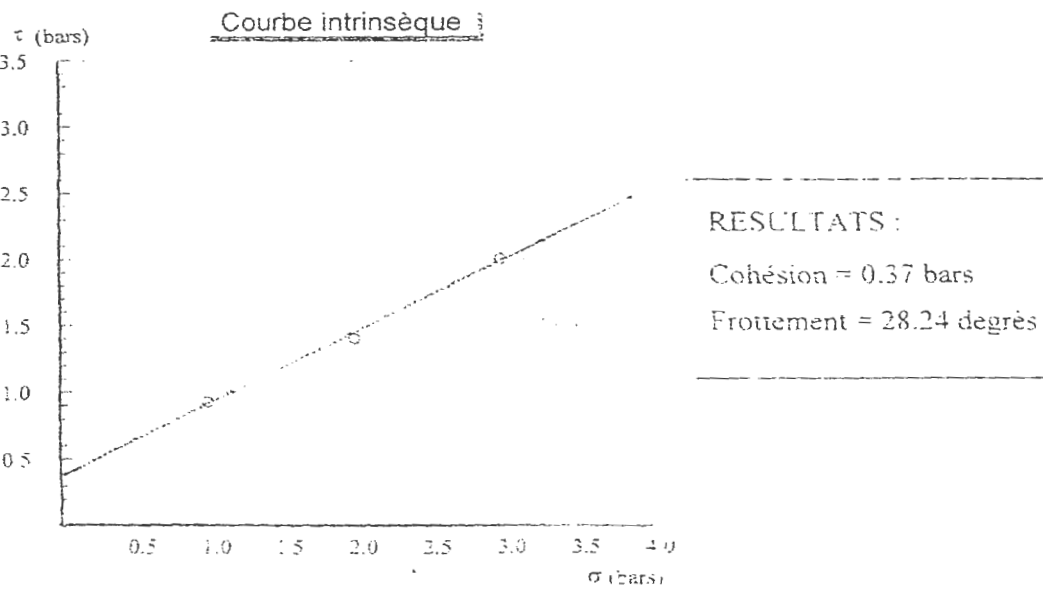
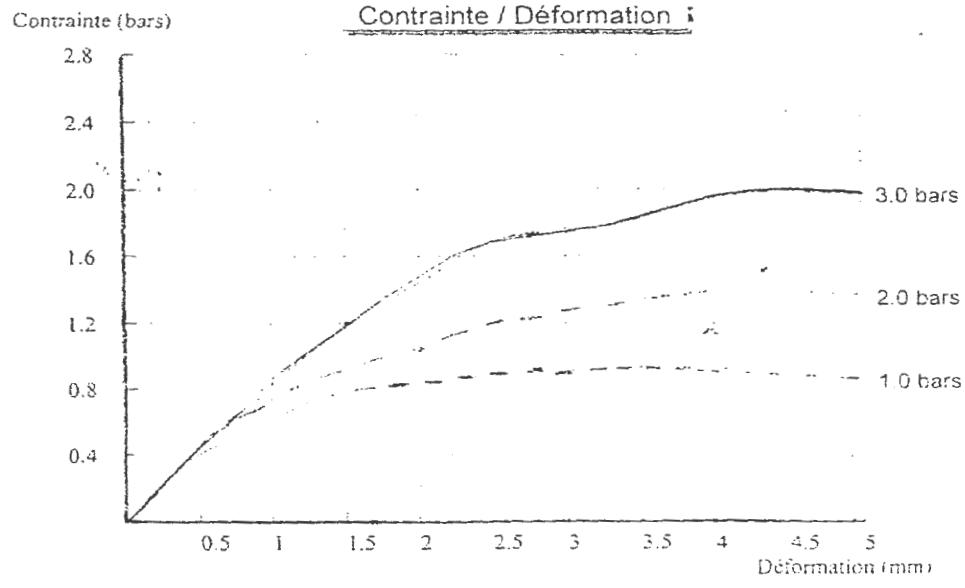
LABORATOIRE NATIONAL DE L'HABITAT ET DE LA CONSTRUCTION

UNITE DE ROUBA



CISAILLEMENT RECTILIGNE

Etude : ETUDE DE GLISSEMENT MILIA      Type d'essai : CU  
Dossier N° :      Coefficient de l'anneau <K> : 0.272  
N° Sond : S O2      Prof : 4.00-4.30 m      Vitesse de cisaillement : 0.5 mm/mn

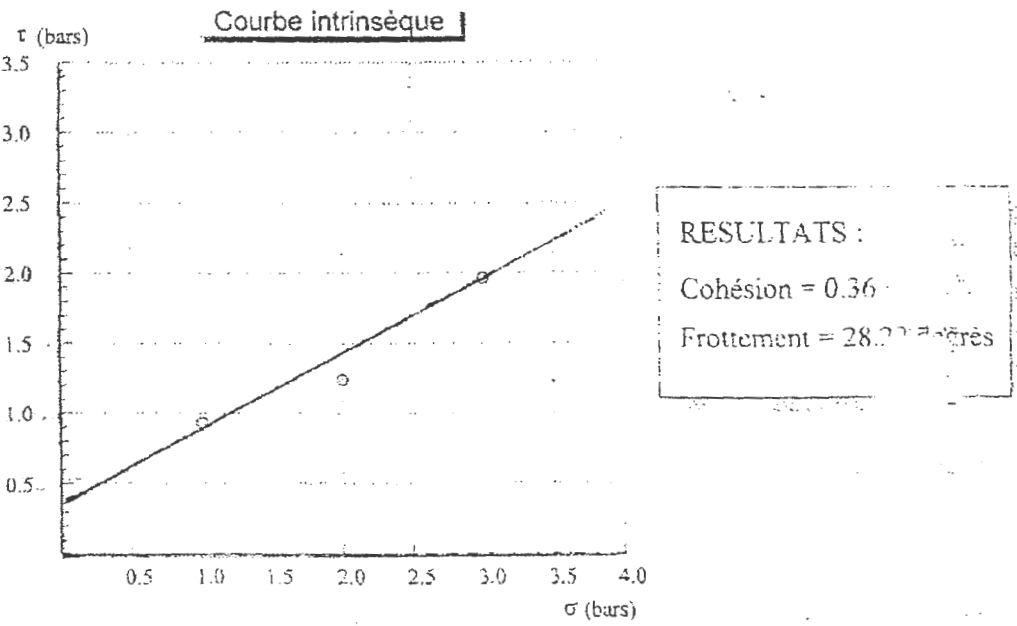
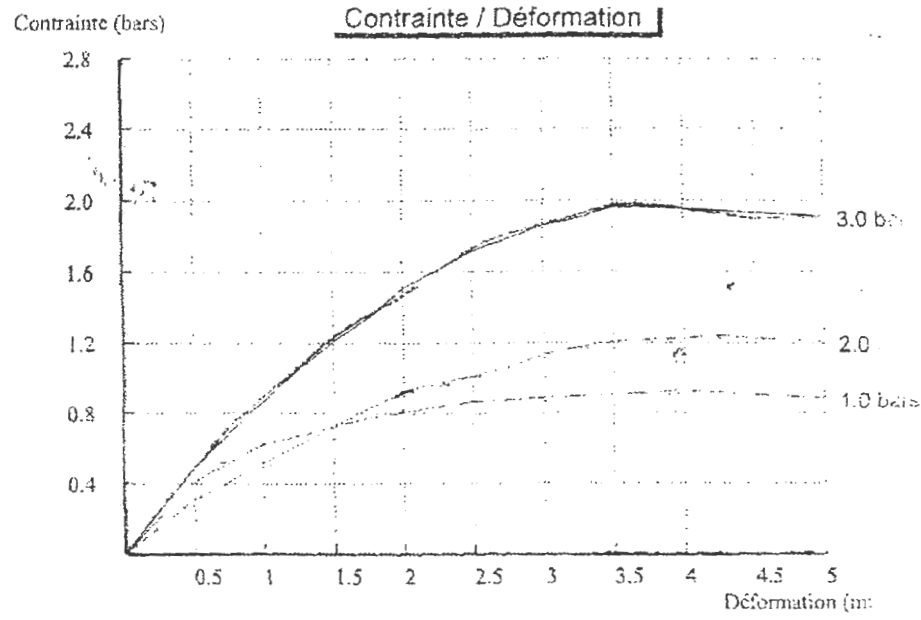


LABORATOIRE NATIONAL DE L'HABITAT ET DE LA CONSTRUCTION

Unité de ROUIBA

**CISAILLEMENT RECTILIGNE**

Etude : ETUDE DE GLISSEMENT MILIA      Type d'essai : CU  
Dossier N° :      Coefficient de l'anneau  $\alpha = 0.272$   
N° Sond : S 02    Prof : 6.00-6.30 m      Vitesse de cisaillement : 0.1 mm/mn



**CISAILLEMENT RECTILIGNE**

Etude : ETUDE DE GLISSEMENT MILIA

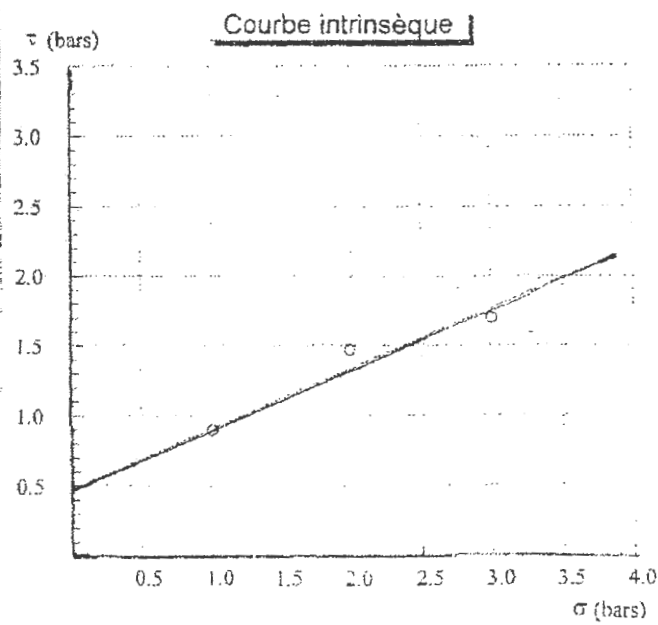
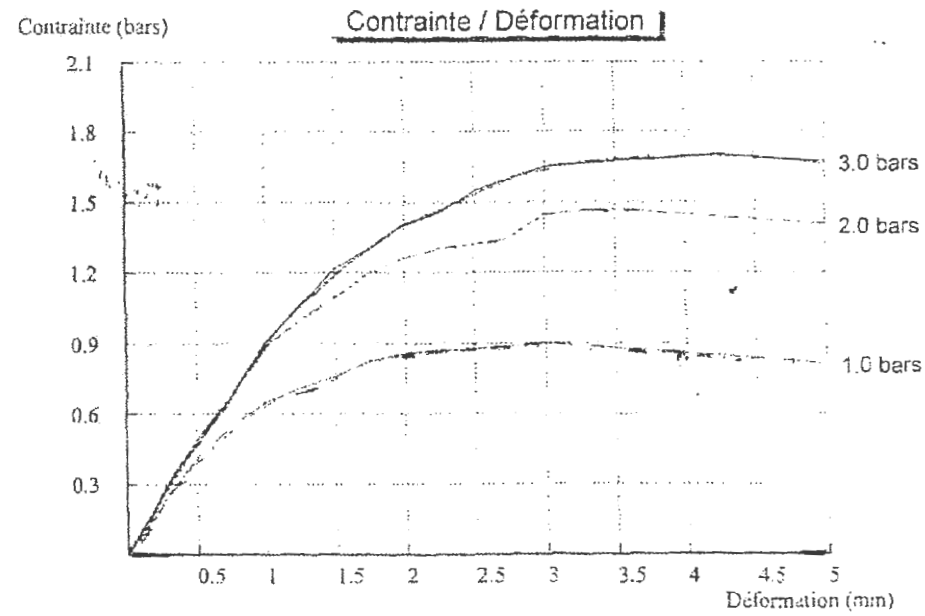
Type d'essai : CU

Dossier N° :

Coefficient de l'anneau &lt;math&gt;\langle K \rangle&lt;/math&gt; : 0.272

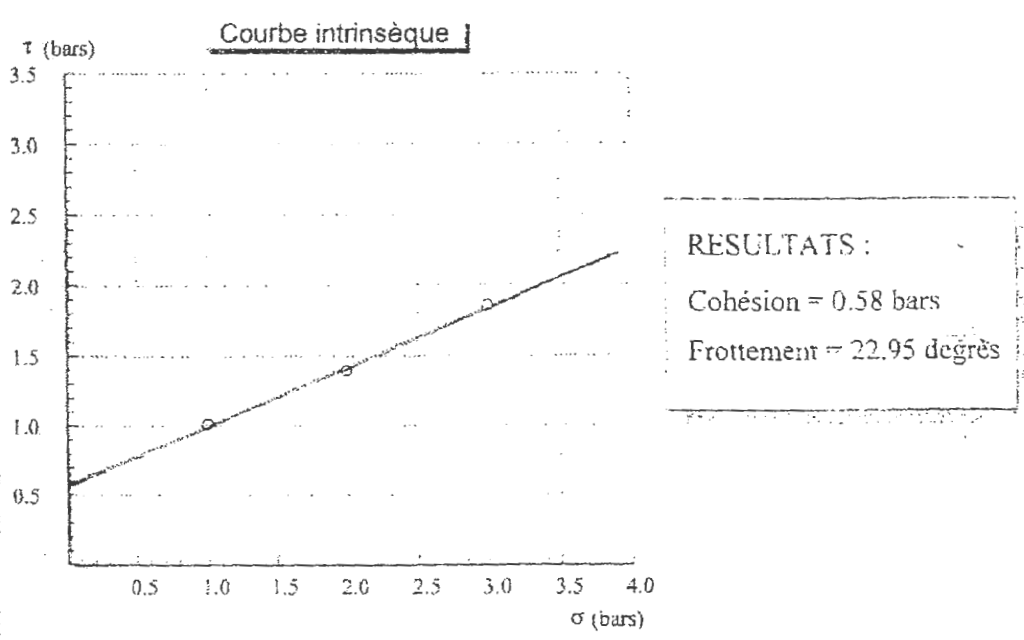
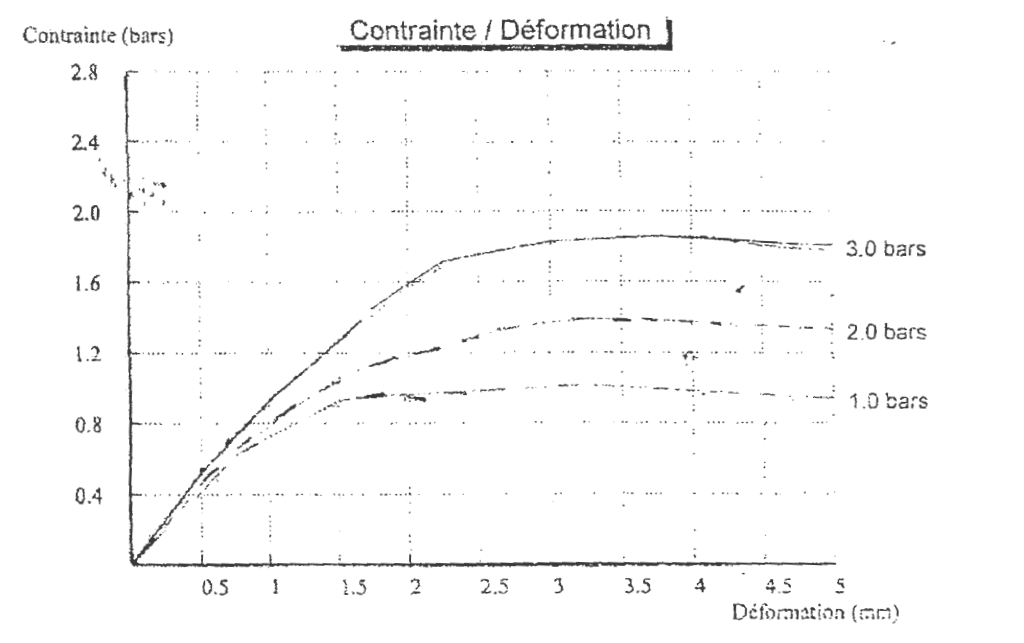
N° Sond : S 02 Prof : 8.70-8.90 m

Vitesse de cisaillement : 0,5 mm/mn



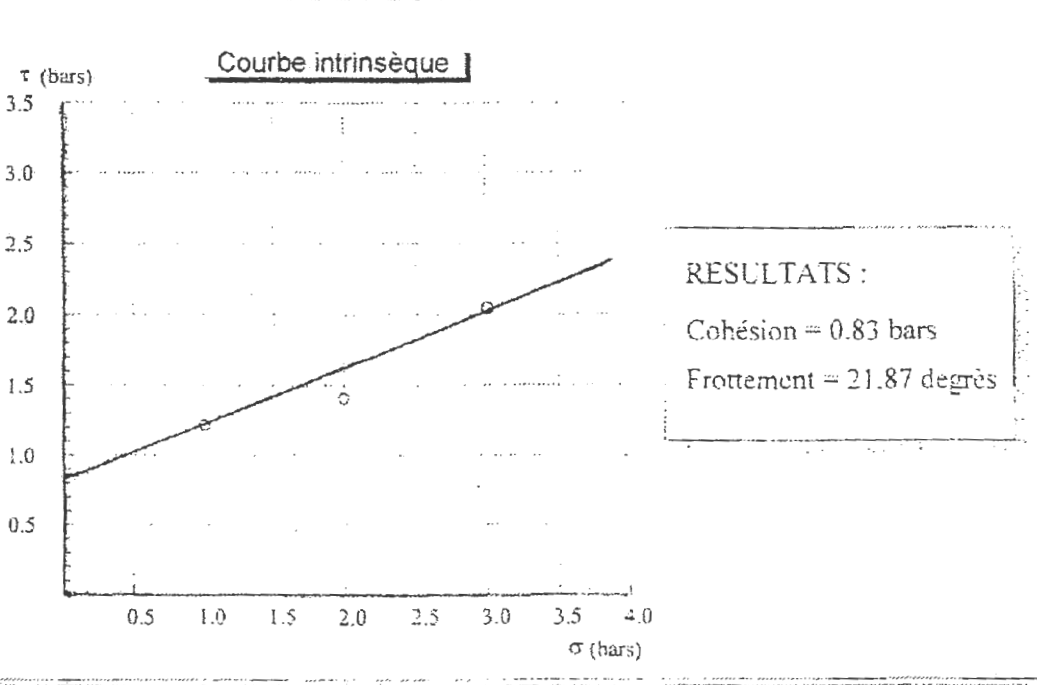
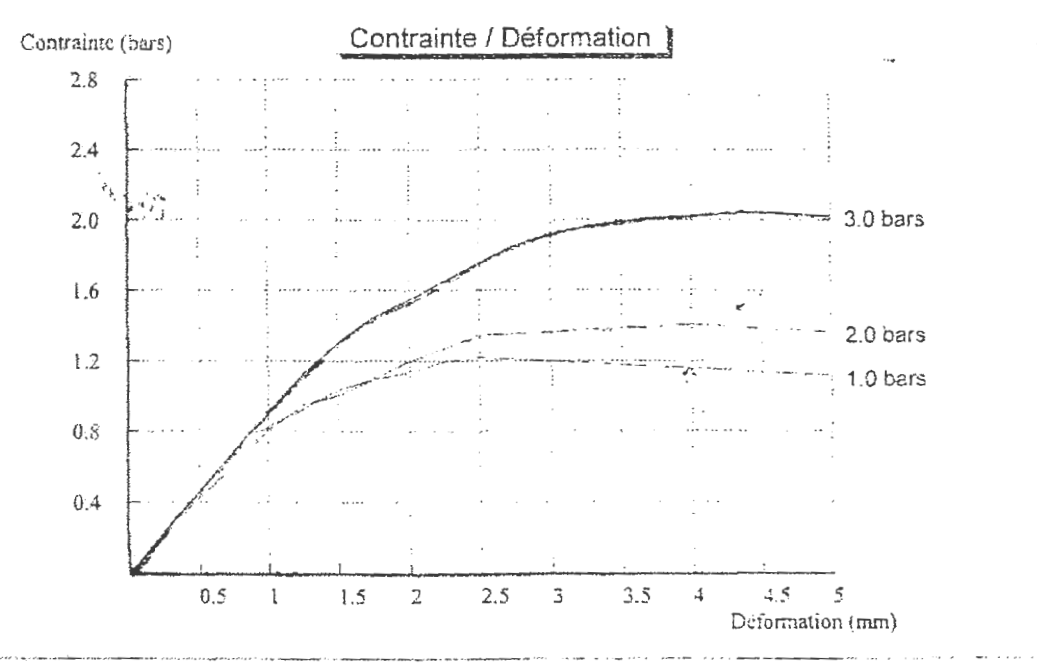
**CISAILLEMENT RECTILIGNE**

Etude : ETUDE DE GLISSEMENT MILIA      Type d'essai : CU  
 Dossier N° :      Coefficient de l'anneau <K> : 0,272  
 N° Sond : S O2      Prof : 9.00-9.80 m      Vitesse de cisaillement : 0,5 mm/mn



**CISAILLEMENT RECTILIGNE**

Etude : ETUDE DE GLISSEMENT MILIA	Type d'essai : CU
Dossier N° :	Coefficient de l'anneau <K> : 0,272
N° Sond : S O2 Prof : 11.40-11.70 m	Vitesse de cisaillement : 0,5 mm/mn





## LABORATOIRE NATIONAL DE L'HABITAT ET DE LA CONSTRUCTION

Unité de ROUIBA

**CISAILLEMENT RECTILIGNE**

Etude : ETUDE DE GLISSEMENT MILIA

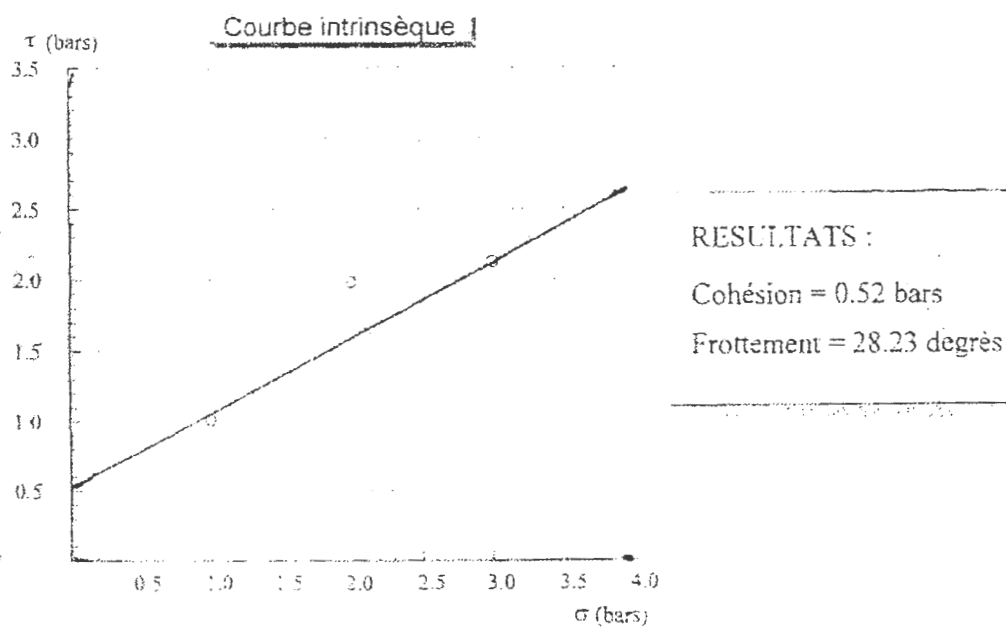
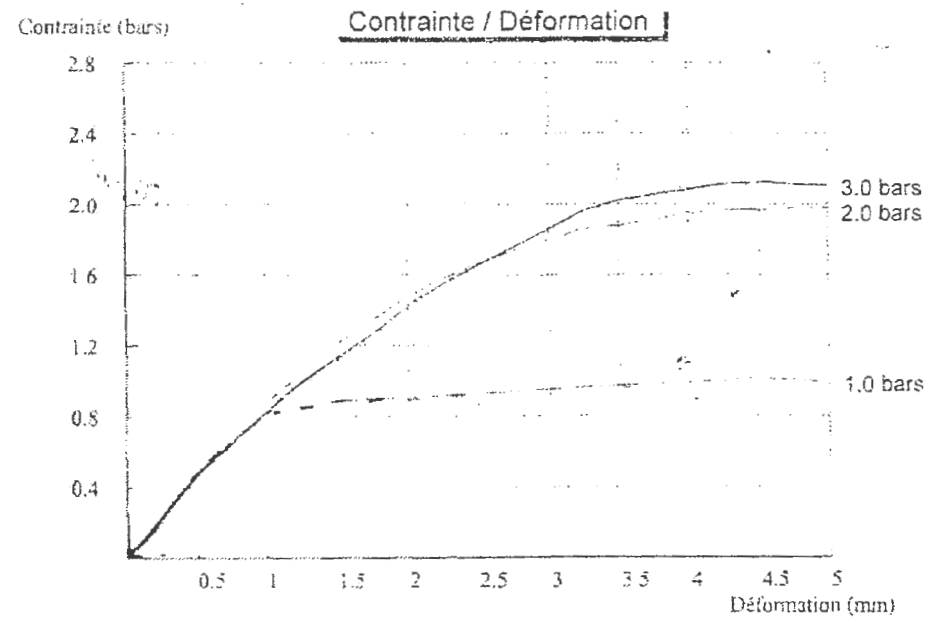
Type d'essai : CU

Dossier N° :

Coefficient de l'anneau &lt;K&gt; : 0,272

N° Sond : S 05 Prof : 3.10-3.50 m

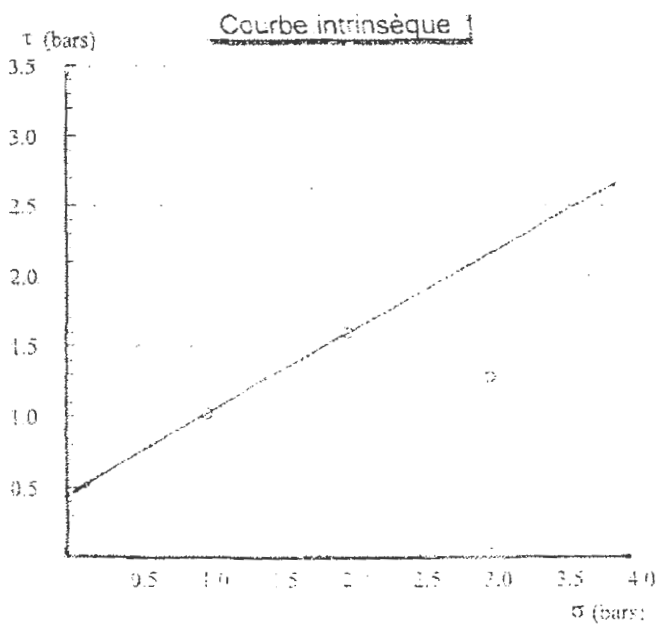
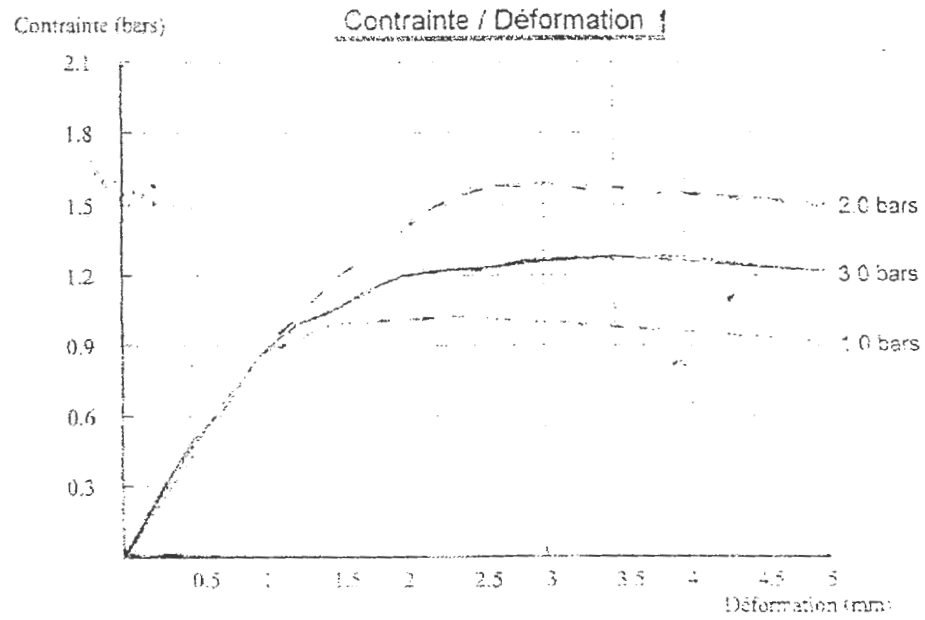
Vitesse de cisaillement : 0,5 mm/mn



LABORATOIRE NATIONAL D E L'HABITAT ET DE LA CONSTRUCTION  
Unité de ROUBA

CISAILLEMENT RECTILIGNE

Etude : ETUDE DE GLISSEMENT MILIA Type d'essai : CU  
 Dossier N° : Coefficient de l'anneau <K> : 0,272  
 N° Sond : S 05 Prof : 5.00-5.40 m Vitesse de cisaillement : 0.5 mm/mn



**CISAILLEMENT RECTILIGNE**

Etude : ETUDE DE GLISSEMENT MILIA

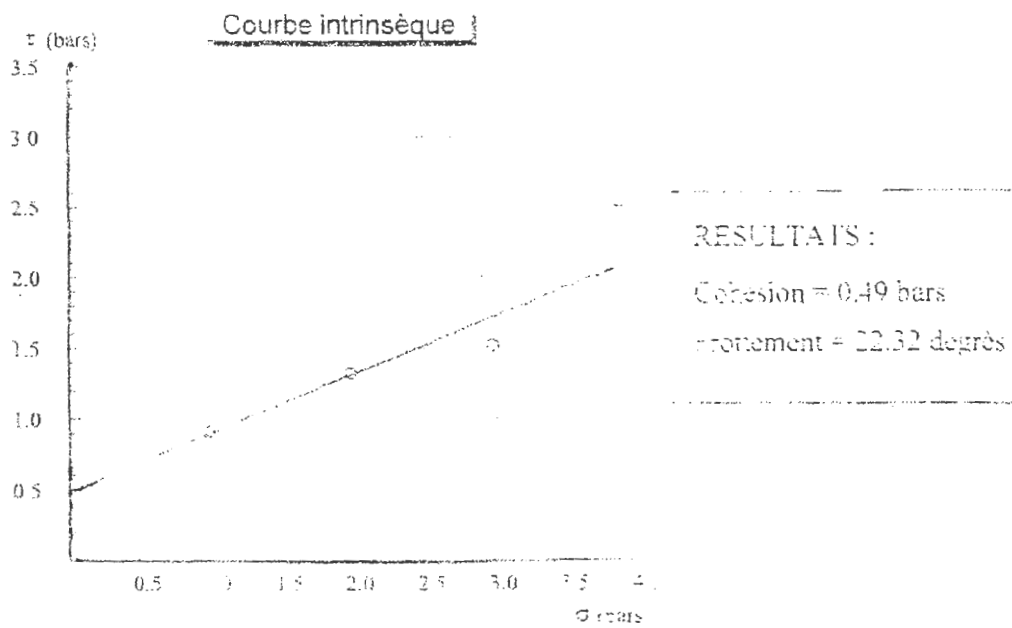
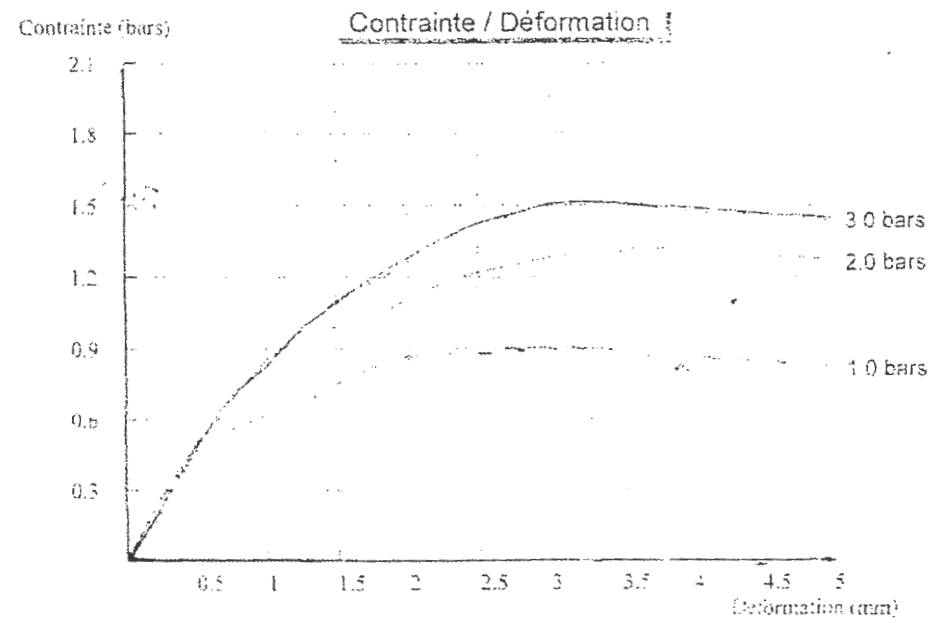
Type d'essai : CU

Dossier N° :

Coefficient de l'anneau &lt;math&gt;\langle K \rangle&lt;/math&gt; : 0,272

N° Sond : S 05 Prof : 6.00-6.30 m

Vitesse de cisaillement : 0,5 mm/mn



## LABORATOIRE NATIONAL DE L'HABITAT ET DE LA CONSTRUCTION

Unité de ROUIBA

CISAILLEMENT RECTILIGNE

Etude : ETUDE DE GLISSEMENT MILIA

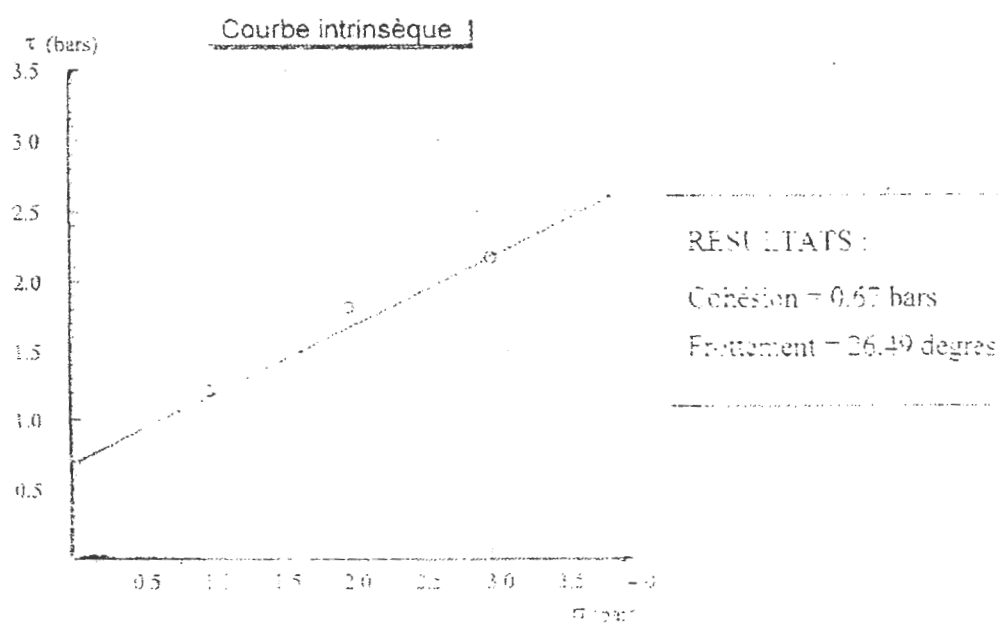
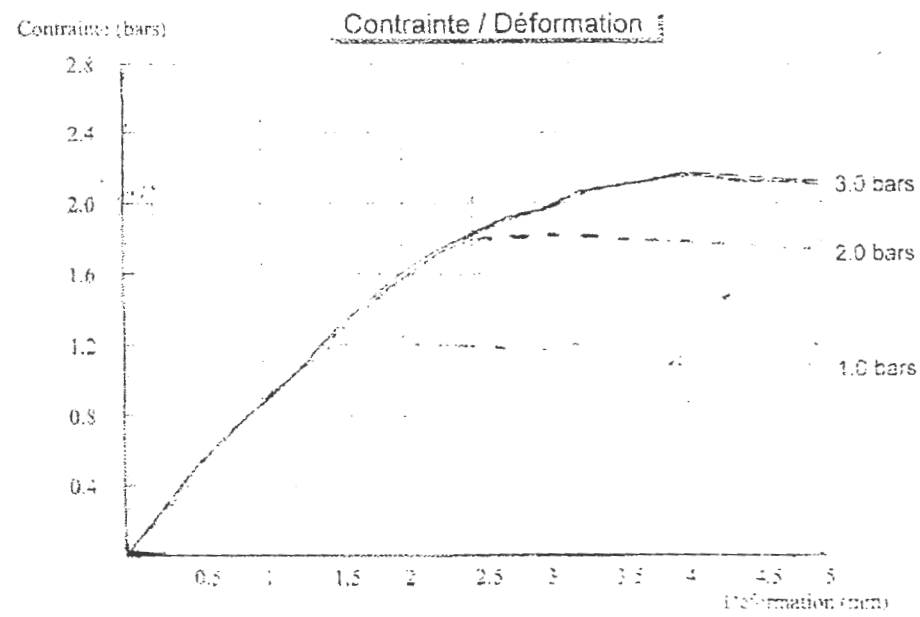
Type d'essai : CU

Dossier N° :

Coefficient de l'anneau &lt;math&gt;\langle K \rangle&lt;/math&gt; : 0.272

N° Sond : S 05 Prof : 8.20-8.50 m

Vitesse de cisaillement : 0,5 mm/min



## LABORATOIRE NATIONAL DE L'HABITAT ET DE LA CONSTRUCTION

Unité de ROUBA

CISAILLEMENT RECTILIGNE

Etude : ETUDE DE GLISSEMENT MILIA

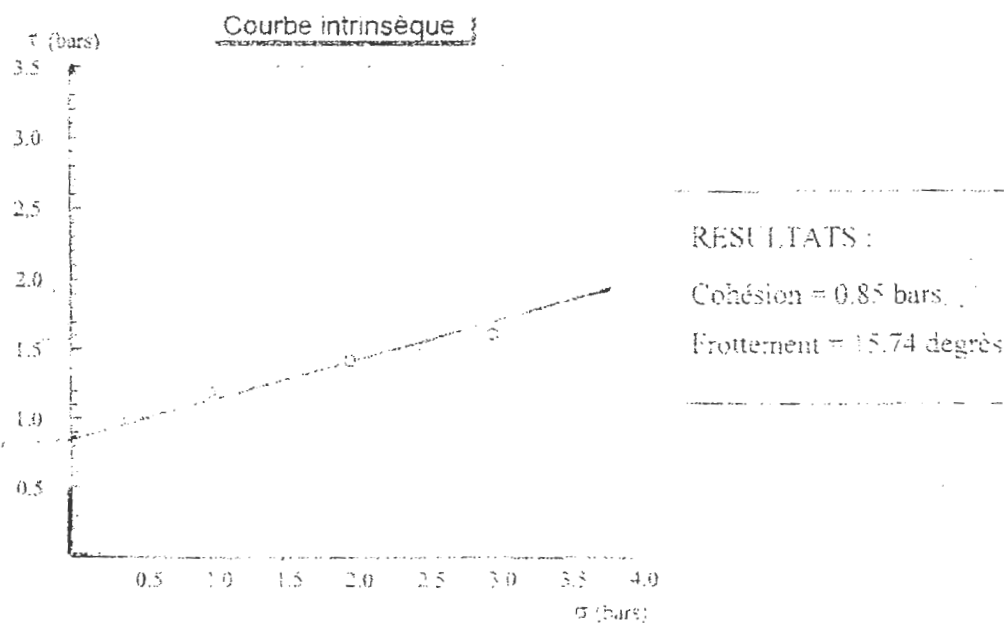
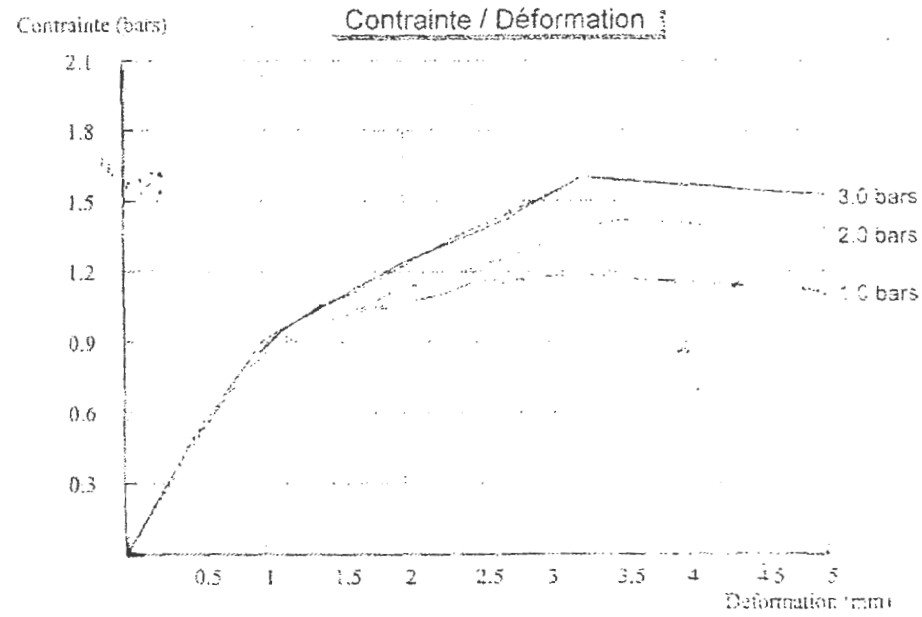
Type d'essai : CU

Dossier N° :

Coefficient de l'anneau &lt;K&gt; : 0.272

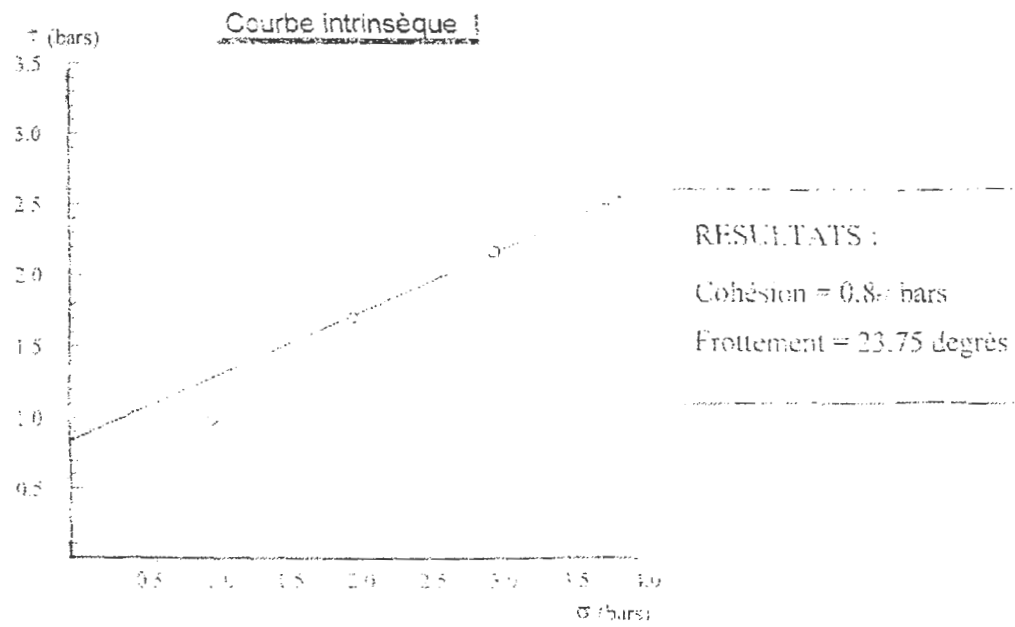
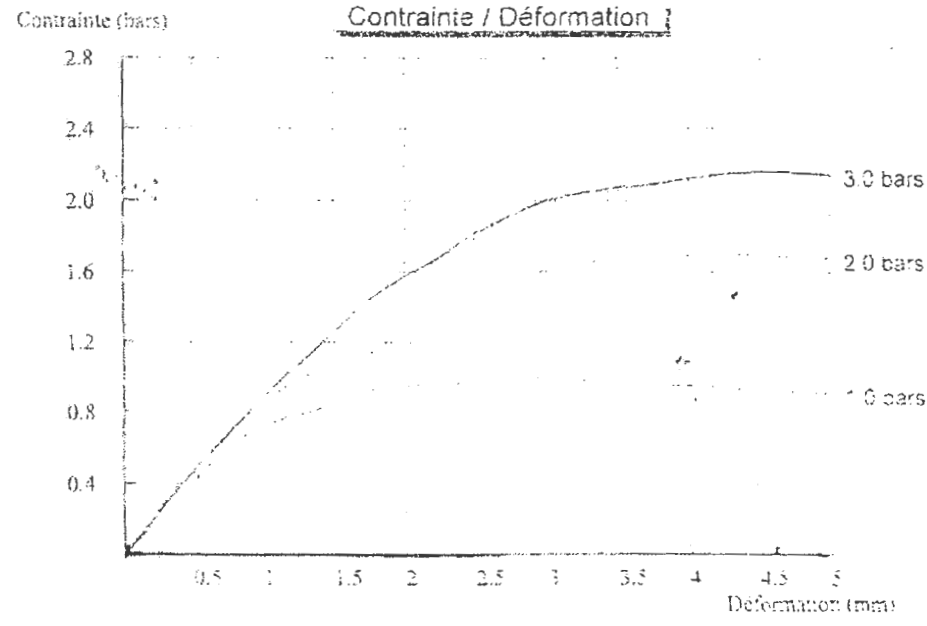
N° Sond : S 05 Prof : 9.30-9.50 m

Vitesse de cisaillement : 0,5 mm/min



### CISAILLEMENT RECTILIGNE

Etude : ETUDE DE GLISSEMENT MILIA      Type d'essai : CU  
Dossier N° :      Coefficient de l'anneau <K> 0,272  
N° Sond : S 06    Prof : 6.00-6.30 m      Vitesse de cisaillement : 0.5 mm/min



**CISAILLEMENT RECTILIGNE**

Etude : ETUDE DE GLISSEMENT MILIA

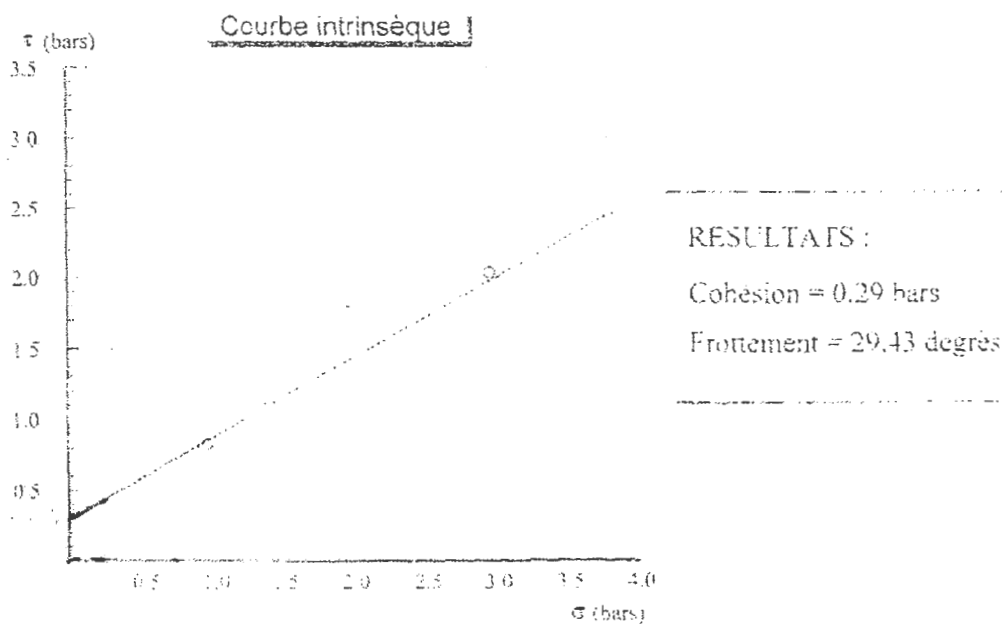
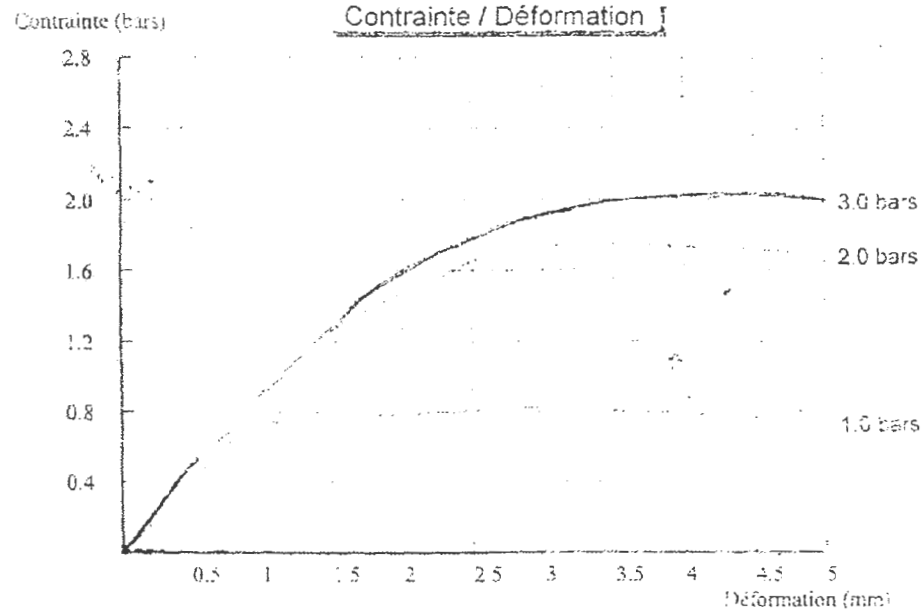
Type d'essai : CU

Dossier N° :

Coefficient de l'anneau &lt;math&gt;\langle K \rangle&lt;/math&gt; : 0,272

N° Sond : S 06 Prof : 7.00-7.30 m

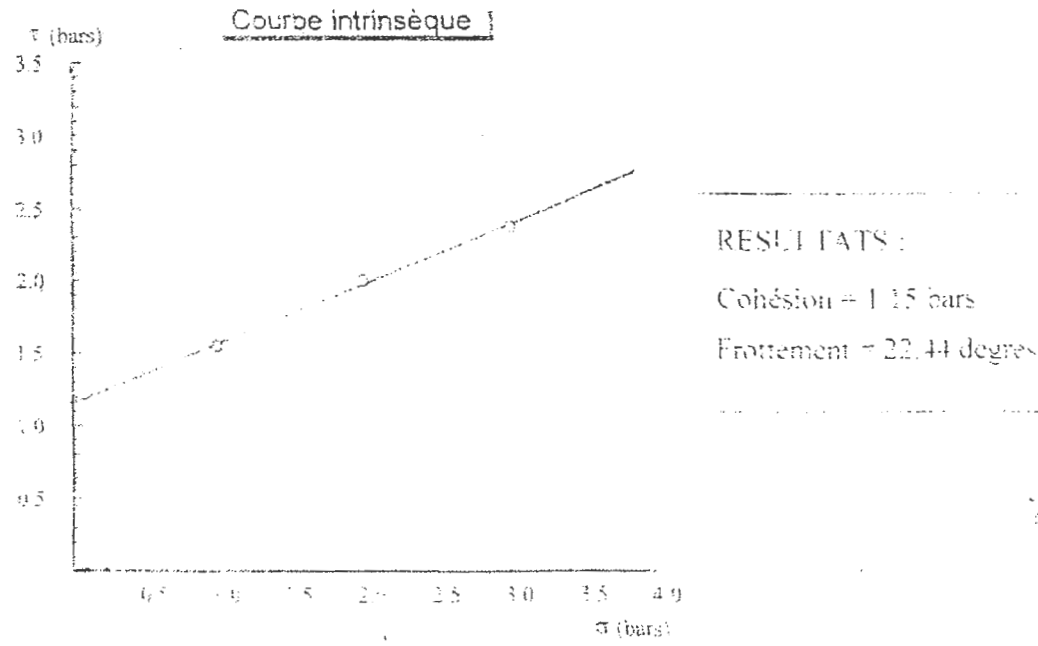
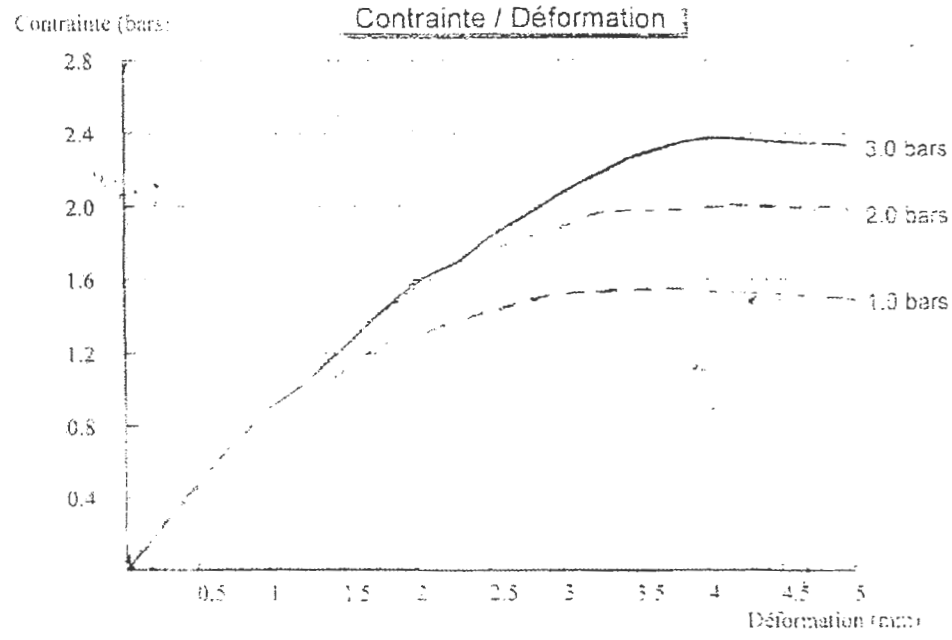
Vitesse de cisaillement : 0,5 mm/min





## CISAILLEMENT RECTILIGNE

Etude : ETUDE DE GLISSEMENT MILIA      Type d'essai : CU  
 Dossier N° :      Coefficient de l'anneau <K> : 0.272  
 N° Sond : S O6    Prof : 9.60-9.90 m      Vitesse de cisaillement : 0.5 mm/mn



## CISAILLEMENT RECTILIGNE

Etude : ETUDE DE GLISSEMENT MILIA

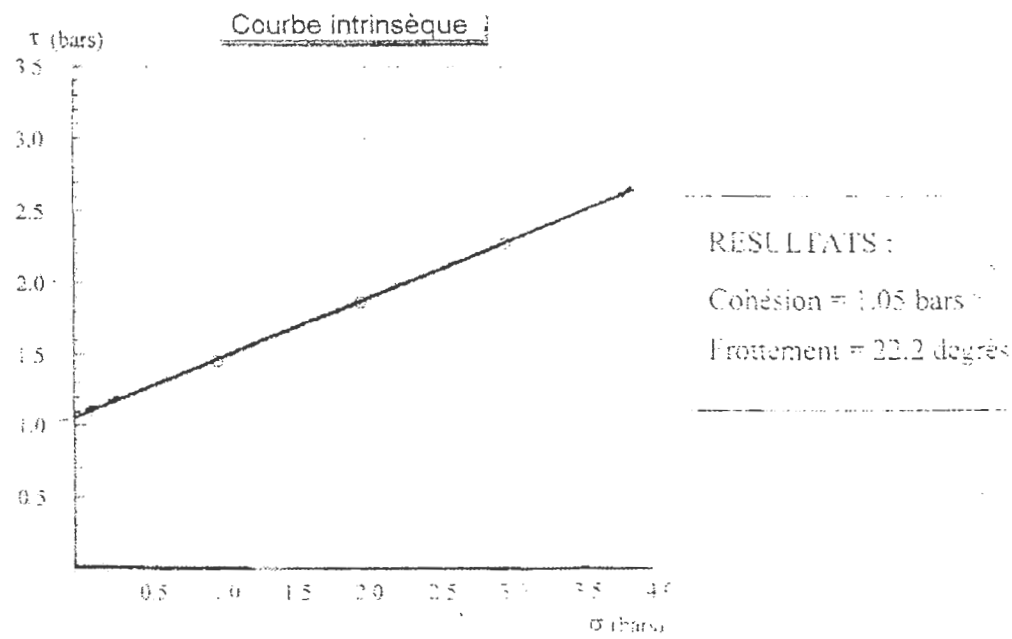
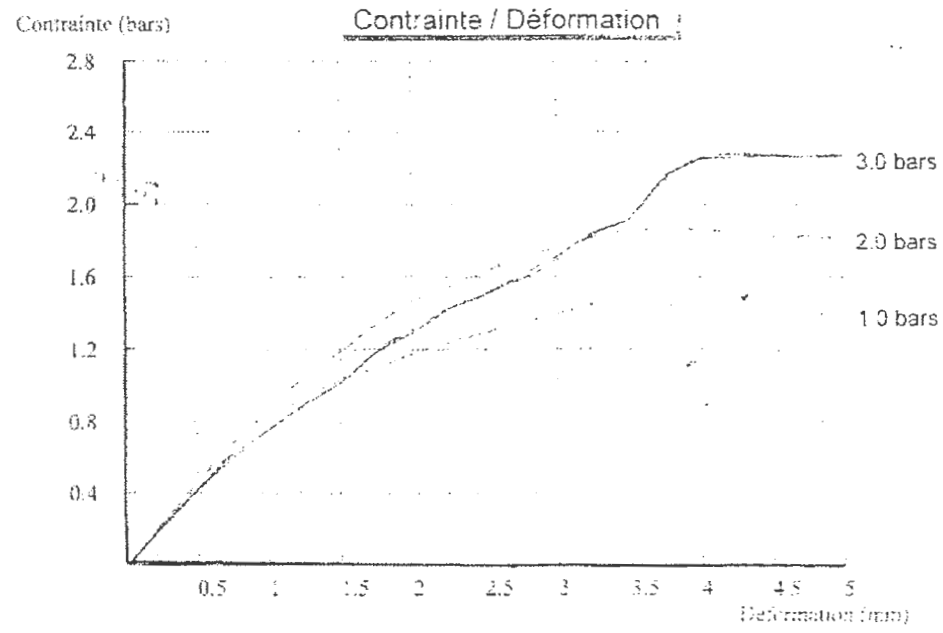
Type d'essai : CU

Dossier N° :

Coefficient de l'anneau &lt;math&gt;\langle K \rangle&lt;/math&gt; : 0.272

N° Sond : S 06 Prof : 10.60-10.90 m

Vitesse de cisaillement : 0.5 mm/mn



## ANNEXE A

Laboratoire national de l'habitat et de construction UNITÉ de ROUIBA :

Tableau 01 : Synthés d'essais de laboratoire :

Sondage		SO 2	SO 2	SO 2	SO 2	SO 2
Profondeur en (m)		4.00- 4.30	6.00- 6.30	8.70- 8.90	9.00- 9.80	11.40- 11.70
Densité sèche	$\gamma_d$ (t/m <sup>3</sup> )	1.70	1.67	1.64	1.66	1.68
Teneur en eau naturelle	W%	22	22	24	24	22
Degré de saturation	Sr (%)	100	95	99	100	99
Densité humide	$\gamma_h$ (t/m <sup>3</sup> )	2.08	2.04	2.04	2.07	2.06
Granulométrie	2mm	82	89	90	81	87
	0.1mm	58	66	43	59	68
Sédimentométrie	20 $\mu$	58	53	33	46	55
	2 $\mu$	32	31	21	24	29
Limites d'Atterberg	Wl%	36	43	32	37	42
	Ip%	19	23	15	20	23
Indice de consistance	IC	0.74	0.91	0.53	0.65	0.87
Résultats Oedométriques	Pc (bar)	0.195				
	Cc	0.120				
	Cg	0.025				
Cisaillement rectiligne	C (bar)	0.37	0.36	0.48	0.58	0.83
	$\varphi$ (°)	28	28	23	23	22

**ANNEXE A**

*Laboratoire national de l'habitat et de construction UNITÉ de ROUIBA :*

**Tableau 02 : Synthèses d'essais de laboratoire :**

Sondage		SO 5	SO 5	SO 5	SO 5	SO 5
Profondeur en (m)		3.10- 3.50	5.00- 5.40	6.00- 6.30	8.20- 8.50	9.30- 9.50
Densité sèche	$\gamma_d$ (t/m <sup>3</sup> )	1.67	1.68	1.57	1.67	1.60
Teneur en eau naturelle	W%	23	22	29	23	25
Degré de saturation	Sr (%)	100	98	100	100	96
Densité humide	$\gamma_h$ (t/m <sup>3</sup> )	2.05	2.05	2.02	2.07	1.99
Granulométrie	2mm	89	100	100	100	81
	0.1mm	72	97	96	96	63
Sédimentométrie	20 $\mu$	51	81	80	84	54
	2 $\mu$	23	48	46	52	31
Limites d'Atterberg	Wl%	45	47	47	47	43
	Ip%	24	26	26	25	23
Indice de consistance	IC	0.92	0.96	0.96	0.96	0.78
Résultats Oedométriques	Pc (bar)	3.33				
	Cc	0.143				
	Cg	0.051				
Cisaillement rectiligne	C (bar)	0.52	0.46	0.49	0.67	0.85
	$\phi$ (°)	28	29	22	26	16



## ANNEXE A

Laboratoire national de l'habitat et de construction UNITÉ de ROUIBA :

Tableau 03 : Synthèses d'essais de laboratoire :

Sondage		S O 6	S O 6	S O 6	S O 6
Profondeur en (m)		6.00 – 6.30	7.00 – 7.30	9.60 – 9.90	10.60 - 10.90
Densité sèche	$\gamma_d$ (t/m <sup>3</sup> )	1.81	1.75	1.70	1.64
Teneur en eau naturelle	W%	16	19	23	26
Degré de saturation	Sr (%)	89	96	100	100
Densité humide	$\gamma_h$ (t/m <sup>3</sup> )	2.10	2.08	2.09	2.07
Granulométrie	2mm	86	100	100	100
	0.1mm	71	95	99	94
Sédimentométrie	20 $\mu$	57	83	85	77
	2 $\mu$	29	56	57	40
Limites d'Atterberg	Wl%	43	48	50	45
	Ip%	23	26	27	24
Indice de consistance	IC	1.17	1.11	1.00	0.79
Résultats Oedométriques	Pc (bar)	3.27			
	Cc	0.113			
	Cg	0.052			
Cisaillement rectiligne	C (bar)	0.84	0.29	1.15	1.05
	$\varphi$ (°)	24	29		

# *Annexe : B*

ANNEXE B

Cercle : 01

Les Coordonnées du centre de cercle : <O>

a- Etat naturel du sol (humide) :

X= 73.5m  
Y= 21m  
R=7.8m  
B= 2.4m

$\Phi''=13.33^\circ$ ,  $C=1.33T/m^2$ ,  $\gamma_h=1.8T/m^3$ ,  $\gamma_{sat}=2.13T/m^3$ , W = poids des terres.

N° Tranche	W (t)	$\alpha$ (°)	$\sin \alpha$	W Sin $\alpha$	$\cos \alpha$	W cos $\alpha$	b/ cos $\alpha$	C $\times$ b/cos $\alpha$
01	5.184	45	0.707	2.036	0.707	2.036	3.394	4.514
02	13.608	21	0.358	4.871	0.933	12.696	2.572	3.420
03	16.848	10	0.173	2.914	0.984	16.578	2.439	3.243
04	9.477	-7	-0.121	-1.147	0.992	9.371	2.419	3.217
La somme				8.674		40.681	10.824	14.395

Calcul de  $F_s$  :

$F_s=2.77$

$$F_s = \frac{c'' \times b / \cos \alpha + \left[ \sum w \cos \alpha \right] \times \operatorname{tg} \phi''}{\sum w \sin \alpha} = \frac{1.33 \times 10.681 + [40.681] \operatorname{tg} 13.33}{8.674} = 2.77$$



ANNEXE B

Cercle : 01

Les Coordonnées du centre de cercle : <O>

b- En état saturé du sol :

X= 73.5m  
Y= 21m  
R=7.8m  
B= 2.4m

$\phi''=13.33^\circ$ ,  $C=1.33T/m^2$ ,  $\gamma_h=1.8T/m^3$ ,  $\gamma_{sat}=2.13T/m^3$ ,  $W =$  poids des terres.

N° Tranche	W (t)	$\alpha$ (°)	$\sin \alpha$	W Sin $\alpha$	$\cos \alpha$	W cos $\alpha$	b/ cos $\alpha$	U= $\gamma_w \cdot h_w$
01	6.134	45	0.707	4.336	0.707	4.336	3.394	1.2
02	16.102	21	0.358	5.764	0.933	15.023	2.572	3.3
03	19.936	10	0.173	3.448	0.984	19.617	2.439	4.2
04	11.214	-7	-0.121	-1.356	0.992	11.124	2.419	2.1
La somme				12.192		50.10	10.824	

-Calcul de  $F_s$  :

**F= 1.61**

$$F_s = \frac{c'' \times b / \cos \alpha + \left[ \sum w \cos \alpha - \sum (u \times b / \cos \alpha) \right] \times \operatorname{tg} \phi''}{\sum w \sin \alpha} = \frac{1.33 \times 10.824 + (50.10 - 27.881) \times \operatorname{tg} 13.33}{12.192} = 1.61$$

Annexe B

La méthode de Fellenius

Cercle N°1

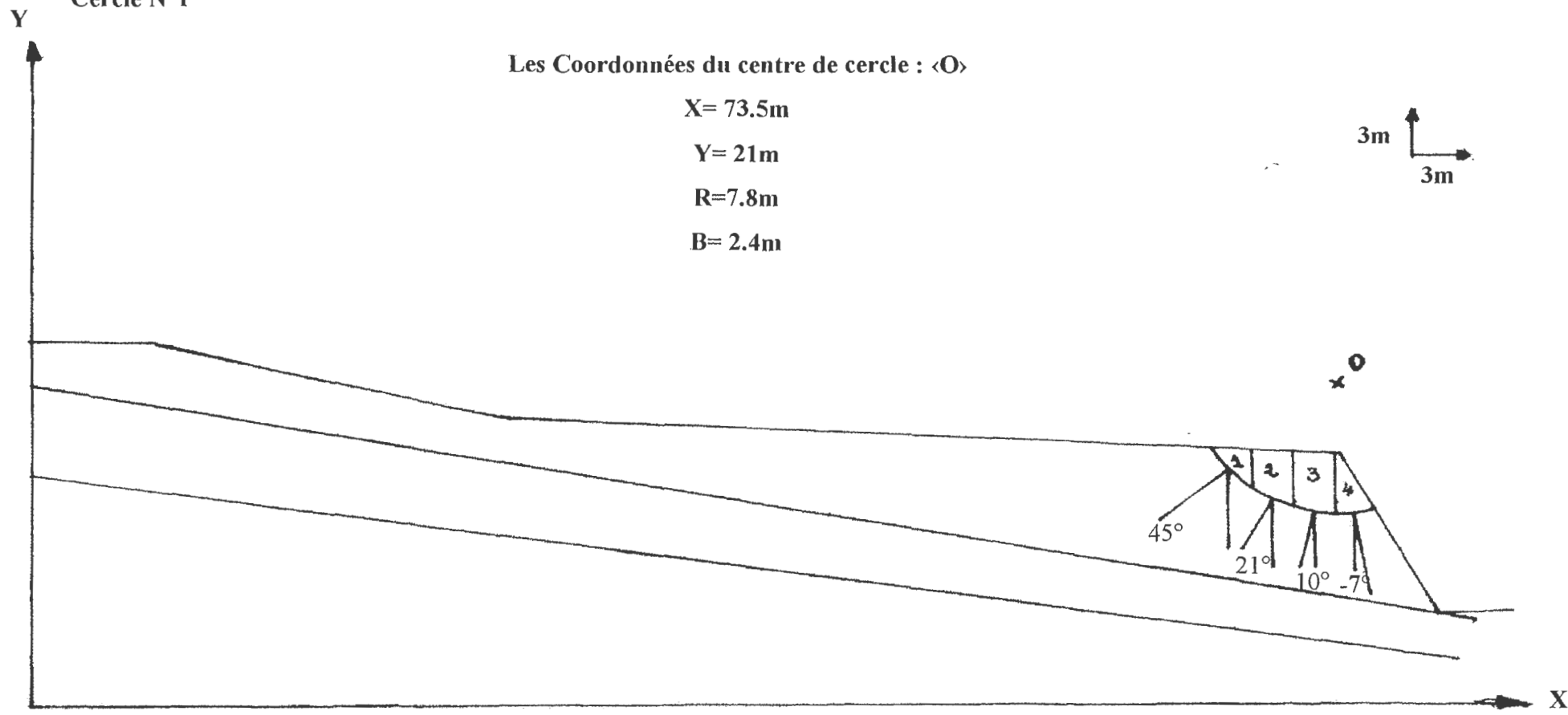
Les Coordonnées du centre de cercle : <O>

X= 73.5m

Y= 21m

R=7.8m

B= 2.4m



ANNEXE B

Cercle : 02

a- État naturel du sol :(humide)

Les coordonnées du centre de cercle : <O>

X= 73.5m

Y= 21m

R= 10.8m

b= 2.7m

$\phi''=13.33^\circ$ ,  $C=1.33T/m^2$ ,  $\gamma_h=1.8T/m^3$ ,  $\gamma_{sat}=2.13T/m^3$ , W = poids des terres

	W (t)	$\alpha$ (°)	Sin $\alpha$	W Sin $\alpha$	Cos $\alpha$	W Cos $\alpha$	b/Cos $\alpha$	C'' $\times$ b/cos $\alpha$
01	10.692	52	0.788	8.425	0.615	6.575	4.390	5.838
02	22.599	34	0.559	12.632	0.829	18.734	3.256	4.330
03	29.16	18	0.309	9.010	0.951	27.731	2.839	3.775
04	31.428	5	0.087	2.734	0.996	31.302	2.710	3.604
05	13.122	-11	-0.190	-2.2493	0.981	12.872	2.752	3.660
La somme				30.308		97.214	15.947	21.209

$F_s=1.45$

Calcul de  $F_s$  :

$$F_s = \frac{c'' \times b / \cos \alpha + \left[ \sum w \cos \alpha \right] \times \tan \phi''}{\sum w \sin \alpha} = \frac{1.33 \times 15.947 + [97.214] \times \tan 13.33}{30.308} = 1.45$$

ANNEXE B

Cercle : 02

b- En état saturé du sol :

Les coordonnées du centre de cercle : <O>

X=73.5m

Y=21m

R=10.8

b=2.7m

$\phi'' = 13.33^\circ$ ,  $C = 1.33 \text{T/m}^2$ ,  $\gamma_h = 1.8 \text{T/m}^3$ ,  $\gamma_{sat} = 2.13 \text{T/m}^3$ ,  $W = \text{poids des terres}$ .

	W (t)	$\alpha$ (°)	Sin $\alpha$	W Sin $\alpha$	Cos $\alpha$	W Cos $\alpha$	$U = \gamma_w \times h_w$	b/Cos $\alpha$	$U \times b/\cos \alpha$
01	12.652	52	0.788	9.969	0.615	7.780	2.4	4.390	10.536
02	26.742	34	0.559	14.948	0.829	22.169	5.1	3.256	16.605
03	34.506	18	0.309	10.662	0.951	32.815	6	2.839	17.034
04	37.189	5	0.087	3.235	0.996	37.040	6.6	2.710	17.886
05	15.527	-11	-0.190	-2.950	0.981	15.231	2.4	2.752	6.604
La somme				35.864		115.035		15.947	68.665

**$F_s = 0.89$**

-Calcul de  $F_s$ :

$$F_s = \frac{c'' \times b / \cos \alpha + \left[ \sum w \cos \alpha - \sum (u \times b / \cos \alpha) \right] \times \text{tg} \phi''}{\sum w \sin \alpha} = \frac{1.33 \times 15.947 + (115.035 - 68.665) \times \text{tg} 13.33}{35.864} = 0.89$$

Annexe B

La méthode de Fellenius.

Cercle N°2

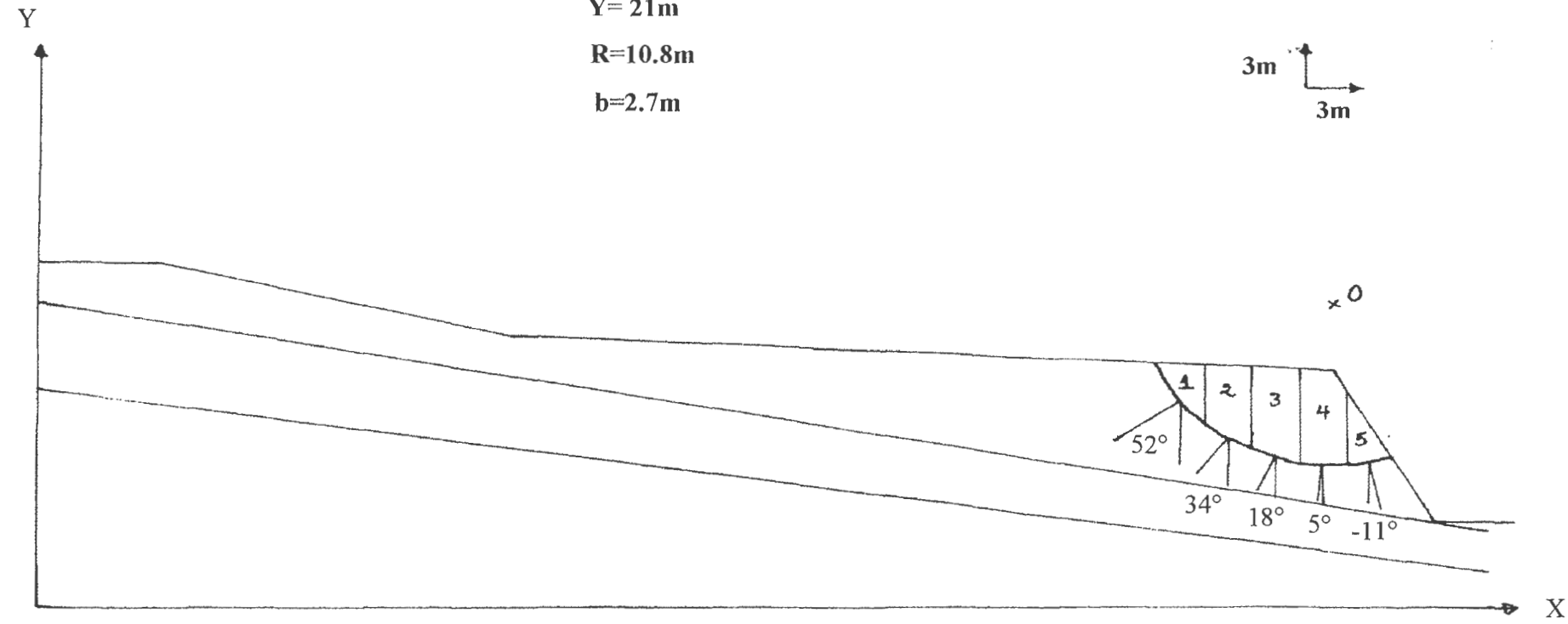
Les coordonnées du centre de cercle : <O>

X=73.5m

Y= 21m

R=10.8m

b=2.7m



ANNEXE B

Cercle : 03

Les coordonnées du centre de cercle : <O>

a- Etat naturel du sol :(humide)

X=79.5m  
Y=24m  
R=17.7m  
b=3.3m

$\Phi'' = 13.33^\circ$ ,  $C = 1.33 \text{T/m}^2$ ,  $\gamma_h = 1.8 \text{T/m}^3$ ,  $\gamma_{\text{sat}} = 2.13 \text{T/m}^3$ ,  $W = \text{poids des terres}$ .

	W (t)	$\alpha$ (°)	Sin $\alpha$	W Sin $\alpha$	Cos $\alpha$	W Cos $\alpha$	b/Cos $\alpha$	$C'' \times b/\cos \alpha$
01	15.138	57	0.838	12.685	0.544	8.235	6.066	8.067
02	36.531	41	0.656	23.964	0.754	27.544	4.376	5.820
03	49.005	22	0.374	18.327	0.927	45.427	3.559	4.733
04	48.195	12	0.207	9.976	0.978	47.134	3.374	4.487
05	17.82	6	0.104	1.853	0.994	17.711	3.319	4.414
La somme				66.80		146.051	20.694	27.523

$F_s = 0.93$

-Calcul de  $F_s$  :

$$F_s = \frac{c'' \times b / \cos \alpha + \left[ \sum w \cos \alpha \right] \times \tan \phi''}{\sum w \sin \alpha} = \frac{1.33 \times 20.694 + [146.051] \times \tan 13.33}{66.80} = 0.93$$

ANNEXE B

Cercle : 03

b- En état saturé du sol :

Les coordonnées du centre de cercle : (O)

X=79.5m  
Y=24m  
R=17.7m  
b=3.3m

$\Phi''=13.33^\circ$ ,  $C=1.33T/m^2$ ,  $\gamma_h=1.8T/m^3$ ,  $\gamma_{sat}=2.13T/m^3$ , W = poids des terres.

	W(t)	$\alpha$ (°)	Sin $\alpha$	W Sin $\alpha$	Cos $\alpha$	W Cos $\alpha$	b/Cos $\alpha$	U= $\gamma_w \times h_w$	U $\times$ b/cos $\alpha$
01	17.913	57	0.838	15.011	0.544	9.744	6.066	2.7	16.378
02	43.228	41	0.656	28.357	0.754	32.593	4.376	6.3	27.568
03	57.989	22	0.374	21.687	0.927	53.755	3.559	8.1	28.827
04	57.030	12	0.207	11.805	0.978	55.775	3.374	8.1	27.329
05	21.087	6	0.104	2.193	0.994	20.960	3.319	2.7	8.961
La somme				79.053		172.827	20.694		109.063

**F= 0.53**

-Calcul de  $F_s$ :

$$F_s = \frac{c'' \times b / \cos \alpha + \left[ \sum w \cos \alpha - \sum (u \times b / \cos \alpha) \right] \times \operatorname{tg} \phi''}{\sum w \sin \alpha} = \frac{1.33 \times 20.694 + (172.827 - 109.063) \times \operatorname{tg} 13.33}{79.053} = 0.53$$



Annexe B

La méthode de Fellenius.  
Cercle N°3

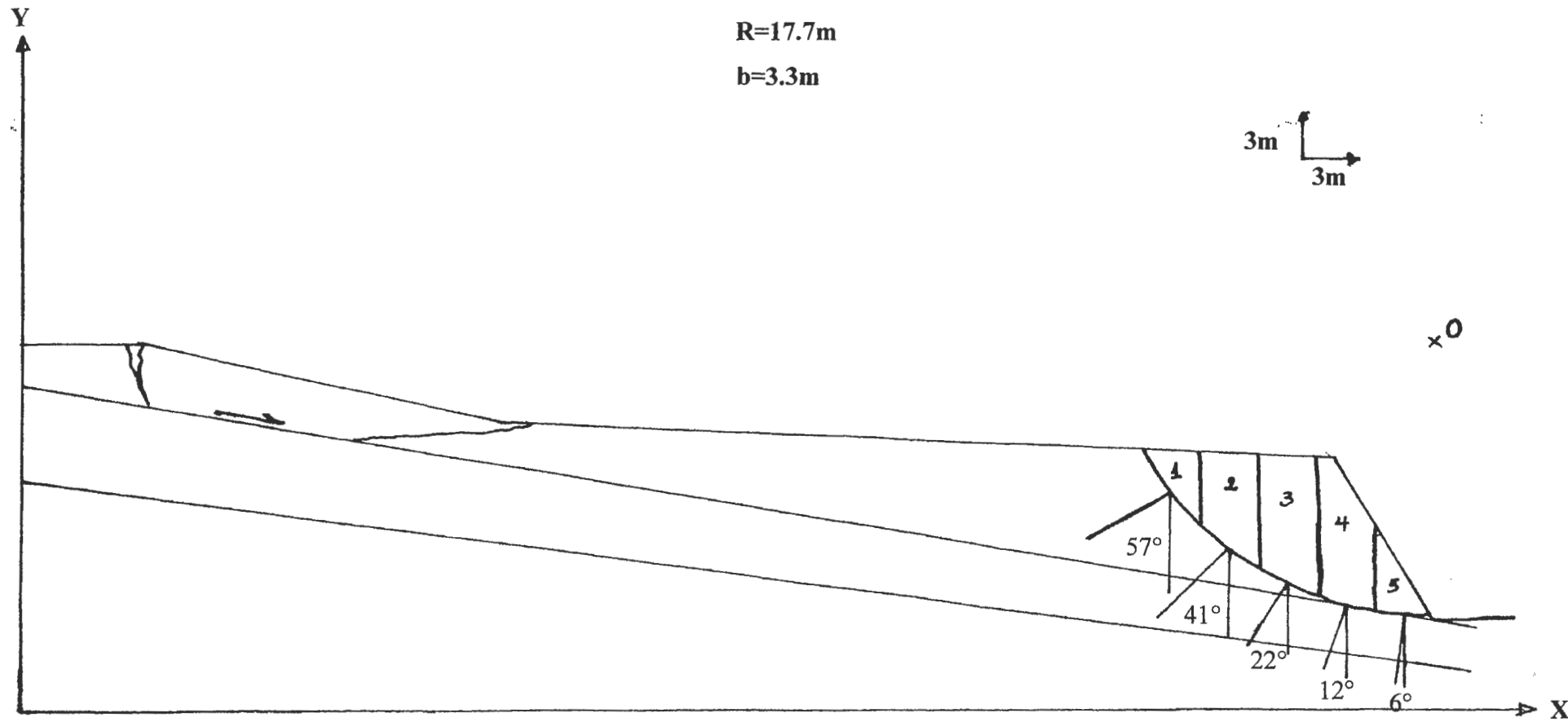
Les coordonnées du centre de cercle : «O»

X=79.5m

Y=24m

R=17.7m

b=3.3m



## ANNEXE B

Tableau récapitulatif des résultats de calcul du coefficient de sécurité  $F_s$ .

		Sol humide $\gamma_{II}$	En état saturé du sol ( $\gamma_{Sat}$ )
Glissement circulaire en aval du talus	Cercle n° 01	2.77	1.61
	Cercle n° 02	1.45	0.89
	Cercle n° 03	0.93	0.53
Glissement plan (en amont du talus)		1.16	1.09

ANNEXE B





ANNEXE B



**Fissure indiquant le déclanchement  
du glissement.**



**Glissement d'une partie du versant.**



**Absence des cunettes dans les routes**



**Absence de tout système de drainage.**

ANNEXE B



**Fissuration au niveau des murs de soutènements.**



**Destruction du trottoirs suite au mouvement du sol.**



**Infiltrations parasites des eaux usées.**



**Fissures dans le sol**





Manque des poteaux électriques



Manque des regards d'égouttement



Fissures dans les murs d'une construction



Fissures au niveau des murs d'une maison.