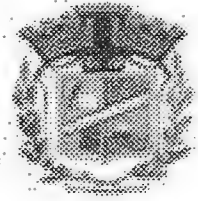


GEO.12/05

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de La Recherche
Scientifique

Université de Jijel
Faculté des sciences



جامعة جيجل
كلية العلوم

جامعة محمد الصديق بن يحيى
كلية علوم الطبيعة والحياة
المدى: 683
رقم الجرد:

Département sciences de la terre

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention de diplôme
d'Ingénieur d'Etat en Géologie
Option : Géologie de l'ingénieur

Thème

ETUDE DE STABILITE
DU TERRAIN DU LYCEE 300/1000
DE TEXENNA
WILAYA DE JIJEL

Jury :

- S.KAOULA / Président
- F.ZEROUAL / Examineur
- R.BENZAID / Encadreur

Présenté par

- M^r : LEZHARI Amer
- M^{elle} : ILLAS Chahra



Année universitaire 2004-20005

REMERCIEMENTS

Nos remerciements vont avant tous, au bon dieu de nous avoir donné la force, la santé et la patience afin que nous puissions accomplir ce modeste travail

Nous adressons toutes mes reconnaissances et remerciements à ceux qui nous ont aidé de près ou de loin pour l'élaboration de cette étude et particulièrement à nos promoteurs M. BENZAID et M..MABROUK

A tous les enseignants du département des science et la de terre, pour leur efforts consentis tout au long de notre cursus et qui n'ont jamais ménagé ni leurs temps ni leurs efforts.

A tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

RESUME

A cause de la nature difficile des terrains de la commune de Texenna et les nouvelles réglementations régissant le secteur de la construction, réglementations qui garantissent une sécurité maximale aux constructions, une étude de stabilité du terrain surplombant le nouveau lycée 300/1000 de Texenna devient nécessaire surtout à cause de sa pente et le risque qu'il pourrait poser à la sécurité des bâtiments.

Après une introduction générale, par laquelle on cite les mérites de la géotechnique, notre projet suivra la méthodologie suivante.

L'étude de stabilité du terrain du nouveau lycée de Texenna, consiste à donner un aperçu sur la géologie régionale et locale, ceci afin de montrer l'influence de la géologie sur le choix des sites de construction, ainsi que des aspects hydrologiques et hydrogéologiques de la région à cause du rôle prépondérant que joue l'eau.

Et sur la plan géotechnique, on a effectué les calculs de stabilité et des tassements, pour connaître le comportement du sol composant le talus surplombant le lycée, face aux différentes sollicitations.

On terminera notre étude par une conclusion qui recèlera tout les renseignements tirés de la première partie ainsi que de la deuxième. Enfin nous donnerons des recommandations pour assurer la stabilité du terrain.

Sommaire

Introduction

PREMIERE PARTIE

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA REGION

I-1- Données générales sur la région	5
I-2- Données sur la géologie de la région.....	7

CHAPITRE II : CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL

II-1- Introduction.....	10
II-2- Les Maghrébides en Algérie.....	10
II-3- La région de Texenna (Ouest de JJEL).....	11
II-4- Aspect structural	15
II-5- La Tectonique	17
II-6- Aspect orographique.....	18
II-7- Aperçu Sismique.....	18

CHAPITRE III : HYDROGEOLOGIE ET HYDROLOGIE DE LA REGION

III-1- Introduction.....	21
III-2- Hydrogéologie.....	21
III-3- Hydrologie : (Climatologie).....	25

Chapitre IV : CADRE GEOLOGIQUE DU SITE

IV-1- Introduction.....	29
IV-2- Géologie du site.....	29

DEUXIEME PARTIE

Chapitre V : LES DIFFERENTES METHODES DE LA RECONNAISSANCE DES SOLS

V-1- Introduction	33
V-2- Les différentes méthodes de reconnaissance des sols.....	33

Chapitre VI : PROGRAMME DE RECONNAISSANCE GEOTECHNIQUE

VI-1 Introduction.....	43
VI-2- Reconnaissance du site.....	43
VI-3- Reconnaissance des sols.....	43

Chapitre VII : LES GLISSEMENTS DE TERRAIN

VII-1- Introduction.....	49
VII-2- Description générale du phénomène.....	49
VII-3- Classification des mouvements de terrain.....	49
VII-4- Description des principaux types de mouvement.....	51

Chapitre VIII : CALCUL DE STABILITE

VIII-1- Hypothèse de calcul.....	55
VIII-2- Stabilité en rupture circulaire avec coefficient de sécurité global.....	55
VIII-3- Recherche de coefficient de sécurité minimal.....	59
VIII-4- Choix de la méthode et du coefficient de sécurité.....	59
VIII-5- Angle d'égalité stabilité.....	60
VIII-6 - Calcul de stabilité du site.....	62

Chapitre IX : CALCUL DE LA CAPACITE PORTANTE DES FONDATIONS	
IX-1- Généralités.....	82
IX-2- Projet de Fondations.....	83
IX-3 Contrainte admissible d'une fondation superficielle.....	84

Chapitre X : CALCUL DES TASSEMENTS	
X-1- Définition	88
X-2- Comportement des sols sous les sollicitations de compression.....	88
X-3- Détermination des tassements	92
X-4- Résultats du tassement absolu du sol étudié.....	96

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Annexes

Introduction :

Ces dernières années, l'intérêt pour les études géotechniques dans les projets de construction a considérablement augmenté. Ceci est dû essentiellement à un changement de mentalités induit par les catastrophes naturelles qui ont touché notre pays et un souci affiché par les plus hautes autorités du pays à réglementer le secteur de la construction (B.T.P) qui était auparavant anarchique et répondant rarement aux normes de sécurité appliquées par les pays développés.

Les méthodes de traitement des sols instables existent depuis longtemps mais leur mise en œuvre avant le démarrage des projets de constructions était rarement concevable sauf face à des problèmes imprévus d'instabilité des sols. Les raisons de ce regain d'intérêt pour les études géotechniques et les remèdes qu'elles peuvent apporter sont en relation avec la réalité du terrain, la première étant l'accroissement considérable de la vitesse de construction du fait de la mécanisation. En effet, de nos jours, les programmes de construction tendent à être serrés et inflexibles et des retards dans les travaux sont inacceptables.

La seconde raison de l'adoption croissante des méthodes géotechniques vient de la rareté des sites convenant à des projets de construction et la demande soutenue de nouveaux terrains. Des sites qu'on considérait antérieurement comme inconstructibles à cause de leur pente, des risques d'effondrement ou de glissement, sont maintenant utilisés. Ces sites peuvent nécessiter la mise en œuvre d'une ou plusieurs techniques spéciales pour que soient résolus les problèmes d'instabilité causés par la nature du sol.

Les problèmes des sols instables sont ceux dus à l'eau, l'instabilité des pentes naturelles ou des talus, le tassement des structures posés sur sol mou ou lâches et les effondrements de carrière.

Avec l'accroissement du nombre d'habitants et le nouveau statut administratif de daïra, la ville de Texenna a besoin de nouvelles infrastructures, tel qu'un nouveau lycée, capables de répondre aux besoins de la population. Le seul empêchement à la réalisation de ces projets est la rareté des terrains à proximité du centre de la ville ainsi que la nature du sol qui est très accidenté et avec de fortes pentes. En plus, la région est réputée par sa pluviométrie et la présence de nombreuses sources.

Donc, avant la réalisation de tout projet ayant une importance relative, une étude géotechnique s'impose par elle-même en vue de garantir la sécurité des habitants et des biens sur le long terme.

- But et méthode de travail :

Le souci d'assurer une sécurité optimale pour le projet de construction du nouveau lycée de Texenna nous a poussé à réaliser l'étude qui suit.

Suite à une présentation générale de la région, notre travail sera divisé en deux parties distinctes qui toucheront différents aspects :

- Première partie : Sera consacrée à l'étude générale de la géologie de la région. Elle traitera les traits relatifs à la géologie régionale et locale, l'hydrologie et l'hydrogéologie, puis, on donnera un aperçu sur la sismicité de la région..

Introduction

- *Deuxième partie* : Elle traitera le problème posé sur le site : la stabilité du terrain, calcul des fondations pour les constructions projetées et le calcul des tassements.

Enfin, une conclusion, où on essayera de tirer des recommandations et préconiser des solutions pour répondre aux problèmes posés.

Nous pensons , qu'on menant notre travail, nous arriverons à mieux comprendre le phénomène qui menace le site étudié et que nous parviendrons à donner une démarche pour l'enrayer.

Première partie

Présentation de la région

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA REGION.**I-1- Données générales sur la région :**

La ville de Texenna, siège du chef-lieu de la commune du même nom a été créée lors du découpage administratif de 1984. Texenna se situe a 20 km au sud de la ville de Jijel. Ses coordonnées LAMBERT sont :

-Longitude : 776-778

-Latitude : 377-379

Texenna est limitée administrativement par les communes suivantes :

-au Nord : Kaous.

-à l'Est : Oudjana et Emir Abdelkader.

-à l'Ouest : El Aouana et Selma Ben Ziada.

-au Sud : Erraguene et Beni-Yadjis.

La superficie de la commune de Texenna est de 168 km² pour une population de 15013 habitants (recensement de 1998).

Texenna est desservie par la R.N 77 qui traverse le territoire de la commune et qui relie Jijel a Setif. (Fiches Techniques, 2003)

I-1-1- Morphologie (relief) :**I-1-1-1- Montagnes :**

La topographie de la commune de Texenna est fortement accidentée ; cela est du à la présence de montagnes abruptes et de nombreux Oueds et Chaabets qui la traversent. Les montagnes se présentent en deux chaînons, l'un se trouve à l'Est et l'autre à l'Ouest et sont caractérisés par des altitudes qui peuvent dépasser les 1000 m (Djebel Sendouah).

I-1-1-2- Plaines et crêtes :

Entre les deux chainons, cités plus haut, existe une zone basse où se concentrent la plupart des agglomérations et mechtas. Cette zone s'étend jusqu'au limites de la commune de Kaous au Nord et la pente de ses terrains varie entre 0-12%. L'altitude de cette zone varie entre 400 et 800 m et composée de terres cultivables le long des Oueds qui arrosent la zone et se dirigeant du Sud vers le Nord.

I-1-2- Les différents types de réseaux :**I-1-2-1- Réseau hydrographique :**

Le territoire de la commune de Texenna est traversé par un ensemble d'Oueds et de chaabets qui descendent des montagnes ; la plupart sont saisonniers. On compte :

- Oued Djen-Djen.

- Oued El Agrem.

Oued El Agrem alimente le barrage du même nom. Ces Oueds sont caractérisés par un écoulement permanent.

Oued Djen-Djen s'écoule vers l'Est puis vers le Nord, El Agrem prend une direction Nord. Ce dernier reçoit et accumule les eaux des petits Oueds et Chaabets environnantes et alimente le barrage.

I-1-2-2- Réseau routier :

Il est constitué essentiellement par la R.N77 qui traverse le territoire de la commune du Nord au Sud séparent celle-ci en deux parties. Cette route relie également la wilaya de Jijel à celle de Setif par la wilaya de Mila.

D'autres routes, secondaires, relient la ville de Texenna à d'autres localités. On cite :

- Le C.W 37 qui relie la localité de Selma à Texenna en passant par Mourghane et H'mara.
- Le C.C 5 qui relie Texenna à la commune d'Emir A.E.K passant par la mechta d'Oum El Hout.

De nombreuses pistes et chemins relient aussi Texenna aux différentes mechtas et agglomérations éparpillées sur le territoire de la commune.

I-1-2-3- Réseau électrique :

La commune est alimentée en énergie électrique au moyen d'une ligne à moyenne tension (30 K.V) à partir d'Erraguene en direction de Taher.

I-1-3- Climat et couvert végétal :

I-1-3-1- Climat :

La région de Texenna est caractérisée par le climat méditerranéen, influencé par les reliefs et la mer. Ces deux raisons font que le climat de la région est tempéré, avec des températures élevées en été et basses en hiver.

Quant à l'influence du relief sur le climat, ce dernier joue le rôle de barrière face aux masses saturées en humidité et froides qui donnent d'importantes précipitations.

I-1-3-2- Couvert végétal :

La végétation couvre une grande partie de la superficie du territoire de la commune. Les plus importantes variétés en nombre sont :

- Le chêne liège, le chêne zéne.
- Les oliviers, sauvages et autres.
- La bruyère.
- Le doum.

-Les maquis : diss, pistachier lentisque, etc.

La forêt, ou couvert végétal, constitue l'élément principal pour la lutte contre les glissements de terrains et l'érosion.

I-1-4- Aspect socio-économique :

La commune de Texenna, qui compte 15013 habitants, est dotée d'infrastructures variées, qui sont destinées pour répondre aux besoins de la population en matière de : scolarité, santé, loisirs et autres domaines. On peut citer :

-Les écoles : 25 établissements qui touchent les différents paliers de scolarité en plus du nouveau lycée qui est en construction.

- Un centre de santé et une maternité.

-autres infrastructures : mosquées, maison de jeunes, terrains de sport.

Les différentes activités qui caractérisent la commune, touchent plusieurs secteurs dont on peut citer : Agriculture, B.T.P, industries légères ainsi que des secteurs non productifs (administrations). (Fiches Techniques, 2003)

I-2- Données sur la géologie de la région

I-2-1 Historique général :

La région de Texenna, n'a fait l'objet que de très peu d'études géologiques, sauf pour des secteurs limités.

I-2-1-1- Travaux anciens :

- *Période des itinéraires (1830-1860)* : Plusieurs auteurs (POUILLON, BOBLAYE, RENOU et FOURNEL) ont réalisés des études sommaires sur la région, mais se sont intéressés de façon générale à d'autres régions (bassin Constantinois, région de Annaba).

-*Période des levers d'ensemble (1860-1905)* : Quatre cartes générales, dues à HARDOUIN, TISSOT, POMEL et FICHEUR, concrétisent les nombreuses découvertes faites par ces auteurs. Ce sont des cartes à grande échelle (1.250.000°, 800.000°) de la région de Constantine englobant la Petite Kabylie.

- *Période des grandes monographies (1905-1930)* : Le nom de L.JOLEAUD domine cette période. Il réalisa une carte au 200.000° sur les monts de Constantine ainsi que des levers et cartes au 50.000°.

- *Période des monographies détaillées (1930-1946)* : Elles sont dues, en Petite Kabylie, à P.DELEAU et M.ROUBAULT. Cet auteur donne de précieux renseignements sur le cristallophyllien (socle Kabyle) et sur l'éruptif de la région de Collo.

D'autres auteurs(SAVORNIN, BLUMENTHAL, FALLOT ...) ont effectué des travaux sur la région (cartes au 100.000°, 500.000°).

I-2-1-2- Travaux récents :

Pour la région spécialement étudiée, la bibliographie est très réduite. On peut citer :
-F.EHRMANN, M.DURAND-DELGA (1955) et d'autres géologues qui ont étudiés la région avant l'indépendance de l'Algérie. Après 1962, d'autres auteurs se sont intéressés a la région :

- J.F RAOULT (1974), J.P BOUILLIN, J.KORNPROBST et J.F. RAOULT (1977), S. BAUDELAUT, J.P BOUILLIN, Ph.E. COIFFAIT (1981), J.P BOUILLIN (1977), H. DJELLIT (1987), Y. MAHJOUB (1991).

L'étude géologique suivante, est tirée pour l'essentiel de la thèse de H. DJELLIT (1987) à cause de la rareté des données et de l'indisponibilité de la majorité des travaux cités plus haut.

Chapitre II :
Cadre géologique régional

CHAPITRE II : CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL.

II-1- Introduction :

La géologie de notre région d'étude (Texenna), est due à un phénomène qui touche le bassin méditerranéen oriental. Ce phénomène est le rapprochement des deux plaques continentales Africaine et Européenne. L'orogène Alpin, qui résulte de ce rapprochement, se manifeste par les chaînes de montagnes qui se trouvent de part et d'autre de la méditerranée.

II-2- Les Maghrébides en Algérie :



Fig. II-1 : Les Maghrébides en Algérie.
(D'après :M.DURAND-DELGA, 1969)

L'orogène Alpin, comporte en méditerranée occidentale deux branches principales :

- Une branche nord Méditerranéenne représentée par les cordillères Bétiques au sud de l'Espagne.
- Une branche Sud Méditerranéenne, qui regroupe le chaînes Rifaines, Télliciennes, Nord Siciliennes et Calabraises.

Du point de vue structural, Les Maghrébides sont constituées de plusieurs nappes charriées sur la plate forme Africaine.

Transversalement, du Nord au Sud, on distingue dans les Maghrébides trois grands domaines :

- Le Domaine Kabyle.
- Le Domaine des Flyschs.
- Le Domaine Tellien et l'avant pays.

Cet ensemble de nappes est recouvert par un ensemble détritique (Numidien), dont la position est discutée, et, par des formations post-nappes. (H. DJELLIT, 1987)

II-3- La région de Texenna (Ouest de JJEL) :

Notre région d'étude, située à l'extrémité occidentale de la Petite Kabylie, permet l'étude des domaines cités plus haut, et dont nous donnerons un aperçu général :

II-3-1- Domaine Kabyle :

Regroupe un socle ancien (ou socle Kabyle) formé essentiellement de terrains métamorphique anté-Triasiques, et des séries de plate-formes carbonatées (ou Dorsale Kabyle) d'âge Mésozoïque.

II-3-1-1- Le Socle Kabyle :

Apparaît en Algérie du Nord en trois endroits :

- Massif de Chenoua à l'Ouest.
- Massif de Grande Kabylie au Centre.
- Massif de Petite Kabylie à l'Est.

Le Socle Kabyle de ces massifs, est largement chevauchant vers le Sud. Il comporte deux ensembles :

a- Ensemble supérieur : Composé de schistes satinés (phyllades) où s'intercalent localement de grès et des porphyroïdes ocellés, localement les phyllades montrent à leur extrême base des passés carbonatés. Cet ensemble est surmonté en discordance par des formations Siluriennes (DURAND-DELGA , 1955) comprenant de bas en haut :

- Des schistes noirâtres.
- Des psammites, rouges et vertes à Graptolites.
- Des grès calcaires à Tentaculites.
- Des calcaires à Orthocères.

b- Ensemble inférieur : Composé de Gneiss fins et ocellés à intercalations de marbre et d'amphibolites.

II-3-1-2- La Dorsale Kabyle : (ou chaîne calcaire)

Elle marque, grâce à ses reliefs carbonatés, la limite entre le socle kabyle au Nord et les zones Telliennes plus externes, du Sud. En Algérie, elle borde les extrémités des socles de Petite et Grande Kabylie et montre des termes allant du Permo-Trias à l'Oligocène. Les séries qu'elle présente permettent de la subdiviser en trois sous domaines. Ce sont, du Nord au Sud : (RAOULT ; 1974)

a- La Dorsale interne : Elle montre une série complète du Permo-Trias au Néocomien. Le Néocomien est directement surmonté par des calcaires biogènes à caractères littoraux de l'Eocène inférieur-moyen.

b- La Dorsale médiane : Caractérisée par des dépôts marneux à micro-faunes pélagiques du Turonien au Lutétien inférieur et par une lacune des termes du Crétacé moyen.

c- La Dorsale externe : Présente un Crétacé supérieur et un Eocène inférieur détritiques et lagunaires.

- **Remarque :** Dans notre région d'étude, la dorsale Kabyle est absente. En position équivalente, on rencontre une formation Calcaire et volcano-sédimentaire. C'est le « complexe volcano-sédimentaire de REKKADA METLETINE ». Il est d'âge Jurassique présumé et, pour certains auteurs (DURAND-DELGA, 1969 ; BOUILLIN, 1970) la Dorsale Kabyle est tectoniquement enfouie sous le Socle Kabyle.

II-3-1-3- Le complexe Volcano-Sédimentaire :

Pour BOUILLIN (1979), le « **complexe volcano-sédimentaire** » représente le substratum Jurassique du flysch Maurétanien. Il comporte de bas en haut :

a- Un ensemble basal : D'une épaisseur allant de 200 à 300 m, il est composé d'un empilement de roches volcaniques à textures variables. Ces roches sont d'épaisseur métrique, foliées et s'organisent en niveaux parallèles entre eux.

b- Un ensemble sommital : D'une épaisseur de 200 m environ, il est divisé en deux termes :

- Le premier terme est constitué d'une série volcano-sédimentaire (50m d'épaisseur) contenant des niveaux quartzo-pélitiques et des basaltes. Les niveaux verts d'origine sédimentaire sont constitués de fragments de roches volcaniques.

- Le deuxième terme est essentiellement constitué d'une alternance de calcaires centimétriques à décimétriques. On rencontre cet ensemble éruptif à REKKADA METLETINE ainsi qu'au Djebel SENDOUAH (TEXENNA).

II-3-2- Le domaine des Flyschs :

En Algérie, les Flyschs allochtones sont classiquement subdivisés en deux types principaux, montrant des termes allant du Crétacé au Paléogène. Ce sont les Flyschs : Maurétanien et Massylien (GELARD, 1968 ;RAOULT, 1978).

a- Le Flysch Maurétanien : (La série de GUERROUCH) : Ces flyschs présentent des termes variés allant du Néocomien au Lutétien. Ils comportent de bas en haut :

- un pré flysch calcaire du Tithonique-Néocomien constitué de marnes grises et de turbidites calcaires.

- Un ensemble à grès homométrique à cassure verte d'une épaisseur de 300m (flysch de GUEROUCH) attribué à l'Albo-Aptien.
- Localement, des phtanites rouges et blancs du Cénomaniens supérieur.
- Un Sénonien microbréchiq. Les microbrèches à ciment spathique riches en quartz détritique, peuvent être remplacés par des micro conglomérats.
- Au sommet, les conglomérats puis grès micacés Tertiaires (Eocène à Oligocène).

b- Le Flysch Massylien : (Schisto-Gréseux) : Comme son homologue Maurétanien, il présente une série allant du Néocomien (?) au Lutétien terminal, regroupe trois ensembles :

- A la base, le classique flysch Albo-Aptien composé d'argiles et de grès quartzitiques, vert olivâtres, en barres minces (10-30 cm d'épaisseur), des grès légèrement calcareux, rosés et violacés, et localement des niveaux conglomératiques à Orbitolines.
- Ensuite, vient un ensemble comprenant des marnes et calcaires fins jaunâtres du Vraconien, des microbrèches et conglomérats du Cénomaniens inf-moyen, des calcaires fins et phtanites noirs du Cénomaniens supérieur.
- Au sommet, un flysch à marnes microbréchiq. riches en *Globotrucana* du Turonien-Maestrichien.

Cet ensemble est surmonté par des argiles rouges et des microbrèches calcaires bioclastiques à Nummulites de l'Eocène.

c- Le Flysch Numidien : Le Flysch Numidien montre de bas en haut :

- 50 m d'argiles aux teintes variées à intercalations calcaro-gréseuses à Glauconies.
- 10 à 20 m d'épaisseur d'une alternance de pélites bleutées et de marnes à intercalations gréseuses décimétriques.
- Un ensemble gréseux (150 à 160 m d'épaisseur) en bancs épais (2à3 m d'épaisseur) à faciès Numidien.
- 10 à 15 m d'épaisseur de bancs de calcaires gréseux associés à des marnes calcaires.

L'âge de cette formation est attribué à l'Oligocène supérieur. Ce flysch constitue structurellement la nappe la plus haute de l'édifice Alpin.

II-3-3- Le Domaine Tellien et l'avant pays :

Il correspond à des formations, en séries épaisses, allant du Néocomien au Lutétien. L'une des caractéristiques de ces formations telliennes est leur faciès marno-calcaire. Ces séries sont représentées par des dolomies et calcaires à silex au Lias, des calcaires et radiolarites du Malm, des marno-calcaires à ammonites pyriteuses du Néocomien-Barrémien, des marnes à niveaux conglomératiques du Sénonien.

Selon J.M.VILA (1980), il peut être subdivisé en trois grandes nappes. Ce sont du Nord au Sud :

- Nappes épi-telliennes.

- Nappes méso-telliennes.
- Nappes infra-telliennes.

II-3-4- L'Oligo-miocène Kabyle : (O.M.K)

L'Oligo-Miocène Kabyle constitue la couverture sédimentaire transgressive et discordante sur le Socle Kabyle. Les formations de cet ensemble sont datées du début de l'Oligocène supérieur (J.F.RAOULT, 1974 ; BOUILLIN, 1979) et sont constituées de trois termes lithologiques :

a- Terme bas : Comportant des conglomérats reposant en discordance sur le Socle Kabyle.

b- Terme médian : Formé de grés lithiques, micacés à débris provenant du Socle Kabyle, associés à des pélites micacées.

c- Terme supérieur : Pélitique et siliceux à radiolarites et diatomées.

II-3-5- L'Olistostrome :

Formation tectono-sédimentaire à débris de flyschs, intercalés dans des passés grésomiacés, d'âge Aquitanien à Burdigalien inférieur supposé (BOUILLIN, 1971).

II-3-6- Le Nummulitique :

Formation grésomiacée d'âge Priabonien à Oligocène supérieur, qui constitue la couverture de la chaîne calcaire (Dorsale Kabyle) et des Flyschs Maurétaniens.

II-3-7- Les dépôts post-nappes :

Les dépôts post-nappes sont représentés dans la zone étudiée par :

- des marnes bleues à passées calcareuses discontinues, souvent en nodules (niches), de couleur jaune ocre, que l'on peut rapporter au Tortonien moyen Messinien.
- des formations conglomératiques du Pliocène.

La première formation repose en discordance sur le Socle Kabyle et les molasses olistostromiques du Miocène inférieur- moyen, et la seconde repose directement soit sur les marnes Tortono-Messinienes ou sur les blocs de Flyschs dissociés.

- On peut remarquer que le Pliocène et le Miocène sont affectés par des :
- failles tardives NE-SW (cuvette des Béni-Siar).
 - failles ENE-WSW dans le Métletine.

II-3-8- Les formations du Quaternaire :

Essentiellement représentées dans le bassin de Jijel. Elles comportent :

a- Les dunes de sable : Elles forment le cordon littoral bordant la mer méditerranéenne et comportent :

- Les dunes actuelles : constituées de sables fins parfois consolidés.
- Les dunes anciennes : constituées de sables fins limoneux souvent consolidés.

b- Les alluvions : Elles sont représentées par des alluvions récentes et des alluvions actuelles :

- Les alluvions récentes sont grossières et constituent les terrasses anciennes des vallées.
- Les alluvions actuelles sont composées d'éboulis et de brèches non consolidées. La taille des éléments peut aller jusqu'à 50 mm de diamètre. (LEHTIHET, 1983)

II-4- Aspect structural :

L'édifice structural de notre région d'étude se présente comme suit :

a- Socle Kabyle : Composé d'un substratum gneissique, d'un complexe phylladique et d'un ensemble de psammites et calcaires.

- Les substratums gneissiques sont d'âge anté-Cambrien.
- Le complexe phylladique est d'âge Cambro-Ordovicien.
- Les psammites et calcaires sont d'âge Silurien à Dévonien inférieur-moyen.

➤ Le Socle Kabyle chevauche, vers le Sud, les unités frontales schistosées.

b- Sous le Socle Kabyle : (Le complexe volcano-sédimentaire) : Débité en écaillés, cet ensemble chevauche vers le Sud les zones externes telliennes.

c- Sur le Socle Kabyle : Un ensemble de nappes, comportant à la base un olistostrome surmonté par le Flysch de Guerrouch. Ces nappes sont scellées par des dépôts du Miocène terminal puis par le Pliocène. (H. DJELLIT, 1987)

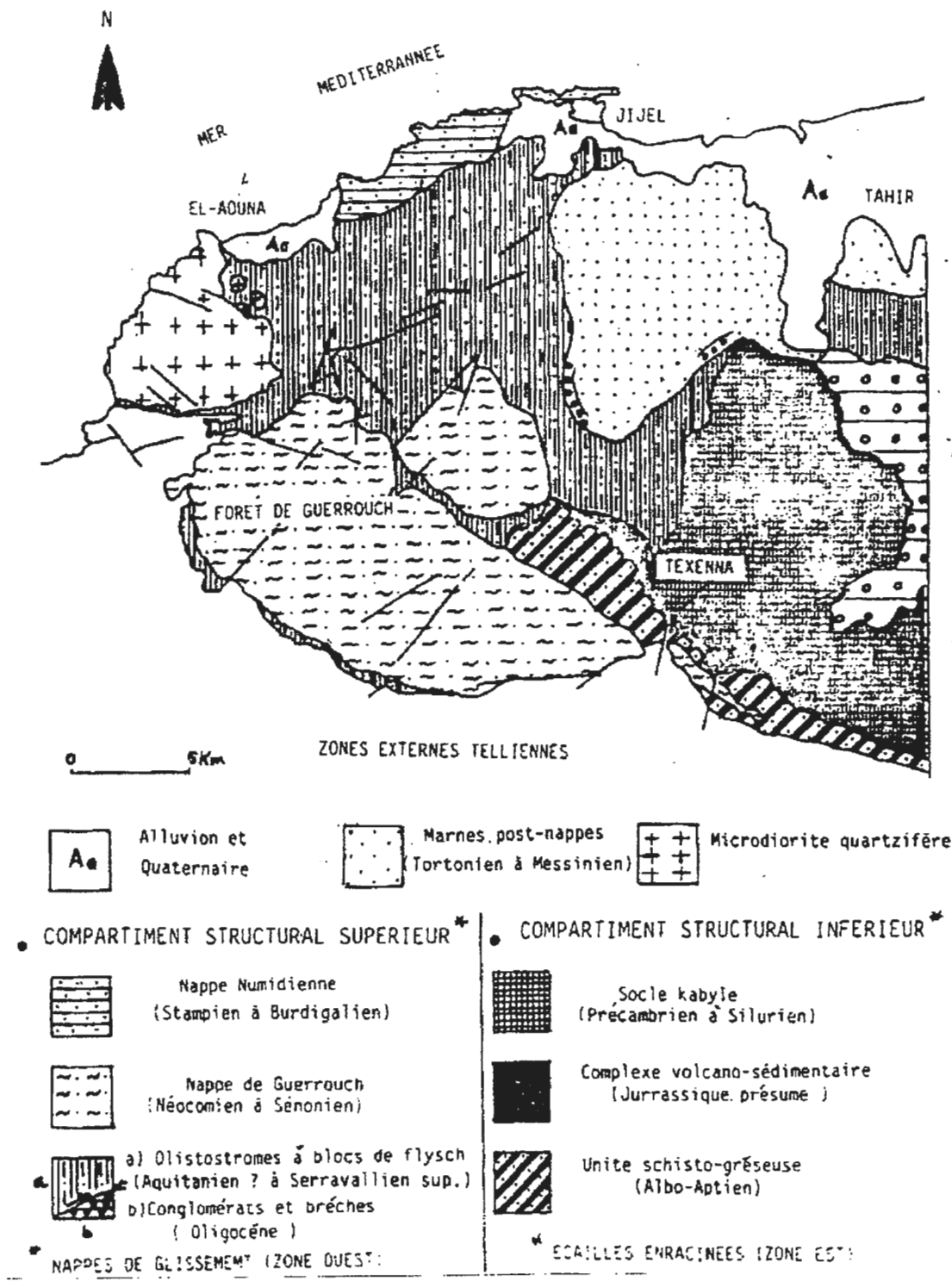


Fig. II-2 : Aspect structural de la région de Texenna.
(D'après : H.DJELLIT, 1987)

II-5- La Tectonique :

Au niveau de notre région d'étude (Texenna), qui constitue la terminaison occidentale de petite Kabylie, plusieurs événements tectoniques ont conduit à la structure actuelle. On peut les classer en deux types :

II-5 1- Selon la forme : (nature)

Les différents aspects tectoniques régionaux sont le charriage, les déformations ductiles et les déformations cassantes.

a- Le charriage : Affecte les différentes nappes : Flyschs, Socle Kabyle.

b- Déformations ductiles : Elles sont matérialisées par les plissements E-W, visibles dans les formations du Socle Kabyle et celles des couvertures sédimentaires.

c- Déformations cassantes : Elles sont marquées par le jeu de grands accidents tectoniques d'ampleur régionale, animés par des déplacements (faibles) et horizontaux (décrochements). Les directions dominantes de ces accidents sont : N-S, E-W, NE-SW, NW-SE et affectent aussi bien le Socle Kabyle que les formations récentes.

Ces accidents ont engendré des dislocations et le broyage des formations affectées. Un intense réseau de fracturation a accompagné ces grands accidents tectoniques.

II-5-2- Selon l'âge :

a- Tectonique anté-Oligocène : Grands accidents cassants d'ampleur régionale et de directions variées (N-S, E-W, NE-SW et NW-SE). Ils semblent être à l'origine de la mise en place des roches magmatiques.

b- Tectonique Tertiaire : Caractérisés par des plissements, des charriages et une reprise de mouvement des failles qui ont rejouées en failles décrochantes. Ces re-jeux de failles semblent avoir eu un rôle important dans la mise en place des roches magmatiques Miocène et des remontées diapiriques du Trias.

c- Tectonique Néogène : Elle est marquée par le retrait de la mer de la plus grande partie des terres immergées. Les invasions marines ne vont atteindre que des aires limitées, notamment les dépressions côtières (bassins de Jijel, de Oued Zhor, ... etc.) où vont se déposer les marnes bleues du Miocène terminal. Les zones montagneuses subiront une intense érosion.

Des re-jeux récents d'accidents tectoniques qui ont causé d'importantes perturbations dans le réseau hydrographique. (LEHTIHET, 1983)

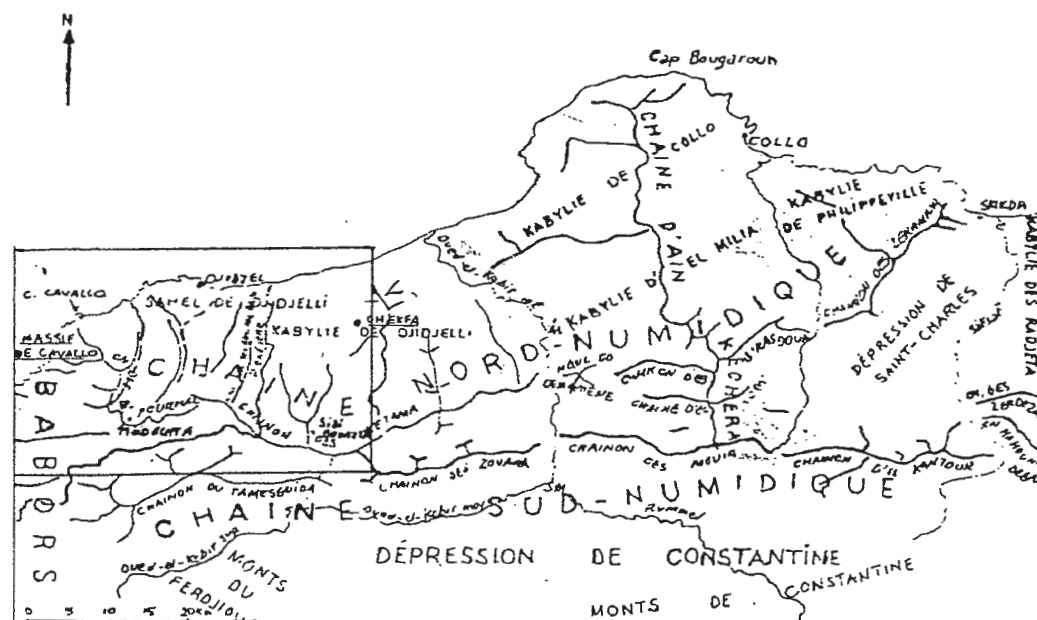
II-6- Aspect orographique :

Fig. II-3 : Aspect orographique de la région de Constantine.
(D'après : J.P. BOUILLIN, 1981)

Le secteur étudié est limité au Nord par la mer Méditerranée, au Sud par le chaînon de Tamesguida, à l'Est et à l'Ouest, respectivement, par les méridiens de Taher et d'El Aouana. Du point de vue morphologique, la région est caractérisée par deux directions orographiques principales :

- La première (WNW-ESE) est matérialisée par la ligne de crête joignant le chaînon de Tamesguida à celui des Ketama.
- La seconde (N-S) est soulignée par plusieurs petits massifs parallèles (Beni-Khettab, Beni-Affeur, Bouhenche), entaillées de profondes vallées de même direction (vallée de Oued Djen-Djen, vallée de Oued Kissir, Oued Mencha, Oued Bourchaid).

II-7- Aperçu Sismique :

La région de JIJEL est située dans une région sismique classée (d'après BOCKEL) comme pouvant subir des secousses supérieures à l'intensité 8.

La plupart des secousses observées sont localisées entre Bejaia et Sétif dans la zone des BIBANS et des BABORS. Cet axe sismique paraît présenter une activité qui s'atténue vers l'Est, où les structures en nappes viennent buter sur les contreforts du socle.

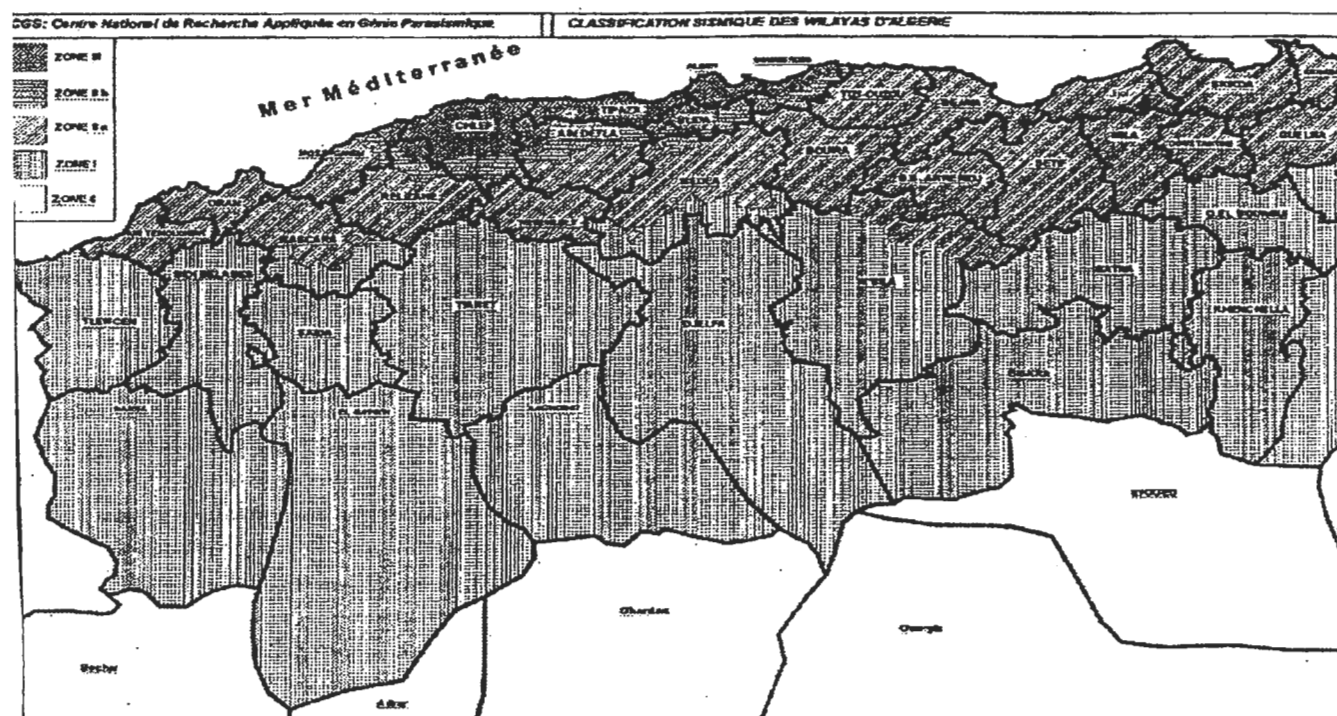
Les données historiques relatives à la sismicité font état d'un événement majeur survenu en Août 1856, au large de Jijel est dont une réplique aurait eu pour épïcêtre un point situé aux environs de Taher.

- **Règles Parasismiques Algériennes : (R.P.A. 2003)**

La région étudiée est située dans la **zone II-a**, zone de moyenne sismicité selon le R.P.A 2003.

- **Fréquence des séismes :**

L'étude réalisée par l'université de Stamford aux U.S.A, en vue de l'établissement d'une réglementation parasismique a permis de dresser la figure ci-jointe (Fig.II-4). Cette figure donne en particulier les limites des régions pour lesquelles des accélérations maximales peuvent être atteintes une fois tout les 100 ans ou une fois tout les 500 ans.



*Fig. II-4 : Classification sismique des wilayas d'Algérie.
(D'après le R.P.A. 2003)*

Chapitre III :

Hydrogéologie et hydrologie de la région

CHAPITRE III : HYDROLOGIE ET HYDROGEOLOGIE DE LA REGION .**III-1- Introduction :**

L'eau joue un rôle important dans la déstabilisation des terrains de n'importe quel nature. Nous verrons dans ce chapitre le comportement des différentes formations que compte notre région d'étude par rapport à la présence de cet élément. Les données suivantes concernent les formations situées aux alentours du bassins versant de l'Oued Djen-Djen, mais à cause de la similitude des formations citées avec les formations de notre région et de leur proximité géographique, nous avons jugés opportun de les citer comme référence.

III-2-1 Hydrogéologie :**III-2-1-1 Les grands ensembles lithologiques :**

Le tableau III-1 donne le classement par famille des différentes formations et leur extension en kilomètres carrés (km²) et en pourcentage (%) par rapport à la surface totale du bassin versant.

	Roches résistantes				Roches moyennement résistantes			Roches meubles		
	Roches vertes	Calcaires massifs	Calcaires dolomitiques	Grés	Marno-calc.	Travertins	Schistes	Marnes Argiles	Roches salines	Alluvions Terrasses Dunes
Superficie en km²	16.0	3.0	20.0	47.43	77.5	11.76	142	156	30.0	24
%Sup/sup.bv	3.0	0.56	3.77	8.93	14.62	2.21	26.79	29.24	5.66	4.52
Total	86.37				231.26			210		
%total/bv	16.29				43.63			39.62		

Tableau III-1 : Classement et extension des différentes formations lithologiques.

III-2-1-2- Perméabilité des différentes formations lithologiques et des formations superficielles :

Faute de moyens, aucun essai de pompage ou autre n'a pu être réalisé lors de notre présent travail. L'étude hydrogéologique sera donc essentiellement basée sur nos anciennes données et d'autres tirés de la bibliographie. Pour compléter l'étude nous reprendrons quelques anciennes valeurs des caractéristiques hydrodynamiques du bassin (transmissivité, coefficient d'emmagasinement...).

Le tableau III-2 résume la perméabilité des différentes formations existantes dans notre bassin versant.

Formations lithologiques	Perméabilité	Formations superficielles	Perméabilité
Roches vertes	En grand	Argiles, limons	Imperméables
Calcaires massifs	En grand	Arg. limons, graviers	Imperméables
Calcaires dolomitiques	En grand	Arg. limons + blocs	Semi-perméables
Calcaire marneux	En grand	Argiles + sables	Imperméables
Grés	En grand+interstice	Argiles, sable + blocs	Semi-perméables
Travertins	Semi perméable	Eboulis	Perm .d'inters.
Schistes	Semi perméable	Arènes	Perm .d'inters.
Marnes et Argiles	Imperméable	Alluvions	Perm .d'inters.
Complexe gypseux	Semi perméable	Terrasses	Perm .d'inters.
Marnes gypseuses, poudingues, brèches	Semi perméable	Dunes	Perm .d'inters.

Tableau III-2 : Perméabilité des différentes formations du bassin versant.

Une combinaison des données du tableau III-1 avec celles du tableau III-2 nous permet d'avoir une vue globale et d'estimer la répartition des zones de perméabilité de notre bassin versant. En effet, toutes les roches résistantes et une grande partie des roches moyennement résistantes (tableau III-1) présentent une très bonne perméabilité, donc de grandes capacités de rétention des eaux souterraines. Plus de 60 % des terrains du bassin versant font partie de cette catégorie.

Une bonne partie de roches meubles (marnes, argiles, roches salines) mélangées aux sables, blocs, et graviers et les schistes altérés offrent une perméabilité beaucoup moins importante que celle des roches de la première catégorie.

Cette deuxième classe regroupe toutes les roches imperméables et semi-perméables du tableau III-2 ci-dessus, l'ensemble de ces formations n'excède pas 30 % de la totalité des terrains.

En ce qui concerne le complexe argileux triasique, sa nature minéralogique montre - outre les minéraux argileux, le sel gemme et le gypse - çà et là, des plaquettes et lentilles calcaro-gréseuses. La perméabilité des argiles triasiques est rendue beaucoup plus élevée que celle des autres argiles par l'hétérogénéité minéralogique. Ces roches s'engorgent vite suite à l'imbibition soutenue par le réseau de fissures et des joints de stratification des formations sus-jacentes.

III-2-1-3- Unités hydrogéologiques :

D'après les études déjà effectuées (géomorphologie, géologie et caractères lithologiques) deux unités hydrogéologiques ou systèmes aquifères bien nets apparaissent dans le bassin versant que nous étudions. En effet ces deux systèmes sont :

- a- Système aquifère amont
- b- Système aquifère aval.

Les caractéristiques physiques des roches n'étant pas les mêmes dans les deux systèmes, l'amont comme l'aval du bassin ont chacun un comportement propre vis-à-vis de l'eau que chacun d'eux reçoit.

a- Système aquifère amont : On peut aussi l'appeler aquifère des roches à perméabilité en grand, ou réservoir à porosité de fractures.

Il s'agit du réservoir qui constitue toute la partie amont du bassin versant. Il est constitué par toutes les formations lithologiques (roches vertes, schistes calcaires, dolomies, gypse...voir tableau III-2) et des produits d'altération (arènes, éboulis...). Ce type de réservoir se caractérise essentiellement par la perméabilité en grand de ses différentes formations.

L'abondante fracturation (macrofissures, microfissures et diaclases) et les joints de stratification des différentes formations géologiques assurent un rôle hydrologique très important en ces lieux. Ils peuvent en certains endroits provoquer des pertes totales.

b- Système aquifère aval : On peut aussi l'appeler réservoir à porosité inter granulaire ou d'interstice, plaine ou nappe alluviale tout simplement.

Il englobe toute la partie avale du bassin. Les formations qui le constituent sont essentiellement de nature détritique (consolidées ou non - voir géologie locale) et que nous avons regroupé (pour l'essentiel) sous l'appellation de formations superficielles (tableau III-1).

Les formations de la nappe alluviale (graviers, sables, terrasses...) jouissent d'une bonne perméabilité, les eaux y circulent facilement.

III-2-1-4- Relation entre les deux systèmes :

C'est au niveau de la basse vallée ou nappe alluviale que les formations des deux systèmes viennent se rencontrer en se superposant. La coupe géologique donnée en figure III-1 (a,b,c) illustre bien cette superposition.

En effet, on voit bien les anciennes formations du socle et celles des flyschs du système aquifère amont s'effacer nettement sous les formations plus récentes Mio-Pliocènes et quaternaires du système aquifère aval.

Les marnes Burdigaliennes qui constituent en même temps la base de la nappe supérieure (alluviale) et le toit de la seconde (ou nappe inférieure) - grâce à leur étanchéité - isolent complètement les deux systèmes et leur interdisent par conséquent tout échange dans le sens vertical.

Les seuls transferts d'eau amont - aval possibles et "autorisés" s'effectuent par le biais des ruissellements et du lessivage de ces mêmes marnes Burdigaliennes. (Fig.III-1).

En effet, les coupes montrent bien comment les eaux du système amont peuvent ruisseler sur les marnes Burdigaliennes, et traverser les formations Pontiennes et les anciennes terrasses avant de rejoindre les eaux des alluvions et s'y mélanger. (M. TEKKOUK, à paraître)

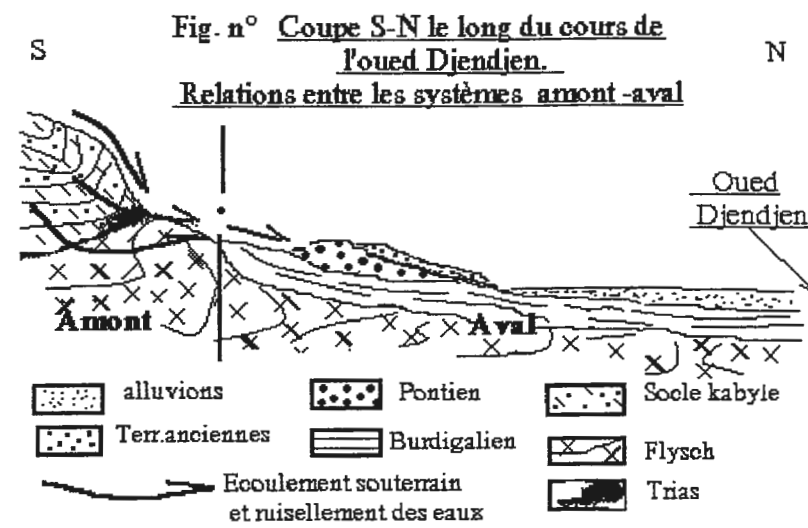


Fig. III-1 : Relations entre les deux systèmes aquifères "amont-aval".
(D'après : M. TEKKOUK, travail en cours)

III-3- Hydrologie : (Climatologie)**III-3-1- Précipitations :**

La région de Texenna en particulier et Jijel en général sont considérées 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 du barrage d'El Agrem (station pluviométrique automatique) .

Les valeurs des précipitations sont enregistrées pendant la période s'étalant de l'année 2000 jusqu'à l'année 2005 et sont présentées dans le tableau II-4.

D'après les données des tableaux, on note que :

- Le mois le plus pluvieux est : Décembre avec une moyenne de: 254,3 mm.
- Le mois le plus sec est : Août avec une moyenne de : 7,6 mm.

Dans le tableau II-4 on donne les précipitations moyennes mensuelles de cinq années.

III-3-2- Températures :

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

- Le mois le plus frais est : Janvier avec une moyenne de : 11,1°C
- Le mois le plus chaud est : Août avec une moyenne de : 26,6°C.

Dans le graphique ombrométrique suivant, 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 trois années).

III-3-3- Vents :

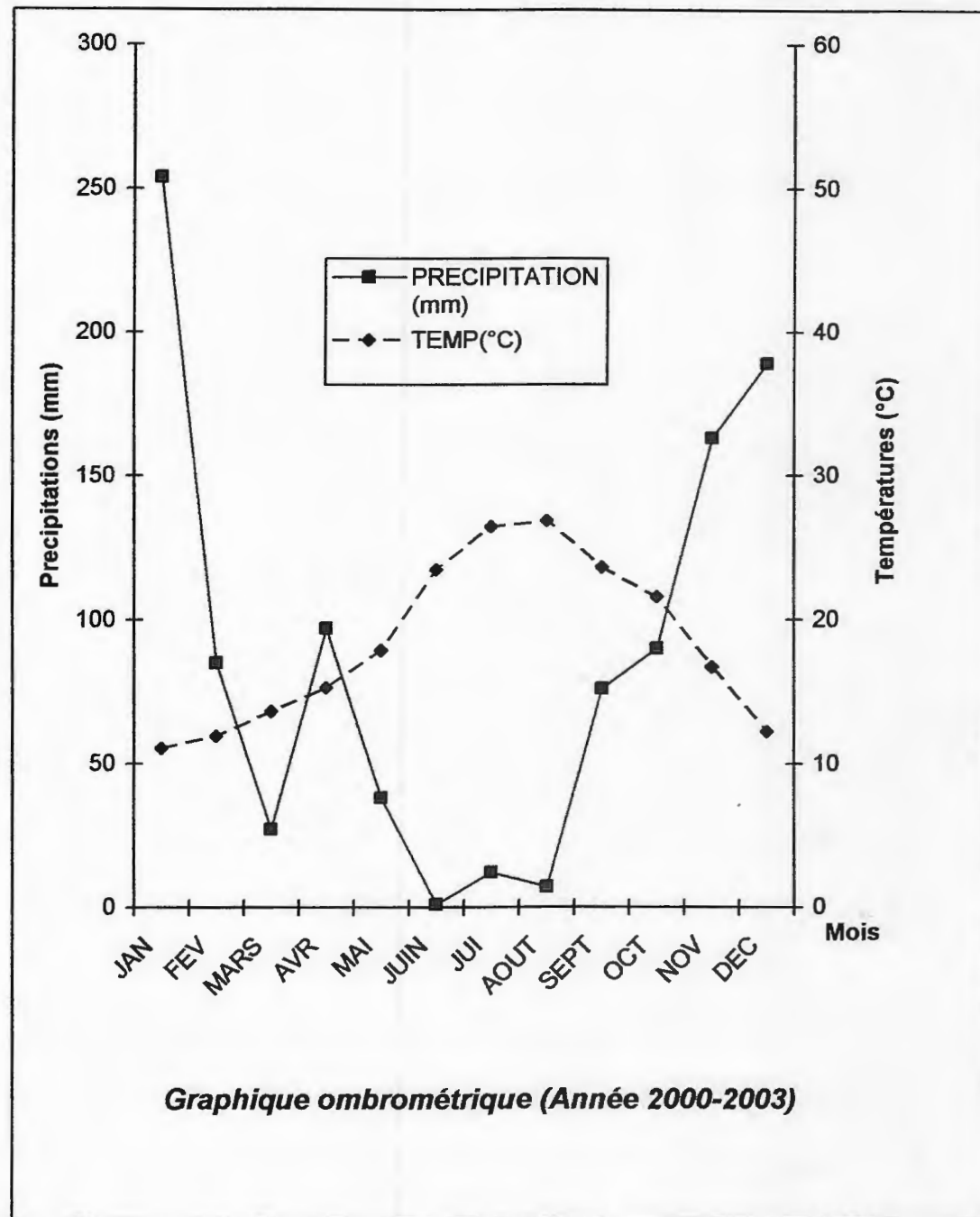
Les différentes données disponibles indiquent que les vents dominants sont :

- Direction : Nord Est et Sud Est.
- Force : 2,5 à 4,2 sur l'échelle de Beaufort.

III-3-4- 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 se situe au dessus de 90% le long de l'année.

Quant à l'évaporation, les plus grandes valeurs sont enregistrées entre le mois de Juin et celui de Septembre.



	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUI	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
TEMP. (°C)	11.10	11.93	13.63	15.30	17.90	23.46	26.46	26.86	23.10	21.56	16.73	12.26
PREC. (mm)	254.3	85.7	27.1	97.0	38.2	1.3	12.0	7.6	76.7	90.1	163.6	189.7

Tableau III-3 : Données moyennes des précipitations et températures (Année 2000-2003). (Source : A.N.R.H. Jijel)

	SEPT	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUI	AOUT	TOTAL
2000-2001	11,9	196,2	92,6	99,0	319,2	46,5	11,7	83,7	58,6	1,1	0,0	4,0	924,5
2001-2002	57,9	0,0	133,1	121,4	68,8	91,3	38,5	41,5	8,2	0,0	36,0	19,7	616,4
2002-2003	50,8	73,4	263,3	342,8	372,1	117,7	29,7	134,3	50,4	0,0	2,0	0,0	1436,5
2003-2004	123,9	51,6	130,5	261,2	177,6	88,3	65,9	109,3	82,3	61,3	0,0	0,0	1151,9
2004-2005	78,3	25,6	227,6	201,9	272,8	218,6	En cours de traitement						

Tableau III-4 Précipitation moyennes mensuelles de la station du barrage El-Agrem
(Source A.N.R.H. Jijel)

Chapitre IV :
Cadre géologique du site

Chapitre IV : CADRE GEOLOGIQUE DU SITE.

IV-1- Introduction :

La présente étude concerne un site, sur lequel se construit actuellement le nouveau lycée de Texenna, l'entrée SE de la ville. Il est caractérisé par sa position sur le versant Est du Djebel Sendouah, sur le quel il se trouve, dont la pente est fort élevée (peut dépasser les 30-40%).

IV-2- Géologie du site :

IV-2-1- Carte géologique :

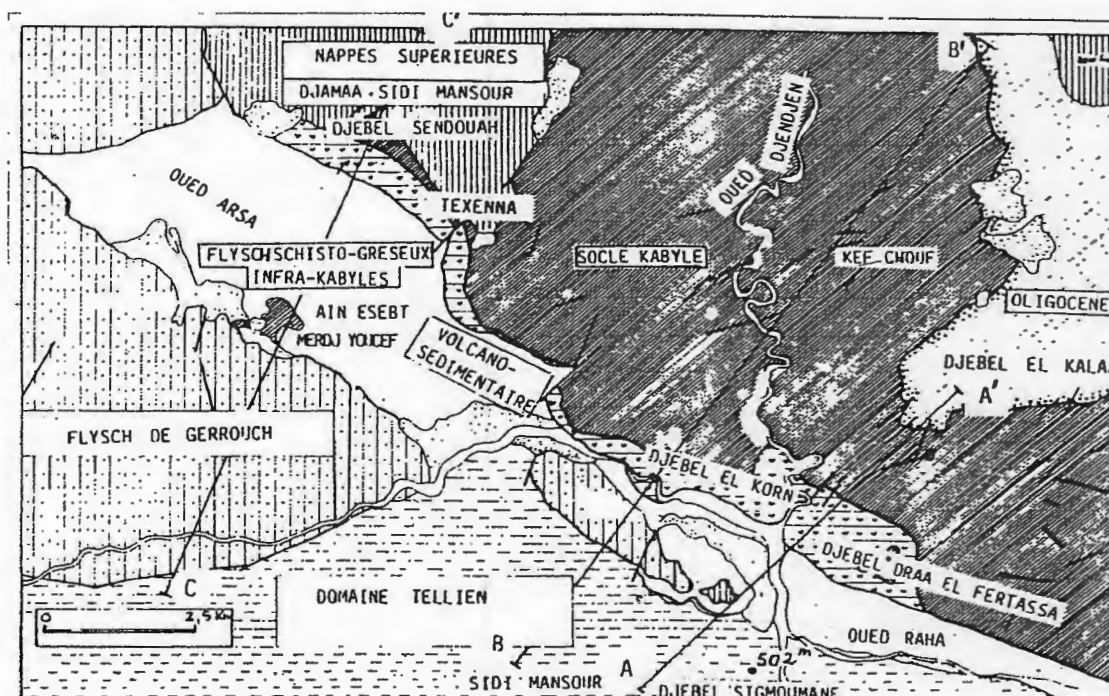
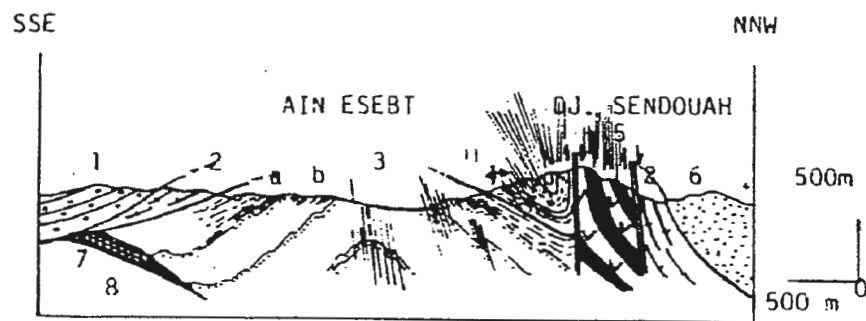


Fig. IV-2 : Carte géologique de la région de Texenna.

(D'après : H.DJELLIT, 1987)

IV-2-2- Structure :

Notre site d'étude se trouve sur une large zone de broyage, d'environ 300m de largeur, s'étendant au dessus de la B.A.D.R jusqu'à l'ancien hôtel aujourd'hui en réfection, due aux accidents qui affectent les formations constituant la région, ainsi que le contact des flyschs au Sud et le Socle Kabyle au Nord. Du fait de ce contact entre ces deux formations qui sont de natures variées et le chevauchement du Socle sur les Flyschs, cette zone est caractérisée par sa faiblesse et sa vulnérabilité aux facteurs de l'érosion. Elle est caractérisée par de grands accidents qui coupent la région suivant différentes directions (N-S et NE-SW). Ces structures (couches, failles) sont difficilement observable sur le site d'études à cause de la forte densité du couvert végétal et l'urbanisation.



- 1.- Flysch de Guerrouch (Néocomien-Sénonien)
- 2.- Copeaux de socle (gneiss, pegmatite, marbre et kinzigite)
- 3.- Flysch schisto-gréseux (Albo-Aptien) à phanites (a) du Cénomanién supérieur et à pélites et grés de l'Albo-Aptien (b)
- 4.- Lamé de flysch schistosé et plissé à faciés Albo-Aptien.
- 5.- Complexe Volcano-Sédimentaire (Jurassique présumé)
- 6.- Molasse à blocs de flysch (Aquitano-Serravallienne)
- 7.- Argiles rouges et gypse (Trias)
- 8.- Avant Pays Tellien : marnes et carbonates.

*Fig. IV-1 : Coupe géologique du Djebel Sendouah (Texenna).
(D'après : H.DJELLIT, 1987)*

IV-2-2- Lithologie :

Les formations rencontrées sur le terrain se résument, de bas en haut par :

- le massif de roches métamorphiques, bien visible par endroits, est constitué principalement par des séricito-schistes. Ce sont des roches plus ou moins verdâtres à noires à intercalations gréseuses (bancs écrasés parfois broyés) de couleur gris clair (boudinage de quartz).
- Produits d'altérations et éboulis de pente constituant la couverture du versant. Ces formations superficielles sont des argiles issues de l'altération des schistes et comprenant une partie importante de débris rocheux de différentes tailles (à cause du broyage) provenant des formations avoisinantes.

IV-2-3- Hydrogéologie :

Le site est sujet à des circulations d'eau importantes notamment du bassin situé en amont.

On a constaté sur le site des venues d'eau ayant un débit en surface important. Preuve faite par la présence de plusieurs sources au dessus du lycée dont celle D'EL-GUEFCHE.

Donc il y'a écoulement sous-terrain sur ce versant. La perméabilité des différentes formations rencontrées sont les suivantes :

- Les grés sont un excellent réseau aquifère et facilitent la circulation d'eau aux différents paliers où ils sont présents.
- Les argiles-marneuses sont imperméables et soutiennent l'aquifère des grés.

Deuxième partie

Chapitre V :

Les différentes méthodes de la reconnaissance des sols

Chapitre V : LES DIFFERENTES METHODES DE LA RECONNAISSANCE DES SOLS.**V-1- Introduction :**

La reconnaissance des sols permet d'appréhender les problèmes qui peuvent se poser lors de l'étude d'un projet de construction ou lors de l'expertise de sinistres. La reconnaissance des propriétés d'un terrain constitue le lien entre la cause d'un sinistre et les remèdes que l'on se propose de mettre en place.

Il y a sommairement, deux catégories de moyens de reconnaissances qui complètent les investigations géologiques de surface :

-Les méthodes d'observation du terrain, soit en place, soit à l'aide d'échantillons (prolongement en profondeur de la géologie de surface) : puits, tranchées, sondages...

-Les méthodes de mesure "in situ" basées sur la mesure d'une propriété physique du terrain, dont font parti les essais géophysiques.

V-2- Les différentes méthodes de reconnaissance des sols :

En général, on peut diviser la reconnaissance des sols en trois grandes méthodes :

V-2-1- La reconnaissance géologique :

C'est l'identification du sol par observation visuelle des différentes couches, confirmée par l'examen des cartes géologiques. On observe donc pour cela des puits, galeries ou tranchées qui donne une coupe généralement "fraîche" de sol. Il est aussi possible d'utiliser des cavités existantes. L'examen des carrières ou des tranchées, situées à proximité de la zone considérée, donne des précisions immédiates sur les sous-couches. La reconnaissance peut s'effectuer à l'aide de sondages dont certains exemples sont décrits au paragraphe de la reconnaissance géotechnique. Il sera possible d'établir des coupes prévisionnelles ou même un bloc diagramme qui pourra être confirmé par les sondages.

V-2-2- La reconnaissance géophysique :

Les méthodes de reconnaissance géophysiques permettent de déterminer la nature des couches profondes en utilisant par exemple leurs caractéristiques magnétiques. Différentes méthodes sont utilisées dans la reconnaissance géophysique, parmi ces méthodes on cite :

- prospection électrique
- prospection sismique
- prospection gravimétrique.

a- Prospection électrique : On cherche entre autre à déterminer la profondeur de discontinuités séparant des terrains de nature sensiblement différente.

Le principe est le suivant : on mesure les valeurs de résistivité du sous-sol relevées aux électrodes réceptrices.

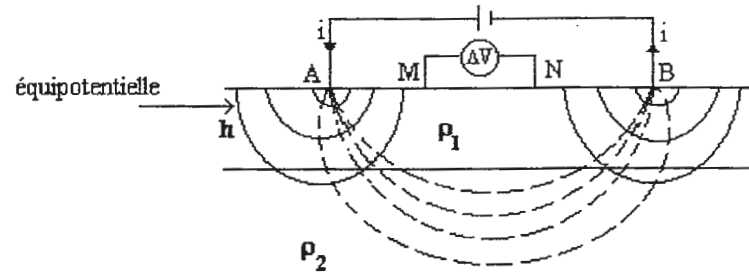


Fig. V-1 : Schéma de la méthode électrique.

b- Prospection sismique : Les méthodes sismiques réflexion et réfraction sont largement utilisées. L'étude des propriétés élastiques des roches, qui fait l'objet de ces méthodes, permet dans des cas favorables de distinguer les roches poreuses ou fracturées des roches compactes, les roches saturées des non saturées, les formations meubles des formations consolidées.

Les mesures portent principalement sur deux paramètres qui sont les trajets suivis dans le sous-sol par l'ébranlement sismique et les vitesses de déplacement des ces ébranlements dans les diverses formations rocheuses.

c- Prospection gravimétrique : La force d'attraction newtonienne $F = Gm_1m_2/r^2$, provoque sur toute masse placée près de la surface du globe terrestre une accélération g , dite accélération de la pesanteur ou simplement pesanteur. Si la Terre était isolée dans l'espace, parfaitement ronde, immobile et formée de couches concentriques latéralement homogènes, g aurait partout la même valeur. Or il n'en est rien, la pesanteur varie d'un point à l'autre. Ces variations ont des causes diverses que l'on peut regrouper en causes non géologiques et causes géologiques.

V-2-3- La reconnaissance géotechnique :

V-2-3-1- Les essais « in situ » :

a- Le pénétromètre dynamique : Il permet la détermination de la **résistance mécanique d'un sol**. Une pointe métallique portée par un train de tiges pénètre dans le sol par battage successif. On mesure ensuite à intervalles d'enfoncement régulier, l'énergie nécessaire correspondante.

L'appareil consiste en une enclume de masse M tombant d'une hauteur fixe H , et avec une vitesse initiale nulle. Le mouton frappe l'enclume solidaire du train de tiges et produit ainsi l'enfoncement de la pointe. On relève le nombre de coups (N_d) nécessaire pour faire pénétrer la pointe sur une hauteur h .

La résistance dynamique apparente (Q_d) est calculée par la formule des hollandais :

$$Q_d = \frac{M}{M + M'} \times \frac{M \cdot g \cdot h}{A \cdot e}$$

Où :

M' : masse frappée (somme des masses enclume+tiges+tige guide+pointe)

A : surface de la plus grande section droite de la pointe

g : accélération de la pesanteur

e : intervalle moyen d'enfoncement égal à h/N_d .

Les essais au pénétromètre dynamique sont conduits jusqu'au **refus**. C'est à dire jusqu'à ce que la pointe rencontre un niveau suffisamment dur pour qu'elle ne puisse s'enfoncer davantage. Les résistances mesurées rendent compte de la résistance sur la pointe et du coefficient de frottement le long du train de tiges et permettent de faire des calculs de fondations (normale ou sur pieux) et de tassement à partir de l'étude statistique des résultats obtenus. Des abaques permettent de transformer cet essai en indication de portance.

Les résultats sont généralement exprimés sous la forme de diagramme en barre (Q_d en fonction de la profondeur) et peuvent ainsi être plus facilement exploitables par recoupement sur un même profil d'essais "in situ" de nature différente (type sondage à la tarière).

b- Le pénétromètre statique : Il permet d'enfoncer, à vitesse lente et constante (0,5 à 2 cm par seconde) des tiges munies d'une pointe à leur extrémité. Il est conçu pour mesurer le frottement latéral sur les tubes extérieurs qui entourent la tige centrale et les efforts sous la pointe. La transmission des efforts reçus par la pointe peut être effectuée soit par des tiges (pénétromètre hollandais, Meurisse ou Andina), soit par un système hydraulique (pénétromètre Parez) jusqu'aux manomètres placés en surface. On peut également mesurer les efforts subis par la pointe du pénétromètre à l'aide de jauges de contrainte (pénétromètre électrique Fugro).

Prenons l'exemple du pénétromètre hollandais. A l'intérieur d'un tube extérieur absorbant le frottement latéral, coulisse des tiges transmettant les pressions aux appareils de mesure composés de têtes hydrauliques ou de manomètres. Le dispositif permet de dissocier le frottement latéral de la résistance à la pointe.

Mais à côté de ces évaluations directes de la capacité portante, le pénétromètre statique permet aussi une détermination de la cohésion. On rappelle enfin que le pénétromètre, permet aussi, une évaluation du module oedométrique.

Pour prévenir tout risque de tassement différentiel, le pénétromètre statique est utilisé pour le contrôle du compactage de couches de remblais. Les diagrammes de pénétration statique mettent en évidence, d'une manière très claire, soit les couches où les remblais de bonne qualité ont été remplacés accidentellement par des remblais argileux, soit, lorsque la qualité des matériaux est correcte, les zones qui ont été moins bien compactées.

Les avantages de la pénétration statique et dynamique ont été réunis en un seul appareil (pénétromètre statique dynamique). Tant que les couches traversées n'offrent pas une forte résistance importante, l'essai est réalisé en statique. Cependant, dès que l'appareil est bloqué, on poursuit l'essai en dynamique. Et si la résistance décroît ultérieurement, il est possible de reprendre en statique.

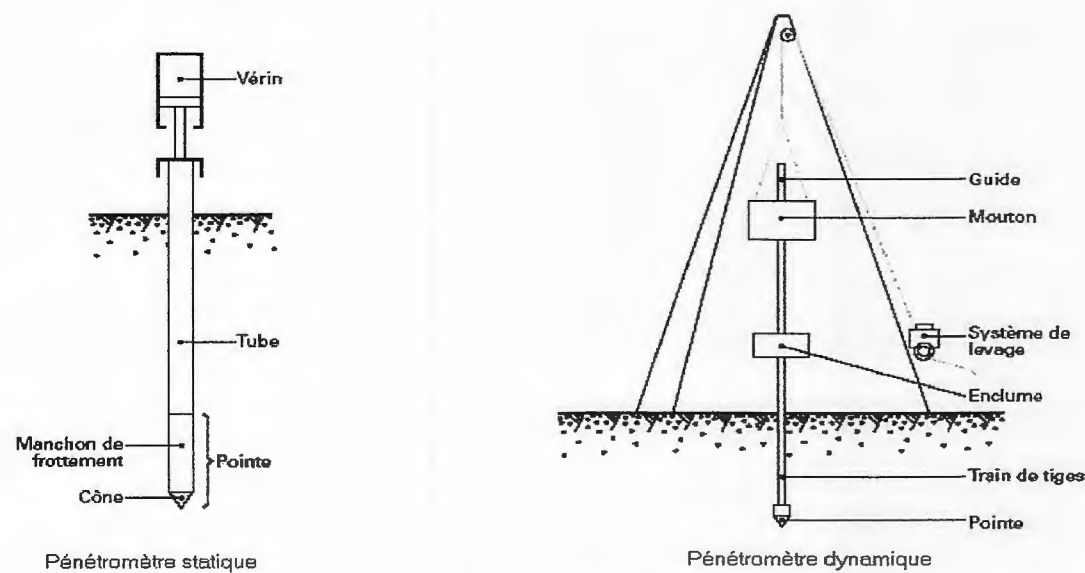


Fig. V-2 : Schéma des pénétromètres Statique et Dynamique.

c- Les sondages destructifs : Ils sont destinés à l'acquisition de données. Les paramètres sont enregistrés soit sur cassettes soit sur diagrammes directement exploitables sur le chantier. Liste des paramètres non exhaustifs :

- la vitesse instantanée d'avancement V.I.A.
- la pression sur l'outil P.O.
- le couple de rotation C.R.
- la pression de frappe P.F.
- le temps

L'appareil permet après étalonnage sur un sondage carotté ou à la tarière et interprétation des enregistrements, de retrouver et situer avec précision les différentes couches traversées, de détecter les hétérogénéités à l'intérieur d'une même couche, de localiser les cavités ou les blocs.

Le drill percute le sol en effectuant une rotation sur lui-même. Les tiges s'agencent les unes aux autres. Elles sont creuses et permettent la circulation d'un jet liquide sous pression aidant à la destruction et à la remontée des tiges. Le forage peut ensuite être exploité par un essai pressiométrique que nous décrirons plus bas.

Les résultats ou diagraphies obtenus se présentent sous forme de colonnes en fonction de la profondeur.

d- Le pressiomètre de Ménard : On mesure simultanément les variations de volume du sol au contact de la sonde cylindrique gonflable et la variation de pression appliquée dans la cellule. La sonde est constituée de trois cellules dont seule la cellule centrale sert à la mesure. Les deux cellules de garde doivent créer un champ de contrainte cylindrique sur la hauteur de la cellule de mesure. Elles sont constamment à la même pression que la cellule de mesure.

Les pressions sont obtenues par injection de gaz dans les cellules et lues à des manomètres. Un tube gradué contenant de l'eau en contact avec la sonde centrale permet la mesure des variations de volume directement sur une règle graduée. Les pressions augmentent par paliers successifs. A chaque palier, les lectures de volume sont effectuées au bout de 15s, 30s, 1min, 2min. L'étude du fluage se fait par comparaison des valeurs à 30s et 2min.

On obtient une courbe pressiométrique corrigée qui se décompose en trois parties. La première caractérise la recompaction du sol sous l'effet de la pression. La seconde est assimilée à une évolution linéaire du domaine pseudo élastique. La troisième est le domaine pseudo plastique.

L'essai est répété à différentes profondeurs. On déduit trois paramètres :

-**le module de pression (Ep)** : définit le comportement pseudo élastique du sol

-**la pression de fluage (Pf)** : à partir de laquelle les tassements différés prennent une valeur importante par rapport aux tassements instantanés.

-**la pression limite (Pl)** : résistance du sol à la rupture.

Le module de pression est exprimé par la formule suivante :

$$E_p = K \times \frac{\Delta P}{\Delta V}$$

ΔP et ΔV : sont respectivement les variations de pression et de volume dans la phase pseudo-élastique.

K : le coefficient dépendant du type de sonde, du volume moyen V_m .

V₀ : volume de la cellule au repos

V_m : volume de liquide introduit dans les cellules pour la pression moyenne appliquée. L'appareillage est adapté à l'étude des problèmes de fondation sur pieux en terrain meuble ou tendre. Il permet également de réunir les données nécessaires pour le calcul de la stabilité d'un talus dans un matériau homogène.

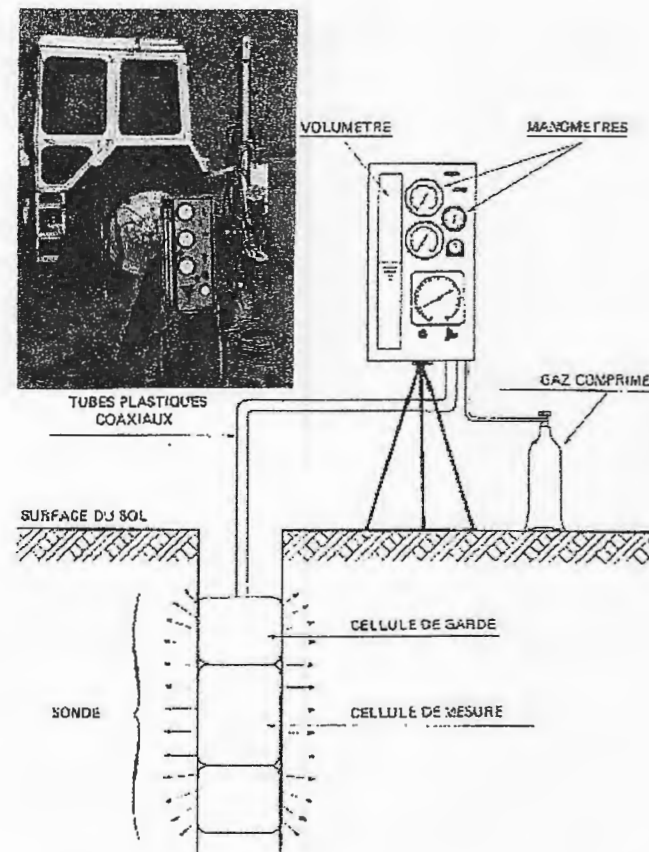


Fig. V-3 : Schéma d'un pressiomètre Ménard.

e- Le scissomètre : Il consiste à mesurer dans les argiles molles saturées le **couple de torsion** nécessaire pour faire tourner un cylindre de terrain autour d'un axe de symétrie vertical au moyen de deux plaques rectangulaires, identiques, enfoncées préalablement dans la couche à étudier, formant quatre dièdres droits ayant pour arête commune verticale l'arbre de torsion. Dans la rotation, les bords de la plaque engendrent une surface de révolution. Aucun drainage de l'eau n'est possible, l'essai donc doit être assimilé à un essai non drainé. La contrainte de cisaillement développée en tous points sur la surface de révolution est à l'origine d'un couple résistant qui est égal, lors du glissement au moment de torsion exercé.

V-2-3-2- Les essais au laboratoire :

a- Teneur en eau naturelle : Elle définit le rapport en % du poids d'eau W_w que le sol contient au poids W_d de ses éléments secs. L'obtention des éléments secs s'obtient par dessiccation du sol pendant 24 heures à l'étuve à 105°C .

b- Analyse granulométrique : Elle permet de déterminer la distribution dimensionnelle en poids des éléments d'un matériau. Elle comprend deux opérations:

- tamisage pour les éléments de dimensions supérieures ou égales à 80 m m.
- sédimentométrie pour les éléments de dimensions inférieures à 80 m m.

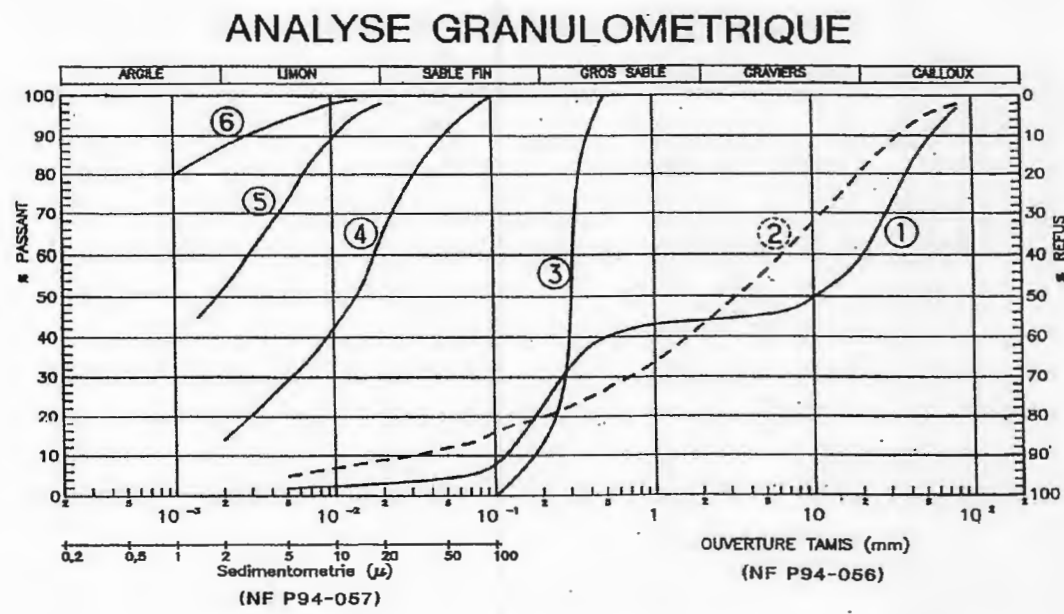


Fig. V-4 : Exemples de courbes granulométrique.

- Courbe 1 :** granulométrie étalée et discontinue (alluvions de sable et de gravier).
- Courbe 2 :** granulométrie étalée et continue (arène granitique).
- Courbe 3 :** granulométrie serrée (sable de Fontainebleau).
- Courbe 4 :** limon argileux.
- Courbe 5 :** argile limoneuse.
- Courbe 6 :** argile pratiquement pure (bentonite), le sol comportant 87 % d'argile inférieure à $2\mu\text{m}$.

c- Les limites d'Atterberg : Ce sont des paramètres géotechniques destinés à identifier un sol et à caractériser son état au moyen de son indice de consistance. Par définition, les limites d'Atterberg (limites de liquidité et de plasticité) sont les teneurs en eau pondérales correspondantes à des états particuliers d'un sol. Elles visent à déterminer le domaine hydrique dans lequel un sol argileux a un comportement plastique.

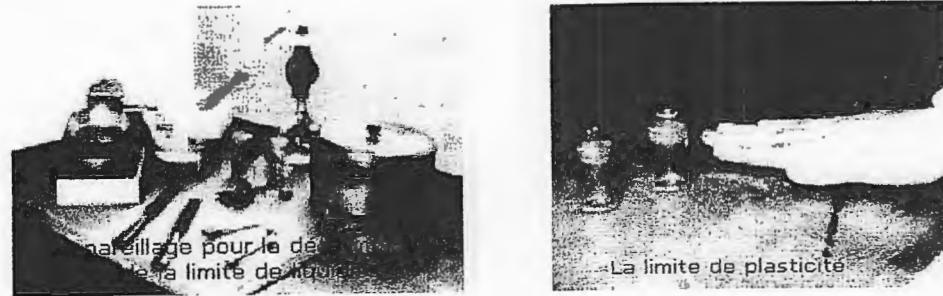


Fig. V-5 : Appareillage des essais pour la détermination des limites de plasticité et de liquidité.

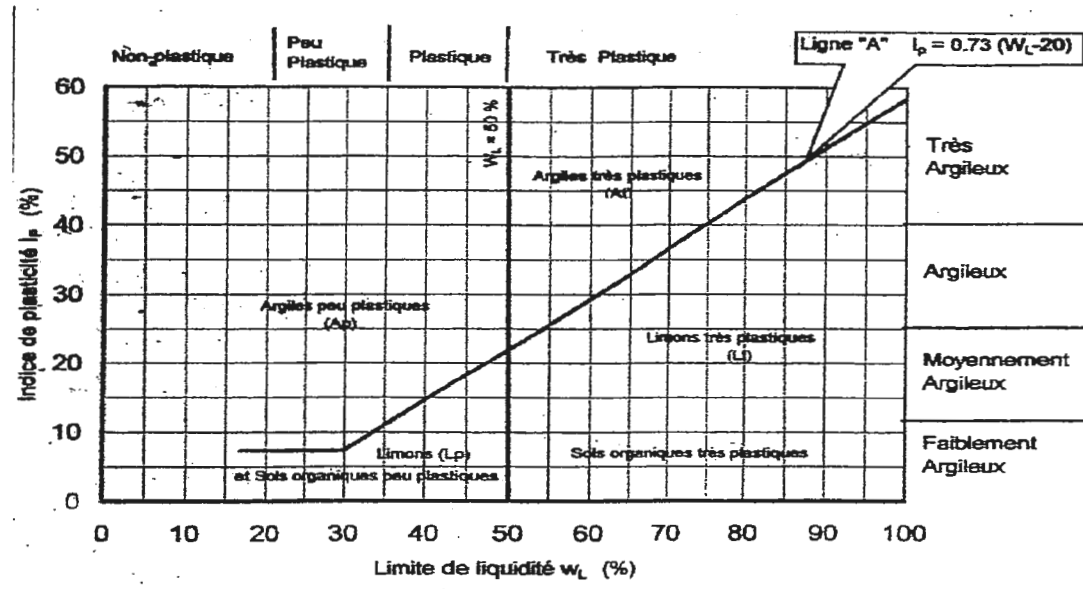


Fig. V-6 : Classification des sols fins par le diagramme de Casagrande.

d- Les essais de cisaillement : La boîte de Casagrande est constituée de deux demi coquilles sur lesquelles on exerce perpendiculairement au plan de jonction des deux demi coquilles, une pression. L'échantillon, comprimé subit une compaction, c'est à dire qu'il perd une certaine proportion d'eau. L'une des deux coquilles étant fixe, on exerce alors une pression latérale, tendant à faire glisser l'autre parallèlement à leur séparation. En augmentant progressivement cette contrainte, on constate que la résistance de l'échantillon croît, passe par un maximum, puis décroît jusqu'au moment où se produit la rupture. L'usage de cet essai est notamment approprié pour l'étude des glissements de terrain.

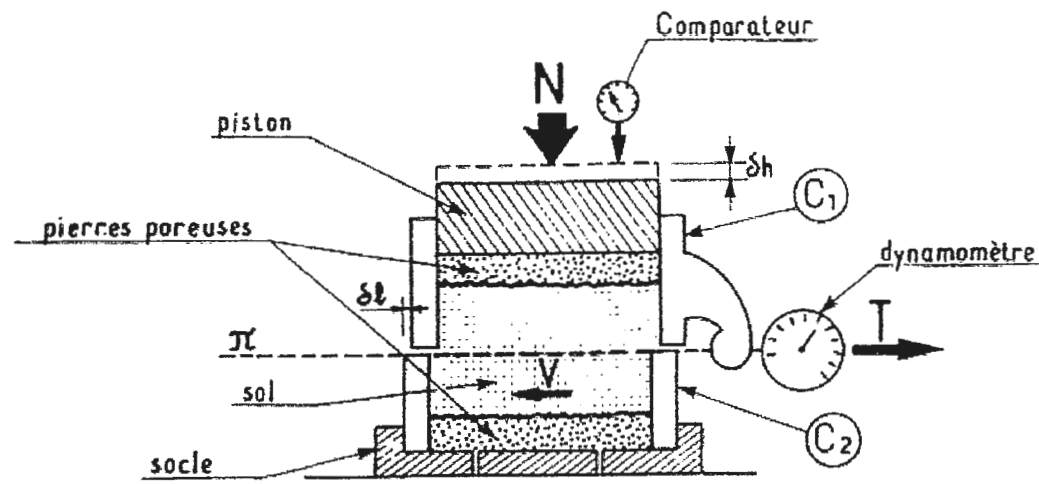


Fig. V-7 : Appareil de Casagrande.

e- Les essais de compactage : Ils ont pour but d'étudier l'influence de la teneur en eau d'un échantillon de sol sur le poids volumique sec de cet échantillon soumis à une énergie de compactage déterminée. Le principe consiste à compacter avec une énergie définie un échantillon de sol remanié dans un moule normalisé et à mesurer le poids volumique sec obtenu. L'essai est recommencé pour différentes teneurs en eau. Il existe deux types d'essai d'usage courant : l'essai Proctor Normal et l'essai Proctor Modifié.

Les résultats se présentent sous la forme d'une courbe dont en abscisse : la teneur en eau et en ordonnée : le poids volumique sec. Cette courbe a un maximum dit "Optimum Proctor" normal ou modifié selon la nature de l'essai. Ce maximum définit la teneur en eau et le poids volumique max.

f- L'essai oedométrique : Un échantillon de sol est placé dans une boîte cylindrique rigide de section circulaire entre deux pierres poreuses assurant son drainage. Un piston permet d'appliquer sur l'échantillon une contrainte verticale uniforme constante pendant un temps déterminé. On peut établir des courbes de compressibilité (indice des vides en fonction de la contrainte) et de consolidation (variation relative de tassement en fonction du logarithme du temps). On classe les sols à partir de la comparaison avec les valeurs suivantes :

- $C_c / (1+e_0) < 0,015$: sol incompressible.
- $0,015 < C_c / (1+e_0) < 0,05$: sol peu compressible.
- $0,05 < C_c / (1+e_0) < 0,20$: sol moyennement compressible.
- $C_c / (1+e_0) > 0,20$: sol très compressible.

Avec : C_c : Indice de compression.

e_0 : Indice des vides initial.

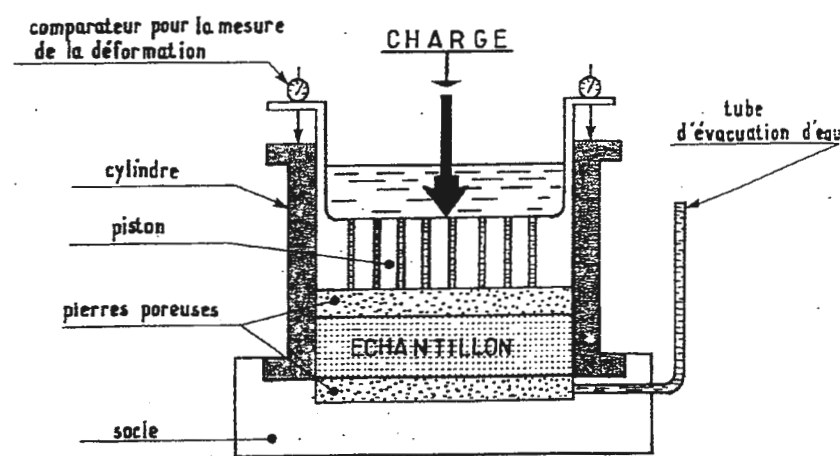


Fig. V-8 : Schéma de l'appareil oedométrique.

Chapitre VI :

***Programme de
reconnaissance géotechnique***

Chapitre VI : PROGRAMME DE RECONNAISSANCE GEOTECHNIQUE.**VI-1 Introduction :**

Après avoir passé en revue les différentes méthodes, utilisées pour la reconnaissance des sols (chapitre précédent), 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 terrain qui va recevoir le lycée et ses annexes, ainsi que la capacité portante du sol en place.

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

Le terrain objet de cette étude est situé dans la partie supérieure du terrain d'assiette qui est un très terrain accidenté et très pente, le relief initial du terrain a été modifié lors de travaux antérieurs. On note la présence de talus en déblais et de talus en remblais, surtout sur la partie située en face du siège de la B.A.D.R. En dehors de cette zone, le terrain est plus au moins accidenté, l'angle d'inclinaison des talus naturels est de l'ordre de 23° en moyenne.

VI-3- Reconnaissance des sols :**VI-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 Skikda, a programmé et réalisé les travaux suivants :

a- In situ :

- Trois (03) sondages carottés avec prélèvements d'échantillons intacts et remaniés.
- Cinq (05) essais de pénétration dynamique au pénétromètre dynamique lourd de type

BORRO.

- **Remarque :** Les courbes des essais pénétrométriques et des sondages carottés sont jointes en Annexe A.

b- Au laboratoire :

Les échantillons prélevés lors des travaux de sondages carottés ont été soumis aux essais de laboratoire suivants :

- Analyse granulométrique et sédimentométrique.
- Détermination des limites d'Atterberg :
 - * limite de liquidité W_L (%).
 - * limite de plasticité I_p (%).
- Détermination de :
 - * la densité sèche et de la densité humide du sol γ_d/γ_h .
 - * la teneur en eau W_n (%).

- Essai de cisaillement rectiligne non consolidé non drainé, pour déterminer les caractéristiques mécaniques du sol a savoir :

- * la cohésion apparente C_u (bar).
- * l'angle de frottement interne φ (°).

- Essai de compressibilité a l'oedometre pour déterminer :

- * la contrainte de pré consolidation σ_c (bar).
- * l'indice de compressibilité C_c (%).
- * l'indice de gonflement C_g (%).

- Analyse chimique sommaire (Sulfates, Carbonates, Chlorures).

➤ **Remarque** : Les résultats et courbes des essais de laboratoire sont joints en Annexe A.

VI-3-2- Interprétation des essais in situ :

a- Coupes des sondages carottés :

Les coupes lithologiques établies lors des sondages carottés, montrent que le sol est formé d'**argile limoneuse jaunâtre**. On note la présence d'une couche importante de remblais d'une épaisseur d'environ **8.80m** (Sc2).

b- Courbes pénétrométriques :

La série d'essais pénétrométriques, réalisés sur le site, montre que le terrain est homogène. On note pour les points P_1 et P_2 , la présence d'une couche d'une épaisseur d'environ 6.0m de résistance relativement faible, cette couche représente la couche de remblais, dont la résistance de la pointe R_p varie entre : **12 et 75 bars** ($12 < R_p < 75$).

Par contre, la résistance de pointe du terrain naturel augmente avec la profondeur.

On note que quelques essais présentent des refus a des profondeurs faibles.

VI-3-3- Interprétation des essais au laboratoire :

VI-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 %**.

VI-3-3-2- Plasticité :

Au vu des valeurs obtenues a partir de l'essai de plasticité (limites d'Atterberg : limite de liquidité et indice de plasticité), et d'après le diagramme de **Casagrande** le sol appartient la catégorie des **argiles inorganiques plastiques à très plastiques**.

VI-3-3-3- Densité sèche et teneur en eau :

La densité sèche varie entre 1.65 et 1.83 et la teneur en eau est comprise entre 14% et 22%, le sol est donc **dense moyennement humide**.

VI-3-3-4- Caractéristiques de la résistance au cisaillement :

Les valeurs obtenues de l'angle de frottement interne ϕ varient entre 15° et 35° et la cohésion C entre 0.12 bars et 0.40 bars.

Pour les besoins de calcul, on a prit les valeurs suivantes :

- $\phi = 15^\circ$
- $C_u = 0.32$ bars

Le calcul de stabilité sera effectué sur la base de l'hypothèse la plus défavorable, donc le cas d'une **argile molle**, les valeurs réduites sont les suivantes :

$$\text{tg } \phi'' = 2/3 \text{ tg } \phi \rightarrow \phi'' = 10^\circ$$

$$C'' = 2/3 C \rightarrow C'' = 0.21 \text{ bars}$$

VI-3-3-5- Caractéristiques oedométriques :

a- Calcul de la compressibilité du sol :

*** Sondage N° 2 ; Echantillon : 04 ; Profondeur : 3,50-6,00 m.**

$$\frac{C_c}{1+e_0} = \frac{0,28 \times 2}{1+0,73} = 0,163 \quad , \quad \text{avec : } \begin{cases} C_c = 28,2 \% \\ e_0 = 0,73 \end{cases}$$

$0,05 < C_c / (1+e_0) < 0,20 \Rightarrow$ *Sol moyennement compressible.*

*** Sondage N° 2 ; Echantillon : 04 ; Profondeur : 6,00-9,00 m.**

$$\frac{C_c}{1+e_0} = \frac{0,118}{1+0,69} = 0,070 \quad , \quad \text{avec : } \begin{cases} C_c = 11,8 \% \\ e_0 = 0,69 \end{cases}$$

$0,05 < C_c / (1+e_0) < 0,20 \Rightarrow$ *Sol moyennement compressible.*

*** Sondage N° 3 ; Echantillon : 04 ; Profondeur : 0,00-2,50 m.**

$$\frac{C_c}{1+e_0} = \frac{0,136}{1+0,686} = 0,081 \quad , \quad \text{avec : } \begin{cases} C_c = 13,6 \% \\ e_0 = 0,686 \end{cases}$$

$0,05 < C_c / (1+e_0) < 0,20 \Rightarrow$ *Sol moyennement compressible.*

*** Sondage N° 3 ; Echantillon : 04 ; Profondeur : 2,50-4,50 m.**

$$\frac{C_c}{1+e_0} = \frac{0,174}{1+0,705} = 0,102 \quad , \quad \text{avec : } \begin{cases} C_c = 17,4 \% \\ e_0 = 0,705 \end{cases}$$

$0,05 < C_c / (1+e_0) < 0,20 \Rightarrow$ *Sol moyennement compressible.*

*** Sondage N° 3 ; Echantillon : 04 ; Profondeur : 4,50-6,50 m.**

$$\frac{C_c}{1+e_0} = \frac{0,162}{1+0,682} = 0,096 \quad , \quad \text{avec : } \begin{cases} C_c = 16,2 \% \\ e_0 = 0,682 \end{cases}$$

$0,05 < C_c / (1+e_0) < 0,20 \Rightarrow$ *Sol moyennement compressible.*

*** Sondage N° 3 ; Echantillon : 04 ; Profondeur : 6,50-8,50 m.**

$$\frac{C_c}{1+e_0} = \frac{0,133}{1+0,698} = 0,078 \quad , \quad \text{avec : } \begin{cases} C_c = 13,3 \% \\ e_0 = 0,698 \end{cases}$$

$0,05 < C_c / (1+e_0) < 0,20 \Rightarrow$ *Sol moyennement compressible.*

Les indices de compressibilité varient entre 11% et 17%, donc le sol est moyennement compressible, sauf pour le sondage Sc₂ où C_c = 28% (remblais non compacté).

VI-3-3-6- Analyse chimique :

Les résultats des analyses chimiques, sommaires effectuées sur des échantillons prélevés sur le terrain, sont données dans le tableau suivant :

Résultats exprimés en pourcentage (%) de poids					
Sondage n°	Profondeur (m)	Sulfates SO_4	Carbonates $CaCO_3$	Chlorures Cl^- Solubles dans l'eau	Matières organiques
02	1.00-2.50	0.30	0.48	0.39	—
02	2.50-4.50	Traces	Traces	0.25	—

Selon la norme NF P 18-011 du 06-92, l'agressivité des sols est faible. Donc, l'utilisation de tous types de ciment pour l'infrastructure est possible.

- **Remarque :** les analyses chimiques et leurs résultats ont été obtenues auprès du L.N.H.C Skikda.

Chapitre VII :

Les glissements de terrain

Chapitre VII : LES GLISSEMENTS DE TERRAIN.**VII-1- Introduction :**

Les glissements de terrain sont des accidents graves, parfois de grande ampleur, se produisent soudainement ou peuvent durer plusieurs mois. Ils affectent aussi bien des ouvrages construits par l'homme que des pentes naturelles.

La rupture prend plusieurs formes. Elle se produit sous l'action mécanique d'un écoulement d'eau ou parce que le terrain a été progressivement lessivé par une eau pauvre en cations.

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. (G. SANGLERAT et G. OLIVARI, 1983)

VII-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, 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 fortement sismiques.
- 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.

VII-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 (pendage des douches, circulations d'eau, etc.).

La classification n'est pas une fin en soit, mais un moyen de dénombrer les principaux types de mouvements.

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

VII-3-1- Pentes naturelles :

- les glissements :
 - * glissement plan ;
 - * glissement rotationnel simple ;
 - * glissement rotationnel complexe ;
 - écroulements.
 - fluages et solifluxions.
 - coulées boueuses.

VII-3-2- 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. : III-1)
- Talus en remblais sur sol compressible. (Fig. : III-1)
- Talus en remblais sur sol compressible. (Fig. : III-2)
- Ouvrages de soutènement vis-à-vis d'un glissement profond. (Fig. : III-3)
- Stabilité des digues et barrages en terre.

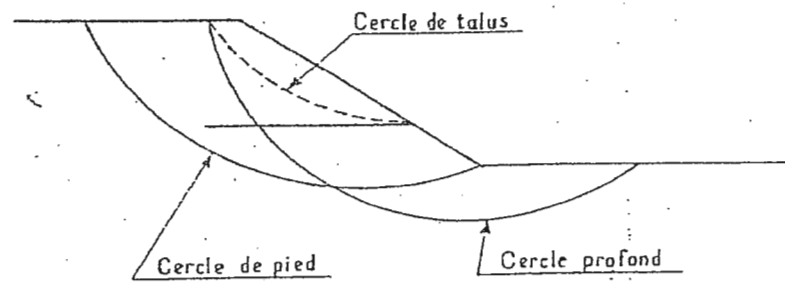


Fig. VII-1 : Différents types de rupture circulaire.

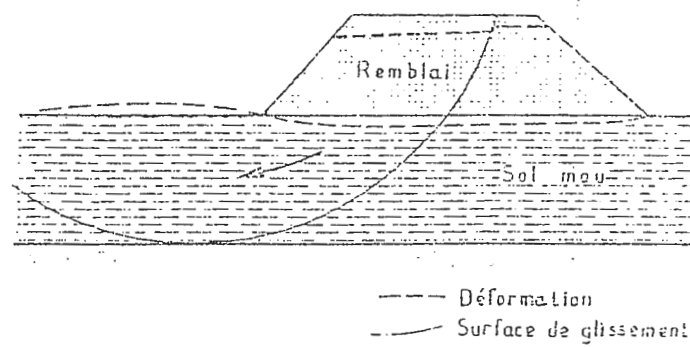


Fig. VII-2 : Remblai sur sol mou.

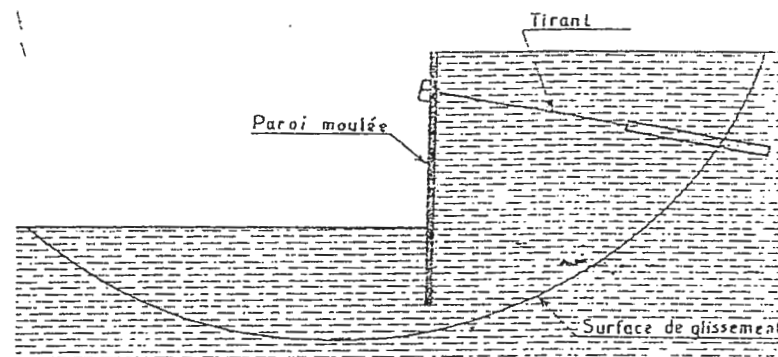


Fig. VII-3 : Rupture circulaire sous un soutènement.

VII-4- Description des principaux types de mouvement :

VII-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.

- **glissement plan** : qui s'effectue le long d'une surface de rupture sensiblement plane. (Fig. : III-4)

- **glissement rotationnel simple** : est le plus fréquent. La surface de rupture a une forme simple semblable à un cylindre. (Fig. : III-5)

- **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. : III-6)

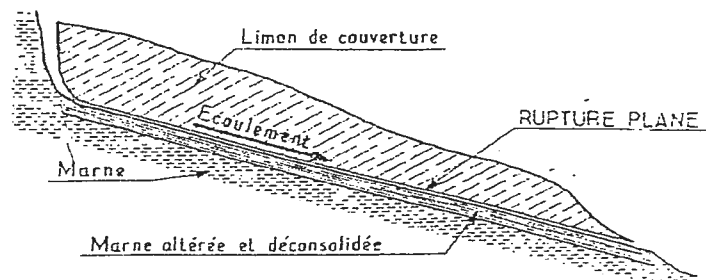


Fig. VII-4 : Glissement plan.

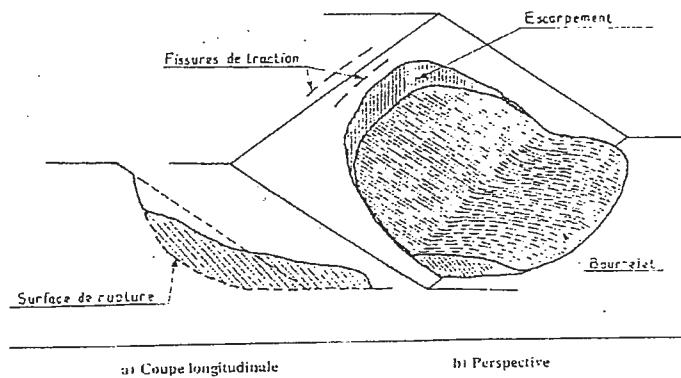


Fig. VII-5 : Glissement rotationnel.

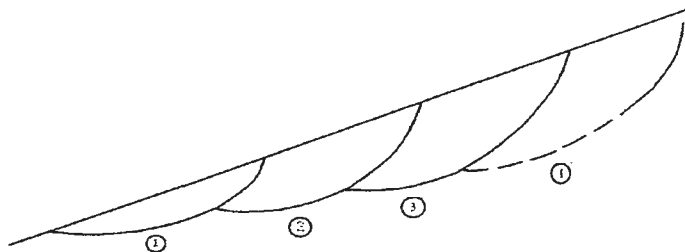


Fig. VII-6 : Glissements successifs emboîtés.

VII-4-2- Ecrolements :

Concernent les massifs rocheux plus ou moins fracturés, qui vont se rompre progressivement par fauchage, tassement, basculement, rupture de bancs rocheux, ...etc.

VII-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. : III-7)

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.

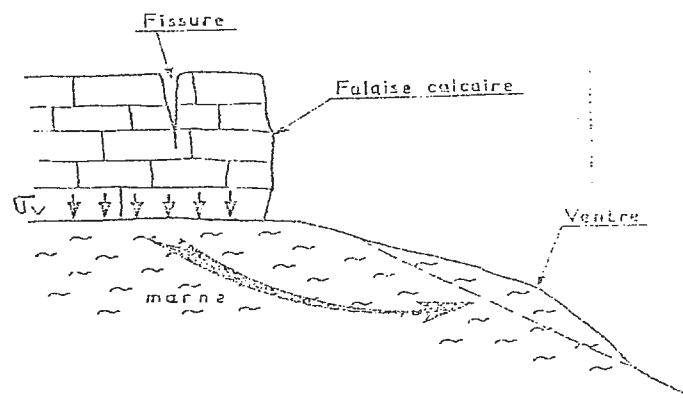


Fig. VII-7 : Exemple de fluage.

VII-4-4- Coulées boueuses :

Dues à d'importantes infiltrations d'eau, transportant des matériaux solides. Elles se produisent surtout en montagne. (G. PHILIPPONAT et B. HUBERT, 2003)

Chapitre VIII :
Calcul de stabilité

Chapitre VIII: CALCUL DE STABILITE.**VIII-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.
- et 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. (A. BENAÏSSA, 2003)

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.

Dans notre étude, on va travailler avec la :

- Méthode des tranches de **Fellenius** et celle de **Bishop** (simplifiée).

VIII-2- Stabilité en rupture circulaire avec coefficient de sécurité global :**VIII-2-1- Méthode des tranches de Fellenius :****VIII-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, ϕ_i, γ_i .

On veut déterminer le coefficient de sécurité vis-à-vis du glissement (F_s), il est défini : (G. PHILIPPONAT et B. HUBERT, 2003)

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

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. : VIII-1).

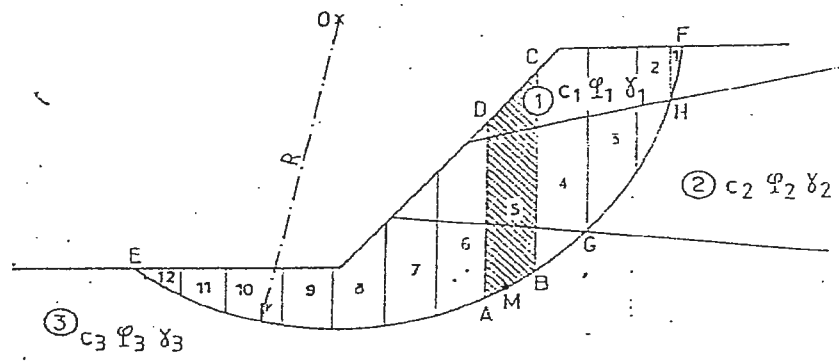


Fig. VIII-1 : Découpage en tranches d'un talus.

- **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. VIII-2.a)

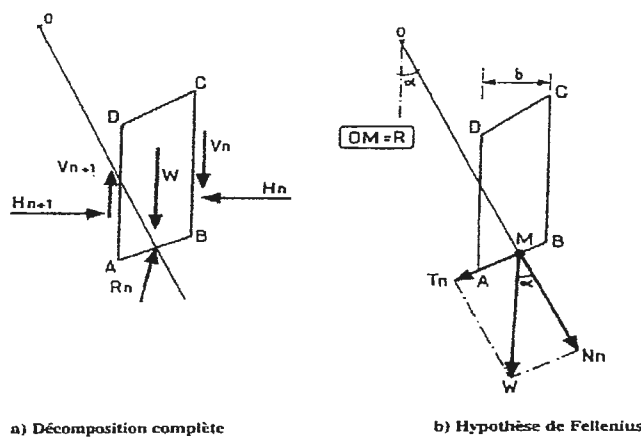


Fig. VIII-2 : Forces agissantes sur la tranche n.

- W_i : poids de la tranche n.
 Se décompose en $\left\{ \begin{array}{l} \text{une force normale (Nn) .} \\ \text{et une force tangentielle (Tn) } \end{array} \right.$
- R_n (force résistante) : résistance du sol due à sa cohésion et son angle de frottement interne.
- Les réactions sur les forces 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. : VIII-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, ϕ_i : caractéristiques mécaniques de la couche dans laquelle se trouve AB .

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

Avec :

$$\begin{cases} N_n = W \cos \alpha \\ T_n = W \sin \alpha \\ L = AB = b / \cos \alpha \end{cases}$$

- Cas d'un sol hétérogène (C_i, ϕ_i) :

La formule VIII-1 devient : $F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=m} \left[C_i \cdot \frac{b}{\cos \alpha} + W \cdot \cos \alpha \cdot \tan \phi_i \right]}{\sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \sin \alpha} \dots\dots\dots \text{VIII-2}$

- Cas d'un sol homogène ($C, \phi = \text{cte}$) :

La formule VIII-2 devient : $F_s = \frac{C \cdot \frac{b}{\cos \alpha} + \tan \phi \cdot \sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \cos \alpha}{\sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \sin \alpha} \dots\dots\dots \text{VIII-3}$

➤ **Remarque :**

Les Paramètres géométriques intervenant dans le calcul de F_s sont :

- b : la largeur des tranches.
- α : l'angle orienté que fait le rayon du cercle passant par le milieu de la base de la tranche avec la verticale .
- la hauteur de la tranche pour le calcul du poids (W).

VIII-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 : (G. PHILIPPONAT et B. HUBERT, 2003)

$$\tau = C + (\sigma - U) \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

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. : IV-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

$$\text{On a donc } U = (Z_n - Z_m) \gamma_w .$$

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 :

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

N et T : les composantes normale et tangentielle sur l'arc AB du poids w de la tranche ABCD ((Fig. : IV-4)

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

$$C \cdot AB + (N - U \cdot AB) \operatorname{tg} \varphi$$

La somme des moments résistants pour toutes les tranches :

$$\sum_{n=1}^{n=m} [C_i \cdot AB + (N - U \cdot AB) \operatorname{tg} \varphi]$$

La formule devient :

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=m} \left[C_i \frac{b}{\cos \alpha} + \left(W \cdot \cos \alpha - \frac{U \cdot b}{\cos \alpha} \right) \operatorname{tg} \varphi_i \right]}{\sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \sin \alpha}$$

$$\Rightarrow F_s = \frac{C_i \cdot \frac{b}{\cos \alpha} + \operatorname{tg} \varphi_i \sum_{n=1}^{n=m} \left(W \cdot \cos \alpha - U \cdot \frac{b}{\cos \alpha} \right)}{\sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \sin \alpha}$$

VIII-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 : (G. PHILIPPONAT et B. HUBERT, 2003)

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=m} [C_i \cdot b + W \cdot \operatorname{tg} \varphi_i] \times \frac{1}{\cos \alpha (1 + \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi_i / F)}}{\sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \sin \alpha}$$

VIII-3- 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.

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.

VIII-4- 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 stabilité.

▪ 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** – méthode de **Bishop**).

La méthode de **Fellenius** donne généralement des F_s plus faibles que la méthode de **Bishop**, les écarts peuvent atteindre 10 % . (G. PHILIPPONAT et B. HUBERT, 2003)

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

Il faut attacher au coefficient de sécurité global une valeur probabiliste. Les spécialistes ont : Le talus reste toujours stable si : $F_s > 1.5$

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

Le talus est douteux si : $1 \leq F_s \leq 1.5$ (A. BENAÏSSA, 2003)

➤ **Remarque** : Dans notre cas, il s'agit d'un glissement circulaire (Voir Photos Annexe C)

VIII-5- Angle d'égale stabilité :

VIII-5-1- Introduction :

Pour assurer la stabilité d'un talus, ayant une certaine pente ou inclinaison, on peut calculer « l'angle d'égale stabilité » en utilisant des formules ou des abaques (Taylor et Biarez), en relation avec les caractéristiques du sol (angle de frottement interne : φ et la cohésion : C).

A partir de ce calcul, on peut trouver un certain angle pour lequel la stabilité des talus est généralement assurée, ce qui permettra d'agir sur certains talus à risques, en diminuant leur angle d'inclinaison.

VIII-5-2- Méthodes de calcul de l'angle d'égal stabilité :

Les deux paramètres essentiels pour le calcul de l'angle de frottement interne sont :

* la cohésion (C)

* l'angle de frottement interne (φ)

Plusieurs notations existent pour ces deux paramètres et l'utilisation des indices peut conduire à une confusion des données, mais en général les auteurs parlent de contraintes effectives et contraintes totales.

Brinch Hansen et Biarez ont posé dans un certain nombre de cas :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{tg } \varphi' = \text{tg } \varphi / F_{\varphi} \\ \text{et} \\ C' = C / F_C \end{array} \right.$$

Dans ces formules φ et C représentent les caractéristiques réelles du matériau, φ' et C' les caractéristiques réduites. (G. SANGLERAT et G. OLIVARI, 1983)

Pour éviter toute confusion avec les caractéristiques effectives, une deuxième manière d'évaluer la marge de sécurité consiste à remplacer les caractéristiques réduites φ'' et C'' pour lesquelles le talus sera sur le point de se rompre (état d'équilibre limite).

On définit ainsi deux coefficients de sécurité, l'un par rapport à la cohésion, l'autre par rapport au frottement interne :

$$F_C = \frac{C}{C''} \quad \text{et} \quad F_\varphi = \frac{\text{tg}\varphi}{\text{tg}\varphi''}$$

La figure (Fig. :) montre les nouvelles droites de coulomb sur lesquelles doivent se placer les points représentatifs des contraintes sur la ligne de glissement.

Puisque le massif est en équilibre limite pour les valeurs réduites φ'' et C'' , on peut écrire :

$$r \int_c^A (C'' + \sigma' \text{tg}\varphi'') ds = r \int_c^A \left(\frac{C}{F_C} + \frac{\sigma' \text{tg}\varphi}{F_\varphi} \right) ds$$

Très souvent, on estime incommode d'utiliser simultanément deux coefficients de sécurité et on définit un coefficient unique : (G. SANGLERAT et G. OLIVARI, 1983)

$$F = F_C = F_\varphi = C/C'' = \text{tg}\varphi/\text{tg}\varphi'' \Rightarrow \begin{cases} C'' = C/F \\ \varphi'' = \varphi/F \end{cases}$$

L'angle d'égale stabilité peut être déterminé selon deux méthodes :

a- Calcul direct :

Consiste à utiliser la formule suivante :

$$\text{tg } \beta = \frac{C''}{\gamma \cdot H} + \text{tg } \varphi''$$

Avec : β : angle d'égale stabilité.

b- Utilisation des abaques :

C'est la méthode de Taylor pour un milieu cohérent à frottement interne ($\varphi \neq 0$).

Pour une valeur donnée de φ , la hauteur critique d'un talus qui glisse suivant un cercle de pied est fournie par l'équation suivante :

$$H_C = N_s \cdot C''/\gamma$$

N_s , qui est le coefficient de stabilité dépend de β et de φ . Cette formule est aussi utilisée sous forme d'abaques pratiques à l'utilisation à condition que les données adoptées par l'auteur, concordent avec le cas étudié. (A. BENAÏSSA, 2003)

VIII-6 - Calcul de stabilité du site :

VIII-6-1- Méthode des tranches de Fellenius :

VIII-6-1-1- Principe :

Cette méthode utilisée par Fellenius (1929), la plus employée pour l'analyse de stabilité, 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-coulomb.
- Les efforts inter-tranches sont négligés.

Et on calcule le coefficient de sécurité « Fs » avec les formules suivantes :

$$F_s = \frac{C \frac{b}{\cos \alpha} + tg \varphi \sum_{n=1}^{n=m} w \cos \alpha}{\sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \sin \alpha} : \dots\dots\dots \text{en absence de nappe}$$

$$F_s = \frac{C \frac{b}{\cos \alpha} + tg \varphi \sum_{n=1}^{n=m} \left(w \cos \alpha - U \cdot \frac{b}{\cos \alpha} \right)}{\sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \sin \alpha} : \dots\dots\dots \text{en présence de nappe}$$

VIII-6-1-2- Résultats :

Pour notre étude de stabilité, on a pris les caractéristiques du sol pour des cas limites (caractéristiques réduites) les valeurs sont :

$\varphi'' = 10$ et $C'' = 2,1 \text{ t/m}^2$.

On a aussi : $\gamma_d = 1,73 \text{ t/m}^3$.

VIII-6-1-2-1- Calcul de coefficient de sécurité :

a- En absence de nappe :

* **Profile P1 : C1 :** On a 04 tranches :

- **Calcul de w : poids :**

Tranche (1) : Triangle : $w_1 = 4,1 \text{ m} \times 6 \text{ m} / 2 \times 1,73$

$V_1 = 12,3 \text{ m}^3$ $w_1 = V_1 \cdot \gamma_d$

$w_1 = 21,28 \text{ T/m}$

$$\text{Tranche (2) : Trapèze : } w_2 = 6 \text{ m} + 6,4 \text{ m} / 2 \times 4,1 \times 1,73 \quad V_2 = 25,42 \text{ m}^3 \quad w_2 = V_2 \cdot \gamma_d$$

$$w_2 = 43,98 \text{ T/m}$$

$$\text{Tranche (3) : Trapèze : } w_3 = 4 \text{ m} + 6,4 \text{ m} / 2 \times 4,1 \times 1,73 \quad V_3 = 21,32 \text{ m}^3 \quad w_3 = V_3 \cdot \gamma_d$$

$$w_3 = 36,88 \text{ T/m}$$

$$\text{Tranche (4) : Triangle : } w_4 = 4 \text{ m} \times 6,4 \text{ m} / 2 \times 1,73 \quad V_4 = 9,2 \text{ m}^3 \quad w_4 = V_4 \cdot \gamma_d$$

$$w_4 = 15,92 \text{ T/m}$$

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

$$B = L/4 \quad \text{avec} \quad : \quad L = 16,4 \text{ m} \Rightarrow B = 16,4/4 \Rightarrow B = 4,1 \text{ m}$$

- On a :

$$\alpha_1 = +58^\circ \Rightarrow \begin{cases} \sin \alpha_1 = 0,848 & w_1 \sin \alpha_1 = 21,28 \times 0,848 = 18,04 \text{ T/m.} \\ \cos \alpha_1 = 0,529 & w_1 \cos \alpha_1 = 21,28 \times 0,529 = 11,26 \text{ T/m.} \end{cases}$$

$$\alpha_2 = +29^\circ \Rightarrow \begin{cases} \sin \alpha_2 = 0,484 & w_2 \sin \alpha_2 = 43,98 \times 0,484 = 21,29 \text{ T/m.} \\ \cos \alpha_2 = 0,874 & w_2 \cos \alpha_2 = 43,980 \times 0,874 = 38,44 \text{ T/m.} \end{cases}$$

$$\alpha_3 = +30^\circ \Rightarrow \begin{cases} \sin \alpha_3 = 0,052 & w_3 \sin \alpha_3 = 1,92 \text{ T/m.} \\ \cos \alpha_3 = 0,998 & w_3 \cos \alpha_3 = 36,80 \text{ T/m.} \end{cases}$$

$$\alpha_4 = -23^\circ \Rightarrow \begin{cases} \sin \alpha_4 = 0,39 & w_4 \sin \alpha_4 = -6,21 \\ \cos \alpha_4 = 0,920 & w_4 \cos \alpha_4 = 14,65. \end{cases}$$

$$* \Sigma w \cos \alpha = w_1 \cos \alpha_1 + w_2 \cos \alpha_2 + w_3 \cos \alpha_3 + w_4 \cos \alpha_4$$

$$= 11,26 + 38,44 + 36,80 + 14,65 \Rightarrow \Sigma w \cos \alpha = 101,15 \text{ T/m}$$

$$* \Sigma w \sin \alpha = w_1 \sin \alpha_1 + w_2 \sin \alpha_2 + w_3 \sin \alpha_3 + w_4 \sin \alpha_4$$

$$= 18,04 + 21,29 + 1,92 + 6,21 \Rightarrow \Sigma w \sin \alpha = 35,03 \text{ T/m}$$

On a $L_i = b / \cos \alpha$

$$\Rightarrow \begin{cases} L_1 = b / \cos \alpha_1 = 4,1 / 0,529 = 7,75 \\ L_2 = b / \cos \alpha_2 = 4,1 / 0,874 = 4,69 \\ L_3 = b / \cos \alpha_3 = 4,1 / 0,998 = 4,11 \\ L_4 = b / \cos \alpha_4 = 4,1 / 0,920 = 4,45 \end{cases}$$

$$\Sigma L_i = \Sigma (L_1 + L_2 + L_3 + L_4) = \boxed{\Sigma L_i = 21\text{m}}$$

$$F_S = \frac{c \frac{b}{\cos \alpha} + \text{tg} \varphi \sum_{n=1}^{n=m} w \cos \alpha}{\sum_{n=1}^{n=m} w \sin \alpha} \quad \text{sachant que : } C'' = 2,1 \text{ t/m}^2$$

$$\text{et que : } \varphi'' = 10^\circ \Rightarrow \text{tg} \varphi' = 0,18$$

$$F_S = \frac{2,1 \times 21 + 0,18 \times 101,15}{35,05} = \frac{44,1 + 18,21}{35,03} = \boxed{F_{s1} = 1,78}$$

* **Profil : P2 : C2 :**

On a 5 tranches :

- **Calcul de poids « W » :**

$$\left. \begin{array}{l} \text{Tranche (1) : Triangle : } v_1 = 5,6 \times 1,8 / 2 = 5,04 \text{ m}^3 \\ \text{Trapèze : } v_2 = 5 + 3,6 / 2 \times 0,4 = 1,72 \text{ m}^3 \\ \text{Trapèze : } v_3 = 3,6 + 8 / 2 \times 3,8 = 22,04 \text{ m}^3 \end{array} \right\} \Rightarrow V_t = 28,8 \text{ T/m}$$

$$w_1 = (v_1 + v_2 + v_3) \times 1,73 = (5,04 + 1,72 + 22,04) \times 1,73$$

$$\boxed{w_1 = 49,82 \text{ T/m}}$$

$$\text{Tranche (2) : Trapèze : } w_2 = (8 + 9,2 / 2) \times 6,12 \times 1,73 \quad V_2 = 52,63 \text{ m}^3$$

$$\boxed{w_2 = 91,05 \text{ T/m}}$$

$$\text{Tranche (3) : Trapèze : } w_3 = (9,2 + 8 / 2) \times 6,12 \times 1,73 \quad V_3 = 52,63 \text{ m}^3$$

$$\boxed{w_3 = 91,05 \text{ T/m}}$$

$$\text{Tranche (4) : Trapèze : } w_4 = (8 + 5 / 2) \times 6,12 \times 1,73 \quad V_4 = 39,78 \text{ m}^3$$

$$\boxed{w_4 = 68,82 \text{ T/m}}$$

$$\text{Tranche (5) : Triangle : } w_5 = (6,6 \times 5 / 2) \times 1,73$$

$$V_5 = 16,5 \text{ m}^3$$

$$w_5 = 28,54 \text{ T/m}$$

- Calcul de la largeur de la tranche « b » :

$$B = L/5 \quad \text{avec} \quad : \quad L = 30,6 \text{ m}$$

$$\Rightarrow B = 30,6/5 \Rightarrow B = 6,12 \text{ m}$$

- On a :

$$\alpha_1 = 60^\circ \Rightarrow \begin{cases} \sin \alpha_1 = 0,866 & \Rightarrow w_1 \sin \alpha_1 = 49,82 \times 0,866 = 43,14 \text{ T/m.} \\ \cos \alpha_1 = 0,5 & \Rightarrow w_1 \cos \alpha_1 = 49,82 \times 0,5 = 24,91 \text{ T/m.} \end{cases}$$

$$\alpha_2 = 32^\circ \Rightarrow \begin{cases} \sin \alpha_2 = 0,529 & \Rightarrow w_2 \sin \alpha_2 = 48,16 = 48,16 \text{ T/m.} \\ \cos \alpha_2 = 0,848 & \Rightarrow w_2 \cos \alpha_2 = 77,21 \text{ T/m.} \end{cases}$$

$$\alpha_3 = 9^\circ \Rightarrow \begin{cases} \sin \alpha_3 = 0,156 & \Rightarrow w_3 \sin \alpha_3 = 14,20 \text{ T/m.} \\ \cos \alpha_3 = 0,987 & \Rightarrow w_3 \cos \alpha_3 = 89,87 \text{ T/m.} \end{cases}$$

$$\alpha_4 = -5^\circ \Rightarrow \begin{cases} \sin \alpha_4 = -0,087 & \Rightarrow w_4 \sin \alpha_4 = -5,99 \text{ T/m} \\ \cos \alpha_4 = 0,996 & \Rightarrow w_4 \cos \alpha_4 = 68,54 \text{ T/m.} \end{cases}$$

$$\alpha_5 = -23^\circ \Rightarrow \begin{cases} \sin \alpha_5 = -0,390 & \Rightarrow w_5 \sin \alpha_5 = -11,33 \text{ T/m} \\ \cos \alpha_5 = 0,920 & \Rightarrow w_5 \cos \alpha_5 = 26,26 \text{ T/m.} \end{cases}$$

$$* \Sigma w \cos \alpha = w_1 \cos \alpha_1 + w_2 \cos \alpha_2 + w_3 \cos \alpha_3 + w_4 \cos \alpha_4$$

$$= 24,91 + 77,21 + 89,87 + 68,54 + 26,26$$

$$\Sigma w \cos \alpha = 286,79 \text{ T/m}$$



$$* \Sigma w \sin \alpha = w_1 \sin \alpha_1 + w_2 \sin \alpha_2 + w_3 \sin \alpha_3 + w_4 \sin \alpha_4$$

$$= 43,14 + 48,16 + 14,20 - 5,99 - 11,73$$

$$\Sigma w \sin \alpha = 88,38 \text{ T/m}$$

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

$$\Rightarrow \begin{cases} L_1 = b / \cos \alpha_1 = 6,12 / 0,5 = 12,24 \\ L_2 = b / \cos \alpha_2 = 6,12 / 0,848 = 7,22 \\ L_3 = b / \cos \alpha_3 = 6,12 / 0,987 = 6,20 \\ L_4 = b / \cos \alpha_4 = 6,12 / 0,996 = 6,14 \\ L_5 = b / \cos \alpha_5 = 6,12 / 0,920 = 6,65 \end{cases}$$

$$\Sigma L_i = \Sigma (L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5) = \Sigma L_i = 38,48 \text{ m}$$

$$F_s = \frac{2,1 \times 38,48 + 0,18 \times 286,79}{88,38} = \frac{80,80 + 51,62}{88,38} \Rightarrow F_{s2} = 1,50$$

b- En présence de nappe :

*** Profile P1 : C1 :**

Tranche (1) : $V_t = 12,3 \text{ m}^3$

$$V_t = v_1 + v_2$$

$$V_1 : \text{Triangle} : V_1 = 1,9 \times 0,9 / 2 \Rightarrow V_1 = 0,85 \text{ m}^3$$

$$V_2 = V_t - V_1 = 12,3 - 0,85 \Rightarrow V_2 = 11,45 \text{ m}^3$$

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

- Calcul γ_{sat} :

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

$$\text{Avec : } \begin{cases} \gamma_w = 1 \text{ T/m}^3 \\ \gamma_s = 2,7 \text{ T/m}^3 \end{cases} \quad \gamma_{\text{sat}} = \frac{2,7 - 1}{2,7} \cdot 1,73 + 1$$

$$\boxed{\gamma_{\text{sat}} = 2,07 \text{ T/m}^3} \Rightarrow w_1 = (1,73 \times 0,85) + (2,07 \times 11,45) \Rightarrow \boxed{W_1 = 25,17 \text{ T/m}}$$

$$\text{Tranche (2)} : V_T = 25,42 \text{ m}^3$$

$$V_T = V_1 + V_2$$

$$V_2 : \text{Trapèze} : V_2 = \frac{5,1 + 4,4}{2} \times 4,1 \Rightarrow V_2 = 19,47 \text{ m}^3$$

$$V_1 = 25,42 - 19,47 \Rightarrow V_1 = 5,95 \text{ m}^3$$

$$W_2 = (1,73 \times 5,95) + (2,07 \times 19,47) \Rightarrow \boxed{W_2 = 50,95 \text{ T/m}}$$

$$\text{Tranche (3)} : V_T = 21,32 \text{ m}^3$$

$$V_1 : \text{Rectangle} : V_1 = 4,7 \times 2 \Rightarrow V_1 = 9,4 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 21,32 - 9,4 \Rightarrow V_2 = 11,92 \text{ m}^3$$

$$W_3 = (1,73 \times 9,4) + (2,07 \times 11,92) \Rightarrow \boxed{W_3 = 40,93 \text{ T/m}}$$

$$\text{Tranche (4)} : V_T = 9,2 \text{ m}^3$$

$$V_2 : \text{Triangle} : V_2 = \frac{2 \times 2,4}{2} \Rightarrow V_2 = 2,4 \text{ m}^3$$

$$V_1 = 9,2 - 2,4 \Rightarrow V_1 = 6,8 \text{ m}^3$$

$$W_4 = (1,73 \times 6,8) + (2,07 \times 2,4) \Rightarrow \boxed{W_4 = 16,73 \text{ T}}$$

- Calcul de la pression interstitielle " U " :

$$U = \gamma_w \cdot Z_w$$

$$Z_{w1} = 3,5\text{m} \Rightarrow U_1 = 3,5\text{m}$$

$$Z_{w2} = 5\text{m} \Rightarrow U_2 = 5\text{m}$$

$$Z_{w3} = 3,3\text{m} \Rightarrow U_3 = 3,3\text{m}$$

$$Z_{w4} = 1,2\text{m} \Rightarrow U_4 = 1,2\text{m}$$

- Présentation des résultats :

Tranche N°	W (T/m)	Cos α	W · Cosα	1		2		1 - 2
				$\frac{b}{\text{Cos}\alpha}$	U	$U \cdot \frac{b}{\text{Cos}\alpha}$		
1	25,17	0,529	13,31	7,75	3,5	27,12	- 13,81	
2	50,59	0,874	44,21	4,69	5	23,45	20,76	
3	40,93	0,998	40,85	4,11	3,3	13,56	27,29	
4	16,73	0,920	15,39	4,45	1,2	5,34	10,05	
				21			44,29	

$$F_s = \frac{C \times \frac{b}{\text{Cos}\alpha} + \text{tg}\phi \cdot \sum_{n=1}^{n=m} \left(W \cdot \text{Cos}\alpha - U \cdot \frac{b}{\text{Cos}\alpha} \right)}{\sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \text{Sin}\alpha}$$

$$\Rightarrow F_{s1} = \frac{(2,1 \times 21) + (0,18 \times 44,29)}{35,03} \Rightarrow \boxed{F_{s1} = 1,48}$$

*** Profil P2 : C2 :**

$$\text{Tranche (1)} : V_T = 28,8 \text{ m}^3$$

$$V_2 : \text{Triangle} : V_2 = \frac{6 \times 6}{2} \Rightarrow V_2 = 18 \text{ m}^3$$

$$V_1 = 28,8 - 18 \Rightarrow V_1 = 10,8 \text{ m}^3$$

$$W_1 = (1,73 \times 10,8) + (2,07 \times 18) \Rightarrow \boxed{W_1 = 55,94 \text{ T/m}}$$

$$\text{Tranche (2)} : V_T = 52,63 \text{ m}^3$$

$$V_1 : \text{Rectangle} : V_1 = 6,6 \times 2 \Rightarrow V_1 = 13,2 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 52,63 - 13,2 \Rightarrow V_2 = 39,43 \text{ m}^3$$

$$W_2 = (1,73 \times 13,2) + (2,07 \times 39,43) \Rightarrow \boxed{W_2 = 104,46 \text{ T/m}}$$

$$\text{Tranche (3)} : V_T = 52,63 \text{ m}^3$$

$$V_1 = 6,6 \times 2 \Rightarrow V_1 = 13,2 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 52,63 - 13,2 \Rightarrow V_2 = 39,43 \text{ m}^3$$

$$\boxed{W_3 = W_2 = 104,46 \text{ T/m}}$$

$$\text{Tranche (4)} : V_T = 39,78 \text{ m}^3$$

$$V_1 = 6,6 \times 2 \Rightarrow V_1 = 13,2 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 39,78 - 13,2 \Rightarrow V_2 = 26,58 \text{ m}^3$$

$$W_4 = (1,73 \times 13,2) + (2,07 \times 26,58) \Rightarrow \boxed{W_4 = 77,86 \text{ T/m}}$$

$$\text{Tranche (5)} : V_T = 16,5 \text{ m}^3$$

$$V_2 : \text{Triangle} : V_2 = \frac{3 \times 4,3}{2} \Rightarrow V_2 = 6,45 \text{ m}^3$$

$$V_1 = 16,5 - 6,45 \Rightarrow V_1 = 10,05 \text{ m}^3$$

$$W_5 = (1,73 \times 10,05) + (2,07 \times 6,45) \Rightarrow \boxed{W_5 = 30,74 \text{ T/m}}$$

- Calcul de la pression interstitielle :

$$U = \gamma_w \cdot Z_w$$

- $Z_{w1} = 3,6 \text{ m} \Rightarrow U_1 = 3,6 \text{ m}$
- $Z_{w2} = 6,8 \text{ m} \Rightarrow U_2 = 6,8 \text{ m}$
- $Z_{w3} = 6,8 \text{ m} \Rightarrow U_3 = 6,8 \text{ m}$
- $Z_{w4} = 4,8 \text{ m} \Rightarrow U_4 = 4,8 \text{ m}$
- $Z_{w5} = 1,6 \text{ m} \Rightarrow U_5 = 1,6 \text{ m}$

- Présentation des résultats :

Tranche N°	W (T/m)	Cos α	W · Cosα	1		2		1 - 2
				$\frac{b}{\text{Cos}\alpha}$	U	$U \cdot \frac{b}{\text{Cos}\alpha}$		
1	55,94	0,5	27,97	12,24	3,6	44,06	-16,09	
2	104,46	0,848	88,58	7,22	6,8	49,10	39,48	
3	104,46	0,987	103,10	6,20	6,8	42,16	60,94	
4	77,86	0,996	77,55	6,14	4,8	29,47	48,08	
5	30,74	0,920	28,28	6,65	1,6	10,64	17,64	
				38,48			150,05	

$$F_s = \frac{C \times \frac{b}{\text{Cos}\alpha} + \text{tg}\phi \sum_{n=1}^{n=m} \left(W \cdot \text{Cos}\alpha - U \cdot \frac{b}{\text{Cos}\alpha} \right)}{\sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \text{Sin}\alpha}$$

$$\Rightarrow F_{s2} = \frac{(2,1 \times 38,48) + (0,18 \times 150,05)}{88,38} \Rightarrow \boxed{F_{s2} = 1,21}$$

c- En milieu humide :

* **Profil P1 : C1** : $\gamma_h = 1,89 \text{ T/m}^3$

On a 4 tranches :

* **Calcul de « W » : poids :**

$$\text{Tranche (1) : Triangle : } V_1 = \frac{4,1 \times 6}{2} = 12,3 \text{ m}^3$$

$$W_1 = V_1 \times \gamma_h \Rightarrow W_1 = 12,3 \times 1,89 \Rightarrow \boxed{W_1 = 23,25 \text{ T/m}}$$

$$\text{Tranche (2) : Trapèze : } V_2 = \frac{6 + 6,4}{2} \times 4,1 = 25,42 \text{ m}^3$$

$$W_2 = V_2 \times \gamma_h \Rightarrow W_2 = 25,42 \times 1,89 \Rightarrow \boxed{W_2 = 48,04 \text{ T/m}}$$

$$\text{Tranche (3) : Trapèze : } V_3 = \frac{4 + 6,4}{2} \times 4,1 = 21,32 \text{ m}^3$$

$$W_3 = V_3 \times \gamma_h \Rightarrow W_3 = 21,32 \times 1,89 \Rightarrow \boxed{W_3 = 40,29 \text{ T/m}}$$

$$\text{Tranche (4) : Triangle : } V_4 = \frac{4,6 \times 4}{2} = 9,2 \text{ m}^3$$

$$W_4 = V_4 \times \gamma_h \Rightarrow W_4 = 9,2 \times 1,89 \Rightarrow \boxed{W_4 = 17,39 \text{ T/m}}$$

* **Calcul de la largeur de la tranche « b » :**

$$b = L/4 ; \text{ avec } L = 16,4 \text{ m} \Rightarrow b = 16,4/4 \Rightarrow \boxed{B = 4,1 \text{ m}}$$

- On a :

$$\alpha_1 = +58^\circ \Rightarrow \begin{cases} \sin \alpha_1 = 0,848 \Rightarrow W_1 \cdot \sin \alpha_1 = 23,25 \times 0,848 = 19,72 \text{ T/m} \\ \cos \alpha_1 = 0,529 \Rightarrow W_1 \cdot \cos \alpha_1 = 23,5 \times 0,529 = 12,30 \text{ T/m} \end{cases}$$

$$\alpha_2 = +29^\circ \Rightarrow \begin{cases} \sin \alpha_2 = 0,484 \Rightarrow W_2 \cdot \sin \alpha_2 = 48,04 \times 0,484 = 23,25 \text{ T/m} \\ \cos \alpha_2 = 0,874 \Rightarrow W_2 \cdot \cos \alpha_2 = 48,04 \times 0,874 = 41,99 \text{ T/m} \end{cases}$$

$$\alpha_3 = +3^\circ \Rightarrow \begin{cases} \sin \alpha_3 = 0,052 \Rightarrow W_3 \cdot \sin \alpha_3 = 40,29 \times 0,052 = 2,09 \text{ T/m} \\ \cos \alpha_3 = 0,998 \Rightarrow W_3 \cdot \cos \alpha_3 = 40,29 \times 0,998 = 40,21 \text{ T/m} \end{cases}$$

$$\alpha_4 = -23^\circ \Rightarrow \begin{cases} \sin \alpha_4 = -0,390 \Rightarrow W_4 \cdot \sin \alpha_4 = 17,39 \times (-0,390) = -6,78 \text{ T/m} \\ \cos \alpha_4 = 0,920 \Rightarrow W_4 \cdot \cos \alpha_4 = 17,39 \times 0,920 = 16 \text{ T/m} \end{cases}$$

$$\Sigma W \cdot \sin \alpha = 19,72 + 23,25 + 2,09 - 6,78 \Rightarrow \boxed{\Sigma W \cdot \sin \alpha = 38,28 \text{ T/m}}$$

$$\Sigma W \cdot \cos \alpha = 12,30 + 41,99 + 40,21 + 16 \Rightarrow \boxed{\Sigma W \cdot \cos \alpha = 110,5 \text{ T/m}}$$

D'après les résultats obtenus précédemment :

$$\text{On a : } \begin{cases} \Sigma L_i = 21 \text{ m} \\ C'' = 2,1 \\ \varphi'' = 10^\circ \Rightarrow \text{tg } \varphi'' = 0,18 \end{cases}$$

$$\text{On a : } F_s = \frac{C \cdot \frac{b}{\cos \alpha} + \text{tg } \varphi \cdot \sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \cos \alpha}{\sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \sin \alpha}$$

$$\Rightarrow F_{s1} = \frac{(2,1 \times 21) + (0,18 \times 110,5)}{38,28} \Rightarrow \boxed{F_{s1} = 1,67}$$

*** Profil P2 : C2 :**

On a 5 tranches :

Tranche (1) :

$$V_1 : \text{Triangle} : V_1 = \frac{5,6 \times 1,8}{2} \Rightarrow V_1 = 5,04 \text{ m}^3$$

$$V_2 : \text{Trapèze} : V_2 = \frac{5 + 3,6}{2} \times 0,4 = 1,72 \text{ m}^3$$

$$V_3 : \text{Trapèze} : V_3 = \frac{3,6 + 8}{2} \times 3,8 = 22,04 \text{ m}^3$$

$$W_1 = (V_1 + V_2 + V_3) \times \gamma_h = (5,04 + 1,72 + 22,04) \times 1,89 \Rightarrow \boxed{W_1 = 54,43 \text{ T/m}}$$

Tranche (2) :

$$V_2 : \text{Trapèze} : V_2 = \frac{8 + 9,2}{2} \times 6,12 \Rightarrow V_2 = 52,63 \text{ m}^3$$

$$W_2 = V_2 \times \gamma_h = 52,63 \times 1,89 \Rightarrow \boxed{W_2 = 99,47 \text{ T/m}}$$

Tranche (3) :

$$V_3 : \text{Trapèze} : V_3 = \frac{9,2 + 8}{2} \times 6,12 \Rightarrow V_3 = 52,63 \text{ m}^3$$

$$W_3 = V_3 \times \gamma_h = 52,63 \times 1,89 \Rightarrow \boxed{W_3 = 99,47 \text{ T/m}}$$

Tranche (4) :

$$V_4 : \text{Trapèze} : V_4 = \frac{8 + 5}{2} \times 6,12 \Rightarrow V_4 = 39,78 \text{ m}^3$$

$$W_4 = V_4 \times \gamma_h = 39,78 \times 1,89 \Rightarrow \boxed{W_4 = 75,18 \text{ T/m}}$$

Tranche (5) :

$$V_5 : \text{Triangle} : V_5 = \frac{6,6 \times 5}{2} \Rightarrow V_5 = 16,5 \text{ m}^3$$

$$W_5 = V_5 \times \gamma_h = 16,5 \times 1,89 \Rightarrow \boxed{W_5 = 31,18 \text{ T/m}}$$

*** Calcul de la largeur de la tranche « b » :**

$$B = L/5 \quad \text{avec : } L = 30,6 \text{ m} \Rightarrow B = 30,6/5 \Rightarrow \boxed{B = 6,12 \text{ m}}$$

- On a :

$$\alpha_1 = 60^\circ \Rightarrow \begin{cases} \sin \alpha_1 = 0,866 & \Rightarrow w_1 \sin \alpha_1 = 54,43 \times 0,866 = 47,14 \text{ T/m.} \\ \cos \alpha_1 = 0,5 & \Rightarrow w_1 \cos \alpha_1 = 54,43 \times 0,5 = 27,21 \text{ T/m.} \end{cases}$$

$$\alpha_2 = 32^\circ \Rightarrow \begin{cases} \sin \alpha_2 = 0,529 & \Rightarrow w_2 \sin \alpha_2 = 99,47 \times 0,529 = 52,62 \text{ T/m.} \\ \cos \alpha_2 = 0,848 & \Rightarrow w_2 \cos \alpha_2 = 99,47 \times 0,848 = 84,35 \text{ T/m.} \end{cases}$$

$$\alpha_3 = 9^\circ \Rightarrow \begin{cases} \sin \alpha_3 = 0,156 & \Rightarrow w_3 \sin \alpha_3 = 99,47 \times 0,156 = 15,52 \text{ T/m.} \\ \cos \alpha_3 = 0,987 & \Rightarrow w_3 \cos \alpha_3 = 99,47 \times 0,987 = 98,18 \text{ T/m.} \end{cases}$$

$$\alpha_4 = -5^\circ \Rightarrow \begin{cases} \sin \alpha_4 = -0,087 & \Rightarrow w_4 \sin \alpha_4 = 75,18 \times (-0,087) = -6,54 \text{ T/m} \\ \cos \alpha_4 = 0,996 & \Rightarrow w_4 \cos \alpha_4 = 75,18 \times 0,996 = 74,88 \text{ T/m.} \end{cases}$$

$$\alpha_5 = -23^\circ \Rightarrow \begin{cases} \sin \alpha_5 = -0,390 & \Rightarrow w_5 \sin \alpha_5 = 31,18 \times (-0,390) = -12,16 \text{ T/m} \\ \cos \alpha_5 = 0,920 & \Rightarrow w_5 \cos \alpha_5 = 31,18 \times 0,920 = 28,68 \text{ T/m.} \end{cases}$$

$$\Sigma W.\sin\alpha = 47,14 + 52,62 + 15,52 - 6,54 - 12,16 \Rightarrow \Sigma W.\sin\alpha = 96,58 \text{ T/m}$$

$$\Sigma W.\cos\alpha = 27,21 + 84,35 + 98,18 + 74,88 + 28,68 \Rightarrow \Sigma W.\cos\alpha = 313,3 \text{ T/m}$$

et on a aussi : $\Sigma L_i = 38,48 \text{ m}$

$$F_s = \frac{C \cdot \frac{b}{\cos\alpha} + \text{tg}\varphi \cdot \sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \cos\alpha}{\sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \sin\alpha}$$

$$\Rightarrow F_{s2} = \frac{(2,1 \times 38,48) + (0,18 \times 313,3)}{96,58} \Rightarrow F_{s2} = 1,42$$

*****) Tableaux récapitulatifs des résultats :**

- Profil : P1 : C1

Tranche N°	W (T/m)	α (°)	Sin α	W. Sin α	Cos α	W. Cos α	$L_i = \frac{b}{\cos\alpha}$
1	- Triangle: $v = \frac{4,1 \times 6}{2} = 13,30$ $W = v \times \gamma_h = 23,25$	+58	0,848	19,72	0,529	12,30	7,75
2	- Trapèze: $v = \frac{6+6,4}{2} \times 4,1 = 25,42$ $W = v \times \gamma_h = 48,04$	+29	0,484	23,25	0,874	41,99	4,69
3	- Trapèze: $v = \frac{4+6,4}{2} \times 4,1 = 21,32$ $W = v \times \gamma_h = 40,29$	+3	0,052	2,09	0,998	40,21	4,11
4	- Triangle: $v = \frac{4,6 \times 4}{2} = 9,2$ $W = v \times \gamma_h = 17,39$	-23	-0,39	-6,78	0,920	16	4,45
Σ	128,97			38,28		110,5	21

$$F_s = \frac{C \cdot \frac{b}{\cos \alpha} + \text{tg} \varphi \cdot \sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \cos \alpha}{\sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \sin \alpha}$$

$$\Rightarrow F_{s1} = \frac{(2,1 \times 21) + (0,18 \times 110,5)}{38,28} \Rightarrow$$

$$F_{s1} = 1,67$$

- Profil P2 : C2 :

Tranche N°	W (T/m)	α (°)	Sin α	W. Sin α	Cos α	W. Cos α	$L_i = \frac{b}{\cos \alpha}$
1	- Triangle: $v_1 = \frac{5,6 \times 1,8}{2} = 5,04$ - Trapèze: $v_2 = \frac{5+3,6}{2} \times 0,4 = 1,72$ - Trapèze: $v_3 = \frac{3,6+8}{2} \times 3,8 = 22,04$ $W = (v_1 + v_2 + v_3) \times \gamma_d = 54,43$	+60	0,866	47,14	0,5	27,21	12,24
2	- Trapèze: $v = \frac{8+9,2}{2} \times 6,12 = 52,63$ $W = v \times \gamma_d = 99,47$	+32	0,529	52,62	0,848	84,35	7,22
3	- Trapèze: $v = \frac{9,2+8}{2} \times 6,12 = 52,63$ $W = v \times \gamma_d = 99,47$	+9	0,156	15,52	0,987	98,18	6,20
4	- Trapèze: $v = \frac{8+5}{2} \times 6,12 = 39,78$ $W = v \times \gamma_d = 75,18$	-5	-0,087	-6,54	0,996	74,88	6,14
5	- Triangle: $v = \frac{6,6 \times 5}{2} = 16,50$ $W = v \times \gamma_d = 31,18$	-23	-0,390	-12,16	0,920	28,68	6,65
Σ	359,73			96,58		313,3	38,45

$$F_s = \frac{C \cdot \frac{b}{\cos \alpha} + \text{tg} \varphi \cdot \sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \cos \alpha}{\sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \sin \alpha}$$

$$\Rightarrow F_{s2} = \frac{(2,1 \times 38,48) + (0,18 \times 313,3)}{96,58} \Rightarrow F_{s2} = 1,42$$

VIII-6-2- Méthodes des tranche de Bishop :

VIII-6-2-1- Principe :

Utilisée par **Bishop (1954)**, permet de modéliser des talus à géométrie complexe, elle à la même principe que la méthode de **Fellinius** sauf que les effets verticaux inter tranches sont négligées.

Et on calcule le coefficient de sécurité « **F_s** » avec la formule suivante :

$$* F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=m} [C \cdot b + W \cdot \text{tg} \varphi_i] \times \frac{1}{\cos \alpha (1 + \text{tg} \alpha \cdot \text{tg} \varphi / F)}}{\sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \sin \alpha} \dots \dots \dots \text{:en absence de nappe}$$

$$* F_s = \frac{\sum [C \cdot b + (W - U \cdot b) \cdot \text{tg} \varphi] \times \frac{1}{\cos \alpha \cdot (1 + \text{tg} \alpha \cdot \text{tg} \varphi / F)}}{\sum_{n=1}^{n=m} W_i \cdot \sin \alpha} \dots \dots \dots \text{:en présence de nappe}$$

VIII-6-2-2- Résultats :

a) En absence de nappe :

- Profil P1 : C1 :

$$\text{On a : } \left\{ \begin{array}{l} F = 1,78 \\ C'' \cdot b = 2,1 \times 4,1 = 8,61 \\ \text{tg} \varphi'' = 0,18 \Rightarrow \text{tg}(\varphi''/F) = \text{tg}(10/1,78) = 0,098 \end{array} \right.$$

$$\Sigma \sin \alpha = 35,03$$

- Présentation du tableau de calcul de F_s :

	(1)	(2)	(3)					
	↓	↓	↓					
Tranche N°	α (°)	$\text{tg}\alpha$	$C.b+W.\text{tg}\phi$	$1+\text{tg}\alpha.\text{tg}\phi/F$	$\cos\alpha.(2)$	$1/\cos\alpha.(2)$	$\cos\alpha$	(1)×(3)
1	+58	1,60	12,44	1,16	0,61	1,64	0,529	20,40
2	+29	0,55	16,53	1,05	0,92	1,09	0,874	18,02
3	+3	0,05	15,25	1,00	0,998	1,00	0,998	15,25
4	-23	-0,42	11,47	0,96	0,88	1,14	0,920	13,07
								66,74

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^{n=m} [C.b + W.\text{tg}\phi_i] \times \frac{1}{\cos\alpha(1 + \text{tg}\alpha.\text{tg}\phi/F)}}{\sum_{i=1}^{n=m} W.\sin\alpha}$$

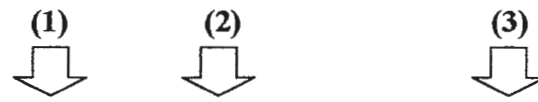
$$\Rightarrow F_{s1} = \frac{66,74}{35,03} \Rightarrow \boxed{F_{s1} = 1,90}$$

- Profil P2 : C2 :

On a :

$$\left\{ \begin{array}{l} F = 1,50 \\ C'' = 2,1 \times 6,12 = 12,58 \\ \text{tg}\phi''/F = \text{tg}(10/1,50) = 0,12 \\ \Sigma W.\sin\alpha = 88,38 \end{array} \right.$$

- Présentation des résultats :



Tranche N°	α (°)	$\text{tg}\alpha$	C.b+W.tg ϕ	$1+\text{tg}\alpha.\text{tg}\phi/F$	$\cos\alpha.(2)$	$1/\cos\alpha.(2)$	$\cos\alpha$	(1)×(3)
1	+60	1,73	21,82	1,21	0,5	0,60	1,67	36,44
2	+ 32	0,62	29,24	1,07	0,848	0,91	1,09	31,87
3	+9	0,16	29,24	1,02	0,987	1,00	1	29,24
4	-5	-0,09	25,24	0,99	0,996	0,99	1,01	25,49
5	-23	-0,42	19,77	0,95	0,920	0,87	1,15	20,69
								143,73

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^{n=m} [C.b + W \text{tg}\phi_i] \times \frac{1}{\cos\alpha(1 + \text{tg}\alpha \text{tg}\phi / F)}}{\sum_{i=1}^{n=m} W \cdot \sin \alpha}$$

$$\Rightarrow F_{s2} = \frac{143,73}{88,38} \Rightarrow \boxed{F_{s2} = 1,63}$$

➤ **Remarque :** Les calculs, concernant les autres cercles, sont présentés en « Annexe B ».

VIII-6-3- Calcul de l'angle d'égale stabilité : (application au talus étudié)

Pour un coefficient de sécurité $F_s = 1,10$, on calcule l'angle d'égale stabilité du talus pour les profils P1 et P2.

On effectue le calcul sur la base des caractéristiques les plus représentatives et qui sont les suivantes :

$$\varphi = 15^\circ \text{ et } C = 3,2 \text{ T/m}^2$$

Les caractéristiques géotechniques réduites du sol en place sont les suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} \varphi'' = \varphi/F_s \\ C'' = C/F_s \end{array} \right. \quad \text{donc :} \quad \left\{ \begin{array}{l} \varphi'' = 13,63^\circ \\ C'' = 2,9 \text{ T/m}^2 \end{array} \right.$$

Les angles d'inclinaison d'égale stabilité sont calculés par la formule suivante :

$$\boxed{\text{tg } \beta = \frac{C''}{\gamma \cdot H} + \text{tg } \varphi''}$$

- Avec : β : angle d'égale stabilité ($^\circ$)
- C'' : cohésion (T/m^2)
- H : hauteur du talus (m)
- γ : poids volumique (T/m^3)
- φ'' : angle de frottement interne ($^\circ$).

Les résultats obtenus sont indiqués dans le tableau ci-après :

a) dans le cas d'un sol sec :

Profils en travers	H (m)	$\gamma_d \cdot H$ (T/m^2)	$C''/\gamma_d \cdot H$	$\text{tg}\varphi''$	$\text{tg}\beta$	β ($^\circ$)
P1	13,11	22,68	0,094	0,176	0,270	15,11
	12	20,76	0,140	0,242	0,382	20,91
P2	12,73	22,02	0,097	0,176	0,273	15,27
	12	20,76	0,140	0,242	0,382	20,91

b) dans le cas d'un sol humide:

Profils en travers	H (m)	$\gamma_h \cdot H$ (T/m ²)	$C''/\gamma_h \cdot H$	$\text{tg}\varphi''$	$\text{tg}\beta$	β (°)
P1	13,11	24,78	0,086	0,176	0,262	14,68
	12	22,68	0,128	0,242	0,370	20,30
P2	12,73	24,06	0,089	0,176	0,265	14,48
	12	22,68	0,128	0,242	0,370	20,30

Pour des hauteurs de talus de **12m**, l'angle d'inclinaison d'égale stabilité est de l'ordre de : **20°**.

Chapitre IX :

***Calcul de la capacité portante
des fondations***

Chapitre IX : CALCUL DE LA CAPACITE PORTANTE DES FONDATIONS.**IX-1- Généralités :**

Un problème important de la mécanique des sols est la détermination de la force portante des fondations.

Une fondations superficielle constitue la partie inférieure d'un ouvrage qui transmet les efforts provenant de la super structure à une couche de sol peu profonde qui s'appelle sol support, le sol devra présenter une résistance suffisante et des tassements acceptables pour l'ouvrage lui même, mais également, pour les structures avoisinantes. (F. SCHLOSSER, 1988)

Actuellement le dimensionnement des semelles de bâtiments peut se faire à partir des essais de laboratoire, ou d'après les essais in situ : préssiomètre ou pénétromètre.

On appelle « Fondation superficielle » toute les fondations dont l'encastrement dans le sol de fondation n'excède par quatre fois la largeur B de la semelle (ou le plus petit coté B) (Fig.X-1). On parle alors : (G. SANGLERAT et G. OLIVARI, 1983)

a) D'une fondations superficielles : (Isolé ; filante : $\frac{L}{B} > 5$; ou radier général), si : $\frac{D}{B} < 4$

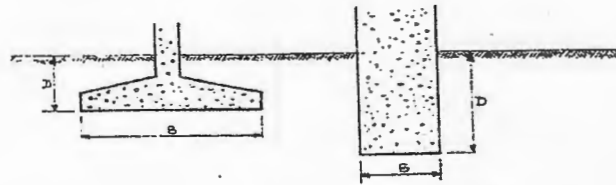
c) fondations semi- profondes (puits), si : $4 \leq \frac{D}{B} < 10$

b) fondations profondes (pieux), si : $\frac{D}{B} \geq 10$

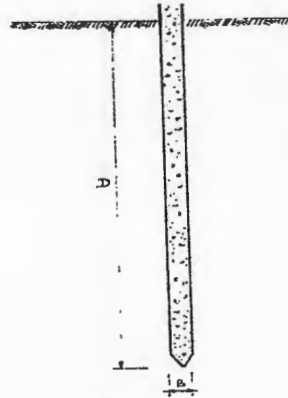
D : L'enfoncement de la fondation dans le sol à partir de la surface de ce dernier.

B : La largeur de la fondation.

L : Sa longueur



a. — Fondations superficielles $\frac{D}{B} < 4$.



b. — Fondations profondes $D / B \geq 10$

Fig.IX-1 : Types de fondations.

IX-2- Projet de Fondations :**IX-2-1- Reconnaissance des lieux et du sol :**

Il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance de l'état des lieux au voisinage de la construction à édifier pour protéger correctement une fondation.

Mais il est surtout indispensable de posséder des renseignements sur les caractéristiques géographiques des différentes couches qui constituent le terrain de fondation.

Il est aussi essentiel de procéder à des sondages de reconnaissance soigneusement exécutés par des spécialistes, des prélèvements d'échantillons ou des essais au « pénétromètre » (ou avec un appareil donnant des renseignements analogues) doivent obligatoirement faire partie du programme de reconnaissance. (G. SANGLERAT et G. OLIVARI, 1983)

IX-2-2- Caractéristiques d'un bon projet :

Un bon projet de fondation correct doit répondre à trois sortes de préoccupation :

- Tout d'abord, la forme et l'emplacement des fondations doivent être choisies de manière à assurer la sécurité de la construction à l'égard des modifications prévisibles de l'état des lieux.
- Puis la fondation doit exercer sur le sol des contraintes compatibles avec la résistance à la rupture de celui-ci, c'est le problème de la capacité portante.
- Enfin, le tassement de la fondation doit être limité pour éviter le basculement ou la ruine de l'ensemble et pour empêcher l'apparition de fissures localisées qui rendraient l'ouvrage inutilisable.

Lorsqu'on étudie un projet de fondation, on doit prévoir les modifications de l'état des lieux, ces modifications sont généralement dues à :

- L'effet du gel.
- La variation saisonnière de volume du sol.
- Bâtiments voisins, limites de propriété, fouilles et construction ultérieure de nouveaux immeubles.
- L'affouillement.
- La variation du niveau de la nappe phréatique.
- Les particularités diverses du sous-sol (présence de cave, sol minier etc...).

IX-2-3- Facteur de capacité portante :

Les facteurs de capacité portante N_c , N_g et N_q sont des termes calculés d'après les formules relatives à la nature du sol et les caractéristiques des fondations.

- N_c : terme de cohésion.
- N_g : terme de surface

- N_q : terme de profondeur.

Différentes hypothèses ont été proposées pour le calcul de ces trois termes. Nous avons adoptés les valeurs calculées par : **Caquot** et **Kérisel** (voir tableau IX-1).

ϕ	N_γ	N_q	N_c
0°	0	1	5,1
5°	0,2	1,6	6,5
10°	1,0	2,5	8,3
15°	2,3	3,9	11,0
20°	5,0	6,4	14,8
25°	10,4	10,7	20,7
30°	21,8	18,4	30,1
35°	47,9	33,3	46,1
40°	113	64,2	75,3
45°	299	134,9	133,9

Tableau IX-1 : Valeurs de N_γ, N_q, N_c d'après Caquot et Kérisel.

IX-3- Contrainte admissible d'une fondation superficielle.

IX-3-1- Principe :

En raison des incertitudes relatives au calcul des facteurs de capacité portante, et surtout pour tenir compte du fait qu'il s'agit d'un calcul à la rupture, il convient d'introduire un coefficient de sécurité et de définir une contrainte admissible ou de service.

En règle générale, on peut prendre pour contrainte admissible le tiers de la capacité portante nette ($q_d - g_d$) qui correspond à l'accroissement de la charge appliquée au massif dans le plan de la fondation, toutes les fois que l'encastrement D a été réalisé à la suite d'un terrassement. Le coefficient de sécurité ne doit s'appliquer qu'à cette capacité portante nette. (G. SANGLERAT et G. OLIVARI, 1983)

En conséquence, en désignant par « f » le coefficient de sécurité, l'expression donnant les contraintes admissibles pour des semelles recevant des charges verticales centrées de types semelles isolées carrées est :

$$q_{ad} = \gamma d + \frac{(1 - 0,2 \frac{B}{L}) \gamma \frac{B}{2} N_\gamma + \gamma D (N_q - 1) + (1 + 0,2 \frac{B}{L}) C N_c}{F}$$

- Avec :
- q_{ad} : Contrainte admissible du sol (bars)
 - F : Coefficient de sécurité
 - γ : Densité apparente en place (T/m³)
 - B : Largeur de la fondation (m).
 - C : Cohésion apparente du sol (bars).
 - D : Profondeur de la fondation (ancrage en m).
 - N_γ, N_q, N_c : Facteur de la capacité portante des terres de surface, profondeur et cohésion.

Dans notre cas, on se propose de vérifier la stabilité vis à vis du poinçonnement pour des fondations superficielles de types semelles isolées carrées de dimension B (m) × B (m), ancrées à une profondeur D de 1,5 m.

* pour des charges centrées comprises dans la fourchette de 20 t, 30t et 40t.

- La formule précédente devient :

$$q_{ad} = \gamma d + \frac{(1-0,2)\gamma \frac{B}{2} N_{\gamma} + \gamma d(N_q - 1) + (1+0,2)C.N_c}{F}$$

$$q_{ad} = \gamma d + \frac{0,4\gamma \frac{B}{2} N_{\gamma} + \gamma D(N_q - 1) + 1,2C.N_c}{F}$$

IX-3-2- Résultats :

IX-3-2-1- Calcul de la contrainte admissible (q_{ad})

a- A partir des résultats du pénétromètre dynamique :

$$q_{ad} = \frac{RD_{min}}{20}$$

Avec :

$$\left\{ \begin{array}{l} Rd_{min1} = 18,75 \text{ bars} \longrightarrow q_{ad1} = 18,75/20 \longrightarrow q_{ad1} = 0,94 \text{ bars} \\ Rd_{min2} = 18,75 \text{ bars} \longrightarrow q_{ad2} = 18,75/20 \longrightarrow q_{ad2} = 0,94 \text{ bars} \\ Rd_{min3} = 23,44 \text{ bars} \longrightarrow q_{ad3} = 23,44/20 \longrightarrow q_{ad3} = 1,17 \text{ bars} \end{array} \right.$$

$$q_{ad} = (0,94 \div 1,17) \text{ bars}$$

b- A partir de calcul classique (Résultats des essais de laboratoire) :

$$\text{On a: } q_{ad} = \gamma d + \frac{0,4\gamma B N_{\gamma} + \gamma D(N_q - 1) + 1,2C.N_c}{F}$$

Avec :

$$\left\{ \begin{array}{l} C : 3,2 \text{ T/m}^2 \\ D : 1,5 \text{ m} \\ B : 1,5 \text{ m} \\ \gamma_d : 1,65 \text{ T/m}^3 \end{array} \right.$$

En général, on prend pour coefficient de sécurité $F_s = 3$.

Pour $\varphi = 15^\circ$, on obtient (selon Caquot et Kérisel, tableau IX-1)

$$N = 2,3 \quad N_q = 3,9 \quad N_c = 11$$

$$q_{ad} = 1,65 \cdot 1,5 + \frac{0,4 \cdot 1,65 \cdot 1,5 \cdot 2,3 + 1,65 \cdot 1,65 \cdot 1,5 (3,9 - 1) + 1,2 \cdot 3,2 \cdot 11}{3}$$

3

$$q_{ad} = 12,47 + \frac{51,7}{3}$$

$$q_{ad} = 19,75 \text{ T/m}^2 \Rightarrow q_{ad} = 1,97 \text{ bars}$$

IX-3-2-2- Calcul de la contrainte provenant de la superstructure (q_{str}) :

$$q_{STR} = \frac{F}{S} = \frac{\text{force appliquée au niveau superstructure de la fondation provenant de la superstructure}}{\text{surface de la fondation}}$$

Les charges centrées proposées sont 20t, 30t et 40t, ce qui donne :

$$q_{STR1} = \frac{20t}{(B \times B)m^2} = \frac{20}{1,5 \times 1,5} \Rightarrow q_{str1} = 8,89 \text{ T/M}^2 \Rightarrow q_{str1} = 0,89 \text{ bars}$$

$$q_{STR2} = \frac{30}{1,5 \times 1,5} \Rightarrow q_{str2} = 13,33 \text{ T/M}^2 \Rightarrow q_{str2} = 1,33 \text{ bars}$$

$$q_{STR3} = \frac{40}{1,5 \times 1,5} \Rightarrow q_{str3} = 17,78 \text{ T/M}^2 \Rightarrow q_{str3} = 1,78 \text{ bars}$$

Les résultats des calculs sont représentés dans le tableau suivant :

	q_{ad} min (bars)	Charge (T)	q_{str} (bars)	$F_s = \frac{q_{ad}}{q_{str}}$	Stabilité vis à vis le poinçonnement
				Pour D=1,5 m	
Essai : D.p.t	0,94	20	0,89	1,06	Vérifiée mais une marge de sécurité minimale
		30	1,33	0,71	Non vérifiée
		40	1,78	0,53	Non vérifiée
Calcul classique	1,97	20	0,89	2,21	Vérifiée
		30	1,33	1,48	Vérifiée
		40	1,78	1,11	Vérifiée mais avec une marge de sécurité minimale

➤ **Remarque :** D'après les résultats obtenus, on peut relever que les valeurs de la contrainte admissible obtenues par le calcul classique sont différentes à celles obtenues par l'interprétation Dpt mais en relevant le cas le plus défavorable de la portance du sol c'est à dire ($\sigma_{sol} = q_{ad} = 0,94 \text{ bars}$)

La sécurité vis à vis du poinçonnement est vérifiée pour une charge qui ne dépasse par les 20 T et une profondeur d'ancrage de 1,5m.

Chapitre X :

Calcul des tassements

Chapitre X : CALCUL DES TASSEMENTS.

X-1- Définition :

La consolidation est le phénomène de réduction progressive de volume en fonction du temps, d'une couche de sol saturé, sous l'action d'une contrainte totale normale constante.

Avant l'exécution de travaux projetés, les terrains sont généralement en état d'équilibre. Sous l'action des charges appliquées, dues à la construction des ouvrages, se développent dans le sol des contraintes qui engendrent des déformations.

Dans la pratique, les charges appliquées sont généralement verticales et la face du sol à peu près horizontale. Les déformations prépondérantes sont verticales et appelées « Tassements ». Le tassement absolu du sol correspond à la déformation verticale représentée par une variation du volume vers le bas, causée par la surcharge appliquée par l'ouvrage. (G. PHILIPPONAT et B. HUBERT, 2003)

X-2- Comportement des sols sous les sollicitations de compression :**X-2-1- Evolution des contraintes et déformations dans le temps :**

Un sol saturé peut être comparé à un squelette solide qui baigne dans l'eau, ce qui veut dire qu'à partir du temps $t = 0$, c'est l'eau qui supporte la totalité de la charge, puis une fois la dissipation de l'eau commence, c'est à cet instant que commence le transfert des contraintes totales (σ) vers le squelette solide du sol, qui donne une contrainte effective (σ') avec, $\sigma = \sigma' + U$.

La figure (Fig. : X-1) représente l'évolution des contraintes effectives et pression interstitielles en fonction du temps, sous l'action du phénomène appelé : « Consolidation primaire ».

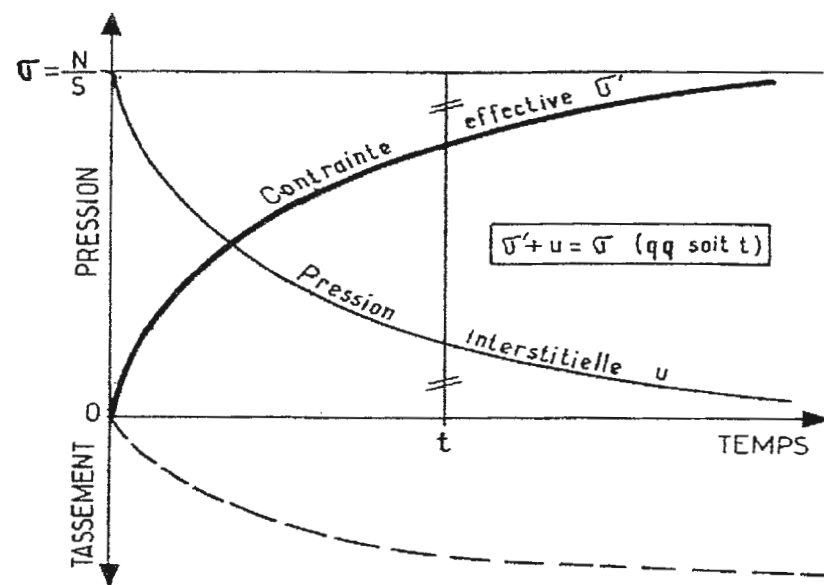


Fig. X-1 : Contraintes et déformations dans le temps.

* à l'instant « $t_0 = 0$ » : correspond au début du chargement, l'eau considérée comme incompressible absorbe toute la pression, nous avons donc :

$$\begin{cases} U = \sigma & \text{avec } U : \text{pression interstitielle} \\ \sigma' = 0 & \sigma' : \text{pression effective} \end{cases}$$

* à l'instant « t » quelconque, nous avons :

$$\begin{cases} \sigma' \neq 0 \\ U \neq 0 \end{cases} \quad \text{avec : } \sigma = \frac{N}{S} = \sigma' + U$$

Au fur et à mesure que le temps passe, l'eau s'évacue progressivement; la contrainte effective σ' augmente tandis que la pression interstitielle U diminue.

* à l'instant « $t = \infty$ », les valeurs de U , σ et σ' sont les suivantes :

$$\begin{cases} U = 0 \\ \sigma = \sigma' \end{cases}$$

En pratique, le temps nécessaire à la consolidation primaire est fini (c'est ce qu'on appelle : tassement primaire) ; au delà de cette phase, la pression U est nulle.

L'expérience montre que le sol continue à tasser une fois la consolidation primaire achevée. Cette nouvelle phase de tassement s'appelle : la consolidation secondaire.

Le tassement dû à la consolidation secondaire est faible dans la plupart des sols et son effet peut être généralement négligé. Cependant, dans certains sols organiques, ou non-saturés, la consolidation secondaire peut jouer un rôle important. (G. PHILIPPONAT et B. HUBERT, 2003)

X-2-2- Distribution de la contrainte verticale avec la profondeur :

Lorsque l'on applique une charge à la surface d'un sol, celle-ci entraîne des contraintes dans les couches de terrain sous-jacent jusqu'à une certaine profondeur. Il est donc indispensable de connaître la distribution, avec la profondeur, de l'accroissement des contraintes verticales $\Delta\sigma_z$, par rapport à l'état de contrainte initial régnant dans le sol, apporté par une contrainte (Q) appliquée en surface.

Toutes les solutions couramment utilisées ont été obtenues par intégration de la solution classique de **Boussinesq**. Les solutions les plus utilisées pour les fondations superficielles sont :

- contraintes sous une fondation filante ou carrée uniformément chargée. (G.B. SOWERS et G.F. SOWERS, 1961) (Fig.X-1).
- contraintes sous l'axe d'une fondation circulaire uniformément chargée (Fig.X-2).
- contraintes sous le coin d'une fondation rectangulaire uniformément chargée (Fig.X-3).

Dans certains cas, il peut être suffisant de se servir d'une méthode approchée consistant à supposer une diffusion de la contrainte Q à 1 pour 2 avec la profondeur.

A la profondeur Z , l'accroissement de la contrainte, $\Delta\sigma_z$, sous une semelle rectangulaire $L \times B$ est alors de : (R. FRANK, 1981). (Fig.X-2)

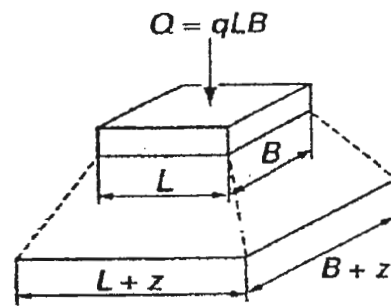
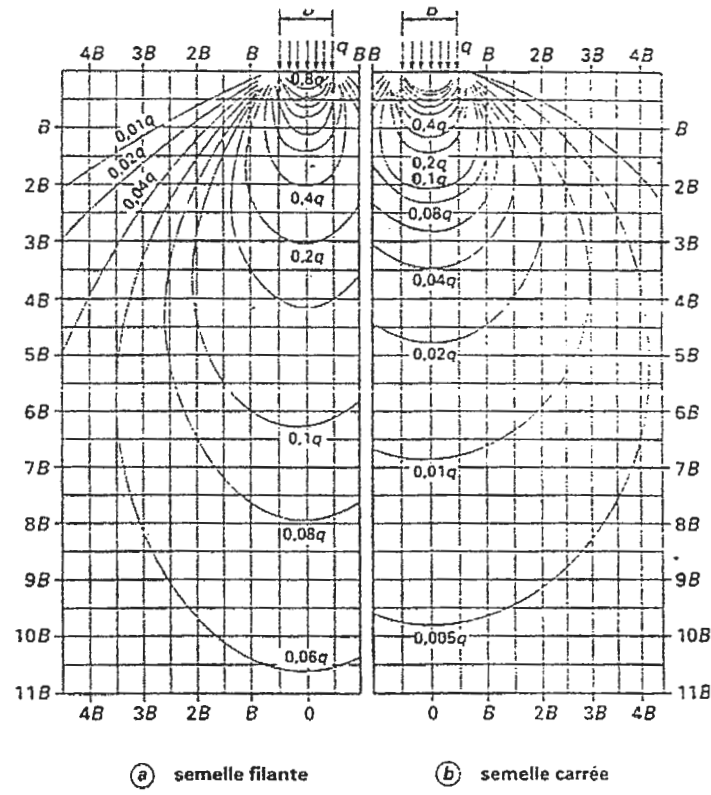


Fig. X-2 : Méthode approchée pour le calcul de la répartition des contraintes dans un massif.

$$\Delta \sigma_z = \frac{q \cdot L \cdot B}{(L + Z) \times (B + Z)}$$

- **Remarque** : plusieurs auteurs confirment qu'à partir d'une profondeur égale à trois fois la largeur de la semelle, l'influence de la contrainte verticale transmise au sol est négligeable.



Les contraintes sont données en fonction de la pression q appliquée à la surface
 Les distances à l'axe et les profondeurs sont données en fonction de la largeur B de la fondation

Fig. X-3 : courbes d'égales contraintes verticales $\Delta\sigma_z$ sous une fondation, dans un massif homogène, isotrope, semi-infini.

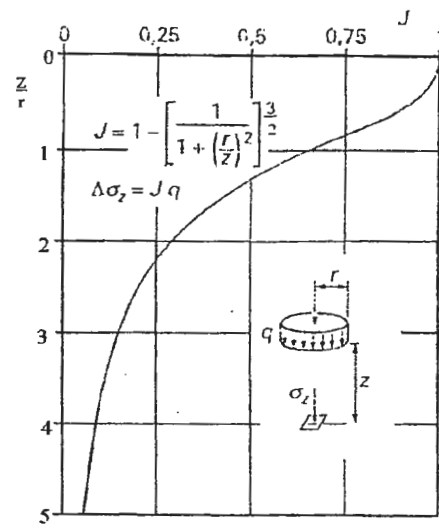


Fig. X-4 : Accroissement de contrainte verticale $\Delta\sigma_z$ sous l'axe d'une fondation circulaire uniformément chargée (par la contrainte q).

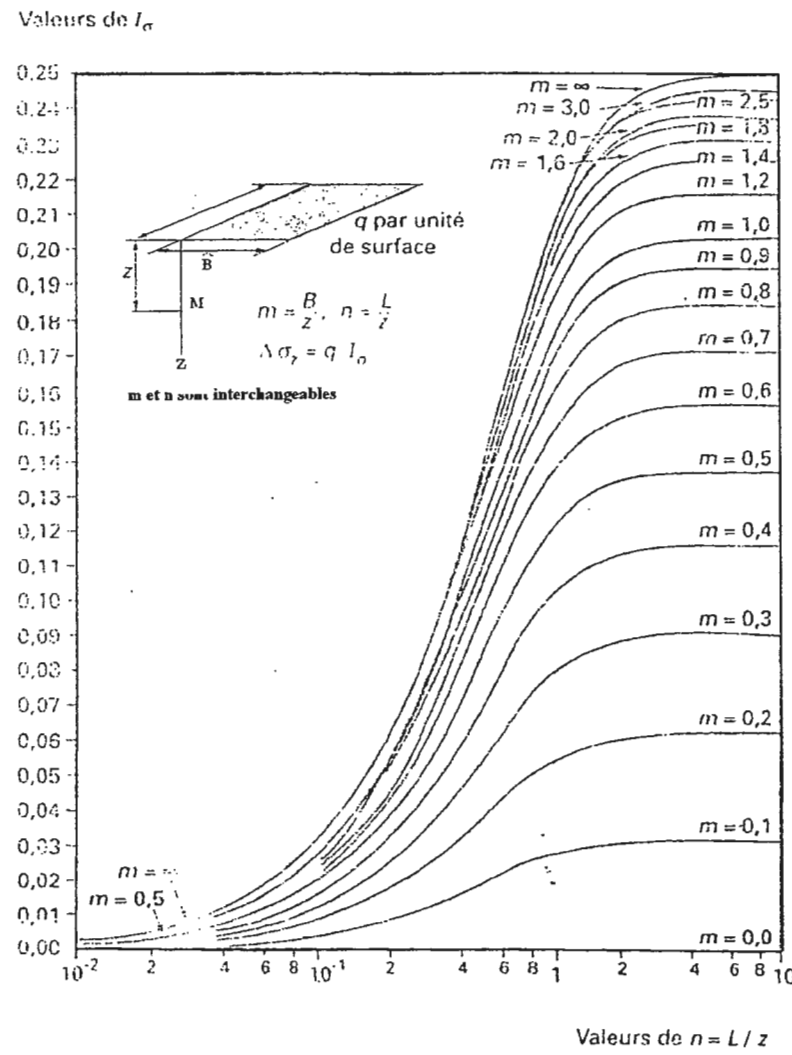


Fig.X-5 : Accroissement de contrainte verticale $\Delta\sigma_z$ sous le coin d'une fondation rectangulaire uniformément chargée (par la contrainte q).

X-3- Détermination des tassements :

Pour calculer la valeur des tassements, plusieurs méthodes ont été mises au point. Nous allons citer les méthodes les plus utilisées.

X-3-1- Calcul des tassements à l'aide du diagramme des phases :

La figure (Fig.X-6) représente une couche d'épaisseur H . Cette couche est composée de particules solides et de vides comme l'indique la figure centrale. On peut supposer que le volume des solides V_s est égal à un (1) et que le volume des vides est égal à e_0 , l'indice des vides initial. A la fin de la consolidation, la colonne de sil ressemble à celle qui est montrée à droite de cette figure.

Naturellement, le volume de sol demeure le même mais l'indice des vides a diminué d'une quantité égale à Δe .

$$\varepsilon_v = \frac{\Delta L}{L_0} \text{ ou } \frac{\Delta H}{H} = \frac{S}{H_0} = \frac{\Delta e}{1 + e_0}$$

Si on exprime le tassement ΔH en fonction de l'indice des vides, on obtient : (R.D. HOLTZ et W.D. KOVACS, 1991)

$$\Delta H = H \cdot \frac{\Delta e}{1 + e_0}$$

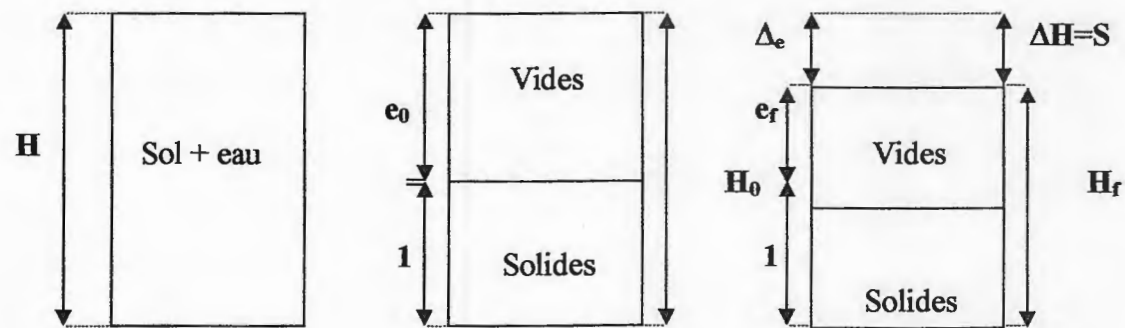


Fig. X-6 : Calcul des tassements à l'aide du diagrammes de phases.

X-3-2- Calcul des tassements en utilisant la méthode d'intégration par tranches :

Après avoir prélevé un ou plusieurs échantillons, on réalise la courbe œdométrique en faisant varier les contraintes normales (σ) :

- supposons que avant construction $\sigma_0 = \sigma'_c$ (pression de préconsolidation)
- la construction va apporter un accroissement de contrainte $\Delta\sigma$ d'où une variation de l'indice des vides « e » qui devient « e_f » (indice des vides final après l'application de $\Delta\sigma$). (Fig. X-7)

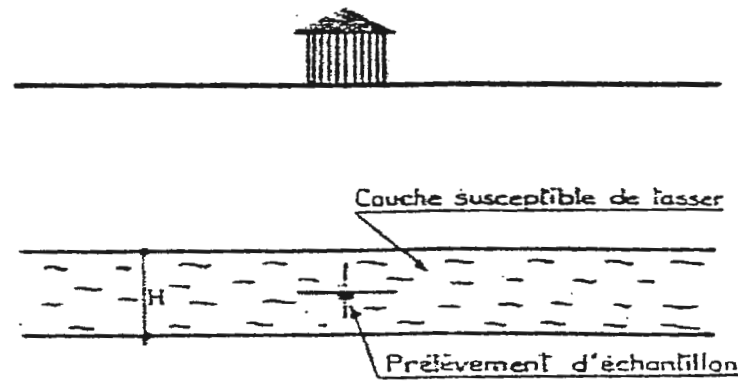


Fig. X-7 : Prélèvement d'échantillon pour l'essai oedométrique.

On voit aisément sur le diagramme que : (Fig.X-8)

$$\Delta e = e_f - e_0 = C_c \cdot \log \frac{\sigma_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_c}$$

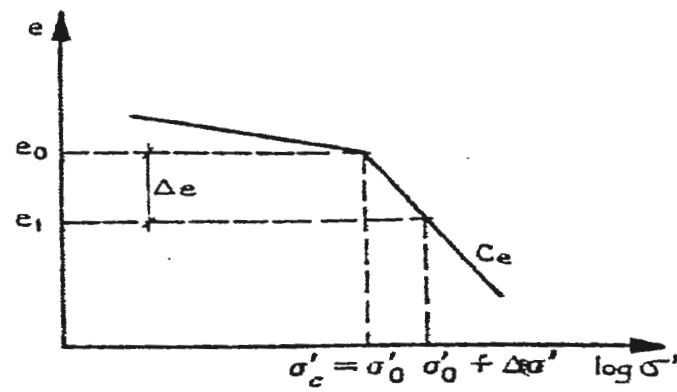


Fig. X-8 : Diagramme de la variation de e avec σ

Le tassement ΔH de la couche de hauteur H est alors, compte tenu de l'expression de « Δe » pour un échantillon de hauteur $(1 + e_0)$, est : (Fig.X-9) (M. FORNI, 1981)

$$\Delta H = H \cdot \frac{\Delta e}{1 + e_0} = H \cdot \frac{1}{1 + e_0} \cdot C_c \cdot \log \frac{\sigma_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_c}$$

(J.P. MAGNAN et B. SOYER, 2000)

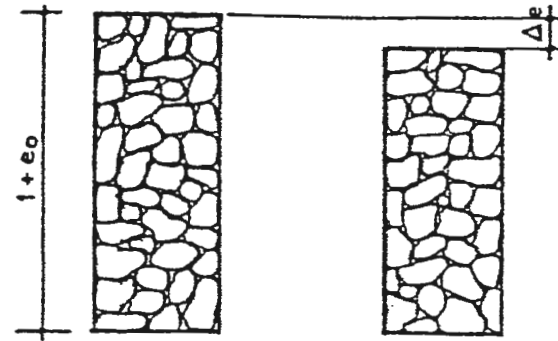


Fig. X-9 : Resserrement des espaces dans un sol tassé.

X-3-3- Tassement admissibles des fondations :

Le tassement d'un bâtiment ne présente en général pas de danger quand il est uniforme. Seuls les tassements différentiels entre appuis peuvent avoir des conséquences dangereuses.

L'amplitude des tassements différentiels dépend de la nature de la construction. Les études montrent qu'une structure peut supporter des tassements différentiels de l'ordre $1/300$ de la distance entre appuis.

Dans tous les cas, pour les bâtiments courants, il apparaît des fissures lorsque le tassement dépasse « 5 cm ».

Il convient d'être très prudent quant aux incertitudes dues au calcul des tassements. Néanmoins, on peut énoncer les règles suivantes qu'il faut respecter pour l'élaboration d'un projet.

Dans le tableau suivant, on donne quelques valeurs de tassements admissibles en fonction de la nature du sol à construire ainsi que les types de fondations adoptées. (M. FORNI, 1981)

Tassement différentiel admissible	1/500 de la portée entre appuis (appuis isolés ou radiers) et 1/1000 pour plus de sûreté.
Tassement différentiel admissible	Sur argile : 3 à 4 cm Sur sable : 2 à 3 cm
Tassement total	Avec fondation isolée : $\left\{ \begin{array}{l} \text{argile : 6 cm} \\ \text{sable : 4 cm} \end{array} \right.$ Avec un radier : $\left\{ \begin{array}{l} \text{argile : 10 cm} \\ \text{sable : 6 cm} \end{array} \right.$

Tableau X-1 : Tassements admissibles en fonction du sol.

X-4- Résultats du tassement absolu du sol étudié :

Pour le calcul des tassement, on a prit des charges comprises dans la fourchette : 20T, 30T et 40T et on procède de la manière suivante :

X-4-1- calcul des contraintes appliquées au sol : (σ_0 , σ_f , $\Delta\sigma_z$)

- σ_0 : contrainte initiale
- σ_f : contrainte finale
- $\Delta\sigma$: contrainte appliquée après chargement (ou surcharge).

*** D'après l'essai de compressibilité : sondage n° 3 : profondeur : 2,5m-4,5m :**

- Pour une charge de 20T :

$$\begin{aligned} \sigma_0 &= \gamma_h \times \left(D + \frac{3B}{2} \right) \\ &= 1,89 \times \left(1,5 + \frac{3 \times 1,5}{2} \right) \\ &= 1,89 \times 3,75 \end{aligned}$$

avec :

$$\left\{ \begin{array}{l} D = 1,5\text{m} \\ B = 1,5\text{m} \\ \gamma_h = 1,89\text{m} \\ Z = \frac{3B}{2} = 2,25\text{ m} \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow \sigma_0 = 7,09 \text{ T/m}^2 = 0,709 \text{ bars}$$

Sachant que : $\sigma_{f1} = \sigma_0 + \Delta\sigma_{z1}$, avec : $\Delta\sigma_z = \frac{qLB}{(L+Z)(B+Z)}$

$$\text{-semelle carrée : } L = B \Rightarrow \Delta\sigma_z = \frac{q \cdot B^2}{(B+Z)(B+Z)} = \frac{q \cdot B^2}{(B+Z)^2}$$

$$\sigma_{f1} = \sigma_0 + \Delta\sigma_{z1} = 7,09 + \frac{20}{(1,5+2,25)^2} = 7,09 + \frac{20}{(3,75)^2} = 8,51 \text{ T/m}^2$$

$$\Rightarrow \boxed{\sigma_{f1} = 0,851 \text{ bars}}$$

- Pour la charge de 30T :

$$\sigma_{f2} = \sigma_0 + \Delta\sigma_2$$

$$\sigma_{f2} = \sigma_0 + \Delta\sigma_{z2} = 7,09 + \frac{30}{(1,5+2,25)^2} = 7,09 + \frac{30}{(3,75)^2} = 9,22 \text{ T/m}^2$$

$$\Rightarrow \boxed{\sigma_{f2} = 0,922 \text{ bars}}$$

- Pour la charge de 40T :

$$\sigma_{f3} = \sigma_0 + \Delta\sigma_3$$

$$\sigma_{f3} = \sigma_0 + \Delta\sigma_{z3} = 7,09 + \frac{40}{(1,5+2,25)^2} = 7,09 + \frac{40}{(3,75)^2} = 9,93 \text{ T/m}^2$$

$$\Rightarrow \boxed{\sigma_{f3} = 0,993 \text{ bars}}$$

X-4-2- Calcul des indices des vides : (e_0 , e_f , Δe)

- e_0 : Indice des vides initial
- e_f : Indice des vides final
- Δe : variation de l'indice des vides.

D'après les données obtenues des courbes de compressibilité on obtient :

$$\text{- pour une charge de 20T : } \left\{ \begin{array}{l} e_0 = 0,682 \\ e_f = 0,678 \\ \Delta e = 0,004 \end{array} \right.$$

$$- \text{ pour une charge de } 30T : \begin{cases} e_0 = 0,682 \\ e_r = 0,676 \\ \Delta e = 0,006 \end{cases}$$

$$- \text{ pour une charge de } 40T : \begin{cases} e_0 = 0,682 \\ e_r = 0,674 \\ \Delta e = 0,008 \end{cases}$$

X-4-3- Calcul du tassement final : (ΔH)

Calculons le tassement total induit au sol par des semelles isolées carrées (fondations adoptées pour le bloc logement projeté), pour une profondeur d'ancrage D de 1,50m.

Le tassement absolu est estimé à partir de la formule suivante :

$$\Delta H = H \cdot \frac{\Delta e}{1 + e_0}$$

Avec : ΔH : tassement total (cm)

H : hauteur de la couche tassante.

Les résultats de calcul sont représentés dans le tableau suivant :

Charge (T)	σ_0 (bars)	$\Delta\sigma$ (bars)	σ_r (bars)	e_0	e_r	Δe	H=3B (m)	ΔH (cm)
20	0,709	0,142	0,851	0,682	0,678	0,004	4,50	1,1
30	0,709	0,213	0,922	0,682	0,676	0,006	4,50	1,6
40	0,709	0,224	0,933	0,682	0,674	0,008	4,50	2,1

Le tassement absolu est de l'ordre de 2 cm pour une charge maximale de 40T.

En comparant ces résultats avec les valeurs des tassements admissibles cités précédemment, le sol étudié tasse d'une manière qu'on peut qualifier d'**admissible**.

***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 les phénomènes déstabilisateurs qui pourraient toucher le site du futur lycée.

Dans la première partie consacrée à l'aspect géologique de la région ainsi que du site, où on a effectué une synthèse des documents d'auteurs ayant traité la géologie de la région, puis les sorties effectuées sur place avec nos encadreurs, et les constatations faites sur site :

- Vu les différents événements géologiques ayant touché la région
- Vu la structure complexe de la région
- Vu la présence de plusieurs failles coupant la région et affectant le socle métamorphique
- Vu la grande quantité de pluies reçues par le terrain
- Vu le recouvrement du socle par une couche d'éboulis de pente d'une épaisseur importante

On est parvenu à dire que le site choisi pour le projet du lycée est **vulnérable** et pourrait se comporter d'une manière préjudiciable pour les constructions envisagées à moins de prendre des précautions et protéger le terrain d'assiette et ses alentours avec des méthodes confortatives.

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'une argile limoneuse jaunâtre moyennement compressible.

Le calcul de stabilité a été effectué selon des profils en travers **P1** et **P2** indiqué sur le plan « relevé topographique », sur la base des données suivantes :

- argile limoneuse ayant une densité sèche $\gamma_d = 1,73 \text{ T/m}^3$
- un angle de frottement interne $\phi = 10^\circ$
- une cohésion $C = 2,1 \text{ T/m}^3$

* Le coefficient de sécurité, calculé par la méthode de Fellinius, de certains cercles (P1, C2), (P1, C4) et (P2, C2) sont faibles surtout en présence de nappe ou dans le cas où le sol est humide. Ce résultat est modéré en utilisant la méthode de Bishop, pour les cercles (P1, C2), (P1, C4) les talus sont **douteux** car leurs F_s est situé entre 1 et 1,5.

* L'angle d'inclinaison d'égale stabilité qu'il faut prendre en considération pour garantir la stabilité des talus est de l'ordre de 20° .

* Pour des fondations superficielles de type **semelles isolées carrées**, ancrées à une profondeur **D = 1,5 m**, la contrainte admissible du sol est $Q_{ad} = 0,94 \text{ bars}$.

2- Synthèse et recommandations :

Les résultats du calcul de stabilité montrent clairement une diminution du coefficient de sécurité du talus étudié en présence d'eau remarquablement présent dans notre site et dans la région.

On se basant sur les observations de terrain, ainsi que sur les résultats des différents calculs (stabilité des talus, capacité portante du sol, tassements, compressibilité), on en conclut que le terrain choisi pour le bloc logement (projeté) ne peut recevoir ce dernier, concernant le talus derrière le lycée, nous recommandons ce qui suit pour garantir sa stabilité et mettre le lycée en de meilleurs conditions de sécurité :

- **Réaliser un réseau de drainage** en haut du talus surplombant le terrain d'assiette afin d'évacuer les eaux en circulation dans le sol et diminuer les pressions interstitielles

- **Retaluter les parties du talus** qui présentent des bombement (signe annonciateur d'un début de glissement) pour adoucir la pente et éviter les stagnations des eaux de surface qui s'infiltreraient dans le sol en place

- **Boiser le talus** avec des arbres consommant beaucoup d'eau et ayant un réseau de racines dense (avec des eucalyptus par exemple)

- **Revoir le plan de masse du projet** en écartant la possibilité de construction du bloc logement sur le talus instable.



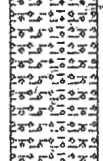
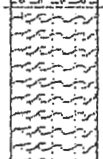
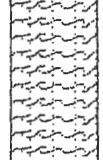
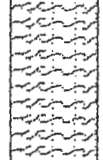
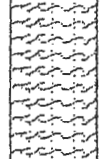
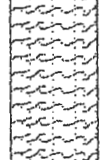
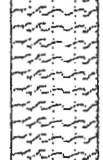


➤ **Remarque :** Le détail des méthodes confortatives est joint en « Annexe D ».

Annexes

Annexe : A

LNHC

COUPE DU: SC1 Ech:1/ 50e
Projet: Etude de Stabilité Lycee TEXANNAL
Lieu: TEXANNA -JIJEL X= 0 Y= 0 Z= 0 In=dg.



















	Rec	Litho	Ech					Tub	Description
0									1 Remblai en argile limoneuse
-1									
-2									
-3									
-4									2 Argile limoneuse jaunâtre
-5									
-6									
-7									
-8									
-9									
-10									

LNHC

COUPE DU: SC3 Ech:1/ 50e

Projet: Etude de Stabilité Lycee TEXANNA

Lieu: TEXANNA -JNEL X= 0 Y= 0 Z= 0 In=dg.

	Rec	Litho	Ech					Tub	Description
0									
-0.5									
-1									1 Remblai en argile limoneuse
-1.5									
-2									
-2.5									
-3									
-3.5									
-4									
-4.5									2 Argile limoneuse jaunâtre
-5									
-5.5									
-6									
-6.5									
-7									
-7.5									
-8									
-8.5									

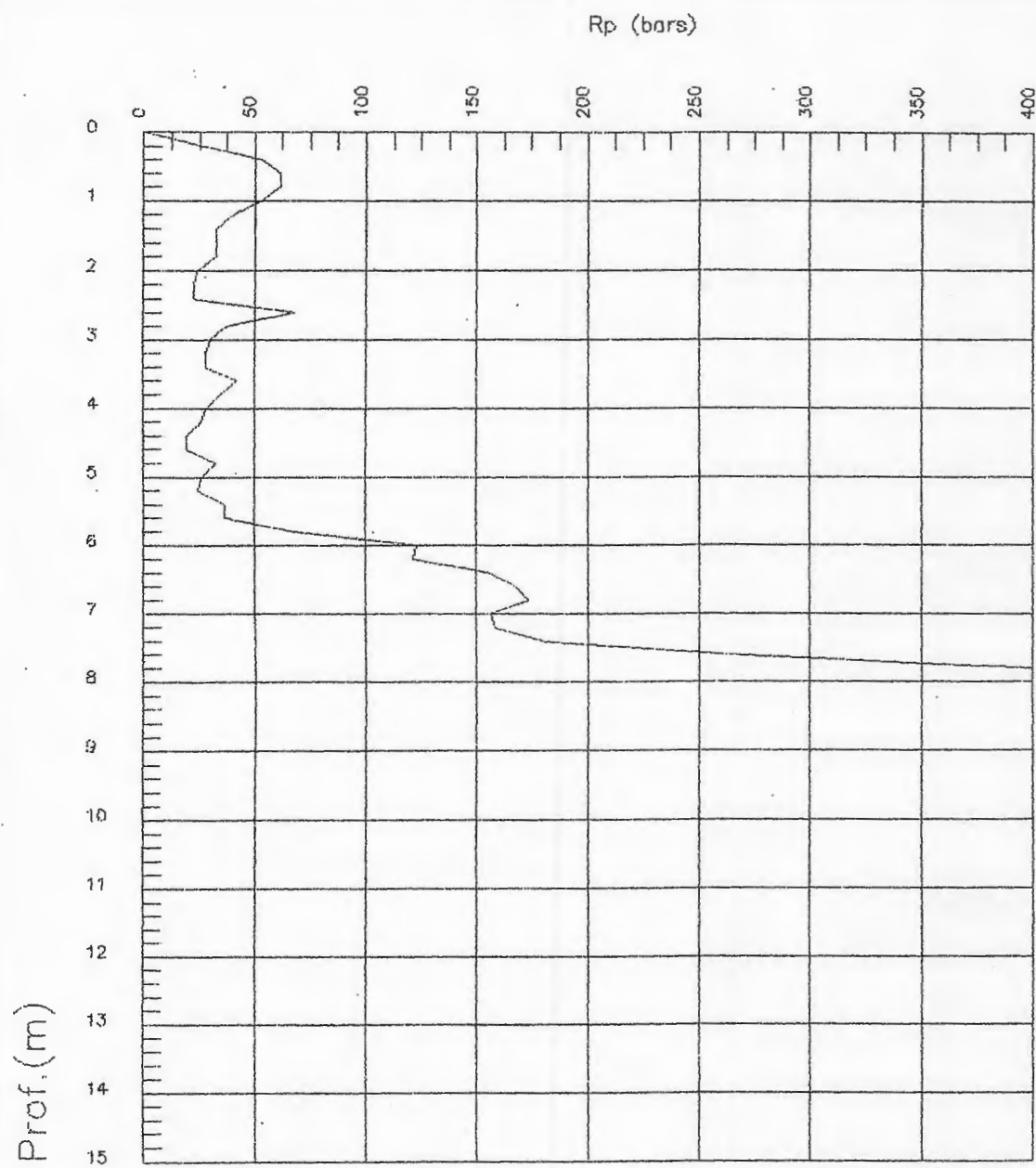
LNHC

ESSAI AU PENETROMETRE LOURD

Sondage No P1 8.80 m

Titre Etude stabilite Lycée 300/1000 TEXANNA

Localite TEXSANNA -JIJEL



Code: taxanna.pnt 08-05-2003

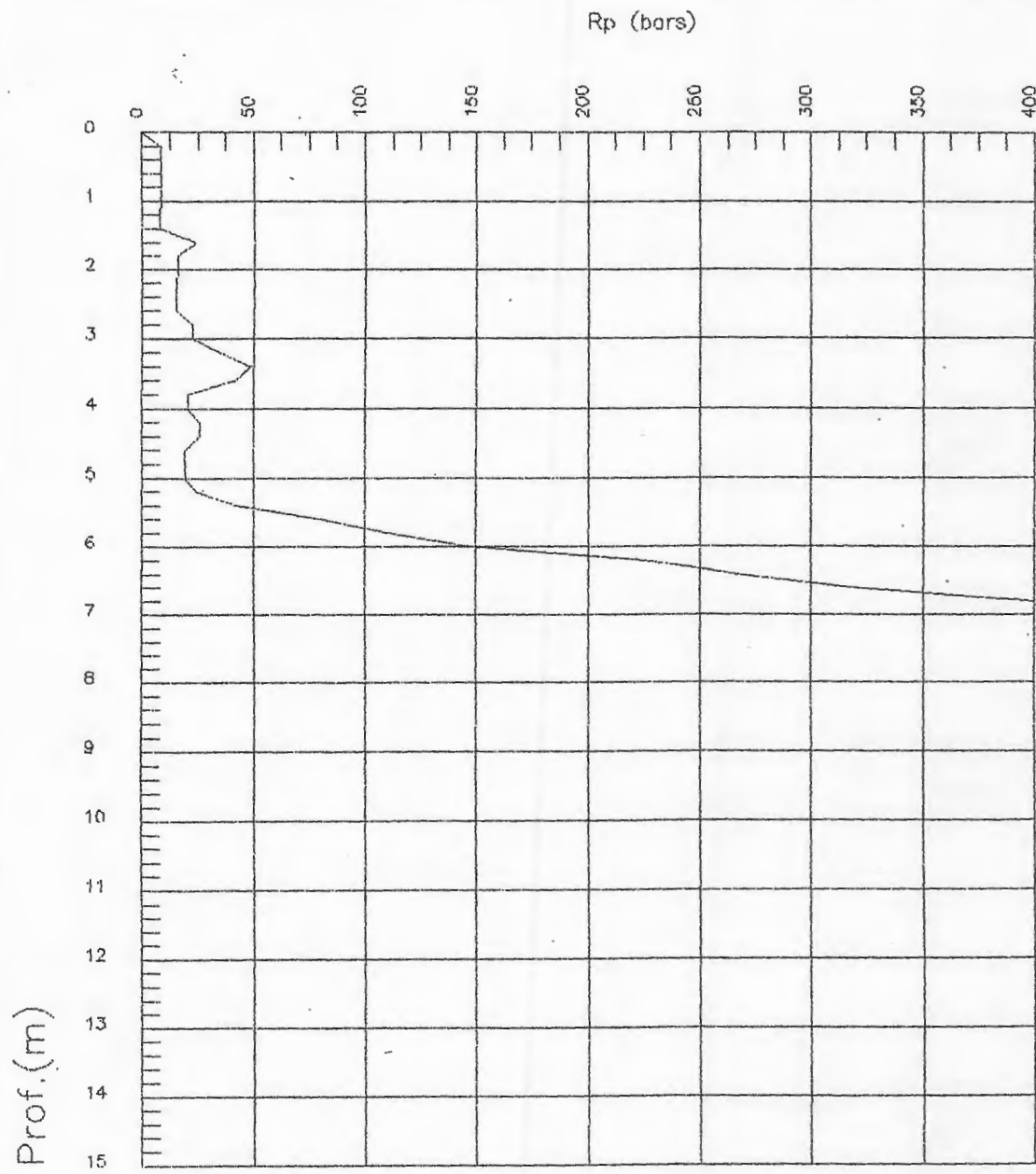
LNHC

ESSAI AU PENETROMETRE LOURD

Sondage No P2 7.60 m

Titre Etude stabilite Lycee 300/1000 TEXANNA

Localite TEXSANNA -JIJEL



Prof. (m)

Code: taxanna.pnt 08-06-2003

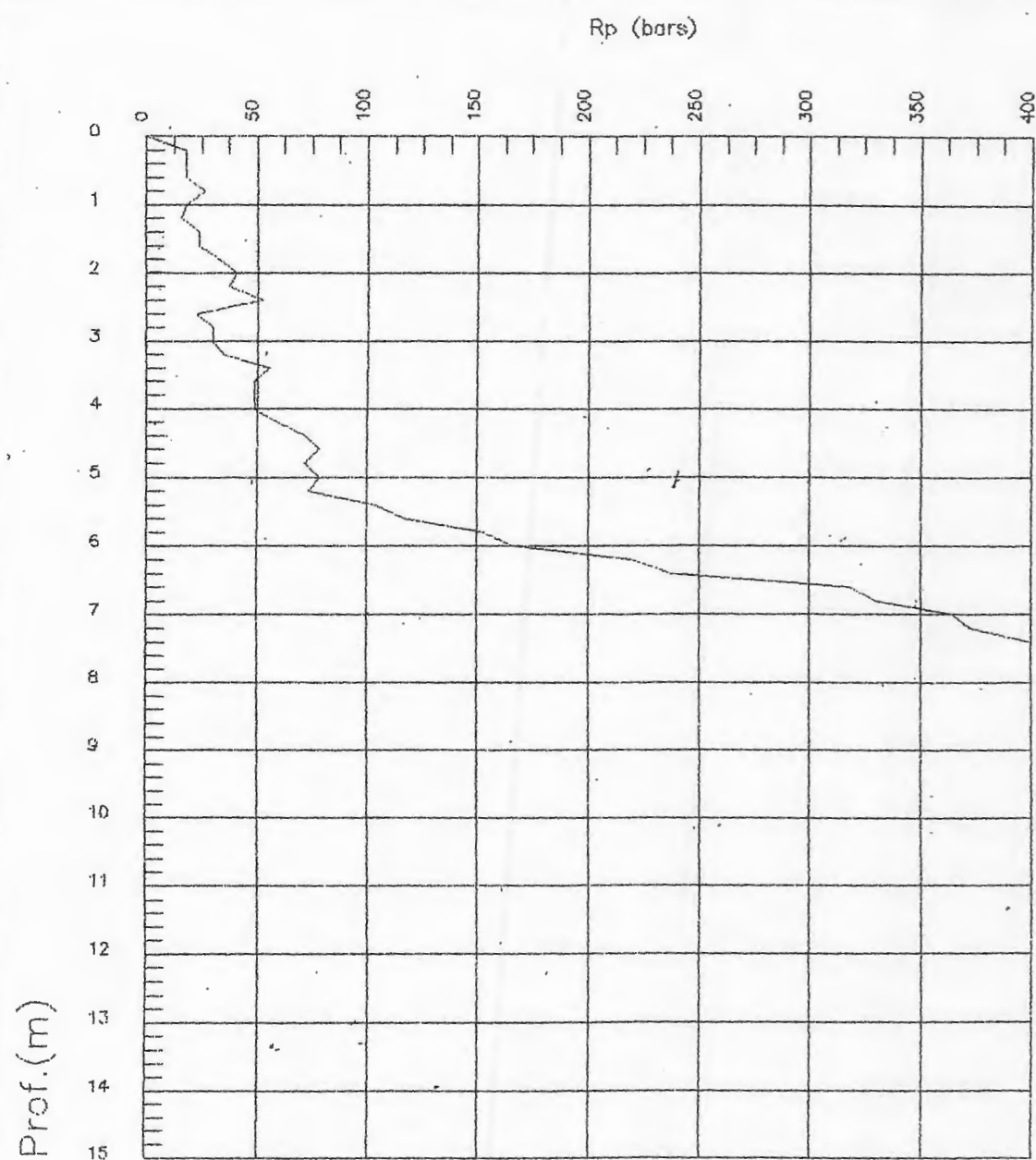
LNHC

ESSAI AU PENETROMETRE LOURD

Sondage No P3 8.00 m

Titre Etude stabilite Lycee 300/1000 TEXANNA

Localite TEXSANNA -JIJEL



Code: taxanna.pnt 08-06-2003

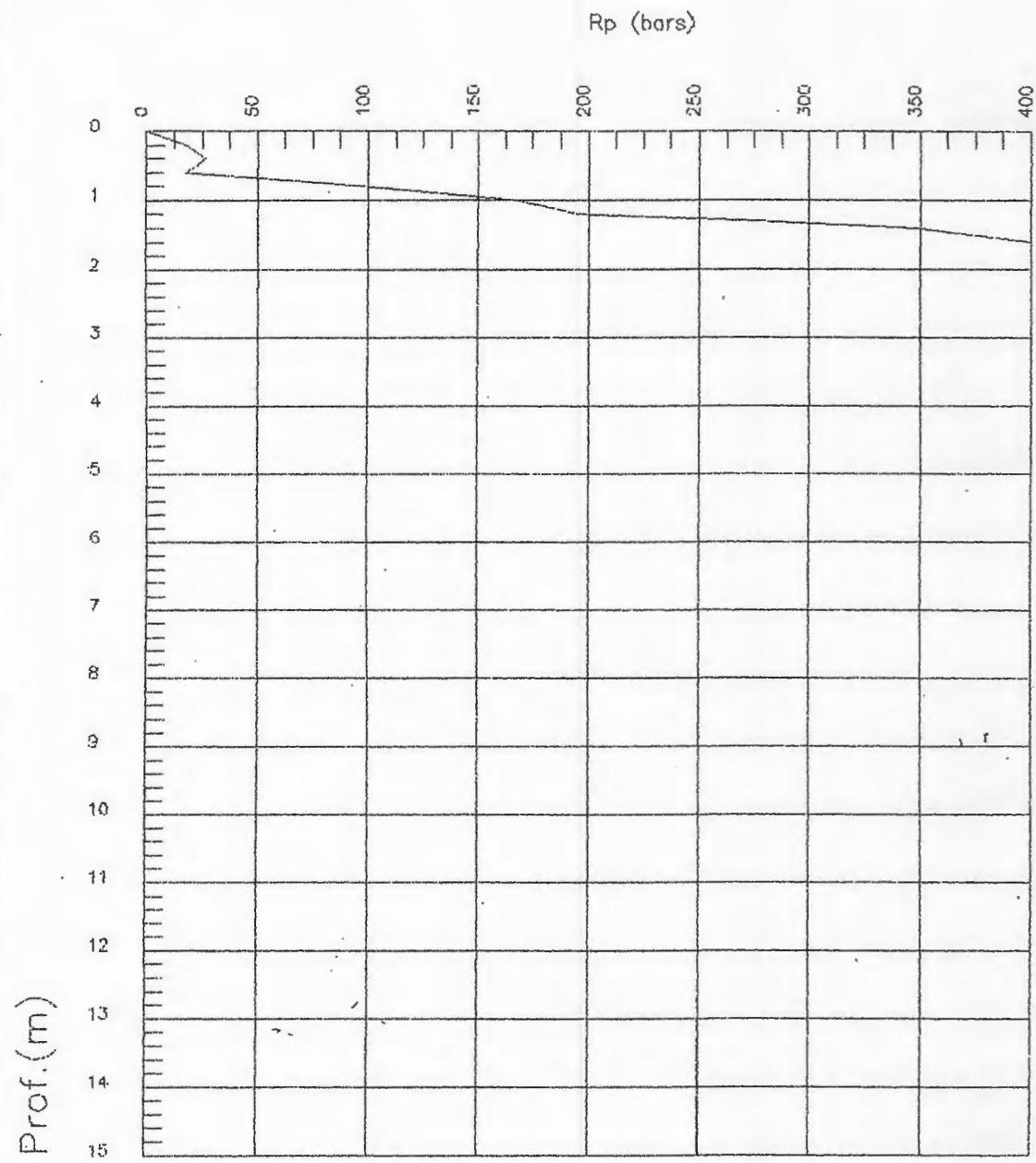
LNHC

ESSAI AU PENETROMETRE LOURD

Sondage No P4 1.80 m

Titre Etude stabilite Lycee 300/1000 TEXANNA

Localite TEXSANNA -JIJEL



Code: taxanna.pnt 08-06-2003

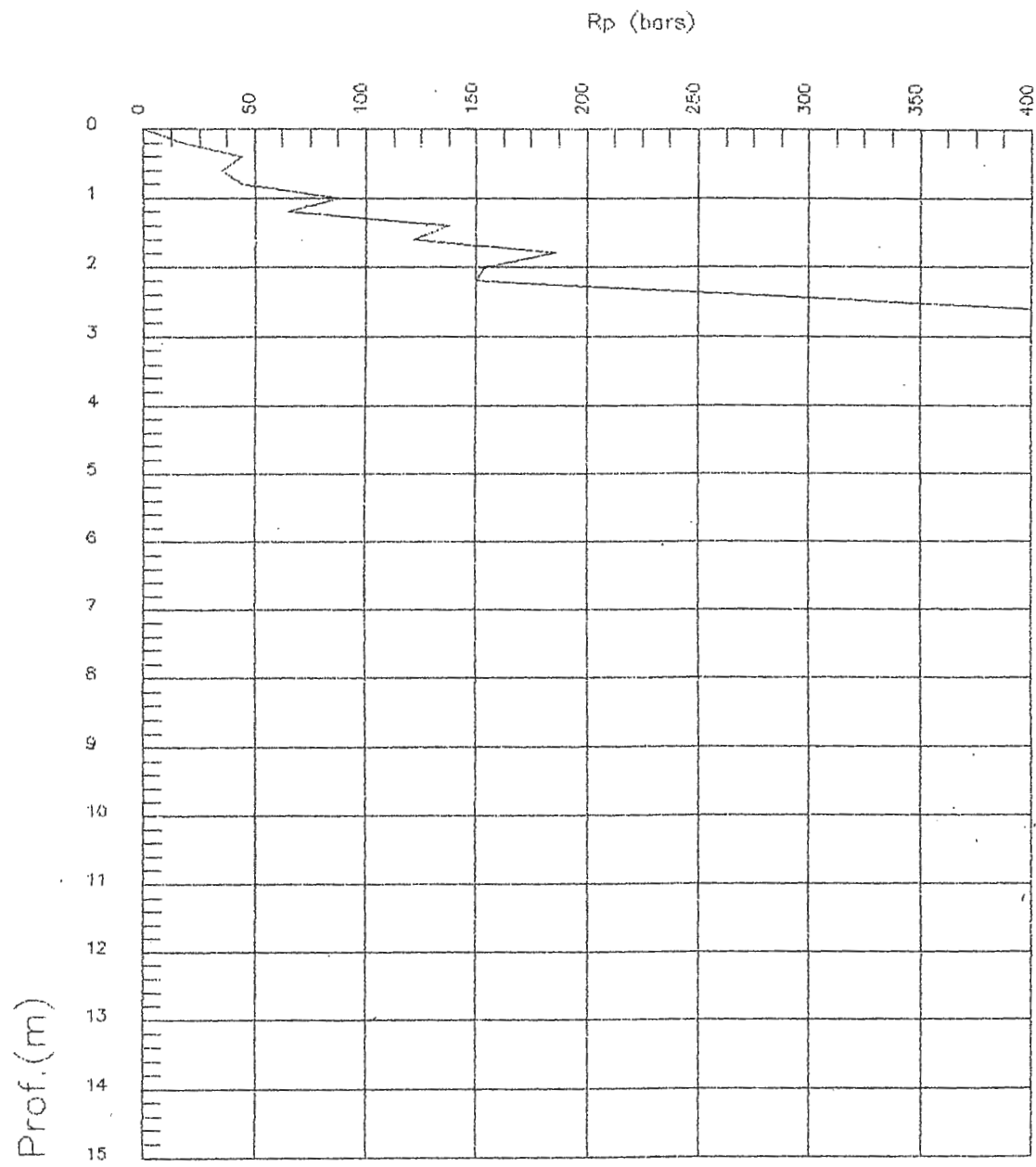
LNHC

ESSAI AU PENETROMETRE LOURD

Sondage No P5 2.60 m

Titre Etude stabilite Lycee 300/1000 TEXANNA

Localite TEXSANNA -JIJEL

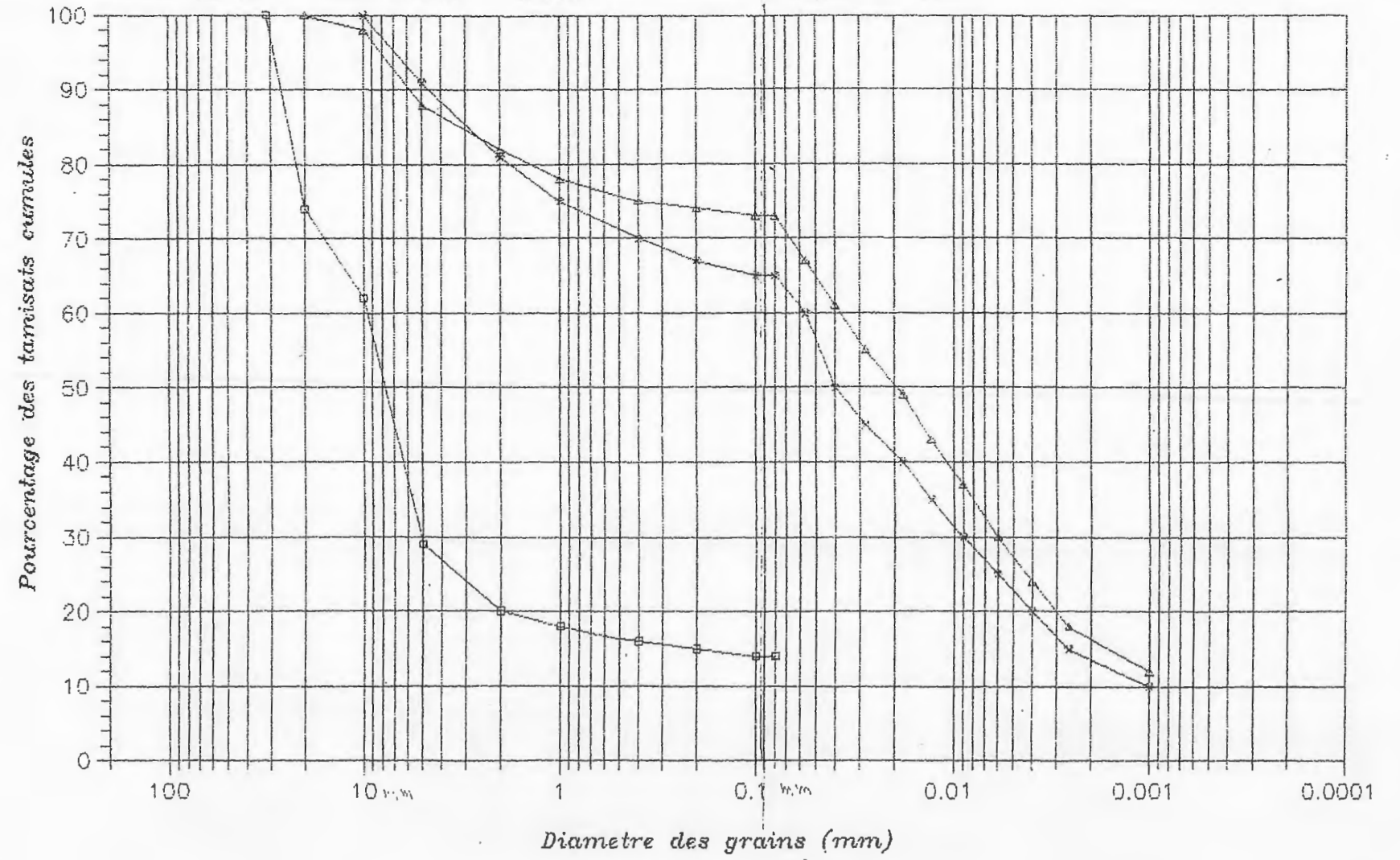


Code: taxanna.pnt 08-06-2003

L.N.H.C - SKIKDA
ANALYSE GRANULOMETRIQUE

- □ □ □ SC N: 1 Prof.: 0.00m - 10.00m
- △ △ △ △ SC N: 1 Prof.: 3.00m - 6.00m
- * * * * SC N: 1 Prof.: 6.00m - 9.00m

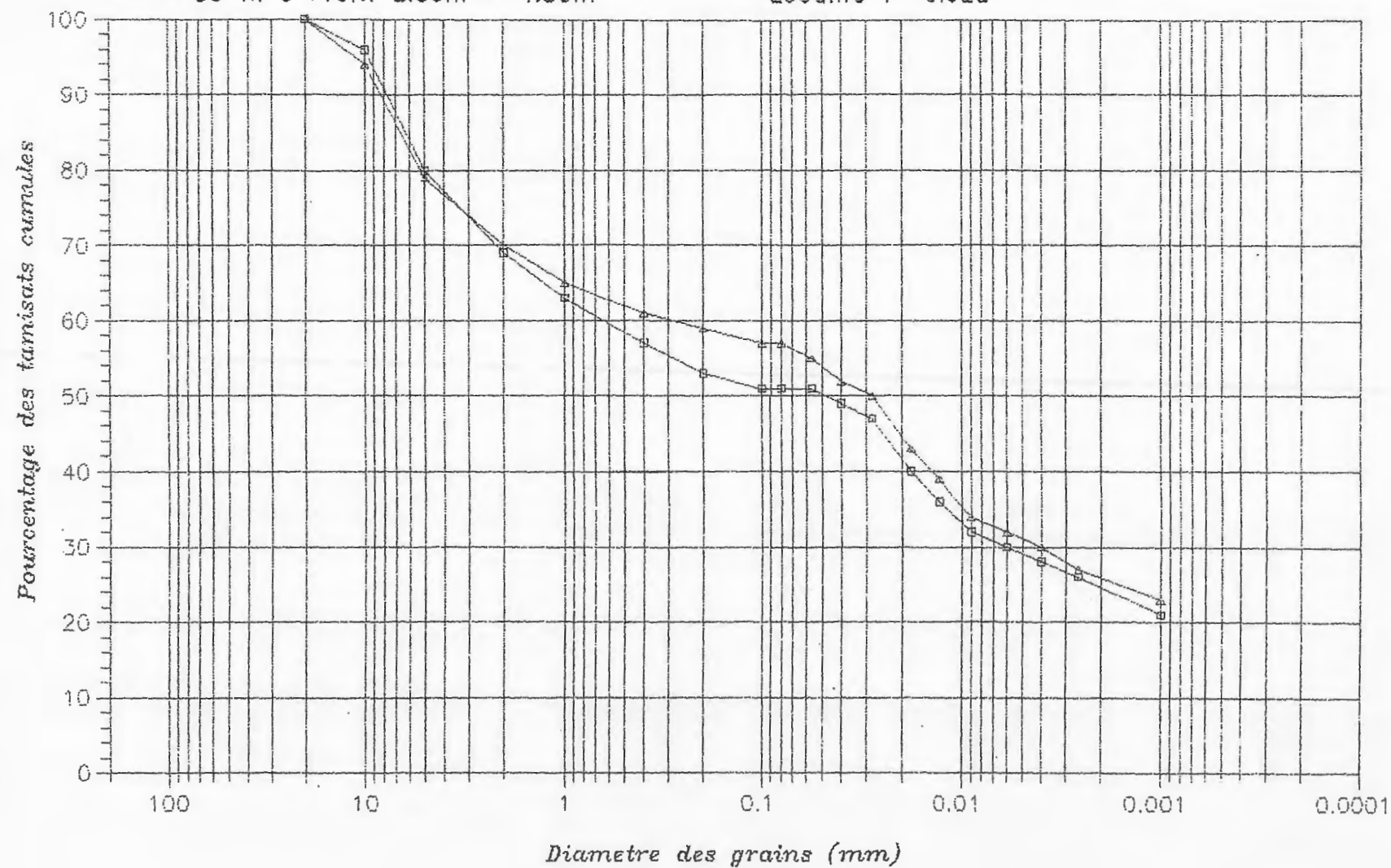
PROJET: Etude de Stabilité Lycee TEXANNA
Localité : JIJEL



L.N.H.C - SKIKDA
ANALYSE GRANULOMETRIQUE

□□□□ SC N: 3 Prof.: 0.00m - 2.50m
△△△△ SC N: 3 Prof.: 2.50m - 4.50m

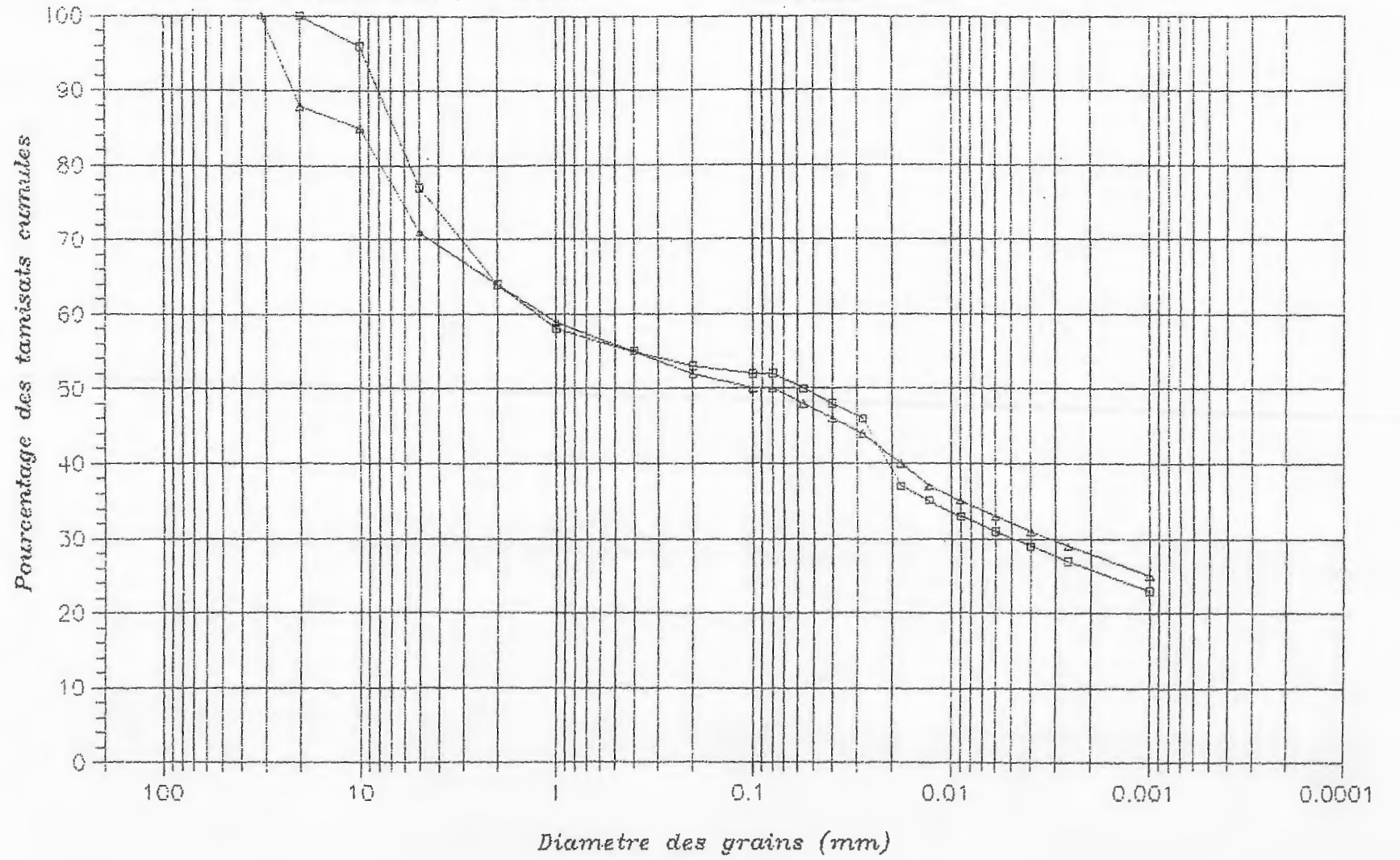
PROJET: Etude de Stabilité Lycee TEXANNA
Localité : JIJEL



L.N.H.C - JIKVA
ANALYSE GRANULOMETRIQUE

□□□□ SC N: 3 Prof.: 4.50m - 6.50m
△△△△ SC N: 3 Prof.: 6.50m - 8.50m

PROJET: Etude de Stabilité Lycee TEXANNA
Localité : JIJEL



LNHC ESSAI DE CISAILLEMENT Dossier: Etude Stabilité Lycee TEXANA

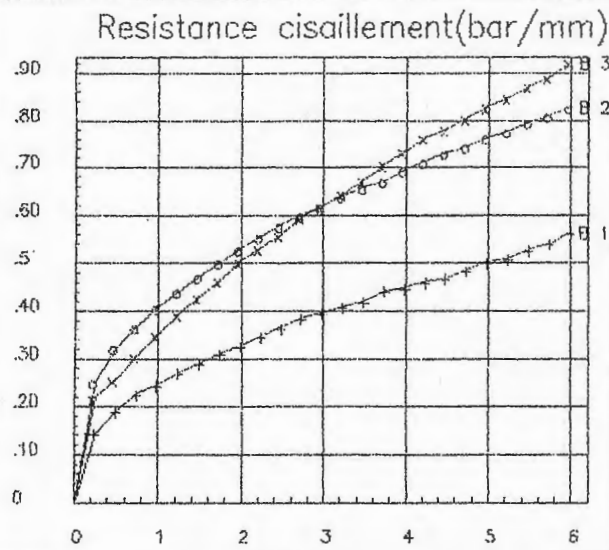
Sondage: SC2
 Prof.: 3,00 a 6,00m
 Sol:
 Code fichier: texanna1

B1	B2	B3	B4

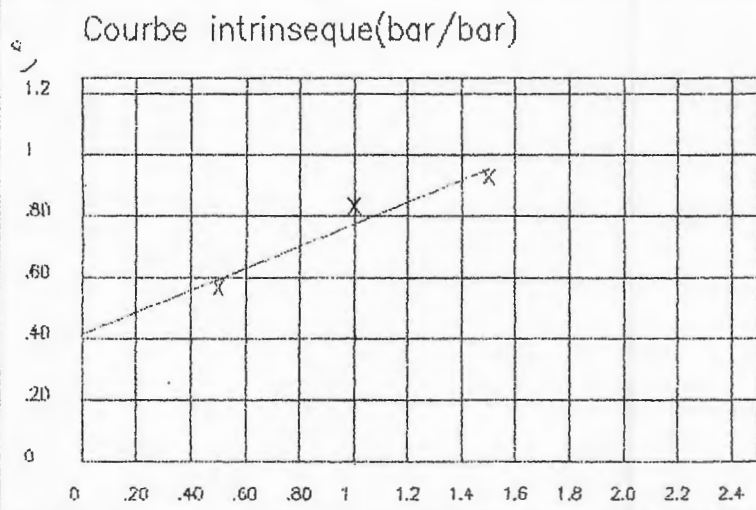
Essai: UU
 Boite Carr. 6 cm
 Anneau: 0841
 Vitesse: 0.900 mm/mn

Avec correction de la section de cisaillement

$$\sigma_h = Wl = Wp = lp =$$



Tassement-gonflement (dep/mm)



$\sigma_1 = .5$ $\tau_1 = .565$
 $\sigma_2 = 1$ $\tau_2 = .830$
 $\sigma_3 = 1.5$ $\tau_3 = .924$

 $\phi = 18 \text{ dgr}$ $C = .40 \text{ bars}$

LNHC ESSAI DE CISAILLEMENT

Dossier: Etude Stabilité Lycee TEXANA

Sondage: SC2

Prof.: 6,00 a 9,00m

Sol:

Code fichier: texanna2

B1	B2	B3	B4

W%

Essai: UU

Boite Carr. 6 cm

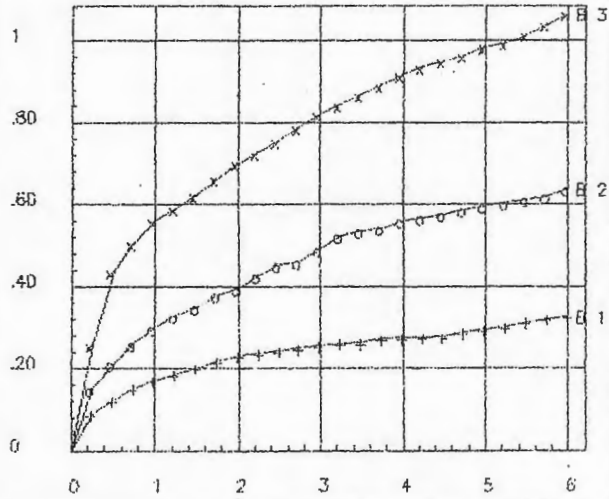
Anneau: .0841

Vitesse: 0.900 mm/mn

Avec correction de la section de cisaillement

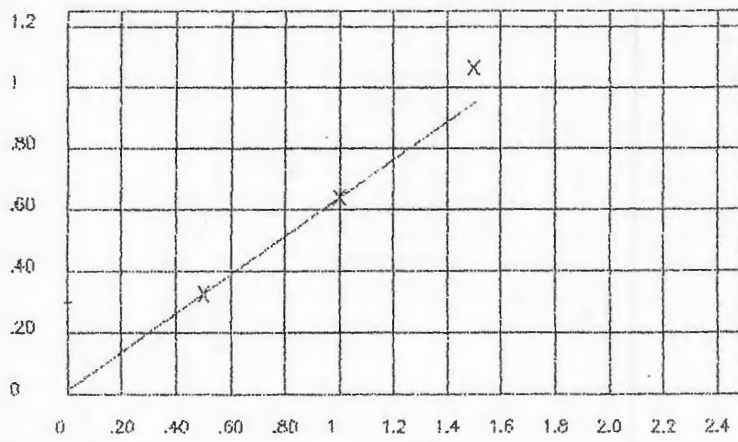
$$\sigma_h = Wl = Wp = lp =$$

Resistance cisaillement (bar/mm)



Tassement-gonflement (dep/rmm)

Courbe intrinseque (bar/bar)



$$\sigma_1 = .5 \quad \tau_1 = .327$$

$$\sigma_2 = 1 \quad \tau_2 = .638$$

$$\sigma_3 = 1.5 \quad \tau_3 = 1.06$$

$$\phi = 30 \text{ dgr} \quad C = 0.5 \text{ bars}$$

LNHC ESSAI DE CISAILLEMENT

Dossier: Etude Stabilité Lycee TEXANA

Sondage: SC3

Prof.: 4,50 a 6,50m

Sol:

Code fichier: texanna5

W₈

B1	B2	B3	B4

Essai: UU

Boite Carr. 6 cm

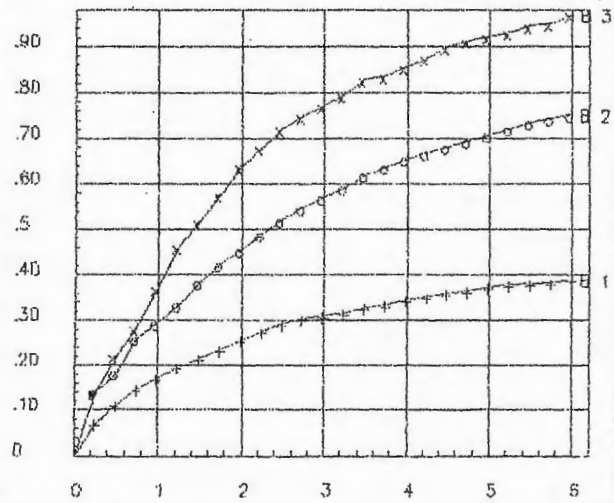
Anneau: 0841

Vitesse: 0.900 mm/mn

Avec correction de la section de cisaillement

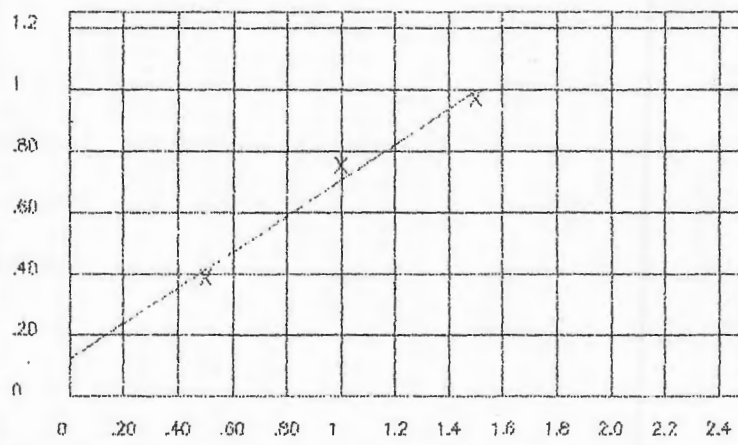
$$\gamma_h = W_l = W_p = I_p =$$

Resistance cisaillement (bar/mm)



Tassement-gonflement (dep/mm)

Courbe intrinseque (bar/bar)



$$\sigma_1 = .5 \quad \tau_1 = .389$$

$$\sigma_2 = 1 \quad \tau_2 = .752$$

$$\sigma_3 = 1.5 \quad \tau_3 = .970$$

$$\phi = 30 \text{ dgr} \quad C = .12 \text{ bars}$$

LNHC ESSAI DE CISAILLEMENT

Dossier: Etude Stabilité Lycee TEXANA

Sondage: SC3
 Prof.: 0,00 a 2,50m
 Sol:
 Code fichier: texanna3

W%

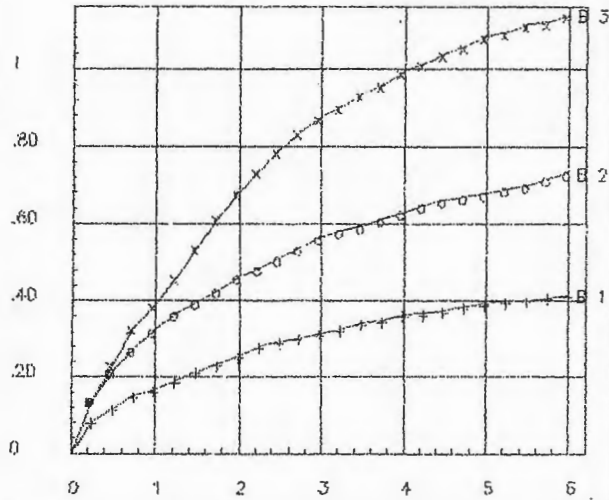
B1	B2	B3	B4

Essai: UU
 Boite Carr. 6 cm
 Anneau: .0841
 Vitesse: 0.900 mm/mn

Avec correction de la section de cisaillement

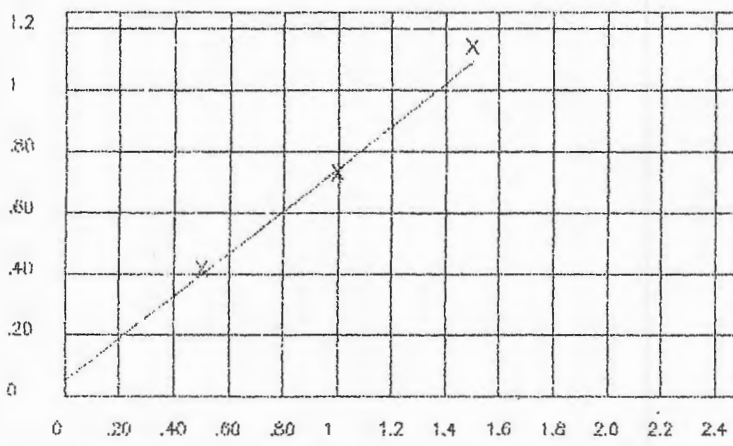
$$\sigma_h = Wl = Wp = lp =$$

Resistance cisaillement (bar/mm)



Tassement-gonflement (dep/mm)

Courbe intrinseque (bar/bar)



$$\sigma_1 = .5 \quad \tau_1 = .415$$

$$\sigma_2 = 1 \quad \tau_2 = .731$$

$$\sigma_3 = 1.5 \quad \tau_3 = 1.14$$

$$\phi = 35 \text{ dgr} \quad C = .075 \text{ bars}$$

LNHC ESSAI DE CISAILLEMENT

Dossier: Etude Stabilité Lycee TEXANA

Sondage: SC3

Prof.: 2,50 a 4,50m

Sol:

Code fichier: lexanna4

W%

B1	B2	B3	B4

Essai: UU

Boite Circ. 6 cm

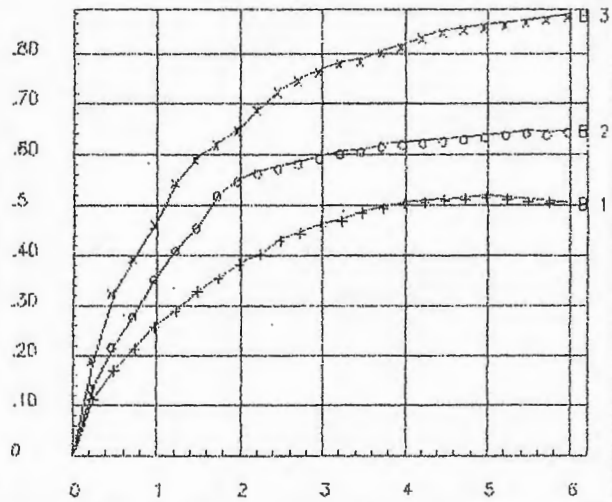
Anneau: 0841

Vitesse: 0.900 mm/mn

Avec correction de la section de cisaillement

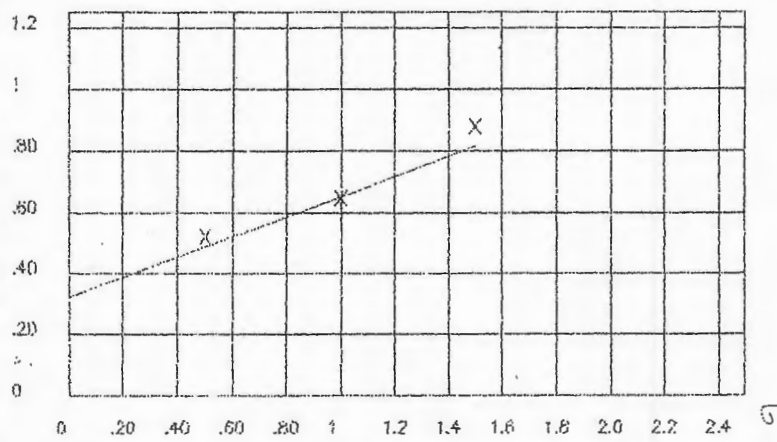
$$\sigma_h = Wl = Wp = lp =$$

Resistance cisaillement (bar/mm)



Tassement-gonflement (dep/mm)

Courbe intrinseque (bar/bar)



$$\sigma_1 = .5 \quad \tau_1 = .519$$

$$\sigma_2 = 1 \quad \tau_2 = .647$$

$$\sigma_3 = 1.5 \quad \tau_3 = .879$$

$$\phi = 15 \text{ dgr} \quad C = .32 \text{ bars}$$

LNHC ESSAI DE CISAILLEMENT

Dossier: Etude Stabilité Lycee TEXANA

Sondage: SC3
Prof.: 6,50 a 8,50m

B1	B2	B3	B4

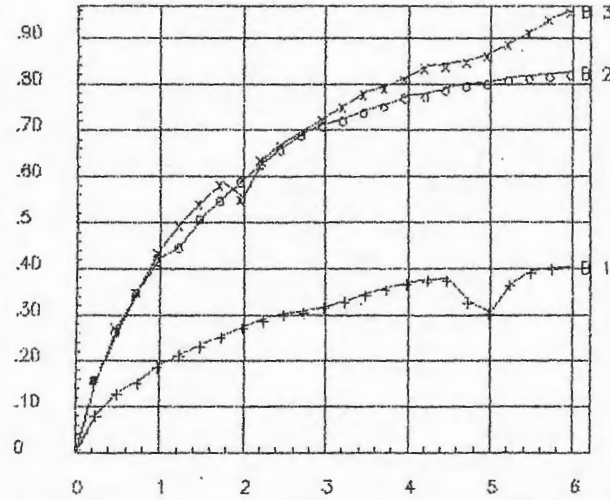
Essai: UU
Boite Carr. 6 cm
Anneau: 0841
Vitesse: 0.900 mm/mn

Sol: W%
Code fichier: texanna6

Avec correction de la section de cisaillement

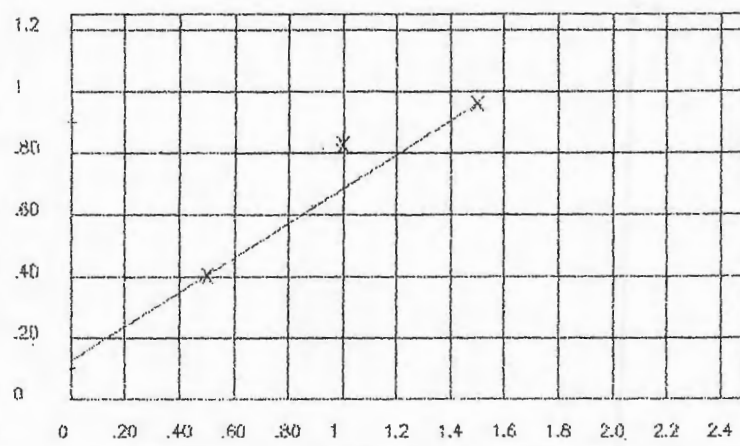
$$\sigma_h = W_l = W_p = I_p =$$

Resistance cisaillement (bar/mm)



Tassement-gonflement (dep/mm)

Courbe intrinseque (bar/bar)



$$\sigma_1 = .5 \quad \tau_1 = .404$$

$$\sigma_2 = 1 \quad \tau_2 = .825$$

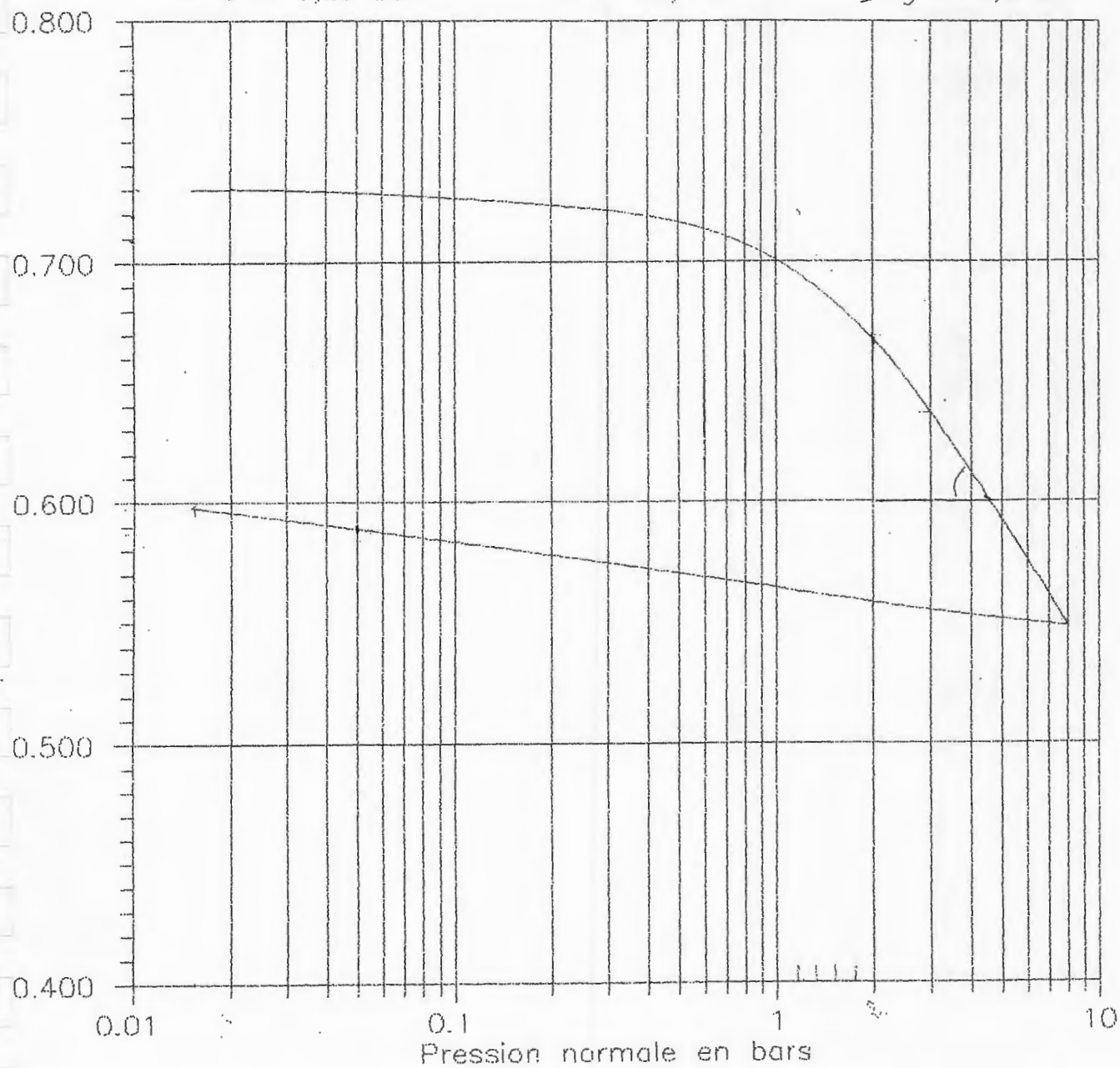
$$\sigma_3 = 1.5 \quad \tau_3 = .960$$

$$\phi = 29 \text{ dgr} \quad C = .12 \text{ bars}$$

L.N.H.C - SKIKDA ESSAI DE COMPRESSIBILITE

Projet: Etude de Stabilité Lycee TEXANNA
Sondage N: 2 Ech.: 04 Prof.: 3,50m - 6,00m

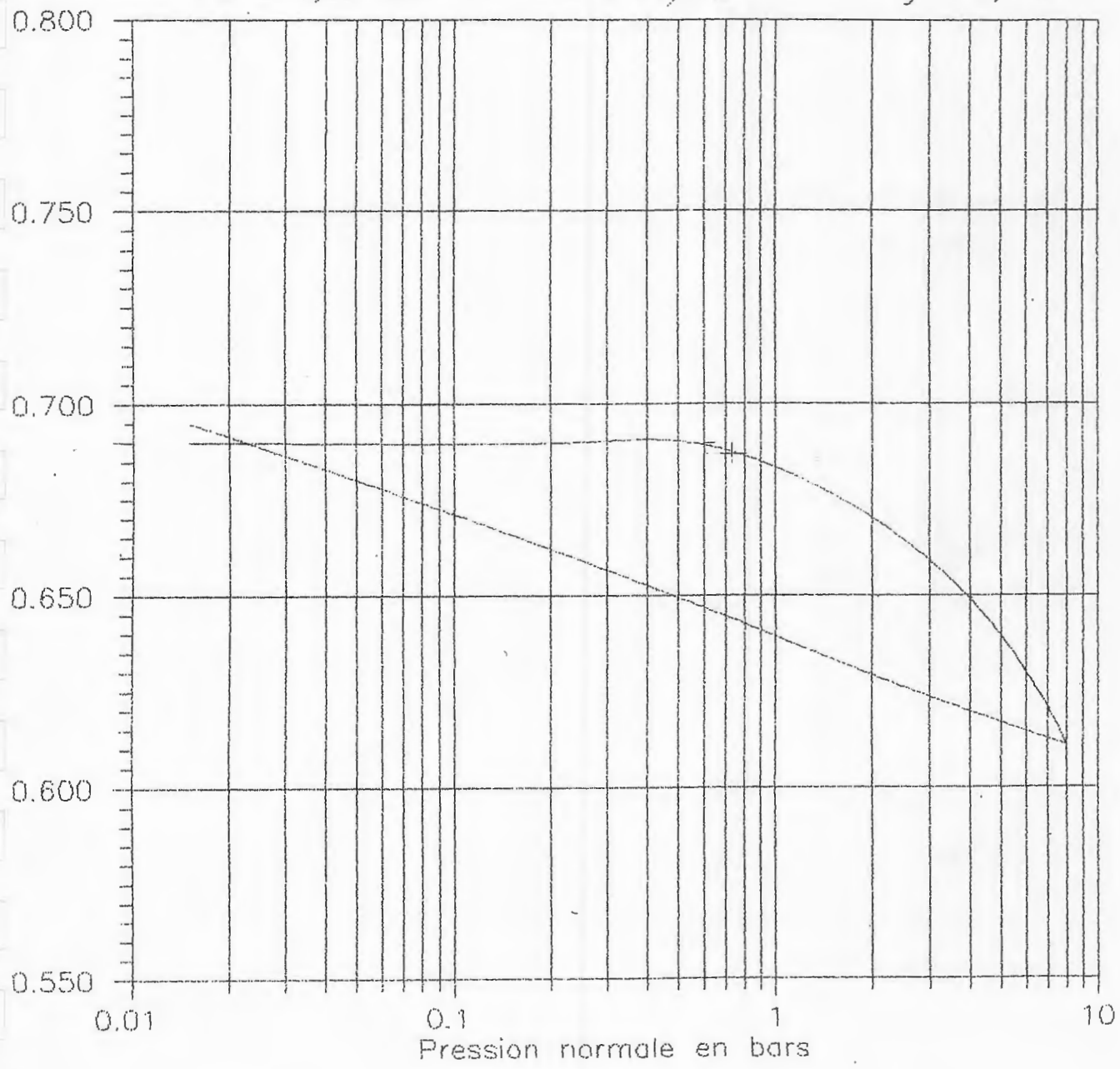
$\sigma_c = 3,20$ bar $C_c = 28,2$ % $C_g = 2,4$ %



L.N.H.C – SKIKDA ESSAI DE COMPRESSIBILITE

Projet: Etude de Stabilité Lycee TEXANNA
Sondage N: 2 Ech.: 04 Prof.: 6,00m – 9,00m

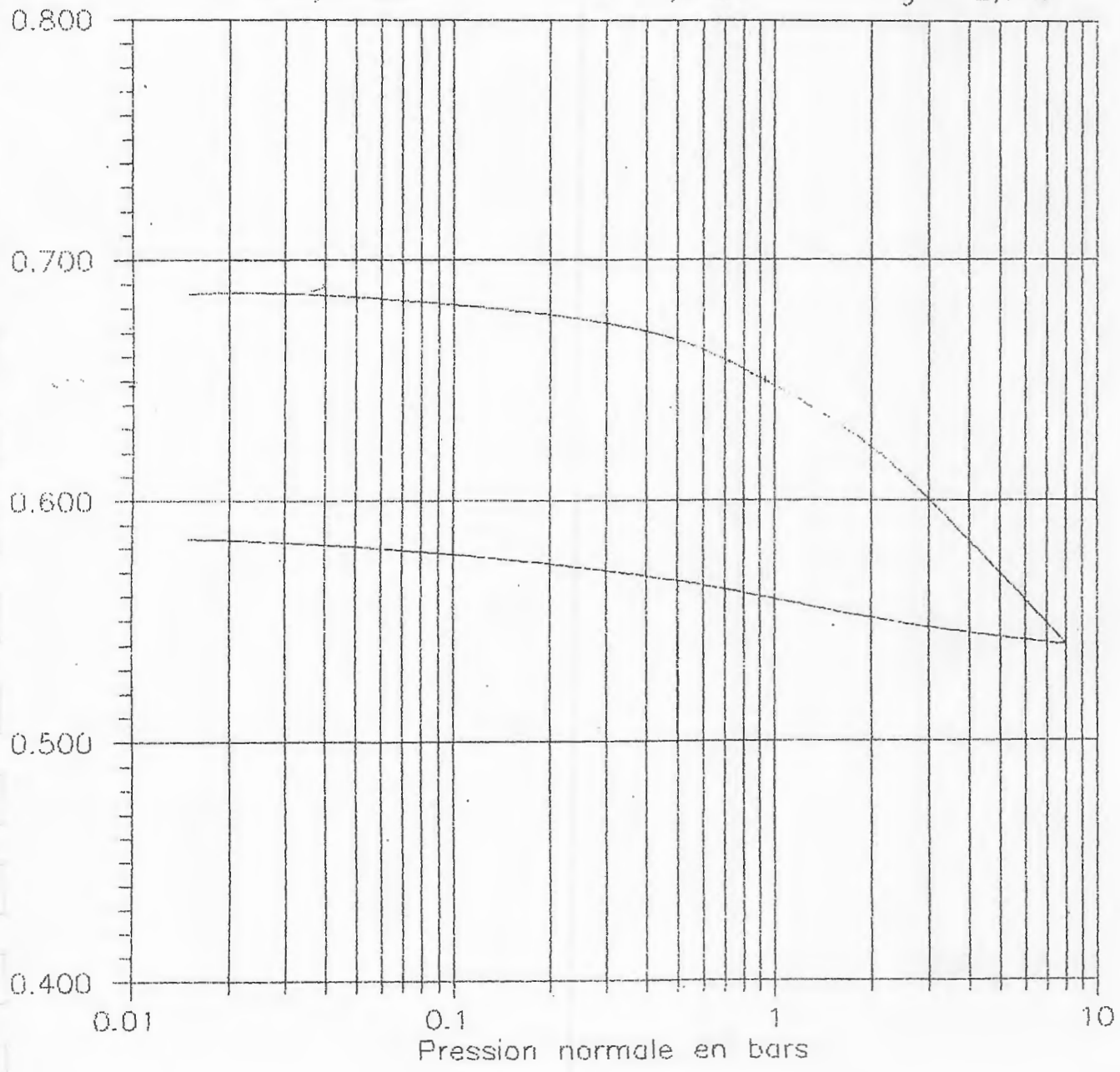
$\sigma_c = 3,20$ bar $C_c = 11,8$ % $C_g = 3,7$ %



L.N.H.C - SKIKDA
ESSAI DE COMPRESSIBILITE

Projet: Etude de Stabilité Lycee TEXANNA
Sondage N: 3 Ech.: 04 Prof.: (0,00m - 2,50m)

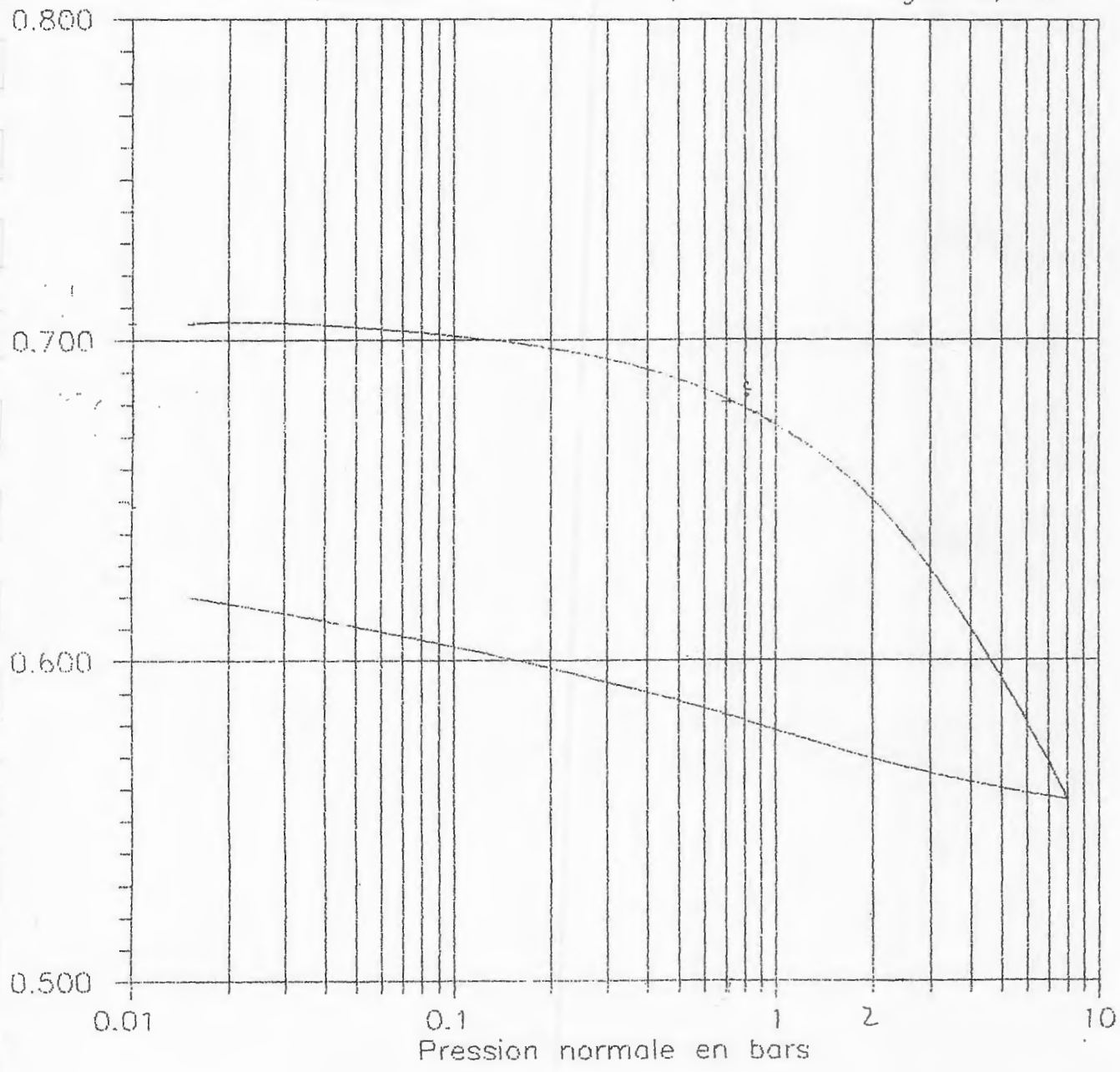
$\sigma_c = 1,40 \text{ bar}$ $C_c = 13,6 \%$ $C_g = 2,0 \%$



L.N.H.C - SKIKDA ESSAI DE COMPRESSIBILITE

Projet: Etude de Stabilité Lycee TEXANNA
Sondage N: 3 Ech.: 04 Prof.: 2,50m - 4,50m

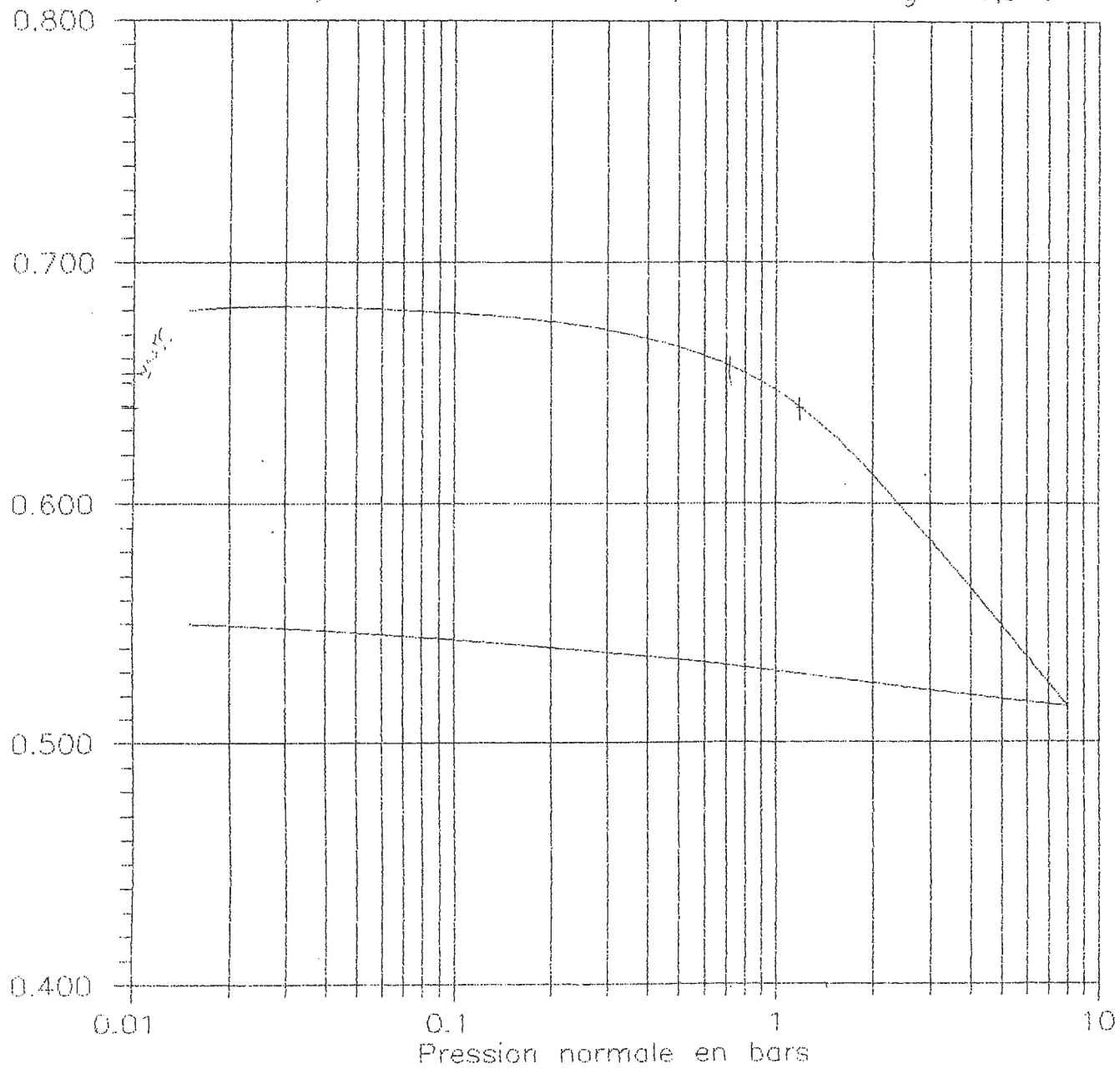
$\sigma_c = 2,20 \text{ bar}$ $C_c = 17,4 \%$ $C_g = 5,0 \%$



L.N.H.C – SKIKDA ESSAI DE COMPRESSIBILITE

Projet: Etude de Stabilité Lycee TEXANNA
Sondage N: 3 Ech.: 04 Prof.: 4,50m – 6,50m

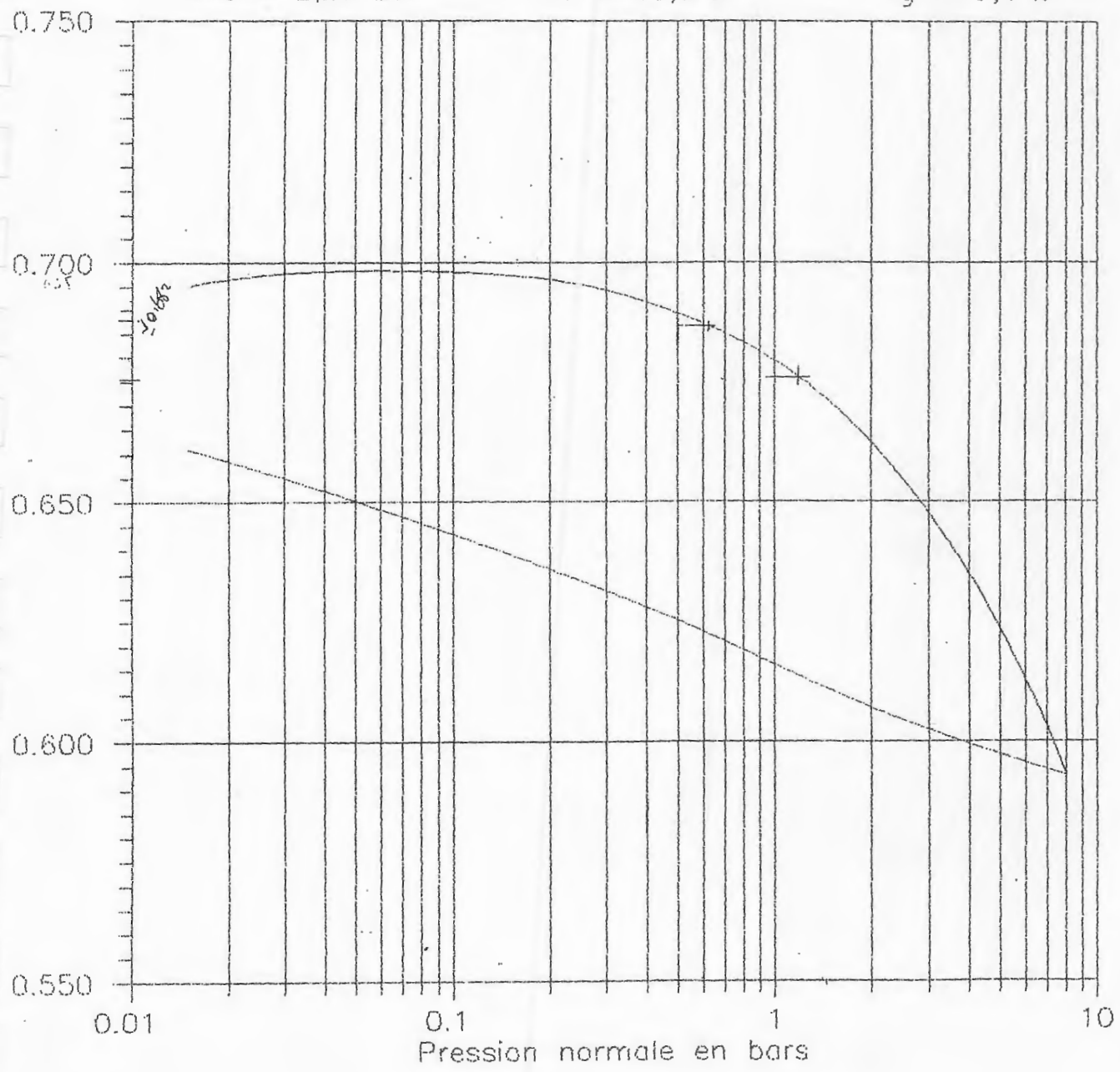
$\sigma_c = 1,20 \text{ bar}$ $C_c = 16,2 \%$ $C_g = 1,5 \%$



L.N.H.C - SKIKDA ESSAI DE COMPRESSIBILITE

Projet: Etude de Stabilité Lycee TEXANNA
Sondage N: 3 Ech.: 04 Prof.: 6,50m - 8,50m

$\sigma_c = 2,20$ bar $C_c = 13,3$ % $C_g = 3,4$ %



Annexe : B

CALCUL DE F_s PAR LA METHODE DE FELLINIUS EN ABSENCE DE NAPPE.

- Profil n° 1 :

- Profil : P1 : C1 :

- Données sur le sol :

$$\phi = 10^\circ \Rightarrow \operatorname{tg}\phi = 0,18$$

$$C = 0,21 \text{ bars} = 2,1 \text{ T/m}^2$$

$$\gamma_d = 1,73 \text{ T/m}^3$$

$$L = 16,4 \text{ m} \Rightarrow b = \frac{16,4}{4} \Rightarrow b = 4,1 \text{ m}$$

- Présentations des résultats :

Tranche N°	W (T/m)	α (°)	Sin α	W. Sin α	Cos α	W. Cos α	$L_i = b / \cos\alpha$
1	- Triangle: $v = \frac{4,1 \times 6}{2} = 13,30$ $W = v \times \gamma_d = 21,28$	+58	0,848	18,04	0,529	11,26	7,75
2	- Trapèze: $v = \frac{6+6,4}{2} \times 4,1$ $= 25,42$ $W = v \times \gamma_d = 43,98$	+29	0,484	21,29	0,874	38,44	4,69
3	- Trapèze: $v = \frac{4+6,4}{2} \times 4,1$ $= 21,32$ $W = v \times \gamma_d = 36,88$	+3	0,052	1,92	0,998	36,80	4,11
4	- Triangle: $v = \frac{4,6 \times 4}{2} = 9,2$ $W = v \times \gamma_d = 15,92$	-23	-0,39	-6,21	0,920	14,65	4,45
Σ	118,06			34,04		101,15	21

$$F_s = \frac{C \cdot \sum \left(\frac{b}{\cos \alpha} \right) + \operatorname{tg}\phi \cdot \sum W \cdot \cos \alpha}{\sum W \cdot \sin \alpha} = \frac{(2,1 \times 21) + (0,18 \times 101,15)}{35,04}$$

$$F_{s1} = 1,78$$

- Profil : P1 : C2 :

- Données sur le sol :

$$\phi = 10^\circ \Rightarrow \operatorname{tg} \phi = 0,18$$

$$C = 0,21 \text{ bars} = 2,1 \text{ T/m}^2$$

$$\gamma_d = 1,73 \text{ T/m}^3$$

$$L = 25,4 \text{ m} \Rightarrow b = \frac{25,4}{7} \Rightarrow b = 3,63 \text{ m}$$

- Présentations des résultats :

Tranche N°	W (T/m)	α (°)	Sin α	W. Sin α	Cos α	W. Cos α	$L_i =$ $b / \cos \alpha$
1	- Triangle: $v = \frac{3,4 \times 8,6}{2} = 14,62$ $W = v \times \gamma_d = 25,3$	+68	0,927	23,45	0,374	9,46	9,70
2	- Trapèze: $v = \frac{10+8,6}{2} \times 3,63$ $= 33,76$ $W = v \times \gamma_d = 58,40$	+45	0,707	41,28	0,707	41,28	5,13
3	- Trapèze: $v = \frac{10+9,5}{2} \times 3,63$ $= 35,39$ $W = v \times \gamma_d = 61,23$	+29	0,484	29,63	0,874	53,51	4,15
4	- Trapèze: $v = \frac{8,4+9,5}{2} \times 3,63$ $= 32,49$ $W = v \times \gamma_d = 56,20$	+16	0,275	15,45	0,961	54	3,78
5	- Trapèze: $v = \frac{8,4+6,5}{2} \times 3,63$ $= 27,04$ $W = v \times \gamma_d = 46,78$	+4	0,069	3,23	0,997	46,64	3,64
6	- Trapèze: $v = \frac{6,5+3,6}{2} \times 3,63$ $= 18,33$ $W = v \times \gamma_d = 31,71$	-10	-0,173	- 5,48	0,984	31,20	3,70
7	- Triangle: $v = \frac{3,6 \times 3,63}{2} = 6,53$ $W = v \times \gamma_d = 11,30$	-23	-0,390	- 4,41	0,920	10,40	3,94
Σ	290,92			103,15		246,49	34,04

- Calcul du coefficient de sécurité F_s :

$$F_s = \frac{C \cdot \sum \left(\frac{b}{\cos \alpha} \right) + \text{tg} \phi \cdot \sum W \cdot \cos \alpha}{\sum W \cdot \sin \alpha} = \frac{(2,1 \times 34,4) + (0,18 \times 246,49)}{103,15}$$

$$F_{s2} = 1,12$$

- Profil : P1 : C3 :

- Données sur le sol :

$\phi = 10^\circ \Rightarrow \text{tg} \phi = 0,18$
 $C = 0,21 \text{ bars} = 2,1 \text{ T/m}^2$
 $\gamma_d = 1,73 \text{ T/m}^3$
 $L = 12,2 \text{ m} \Rightarrow b = \frac{12,2}{3} \Rightarrow b = 4,06 \text{ m}$

- Présentations des résultats :

Tranche N°	W (T/m)	α (°)	Sin α	W. Sin α	Cos α	W. Cos α	$L_i = b / \cos \alpha$
1	- Triangle: $v_1 = \frac{1,5 \times 2,8}{2} = 2,1$ - Trapèze: $v_2 = \frac{2,8 + 3,5}{2} \times 2,4 = 7,56$ $W = (v_1 + v_2) \times \gamma_d = 16,71$	+54	0,809	13,52	0,587	9,81	6,92
2	- Trapèze: $v = \frac{3,5 + 2,7}{2} \times 4,06 = 12,58$ $W = v \times \gamma_d = 21,77$	+21	0,358	7,79	0,933	20,31	4,53
3	- Triangle: $v = \frac{2,7 \times 4,8}{2} = 6,48$ $W = v \times \gamma_d = 11,21$	-4	-0,069	-0,77	0,977	11,18	4,07
Σ	49,69			20,54		41,30	15,34

- Calcul du coefficient de sécurité :

$$F_s = \frac{C \cdot \sum \left(\frac{b}{\cos \alpha} \right) + \text{tg} \phi \cdot \sum W \cdot \cos \alpha}{\sum W \cdot \sin \alpha} = \frac{(2,1 \times 15,34) + (0,18 \times 41,30)}{20,82}$$

$$F_{s3} = 1,93$$

- Profil : P1 : C4 :**- Données sur le sol :**

$$\phi = 10^\circ \Rightarrow \text{tg} \phi = 0,18$$

$$C = 0,21 \text{ bars} = 2,1 \text{ T/m}^2$$

$$\gamma_d = 1,73 \text{ T/m}^3$$

$$L = 23,4 \text{ m} \Rightarrow b = \frac{23,4}{3} \Rightarrow b = 7,8 \text{ m}$$

- Présentations des résultats :

Tranche N°	W (T/m)	α (°)	Sin α	W. Sin α	Cos α	W. Cos α	$L_i = \frac{b}{\cos \alpha}$
1	- Triangle: $v_1 = \frac{0,8 \times 3,4}{2} = 1,36$ - Trapèze: $v_2 = \frac{3,4 + 7,8}{2} \times 7 = 39,2$ $W = (v_1 + v_2) \times \gamma_d = 70,17$	+52	0,788	55,29	0,615	43,15	12,86
2	- Trapèze: $v = \frac{7,8 + 5,6}{2} \times 7,8 = 52,26$ $W = v \times \gamma_d = 90,41$	+19	0,325	29,38	0,945	85,44	8,25
3	- Triangle: $v_1 = \frac{1 \times 0,4}{2} = 0,2$ - Trapèze: $v_2 = \frac{5,6 + 0,4}{2} \times 6,8 = 20,40$ $W = (v_1 + v_2) \times \gamma_d = 35,64$	-11	-0,190	-6,77	0,981	34,96	7,95
Σ	196,22			77,90		163,55	28,88

- Calcul du coefficient de sécurité :

$$F_s = \frac{C \cdot \sum \left(\frac{b}{\cos \alpha} \right) + \operatorname{tg} \phi \cdot \sum W \cdot \cos \alpha}{\sum W \cdot \sin \alpha} = \frac{(2,1 \times 28,88) + (0,18 \times 163,55)}{77,90}$$

$$F_{s4} = 1,15$$

- Profil : P1 : C5 :**- Données sur le sol :**

$$\phi = 10^\circ \Rightarrow \operatorname{tg} \phi = 0,18$$

$$C = 0,21 \text{ bars} = 2,1 \text{ T/m}^2$$

$$\gamma_d = 1,73 \text{ T/m}^3$$

$$L = 12,04 \text{ m} \Rightarrow b = \frac{12,04}{4} \Rightarrow b = 3,01 \text{ m}$$

- Présentations des résultats :

Tranche N°	W (T/m)	α (°)	Sin α	W. Sin α	Cos α	W. Cos α	$L_i = \frac{b}{\cos \alpha}$
1	- Triangle: $v = \frac{3,6 \times 2,6}{2} = 4,68$ $W = v \times \gamma_d = 8,10$	+55	0,819	6,64	0,573	4,64	5,25
2	- Trapèze: $v = \frac{2,6+2,4}{2} \times 3,01$ $= 7,52$ $W = v \times \gamma_d = 13,02$	+28	0,469	6,12	0,882	11,48	3,41
3	- Trapèze: $v = \frac{2,4+0,8}{2} \times 3,01$ $= 4,81$ $W = v \times \gamma_d = 8,33$	+9	0,156	1,30	0,987	8,22	3,05
4	- Triangle: $v_1 = \frac{2,8 \times 0,6}{2} = 0,84$ - Trapèze: $v_2 = \frac{0,8+0,6}{2} \times 0,3$ $= 0,21$ $W = (v_1+v_2) \times \gamma_d$ $= 1,82$	-12	-0,207	-0,38	0,978	1,78	3,08
Σ	31,27			13,68		26,12	14,79

- Calcul du coefficient de sécurité :

$$F_s = \frac{C \cdot \sum \left(\frac{b}{\cos \alpha} \right) + \operatorname{tg} \phi \cdot \sum W \cdot \cos \alpha}{\sum W \cdot \sin \alpha} = \frac{(2,1 \times 14,79) + (0,18 \times 26,12)}{13,68}$$

$F_{s5} = 2,61$

- Profil n° 2 :

- Profil : P2 : C1 :

- Données sur le sol :

$$\phi = 10^\circ \Rightarrow \text{tg}\phi = 0,18$$

$$C = 0,21 \text{ bars} = 2,1 \text{ T/m}^2$$

$$\gamma_d = 1,73 \text{ T/m}^3$$

$$L = 16 \text{ m} \Rightarrow b = \frac{16}{4} \Rightarrow b = 4 \text{ m}$$

- Présentations des résultats :

Tranche N°	W (T/m)	α (°)	Sin α	W. Sin α	Cos α	W. Cos α	$L_i = \frac{b}{\text{cos}\alpha}$
1	- <u>Triangle:</u> $v_1 = \frac{4,2 \times 3,6}{2} = 7,56$ - <u>Trapèze:</u> $v_2 = \frac{3+4,2}{2} \times 0,3 = 1,44$ $W = (v_1+v_2) \times \gamma_d = 15,57$	+49	0,755	11,75	0,656	10,21	6,09
2	- <u>Trapèze:</u> $v_1 = \frac{4+3}{2} \times 3,2 = 11,2$ - <u>Rectangle</u> $v_2 = 4 \times 0,8 = 3,2$ $W = (v_1+v_2) \times \gamma_d = 24,91$	+26	0,438	10,91	0,898	22,37	4,45
3	- <u>Trapèze:</u> $v = \frac{4+3,6}{2} \times 4 = 15,20$ $W = v \times \gamma_d = 26,3$	+8	0,139	3,65	0,99	26,04	4,04
4	- <u>Triangle:</u> $v = \frac{4,4 \times 3,6}{2} = 7,92$ $W = v \times \gamma_d = 13,70$	-12	-0,208	-2,58	0,978	13,40	4,09
Σ	80,48			23,46		72,02	18,67

- Calcul du coefficient de sécurité :

$$F_s = \frac{C \cdot \sum \left(\frac{b}{\cos \alpha} \right) + \operatorname{tg} \phi \cdot \sum W \cdot \cos \alpha}{\sum W \cdot \sin \alpha} = \frac{(2,1 \times 18,67) + (0,18 \times 72,02)}{23,46}$$

$F_{s1} = 2,22$

- Profil : P2 : C2 :**- Données sur le sol :**

$$\phi = 10^\circ \Rightarrow \operatorname{tg}\phi = 0,18$$

$$C = 0,21 \text{ bars} = 2,1 \text{ T/m}^2$$

$$\gamma_d = 1,73 \text{ T/m}^3$$

$$L = 30,60 \text{ m} \Rightarrow b = \frac{30,60}{5} \Rightarrow b = 6,12 \text{ m}$$

- Présentations des résultats :

Tranche N°	W (T/m)	α (°)	Sin α	W. Sin α	Cos α	W. Cos α	$L_1 = \frac{b}{\cos\alpha}$
1	- Triangle: $v_1 = \frac{5,6 \times 1,8}{2} = 5,04$ - Trapèze: $v_2 = \frac{5+3,6}{2} \times 0,4 = 1,72$ - Trapèze: $v_3 = \frac{3,6+8}{2} \times 3,8 = 22,04$ $W = (v_1+v_2+v_3) \times \gamma_d = 49,82$	+60	0,866	43,14	0,5	24,91	12,24
2	- Trapèze: $v = \frac{8+9,2}{2} \times 6,12 = 52,63$ $W = v \times \gamma_d = 91,05$	+32	0,529	48,16	0,848	77,21	7,22
3	- Trapèze: $v = \frac{9,2+8}{2} \times 6,12 = 52,63$ $W = v \times \gamma_d = 91,05$	+9	0,156	14,20	0,987	89,87	6,20
4	- Trapèze: $v = \frac{8+5}{2} \times 6,12 = 39,78$ $W = v \times \gamma_d = 68,82$	-5	-0,087	-5,99	0,996	68,54	6,14
5	- Triangle: $v = \frac{6,6 \times 5}{2} = 16,50$ $W = v \times \gamma_d = 28,54$	-23	-0,390	-11,33	0,920	26,26	6,65
Σ	329,28			88,38		286,79	38,45

- Calcul du coefficient de sécurité :

$$F_s = \frac{C \cdot \sum \left(\frac{b}{\cos \alpha} \right) + \operatorname{tg} \phi \cdot \sum W \cdot \cos \alpha}{\sum W \cdot \sin \alpha} = \frac{(2,1 \times 38,45) + (0,18 \times 286,79)}{88,38}$$

$$F_{s2} = 1,50$$

- Profil : P2 : C3 :**- Données sur le sol :**

$$\begin{aligned} \phi &= 10^\circ \Rightarrow \operatorname{tg} \phi = 0,18 \\ C &= 0,21 \text{ bars} = 2,1 \text{ T/m}^2 \\ \gamma_d &= 1,73 \text{ T/m}^3 \\ L &= 6,80 \text{ m} \Rightarrow b = \frac{6,80}{2} \Rightarrow b = 3,4 \text{ m} \end{aligned}$$

- Présentations des résultats :

Tranche N°	W (T/m)	α (°)	Sin α	W. Sin α	Cos α	W. Cos α	$L_i = b / \cos \alpha$
1	- Triangle: $v_1 = \frac{2,3 \times 1,5}{2} = 1,72$ - Trapèze: $v_2 = \frac{1,5 + 1,3}{2} \times 1 = 1,40$ $W = (v_1 + v_2) \times \gamma_d = 5,40$	+31	0,515	2,78	0,857	4,36	3,97
2	- Triangle: $v = \frac{1,3 \times 3,6}{2} = 2,34$ $W = v \times \gamma_d = 4,05$	+3	0,052	0,21	0,998	4,04	3,41
Σ	9,45			2,99		8,67	7,38

- Calcul du coefficient de sécurité :

$$F_s = \frac{C \cdot \sum \left(\frac{b}{\cos \alpha} \right) + \operatorname{tg} \phi \cdot \sum W \cdot \cos \alpha}{\sum W \cdot \sin \alpha} = \frac{(2,1 \times 38,45) + (0,18 \times 286,79)}{88,38}$$

$$F_{s3} = 5,70$$

- Profil : P2 : C4 :**- Données sur le sol :**

$$\begin{aligned} \phi &= 10^\circ \Rightarrow \operatorname{tg} \phi = 0,18 \\ C &= 0,21 \text{ bars} = 2,1 \text{ T/m}^2 \\ \gamma_d &= 1,73 \text{ T/m}^3 \\ L &= 11,20 \text{ m} \Rightarrow b = \frac{11,20}{4} \Rightarrow b = 2,80 \text{ m} \end{aligned}$$

- Présentations des résultats :

Tranche N°	W (T/m)	α (°)	Sin α	W. Sin α	Cos α	W. Cos α	$L_i = b / \cos \alpha$
1	- Triangle: $v = \frac{2,3 \times 3,1}{2} = 3,57$ $W = v \times \gamma_d = 6,17$	+53	0,798	4,92	0,601	3,71	4,66
2	- Trapèze: $v = \frac{2,3 + 2,6}{2} \times 2,8 = 6,86$ $W = v \times \gamma_d = 11,87$	+28	0,469	5,57	0,882	10,47	3,17
3	- Trapèze: $v = \frac{2,6 + 1,8}{2} \times 2,8 = 6,16$ $W = v \times \gamma_d = 10,66$	+9	0,156	1,66	0,987	10,52	2,84
4	- Triangle: $v = \frac{3 \times 1,8}{2} = 2,70$ $W = v \times \gamma_d = 4,67$	-12	-0,207	-0,97	0,978	4,57	2,86
Σ	33,37			11,18		29,27	13,53

- Calcul du coefficient de sécurité :

$$F_s = \frac{C \cdot \sum \left(\frac{b}{\cos \alpha} \right) + \text{tg} \phi \cdot \sum W \cdot \cos \alpha}{\sum W \cdot \sin \alpha} = \frac{(2,1 \times 13,53) + (0,18 \times 29,27)}{11,18}$$

$$F_{s4} = 3,01$$

- Profil : P2 : C5:**- Données sur le sol :**

$$\alpha = 31^\circ$$

$$\phi = 10^\circ \Rightarrow \text{tg} \phi = 0,18$$

$$C = 0,21 \text{ bars} = 2,1 \text{ T/m}^2$$

$$\gamma_d = 1,73 \text{ T/m}^3$$

$$L = 12,60 \text{ m} \Rightarrow b = \frac{12,60}{3} \Rightarrow b = 4,2 \text{ m}$$

- Présentations des résultats :

Tranche N°	W (T/m)	α (°)	Sin α	W. Sin α	Cos α	W. Cos α	$L_i = \frac{b}{\cos \alpha}$
1	- Triangle: $v = \frac{4,6 \times 3}{2} = 6,90$ $W = v \times \gamma_d = 11,94$	+49	0,754	9,00	0,656	7,83	6,40
2	- Trapèze: $v = \frac{3 + 2,8 \times 4,2}{2} = 12,18$ $W = v \times \gamma_d = 21,07$	+22	0,374	7,88	0,927	19,53	4,53
3	- Trapèze : $v_1 = \frac{1,8 + 2,8 \times 2,4}{2} = 5,52$ - Trapèze: $v_2 = \frac{1,8 + 1,6 \times 1,8}{2} = 3,06$ $W = (v_1 + v_2) \times \gamma_d = 14,84$	+2	0,034	0,50	0,999	14,82	4,20
Σ	47,85			17,38		42,18	15,13

- Calcul du coefficient de sécurité :

$$F_s = \frac{C \cdot \sum \left(\frac{b}{\cos \alpha} \right) + \text{tg} \phi \cdot \sum W \cdot \cos \alpha}{\sum W \cdot \sin \alpha} = \frac{(2,1 \times 15,13) + (0,18 \times 42,18)}{17,38}$$

$F_{s5} = 2,26$

CALCUL DE F_s PAR LA METHODE DE FELLINIUS EN PRESENCE DE NAPPE.

- Profil : P1 :

- Profil P1 : C1 :

- Données sur le sol :

$$\phi = 10^\circ$$

$$C = 0,21 \text{ bars} = 2,1 \text{ T/m}^2$$

$$\gamma_a = 1,73 \text{ T/m}^3$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 2,07 \text{ T/m}^3$$

$$L = 16,4 \text{ m} \Rightarrow b = \frac{16,4}{4} \Rightarrow b = 4,1 \text{ m}$$

$$\sum W \cdot \sin \alpha = 35,04$$

- Présentation des résultats :

(1)
↓(2)
↓

Tranche N°	W (T/m)	α (°)	$\cos \alpha$	W.cos α	$\frac{b}{\cos \alpha}$	U	U. $\frac{b}{\cos \alpha}$	(1) - (2)
1	25,17	+58	0,529	13,31	7,75	3,5	27,12	-13,81
2	50,59	+29	0,874	44,21	4,69	5	23,45	20,76
3	40,93	+3	0,998	40,85	4,11	3,3	13,56	27,29
4	16,73	-23	0,920	15,39	4,45	1,2	5,34	10,05
					21			44,29

$$F_s = \frac{C \cdot \frac{b}{\cos \alpha} + \text{tg} \phi \cdot \sum_{n=1}^{n=m} \left[W \cdot \cos \alpha - U \cdot \frac{b}{\cos \alpha} \right]}{\sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \sin \alpha}$$

$$F_{s1} = \frac{(2,1 \times 21) + (0,18 \times 44,29)}{35,04} \Rightarrow$$

$$F_{s1} = 1,48$$

- Profil P1 : C2 :

- Données sur le sol :

$\phi = 10^\circ$
 $C = 0,21 \text{ bars} = 2,1 \text{ T/m}^2$
 $\gamma_d = 1,73 \text{ T/m}^3$
 $\gamma_{\text{sat}} = 2,07 \text{ T/m}^3$
 $L = 25,4 \text{ m} \Rightarrow b = \frac{25,4}{7} \Rightarrow b = 3,63 \text{ m}$
 $\Sigma W \cdot \sin \alpha = 103,15$

- Présentation des résultats :



Tranche N°	W (T/m)	α (°)	Cos α	W.cos α	$\frac{b}{\text{Cos}\alpha}$	U	U. $\frac{b}{\text{Cos}\alpha}$	(1) - (2)
1	29,77	+68	0,374	11,13	9,70	3,8	36,86	-25,73
2	66,96	+45	0,707	47,34	5,13	7,4	37,96	9,38
3	70,33	+29	0,874	61,47	4,15	8	33,2	28,27
4	64,31	+16	0,961	61,80	3,78	7	26,46	35,34
5	53,05	+4	0,997	52,89	3,64	5,5	20,02	32,87
6	35,02	-10	0,984	34,46	3,70	3,1	11,47	22,99
7	11,84	-23	0,920	10,89	3,94	0,8	3,15	7,74
					34,04			110,86

$$F_s = \frac{C \cdot \frac{b}{\text{Cos}\alpha} + \text{tg}\phi \cdot \sum_{n=1}^{n=m} \left[W \cdot \text{Cos}\alpha - U \cdot \frac{b}{\text{Cos}\alpha} \right]}{\sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \text{Sin}\alpha}$$

$$F_{s2} = \frac{(2,1 \times 34,04) + (0,18 \times 110,86)}{103,15} \Rightarrow \boxed{F_{s2} = 0,89}$$

- Profil P1 : C3 :- Données sur le sol :

$$\phi = 10^\circ$$

$$C = 0,21 \text{ bars} = 2,1 \text{ T/m}^2$$

$$\gamma_d = 1,73 \text{ T/m}^3$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 2,07 \text{ T/m}^3$$

$$L = 12,2 \text{ m} \Rightarrow b = \frac{12,2}{3} \Rightarrow b = 4,06 \text{ m}$$

$$\Sigma W \cdot \sin \alpha = 20,54$$

- Présentation des résultats :

Tranche N°	W (T/m)	α (°)	Cos α	W.cos α	$\frac{b}{\text{Cos}\alpha}$	U	U. $\frac{b}{\text{Cos}\alpha}$	(1) - (2)
1	17,68	+54	0,587	10,38	6,92	1	6,92	3,46
2	22,84	+21	0,933	21,31	4,35	1,4	6,09	15,22
3	11,4	-4	0,997	11,36	4,07	0,4	1,63	9,73
				15,34				28,41

$$F_s = \frac{C \cdot \frac{b}{\text{Cos}\alpha} + \text{tg}\phi \cdot \sum_{n=1}^{n=m} \left[W \cdot \text{Cos}\alpha - U \cdot \frac{b}{\text{Cos}\alpha} \right]}{\sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \text{Sin}\alpha}$$

$$F_{s3} = \frac{(2,1 \times 15,34) + (0,18 \times 28,41)}{20,54} \Rightarrow \boxed{F_{s3} = 1,82}$$

- Profil P1 : C4 :

- Données sur le sol :

$\phi = 10^\circ$
 $C = 0,21 \text{ bars} = 2,1 \text{ T/m}^2$
 $\gamma_d = 1,73 \text{ T/m}^3$
 $\gamma_{\text{sat}} = 2,07 \text{ T/m}^3$
 $L = 23,4 \text{ m} \Rightarrow b = \frac{23,4}{3} \Rightarrow b = 7,8 \text{ m}$
 $\Sigma W \cdot \sin \alpha = 77,9$

- Présentation des résultats :

Tranche N°	W (T/m)	α (°)	Cos α	W.cos α	$\frac{b}{\text{Cos}\alpha}$	U	U. $\frac{b}{\text{Cos}\alpha}$	(1) - (2)	(1)	(2)
									↓	↓
1	81,83	+52	0,615	50,32	12,68	4,2	53,26	-2,94		
2	105,08	+19	0,945	21,31	8,25	5,2	42,9	56,4		
3	39,31	-11	0,981	38,56	7,95	2	15,9	22,66		
					28,88					76,12

$$F_s = \frac{C \cdot \frac{b}{\text{Cos}\alpha} + \text{tg}\phi \cdot \sum_{n=1}^{n=m} \left[W \cdot \text{Cos}\alpha - U \cdot \frac{b}{\text{Cos}\alpha} \right]}{\sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \text{Sin}\alpha}$$

$$F_{s4} = \frac{(2,1 \times 28,88) + (0,18 \times 76,12)}{77,90} \Rightarrow \boxed{F_{s4} = 0,95}$$

- Profil P1 : C5 :

- Données sur le sol :

$$\begin{aligned} \phi &= 10^\circ \\ C &= 0,21 \text{ bars} = 2,1 \text{ T/m}^2 \\ \gamma_d &= 1,73 \text{ T/m}^3 \\ \gamma_{\text{sat}} &= 2,07 \text{ T/m}^3 \\ L &= 12,04 \text{ m} \Rightarrow b = \frac{12,04}{4} \Rightarrow b = 3,01 \text{ m} \\ \Sigma W \cdot \sin \alpha &= 13,68 \end{aligned}$$

- Présentation des résultats :

Tranche N°	W (T/m)	α (°)	Cos α	W.cos α	(1)		(2)		(1) - (2)
					$\frac{b}{\text{Cos}\alpha}$	U	$U \cdot \frac{b}{\text{Cos}\alpha}$		
1	8,32	+55	0,573	4,77	5,25	0,5	2,62	2,15	
2	13,39	+28	0,882	11,63	3,41	0,8	2,73	8,9	
3	8,43	+9	0,987	8,32	3,05	0,2	0,61	7,71	
4	1,82	-12	0,978	1,78	3,08	0	0	1,78	
					14,79				20,54

$$F_s = \frac{C \cdot \frac{b}{\text{Cos}\alpha} + \text{tg}\phi \cdot \sum_{n=1}^{n=m} \left[W \cdot \text{Cos}\alpha - U \cdot \frac{b}{\text{Cos}\alpha} \right]}{\sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \text{Sin}\alpha}$$

$$F_{ss} = \frac{(2,1 \times 14,79) + (0,18 \times 20,54)}{13,68} \Rightarrow \boxed{F_{ss} = 2,54}$$

- Profil P2 :

- Profil P2 : C1 :

- Données sur le sol :

$\phi = 10^\circ$
 $C = 0,21 \text{ bars} = 2,1 \text{ T/m}^2$
 $\gamma_d = 1,73 \text{ T/m}^3$
 $\gamma_{\text{sat}} = 2,07 \text{ T/m}^3$
 $L = 16 \text{ m} \Rightarrow b = \frac{16}{4} \Rightarrow b = 4 \text{ m}$
 $\Sigma W \cdot \sin \alpha = 23,46$

- Présentation des résultats :

(1)
↓

(2)
↓

Tranche N°	W (T/m)	α (°)	$\text{Cos } \alpha$	W.cos α	$\frac{b}{\text{Cos}\alpha}$	U	$U \cdot \frac{b}{\text{Cos}\alpha}$	(1) - (2)
1	16,55	+49	0,656	10,86	6,09	1	6,09	4,77
2	26,17	+26	0,898	23,50	4,45	2	8,9	14,6
3	28,47	+8	0,99	28,18	4,04	1,4	5,66	22,52
4	13,82	-12	0,978	13,51	4,09	0,4	1,64	11,87
				18,67				53,76

$$F_s = \frac{C \cdot \frac{b}{\text{Cos}\alpha} + \text{tg}\phi \cdot \sum_{n=1}^{n=m} \left[W \cdot \text{Cos}\alpha - U \cdot \frac{b}{\text{Cos}\alpha} \right]}{\sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \text{Sin}\alpha}$$

$$F_{s1} = \frac{(2,1 \times 18,67) + (0,18 \times 53,76)}{35,04} \Rightarrow \boxed{F_{s1} = 2,08}$$

- Profil P2 : C2 :

- Données sur le sol :

$\phi = 10^\circ$
 $C = 0,21 \text{ bars} = 2,1 \text{ T/m}^2$
 $\gamma_d = 1,73 \text{ T/m}^3$
 $\gamma_{\text{sat}} = 2,07 \text{ T/m}^3$
 $L = 30,6 \text{ m} \Rightarrow b = \frac{30,6}{4} \Rightarrow b = 7,65 \text{ m}$
 $\Sigma W \cdot \sin \alpha = 88,38$

- Présentation des résultats :

Tranche N°	W (T/m)	α (°)	Cos α	W.cos α	$\frac{b}{\text{Cos}\alpha}$	U	U. $\frac{b}{\text{Cos}\alpha}$	(1) - (2)
1	55,94	+60	0,5	27,97	12,24	3,6	44,06	-16,09
2	104,46	+32	0,848	88,58	7,22	6,8	49,10	39,48
3	104,46	+9	0,987	103,10	6,20	6,8	42,16	60,94
4	77,86	-5	0,996	77,55	6,14	4,8	29,47	48,08
5	30,74	-23	0,920	28,28	6,65	1,6	10,64	17,64
					38,45			150,05

$$F_s = \frac{C \cdot \frac{b}{\text{Cos}\alpha} + \text{tg}\phi \cdot \sum_{n=1}^{n=m} \left[W \cdot \text{Cos}\alpha - U \cdot \frac{b}{\text{Cos}\alpha} \right]}{\sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \text{Sin}\alpha}$$

$$F_{s2} = \frac{(2,1 \times 38,45) + (0,18 \times 150,05)}{88,38} \Rightarrow \boxed{F_{s2} = 1,21}$$

- Profil P2 : C4 :

- Données sur le sol :

$\phi = 10^\circ$
 $C = 0,21 \text{ bars} = 2,1 \text{ T/m}^2$
 $\gamma_d = 1,73 \text{ T/m}^3$
 $\gamma_{\text{sat}} = 2,07 \text{ T/m}^3$
 $L = 11,2 \text{ m} \Rightarrow b = \frac{11,2}{4} \Rightarrow b = 2,8 \text{ m}$
 $\Sigma W \cdot \sin \alpha = 11,18$

- Présentation des résultats :



Tranche N°	W (T/m)	α (°)	$\text{Cos } \alpha$	W.cos α	$\frac{b}{\text{Cos } \alpha}$	U	U. $\frac{b}{\text{Cos } \alpha}$	(1) - (2)
1	6,22	+53	0,601	3,74	4,66	0,2	0,93	2,81
2	13,14	+28	0,882	11,59	3,17	0,6	1,90	9,69
3	11,69	+9	0,987	11,54	2,84	0,4	1,14	10,40
4	4,67	-12	0,978	4,57	2,86	0	0	4,57
				13,53				27,47

$$F_s = \frac{C \cdot \frac{b}{\text{Cos } \alpha} + \text{tg } \phi \cdot \sum_{n=1}^{n=m} \left[W \cdot \text{Cos } \alpha - U \cdot \frac{b}{\text{Cos } \alpha} \right]}{\sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \text{Sin } \alpha}$$

$$F_{s4} = \frac{(2,1 \times 13,53) + (0,18 \times 26,47)}{11,18} \Rightarrow \boxed{F_{s4} = 2,98}$$

- Profil P2 : C5 :

- Données sur le sol :

$$\begin{aligned} \phi &= 10^\circ \\ C &= 0,21 \text{ bars} = 2,1 \text{ T/m}^2 \\ \gamma_d &= 1,73 \text{ T/m}^3 \\ \gamma_{\text{sat}} &= 2,07 \text{ T/m}^3 \\ L &= 12,6 \text{ m} \Rightarrow b = \frac{12,6}{3} \Rightarrow b = 4,2 \text{ m} \\ \Sigma W \cdot \sin \alpha &= 17,38 \end{aligned}$$

- Présentation des résultats :

Tranche N°	W (T/m)	α (°)	Cos α	W.cos α	(1)		(2)		(1) - (2)
					$\frac{b}{\text{Cos}\alpha}$	U	$U \cdot \frac{b}{\text{Cos}\alpha}$		
1	12,39	+49	0,656	8,13	6,40	0,6	3,84	4,29	
2	22,09	+22	0,927	20,48	4,53	1,2	5,44	15,04	
3	15,19	+2	0,999	15,17	4,20	0,5	2,1	13,07	
					15,13				32,40

$$F_s = \frac{C \cdot \frac{b}{\text{Cos}\alpha} + \text{tg}\phi \cdot \sum_{n=1}^{n=m} \left[W \cdot \text{Cos}\alpha - U \cdot \frac{b}{\text{Cos}\alpha} \right]}{\sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \text{Sin}\alpha}$$

$$F_{ss} = \frac{(2,1 \times 15,13) + (0,18 \times 32,4)}{17,38} \Rightarrow \boxed{F_{ss} = 2,16}$$

***Remarque :** pour le cercle C3, le calcul de F_s est le même pour celui du cas sans la présence de nappe, ceci parce que le cercle n'est pas touché par la nappe.

CALCUL DE F_s PAR LA METHODE DE FELLINIUS EN MILIEU HUMIDE.

- Profil P1 :

- Profil P1 : C2 :

$$\begin{aligned} \phi &= 10^\circ \\ C &= 2,1 \text{ T/m}^2 \\ \gamma_h &= 1,89 \text{ T/m}^3 \\ b &= 3,63 \text{ m} \end{aligned}$$

- Présentation des résultats :

Tranche N°	W (T/m)	α (°)	Sin α	W.Sin α	Cos α	W. Cos α	$L_i = b/\text{Cos } \alpha$
1	27,63	+68	0,927	25,61	0,374	10,33	9,70
2	63,80	+45	0,707	45,11	0,707	45,11	5,13
3	66,89	+29	0,484	32,37	0,874	58,46	4,15
4	61,40	+16	0,275	16,88	0,961	59,00	3,78
5	51,11	+4	0,069	3,53	0,997	50,96	3,64
6	34,65	-10	-0,173	-5,99	0,984	34,10	3,70
7	19,35	-23	-0,390	-4,82	0,920	11,36	3,94
Σ	317,83			112,69		269,32	34,04

$$F_s = \frac{C \cdot \frac{b}{\text{Cos } \alpha} + \text{tg } \phi \cdot \sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \text{Cos } \alpha}{\sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \text{Sin } \alpha}$$

$$F_{s2} = \frac{(2,1 \times 34,04) + (0,18 \times 269,32)}{112,69} \Rightarrow \boxed{F_{s2} = 1,06}$$

- Profil P1 : C3 :

$$\begin{aligned}\phi &= 10^\circ \\ C &= 2,1 \text{ T/m}^2 \\ \gamma_h &= 1,89 \text{ T/m}^3 \\ b &= 3,63 \text{ m}\end{aligned}$$

- Présentation des résultats :

Tranche N°	W (T/m)	α (°)	Sin α	W.Sin α	Cos α	W. Cos α	$L_i = b/\text{Cos } \alpha$
1	18,26	+54	0,809	14,77	0,587	10,72	6,92
2	23,79	+21	0,358	8,52	0,933	22,20	4,53
3	12,25	-4	-0,069	-0,845	0,997	12,21	4,07
Σ	54,30					45,13	15,34

$$F_s = \frac{C \cdot \frac{b}{\text{Cos } \alpha} + \text{tg } \phi \cdot \sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \text{Cos } \alpha}{\sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \text{Sin } \alpha}$$

$$F_{S3} = \frac{(2,1 \times 15,34) + (0,18 \times 45,13)}{22,44} \Rightarrow$$

F_{S3} = 1,80

- Profil P1 : C4 :

$$\begin{aligned}\phi &= 10^\circ \\ C &= 2,1 \text{ T/m}^2 \\ \gamma_h &= 1,89 \text{ T/m}^3 \\ b &= 7,8 \text{ m}\end{aligned}$$

- Présentation des résultats :

Tranche N°	W (T/m)	α (°)	Sin α	W.Sin α	Cos α	W. Cos α	$L_i = b/\text{Cos } \alpha$
1	76,66	+52	0,788	60,41	0,615	47,15	12,68
2	98,77	+19	0,325	32,10	0,945	93,34	8,25
3	38,93	-11	-0,190	-7,40	0,981	38,19	7,95
Σ	214,36			85,11		178,68	28,88

$$F_s = \frac{C \cdot \frac{b}{\text{Cos } \alpha} + \text{tg } \phi \cdot \sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \text{Cos } \alpha}{\sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \text{Sin } \alpha}$$

$$F_{s4} = \frac{(2,1 \times 28,88) + (0,18 \times 178,68)}{85,11} \Rightarrow \boxed{F_{s4} = 1,09}$$

- Profil P1 : C5 :

$$\begin{aligned}\phi &= 10^\circ \\ C &= 2,1 \text{ T/m}^2 \\ \gamma_h &= 1,89 \text{ T/m}^3 \\ b &= 3,01 \text{ m}\end{aligned}$$

- Présentation des résultats :

Tranche N°	W (T/m)	α (°)	Sin α	W.Sin α	Cos α	W. Cos α	$L_i = b/\text{Cos } \alpha$
1	8,84	+55	0,819	7,24	0,573	5,06	5,25
2	14,22	+28	0,469	6,67	0,882	12,54	3,41
3	9,10	+9	0,156	1,42	0,987	8,98	3,05
4	1,90	-12	-0,207	-0,41	0,978	1,94	3,08
Σ	34,14			14,92		28,52	14,79

$$F_s = \frac{C \cdot \frac{b}{\text{Cos } \alpha} + \text{tg } \phi \cdot \sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \text{Cos } \alpha}{\sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \text{Sin } \alpha}$$

$$F_{ss} = \frac{(2,1 \times 14,92) + (0,18 \times 28,52)}{14,92} \Rightarrow \boxed{F_{ss} = 2,43}$$

- Profil P2 :

- Profil P2 : C1 :

$$\begin{aligned} \phi &= 10^\circ \\ C &= 2,1 \text{ T/m}^2 \\ \gamma_b &= 1,89 \text{ T/m}^3 \\ b &= 4 \text{ m} \end{aligned}$$

- Présentation des résultats :

Tranche N°	W (T/m)	α (°)	Sin α	W.Sin α	Cos α	W. Cos α	$L_i = b/\text{Cos } \alpha$
1	17,01	+49	0,755	12,84	0,656	11,16	6,09
2	27,22	+26	0,438	11,92	0,898	24,44	4,45
3	28,73	+8	0,139	3,99	0,99	28,44	4,04
4	14,97	-12	-0,208	-3,11	0,978	14,64	4,09
Σ	87,93			25,64		78,68	18,67

$$F_s = \frac{C \cdot \frac{b}{\text{Cos } \alpha} + \text{tg } \phi \cdot \sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \text{Cos } \alpha}{\sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \text{Sin } \alpha}$$

$$F_{s1} = \frac{(2,1 \times 18,67) + (0,18 \times 78,68)}{25,64} \Rightarrow \boxed{F_{s1} = 2,08}$$

- Profil P2 : C3 :

$$\begin{aligned}\phi &= 10^\circ \\ C &= 2,1 \text{ T/m}^2 \\ \gamma_h &= 1,89 \text{ T/m}^3 \\ b &= 3,4 \text{ m}\end{aligned}$$

- Présentation des résultats :

Tranche N°	W (T/m)	α (°)	Sin α	W.Sin α	Cos α	W. Cos α	$L_i = b/\text{Cos } \alpha$
1	5,90	+31	0,515	3,04	0,857	5,05	3,97
2	4,42	+3	0,052	0,23	0,998	4,41	3,41
Σ	10,32			3,27		9,46	7,38

$$F_s = \frac{C \cdot \frac{b}{\text{Cos } \alpha} + \text{tg } \phi \cdot \sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \text{Cos } \alpha}{\sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \text{Sin } \alpha}$$

$$F_{s3} = \frac{(2,1 \times 7,38) + (0,18 \times 9,46)}{3,27} \Rightarrow$$

F_{s3} = 5,26

- Profil P2 : C4 :

$$\begin{aligned} \phi &= 10^\circ \\ C &= 2,1 \text{ T/m}^2 \\ \gamma_h &= 1,89 \text{ T/m}^3 \\ b &= 2,8 \text{ m} \end{aligned}$$

- Présentation des résultats :

Tranche N°	W (T/m)	α (°)	Sin α	W.Sin α	Cos α	W. Cos α	$L_i = b/\text{Cos } \alpha$
1	6,73	+53	0,798	5,37	0,601	4,04	4,66
2	12,96	+28	0,469	6,08	0,882	11,43	3,17
3	11,64	+9	0,156	1,82	0,987	11,49	2,84
4	5,10	-12	-0,207	-1,05	0,978	4,99	2,86
Σ	36,43			12,22		31,95	13,53

$$F_s = \frac{C \cdot \frac{b}{\text{Cos } \alpha} + \text{tg } \phi \cdot \sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \text{Cos } \alpha}{\sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \text{Sin } \alpha}$$

$$F_{s1} = \frac{(2,1 \times 18,67) + (0,18 \times 78,68)}{25,64} \Rightarrow \boxed{F_{s1} = 2,08}$$

- Profil P2 : C5 :

$$\begin{aligned} \phi &= 10^\circ \\ C &= 2,1 \text{ T/m}^2 \\ \gamma_h &= 1,89 \text{ T/m}^3 \\ b &= 4,2 \text{ m} \end{aligned}$$

- Présentation des résultats :

Tranche N°	W (T/m)	α (°)	Sin α	W.Sin α	Cos α	W. Cos α	$L_i = b/\text{Cos } \alpha$
1	13,04	+49	0,754	9,83	0,656	8,55	6,40
2	23,02	+22	0,374	8,61	0,927	21,34	4,53
3	16,22	+2	0,034	0,55	0,999	16,20	4,20
Σ	52,28			18,99		46,09	15,13

$$F_s = \frac{C \cdot \frac{b}{\text{Cos } \alpha} + \text{tg } \phi \cdot \sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \text{Cos } \alpha}{\sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \text{Sin } \alpha}$$

$$F_{ss} = \frac{(2,1 \times 15,13) + (0,18 \times 46,09)}{18,99} \Rightarrow \boxed{F_{ss} = 2,01}$$

* *Remarque* : pour les résultats des cercles (P1 : C1) et (P2 : C2) sont présentés dans le chapitre de calcul de stabilité.

CALCUL DE F_s PAR LA METHODE DE BISHOP EN ABSENCE DE NAPPE.**- Profil P1 :****- Profil P1 : C1 :**

$$\begin{aligned}
 F_{s1} = F &= 1,78 \\
 b &= 4,1 \text{ m} \\
 c &= 2,1 \text{ T/m}^2 \\
 \phi &= 10^\circ \\
 \sum w \cdot \sin \alpha &= 35,04
 \end{aligned}$$

- Présentation des résultats :

N°	α (°)	tg α	W (T/m)	c.b+W.tg ϕ	1+tg α .tg ϕ /F	cos α	cos α .A	$\frac{1}{\cos \alpha . A}$	(6)	(7)
									(6)	(7)
1	+58	1,60	21,28	12,44	1,16	0,529	0,61	1,64	20,40	
2	+29	0,55	43,98	16,53	1,05	0,874	0,92	1,09	18,02	
3	+3	0,05	36,88	15,25	1,00	0,998	0,99	1,01	15,40	
4	-23	-0,42	15,92	11,47	0,96	0,920	0,88	1,14	13,07	
									66,89	

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=m} [c.b + (W - U.b).tg\phi] \times \frac{1}{\cos \alpha . (1 + tg \alpha . tg \phi / F)}}{\sum_{n=1}^{n=m} W . \sin \alpha}$$

$$F_{s1} = \frac{66,89}{35,04} \Rightarrow \boxed{F_{s1} = 1,91}$$

- Profil P1 : C2 :

$F_{s2} = F = 1,12$
 $b = 3,63 \text{ m}$
 $c = 2,1 \text{ T/m}^2$
 $\phi = 10^\circ$
 $\Sigma w.\sin\alpha = 103,15$

- Présentation des résultats :

(6)
↓
A
↓
(7)
↓

N°	α (°)	tg α	W (T/m)	c.b+W.tg ϕ	$1+\text{tg}\alpha.\text{tg}\phi/F$	cos α	cos $\alpha.A$	$\frac{1}{\cos\alpha.A}$	(6).(7)
1	+68	2,47	25,3	12,17	1,39	0,374	0,52	1,92	23,37
2	+45	1,00	58,40	18,13	1,16	0,707	0,82	1,22	22,12
3	+29	0,55	61,23	18,64	1,09	0,874	0,95	1,05	19,57
4	+16	0,29	56,20	17,74	1,05	0,961	1,00	1,00	17,74
5	+4	0,07	46,78	16,04	1,01	0,997	1,00	1,00	16,04
6	-10	-0,18	31,71	13,33	0,97	0,984	0,95	1,05	13,99
7	-23	-0,42	11,30	9,65	0,93	0,920	0,85	1,18	11,39
									124,22

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=m} [c.b + (W - U.b)\text{tg}\phi] \times \frac{1}{\cos\alpha.(1 + \text{tg}\alpha.\text{tg}\phi/F)}}{\sum_{n=1}^{n=m} W.\sin\alpha}$$

$$F_{s2} = \frac{124,22}{103,15} \Rightarrow \boxed{F_{s2} = 1,20}$$

Annexe B

- Profil P1 : C3 :

$F_{S2} = F = 1,12$
 $b = 3,63 \text{ m}$
 $c = 2,1 \text{ T/m}^2$
 $\phi = 10^\circ$
 $\Sigma w \cdot \sin \alpha = 103,15$

- Présentation des résultats :



N°	α (°)	$\text{tg } \alpha$	W (T/m)	$c \cdot b + W \cdot \text{tg } \phi$	$1 + \text{tg } \alpha \cdot \text{tg } \phi / F$	$\cos \alpha$	$\cos \alpha \cdot A$	$\frac{1}{\cos \alpha \cdot A}$	(6)·(7)
1	+54	1,38	16,71	11,54	1,12	0,587	0,66	1,51	17,42
2	+21	0,38	21,77	12,45	1,03	0,933	0,96	1,04	12,95
3	-4	-0,07	11,21	10,55	0,99	0,997	0,99	1,01	10,65
									41,02

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=m} [c \cdot b + (W - U \cdot b) \cdot \text{tg } \phi] \times \frac{1}{\cos \alpha \cdot (1 + \text{tg } \alpha \cdot \text{tg } \phi / F)}}{\sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \sin \alpha}$$

$F_{S3} = \frac{41,02}{20,54} \Rightarrow \boxed{F_{S3} = 2,00}$

- Profil P1 : C4 :

$F_{S4} = F = 1,15$
 $b = 7,80 \text{ m}$
 $c = 2,1 \text{ T/m}^2$
 $\phi = 10^\circ$
 $\Sigma w \cdot \sin \alpha = 77,90$

- Présentation des résultats :

(6)
↓

A
↓

(7)
↓

N°	α (°)	$\text{tg } \alpha$	W (T/m)	c.b+W.tg ϕ	1+tg α .tg ϕ /F	cos α	cos α .A	$\frac{1}{\text{cos}\alpha.A}$	(6).(7)
1	+55	1,43	8,10	7,78	1,10	0,573	0,63	1,59	12,37
2	+28	0,53	13,02	8,66	1,04	0,882	0,91	1,10	9,53
3	+9	0,16	8,33	7,82	1,01	0,987	1,00	1,00	7,82
4	-12	-0,21	1,82	6,65	0,98	0,978	0,96	1,04	6,92
									36,64

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=m} [c.b + (W - U.b).tg\phi] \times \frac{1}{\text{cos}\alpha.(1 + \text{tg}\alpha.tg\phi/F)}}{\sum_{n=1}^{n=m} W . \sin \alpha}$$

$$F_{ss} = \frac{36,64}{13,68} \Rightarrow \boxed{F_{ss} = 2,68}$$

- Profil P2 :

- Profil P2 : C1 :

$F_{S1} = F = 2,22$
 $b = 4 \text{ m}$
 $c = 2,1 \text{ T/m}^2$
 $\phi = 10^\circ$
 $\sum w \cdot \sin \alpha = 23,46$

- Présentation des résultats :



N°	α (°)	$\text{tg } \alpha$	W (T/m)	c.b+W.tg ϕ	1+tg α .tg ϕ /F	cos α	cos α .A	$\frac{1}{\text{cos}\alpha.A}$	(6).(7)
1	+49	1,15	15,57	11,20	1,09	0,656	0,71	1,41	15,79
2	+26	0,49	24,91	12,88	1,04	0,898	0,93	1,07	13,78
3	+8	0,14	26,30	13,13	1,01	0,99	0,99	1,01	13,26
4	-12	-0,21	13,70	10,87	0,98	0,978	0,96	1,04	11,30
									54,13

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=m} [c.b + (W - U.b) \text{tg} \phi] \times \frac{1}{\text{cos} \alpha \cdot (1 + \text{tg} \alpha \cdot \text{tg} \phi / F)}}{\sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \sin \alpha}$$

$F_{S1} = \frac{54,13}{23,46} \Rightarrow \boxed{F_{SS} = 2,31}$

Annexe B

- Profil P2 : C2 :

$F_{s2} = F = 1,50$
 $b = 6,12 \text{ m}$
 $c = 2,1 \text{ T/m}^2$
 $\phi = 10^\circ$
 $\sum w \cdot \sin \alpha = 88,38$

- Présentation des résultats:



N°	α (°)	$\text{tg } \alpha$	W (T/m)	c.b+W.tg ϕ	1+tg α .tg ϕ /F	cos α	cos α .A	$\frac{1}{\text{cos}\alpha.A}$	(6).(7)
1	+60	1,73	49,82	21,82	1,21	0,5	0,60	1,67	36,44
2	+32	0,62	91,05	29,24	1,07	0,848	0,91	1,09	31,87
3	+9	0,16	91,05	29,24	1,02	0,987	1,00	1,00	29,24
4	-5	-0,09	68,82	25,24	0,99	0,996	0,99	1,01	25,49
5	-23	-0,42	28,54	17,99	0,95	0,920	0,87	1,15	20,69
									143,73

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=m} [c.b + (W - U.b) \text{tg}\phi] \times \frac{1}{\text{cos}\alpha.(1 + \text{tg}\alpha \text{tg}\phi / F)}}{\sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \sin \alpha}$$

$F_{s2} = \frac{143,47}{88,38} \Rightarrow \boxed{F_{s2} = 1,63}$

- Profil P2 : C3 :

$F_{S3} = F = 5,70$
 $b = 3,4 \text{ m}$
 $c = 2,1 \text{ T/m}^2$
 $\phi = 10^\circ$
 $\sum w \cdot \sin \alpha = 2,99$

- Présentation des résultats:

N°	α (°)	tg α	W (T/m)	(6)		A		(7)	
				c.b+W.tg ϕ	1+tg α .tg ϕ /F	cos α	cos α .A	$\frac{1}{\cos \alpha . A}$	(6).(7)
1	+31	0,60	5,40	8,11	1,01	0,857	0,86	1,16	9,40
2	+3	0,05	4,05	7,87	1,00	0,998	0,99	1,01	7,95
									17,35

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=m} [c.b + (W - U.b) \cdot \text{tg} \phi] \times \frac{1}{\cos \alpha \cdot (1 + \text{tg} \alpha \cdot \text{tg} \phi / F)}}{\sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \sin \alpha}$$

$$F_{S3} = \frac{17,35}{2,99} \Rightarrow \boxed{F_{S3} = 5,80}$$

- Profil P2 : C4 :

$F_{s4} = F = 3,01$
 $b = 2,80 \text{ m}$
 $c = 2,1 \text{ T/m}^2$
 $\phi = 10^\circ$
 $\sum w \cdot \sin \alpha = 11,18$

- Présentation des résultats :

(6) ↓
A ↓
(7) ↓

N°	α (°)	$\text{tg } \alpha$	W (T/m)	$c \cdot b + W \cdot \text{tg } \phi$	$1 + \text{tg } \alpha \cdot \text{tg } \phi / F$	$\cos \alpha$	$\cos \alpha \cdot A$	$\frac{1}{\cos \alpha \cdot A}$	(6)·(7)
1	+53	1,33	6,17	6,99	1,08	0,601	0,65	1,54	10,76
2	+28	0,53	11,87	8,02	1,03	0,882	0,91	1,09	8,74
3	+9	0,16	10,66	7,80	1,00	0,987	0,99	1,01	7,88
4	-12	-0,21	4,67	6,72	0,99	0,978	0,97	1,03	6,92
									34,30

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=m} [c \cdot b + (W - U \cdot b) \text{tg } \phi] \times \frac{1}{\cos \alpha \cdot (1 + \text{tg } \alpha \cdot \text{tg } \phi / F)}}{\sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \sin \alpha}$$

$$F_{s4} = \frac{34,30}{11,18} \Rightarrow \boxed{F_{s4} = 3,07}$$

- Profil P2 : C5 :

$F_{ss} = F = 2,26$
 $b = 4,20 \text{ m}$
 $c = 2,1 \text{ T/m}^2$
 $\phi = 10^\circ$
 $\sum w \cdot \sin \alpha = 17,38$

- Présentation des résultats :

N°	α (°)	tg α	W (T/m)	c.b+W.tg ϕ	$1+\text{tg}\alpha \cdot \text{tg}\phi / F$	cos α	cos $\alpha \cdot A$	(6) A (7)	
								$\frac{1}{\cos \alpha \cdot A}$	(6).(7)
1	+49	1,15	11,94	10,97	1,09	0,656	0,71	1,41	15,47
2	+22	0,40	21,07	12,61	1,03	0,927	0,95	1,05	13,24
3	+2	0,03	14,84	11,49	1,00	0,999	0,99	1,01	11,60
									40,31

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=m} [c \cdot b + (W - U \cdot b) \cdot \text{tg} \phi] \times \frac{1}{\cos \alpha \cdot (1 + \text{tg} \alpha \cdot \text{tg} \phi / F)}}{\sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \sin \alpha}$$

$F_{ss} = \frac{40,31}{17,38} \Rightarrow$
F_{ss} = 2,32

Tableau récapitulatif des résultats du calcul de stabilité.

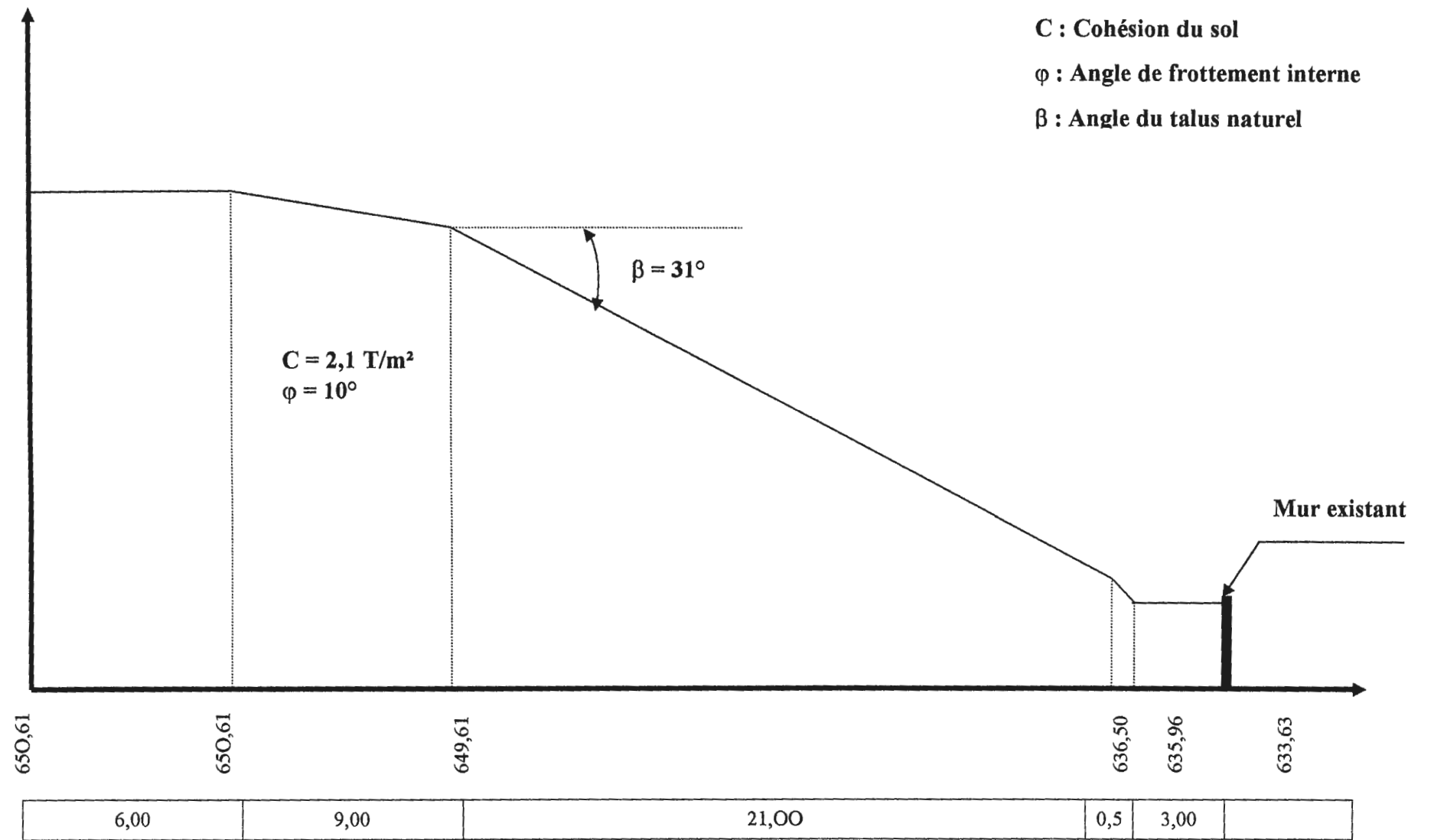
	Cercles	Profil P1			Cercles	Profil P2		
		Sec γ_a	En présence de nappe γ_{sat}	Humide γ_h		Sec γ_a	En présence de nappe γ_{sat}	Humide γ_h
F_s : Fellinius	C 5	2,61	2,54	2,43	C 3	5,70	5,70	5,26
	C 3	1,93	1,82	1,80	C 4	3,01	2,98	2,80
	C 1	1,78	1,48	1,67	C 5	2,26	2,16	2,11
	C 4	1,15	0,95	1,09	C 1	2,22	2,08	2,08
	C 2	1,12	0,89	1,06	C 2	1,50	1,21	1,42
F_s : Bishop	C 5	2,68	-	-	C 3	5,80	-	-
	C 3	2,00	-	-	C 4	3,07	-	-
	C 1	1,91	-	-	C 5	2,32	-	-
	C 4	1,20	-	-	C 1	2,31	-	-
	C 2	1,20	-	-	C 2	1,63	-	-

SONDAGE N° :	PROFONDEUR (m)	FINES 0,080 mm	CONSISTANCE				Caractéristiques physiques				Caractéristiques Oedométriques				Caractéristiques Intrinsèques		
			Limite de liquidité W_L (%)	Limite de plasticité I_P (%)	Limite de retrait W_S (%)	Indice de consistance I_C	Densité sèche	Densité humide	Teneur en eau W (%)	Degrés de saturation SR (%)	Gonflement libre G_L	Mesure CV	Perméabilité Oedométrique K	Indice de Gonflement	Indice de Compressibilité	Pression de Pré consolidation	Angle de frottement interne ϕ (°)
SC 1	3,00-10,0	14	51,50	25,36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3,00-6,00	73	51,00	24,42	1,43	1,73	1,89	16,08	76,95	-	-	-	2,40	28,20	3,20	18	0,40
SC 2	6,00-9,00	65	56,00	27,37	1,49	1,76	-	15,16	76,69	-	-	-	3,70	11,80	3,20	30	0,050
	0,00-2,50	51	39,00	17,73	0,96	1,65	-	22,34	94,70	-	-	-	2,00	13,60	1,40	35	0,075
SC 3	2,50-4,50	57	47,00	25,99	0,95	1,67	-	22,28	96,34	-	-	-	5,00	17,40	2,20	15	0,320
	4,50-6,50	52	44,00	21,64	1,21	1,75	-	17,85	88,49	-	-	-	1,50	16,20	1,20	30	0,120
	6,50-8,50	50	49,00	24,47	1,43	1,83	-	14,02	78,50	-	-	-	3,40	13,3	2,20	29	0,120

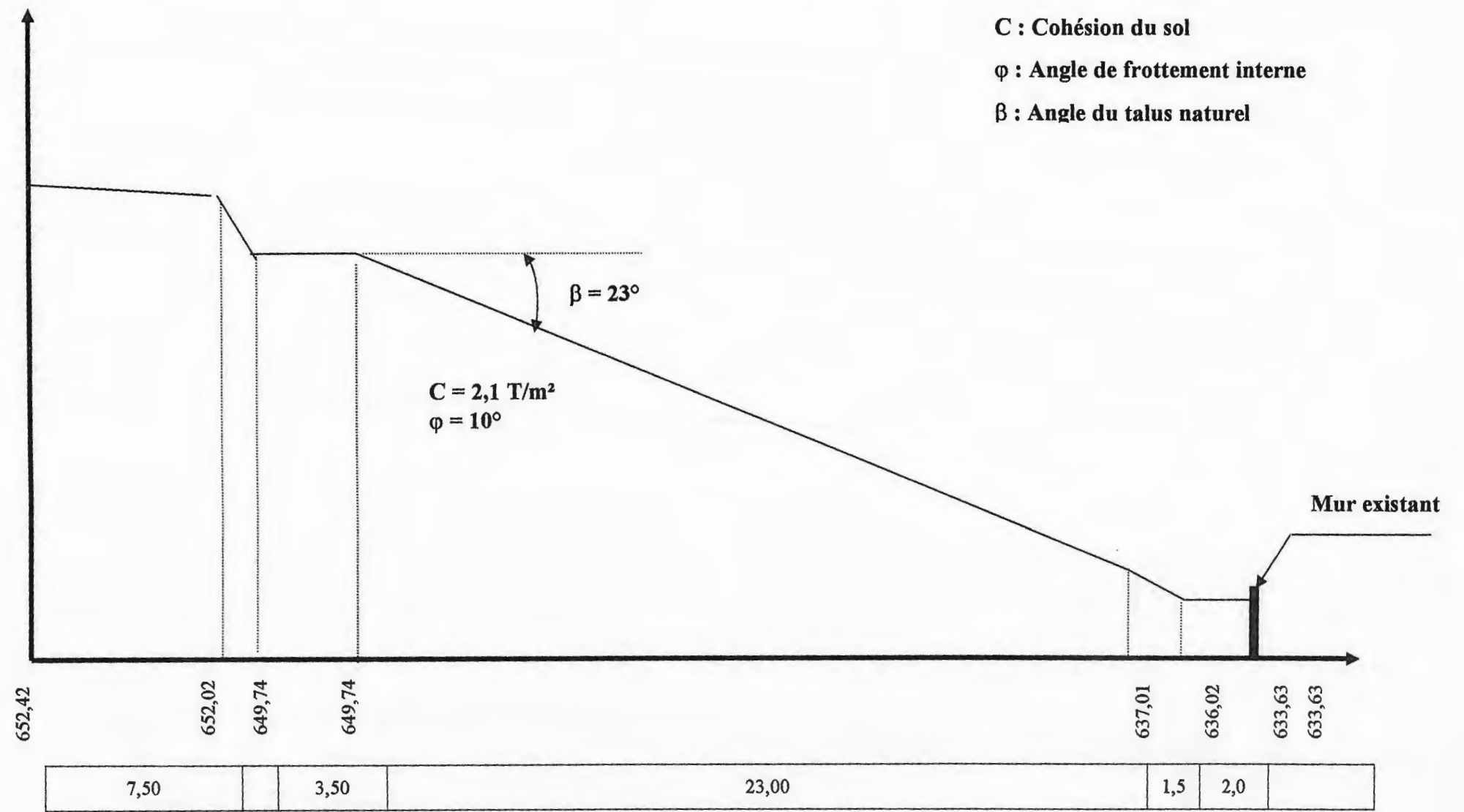
TABLEAU RECAPITULATIF DES RESULTATS D'ESSAIS

Projet : étude de stabilité Lycée TEXENNA (W. JUEL)

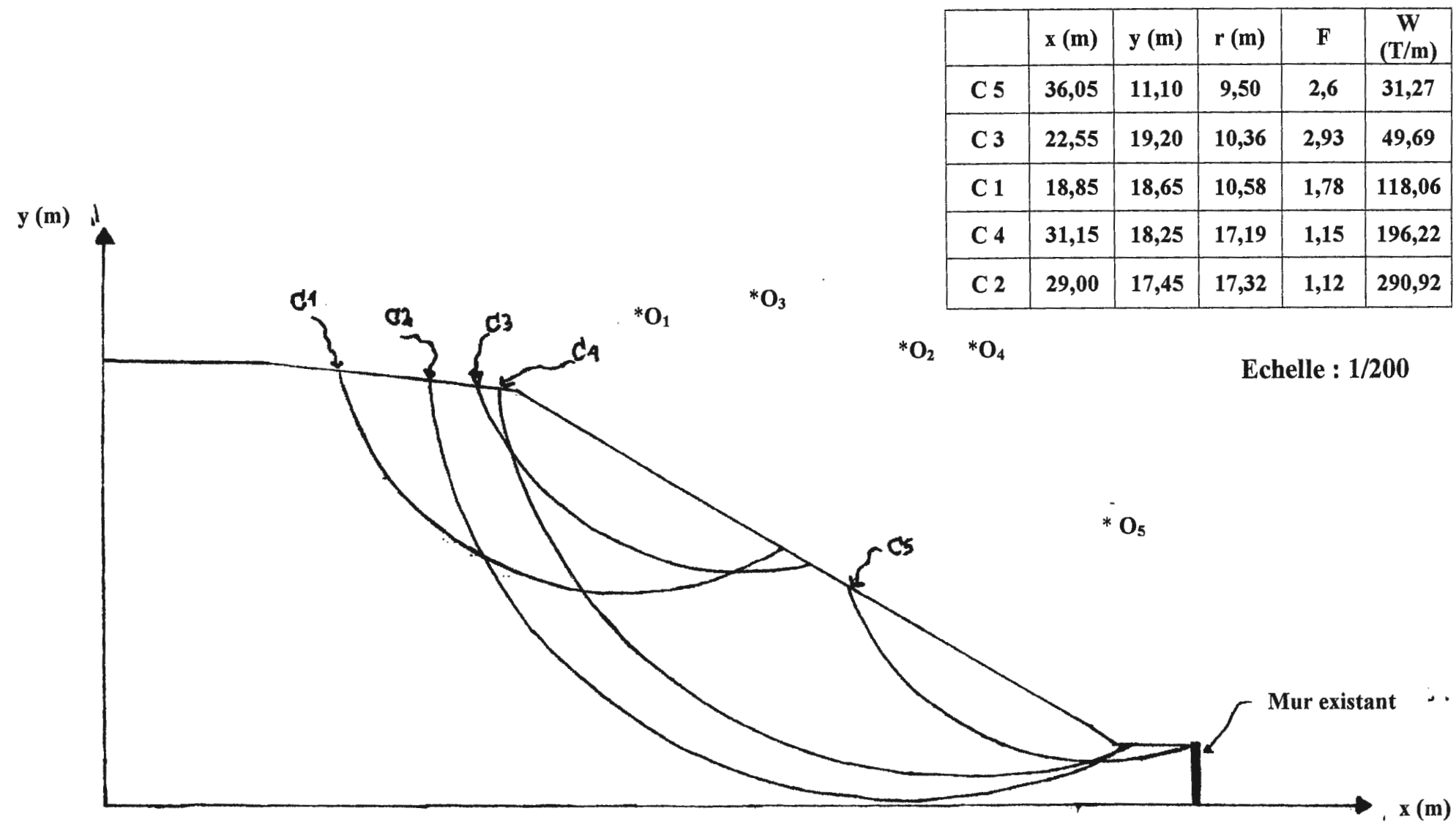
Annexe :C



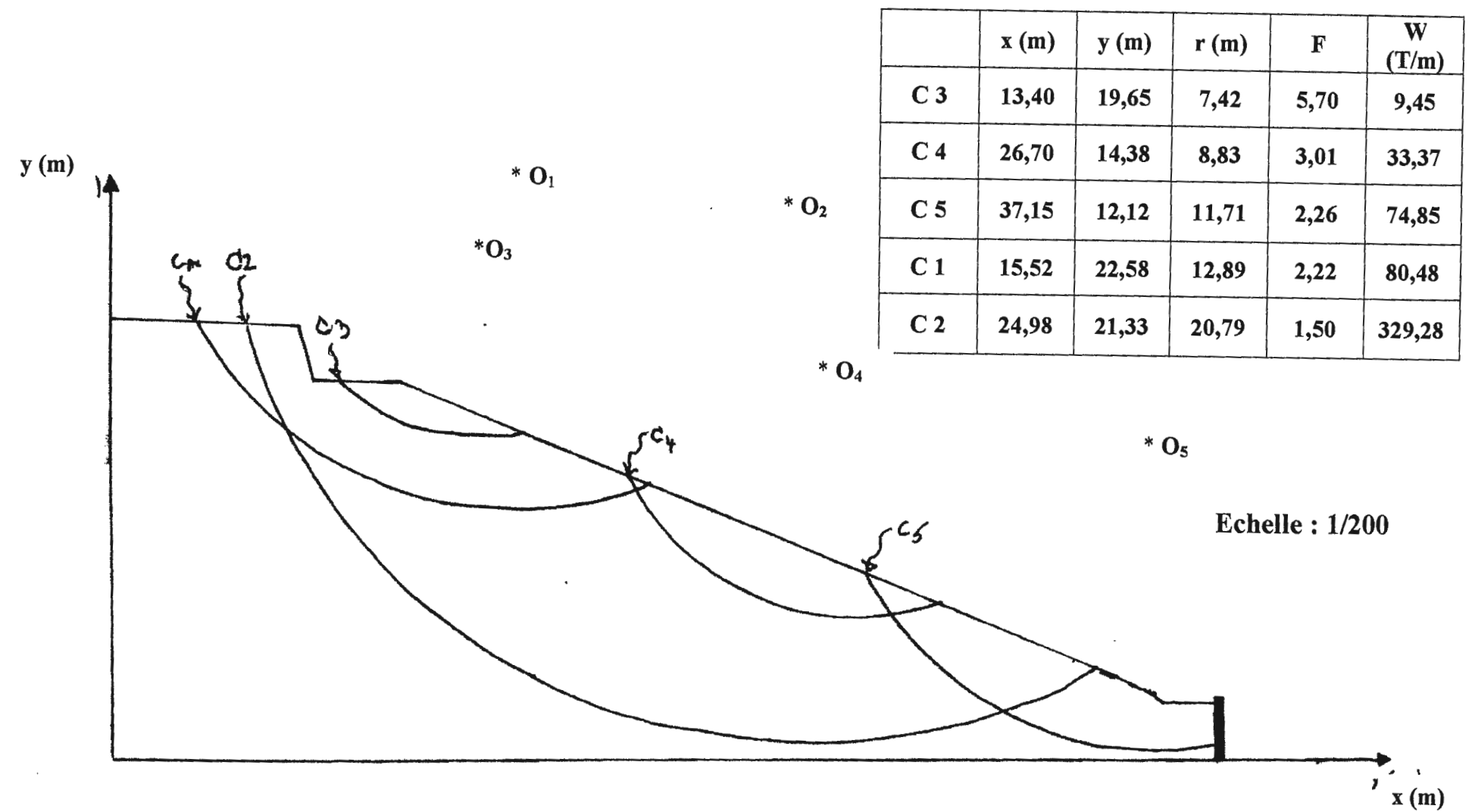
Profil en travers ; P1



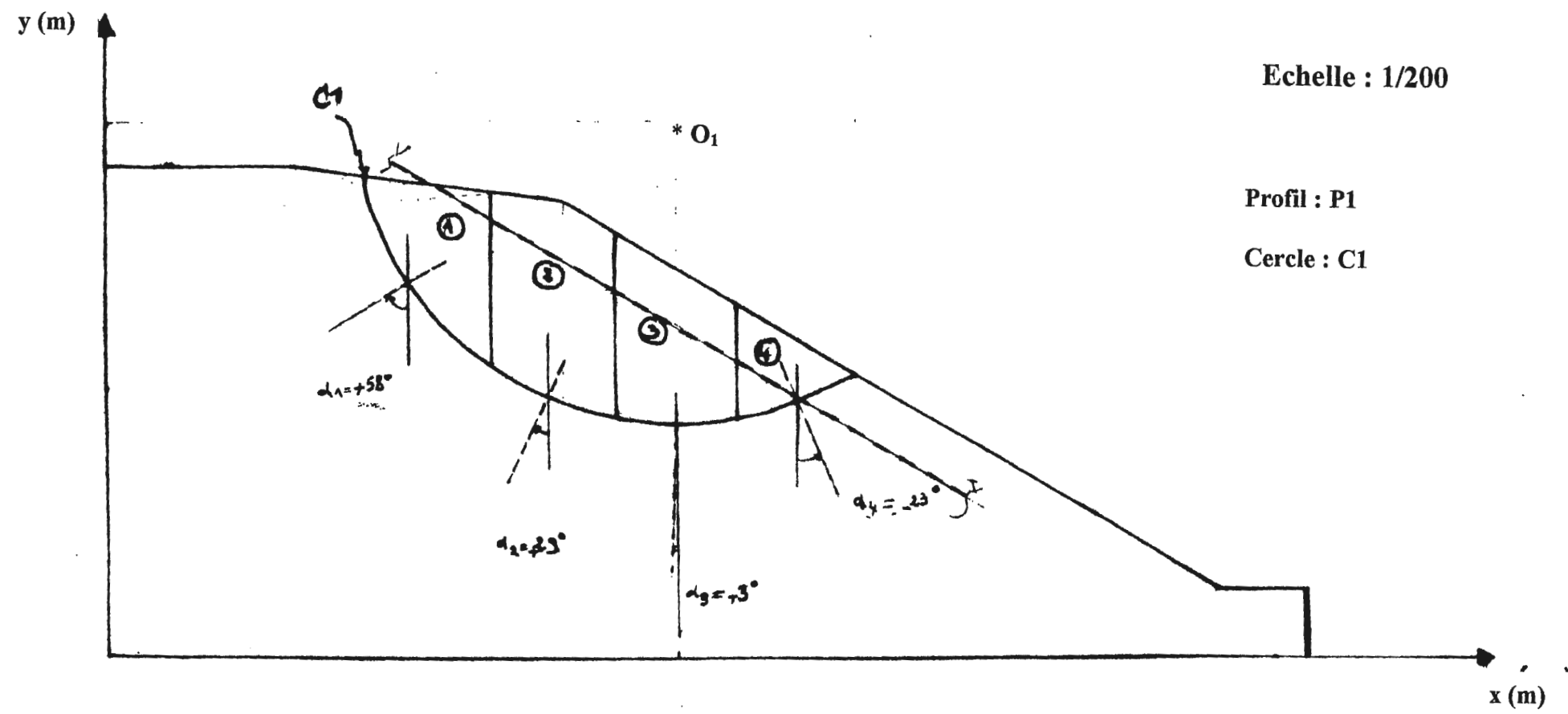
Profil en travers ; P2



Profil P 1 : vérification de quelques cercles de rupture



Profil P 2 : Vérification de quelques cercles de rupture

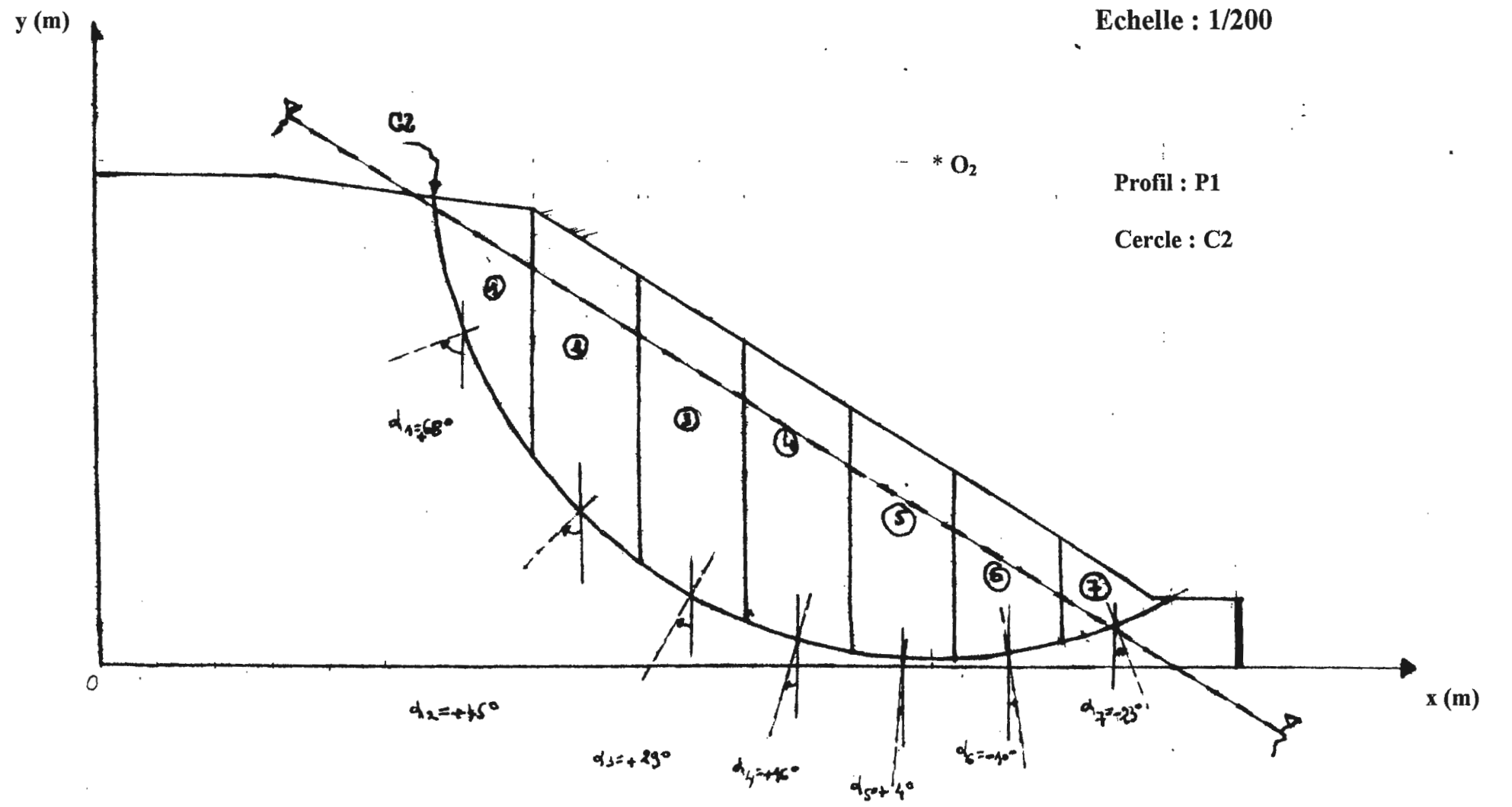


Echelle : 1/200

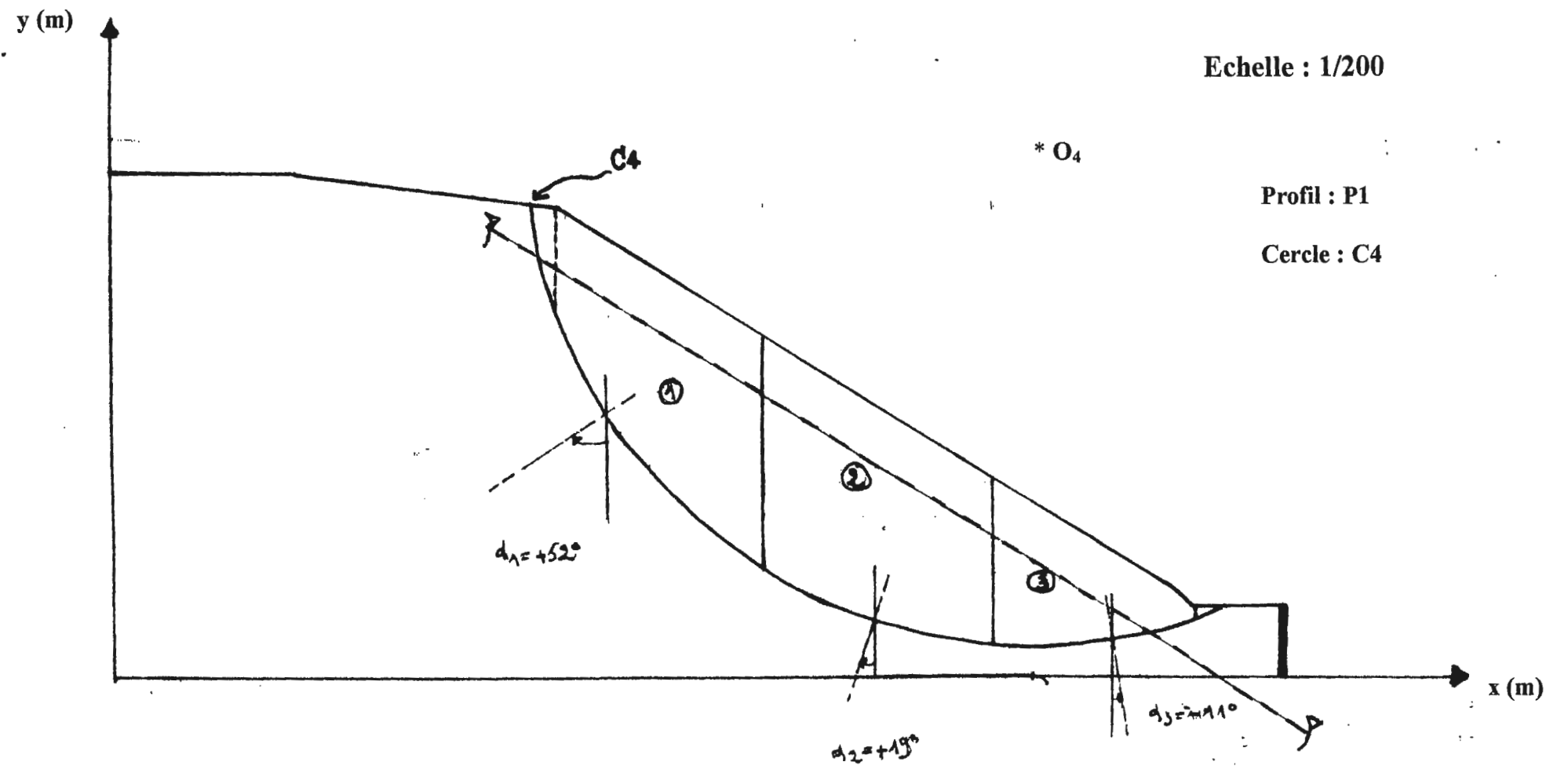
Profil : P1

Cercle : C1

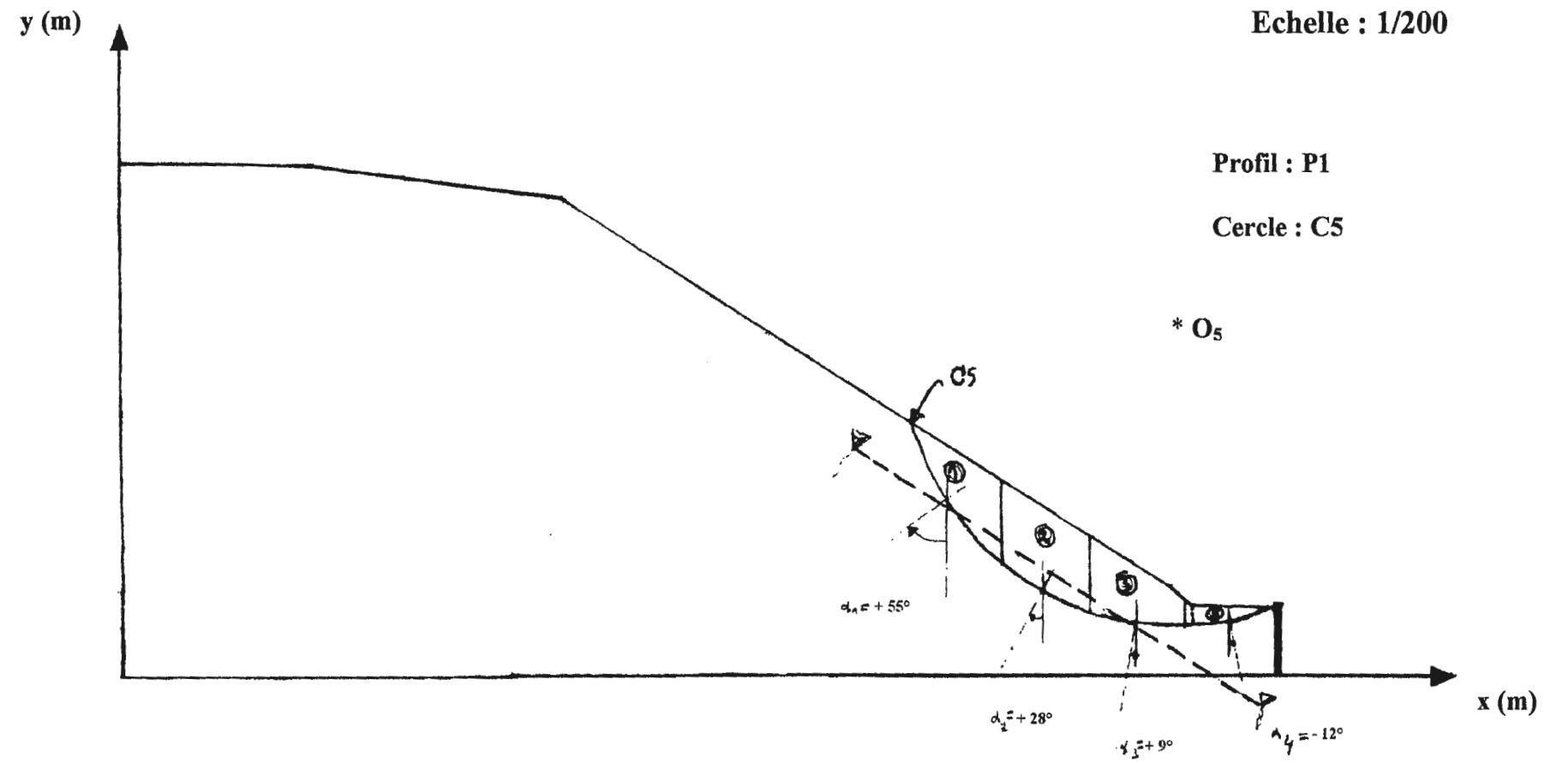
Profil P 1 : Vérification du cercle C 1 en présence d'une nappe d'eau



Profil P 1 : Vérification du cercle C 2 en présence d'une nappe d'eau

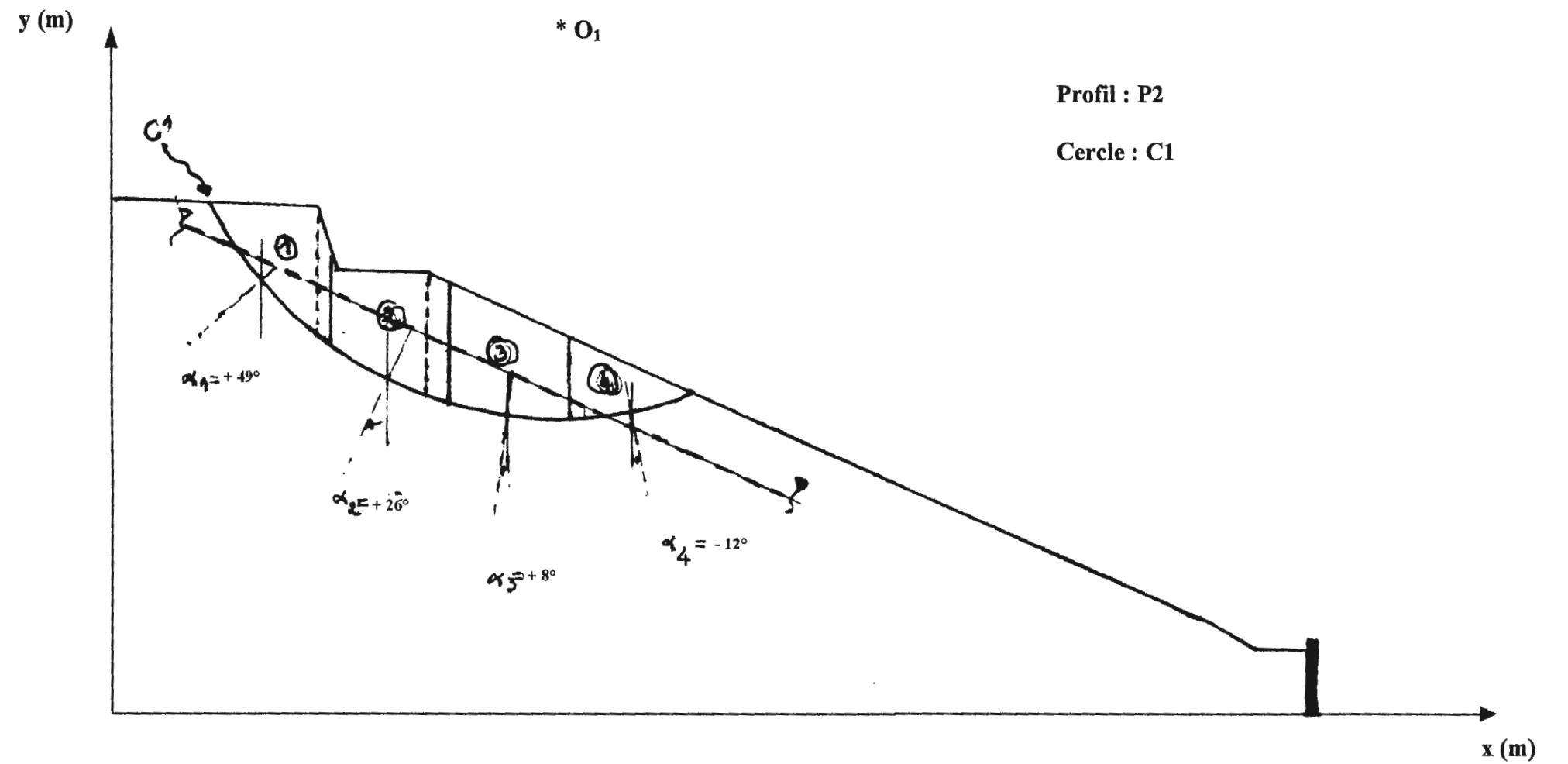


Profil P 1 : Vérification du cercle C 4 en présence d'une nappe d'eau



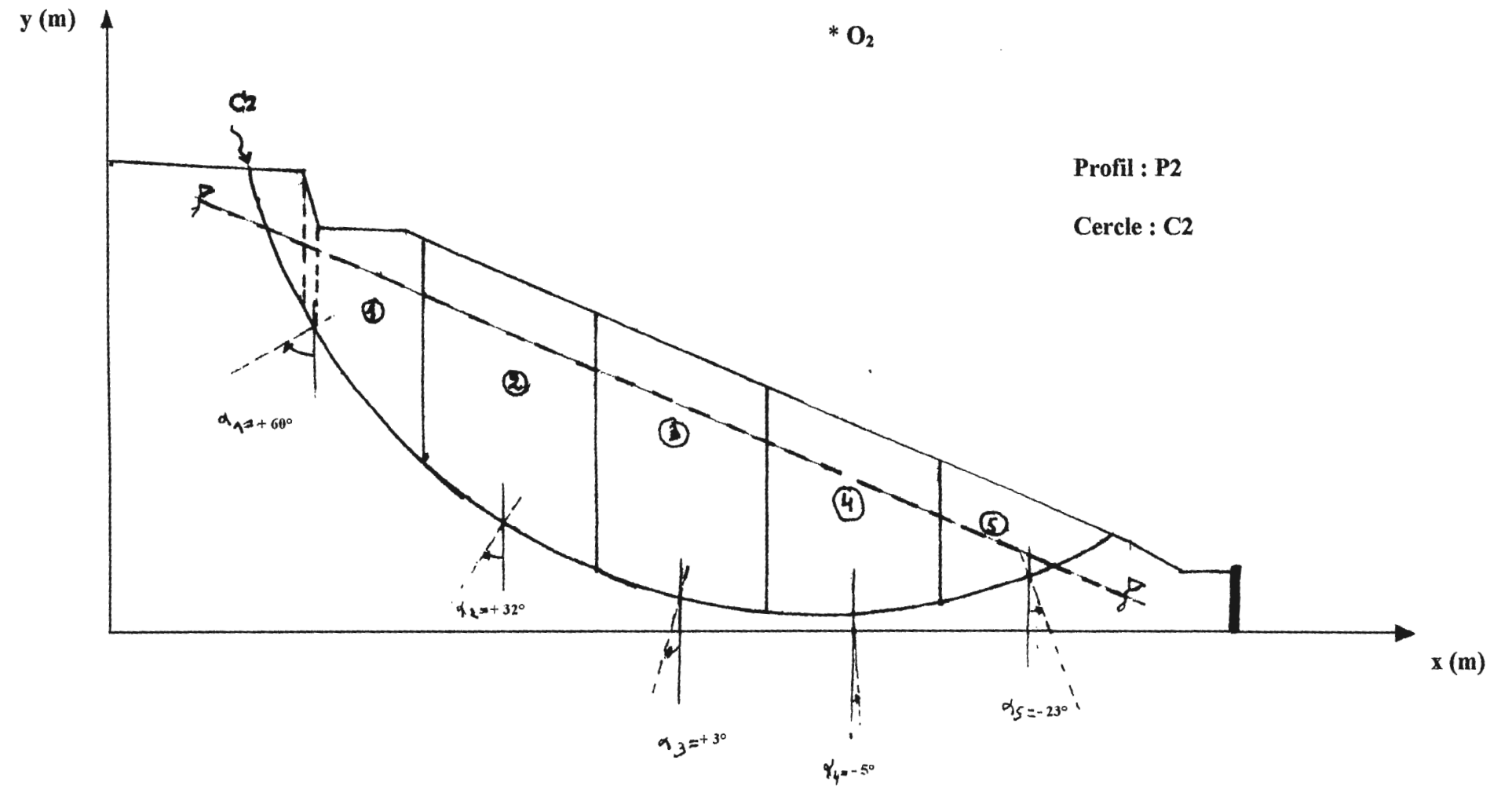
Profil P 1 : Vérification du cercle C 5 en présence d'une nappe d'eau

Echelle : 1/200



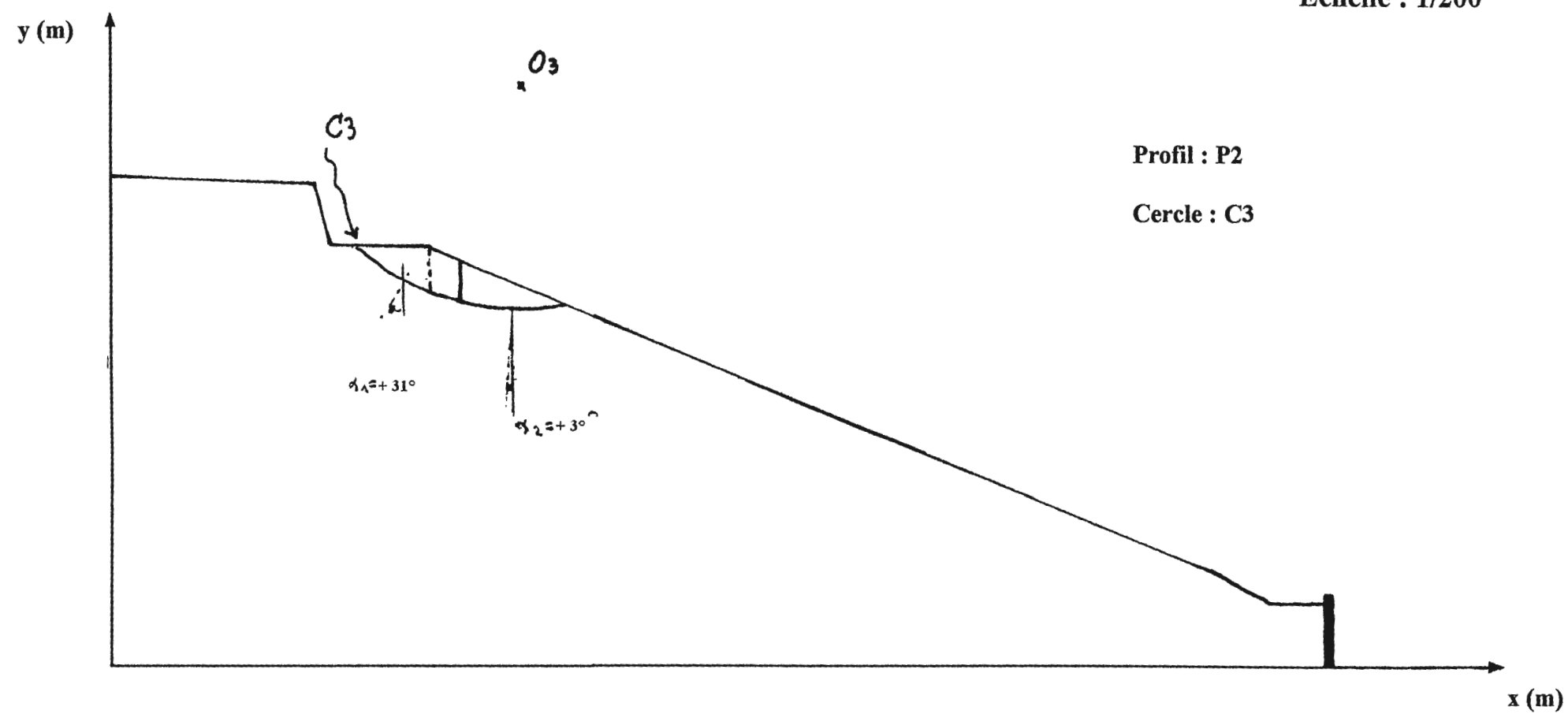
Profil P 2 : Vérification du cercle C 1 en présence d'une nappe d'eau

Echelle : 1/200

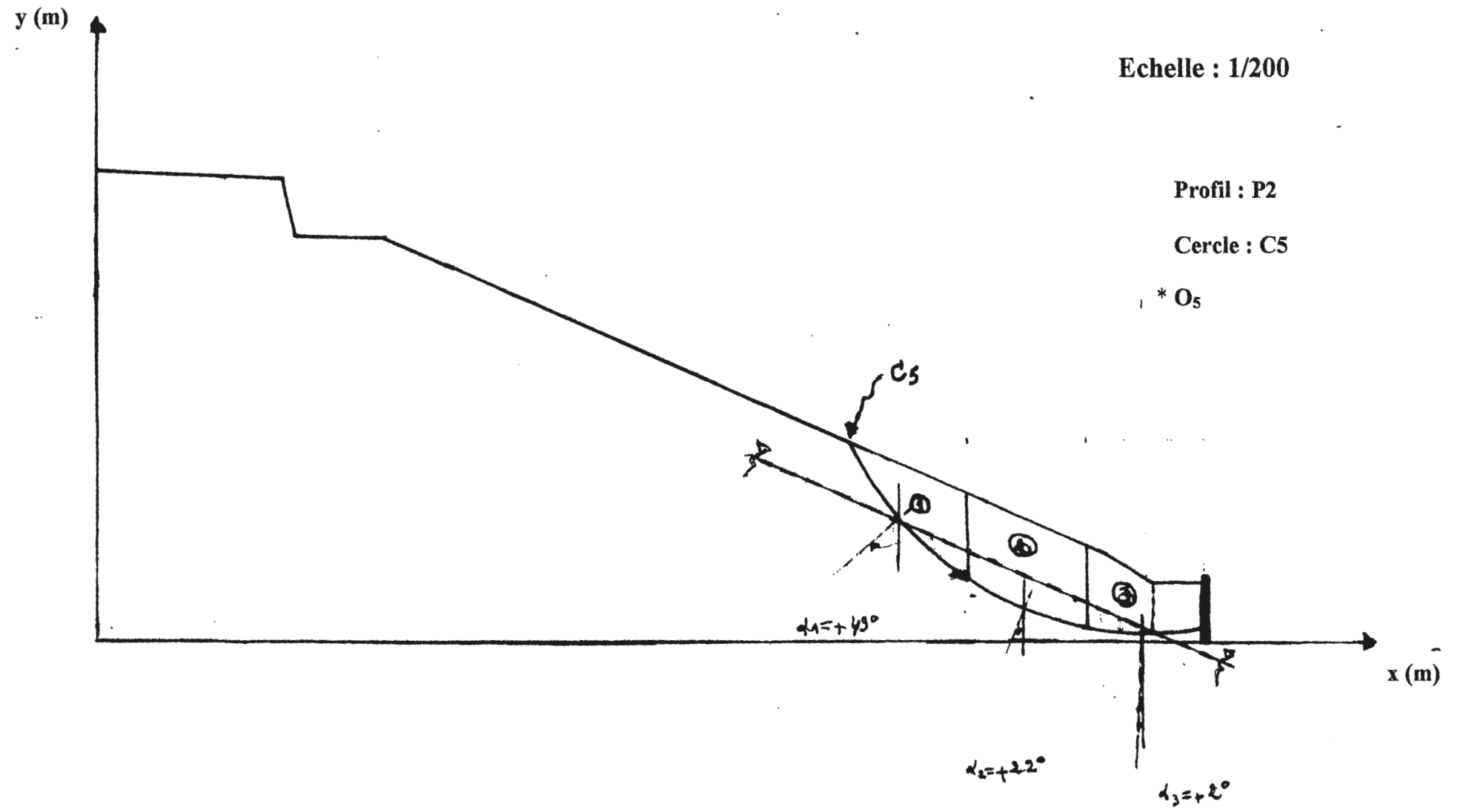


Profil P 2 : Vérification du cercle C 2 en présence d'une nappe d'eau

Echelle : 1/200

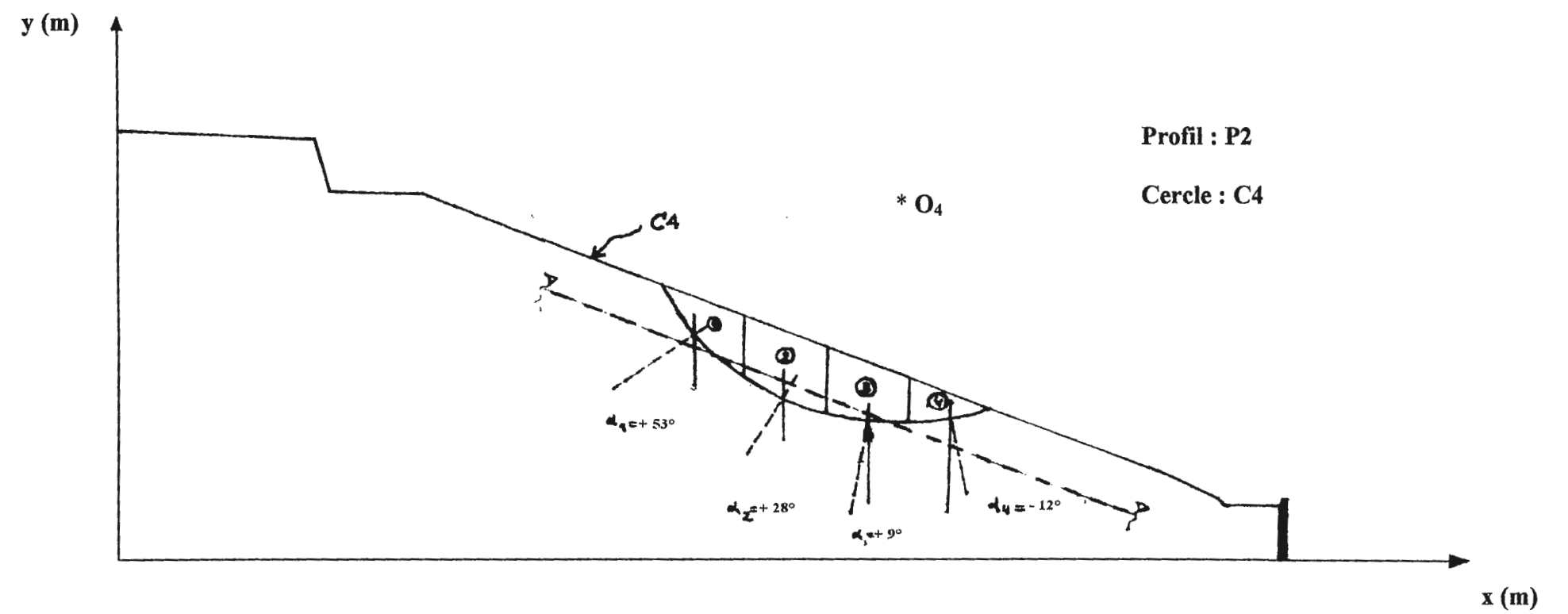


Profil P 2 : Vérification du cercle C 3 en présence d'une nappe d'eau



Profil P 2 : Vérification du cercle C 5 en présence d'une nappe d'eau

Echelle : 1/200



Profil : P2

Cercle : C4

Profil P 2 : Vérification du cercle C 4 en présence d'une nappe d'eau

Annexe C



ARRACHEMENT VU DU BAS



ARRACHEMENT VU DU ROFIL

Annexe : D

Méthodes confortatives.

Quand on veut consolider un glissement, peu importe que la surface de rupture soit circulaire, logarithmique, plane,...etc. Par contre, il est de la plus grande importance de connaître ses dimensions et d'avoir une idée sur son origine: surcharge, écoulement d'eau, altération des sols ou simplement ruissellement exceptionnel. Le choix de la méthode de consolidation en dépend.

Face à un problème de stabilité, une première solution consiste à s'affranchir des mouvements de la pente instable sans les empêcher. Deux types de solutions sont possibles :

- implanter ou déplacer le bâtiment, l'ouvrage d'art ou la route en dehors de la zone en mouvement, dans un secteur reconnu comme stable;
- concevoir l'ouvrage de telle sorte qu'il ne soit pas endommagé par le mouvement de terrain : soit en résistant aux efforts apportés par le mouvement de terrain (solution réservée aux petits glissements), soit en adaptant le mode de construction de sorte que les fondations soient dissociées du sol en mouvement.

La figure suivante présente le principe d'un dispositif de fondation sur pieux dans un glissement. Si ce type de solution n'est pas retenu, on est amené à conforter la pente avec l'une des techniques présentées dans les paragraphes ci-après.

Lorsqu'il s'agit de dimensionner un dispositif de confortement préventif, on recommande de prendre un coefficient de sécurité $FS = 1,5$ pour l'ouvrage en service. Dans une intervention de réparation après glissement, si le calage des caractéristiques mécaniques paraît de bonne qualité, le coefficient de sécurité demandé peut se limiter à 1,3. Si toutefois certaines caractéristiques du site sont mal connues, ou si les techniques employées sont susceptibles de perdre de leur efficacité avec le temps (colmatage de drains par exemple), ou encore si l'on ne peut tolérer de déformations, on choisit plutôt $FS = 1,5$.

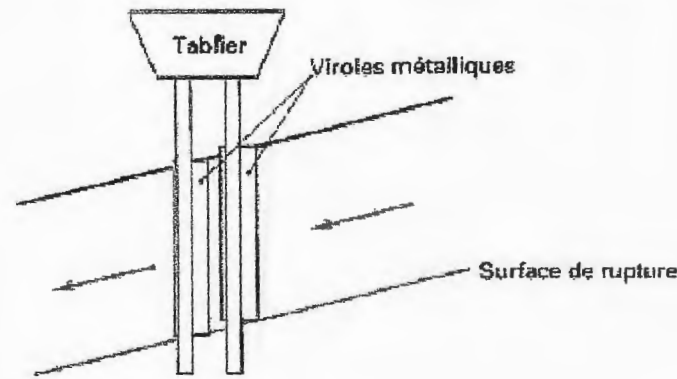


Fig. D-1 : Fondations sur pieux dans un glissement.

1- Terrassements :

Les conditions de stabilité étant directement liées à la pente du terrain, le terrassement reste le moyen d'action le plus naturel. On peut distinguer trois groupes de méthodes de stabilisation par terrassement:

- les actions sur l'équilibre des masses : allègement en tête, remblai en pied ;
- les actions sur la géométrie de la pente : purge et reprofilage ;
- les substitutions partielles ou totales de la masse instable.

1-1- Remblai de pied :

Le chargement en pied d'un glissement est une technique souvent utilisée, généralement efficace. L'ouvrage, également appelé banquette, berme ou butée, agit par contre-balancement des forces motrices. Pour qu'il soit efficace, il faut réaliser un ancrage dans les formations sous-jacentes en place. Comme dans le cas d'un ouvrage de soutènement, le dimensionnement doit justifier de la stabilité au renversement, de la stabilité au glissement sur la base et de la stabilité au grand glissement. Mais en pratique, c'est la stabilité le long de la surface de rupture du glissement déclaré qui est le facteur principal du dimensionnement. La stabilité au grand glissement suppose que :

- l'ouvrage limite les risques de reprise du glissement en amont ;
- l'ouvrage ne déclenche pas d'autre glissement, par exemple à l'aval.

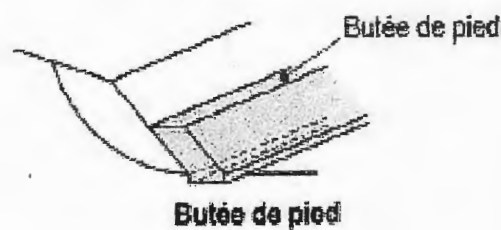


Fig. D-2 : Remblai de pied.

1-2- Allègement en tête :

L'allègement en tête de glissement consiste à venir terrasser dans la partie supérieure. Il en résulte une diminution du poids moteur et, par conséquent, une augmentation du coefficient de sécurité. La méthode de dimensionnement consiste en un calcul de stabilité le long de la surface de rupture déclarée en prenant en compte la modification de géométrie en tête. On peut également substituer le matériau terrassé par un matériau léger (polystyrène, matériau à structure alvéolaire, etc.).

1-3- Reprofilage :

Les conditions de stabilité d'un talus étant directement liées à sa pente, on peut assez simplement augmenter la sécurité par talutage du terrain naturel. Dans ce sens, le procédé s'apparente à l'allègement en tête : il consiste en un adoucissement de la pente moyenne. Ce type de traitement est particulièrement bien adapté aux talus de déblais, et il est de pratique courante. Notons que l'exécution de risbermes a l'avantage d'améliorer la stabilité par rapport à une pente unique et de créer des voies d'accès pour l'entretien ou des travaux complémentaires. L'adoucissement de la pente est généralement mal adapté aux versants naturels instables car il met en jeu des volumes de sol très importants.

1-4- Purge :

Les techniques de terrassement s'accompagnent fréquemment de purges du matériau déplacé par le glissement. Cette solution est généralement limitée aux glissements de taille modeste. On peut, dans certains cas, purger l'ensemble du matériau glissé, à condition que la surface mise à nu soit stable.

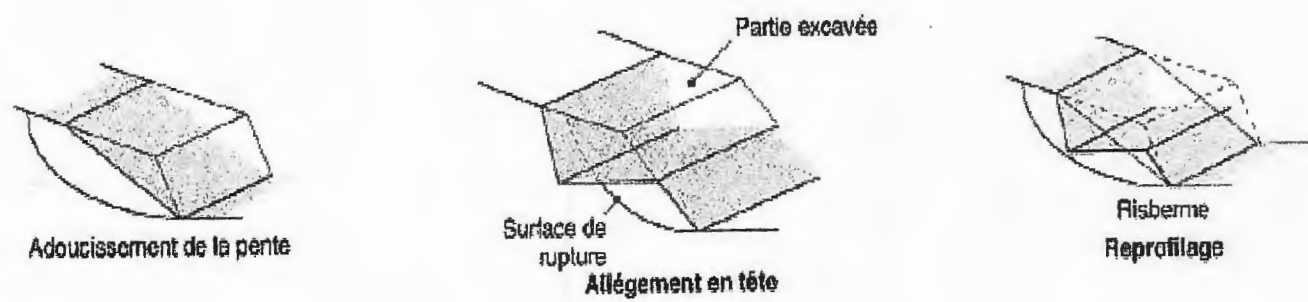


Fig. D-3 : Différentes formes de terrassement.

1-5- Substitution totale ou partielle :

La substitution totale consiste à venir purger l'ensemble des matériaux glissés ou susceptibles de glisser, et à les remplacer par un matériau de meilleure qualité. Cela permet de reconstituer le profil du talus initial.

Il importe de vérifier la stabilité au cours des phases de travaux et celle du talus définitif dans lequel on prend en compte les caractéristiques du matériau de substitution et du matériau en place.

La substitution de matériaux glissés suppose que l'on connaisse le volume de matériaux concerné, que l'on excave plus profondément que la surface de rupture, et que l'on

réalise des redans afin d'assurer un bon accrochage entre le substratum et le sol d'apport. La tenue des talus provisoires de la purge dépend des conditions de terrassement, de la météorologie, des hétérogénéités locales.

Des substitutions partielles sont souvent employées, sous forme de bèches ou de contreforts discontinus. Le coefficient de sécurité de la pente ainsi traitée peut être estimé en prenant la moyenne pondérée des coefficients de sécurité de la pente avec et sans substitution.

2- Dispositifs de drainage :

Dans la plupart des cas de glissement, l'eau joue un rôle moteur déterminant. Aussi utilise-t-on couramment les techniques de drainage, qui ont pour but de réduire les pressions interstitielles, au niveau de la surface de rupture lorsque celle-ci existe. Les différentes techniques qui peuvent être mises en oeuvre pour atteindre cet objectif relèvent de deux options fondamentales :

- éviter l'alimentation en eau du site ;
- expulser l'eau présente dans le massif instable.

De nombreux paramètres conditionnent l'efficacité d'un système de drainage, en particulier la nature et l'hétérogénéité des terrains, la géométrie des couches aquifères, la perméabilité et l'anisotropie des sols, les alimentations et les exutoires.

De ce fait, et compte tenu des difficultés de détermination de l'ensemble de ces éléments, le dimensionnement d'un système de drainage est fait en prenant un coefficient de sécurité plus élevé que celui pris pour d'autres techniques (terrassements, renforcements).

Comme la plupart des ouvrages, les dispositifs de drainage nécessitent un entretien régulier qui, s'il n'est pas réalisé, peut leur enlever toute efficacité. On distingue : les drainages de surface et les ouvrages de collecte des eaux, les tranchées drainantes, les drains subhorizontaux, les masques et éperons drainants, les drains verticaux, et enfin les galeries et autres ouvrages profonds. Toutes ces techniques peuvent être utilisées seules ou associées, ou en complément d'autres techniques de stabilisation.

2-1- Collecte et canalisation des eaux de surface :

L'objectif est de limiter les infiltrations dans le massif en mouvement. Les eaux peuvent provenir de zones de sources, d'un défaut d'étanchéité sur un réseau ou un bassin de stockage à l'amont ou plus simplement de l'impluvium et des eaux de ruissellement. En effet, les eaux de surface ont tendance à s'infiltrer dans les fissures, à stagner dans les zones de faible pente et aggravent ainsi une instabilité amorcée. Aussi les ouvrages de collecte des eaux (fossés, caniveaux, cunettes) et l'étanchéification des fissures de surface, bien que ne constituant pas des ouvrages de drainage à proprement parler, sont-ils réalisés en première urgence dans de nombreux cas de glissements.

2-2- Tranchées drainantes :

Les tranchées drainantes sont des ouvrages couramment utilisés pour rabattre le niveau de la nappe. Elles sont implantées sur le site de façon à venir recouper les filets d'eau (lignes de courant dans un horizon homogène, couche aquifère, venues d'eau ponctuelles, etc.). Le choix de l'implantation (dans le sens de la plus grande pente ou dans un sens parallèle aux lignes de niveau, ou encore en épis), de la profondeur et de l'espacement des tranchées dépend des résultats de l'étude hydrogéologique et conditionne l'efficacité du drainage. Ces tranchées peuvent être réalisées de plusieurs façons : à la pelle mécanique, à la trancheuse et la hacheuse de paroi.

2-3- Drains subhorizontaux :

Cette méthode est utilisée quand la nappe est trop profonde pour être atteinte par des drains superficiels. La meilleure justification de l'utilisation de drains subhorizontaux est le cas d'un aquifère assez perméable (sable, roche extrêmement fracturée) dont l'émergence est masquée par des terrains moins perméables (éboulis argileux). Le rayon d'action de chaque drain est faible. La méthode est souvent inefficace dans des formations argileuses (trop faible perméabilité, circulation trop diffuse). Toutefois, le rabattement de la nappe, si faible soit-il, pourra suffire dans certains cas.

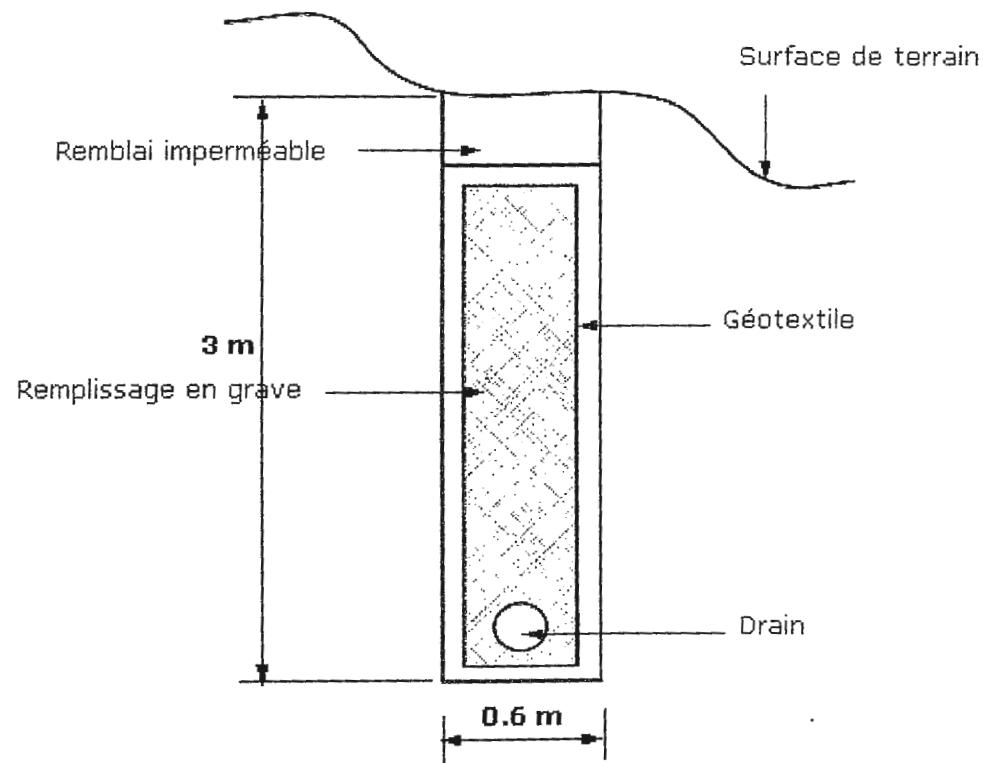


Fig. D-4 : Coupe transversale d'un drain.

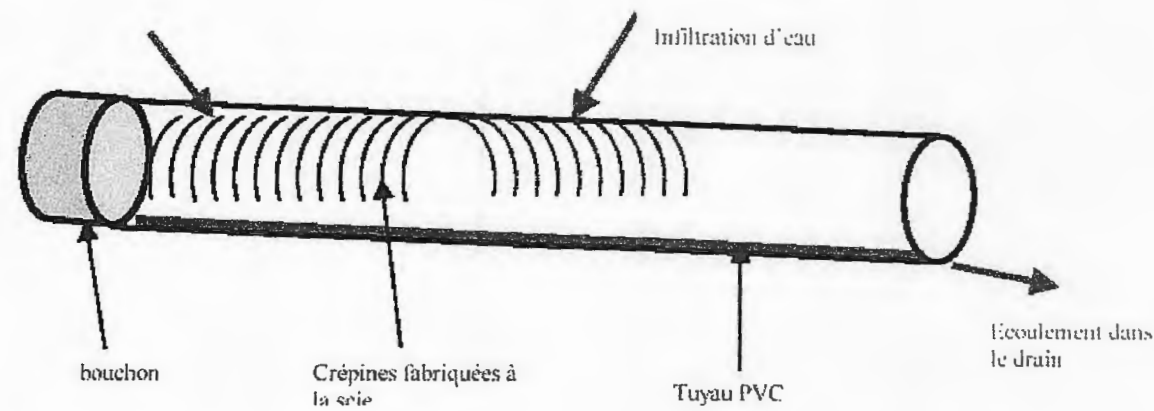


Fig. D-5 : Schéma d'un drain en plastique.

2-4- Masques et éperons drainants :

Les masques drainants sont des ouvrages en matériaux granulaires grossiers mis en place en parement de talus ; leur rôle est d'annuler la pression interstitielle dans la portion correspondante de terrain, mais leurs caractéristiques très frottantes apportent également un gain de stabilité. Les éperons drainants sont des sortes de masques discontinus ; s'il est inutile ou difficile de réaliser un masque, on se contente de faire des saignées remplies de matériau drainant régulièrement espacées.

2-5- Drains verticaux :

Cette méthode consiste à réaliser des forages drainants verticaux équipés de pompes immergées. Elles est utilisée dans le cas de masse instable importante en glissement lent. On préconise ce système si la vitesse moyenne avant travaux est de l'ordre du centimètre par année, de façon à éviter un cisaillement prématuré des crépines. Si la vitesse est variable au cours de l'année, les travaux de forage doivent être effectués en période sèche, donc pendant les mouvements les plus lents. Les pompes seront opérationnelles dès la période habituelle de réactivation.

3- Eléments résistants :

Ces techniques ne s'attaquent pas à la cause des mouvements mais visent à réduire ou à arrêter les déformations. Elles sont intéressantes dans les cas où les solutions curatives (terrassements et drainages) ne peuvent pas être techniquement ou économiquement mises en oeuvre. On peut également introduire des éléments résistants à titre préventif, de façon à éviter les déplacements, dont une conséquence serait de diminuer la résistance au cisaillement des sols. La compatibilité des déplacements du sol et des structures doit être prise en compte lors du choix de ce type de technique.

3-1- Ouvrages de soutènement :

Les ouvrages rigides ne sont pas les mieux adaptés à la stabilisation des glissements de terrain puisqu'ils ne permettent pas de déplacement du sol. Aussi, quand l'ouvrage est suffisamment ancré et résistant vis-à-vis des efforts qui lui sont appliqués, il est fixe. L'état limite atteint par le sol en compression en amont est un état de butée puisque le sol se déplace plus vite que l'écran. Les efforts qui en résultent sont très importants.

Il est donc très rare de stopper un glissement par un mur fixe. Sur la route d'accès au tunnel du Fréjus (France), les murs ancrés au rocher ont eu leurs ancrages rompus suite à une trop grande mise en tension de ceux-ci. Et la rupture en traction d'ancrages est un phénomène très violent. Pour comprendre ce risque il est parfois bon de raisonner en forces mises en présence, on se rend compte alors que les efforts que doit encaisser l'ouvrage sont démesurés.

Pour les ouvrages souples, Il s'agit de murs construits à partir d'éléments préfabriqués : murs en blocs préfabriqués, murs cellulaires, talus renforcés par géotextiles, armatures métalliques ou synthétiques, etc.

Ces ouvrages fonctionnent comme des massifs poids. On les dimensionne en vérifiant la sécurité vis-à-vis de deux mécanismes de rupture : la rupture interne (la méthode de calcul dépend du type d'ouvrage et de la modélisation de l'interaction sol-structure) et de la rupture externe.

L'ouvrage a une fonction locale, il protège une route par exemple, mais il suit le mouvement et sa déformabilité lui permet de le faire sans grand dommage. Les murs en terre armée de la route d'accès au tunnel du Fréjus se déplacent vers la vallée. C'est la présence d'un point fixe qui a entraîné des désordres.

Ces techniques, qui supportent des déformations du sol, sont couramment utilisées pour traverser des zones à évolution lente, impossible à arrêter au vu de leurs dimensions. Les calculs sont menés pour vérifier la stabilité interne et on vérifie que la stabilité générale n'est pas trop perturbée par la présence de l'ouvrage. La stabilité locale est en général assurée par le caractère monolithique de l'ouvrage.

4- Boisement :

Pour stabiliser un talus à risque de glissement, existe méthode simple et bénéfique à la fois pour l'environnement et pour l'application. La plantation d'arbres à racines denses et qui peuvent absorber de grandes quantités d'eau constitue une solution idéale pour diminuer l'influence de l'eau interstitielle et retenir les terres par les racines.

Dans ce qui suit on va présenter deux espèces d'arbres dont les qualités stabilisatrices sont prouvées.

4-1- Eucalyptus :

Genre d'arbres, très souvent de grande taille, certains pouvant dépasser 100 m de hauteur et comprenant plusieurs espèces. Leur croissance est très rapide et ils sont capables de se développer dans des conditions très diverses. Leur enracinement est puissant.

L'eucalyptus a été considéré, avec raison, comme une essence assainissante à planter dans les terrains humides. Il constitue un excellent drainage. Un certain nombre de points d'Algérie, réputés malsains, ont été assainis grâce à l'eucalyptus. Il réclame un sol riche, profond, contenant beaucoup d'eau, tout au moins dans les parties accessibles aux racines.

L'expérience a montré qu'il ne faut pas planter cette essence à des distances trop rapprochées : **4 mètres en tout sens** paraît être un minimum.

L'eucalyptus est l'arbre qui profite au maximum des techniques modernes de plantation. Très fragile dans sa jeunesse, il se dégage vite des risques de destruction.

L'espèce la plus répandue en Algérie est : *E. Camaldulensis*, il convient à tous les sols profonds de plaines, les lits d'oueds, les terres non salées et sans calcaire, il craint les argiles compactes ; autrement il est très plastique résistant à l'inondation et à la dessiccation du sol, au vent et à la chaleur.

On utilise ce genre d'arbre selon plusieurs dispositions de plantation :

- isolé
- en alignement
- en massif.

On l'utilise déjà pour assainir les lieux humides et pour protéger les berges contre les affouillements.

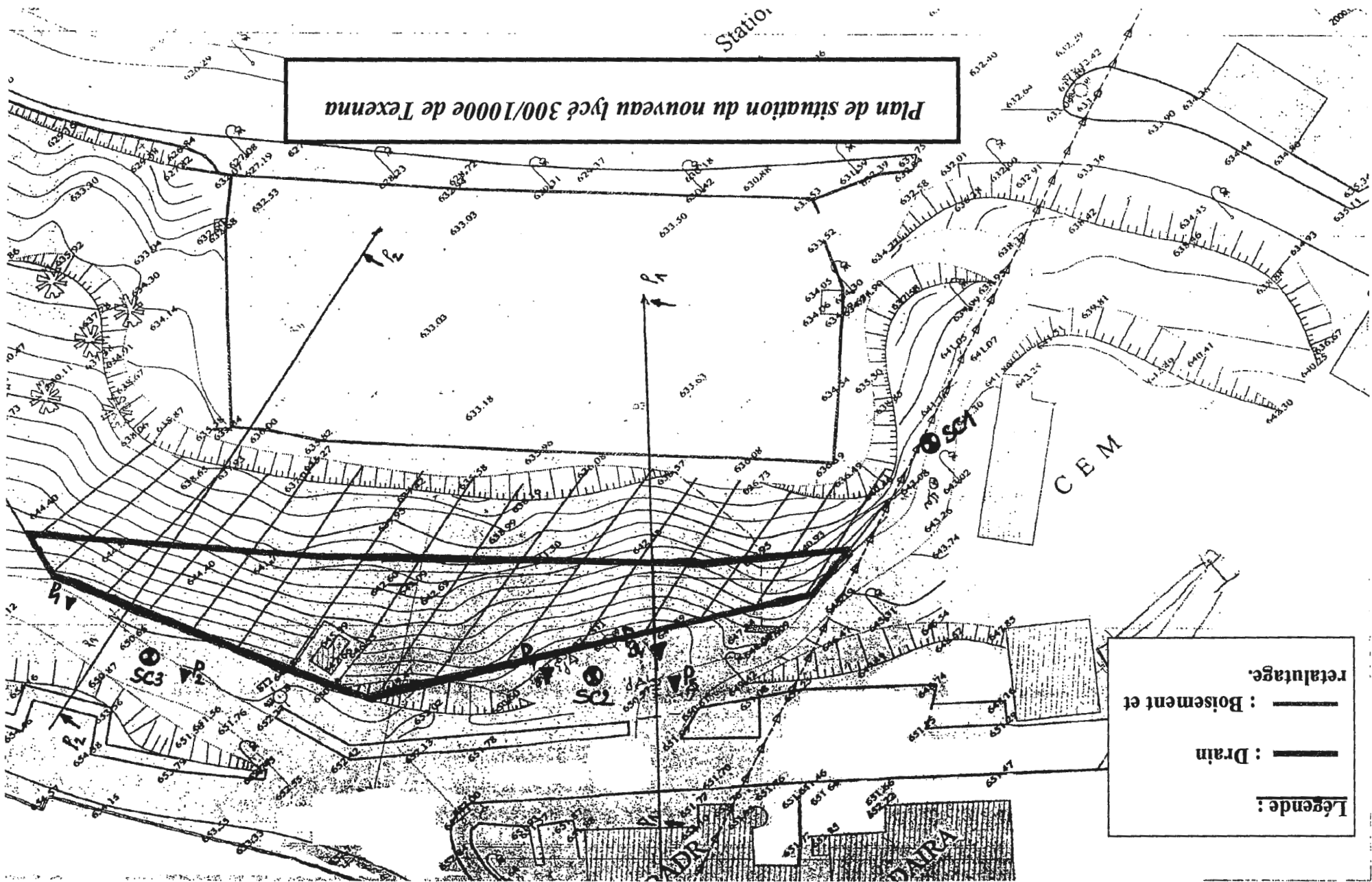
Le seul inconvénient à l'utilisation de ce genre d'arbre est le temps qu'il prend pour grandir (long si on veut contrer un risque imminent de glissement) et sa très grande taille qui pourrait contribuer à la déstabilisation des talus à risque.

4-2- Acacias :

Sont des légumineuses que l'on utilise soit pour créer des haies, avec les variétés épineuses, soit pour le reboisement des dunes, soit comme essence associées de l'eucalyptus pour améliorer les sols.

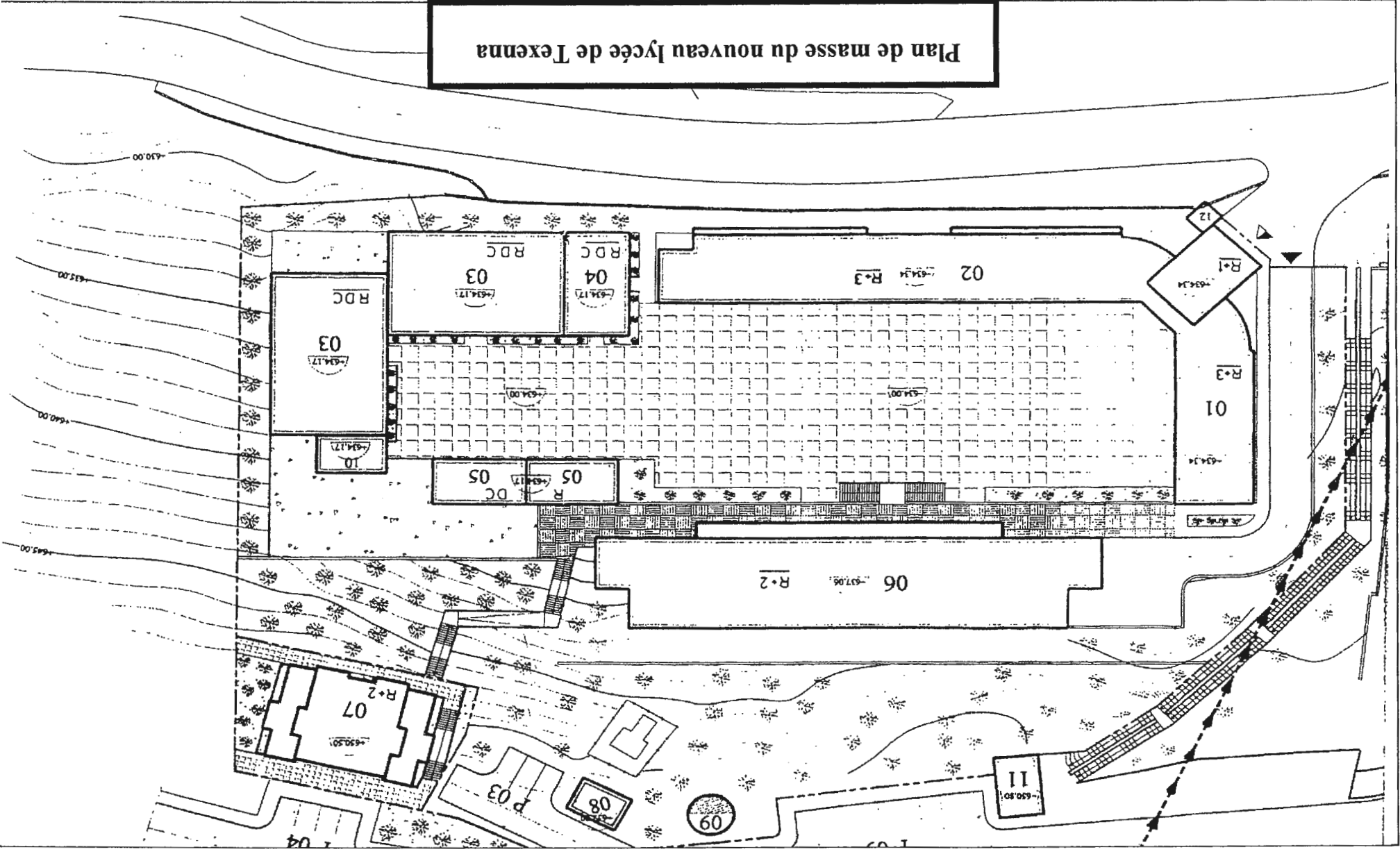
Plan de situation du nouveau lycée 300/1000e de Texenna

Station



Legende:
— : Drain
— : Boisement et
retalutage.

Plan de masse du nouveau lycée de Texenna



Liste des notations utilisées

b : largeur des tanches

B : largeur de la fondation (bars)

B : angle d'égalité stabilité ($^{\circ}$)

C'' : cohésion (T/m^2)

D : profondeur de la fondation (m).

e_0 : indice des vides initial.

e_f : indice des vides finale.

Δe : variation de l'indice des vides .

F_s : coefficient de sécurité.

H : hauteur du talus .

ΔH : tassement totale (cm).

H : hauteur de la couche tassante.

N_C : terme de cohésion.

N_g : terme de surface .

N_q : terme de profondeur.

q_{str} : contrainte provenant de la superstructure.

S : surface de la fondation .

U : pression interstitielle (m).

V : volume (m^3).

W : poids (T/m).

Z_w : la distance entre le point M et le point N ou l'équipotentiel passant par M recoupe (m)

α : l'angle orientée que fait le rayon du cercle passant par le milieu de la base de la tranche avec la verticale.

φ'' : angle de frottement ($^{\circ}$).

γ_d : densité sèche (T/m^2).

γ_h : densité humide (T/m^2).

γ_w : poids volumique de l'eau (T/m^2).

γ_{sat} : poids volumique saturé (T/m^2).

σ_{sol} ; q_{ad} : contrainte admissible.

σ_0 : contrainte initiale (bars).

σ_f : contrainte finale (bars).

$\Delta\sigma$: contrainte appliquée après chargement (ou surcharge).

Bibliographie.

- A. BENAÏSSA (2003) : Calcul de stabilité, Glissement de terrain.(O.P.U), 95P.
- J.P. BOUILLIN - *et al.*- (1970) : Définition d'un Flysch Massylien et d'un Flysch Maurétanien au sein des Flysch allochtones de l'Algérie. *C.R.A., CAD, Sc.*, Paris T270, série D.P. 2249-2252.
- J.P. BOUILLIN, J.KORNPROBST et J.F. RAOULT (1977) : Données préliminaires sur le complexe volcano-sédimentaire de REKKADA METLETINE (TEXENNA) en Petite Kabylie.
- S.BAUDELAUT, J.P BOUILLIN, Ph.E.COIFFAIT (1981) : Découverte de l'Ordovicien inférieur. Daté par les Acritarches dans l'Ouest de la Petite Kabylie (Algérie). Conséquences structurales.
- J.P BOUILLIN (1977) : Géologie Alpine de la Petite Kabylie dans la région de Collo et d'El Milia (thèse).
- M. DURAND-DELGA (1955) : Etude géologique de l'Ouest de la chaîne Numidique, Thèse, Sciences, Paris, *Publ., Serv., Carte géol.*, Algérie.
- M. DURAND-DELGA (1969) : Mise au point sur la structure du Nord Est de la Berberie. *Publ., Serv., carte géol.*, Algérie, Ns, Alger.
- H. DJELLIT (1987): Evolution Tectono-métamorphique du socle Kabyle et polarité de mise en place des nappes de Flysch en Petite Kabylie occidentale (Algérie). Thèse doct., Univ. Paris Sud, 206 P.
- Fiches techniques de la commune de Texenna (2003).
- M. FORNI (1981) : Fondations spéciales et reprise en sous-œuvre.
- R. FRANK (2003) : Calcul des fondations superficielles et profondes. (Editions :Techniques de l'ingénieur), 141P.
- R.D. HOLTZ et W.D. KOVACS (1991) : Introduction à la géotechnique.(Editions : Ecole polytechnique de Montréal).
- LEHTIHET (1983) : Etude hydrogéologique de la plaine alluviale de Oued Nil (région de Jijel).
- J.P. MAGNAN et B. SOYER (2000) : Deformabilité des sols. Tassements, consolidation. C214, *Traité construction*, Volume C21.
- G. PHILIPPONAT , B. HUBERT (2003) : Fondations et ouvrages en terre (Editions : Eyrolles).
- R.P.A 2003 : Règlement Parasismique Algérien, Rapport 2003.
- J.F. RAOULT (1974) : Géologie du centre de la chaîne Numidique (Nord Constantinois, Algérie). Thèse, *Sc.*, Paris, *Mem., Soc., Géol., Fr.*, Ns., LIII, *Mem.* N° 21, Paris.

- G. SANGLERAT et G. OLIVARI (1983) : Cours pratique de la mécanique des sols - Tome 1&2-. (Editions : Dunod).
- F. SCHLOSSER (1988) : Cours de l'école nationale des ponts et chaussées, Eléments de la mécanique des sols, (Editions : Eyrolles).
- G.B. SOWERS et G.F. SOWERS (1961) : Itroductory soil mechanics and foundations, 2^{ème} edition, (Editions: Mc Milan Co.), 145P.
- A paraître : M.TEKKOUK : Etude de la pollution par les sulfates des eaux du bassin versant de l'oued Djen-Djen. (Thèse de magistère).
- J.M. VILA (1980) : La chaîne Alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens. Thèse doct., Univ. Pierre et Marie Curie (Paris VI), 3 Vol., 665P, Paris.

