

وزارة التعليم والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE CIVIL

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

ETUDE DES GLISSEMENTS DE TERRAINS
CALCUL AUTOMATIQUE A LA
RUPTURE CIRCULAIRE
APPLICATION AU CAS DE JIJEL

Proposé par :

S.N.T.F.

Etudié par :

A.Hedir

S.Taflis

Dirigé par :

MM. : Kenana

Ait Abdeslem

PROMOTION : Janvier 86

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE CIVIL

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

ETUDE DES GLISSEMENTS DE TERRAINS
CALCUL AUTOMATIQUE A LA
RUPTURE CIRCULAIRE
APPLICATION AU CAS DE JIJEL

Proposé par :

S.N.T.F.

Etudié par :

A.Hedir

S.Taflis

Dirigé par :

MM. : Kenana

Ait Abdeslem

PROMOTION : Janvier 86

R E M E R C I E M E N T S



Nous tenons a remercier vivement :

- Monsieur Kenana, notre promoteur a L' E.N.P
- Monsieur Ait Abdeslem , notre encadreur au L.T.P.C
- Monsieur Halleux, ingénieur a Transurb
- Monsieur Arab directeur des projets a la S.N.T.F
- Monsieur Bendali du L.T.P.C
- Tous les ingénieurs de la S.N.T.F :
MM Baza , Benmami, Adjaoud a alger
MM Benliha , Khennat, Boutana, Salmi a Jijel.
- Melles W.HAMZA et N.MOHAMMEDI pour leur aide.
- Toutes les personnes qui ont participé de pres ou de loin a la réalisation de ce projet.

D E D I C A C E S



A mes parents,
ma soeur, sa fille Nachida,
mes freres : Hocine, Mustapha, Djamel,
mon collegue Said,
et tous ceux qui aiment que ce travail leur soit dedie.

Ahcene

A la memoire de feu mon pere,
ma mere,
mon collegue Ahcene,
A tous les miens.

Said

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

PREMIERE - PARTIE

I. INTRODUCTION

II. ETUDE DE LA STABILITE DES TALUS

III. DESCRIPTION D'UN GLISSEMENT DE TERRAINS

IV. DIFFERENTES METHODES DE CALCUL

IV.1- METHODE DES ELEMENTS FINIS

IV.2- METHODE DE CALCUL A LA RUPTURE

IV.2-1 GLISSEMENT PLAN

IV.2-2 RUPTURE CIRCULAIRE - METHODE DES TRANCHES

IV.3- RUPTURE NON CIRCULAIRE - METHODE DE JANBU

I-. INTRODUCTION

L'ingenieur en genie civil est souvent confronte aux problemes de glissement de talus ,que ce soit dans le domaine des travaux publics (terrassment des voies de commnication, de barrages,etc...)ou dans celui du batiment (terrassment des fouilles de fondations).

Ce probleme une fois maitrise peut etre ecarte sans trop de difficultes.Dans le cas contraire, il peut causer des catastrophes memorables, telles que:

- le glissement de Terril d'Abberidine en Angleterre qui a eu lieu en 1969, fit plusieurs morts parmi les enfants d'un groupe scolaire adjacent.

- le glissement du versant du Belvedere-Roquebilliere (Alpes Maritimes), qui a eu lieu en 1926, fit dix-neuf morts, aneantissant une vingtaine de maisons.

- a Villequier(entre le Havre et Rouen), deux villas construites depuis quelques mois ont ete emportees en Aout en 1969 par un glissement mettant en oeuvre un volume de l'ordre de 400.000 m3 de terrain.

D'autres exemples aussi frappants de par leur importance que les degats survenus apres les mouvements de terrain peuvent etre cites. D'autre part de 1969 a 1970 une enquete faite par le groupe d'etude des talus (G.E.T) des L.P.C a permis de classer 300 cas de glissements de talus routiers, dus en general a un manque d'etudes prealables, necessitant pour certains des reparations s'elevant a 2 millions de FF. En France, de 1969 a 1970, 25 millions de FF ont ete depenses pour les reparations des degats dus aux glissements.

Les exemples dus aux glissements en Algerie sont nombreux et aussi importants que ceux cites ci-dessus. La fin du mois de Fevrier 1973 fut marquee par l'apparition de mouvement de terrain dans la ville d'Azazga, mouvement entrainant la fissuration de nombreuses maisons particulieres et etablisements publics (C.E.M, C.N.E.T, etc...).Une maison s'est ecroulee au Nord-Ouest de la ville. Le cinema en construction fut egalement affecte et l'avancement des travaux fut suspendu.

II- ETUDE DE LA STABILITE DES TALUS

L'etude de la stabilite des talus releve de la mecanique des sols, et necessite des connaissances prealables avant toute etude:

1- Caracteristiques du massif :

a) Geologie :

En s'aidant des essais geophysiques, on determinera toutes les formations rencontrees, leurs pendages, ainsi que l'heterogeneite du massif.

b) Geotechnique :

Consiste en la classification des sols rencontres : Ganulometrie, Limite d'Atterberg, Poids specifique, Analyse mineralogique et mecanique : Resistance au cisaillement, a court terme (C,Phi), a long terme (C',Phi'), Residuelle(Cr, Phir).

c) Hydrologie :

Dans la mesure du possible, on essayera de detecter la (les) nappe (s) eventuels, ainsi que les ecoulements et leur direction, en s'aidant de la permeabilite des sols rencontres.

2-Forces agissants sur la masse de sol

Il sera tenu compte du poids de la masse de terre en glissement potentiel, des surcharges eventuels que peut supporter le talus, ainsi que les forces agissant sur la surface de glissement (force de cohesion, de frottement, pression interstitielle) .

3-Choix de la surface de glissement

Ce choix se fait d'une part sur la forme de cette surface qui peut être un cercle et, dans ce cas le glissement est dit circulaire; ou peut être d'une forme quelconque; il est dit non circulaire. Des essais menés par des moyens d'investigation de la mécanique des sols (sondages, études inclinométriques) peuvent aboutir à la détermination de la position de la surface de glissement. D'une autre part, ce choix peut se faire sur la répartition des contraintes le long de la surface de glissement qui doit satisfaire les conditions d'équilibres et aboutir à un coefficient de sécurité qui soit le minimum possible.

III-DESCRIPTION D'UN GLISSEMENT DE TERRAIN

Nous tenons à faire cette description qui nous permet de reconnaître les divers éléments d'un glissement de terrain ainsi que les types de fissures qui peuvent apparaître après rupture (voir figures)

1-Escarpement principale:

surface inclinée ou verticale, souvent concave, reliant la couronne à la tête du glissement.

2-Couronne:

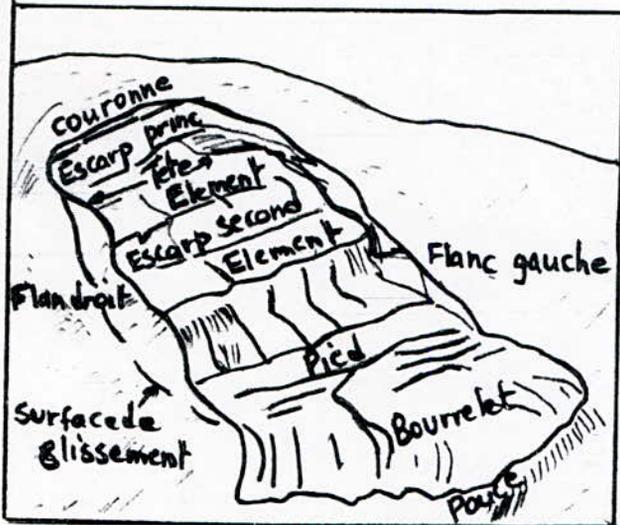
zone située au dessus de l'escarpement principal, souvent peu affectée par les désordres.

3-Tête:

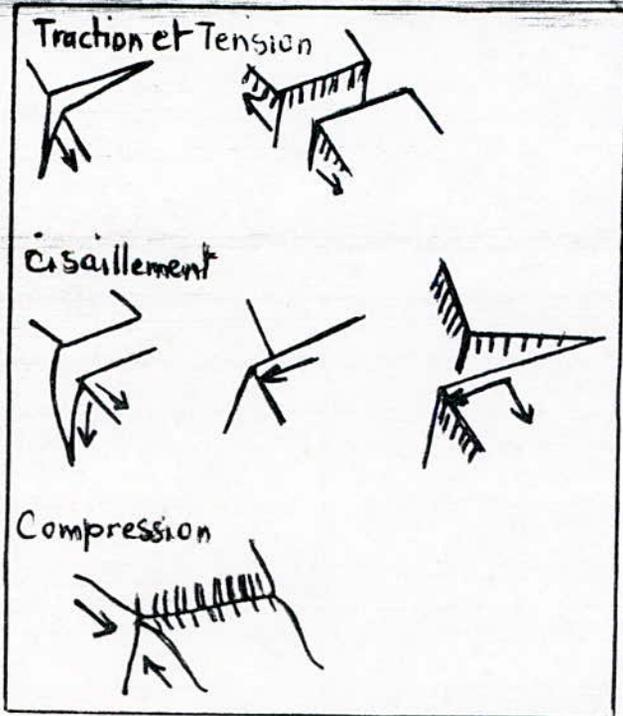
limite la partie glissée de l'escarpement principale.

4-Escarpement secondaire:

cicatrice semblable à l'escarpement principale mais visible dans la masse remaniée. Ces escarpements confèrent à la masse en mouvement une structure en escalier.



Differents éléments d'un glissement



Types de Fissures

5-Elements:

fraction de la masse glissée située entre deux escarpements consécutives.

6-Flancs:

il existe deux flancs, celui de gauche et celui de droite. Ils limitent latéralement le glissement.

7-Pied:

correspond à l'intersection aval de la surface topographique initiale.

8-Extrémité inférieure ou pouce:

zone aval du mouvement de terrain ou extrémité du bourrelet.

9-Rides transversales:

elles se forment dans le bourrelet du mouvement de terrain et sont dues aux efforts de compression.

10-Surface de rupture:

surface séparant la masse glissée des terrains en place.

11-Corps:

partie centrale du glissement recouvrant la surface de rupture.

12-Largeur:

distance entre les flancs.

13-Longueur totale:

distance entre la couronne et le pouce (L).

14-Longueur de la rupture:

distance entre la couronne et le pied.

15-Profondeur du glissement:

distance entre la surface de rupture et le terrain naturel (D).

On definit encore un autre element du glissement:

$D/L = \text{profondeur du glissement} / \text{longueur totale du glissement}$

IV - DIFFERENTES METHODES DE CALCUL

1- METHODES DES ELEMENTS FINIS

Cette methode permet de determiner:

- les efforts et les deformations au sein d'un massif quelconque.
- le developpement des zones a l'etat de rupture.
- le coefficient de securite moyen le long de la surface de rupture

$$F = \sum_i \frac{T_{\max i}}{T_i}$$

$T_{\max i}$, T_i etant respectivement la resistance au cisaillement et la contrainte de cisaillement le long de la surface de rupture dans l'element i .

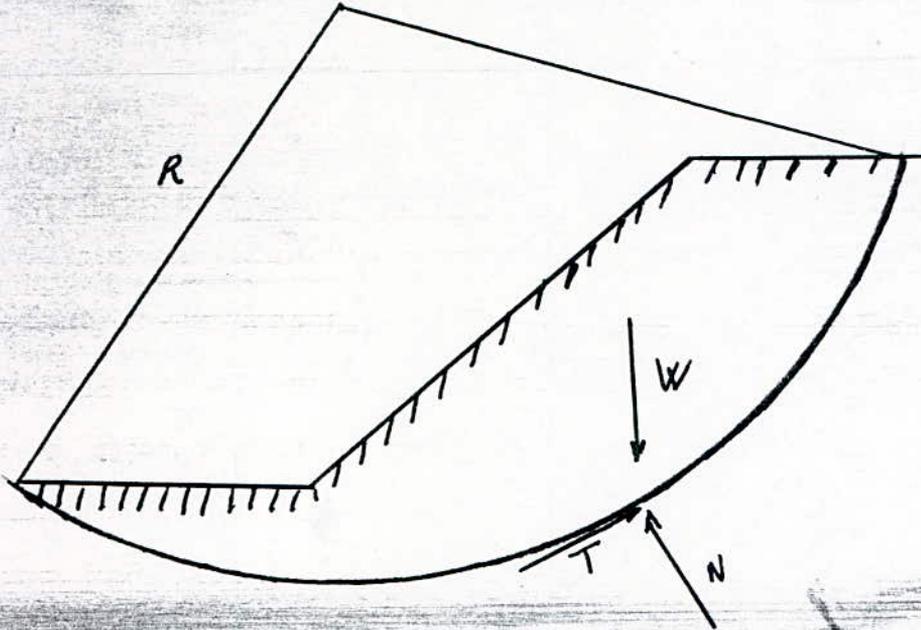
L'utilisation de cette methode necessite la succession des principales etapes suivantes:

- a) schematisation geometrique du cas a traiter.
- b) determination de l'etat initial.
- c) determination des conditions aux limites.
- d) determination de la loi de comportement des sols inclus dans l'ouvrage.
- e) schematisation mathematique de cette loi de comportement.
- f) calcul.

La difficulte de l'utilisation de cette methode reside essentiellement dans la determination des conditions aux limites.

2- METHODES DE CALCUL A LA RUPTURE

Ces methodes consistent a considerer l'ensemble des forces assurant l'equilibre d'un certain volume de sol delimite dans le talus considere par une ligne de rupture.



N,T etant respectivement les reactions du reste du talus qui tendent a retenir le volume de talus en glissement potentiel.

Avant d'aborder les differentes methodes a la rupture, definissons deux principaux themes que nous allons utiliser dans toute l'etude qui va suivre.

a) critere de rupture:

on utilise le critere de Coulomb qui s'ecrit:

$$\tau = c' + \sigma' \cdot \tan \varphi'$$

Dans lequel τ et σ' designent respectivement les contraintes tangentielles et normales sur une surface de rupture donnee. c' et φ' etant la cohesion et l'angle de frottement interne du sol au point considere.

b) coefficient de securite

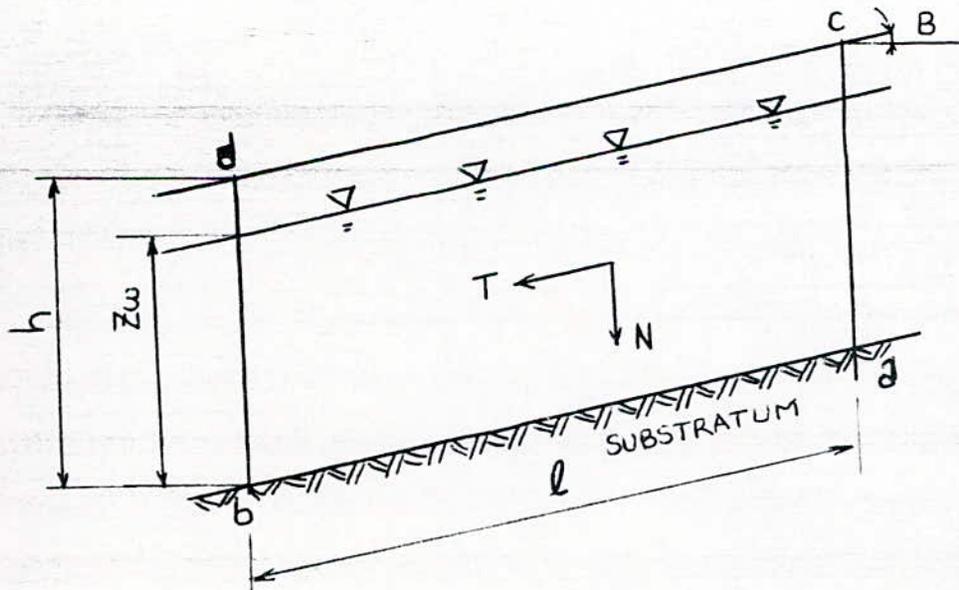
on definira le coefficient de securite comme etant le rapport de la resistance au cisaillement maximale que peut mobiliser le sol, sur la contrainte de cisaillement s'exerçant effectivement en ce point:

$$F = \frac{\tau_{\max}}{\tau}$$

Le talus est dit stable si la force de cisaillement τ reste inferieure a la resistance maximale que peut mobiliser le sol ($F_s > 1$). L'etat d'equilibre limite (rupture) est obtenu lorsque ($F_s = 1$).

Nous allons etudier separement le glissement plan, les methodes a la rupture circulaire, ensuite nous exposerons une des methodes les plus interessantes a notre jugement, a la rupture non circulaire, en l'occuren la methode de Janbu.

2-1 GLISSEMENT PLAN



$$l' = l \cdot \cos B$$

Considerons l'équilibre du tronçon abcd

$$W = \gamma \cdot h \cdot l'$$

(Le poids spécifique étant pris égal à " γ_{sat} ", ceci par prudence)

De ce fait l'action de W sur ab se décompose en:

$$N = \gamma \cdot h \cdot l' \cdot \cos B \quad \text{et} \quad T = \gamma \cdot h \cdot l' \cdot \sin B$$

D'où les contraintes:

$$\sigma = N/ab \quad \text{et} \quad \tau = T/ab$$

En remplaçant N et T par leur expressions, il vient:

$$\sigma = N/ab = N \cdot \cos B / l' = \gamma \cdot h \cdot \cos^2 B$$

$$\tau = T/ab = T \cdot \cos B / l' = \gamma \cdot h \cdot \cos B \cdot \sin B$$

$$\text{et} \quad U = \gamma_w \cdot Z_w \cdot \cos^2 B$$

D'où d'après le principe de Terzaghi:

$$\sigma' = \sigma - U$$

$$\tau' = \tau$$

L'expression finale de σ' est:

$$\sigma' = \gamma \cdot h \cdot \cos^2 B - \gamma_w \cdot Z_w \cdot \cos^2 B$$

Cas particuliers :

a) sols cohérents et frottants: calcul à long terme.

la résistance au cisaillement vaut :

$$\tau_f = c' + \sigma' \cdot \tan \varphi'$$

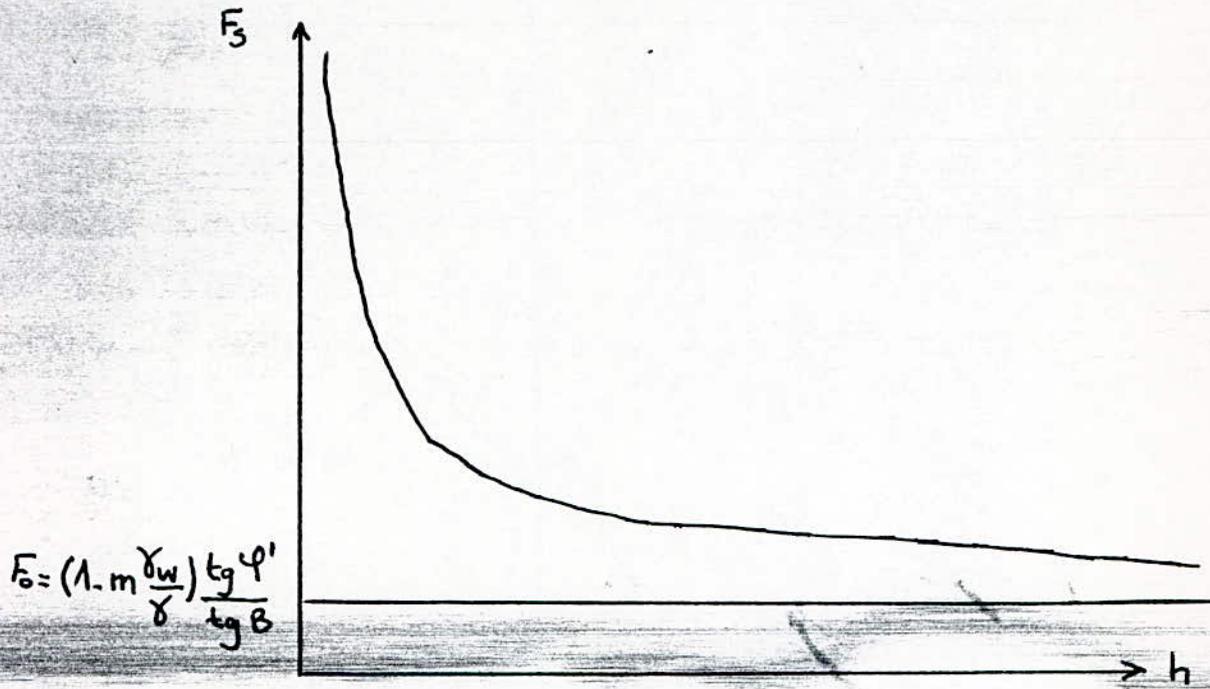
D'où le coefficient de sécurité :

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau} = \frac{c' + [\gamma \cdot h \cdot \cos^2 B - \gamma_w \cdot Z_w \cdot \cos^2 B] \cdot \tan \varphi'}{\gamma \cdot h \cdot \cos B \cdot \sin B}$$

Pour des terrains de memes caracteristiques, la variation du coefficient de securite avec la profondeur du plan de glissement nous donne la courbe suivante:

$$\text{En posant: } Z_w = m \cdot h \quad . \quad 0 \leq m \leq 1$$

Ou m est un coefficient de proportionnalite



La courbe presente une asymptote horizontale d'ordonnees :

$$F_0 = (1 - m \cdot \frac{\gamma_w}{\gamma}) \cdot \frac{\text{tg } \varphi'}{\text{tg } B}$$

Calcul de la hauteur critique:

cette hauteur est donnée par la relation (1) en faisant $F_s=1$:

$$\gamma \cdot hc \cdot \sin B \cdot \cos B = C' + [hc \cdot \gamma \cdot \cos^2 B - \gamma_w \cdot Z_w \cdot \cos^2 B] \cdot \tan \varphi'$$

Si on pose $Z_w = m \cdot hc$ on obtient :

$$\gamma \cdot hc \cdot \sin B \cdot \cos B = C' + [hc \cdot \gamma \cdot \cos^2 B - \gamma_w \cdot Z_w \cdot \cos^2 B] \cdot \tan \varphi'$$

$$\gamma \cdot hc \cdot \sin B \cdot \cos B = C' + hc \cdot \cos^2 B (\gamma - m \cdot \gamma_w) \cdot \tan \varphi'$$

$$hc = \frac{C'}{\gamma \cdot \sin B \cdot \cos B - \cos^2 B \cdot (\gamma - m \cdot \gamma_w) \cdot \tan \varphi'}$$

b) Cas de sol purement cohérent: $\varphi = \varphi' = 0$; $C = C'$

$$F_s = \frac{2C'}{\gamma \cdot h \cdot \sin^2 B} ; hc = \frac{2C'}{\gamma \cdot \sin^2 B}$$

Calcul à court terme : $\varphi = \varphi_u = 0$; $C = C_u$

$$F_s = \frac{\tau_f / \tau}{\tau} = \frac{C_u}{\gamma \cdot h \cdot \sin B \cdot \cos B} = \frac{2C_u}{\gamma \cdot h \cdot \sin^2 B}$$

$$hc = \frac{2C_u}{\gamma \cdot \sin^2 B} \quad (F_s = 1)$$

c) sols purement frottants: $C=0$

dans ce cas:

$$F_s = \frac{[\gamma \cdot h \cdot \cos^2 B - \gamma_w \cdot Z_w \cdot \cos^2 B] \cdot \tan \varphi'}{\gamma \cdot h \cdot \cos B \cdot \sin B}$$

En posant $Z_w = m \cdot h$, on obtient:

$$F_s = (1 - m \cdot \gamma_w / \gamma) \cdot \tan \varphi' / \tan B$$

Pour un versant sec on a $m=0$ donc

$$F_s = \tan \varphi' / \tan B$$

$$F_s = 1 \quad \text{implique} \quad B = \varphi'$$

Pour $m=1$

$$F_s = \tan \varphi' / 2 \tan B$$

~~Donc pour un versant complètement saturé F_s est réduit de moitié.~~

le cas critique est atteint quand :

$$F_s = 1 \quad \text{d'où} \quad B = \varphi' / 2$$

Remarque

=====

Dans le cas de sols grenus seule la stabilité à long terme est à prévoir.

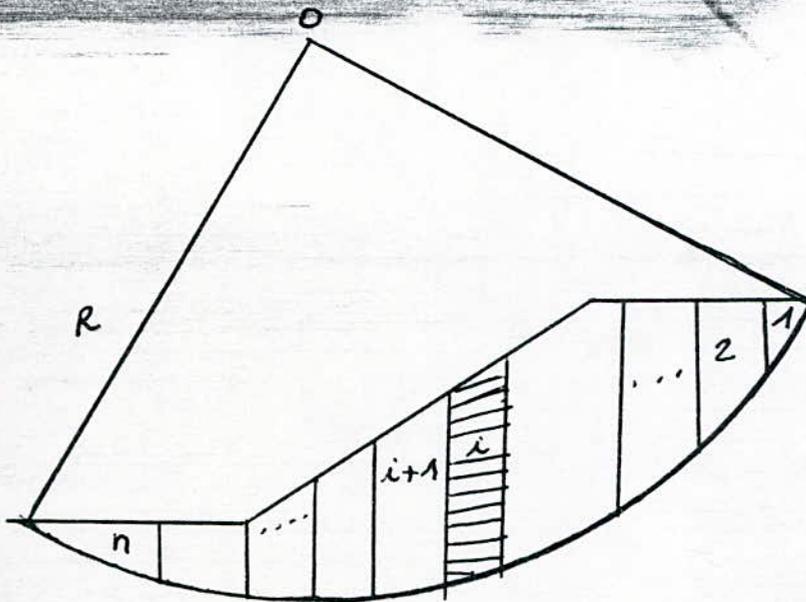
2-2 RUPTURE CIRCULAIRE - METHODE DES TRANCHES

La methode des tranches consiste à subdiviser la zone comprise entre la ligne de rupture et la surface libre du sol en plusieurs elements verticaux appelés tranches, et déterminer ensuite la composante normale (σ) de la contrainte agissant sur la facette du cercle de glissement en utilisant les equations de la statique, une hypothese complementaire et une hypothese concernant le coefficient de securite:

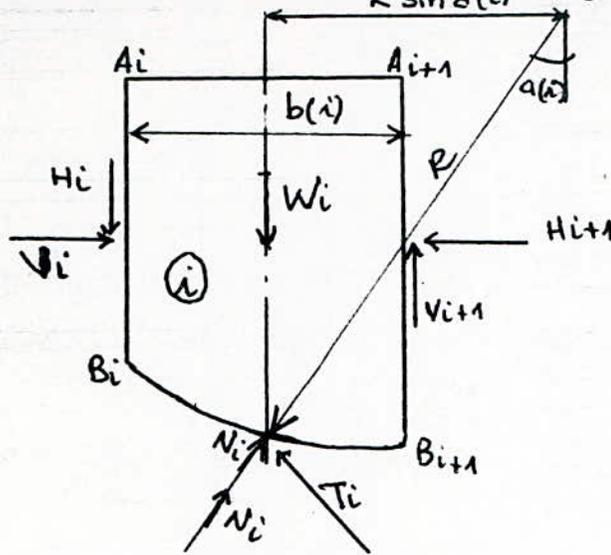
- On admettra que le coefficient de securite reste constant le long de la ligne de rupture ce qui revient à admettre que la contrainte de cisaillement est en tous point, une meme fraction de la resistance au cisaillement maximale admissible en ce point, ce qui n'est pas le cas dans les sols fortement heterogenes.

- On admettra une loi de variation comme hypothese complementaire qui permet de resoudre les equations de la statique. Cette hypothese, ainsi que la forme de la rupture distinguent les differentes methodes utilisees comme nous allons le constater.

Soit le talus ci dessous, decoupe en tranches:



Faisons ensuite le bilan des forces s'exerçant sur la tranche "i" comme indique dans le schéma suivant: $R \sin a(i)$



On posera dans ce qui va suivre :

$$\Delta H_i = H_i - H_{i+1}$$

$$\Delta V_i = V_i - V_{i+1}$$

On admettra en outre que les arcs sont petits (largeur de tranche infiniment petite).

- _ $a(i)$: l'angle de la normale @ l'arc avec la vertical
- _ $b(i)$: largeur de tranche "i", $b(i) = (B_i B_{i+1}) \cdot \cos a_i$
- _ W_i : le poids de cette tranche
- _ N_i et T_i etant respectivement les composantes normales et tangentielles de la reaction du sol sur la tranche "i".
- _ U_i : pression interstitielle due @ l'ecoulement de l'eau.
- _ $H_i, H_{i+1}, V_i, V_{i+1}$ etant respectivement les reactions des deux tranches adjacentes "i" et "i+1".
- _ $B_i B_{i+1}$: longueur de l'arc de la tranche.

Projetons ces forces une fois suivant le rayon et une autre suivant la tangente, nous obtenons les deux equations de la statique:

Projection des forces suivant le rayon

$$W_i \cdot \cos a(i) - U_i - N_i - \Delta H_i \cdot \sin a(i) + \Delta V_i \cdot \cos a(i) = 0 \dots\dots(1)$$

Projection des forces suivant la tangente

$$T_i - W_i \cdot \sin a(i) - \Delta H_i \cdot \cos a(i) - \Delta V_i \cdot \sin a(i) = 0 \dots\dots\dots(2)$$

Soit la contrainte effective de la couche de sol dans laquelle se trouve l'arc $\widehat{BiBi+1}$.

$$N_i = \sigma'_i \cdot (\widehat{BiBi+1}) = \sigma'_i \cdot b(i) / \cos a(i)$$

$$U_i = u_i \cdot (\widehat{BiBi+1}) = u_i \cdot b(i) / \cos a(i)$$

Pour tout point du cercle de rupture la composante tangentielle T_i peut s'ecrire:

$$T_i = \tau \cdot (\widehat{BiBi+1}) = (\tau_{rupture} / F_s) \cdot (b(i) / \cos a(i))$$

$$T_i = \frac{c' + \sigma'_i \cdot \tan \varphi'}{F_s} * b(i) / \cos a(i)$$

On rappelle que τ rupture est la contrainte tangentielle en chaque point de la ligne de rupture, elle est deduite du principe de Coulomb.

En injectant ces nouvelles expressions dans les equations (1) et (2) et apres arrangement on obtient:

$$(W_i + \Delta V_i) \cdot \cos a(i) - (\sigma'_i + U_i) \cdot b(i) / \cos a(i) - \Delta H_i \cdot \sin a(i) = 0 \dots\dots\dots(3)$$

$$(W_i + \Delta V_i) \cdot \sin a(i) - 1/F_s \cdot (c' + \sigma'_i \cdot \tan \varphi') \cdot b(i) / \cos a(i) + \Delta H_i \cdot \cos a(i) = 0$$

La troisieme equation de la statique s'obtient en prenant la somme des moments par rapport au centre du cercle o et ceci pour l'ensemble des tranches:

$$\text{Moment du au poids} = \sum_{i=1}^n W_i \cdot R \cdot \sin a(i)$$

Moment du la force intergranulaire :

$$\sum_{i=1}^n T_i \cdot R = \sum_{i=1}^n 1/F_s \cdot (C' + \sigma' \cdot \tan \varphi') \cdot b(i) \cdot R / \cos a(i)$$

Les autres moments sont nuls, soit donc :

$$\sum M/o=0 \Rightarrow \sum_{i=1}^n W_i \cdot R \cdot \sin a(i) = 1/F_s \sum_{i=1}^n [(C' + \sigma' \tan \varphi') b(i) / \cos a(i)] R$$

et

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^n (C' + \sigma' \tan \varphi') b(i) / \cos a(i)}{\sum_{i=1}^n W_i \sin a(i)} \dots (5)$$

Il est @ rappeler que C' et φ' etant respectivement la cohesion et l'angle de frottement interne de la couche de sol dans laquelle se trouve le milie de la base inferieure de la tranche consideree.

a) METHODE DE BISHOP

Il suffit d'annuler ΔH_i des equations (3) et (4), calculer σ'_i et introduire son expression dans l'equation (5). On obtient apres tout calcul fait :

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{C' b(i) + (W_i + \Delta V_i - U_i \cdot b(i)) \tan \varphi'}{(1 + \tan \varphi' \cdot \tan a(i)) / F_s} \cos a(i)}{\sum_{i=1}^n W_i \sin a(i)}$$

Cette methode est globale, tous les termes sont connus si l'on fait une hypothese complementaire sur ΔV_i et on procede ensuite par iterations successives .

Ces expressions ont ete publiees par Bishop, lui qui introduira d'ailleurs l'hypothese :

$$\Delta V_i = V_i - V_{i+1} = 0$$

En injectant cette derniere hypothese dans l'expression precedante donnant le coefficient de securite on obtient la formule simplifiee de Bishop ou F_s est determine par iterations successives, ceci en partant d'un coefficient de securite adequat, la convergence etant tres rapide en prenant le coefficient de securite de Fellenius que l'on verra dans (b).

Remarque

=====

La methode globale ne presente aucun interet pratique du fait des des incertitudes que presentent les caracteristiques mecaniques (C', ϕ')

b) Methode de Fellenius

Des le depart on se fixe l'hypothese suivante :

$$\Delta H_i = \Delta V_i = 0$$

De ce fait on se passera de l'equation (4), puisque σ' peut etre determinee directement de l'equation (3) et de la meme facon que precedement on l'injecte dans l'equation (5) ce qui nous donne apres tout calcul fait:

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^n [C'.b(i)/\cos a(i) + (W_i \cdot \cos a(i) - U_i \cdot b(i)/\cos a(i))] \tan \phi'}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot \sin a(i)}$$

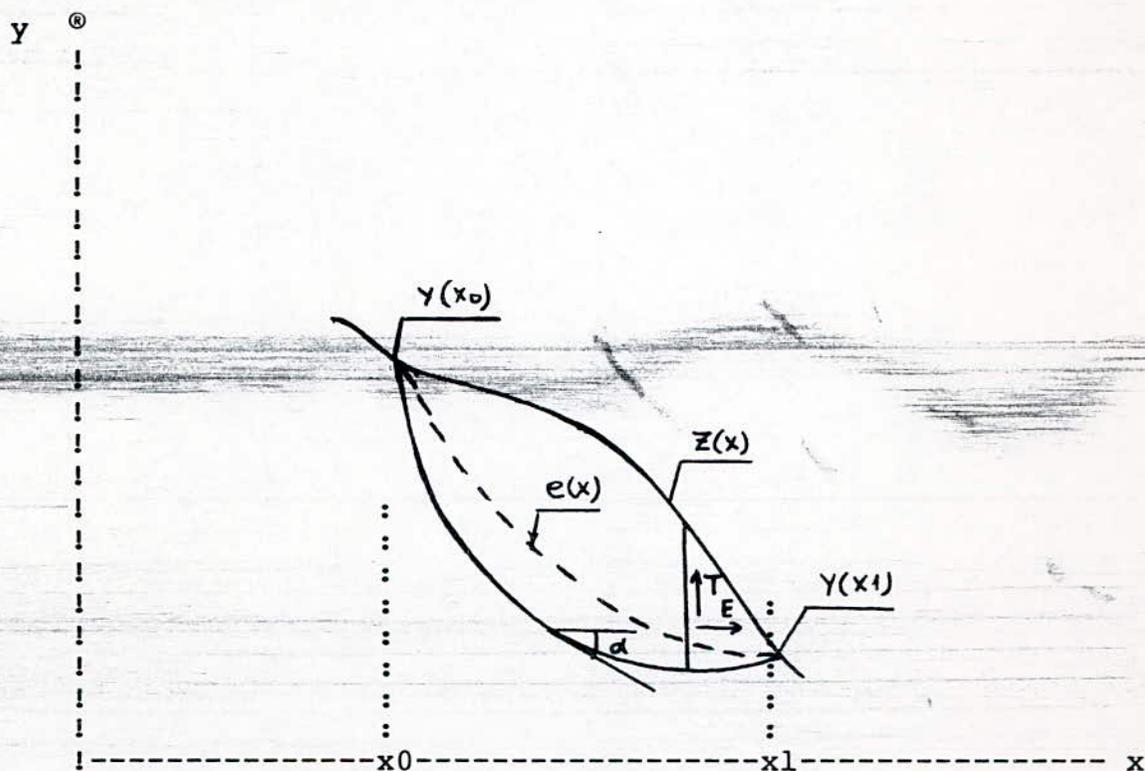
Remarque

Cette methode ne verifie qu'une seule equation de la statique, c'est peut etre l'une des raisons qui fait que l'on se mefie souvent de son utilisation, mais par contre dans un programme informatise comme on le verra par la suite, le calcul est souple et le probleme de divergence ne se pose pas.

3- RUPTURE NON CIRCULAIRE - METHODE DE JANBU

Après avoir exposé les méthodes de calcul à la rupture circulaire nous nous intéresserons dans ce chapitre à l'autre aspect de rupture souvent rencontré dans les sols fortement hétérogènes, caractérisé par une surface de glissement quelconque que nous appelons communément glissement non circulaire.

Nous nous passerons des équations directes de Bishop que nous avons déjà utilisées dans les chapitres précédents et nous nous aidons par contre du schéma de calcul suivant.



- Schema de calcul à la rupture -

Dans ce repere, la ligne de talus est $Z(x)$, la ligne de rupture potentielle est $Y(x)$ limitee aux abscisses x_0 et x_1 .

$$\text{soit : } Y(x_0) = Z(x_0) \quad \text{et } y(x_1) = z(x_1)$$

et quelque soit $x_0 < x < x_1$ on a $Y(x) < Z(x)$

$a(x)$ etant l'angle oriente dans le sens trigonometrique de la tangente a la ligne de rupture avec l'axe des x .

$$\text{On a : } \tan(a) = dy/dx$$

$S(x)$: l'abscisse curviligne comptee positivement de la gauche vers la droite, avec $S(x_0) = 0$ et $S = S(x_1) =$ longueur totale de la courbe de rupture. On a :

$$dx = \cos(a).dS$$

$$dy = \sin(a).dS$$

Si nous divisons le talus en deux parties limitees par la verticale d'abscisse x , l'action de la partie droite sur la partie gauche c'est a dire la force necessaire pour retenir la partie gauche si nous enlevons par esprit la partie droite, cette force se decompose en :

T: force verticale orientee vers le haut

E: force horizontale orientee vers la gauche

On supposera que cette force s'applique le long d'une courbe d'equation $e(x)$. On appellera donc :
 $e(x)$ l'ordonnee du point d'application de cette force au point d'abscisse x .

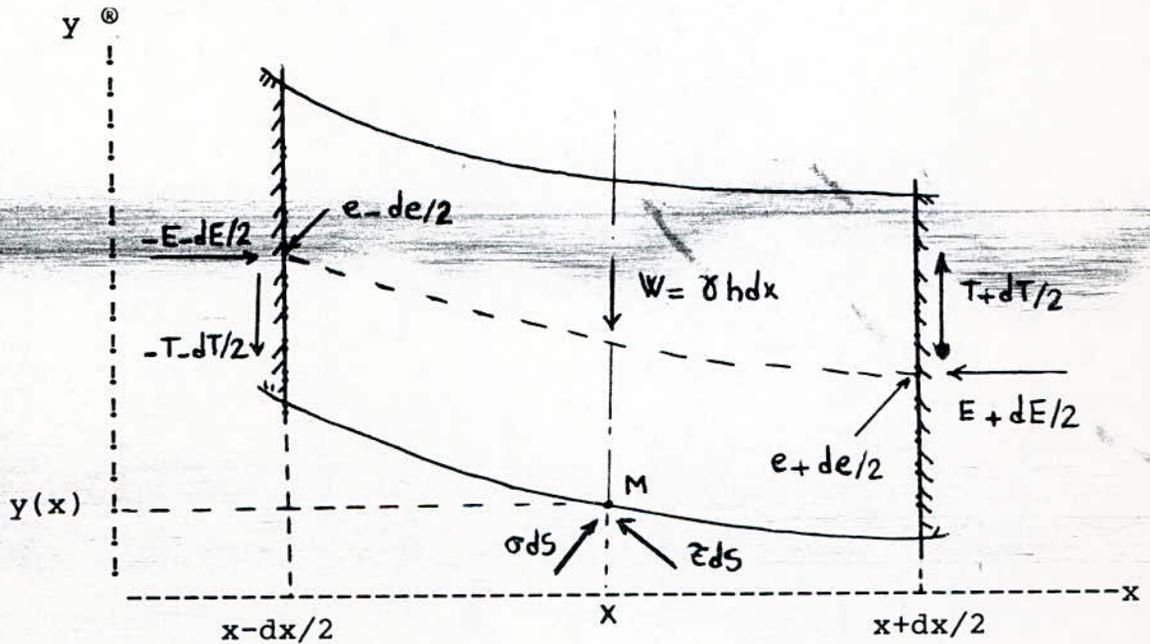
On doit avoir d'après le schéma précédent:

$$e(x_0) = y(x_0) \text{ et } e(x_1) = y(x_1)$$

Appelons $W(x)$ le poids du volume de talus compris entre les abscisses x_0 et x , avec $W(x_0) = 0$ et $W(x_1) = W$ poids de la masse en glissement potentiel.

Considerons ensuite l'équilibre d'une tranche élémentaire de talus comprise entre les abscisses $x-dx/2$ et $x+dx/2$ le poids de cette tranche est $dW = \gamma \cdot h \cdot dx$

γ : étant le poids spécifique de cette tranche .



- Efforts s'exercent sur une tranche élémentaire de sol-

Projection des forces sur les axes de references:

$$\text{sur Ox: } dE + \sigma \cdot \sin(a) \cdot dS - \xi \cdot \cos(a) \cdot dS = 0$$

$$\text{sur Oy: } dT + \sigma \cdot \cos(a) \cdot dS - \xi \cdot \sin(a) \cdot dS - \gamma \cdot h \cdot dx = 0$$

$$\text{avec : } h = z(x_1) - y(x_1) \quad \text{et} \quad dS = dx / \cos(a)$$

Ecrivons l'equation de toutes ces forces par rapport au point M de coordonnees x et y(x) en supposant que la contrainte est appliquee au milieu de la tranche ce qui est justifiable et raisonnable lorsque dx tend vers 0
L'equation des moments par rapport a 0 s'ecrit :

$$\begin{aligned} & 2 \cdot T \cdot dx/2 + 2 \cdot dT/2 \cdot dx/2 + E \cdot de + dE/2 \cdot [de + 2 \cdot (e + de/2 - y - dy/2)] \\ = & T \cdot dx + dT \cdot dx/2 + E \cdot de + dE \cdot (e + de - y - dy/2) \\ = & [T + dT/2 + E \cdot de/dx + dE/dx \cdot (e + de - y - dy/2)] \cdot dx \end{aligned}$$

avec dx tendant vers 0, cette equation peut s'ecrire

$$T + E \cdot de/dx + (e - y) \cdot dE/dx = 0 \dots\dots\dots(3)$$

Les conditions aux limites sont:

$$\begin{cases} e(x_0) = y(x_0) \\ E(x_0) = 0 \\ T(x_0) = 0 \end{cases} \dots\dots\dots(4)$$

Le coefficient de securite F_s est defini comme dans les paragraphes precedents et l'on ecrit que:

$$\begin{aligned} F_s &= \tau_{\max} / \tau \\ \tau &= (C' - U \cdot \tan \varphi') / F_s + \sigma \tan \varphi' / F_s \dots\dots(5) \end{aligned}$$

On remarquera que les equations (3) et (4) ne sont pas independantes puisque:

$$E(x_0) = E(x_1) = 0$$

et $e(x_0) = y(x_0)$, $e(x_1) = y(x_1)$ reportees dans (3)

impliquent $T(x_0)$ ou $T(x_1) = 0$

De ce fait la resolution des 3 equations de la statique necessite une hypothese complementaire de laquelle provient toujours la divergence des methodes .

Nous exposerons la methode de Janbu qui verifie l'ensemble des equations de la statique qui est son avantage essentiel.

Methode de Janbu

1- Hypotheses :

- a- les efforts normaux et tangentiels (σ, τ) sur la base d'une sont supposes appliques au milieu de la base de cette tranche.
- b- les efforts intertranches sont reductibles a un vecteur unique dont le point d'application est situe sensiblement au tiers inferieur de la tranche.
- c- on neglige le terme $(e-y).dE/dx$ dans l'equation(3).

2- Resolution theorique:

Revenons aux equations de la statique deja developpees :

$$dE + \sigma \sin(a).dS + Z.\cos(a).dS = 0 \dots\dots\dots (1)$$

$$dT + \sigma \cos(a).dS - Z.\sin(a).dS = \tau.h.dx = dW \dots\dots\dots (2)$$

$$T + E.de/dx + (e-y).dE/dx = 0 \dots\dots\dots (3)$$

En tenant compte de l'hypothese (c) l'equation (3) s'ecrit:

$$T + E. de/dx = 0 \dots\dots\dots (3')$$

Nous allons résoudre ces équations dans un cas bien précis et justifié par des résultats pratiques, c'est le cas où la ligne de rupture est confondue avec la ligne d'action.

Cas où la ligne d'action est confondue avec la courbe de rupture :

Les expériences étudiées par la méthode de Janbu et autres méthodes dérivées ont montré que la ligne d'action de (E + T) est très voisine de la ligne de rupture (au dessous du tiers inférieur de la tranche) , par hypothèse on a: $e(x) = y(x)$.

----- Développement théorique

$$T + E \cdot de/dx = 0 \quad \text{devient:} \quad T + E \cdot dy/dx = 0$$

En dérivant par rapport à Ox , on obtient:

$$dT/dx + dE/dx \cdot dy/dx + E \cdot d^2y/dx^2 = 0 \dots\dots\dots(6)$$

~~revenons aux équations précédentes de la statique:~~

$$\text{sur Ox : } dE + \sigma \cdot \sin(a) \cdot dS + \sigma \cdot \cos(a) \cdot dS = 0$$

$$\text{sur Oy : } dT + \sigma \cdot \cos(a) \cdot dS + \sigma \cdot \sin(a) \cdot dS = \gamma \cdot h \cdot dx$$

$$\text{soit : } dE/dx + \sigma \tan(a) + \mathcal{E} = 0$$

$$dT/dx + \sigma - \mathcal{E} \cdot \tan(a) = \gamma \cdot h$$

ou encore :

$$\text{ou encore : } \sigma = \cos^2(a) [\gamma \cdot h - dT/dx - \tan(a) \cdot dE/dx]$$

$$\mathcal{E} = \cos^2(a) [\tan(a) \cdot (dT/dx - \gamma \cdot h) - dE/dx]$$

Si l'on sait en plus que :

$$\varepsilon = \frac{C' - U \cdot \tan \varphi'}{F_s} + \sigma \cdot \tan \varphi' / F_s \dots (5)$$

Ces 2 dernières equations peuvent s'écrire:

$$A(x) \cdot dT/dx - B(x) \cdot dE/dx = (C' - U \cdot \tan \varphi') / F_s \cdot \cos^2(a) + A(x) \cdot \delta \cdot h \quad (7)$$

introduisons dans cette dernière relation (7) l'expression de dT/dx déduite de l'équation (6) sachant que $\tan(a) = dy/dx$.

$$dE/dx (B + A \cdot dy/dx) + A \cdot E \cdot y'' + (C' - U \cdot \tan \varphi') / F_s \cdot \cos(a) + A \cdot \delta \cdot h = 0$$

Soit:

$$dE/dx + (A \cdot y'' \cdot \cos^2 a) \cdot E + (C' - U \cdot \tan \varphi') / F_s + A \cdot \delta \cdot h \cdot \cos(a) = 0 \quad (8)$$

C'est une équation différentielle du 1^{er} ordre, pour la résolution on écrira :

$$(*) \quad dx = \cos(a) \cdot dS \quad \text{et} \quad (**) \quad dS = R \cdot da$$

avec R: rayon de courbure suppose constant pour une valeur de dS tendant vers 0

donc $dy/dx = \tan(a) = d/da[dy/dx] = da/\cos^2 a$

$$(*) \text{ et } (**) \text{ nous donnent: } da/dx = 1/R \cdot \cos(a)$$

$$d'où \quad d^2y/dax^2 = da/\cos^2 a$$

$$d^2y/dax^2 = 1/R \cos(a) \cdot 1/R \cos^2 a \cdot dx$$

$$\text{enfin} \quad d^2y/dx^2 = 1/R \cdot \cos^3 a$$

$$\text{ou encore} \quad \underline{\underline{1 = y'' \cdot \cos^3(a) \cdot R}}$$

l'equation (8) peut s'ecrire :

$$dE/dx + A.l/(\cos^3 a).E.\cos^2 a + (C'-U.\tan\varphi')/Fs + \delta.h.\cos^2 a = 0$$

$$dE/dS + A.E/R + \cos(a).[(C'-U.\tan\varphi')/Fs + A.\delta.h.\cos^2 a] = 0 \dots (9)$$

prenons $Z = E/\cos(a)$, l'equation $T+E.dy/dx=0$ entraine:

$$T = -E.\tan(a) = -E.\sin(a)/\cos(a) = -Z.\sin(a)$$

On sait que

$$\begin{cases} E = Z.\cos(a) \\ T = -Z.\sin(a) \end{cases} \quad \text{et} \quad Z^2 = E^2 + T^2$$

→→

[Z] etant le module de E+T. Z verifie l'equation (9).

Soit donc:

$$: \text{-----} : \\ : dz/dS + (\tan\varphi'/Fs).(Z/R) + (C' - U.\tan\varphi')/Fs + A.\delta.h.\cos(a) = 0 : \\ : \text{-----} :$$

La solution particuliere de cette equation [$Z(0)=0$] est:

$$Z(S) = -e^{-\int_{a_0}^a (\tan\varphi'/Fs).da} \cdot \int_0^S [(C'-U.\tan\varphi')/Fs + A.\delta.h.\cos^2 a] e^{\int_{a_0}^a (\tan\varphi')/Fs da} dS$$

$$Z(S)=0 \text{ entraine } [(C'-U.\tan\varphi')/Fs + A.\delta.h.\cos^2 a] \cdot e^{\int_{a_0}^a \tan\varphi' da / Fs}$$

Cette condition permet de tirer le coefficient de securite F_s

On determinera ensuite :

$$\begin{cases} E(s) = Z(s) \cdot \cos(a) \\ T(s) = -Z(s) \cdot \sin(a) \\ \sigma(s) = \cos^2(a) [h - dT/dx - \tan(a) \cdot dE/dx] \end{cases}$$

ou encore $\sigma(s) = \gamma h \cdot \cos^2(a) + E(s)/R \cos(a)$

Cas particulier : sol homogene, purement coherent $\tan \varphi' = 0$

$$F_s = \frac{C' \cdot S}{\int_0^S \gamma \cdot h \cdot \sin(a) \cdot dx}$$

La resolution des equations precedentes, compte tenu des hypotheses a, b, c donne :

$$F_s = \frac{\sum [C' + (P-t-U) \cdot \tan \varphi'] / n_a}{\sum -(P-t) \cdot \tan(a) \cdot dx}$$

$$\text{o#} \quad \begin{cases} n_a = \cos^2(a) \cdot (1 - \tan(a) \cdot \tan \varphi') / F_s \\ t = dT/dx \end{cases}$$

$P \cdot dx$: Poids des terres, de la tranche d'epaisseur dx

Resolution numerique :

Premiere etape :

On suppose que $t=0$ et $na=1$ en chaque point et on calcule un coefficient de securite :

$$F_{p0} = \frac{\sum [C' + (P-U) \cdot \tan \varphi'] dx}{-P \cdot \tan(a) \cdot dx}$$

Deuxieme etape :

En introduisant F_{p0} dans l'equation (*) on calcule F_0 :

$$F_0 = \frac{\sum [C' + (P-U) \cdot \tan \varphi'] dx / na(F_{p0})}{\sum -P \cdot \tan(a) \cdot dx}$$

Troisieme etape :

Avec le coefficient F_0 on calcule a partir des equations de la statique toutes les forces intertranches , et on deduit :

$$F_1 = \frac{\sum [C' + (P-t-U) \cdot \tan \varphi'] dx / na(F_0)}{\sum -(P-t) \cdot \tan(a) \cdot dx}$$

Avec F_1 , on recalcule toutes les forces intertranches, et ensuite on tire F_2 de la meme maniere, puis F_3 jusqu'a convergence.

DEUXIEME - PARTIE

I. NECESSITE D' UN PROGRAMME DE CALCUL

II. OBJET DU PROGRAMME

III. MODELISATION DU PROGRAMME.

V. VARIATION DE F_s EN FONCTION DE N

VI. COMPARAISON DES 2 METHODES (BISHOP/FELLENIOUS)

I. NECESSITE D'UN PROGRAMME DE CALCUL

Le calcul manuel du coefficient de securite par les methodes de Fellenius et Bishop est un travail laborieux qui n'est pas toujours concluant .

Pour se faire une conclusion de la stabilite d'un talus donne il est necessaire de rechercher le coefficient de securite minimum et proceder comme suit :

1- choisir un quadrillage dans lequel on peut situer le coefficient de securite minimum . Ce choix peut etre arbitraire ou choisi suivant le principe de poussee et butee.

2- pour chaque centre du quadrillage choisi, on calcule les coefficients de securite en faisant varier le rayon du cercle de glissement avec un pas adequat jusqu'a penetrer le substratum.

3- trier parmi ces coefficients de securite le minimum, et l'affecter au centre correspondant. Pour une bonne visualisation, la representation graphique des resultats s'avere tres necessaire.

4- parcourir le quadrillage en abscisse comme en ordonnee et noter tous les coefficients de securite minimums .

5- rechercher ensuite le minimum des minimums et s'assurer qu'il est unique. Dans le cas contraire le quadrillage initial n'est pas suffisant, il convient de le completer par un deuxieme et un troisieme en cas de necessite.

Ces etapes de calcul ne laissent pas le choix entre un calcul manuel et un calcul automatique, que ce soit du point de vue temps d'execution ou exactitude, puisqu'il est a noter aussi l'interet du choix du nombre de tranches, du pas du rayon, ainsi que le pas du quadrillage. Tous ces facteurs sont choisis compte tenue de l'ampleur du glissement.

II. OBJET DU PROGRAMME

Pour etudier la stabilite du talus propose par la S.N.T.F, nous avons donc opte pour l'utilisation d'un programme de calcul . Faute de disponibilite de ce genre de programme, une fois encore nous avons opte pour l'elaboration d'un programme de calcul de stabilitee a la rupture circulaire en utilisant deux methodes de calcul en l'occurrence Bishop et Fellenius.

L'utilisation de deux methodes differentes permet de comparer les resultats obtenus et par la meme occasion les justifier.

Ce programme peut etre utilise pour recalculer le nouveau coefficient de securite une fois l'une des solutions suivantes est proposee :

- 1- variation de la pente du talus .
- 2- decapage avec substitution de couches par des materiaux ayant des caracteristiques geotechniques adequates.
- 3- introduction de masque drainant.
- 4- rabattement de la nappe phreatique.

Le programme a ete effectue en langage "BASIC" a l'aide d'un micro- ordinateur de type "OLIVETTI" du Laboratoire des Travaux Publics du Centre (L.T.P.C).

III. MODELISATION DU PROGRAMME

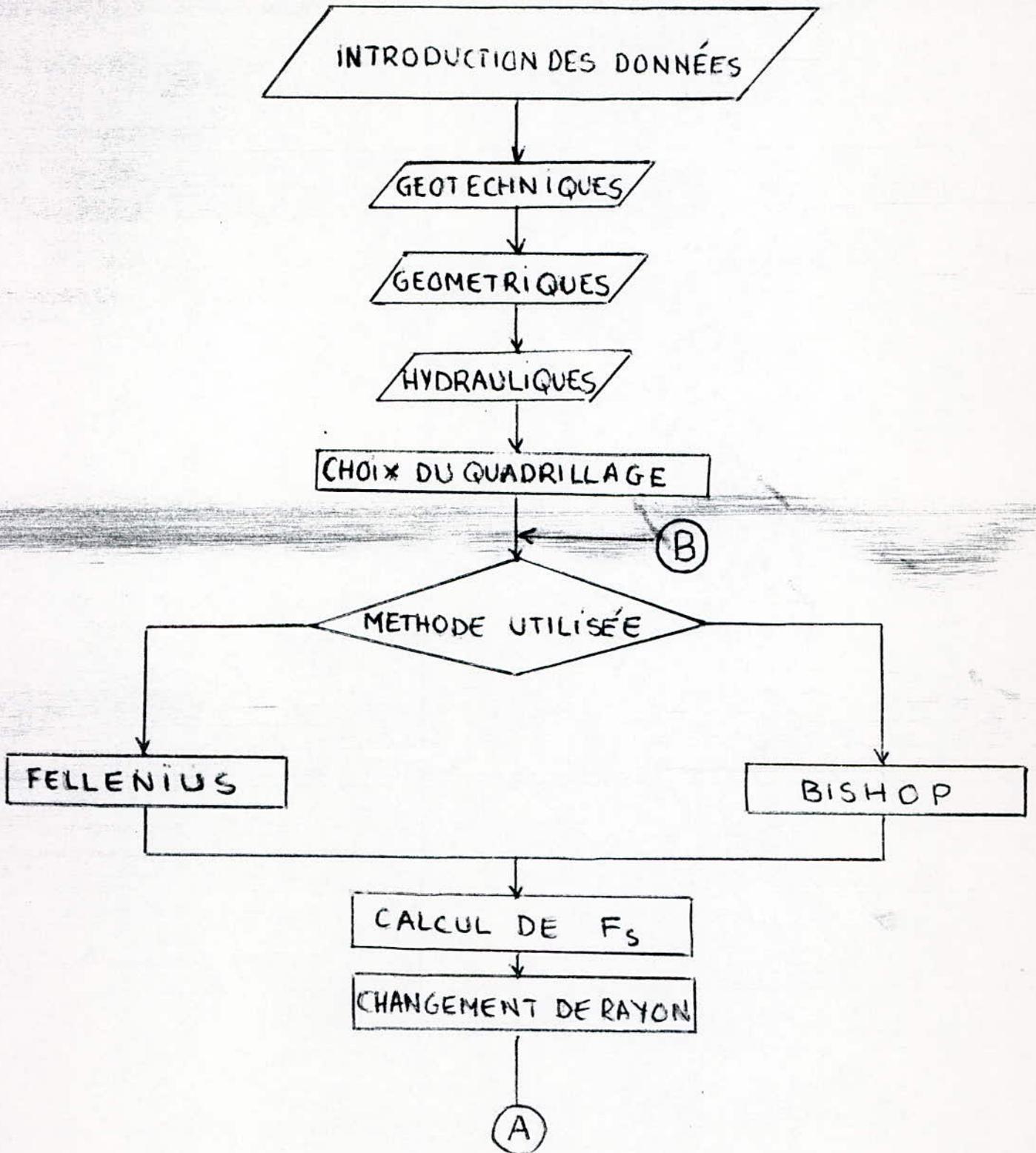
- 1- le systeme d'axe etant lie a la crete du talus .
- 2- le talus sera introduit par l'intermediaire de:
 - a) l'angle de talus naturel.
 - b) les coordonnees de chaque point anguleux .
- 3- les couches sont caracterisees par:
 - a) les pondages des differentes interfaces.
 - b) la profondeur de chaque interface.
 - c) caracteristiques geotechniques de chaque couche .
- 4- la nappe phreatique sera introduite par l'intermediaire des points piezometriques.

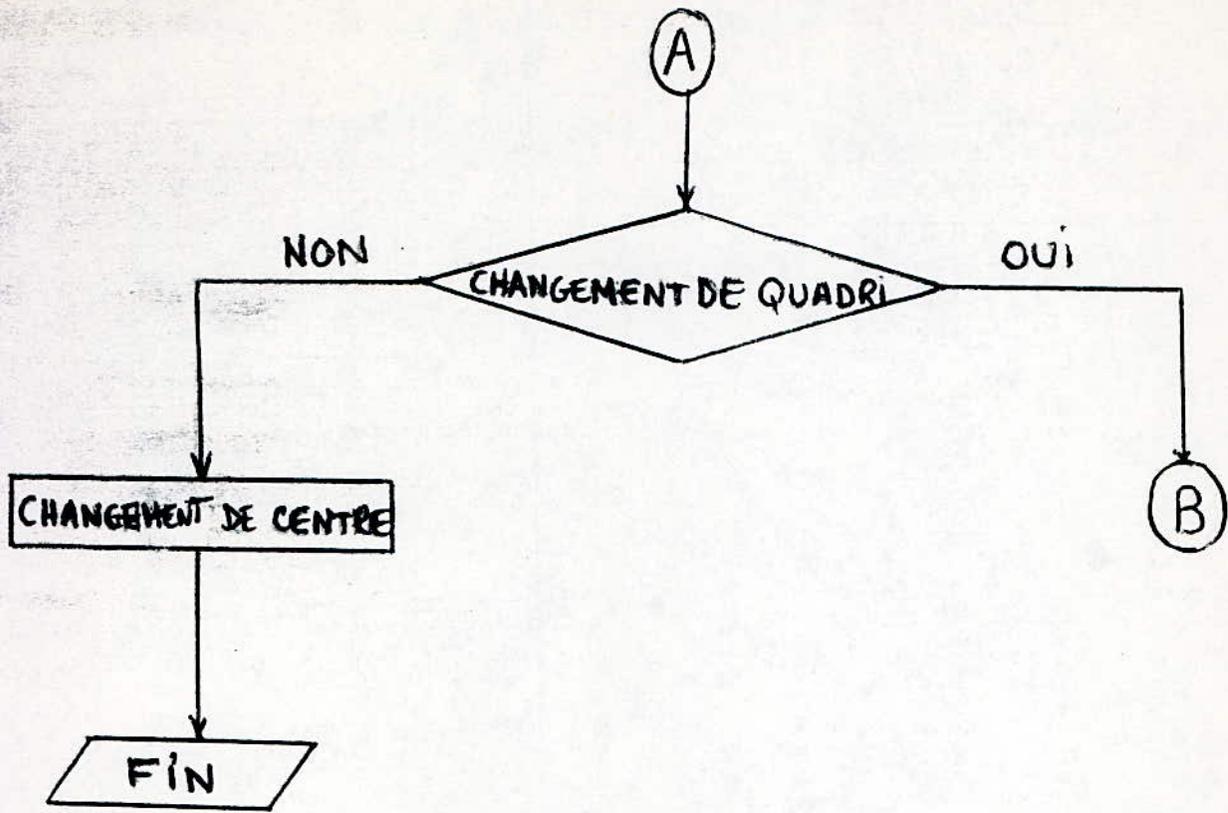
IV. PARTIES PRINCIPALES DU PROGRAMME

Pour un centre et un rayon donne, les parties principales du programme sont resumees ci-dessous :

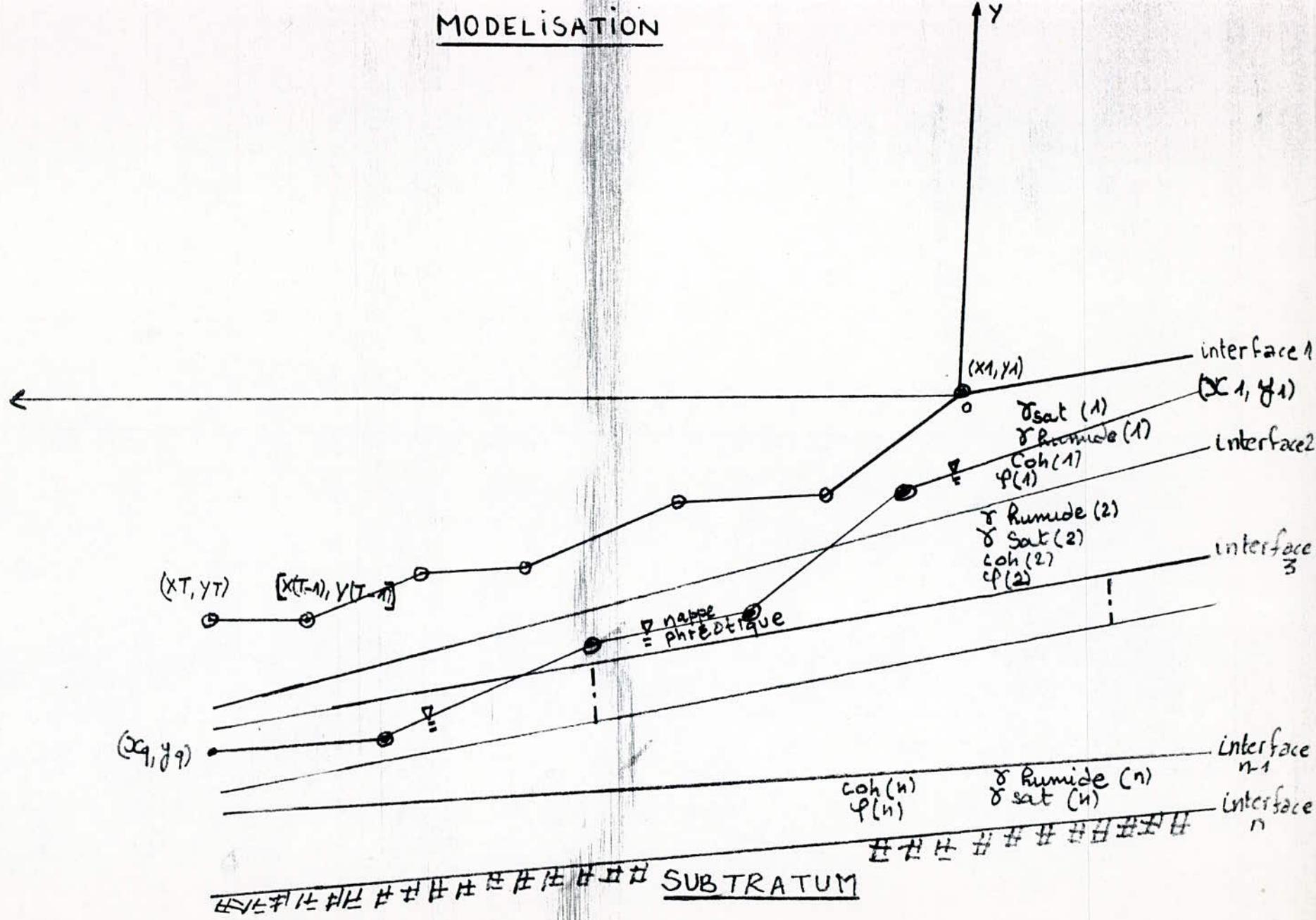
- 1- delimitation du plan de glissement .
- 2- calcul iteratif des tranches en determinant pour chaque tranche:
 - a) la position par rapport au centre du systeme d'axe.
 - b) les caracteristiques geotechniques intrinseques.
 - c) la pression hydraulique.
- 3- calcul du coefficient de securite selon la methode choisie initialement.

ORGANIGRAMME





MODELISATION



V- VARIATION DE Fs EN FONCTION DE N

Ce programme nous a permis d'etudier la variation du coefficient de securite en fonction du nombre de tranches (N). on s'est apercue que pour une ampleur donnee d'un glissement le coefficient de securite minimum est obtenue pour un nombre de tranche adequat. on a pris un cas pratique represente ci contre, et nous avons calcule le coefficient de securite pour differentes tranches. les resultats obtenus sont representes graphiquement (voir figure).

Ce qui se reduit en definitive au tableau suivant:

N	5	10	15	20	25	30	40	60	80	100	300
Fs	1.18	1.22	1.22	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.24	1.24

Le coefficient de securite minimum est obtenu d's que N atteint 100, les courbes d'isofacteurs se referment autour de $F_s = 1.24$ (voir les courbes d'isofacteur).

Conclusion :

 : Pour obtenir le coefficient de securite minimum, on doit varier le :
 : nombre de tranches jusqu'a ce que les courbes isofacteurs se :
 : ref²rmement. Le quadrillage initial est pris arbitrairement, il :
 : sera modifie o# non, selon les resultats obtenus (ce changement :
 : est prevu dans le programme). :

VI-. COMPARAISON DES 2 METHODES (FELLENIUS / BISHOP)

Pour ce faire, nous allons prendre 1 cas pratique represente par le talus ci-contre, et etudier la stabilite en utilisant les deux methodes cites ci-dessus.

Les resultats obtenus sont representes graphiquement . Ce cas a ete traite manuellement au L.T.P.C, pour un rayon donne et pour un nombre de tranche egale a 8.Nous allons donc comparer en parall^{le} les resultats obtenus par le calcul automatique avec ceux du L.C.P.C.

Les resultats definitives sont tabules ci-dessous:

		BISHOP		FELLENIUS	
Methode	:				
utilisee	:				
Mode	:				
de calcul	:	MANU.	AUTO.	MANU.	AUTO.
Fs	:	1.42	1.39	1.37	1.34

Conclusion

: Nous remarquons que les resultats obtenus par un calcul manuelle sont :
 : proches de ceux calcules par ordinateur (3%) d'une part,d' autre :
 : part les resultats obtenus par la methode de Fellenius sont :
 : securitaires avec une difference de 5% par rapport a ceux calcules :
 : par la methode de Bishop. :

PROGRAMME DE CALCUL A LA RUPTURE CIRCULAIRE

```

10 CLS:KEY OFF
20 REM"CALCUL DU COEFFICIENT DE SECURITE PAR LA METHODE DE BISHOP/FELLENIUS"
30 REM"ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUES / L.T.P.C :JANVIER 1986"
40 '
50 REM"          ENTREE DES DONNEES"
60 PRINT :PRINT
70 PRINT :PRINT"          CE PROGRAMME EST REALISE PAR LES DEUX ELEVES INGENIEURS
:"
80 PRINT "          TAFLIS Said "
90 PRINT "          HEDIR Ahcene "
100 PRINT :PRINT "          IL PERMET LE CALCUL DU COEFFICIENT DE SECURITE : Fs"
110 PRINT :PRINT "          EN UTILISANT DEUX METHODES DE CALCUL : "
120 PRINT "          BISHOP ET FELLENIUS "
130 PRINT :PRINT:PRINT "          TAPPEZ UN CARACTERE POUR COMMENCER "
140 IF INKEY$="" THEN 140
150 CLS
160 PRINT "METHODE:BISHOP/FELLENIUS"
170 PRINT "B OU F";:INPUT A$
180 PRINT "AVEC NAPPE (OUI/NON)";:INPUT B$
190 IF B$="OUI" THEN PRINT "POINTS ANGULEUX DE LA NAPPE":PRINT "NOMBRE DE POINTS
";:INPUT NN:FOR Q=1 TO NN :INPUT XNA(Q),YNA(Q):NEXT Q:GOTO 200
200 IF B$="OUI" THEN FOR Q=1 TO NN-1:BMA(Q+1)=ATN((ABS(YNA(Q+1)-YNA(Q)))/(ABS(XN
A(Q+1)-XNA(Q)))):NEXT Q:PRINT "GAW=";:INPUT GAW
210 PRINT "ANGLE DE TALUS NATUREL":INPUT BTA(1):BMA(1)=BTA(1)
220 PRINT "POINTS ANGULEUX DU TALUS"
230 PRINT "NOMBRE DE POINTS";:INPUT NT
240 FOR T=1 TO NT:INPUT XTA(T),YTA(T):NEXT T
250 FOR T=2 TO NT:BTA(T)=ATN((ABS(YTA(T)-YTA(T-1)))/(ABS(XTA(T)-XTA(T-1)))):NEXT
T
260 PRINT "CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES ET GEOTECHNIQUES DES COUCHES"
270 PRINT "NOMBRES DE COUCHES";:INPUT NC
280 DIM YC(NC+1)
290 FOR J=1 TO NC
300 PRINT "BC(";J;")=";:INPUT BC(J) :NEXT J
310 FOR J=1 TO NC-1:PRINT "HC(";J;")=";:INPUT HC(J+1):NEXT J
320 FOR J=1 TO NC-1
330 PRINT "GAMMA HUMIDE(";J;")" TAB(20) "GAMMA SAT(";J;")" TAB(40) "COH(";J;")"
TAB(60) "PHI(";J;")":INPUT GAH(J),GAS(J),COH(J),PHI(J):NEXT J
340 PRINT "VOULEZ-VOUS INTRODUIRE UN MASQUE DRAINANT":PRINT "AVEC LES MEMES DONN
EES(OUI/NON)";:INPUT C$
350 IF C$="NON" THEN GOTO 410
360 PRINT "POINTS ANGULEUX DU MASQUE":PRINT "NOMBRE DE POINTS";:INPUT NM
370 PRINT " GAMMA MASQUE";:INPUT GAMM
380 FOR S=1 TO NM:INPUT XMA(S),YMA(S):NEXT S
390 FOR S=2 TO NM:BMA(S)=ATN((ABS(YMA(S)-YMA(S-1)))/(ABS(XMA(S)-XMA(S-1)))):PRI
NT "BMA(S)=";BMA(S):NEXT S
400 BMA(1)=BTA(1)
410 PRINT "OX INITIALE " TAB(20) "OX FINALE " TAB(40) "POX "
420 INPUT OXI,OXF,POX
430 PRINT "OY INITIALE " TAB(20) "OY FINALE " TAB(40) "POY "
440 INPUT OYI,OYF,POY

```

```

450 PRINT "PAS DU RAYON";:INPUT PR
460 PRINT "NOMBRE DE TRANCHES=";:INPUT N
470 OY=OYI
480 OX=OXI
490 PRINT " OX" TAB(10) " OY" TAB(20) " RAYON" TAB(35) "MOMENT" TAB(60) " Fs"
500 DIM R(100),XD(100),XG(100),BTR(100)
510 DIM F5F(100),F5B(100)
520 AM=1+(TAN(BC(NC)))^2:BM=(-HC(NC)-OY)*TAN(BC(NC))+OX:RMAX=SQR((-HC(NC)-OY)^2+
OX^2-BM^2/AM)
530 AMN=1+(TAN(BC(1)))^2:BMN=(-HC(1)-OY)*TAN(BC(1))+OX
540 RMIN=SQR((-HC(1)-OY)^2+OX^2-BMN^2/AMN)
550 M=1:R(M)=RMIN+PR
560 '
570 REM"          DELIMITATION DU PLAN DE GLISSEMENT"
580 '
590 IF C$="NON" THEN NV=NT:GOTO 620
600 NV=NM
610 FOR V=1 TO NV:S=V:BVA(V)=BMA(S):XVA(V)=XMA(S):YVA(V)=YMA(S):NEXT V:GOTO 630
620 FOR V=1 TO NV:T=V:BVA(V)=BTA(T):XVA(V)=XTA(T):YVA(V)=YTA(T):NEXT V
630 FOR V=1 TO NV:A(V)=1+(TAN(BVA(V)))^2
640 B(V)=(YVA(V)+XVA(V)*TAN(BVA(V))-OY)*TAN(BVA(V))+OX
650 C(V)=(YVA(V)+XVA(V)*TAN(BVA(V))-OY)^2+OX^2-R(M)^2
660 DELTA(V)=B(V)^2-A(V)*C(V)
670 IF DELTA(V)=0 THEN GOTO 750
680 SOL1(V)=(B(V)-SQR(DELTA(V)))/A(V):SOL2(V)=(B(V)+SQR(DELTA(V)))/A(V)
690 IF SOL1(V)>SOL2(V) THEN MIN=SOL2(V):GOTO 710
700 MIN=SOL1(V)
710 IF V=1 THEN GOTO 740
720 IF (MIN<XVA(V))*MIN=XVA(V-1) THEN GOTO 770
730 GOTO 750
740 IF MIN<XVA(1) THEN GOTO 770
750 NEXT V
760 GOTO 1650
770 XD(M)=MIN:U=V:BVA(U)=BVA(V):XVA(U)=XVA(V):YVA(U)=YVA(V):A(U)=1+(TAN(BVA(U)))
^2:B(U)=(YVA(U)+XVA(U)*TAN(BVA(U))-OY)*TAN(BVA(U))+OX:SOL3(U)=2*B(U)/A(U)-XD(M)
780 IF SOL3(U)<XVA(U) THEN XG(M)=SOL3(U):GOTO 900
790 FOR L=U+1 TO NV:V=L:XVA(L)=XVA(V):YVA(L)=YVA(V):BVA(L)=BVA(V):NEXT L
800 L=U+1
810 A2(L)=1+(TAN(BVA(L)))^2:B2(L)=(YVA(L)+XVA(L)*TAN(BVA(L))-OY)*TAN(BVA(L))+OX:
C2(L)=(YVA(L)+XVA(L)*TAN(BVA(L))-OY)^2+OX^2-R(M)^2
820 DEL2(L)=(B2(L))^2-A2(L)*C2(L)
830 IF DEL2(L)=0 THEN GOTO 880
840 S01(L)=(B2(L)-SQR(DEL2(L)))/A2(L):S02(L)=(B2(L)+SQR(DEL2(L)))/A2(L)
850 IF S02(L)=S01(L) THEN MAX=S02(L):GOTO 870
860 MAX=S01(L)
870 IF MAX<XVA(L) THEN XG(M)=MAX:GOTO 900
880 L=L+1
890 IF L<=NV THEN GOTO 810
900 BTR(M)=(XG(M)-XD(M))/N
910 DIM CO(N),PH(N),X(N),SINAL(N),COSAL(N),YB(N),YH(N),ZW(N)
920 DIM V1(N),V2(N),V3(N),W1(N),W2(N),W3(N),W4(N),W5(N),W6(N)
930 DIM S1(N+1),S2(N+1),S3(N+1),S4(N+1),S7(N+1)
940 DIM YM(N),YN(N),W(N)
950 I=0:S1(I)=0:S2(I)=0:S3(I)=0:S4(I)=0:S7(I)=0

```

```

960 I=1:X(I)=XG(M)-BTR(M)/2
970 '
980 REM"          CALCUL DU POIDS DE CHAQUE TRANCHE"
990 '
1000 SINAI=(OX-X(I))/R(M):COSAI(I)=SQR(1-(SINAI(I))^2):YB(I)=-R(M)*COSAI(I)+O
Y
1010 IF X(I)(<=XTA(1) THEN YH(I)=-X(I)*TAN(BTA(1))+YTA(1):GOTO 1040
1020 FOR T=1 TO NT-1:IF X(I)(<=XTA(T+1))*X(I)=XTA(T) THEN YH(I)=-X(I)-XTA(T+1
)))*TAN(BTA(T+1))+YTA(T+1):GOTO 1040
1030 NEXT T
1040 FOR J=1 TO NC:YC(J)=-X(I)*TAN(BC(J))-HC(J):NEXT J
1050 FOR J=1 TO NC-1:IF (YB(I))=YC(J+1))*YB(I)=YC(J) THEN CO(I)=COH(J):PH(I)=
PHI(J):V1(I)=J:YC(V1(I))=YC(J):GOTO 1070
1060 NEXT J
1070 FOR J=1 TO NC-1:IF (YH(I)(<=YC(J))*YH(I)=YC(J+1) THEN V3(I)=J:YC(V3(I))=YC
(J):GOTO 1090
1080 NEXT J
1090 IF B$="NON" THEN GOTO 1380
1100 FOR Q=1 TO NN-1:IF (X(I)(<=XNA(Q+1))*X(I)=XNA(Q) THEN YN(I)=-X(I)-XNA(Q+
1))*TAN(BNA(Q+1))+YNA(Q+1):GOTO 1120
1110 NEXT Q
1120 IF YN(I)=YH(I) THEN YN(I)=YH(I):V2(I)=V3(I):GOTO 1150
1130 FOR J=1 TO NC-1:IF (YN(I)(<=YC(J))*YN(I)=YC(J+1) THEN V2(I)=J:YC(V2(I))=Y
C(J):GOTO 1150
1140 NEXT J
1150 IF YB(I)=YN(I) THEN GOTO 1380
1160 IF V1(I)=V2(I) THEN GOTO 1180
1170 W1(I)=(YC(V1(I))-YB(I))*GAS(V1(I)):W3(I)=(YN(I)-YC(V2(I)+1))*GAS(V2(I)):GOT
O 1210
1180 IF V2(I)=V3(I) THEN YC(V1(I))=YH(I):GOTO 1190
1190 IF YH(I)=YN(I) THEN W(I)=(YH(I)-YB(I))*GAS(V1(I)):ZW(I)=YN(I)-YB(I):GOTO
1440
1200 W1(I)=(YC(V1(I))-YN(I))*GAH(V1(I)):GAP(V1(I))=GAS(V1(I)):W3(I)=(YN(I)-YB(I
))*GAP(V1(I))
1210 W(I)=W1(I)+W3(I)
1220 IF (V2(I)+1)>(V1(I)-1) THEN GOTO 1260
1230 J=V2(I):ZJ(J)=0:FOR J=(V2(I)+1) TO (V1(I)-1):ZJ(J)=ZJ(J-1)+(YC(J)-YC(J+1))*
GAS(J):NEXT J
1240 W2(I)=ZJ(V1(I)-1)
1250 W(I)=W(I)+W2(I)
1260 IF YH(I)=YN(I) THEN GOTO 1330
1270 IF V1(I)=V2(I) THEN GOTO 1300
1280 IF V2(I)=V3(I) THEN W4(I)=(YH(I)-YN(I))*GAH(V3(I)):GOTO 1320
1290 W4(I)=(YH(I)-YC(V3(I)+1))*GAH(V3(I))+YC(V2(I))-YN(I))*GAH(V2(I)):GOTO 1320
1300 IF V3(I)=V2(I) THEN W4(I)=0:GOTO 1320
1310 W4(I)=(YH(I)-YC(V3(I)+1))*GAH(V3(I))
1320 W(I)=W(I)+W4(I)
1330 IF (V3(I)+1)=V2(I) THEN GOTO 1370
1340 J=V3(I):Z(J)=0:FOR J=(V3(I)+1) TO (V2(I)-1):Z(J)=Z(J-1)+(YC(J)-YC(J+1))*GAH
(J):NEXT J
1350 W5(I)=Z(V2(I)-1)
1360 W(I)=W(I)+W5(I)
1370 ZW(I)=YN(I)-YB(I):GOTO 1440
1380 IF V1(I)=V3(I) THEN W(I)=(YH(I)-YB(I))*GAH(V3(I)):ZW(I)=0:GOTO 1440

```

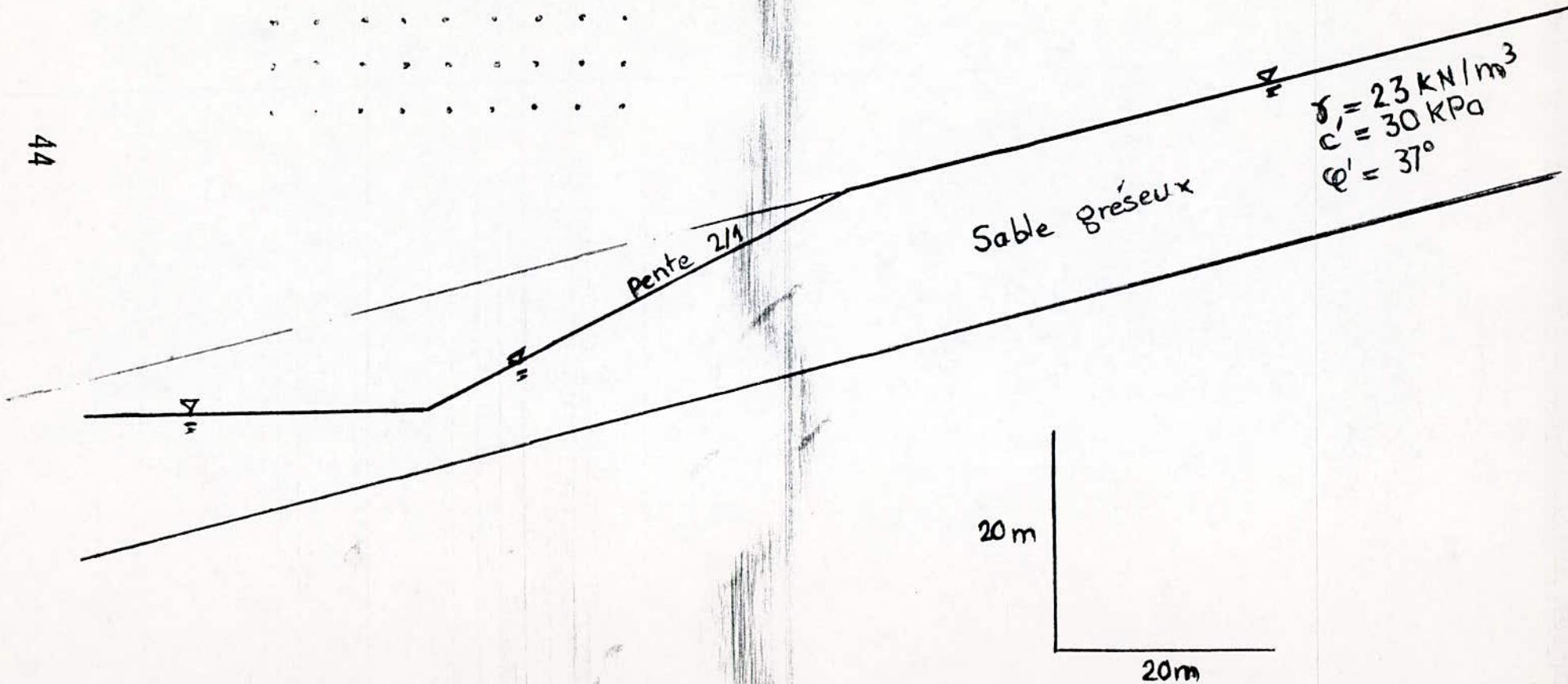
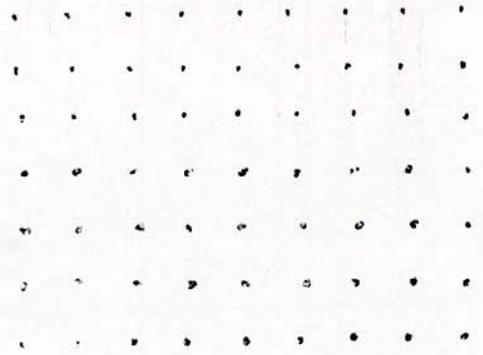
```

1390 W1(I)=(YC(V1(I))-YB(I))*GAH(V1(I));W4(I)=(YH(I)-YC(V3(I)+1))*GAH(V3(I))
1400 IF (V3(I)+1)=V1(I) THEN W3(I)=0:GOTO 1430
1410 J=V3(I):ZI(J)=0:FOR J=(V3(I)+1) TO (V1(I)-1)
1420 ZI(J)=ZI(J-1)+(YC(J)-YC(J+1))*GAH(J):NEXT J:W3(I)=ZI(V1(I)-1)
1430 W(I)=W1(I)+W3(I)+W4(I):ZW(I)=0
1440 IF C$="NON" THEN GOTO 1500
1450 IF X(I)(<=XMA(1) THEN YH(I)=-X(I)*TAN(BHA(1))+YMA(1):GOTO 1480
1460 FOR S=2 TO NM-1:IF (X(I)(<=XMA(S+1))*X(I)=XMA(S)) THEN YH(I)=-X(I)-XMA(S+
1))*TAN(BHA(S+1))+YMA(S+1):GOTO 1480
1470 NEXT S
1480 W6(I)=(YH(I)-YH(I))*GAMM
1490 W(I)=W(I)+W6(I)
1500 IF (YB(I)(<=YM(I))*YB(I)=YH(I)) THEN GOTO 1630
1510 S1(I)=S1(I-1)+(CO(I)*BTR(M))/COSAL(I):S2(I)=S2(I-1)+BTR(M)*W(I)*COSAL(I)*TA
N(PH(I))
1520 S3(I)=S3(I-1)-(ZW(I)*GAW*BTR(M)*TAN(PH(I)))/COSAL(I):S4(I)=S4(I-1)+BTR(M)*
W(I)*SINAL(I)
1530 IF I<N THEN I=I+1:X(I)=X(I-1)-BTR(M):GOTO 1000
1540 FSF(M)=(S1(N)+S2(N)+S3(N))/S4(N)
1550 IF A$="F" THEN PRINT OX TAB(10) OY TAB(20) R(M) TAB(35) S4(N)*R(M) TAB(60)
FSF(M):GOTO 1630
1560 G=FSF(M):K=1
1570 FOR I=1 TO N:S7(I)=S7(I-1)+((W(I)*BTR(M)-ZW(I)*GAW*BTR(M))*TAN(PH(I))+CO(I)
*BTR(M))/(COSAL(I)+SINAL(I)*TAN(PH(I)))/G:NEXT I
1580 FSB(M)=S7(N)/S4(N)
1590 IF ABS(FSB(M)-G)(<=10^(-3) THEN GOTO 1620
1600 K=K+1:IF K>40 THEN GOTO 1630
1610 G=FSB(M):GOTO 1570
1620 PRINT OX TAB(10) OY TAB(20) R(M) TAB(35) S4(N)*R(M) TAB(60) FSB(M)
1630 ERASE CO,PH,SINAL,COSAL,YB,YH,X,S1,S2,S3,S4,S7
1640 ERASE ZW,U1,U2,U3,YH,YN,W1,W2,W3,W4,W5,W6,W
1650 IF (RMAX)*R(M))*RMAX((R(M)+PR)) THEN M=M+1:R(M)=RMAX:GOTO 590
1660 M=M+1:R(M)=R(M-1)+PR:IF R(M)(<=RMAX THEN GOTO 590
1670 IF OX)=OXF THEN GOTO 1720
1680 ERASE R,FSF,FSB
1690 ERASE XG,XD
1700 ERASE BTR
1710 PRINT " RAYON DEPASSANT LE SUBSTRATUM ,CHANGEMENT DE CENTRE":OX=OX+POX
:GOTO 500
1720 IF OY)=OYF THEN GOTO 1770
1730 ERASE R,FSF,FSB
1740 ERASE XG,XD
1750 ERASE BTR
1760 PRINT " RAYON DEPASSANT LE SUBSTRATUM ,CHANGEMENT DE CENTRE":OY=OY+POY
:GOTO 480
1770 PRINT "VOULEZ-VOUS CHANGER DE QUADRILLAGE":INPUT G$
1780 IF G$="OUI" THEN GOTO 1800
1790 STOP
1800 ERASE R,FSF,FSB
1810 ERASE XG,XD
1820 ERASE BTR
1830 GOTO 410

```

CAS PRATIQUE. PERMETANT L'ETUDE
COMPARATIVE ENTRE LES 2 METHODES
FELLENBUS ET BISHOP.

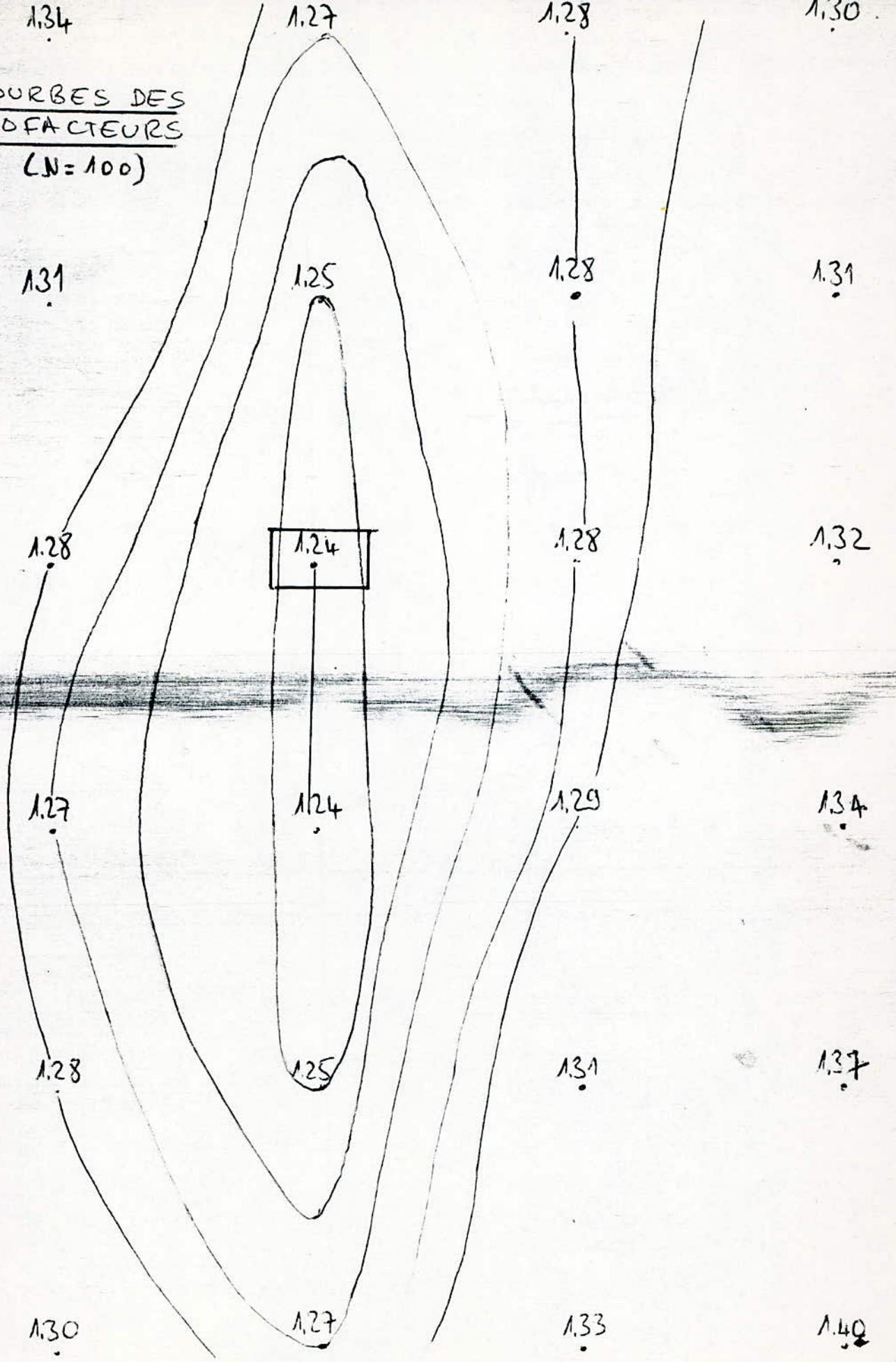
44



45

N = 5	N = 10	N = 15	N = 20
<p>N = 25</p> <p>1.32 1.27 1.23 1.25 1.34 1.28 1.23 1.26 1.35 1.29 1.24 1.26 1.38 1.30 1.25 1.27 1.41 1.32 1.26 1.29</p>	<p>N = 30</p> <p>1.31 1.27 1.23 1.25 1.34 1.28 1.23 1.26 1.36 1.29 1.24 1.26 1.38 1.30 1.25 1.27 1.42 1.32 1.26 1.29</p>	<p>N = 40</p> <p>1.32 1.28 1.23 1.26 1.34 1.28 1.24 1.26 1.35 1.29 1.24 1.27 1.38 1.30 1.25 1.28 1.43 1.32 1.27 1.29</p>	<p>N = 60</p> <p>1.32 1.28 1.23 1.26 1.34 1.28 1.24 1.26 1.35 1.29 1.24 1.27 1.38 1.30 1.25 1.28 1.43 1.32 1.27 1.29</p>
<p>N = 80</p> <p>1.32 1.28 1.23 1.26 1.34 1.28 1.24 1.26 1.35 1.29 1.24 1.27 1.39 1.31 1.25 1.28 1.42 1.33 1.27 1.30</p>	<p>N = 100</p> <p>1.31 1.28 1.25 1.31 1.32 1.28 1.24 1.28 1.34 1.29 1.24 1.27 1.37 1.31 1.25 1.28 1.40 1.33 1.27 1.30</p>	<p>N = 300</p> <p>1.28 1.25 1.30 1.31 1.32 1.28 1.24 1.28 1.34 1.29 1.25 1.27 1.37 1.31 1.26 1.28 1.41 1.33 1.27 1.30</p>	

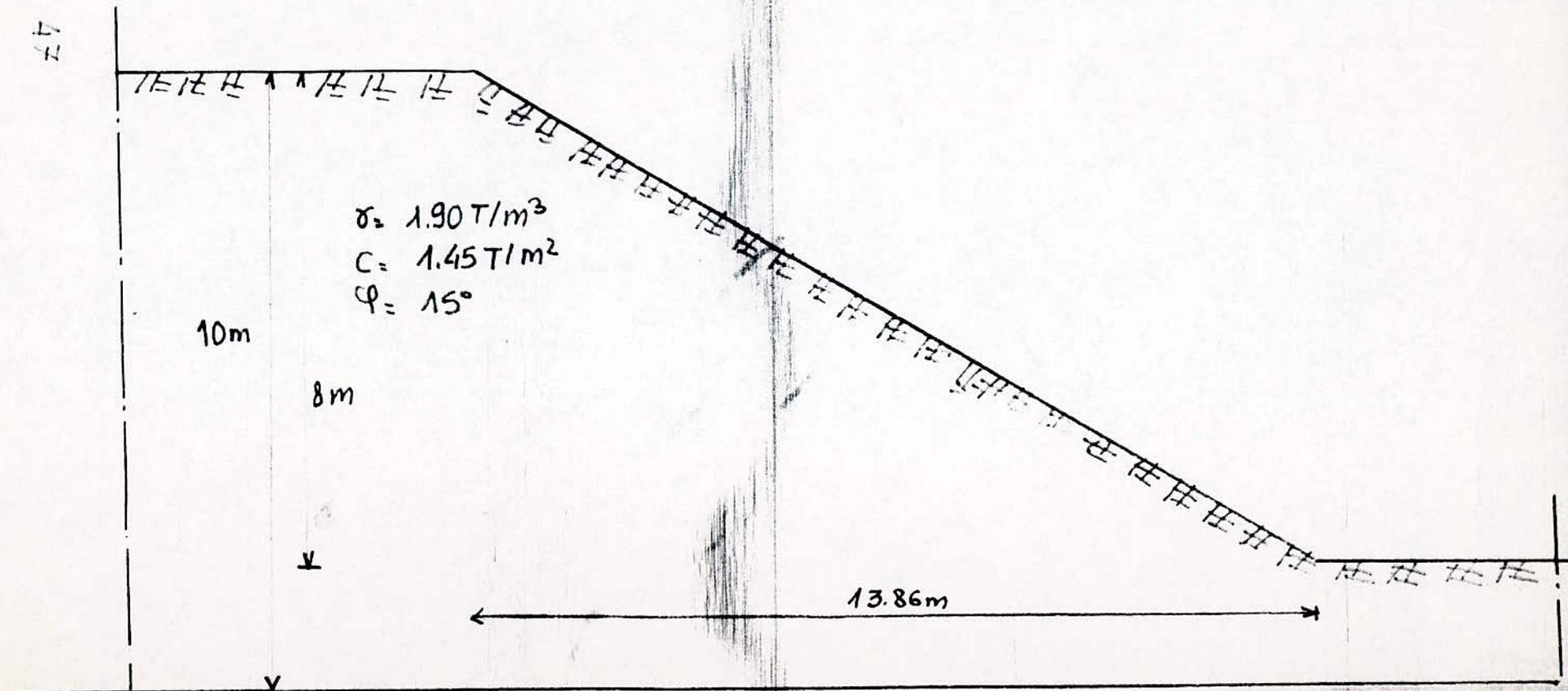
COURBES DES
80 FACTEURS
(N=100)



Cas pratique permettant

L'étude comparative des méthodes

BISHOP / FELLENIUS



TROISIEME - PARTIE

I. PRESENTATION DU PROJET

II. PROPRIETES DU PK 122

II.1- ETUDE GEOLOGIQUE

II.2 -SONDAGE CAROTTE

II.3- ANALYSE GRANULOMETRIQUE

II.4- CARACTERISTIQUES MECANIQUES

II.5- CONDITIONS HYDRAULIQUES

III. SUIVI DU PHENOMENE

IV. ETUDE DE LA STABILITE

I. PRESENTATION DU PROJET

La Wilaya de Jijel est appelee a subir un tres grand developpement industriel ceci par la realisation de plusieurs structures telles que le complexe siderurgique S.N.S situe a Bellara pres de El-Milia et la construction du nouveau port de Djen-Djen sans oublier de nombreuses petites et moyennes industries (briquetterie, verrerie,...). IL est a noter que ce developpement sous entend un renforcement des moyens de transport , mais les axes reliant Jijel aux Wilayates limitrophes ne peuvent suffir aux besoins projetes, sans oublier l'etat deffectueux de ces routes et le faible trafic qu'elles sont capables d'assurer .

Donc devant de pareilles situations une ligne ferroviaire s'avere necessaire .

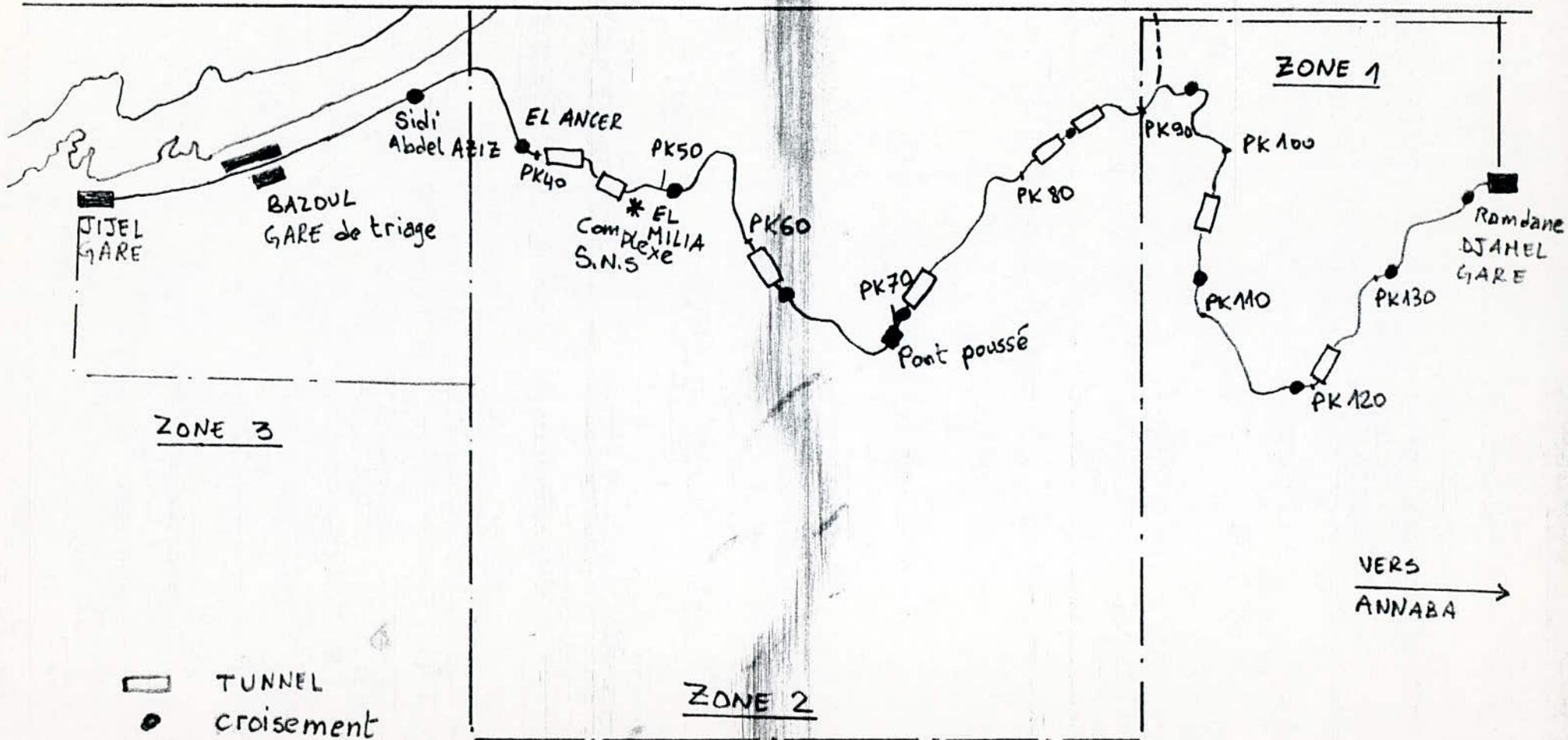
Dans ce soucis la S.N.T.F a entrepris l'etude d'une liaison ferroviaire entre Jijel et le reseau existant.

Le projet s'etend sur 137 Km dont 100 Km en terrains montagneux et difficiles , reliant Jijel a Ramdane-Djamel situe sur la ligne Skikda-Constantine.

Caracteristiques du projet:

- 260 Km de voies ferrees .
- terrassements.
- 72 ouvrages d'art de differents types dont un ouvrage pousse de 490 m de portee.
- 8 tunnels totalisant 6 804 m dont un de 2 643.
- 11 000 m² de quais .
- 42 dalots en beton arme, 473 buses constituant les ouvrages de drainage.
- 21 ouvrages speciaux (mur de soutenment , deviation d'oued...)
- 209 logements en 22 logements individuels et 187 appartements.

- tracé de La Ligne ferroviaire -



Trace de la ligne ferroviaire: voir figure ci-contre

L'étude qu'on va entreprendre interesse la stabilite du deblai du PK 122 situe au niveau de Sidi-Mezghich a 122 Km de Jijel dans la Wilaya de Skikda. Les problemes majeurs rencontres sont survenus lors des travaux de terrassement.

Dans la nuit du 4 au 5 Aout 1984, un glissement de terrain de 90 m d'ampleur horizontale sur 15 m de puissance verticale s'est manifeste dans le deblais situe sur le PK 122 de la voie ferree en cours de realisation.

On a pu constater apres le glissement une importante fissure de traction de 10 cm de rejet, la distance maximale entre la crête du talus et cette fissure est de 50m environ.

II- PROPRIETES DU PK 122

1-Etude geologique

Ces terrains sont situes dans la zone 1 (S.N.T.F.), composee de "Flysch". Ces argiles sont tres sensibles a l'eau, se gonflent jusqu'a 9% de leur poids. Pour les rendre a leur etat initial il faudrait une contrainte d'environ 4 bars.

Les "Flysch" sont assez nombreux, nous citerons deux grandes familles :

a)- les "Flysch" proximaux :

constitues d'elements grossiers et detritiques (pres des zones d'apport).

b)- les "Flysch" distaux :

elements fins car plus pres des zones d'apport .

Le deblai du PK122 est situe dans une formation tres complexe caracterisee par des alternances argileuses et greseuses . De telles formations presentent une anisotropie accentuee et des substances minerales (smectites) qui leur conferent un grand pouvoir de gonflement . Il convient aussi de remarquer que la retention de l'eau dans ce deblai n'est pas a negliger et qu'au contraire est l'une des causes principales du phenomene de glissement dans cette region.

De plus d'apres les observations effectuees au niveau du site, on a pu remarquer de serieuses stries superficielles qui mettent en evidence l'action de l'erosion sur le terrain en question.

2-Sondage carotte:

Un sondage a ete effectue jusqu'a une profondeur de 20 m , montre les differentes alternances greseuses et argileuses presentes dans le terrain. Pour cela trois echantillons ont ete preleves , pour definir les caracteristiques du sol, apres essais au laboratoire.

3-Analyse granulometrique:

les courbes granulometriques des 3 echantillons montrent que:

- premier echantillon : 45% inferieurs a 2um
- deuxieme echantillon : 12% inferieurs a 2um
- troisieme echantillon : 7% inferieurs a 2um

SONDAGE CAROTTE

(Coles)	(Prof.)	Description geotechnique	Coupe geologique	Carottage		Observations
				∅	%	
	1,0	Terre végétale caillouteuse		131 mm		
	3,0	Siltite altérée, plastique + cailloux gréseux				
	7,0	Siltite + altérée, + plastique avec cailloux gréso calcaires particulièrement abondants en tête et en pied.		116 mm		
	9,0	Argilite brune à gris bleu, compacte à passées gréso-calcaires.				
	10,0	Argilite grise raide		116 mm		<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; margin-right: 5px;"></div> 9.0 9.5 </div>
	12,0	Argilite très altérée plastique, rares passées + raides.				
	17,0	Argilite grise raide à débit esquilleux et concrétions gréseuses ocre en tête et pied. Passées plus molles vers 15,5/16 m.		116 mm		<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; margin-right: 5px;"></div> 14.5 15.5 </div>
	19,5	Argilite altérée, plastique plaquettes gréseuses centimétriques.				
	20,0	Argilite gréseuse compacte.				<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; margin-right: 5px;"></div> 16 16.5 </div>
		Fin de forage à - 20 m.				

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

DEBLAI PK 122

SONDAGE S 14

Echantillons

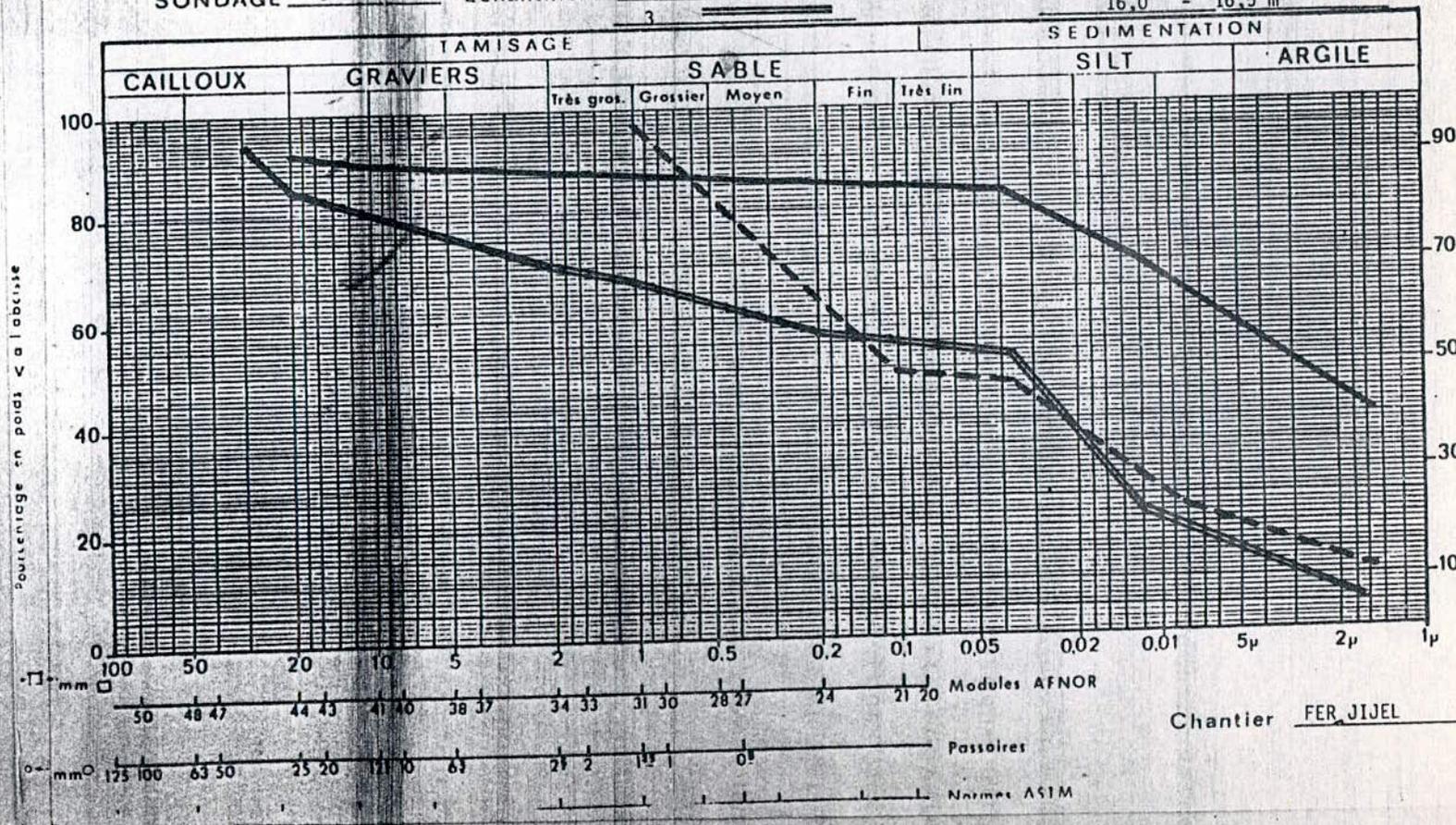
- 1
- 2
- 3

Profondeurs

9,0 - 9,5 m

14,5 - 15,5 m

16,0 - 16,5 m



4- Caracteristiques mecaniques :

cette etude a ete realisee sur des echantillons de sol argileux du " Flysch " preleve dans les sondages de la societe Francaise " Bouygues ". Les essais effectues sont des essais consolides non drains .

On dispose de trois series d'essais realises respectivement a 9.0m, 15.0m et 16.0m de profondeur (voir essais de laboratoire)

Les resultats obtenus sont les suivants :

Mode de determination	Profondeur	C'	φ'
Resultats de laboratoire essais (Cu + u)	0 a 10m	7 KPa	22.3°
	10 a 20m	20 KPa	21.3°
Hypotheses de calcul	0 a 10m	10 KPa	25°
	10 a 20m	20 KPa	25°
	20 a 30m	30 KPa	25°
	30 a 40m	40 KPa	25°

La densite etant prise egale a : $\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$.

5- Conditions hydrauliques :

On a admis conformément aux méthodes de calcul que les pressions interstitielles résultent d'un écoulement hydraulique parallèle au terrain naturel , ceci étant justifié par la nature des sols assez perméable qui ne permet en aucun cas de jouer le rôle de réservoir aquifère .

Compte tenu des conditions pluviométriques hivernales , on a suppose que la nappe phréatique affleure le terrain naturel, et l'on ne tiendra pas compte dans les calculs des rabattements éventuels.

Il est indispensable de citer l'action érosive des écoulements superficiels et en tenir compte dans le choix des solutions.

III- SUIVI DU PHENOMENE

~~En vu de surveiller les perturbations dues aux déséquilibres mécaniques , plusieurs inclinomètres ont été implantés dans le déblai du PK 122 permettant de définir la direction du glissement et les zones les plus affectées par celui-ci .~~

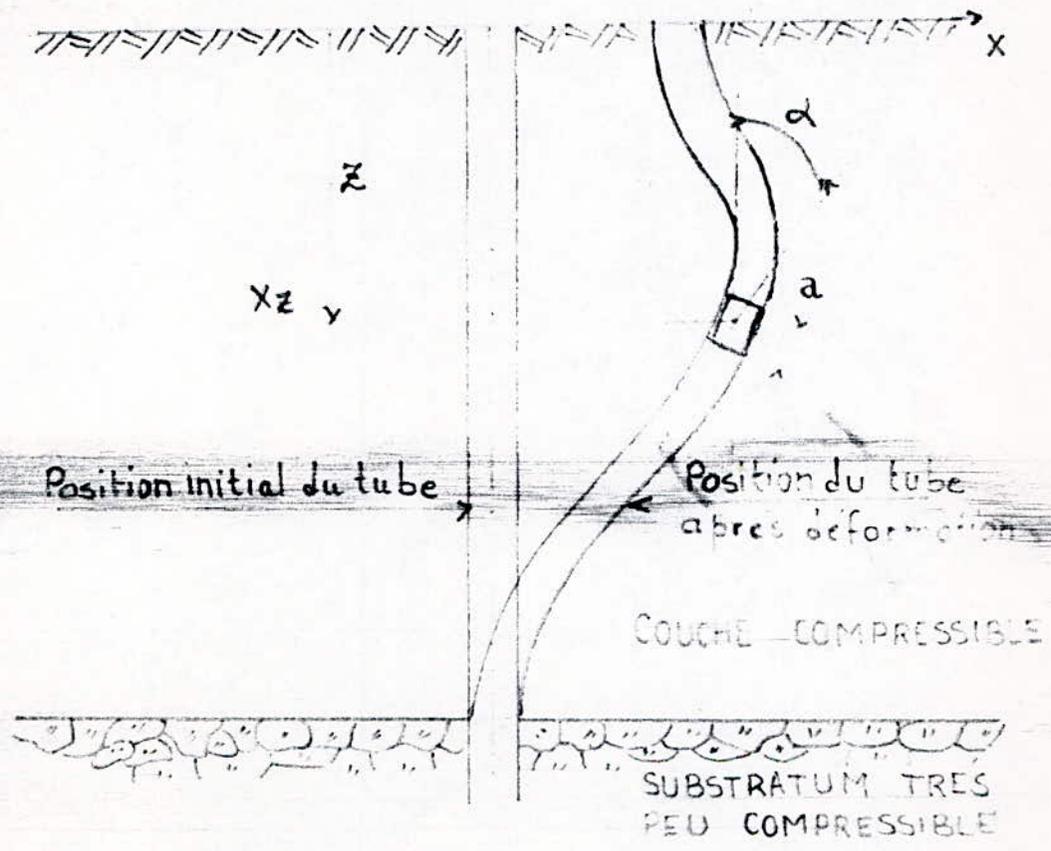
Les résultats des déplacements en fonction du temps sont représentés sous forme graphique , permettant ainsi de voir les différences de vitesses (directions) de chaque point par rapport aux autres (voir courbes des déplacements en fonction du temps) .

Inclinomètres :

Ils sont constitués de tubes déformables placés dans un forage de faibles diamètres et d'une sonde de mesure qui est descendue à l'intérieur.

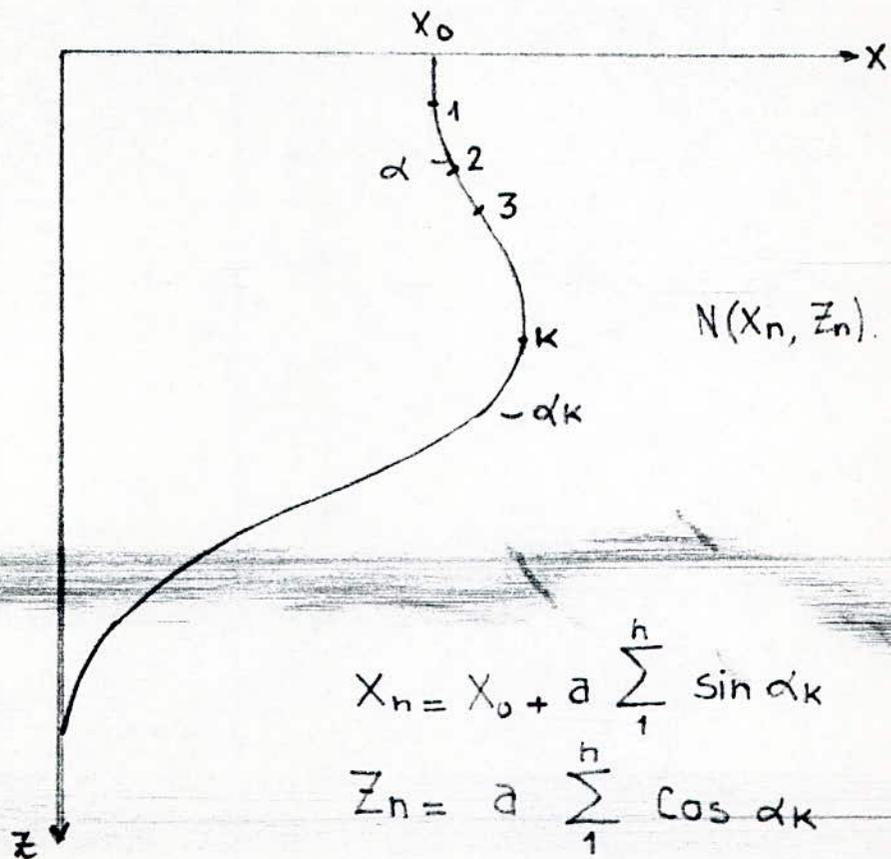
La plupart des sondes utilisent un système à pendule donnant une déviation angulaire , qui associée à la longueur d'arc que constitue la sonde, permet de reconstituer la déformée du tube.

Selon le type d'appareil utilisé (à tige SGI, à pendule type Telemac , ...) , la précision est de l'ordre de 15 à 30 mm pour 10 m de tube .



Principe de mesure des déplacements horizontaux

Fig1



Principe d'interprétation des levés
inclinométriques

Fig 2

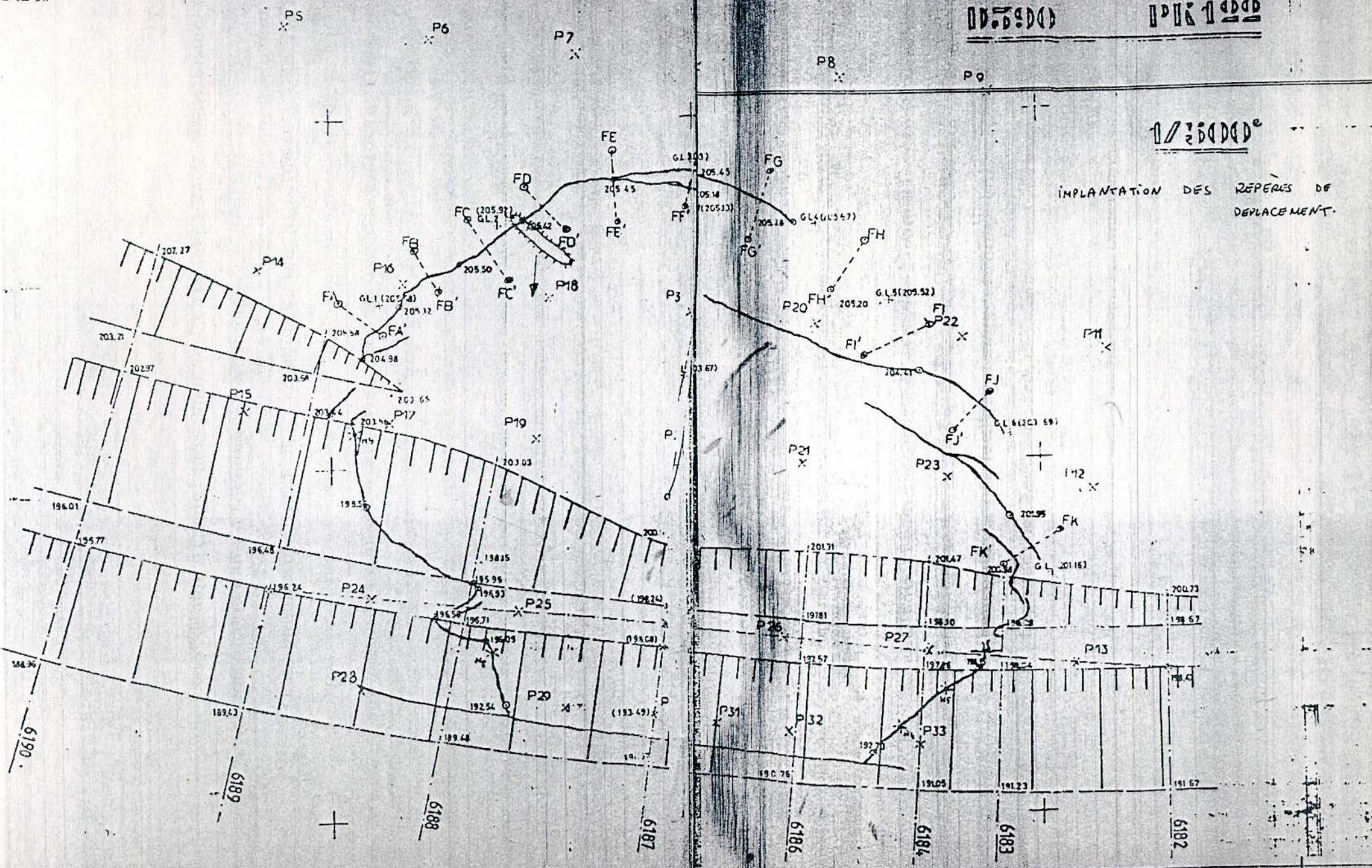
PLAN DE DISPOSITION DES REPERES DE DEPLACEMENT

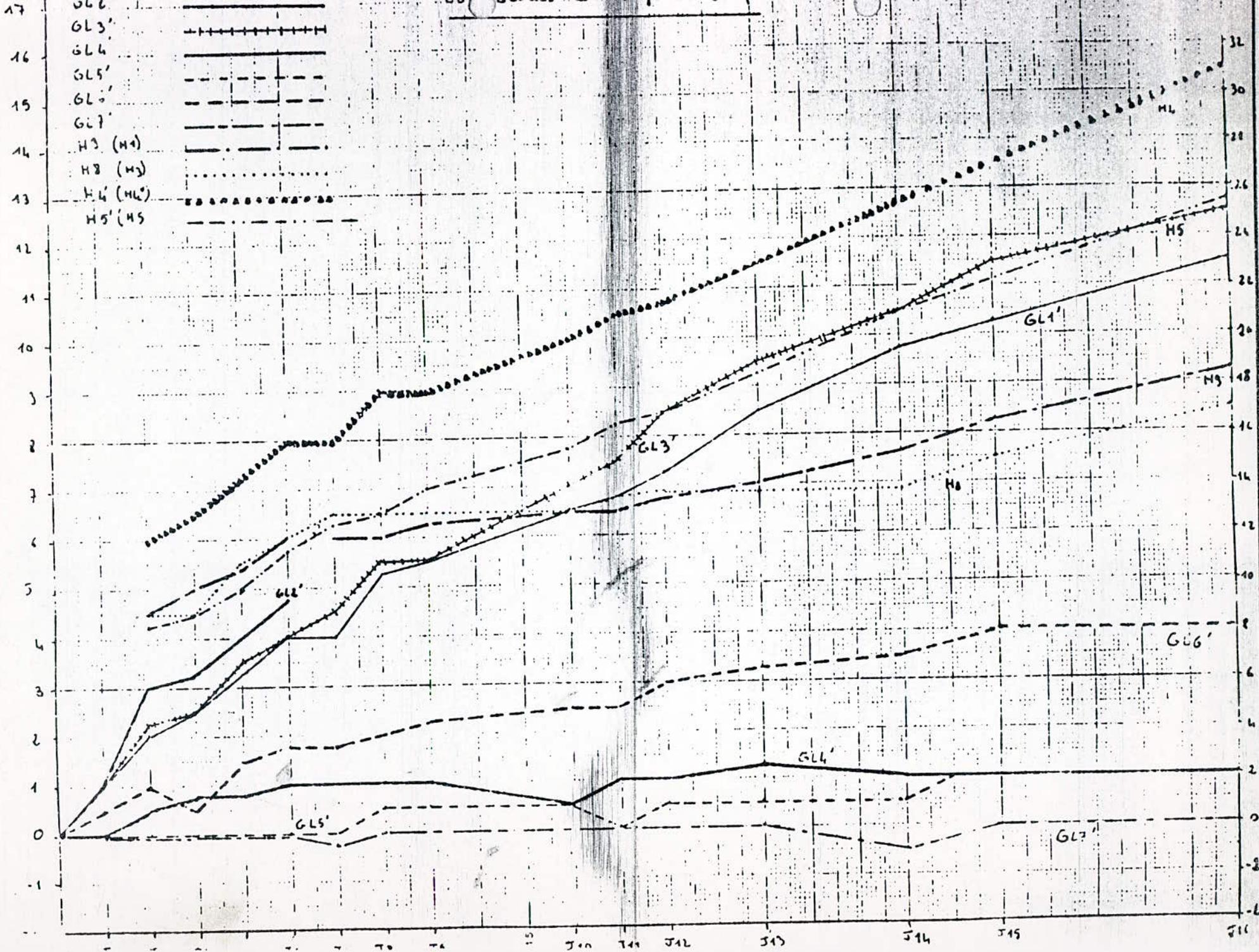
005500

0001 2000

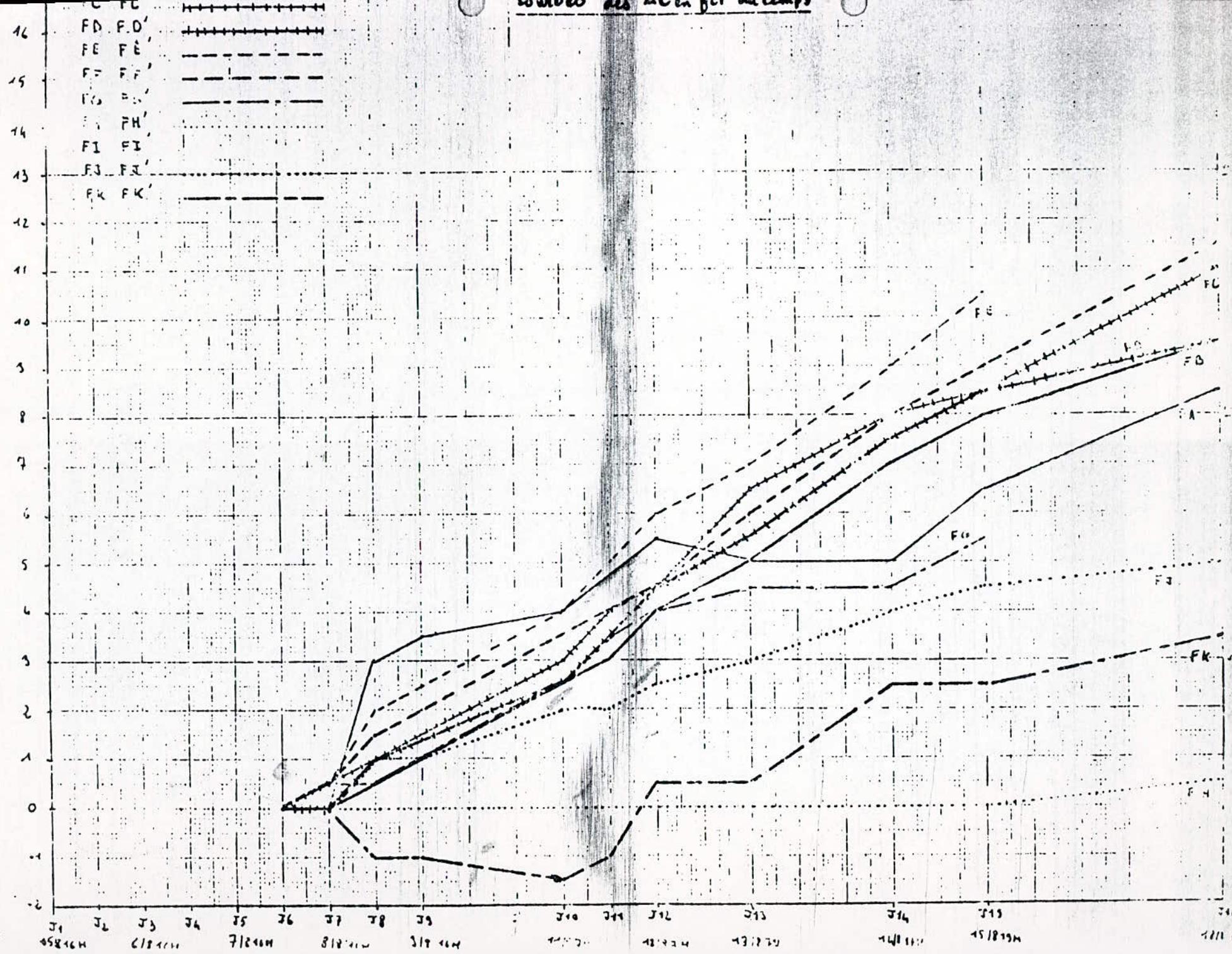
1/25000

IMPLANTATION DES REPERES DE DEPLACEMENT

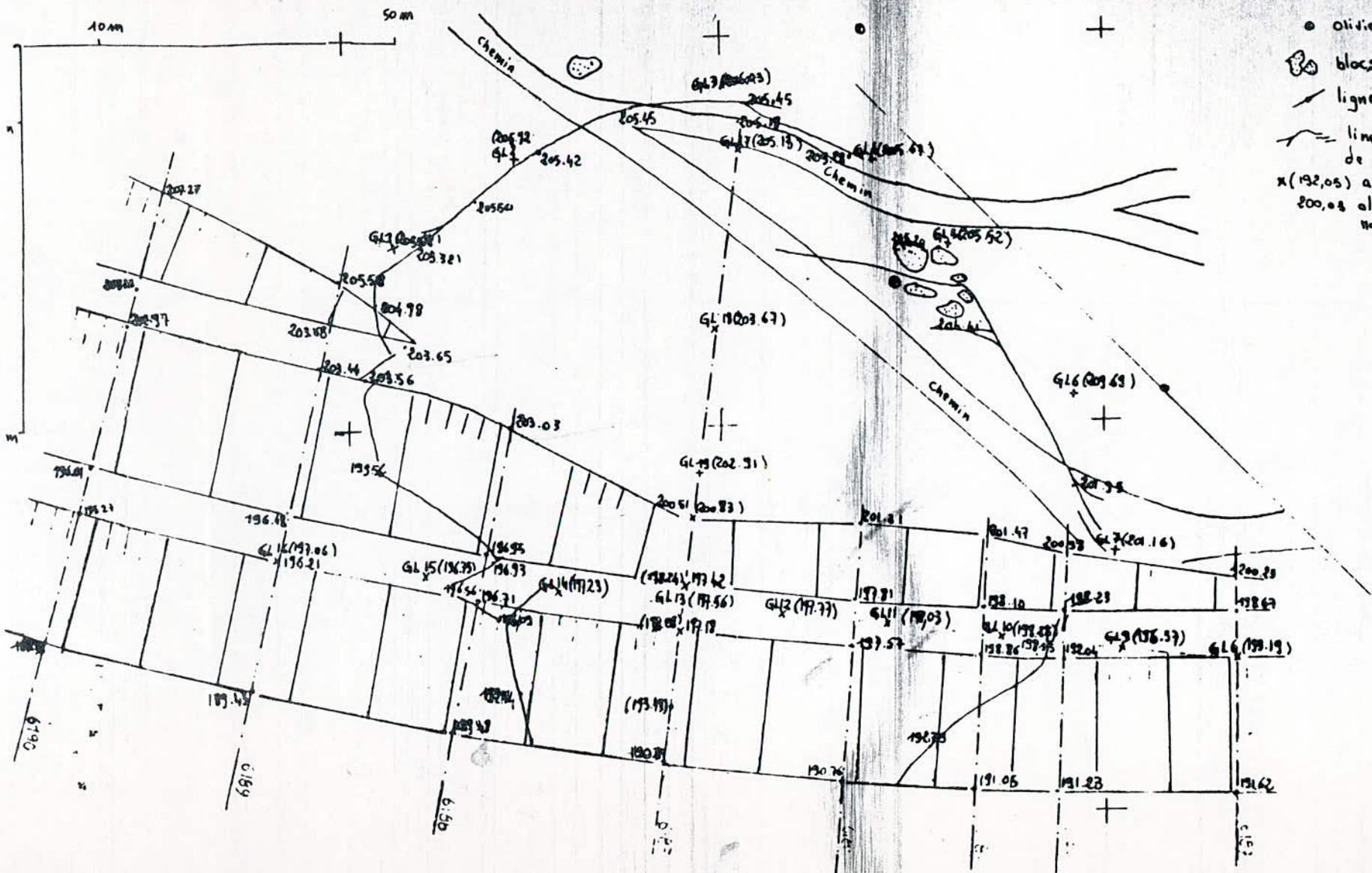




WAVES AND MEAN PER OUTCOMPS



Nord



- o oliviers
- ⊞ blocs de grès
- ligne électrique
- limite du glissement de terrain
- x (192,05) altitude des piquets
- 200,08 altitude du terrain naturel.

IV. ETUDE DE LA STABILITE

L'etude de la stabilite sera effecuee avec les caracteristiques effectives citees ci-dessus. Nous proposerons deux types de talus pour les terrassement, l'un de hauteur 7m l'autre de 14m.

Ainsi l'etude s'effectuera sur ces deux talus en determinant le coefficient de securite minimal. Les resultats obtenus sont representes graphiquement.

On a remarque pour des pentes inferieures a 4/1 que le glissement est tres favorise, a titre d'exemple, pour une pente de 2/1 le coefficient de securite minimal est de 0.87, il remonte a 1.01 pour une pente de 2.5/1 et augmente sensiblement avec des pentes superieures.

Vu aussi les caracteristiques mediocres du sol a stabiliser, ainsi que l'ampleur du glissement (cercles de glissement profonds) on a opte pour deux solutions:

* premiere solution:

Terrasser les talus avec une pente de 2.5/1 et utiliser ensuite un masque drainant. Les coefficients de securite obtenus sont de l'ordre de 1.50 .

* deuxieme solution:

Terrasser les talus avec une pente de 4/1 et utiliser des couches de protection de 1m d'epaisseur.

Remarque

=====

L'ampleur horizontale du glissement (90m), ainsi que les cercles assez profonds obtenus par les calculs, ne permettent pas de prevoir des soutènements. Pour remedier au glissement le drainage s'imposait.

Les types de drainages qui peuvent nous intéresser sont les suivants:

1- Drainage par drains subhorizontaux :

une fois places ces drains permettent de décharger un milieu aquifère masqué par une couche peu perméable et de capter des écoulements localisés dans des formations hétérogènes tels que des éboulis de pente. Leur inconvénient réside essentiellement dans leur faible rayon d'action en massif homogène.

2- Drainage par tranchées drainantes longitudinales :

ces tranchées sont réalisées en parallèle avec les terrassements, et doivent atteindre dans le cas de faibles pentes des profondeurs importantes. De plus elles sont longues à exécuter et parfois même difficiles lorsqu'il s'agit de sols gréseux.

3- Drainage par masques drainants :

les masques drainants ont la propriété de s'opposer au glissement par leur poids. Ils sont constitués de matériaux grenus de poids spécifique important (environ 20 KN/m³), d'angle de frottement élevé (30° à 40°). De par leurs caractéristiques géotechniques, ainsi que les pentes calculées, ces masques permettent de drainer les eaux superficielles et présentent l'avantage de réaliser une très bonne protection contre l'érosion, lors des fortes pluies d'hiver.

C'est pour ces raisons que nous avons opté pour l'utilisation des masques drainants (première solution).

Afin de permettre à ce confortement de jouer son rôle, il serait inévitable de veiller à la non contamination du matériau drainant par les argiles.

hauteur: 7m

Pente : 2/1

1.15 1.02 0.96 0.95 0.98

1.16 1.02 0.94 0.93 0.96

1.19 1.01 0.92 0.90 0.94

1.26 1.02 0.91 0.88 0.92

1.37 1.07 0.91 0.87 0.92

GZ

4m

4m

∇ T.N.

$\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$
 $c' = 10 \text{ KPa}$
 $\phi' = 25^\circ$

Pente 2/1

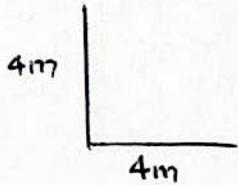
R = 11m

Couche 1

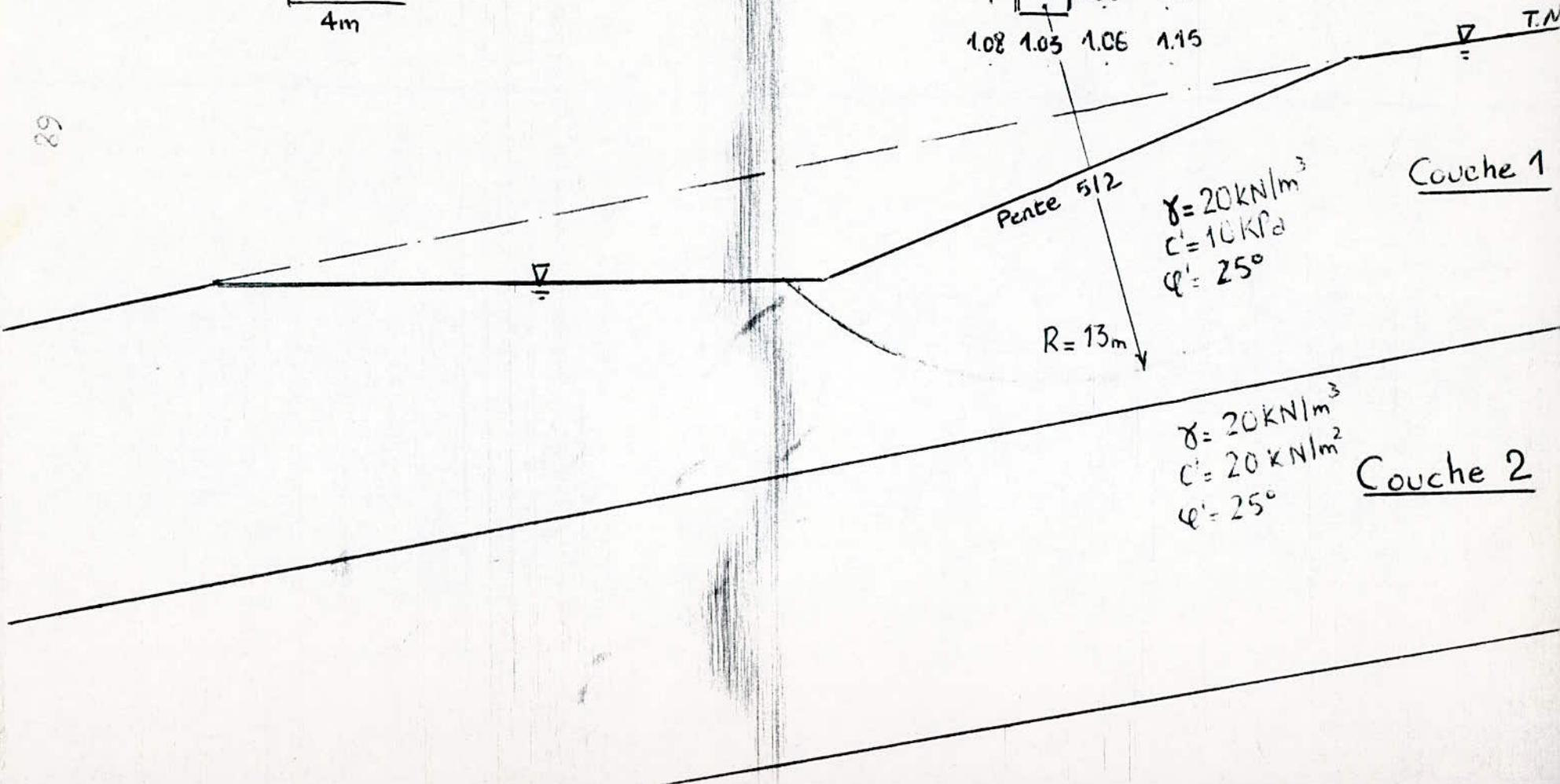
Couche 2

$\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$
 $c' = 20 \text{ KPa}$
 $\phi' = 25^\circ$

hauteur : 7m
Pente : 5/2



1.08	1.09	1.05	1.12
1.05	1.02	1.05	1.12
1.06	1.01	1.05	1.12
1.08	1.03	1.06	1.15



Pente 5/2

$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
 $c' = 10 \text{ kPa}$
 $\phi' = 25^\circ$

Couche 1

$R = 13 \text{ m}$

$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
 $c' = 20 \text{ kN/m}^2$
 $\phi' = 25^\circ$

Couche 2

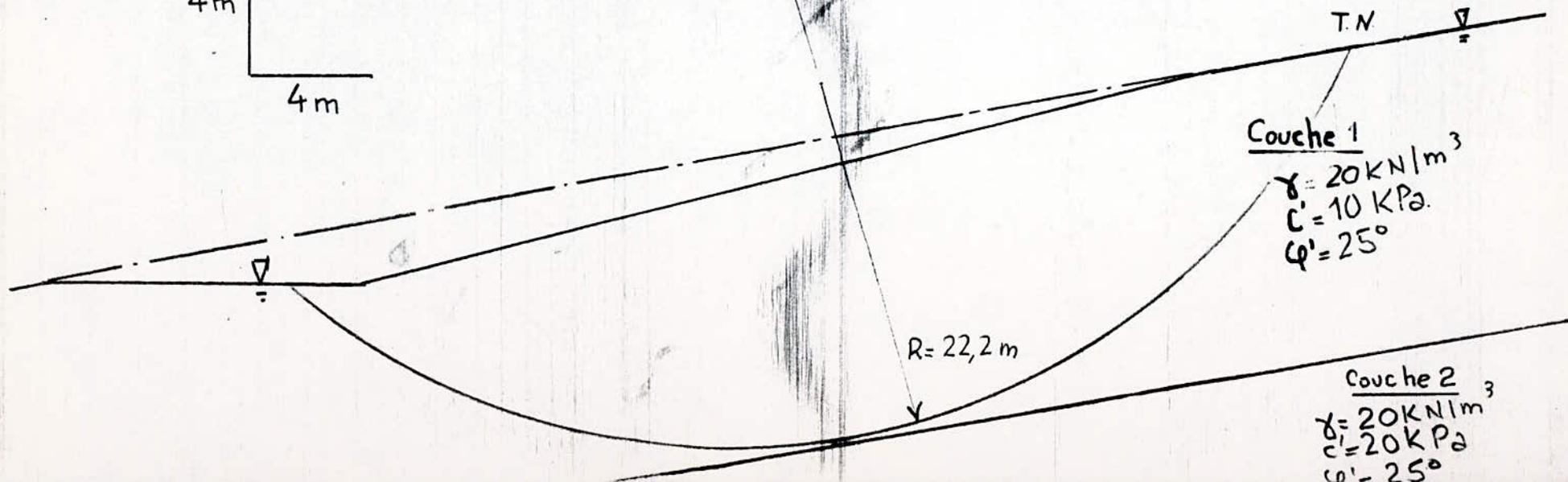
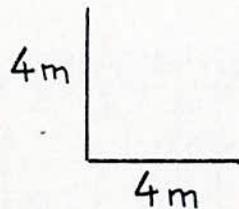
89

hauteur: 7m

Pente: 4/1

69

1.56	1.45	1.43
1.54	1.43	1.43
1.54	1.42	1.44
1.56	1.44	1.47

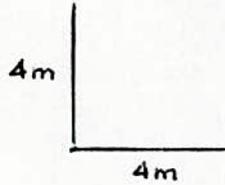


hauteur: 7m

Masse. $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$

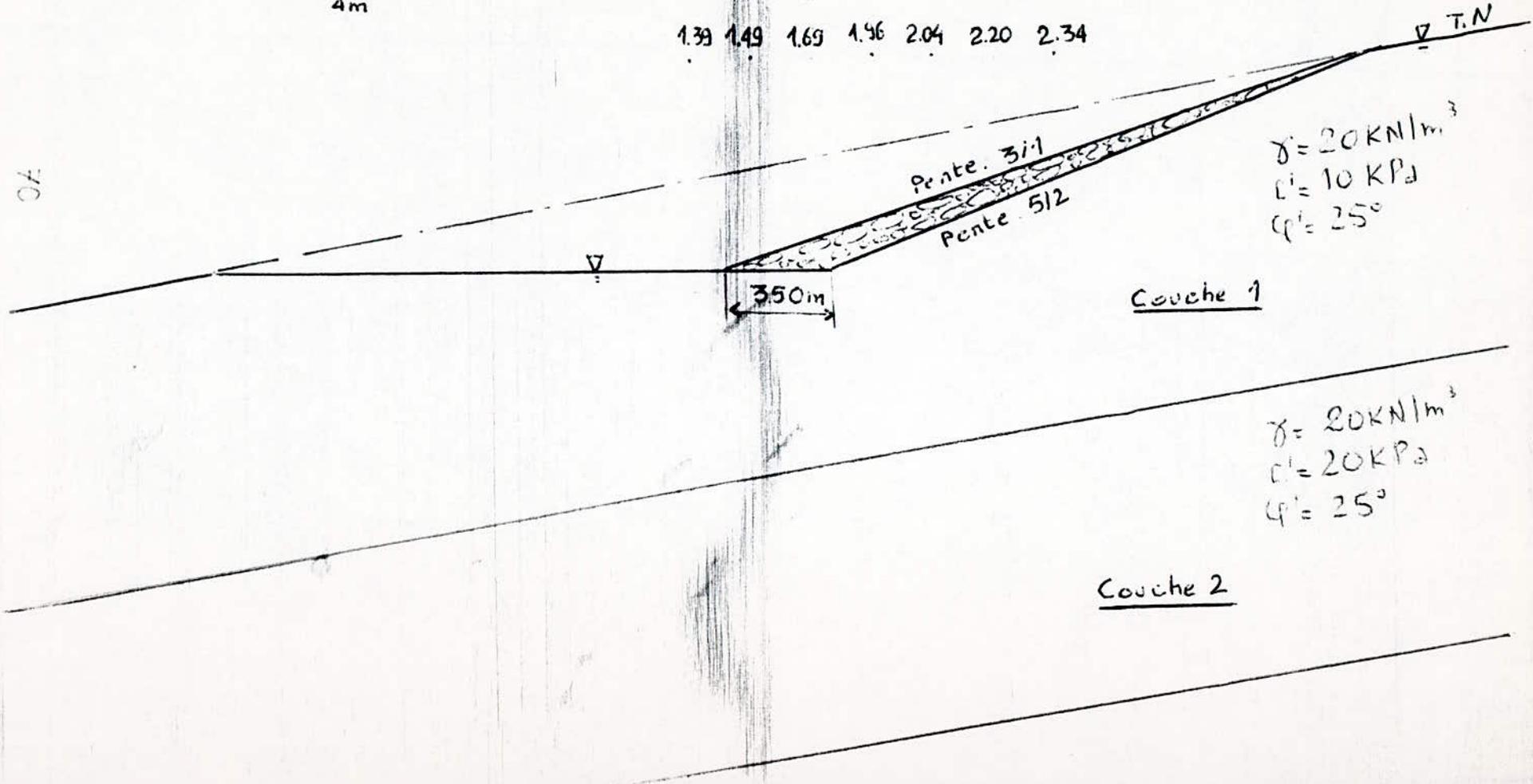
Pente intérieure: 5/2

Pente extérieure: 3/1



					1.98	2.01
	1.54	1.66	1.90	1.96	1.98	2.16
	1.51	1.63	1.90	1.98	2.01	2.21
	1.39	1.49	1.69	1.96	2.04	2.20

CA



Couche 1

$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
 $c' = 10 \text{ kPa}$
 $\phi' = 35^\circ$

Couche 2

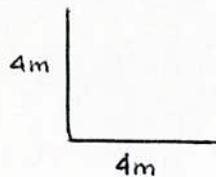
$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
 $c' = 20 \text{ kPa}$
 $\phi' = 25^\circ$

hauteur: 7m

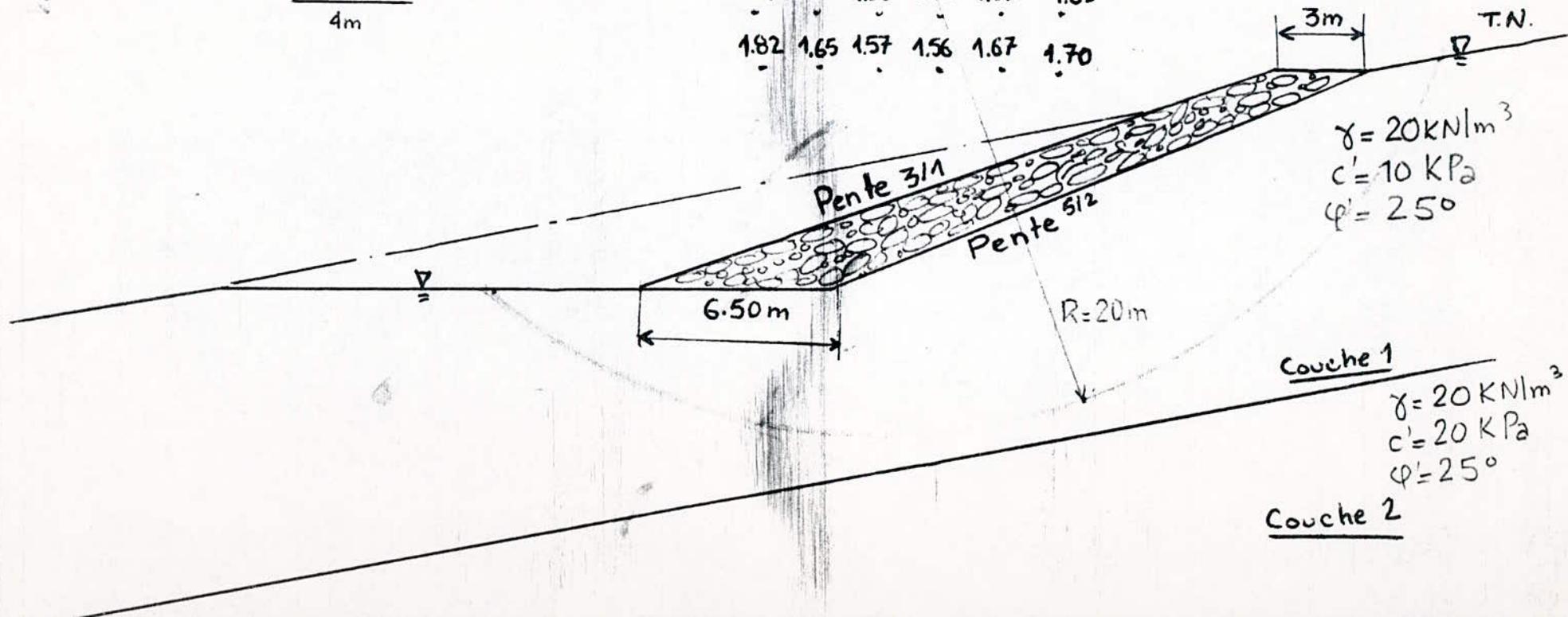
Masque: $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$

Pente intérieure: 5/2

Pente extérieure: 3/4



1.60	1.52	1.47	1.46	1.49	1.56
1.53	1.51	1.46	1.46	1.50	1.58
1.61	1.50	1.45	1.46	1.51	1.59
1.64	1.51	1.45	1.46	1.52	1.61
1.70	1.53	1.46	1.47	1.55	1.63
1.74	1.59	1.50	1.50	1.59	1.65
1.82	1.65	1.57	1.56	1.67	1.70



$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
 $c' = 10 \text{ kPa}$
 $\phi' = 25^\circ$

Couche 1
 $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
 $c' = 20 \text{ kPa}$
 $\phi' = 25^\circ$
Couche 2

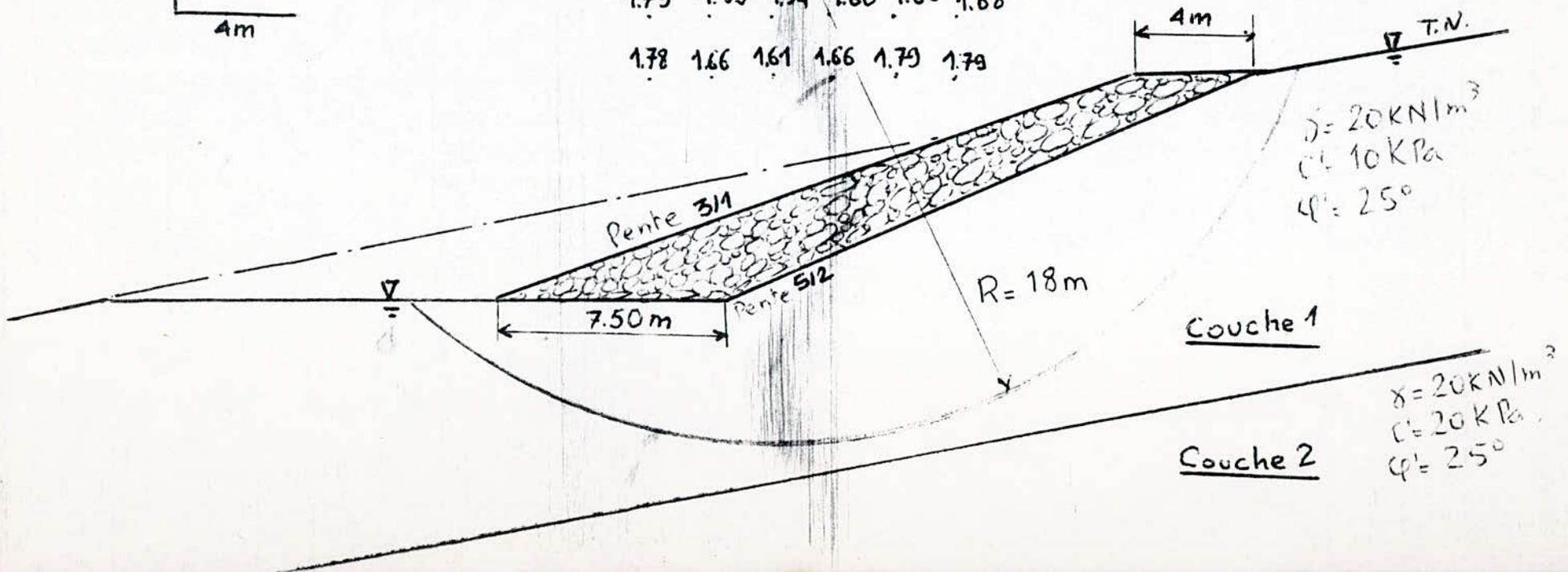
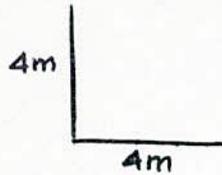
hauteur: 7m

Masque: $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$

Pente intérieure: 5/2

Pente extérieure: 3/1

1.61	1.55	1.52	1.54	1.59	1.66
1.60	1.54	1.52	1.59	1.60	1.66
1.60	1.53	1.51	1.54	1.62	1.67
1.61	1.52	1.50	1.54	1.62	1.67
1.66	1.54	1.51	1.56	1.64	1.68
1.73	1.59	1.54	1.60	1.66	1.68
1.78	1.66	1.61	1.66	1.79	1.79



hauteur: 7m

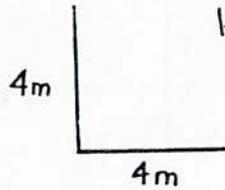
Masque: $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$

Pente intérieure: 4/1

Pente extérieure: 4/1

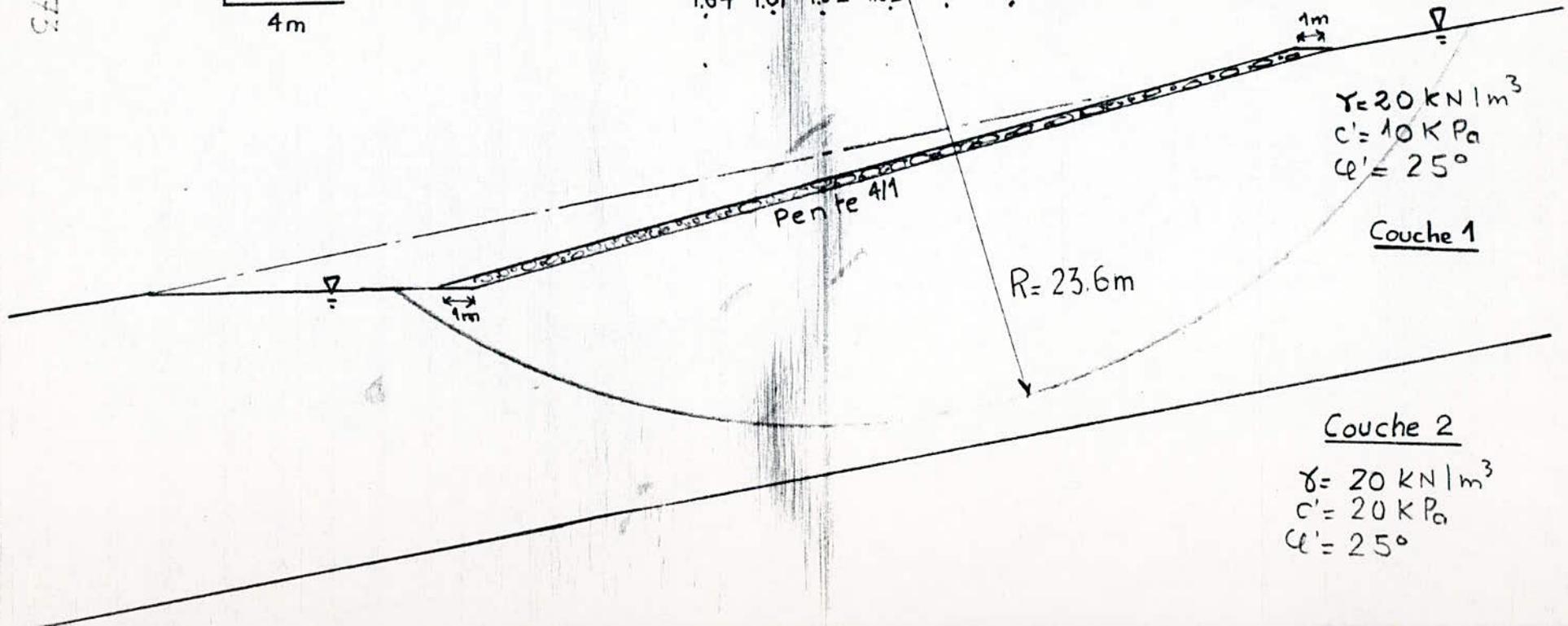
tête: 1m

base: 1m



1.57	1.52	1.50	1.52	1.55	1.58
1.56	1.52	1.50	1.52	1.55	1.58
1.56	1.51	1.50	1.52	1.55	1.59
1.56	1.51	1.50	1.53	1.56	1.60
1.57	1.51	1.51	1.54	1.57	1.61
1.58	1.53	1.53	1.55	1.59	1.63
1.60	1.56	1.56	1.58	1.61	1.66
1.64	1.61	1.62	1.62	1.65	1.71

7.3



$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
 $c' = 10 \text{ kPa}$
 $\phi' = 25^\circ$

Couche 1

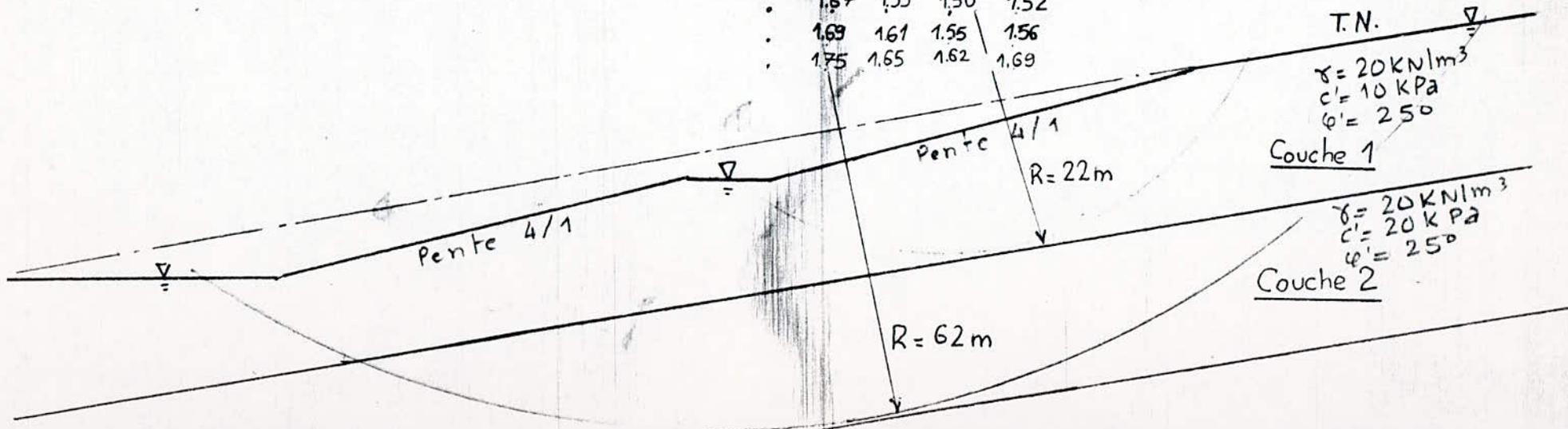
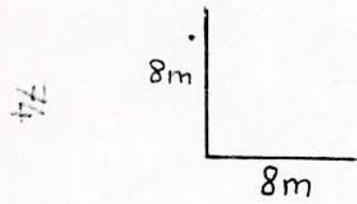
Couche 2

$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
 $c' = 20 \text{ kPa}$
 $\phi' = 25^\circ$

ETUDE DU TALUS DE: 14m

Pente: 4/1

			1.49	1.50					
	1.55	1.51	1.50	1.48	1.50				
	1.54	1.51	1.48	1.49	1.51				
	1.54	1.50	1.48	1.49	1.51				
	1.54	1.50	1.48	1.49	1.51				
	1.55	1.51	1.48	1.50	1.53				
	1.56	1.51	1.50	1.52	1.53				
	1.57	1.52	1.51	1.53	1.54				
1.64			1.53	1.56	1.52	1.46	1.46		
1.68			1.56	1.57	1.53	1.44	1.46		
1.69			1.59	1.60	1.55	1.44	1.47		
			1.60	1.55	1.44	1.47			
			1.67	1.59	1.50	1.52			
			1.69	1.61	1.55	1.56			
			1.75	1.65	1.62	1.69			



1.52 1.52 1.52
 1.52 1.51 1.52
 1.52 1.51 1.52
 1.52 1.52 1.52

1.52 1.52 1.53

hauteur : 14m

Couche de protection : $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
 épaisseur : 1m

pente : 4/1

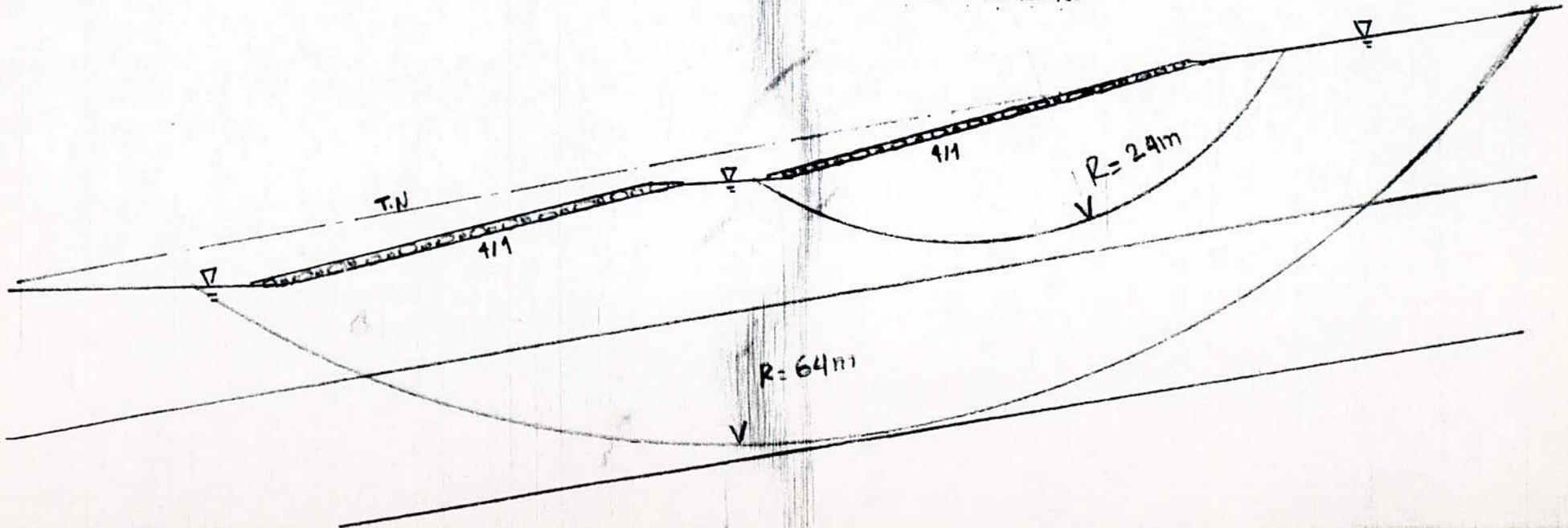
1.57 1.54 1.51 1.52 1.55 1.58

1.56 1.52 1.52 1.52 1.55 1.58

1.56 1.51 1.50 1.52 1.55 1.59

1.57 1.51 1.51 1.54 1.57 1.61

1.60 1.56 1.56 1.58 1.61 1.66



1.81 1.76 1.68 1.59 1.57 1.58 1.59

1.84 1.78 1.69 1.59 1.58 1.59 1.61

1.88 1.81 1.71 1.61 1.60 1.62 1.61

40

30

20

10

hauteur: 14m

Masse: $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$

talus supérieur:

Couche de 1m

pente: 4/1

talus inférieur:

tête: 4m

base: 7.50m

pente intérieure: 5/2

pente extérieure: 4/1

1.54 1.51 1.52 1.55

1.52 1.50 1.52 1.55

1.51 1.50 1.52 1.55

1.51 1.51 1.54 1.57

(VOIR suite)

60

50

40

30

20

10

$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
 $C = 10 \text{ kN/m}^2$
 $\varphi = 25^\circ$

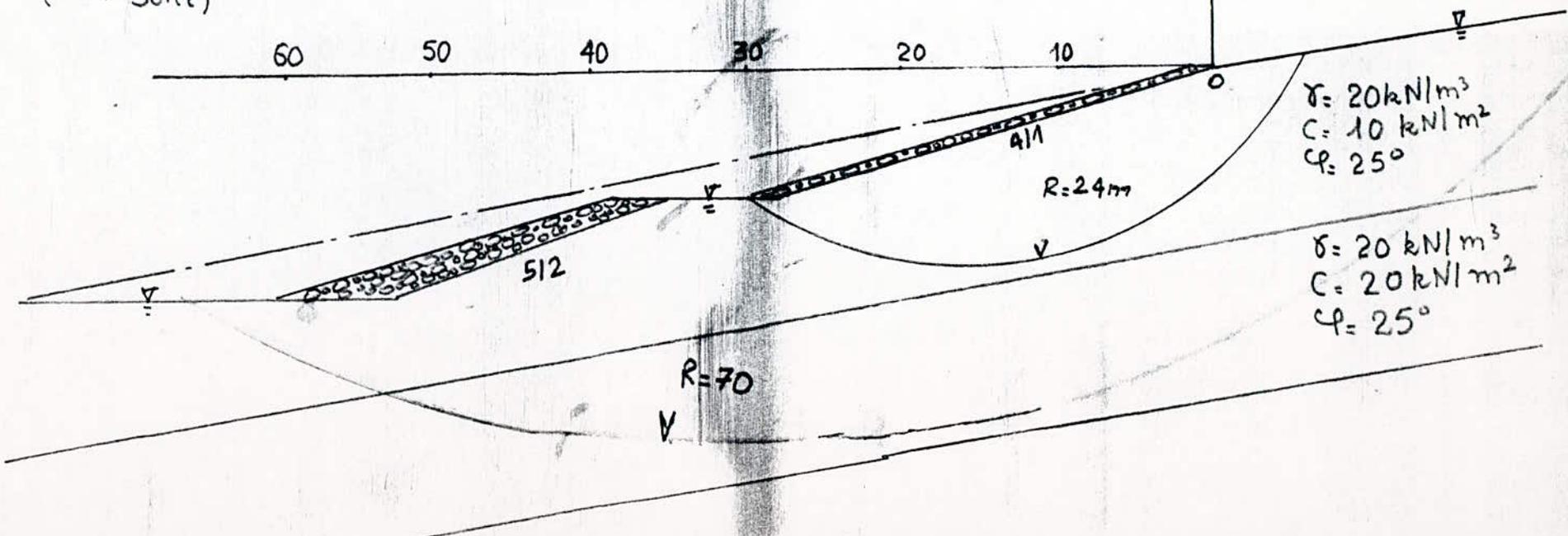
$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
 $C = 20 \text{ kN/m}^2$
 $\varphi = 25^\circ$

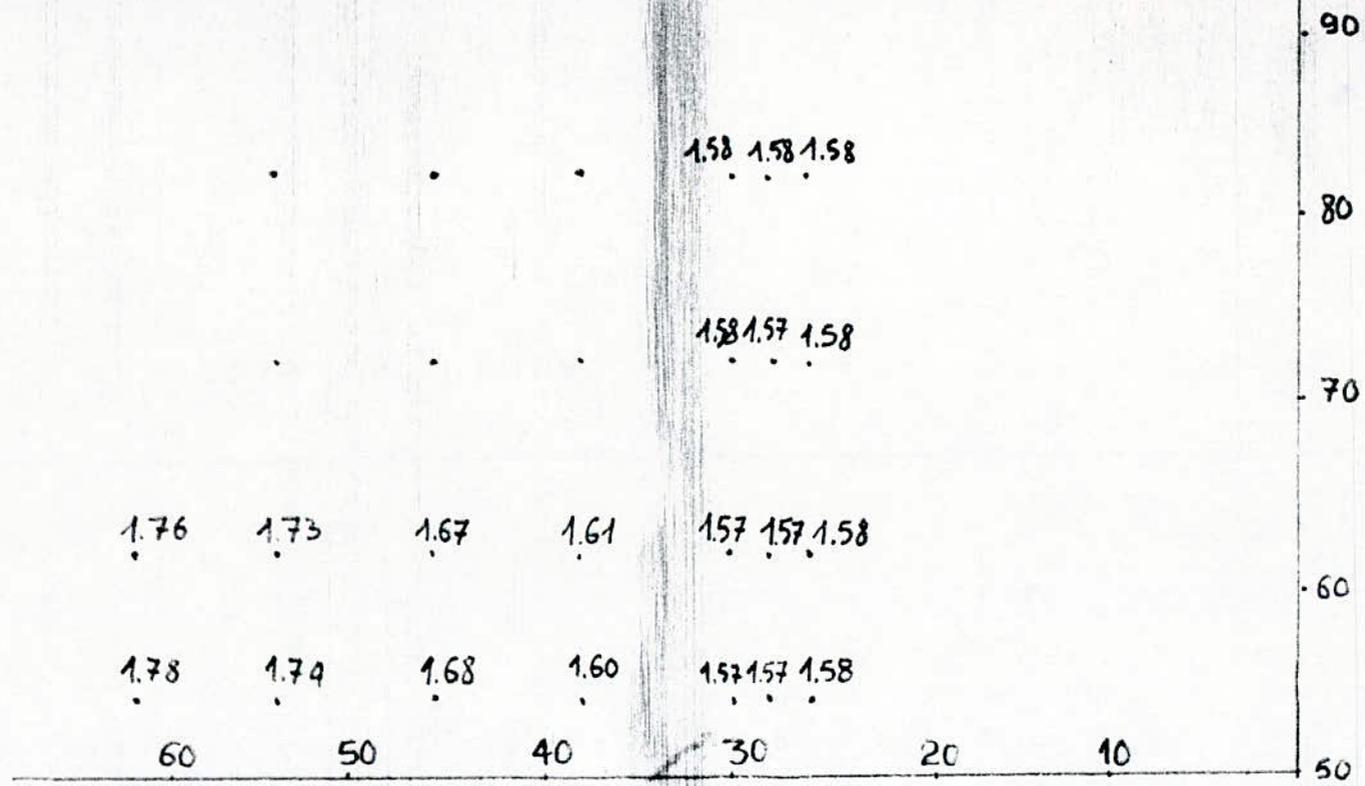
4/1

R=24m

5/2

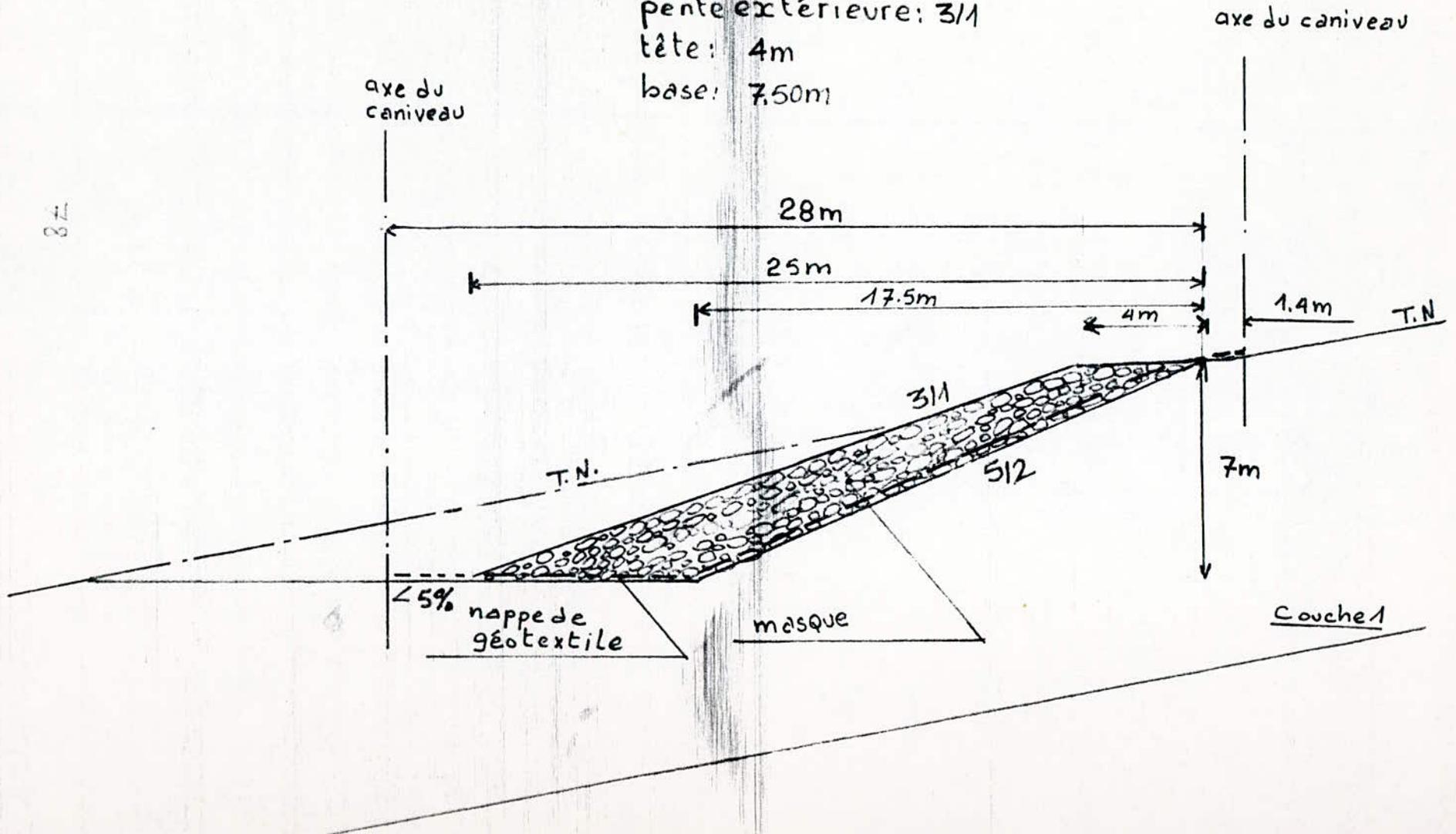
R=70





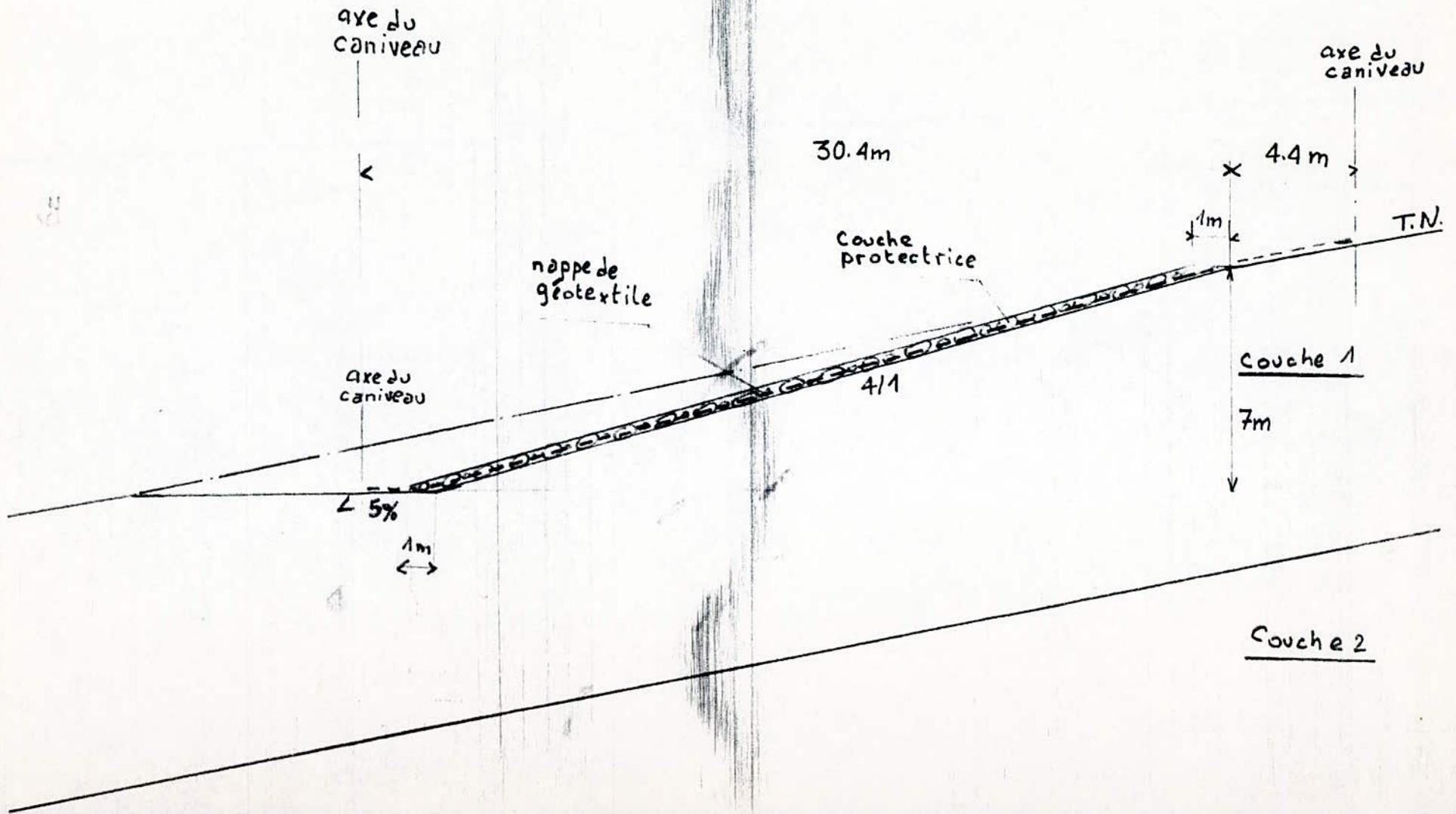
- Suite talus de 14m -

hauteur 7m
masque drainant: $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
pente intérieure: 5/2
pente extérieure: 3/1
tête: 4m
base: 7.50m



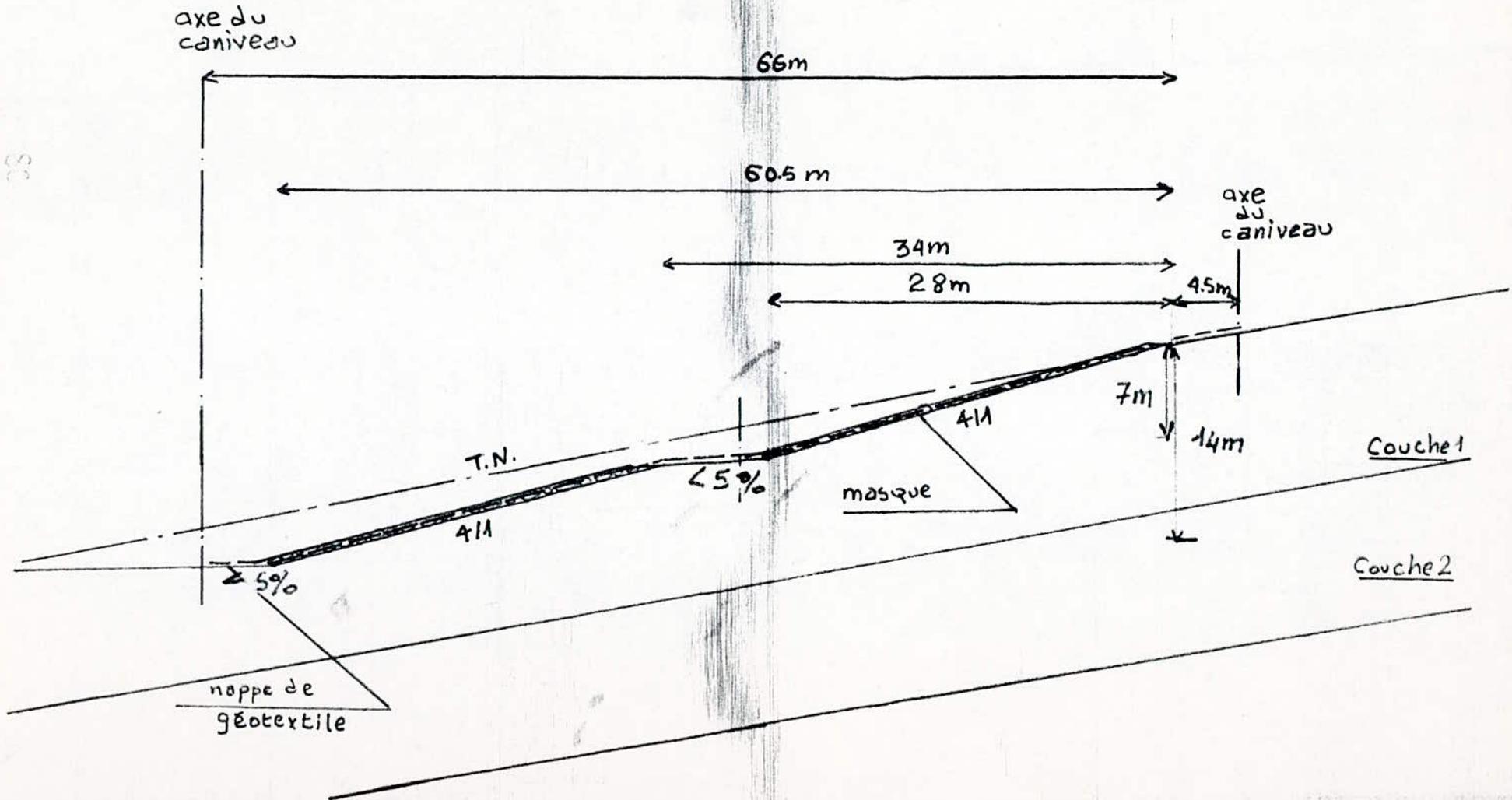
talus de 7m

Couche drainante : épaisseur 1m
pente 4/1
 $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$



talus de 14m
pente 4/1

Couche drainante: épaisseur 1m: $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$



hauteur de 14m

talus supérieur:

talus inférieur:

Couche drainante de 1m : Pente: 4/1

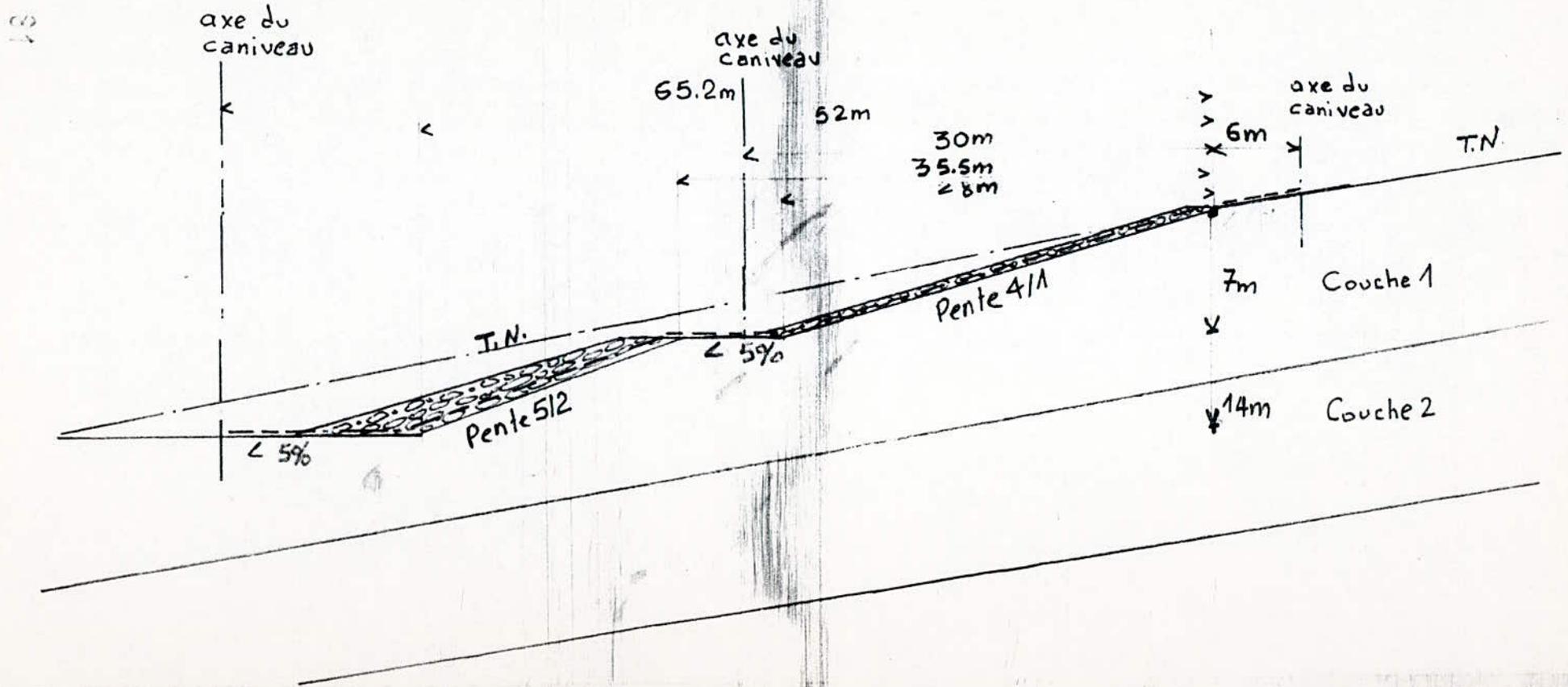
$\gamma = 20 \frac{kN}{m^3}$

pente intérieure: 5/2

pente extérieure: 3/1

tête : 4m

base: 7.50m



CONCLUSION

=====

Tous les cercles obtenus par les calculs montrent que la surface de glissement probable est bien circulaire.

On peut donc admettre que le calcul a la rupture circulaire est suffisant et permet de tirer des conclusions pouvant aider a stabiliser les terrains en mouvement.

De plus, les deux solutions que nous avons presentes sont les resultats de calculs iteratifs (en utilisant le programme expose en deuxieme partie), ainsi que quelques observations que nous avons eu l'occasion de faire pendant notre sejour a Jijel.

Il convient de signaler qu'a priori la deuxieme solution s'avere tres economique, neanmoins il est necessaire d'utiliser l'autre solution pour des terrains deja terrasses avec de faibles pentes et permettre ainsi le renforcement du pied .

Pour les confortements utilisant des ancrages, on s'est rendu compte au fur et a mesure de l'etude que ni l'anisotropie des argiles tres remaniees consequence de "Paleoglissements" qui ont deja affectes la region (les feuillets des argiles ont diverses directions), ni le comportement de ces argiles une fois imbibees (aucune adherence possible avec les aciers) ne peuvent conclure a l'utilisation de ce genre de confortement.

B I B L I O G R A P H I E

- Groupe stabilite talus, Etude theorique des glissements, L.N.T.P.
- Calcul de la stabilite des pentes en rupture non circulaire, R.R.T., Rapport de recherche N° 36, Juin 1974.
- Cours de mecanique des sols, Costet & Sanglerat, Ed. Dunod.
- Pratique des sols et fondations, G. Filliat, Ed. Moniteur, 1980.
- Fondations et ouvrages en terre, G. Philipponat, Ed. Eyrolles, 1979.
- Stabilite des talus, Bulletin des L.P.C, N° special II, Mars 1976.
- Documents Bouygues - Transurb, Rapports geotechniques.

A

VARIATION DE F_s EN FONCTION DU NOMBRE DE TRANCHE

METHODE: BISHOP/FELLENIUS

B OU F? F

AVEC NAPPE (OUI/NON)? OUI

POINTS ANGULEUX DE LA NAPPE

NOMBRE DE POINTS? 2

? -20,8.081

? 56,-22.625

GAW=? 10

ANGLE DE TALUS NATUREL

? .384

POINTS ANGULEUX DU TALUS

NOMBRE DE POINTS? 3

? 0,0

? 37.832,-18.919

? 56,-18.919

CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES ET GEOTECHNIQUES DES COUCHES

NOMBRES DE COUCHES? 2

BC(1)=? .384

BC(2)=? .384

HC(1)=? 15.135

GAMMA HUMIDE(1) GAMMA SAT(1) COM(1)

? 23,23,30.646

VOULEZ-VOUS INTRODUIRE UN MASQUE DRAINANT

AVEC LES MEMES DONNEES (OUI/NON)? NON

OX INITIALE OX FINALE FOX

? 20,32,4

OY INITIALE OY FINALE FOY

? 8,32,4

PAS DU RAYON? 1

NOMBRE DE TRANCHES=? 30

OX	OY	RAYON	MOMENT	Fs
20	8	16.91003	947.8334	6.315967
20	8	17.91003	3313.291	3.331771
20	8	18.91003	6695.786	2.472414
20	8	19.91003	11029.77	2.064404
20	8	20.91003	16305.14	1.826076
20	8	21.91003	22531.53	1.648171
20	8	22.91003	29664.52	1.559681
20	8	23.91003	37726.85	1.482355
20	8	24.91003	46749.6	1.424487
20	8	25.91003	56759.73	1.379703
20	8	26.91003	67791.96	1.343957
20	8	27.91003	79897.9	1.314475
20	8	28.91003	93080.31	1.29015
20	8	29.9426	93531.61	1.289417
RAYON DEPASSANT LE SUBSTRATUM CHANGEMENT DE CENTRE				
24	8	18.40856	340.9138	9.317745
24	8	19.40856	2926.319	3.771702
24	8	20.40856	6303.172	2.630075
24	8	21.40856	11162.45	2.137779
24	8	22.40856	18879.21	1.863632

24	8	24,40856	31442,27	1,567887
24	8	25,40856	40343,88	1,478673
24	8	26,40856	50307,31	1,410693
24	8	27,40856	61331,52	1,35968
24	8	28,40856	73453,53	1,319938
24	8	29,40856	86709,54	1,288094
24	8	30,40856	101116,8	1,263751
24	8	30,44133	101611,4	1,263277

RAYON DEPASSANT LE SUBSTRATUM .CHANGEMENT DE CENTRE

28	8	19,90709	186,4688	20,02081
28	8	20,90709	2415,58	4,434007
28	8	21,90709	6122,256	2,838106
28	8	22,90709	11064,43	2,231614
28	8	23,90709	17174,36	1,912448
28	8	24,90709	24434,24	1,715663
28	8	25,90709	32848,54	1,582239
28	8	26,90709	42433,87	1,485812
28	8	27,90709	53214,03	1,412832
28	8	28,90709	65225,69	1,360966
28	8	29,90709	78451,03	1,338672
28	8	30,90709	91874,12	1,325456
28	8	31,90709	106364,5	1,318626
28	8	31,93966	106849,4	1,319611

RAYON DEPASSANT LE SUBSTRATUM .CHANGEMENT DE CENTRE

32	8	22,40562	1811,027	5,521096
32	8	23,40562	5564,766	3,116763
32	8	24,40562	10737,73	2,350221
32	8	25,40562	17212,67	1,973621
32	8	26,40562	24949,53	1,749982
32	8	27,40562	33940,27	1,601255
32	8	28,40562	44033,17	1,548827
32	8	29,40562	54955,84	1,514998
32	8	30,40562	66696,8	1,492986
32	8	31,40562	79427,15	1,474642
32	8	32,40562	93295,94	1,436617
32	8	33,40562	108369,2	1,419885
32	8	33,43839	108888,5	1,419238

RAYON DEPASSANT LE SUBSTRATUM .CHANGEMENT DE CENTRE

OX	OY	RAYON	MOMENT	Fs
20	12	20,61873	1601,202	5,522701
20	12	21,61873	4923,471	3,128704
20	12	22,61873	9520,392	2,363814
20	12	23,61873	15294,6	1,984834
20	12	24,61873	22134,23	1,763679
20	12	25,61873	30026,15	1,623116
20	12	26,61873	38980,08	1,526359
20	12	27,61873	49019,45	1,455802
20	12	28,61873	60177,05	1,402022
20	12	29,61873	72481,34	1,359745
20	12	30,61873	85954,96	1,325767
20	12	31,61873	100643,9	1,297732
20	12	32,61873	116576,6	1,27424
20	12	32,6515	117120	1,273539

RAYON DEPASSANT LE SUBSTRATUM CHANGEMENT DE CENTRE

24	12	22.11726	1034.704	7.584844
24	12	23.11726	4330.042	3.509864
24	12	24.11726	9112.182	2.511442
24	12	25.11726	15218.36	2.060799
24	12	26.11726	22593.65	1.804448
24	12	27.11726	31222.31	1.63777
24	12	28.11726	41023.82	1.523259
24	12	29.11726	51993.3	1.442567
24	12	30.11726	64155.94	1.382791
24	12	31.11726	77527.43	1.337054
24	12	32.11726	92156.81	1.300724
24	12	33.11726	108066.4	1.271331
24	12	34.11726	125302.7	1.249568
24	12	34.15003	125893.7	1.249123

RAYON DEPASSANT LE SUBSTRATUM CHANGEMENT DE CENTRE

28	12	23.61578	474.5088	13.00877
28	12	24.61578	3602.823	4.062811
28	12	25.61578	8498.012	2.701353
28	12	26.61578	14684.47	2.151274
28	12	27.61578	22669.86	1.854142
28	12	28.61578	31820.19	1.668308
28	12	29.61578	42328.62	1.54122
28	12	30.61578	54202.97	1.448457
28	12	31.61578	67386.36	1.378353
28	12	32.61578	81874.66	1.329766
28	12	33.61578	97358.61	1.31375
28	12	34.61578	113721	1.304629
28	12	35.61578	130950.6	1.301354
28	12	35.64855	131524.6	1.301424

RAYON DEPASSANT LE SUBSTRATUM CHANGEMENT DE CENTRE

32	12	25.11431	44.06289	64.3105
32	12	26.11431	2774.958	4.925422
32	12	27.11431	7693.18	2.950051
32	12	28.11431	14301.27	2.263038
32	12	29.11431	22453.79	1.914405
32	12	30.11431	32092.15	1.703829
32	12	31.11431	43195.19	1.563019
32	12	32.11431	55657.49	1.502483
32	12	33.11431	69087.9	1.472103
32	12	34.11431	83475.29	1.450393
32	12	35.11431	99011.41	1.430565
32	12	36.11431	115578.2	1.398069
32	12	37.11431	133567.6	1.383713
32	12	37.14708	134180.2	1.383264

RAYON DEPASSANT LE SUBSTRATUM CHANGEMENT DE CENTRE

OX	OY	RAYON	MOMENT	Fs
20	16	23.32742	41.8269	61.87763
20	16	24.32742	2498.77	4.926015
20	16	25.32742	6929.547	2.958325
20	16	26.32742	12857.11	2.266011
20	16	27.32742	20055.48	1.92851
20	16	28.32742	28481.47	1.731179
20	16	29.32742	38140.46	1.601479
20	16	30.32742	49040.42	1.509946
20	16	31.32742	61186.77	1.442264
20	16	32.32742	74623.3	1.38995
20	16	33.32742	89350.09	1.348689
20	16	34.32742	105424.2	1.315083
20	16	35.32742	122848.1	1.287422
20	16	36.32742	141668	1.264186
20	16	36.36019	142308.9	1.263486

RAYON DEPASSANT LE SUBSTRATUM CHANGEMENT DE CENTRE

24	16	25.82595	1718.746	6.432003
24	16	26.82595	6094.009	3.291041
24	16	27.82595	12236.76	2.41002
24	16	28.82595	19952.97	1.995773
24	16	29.82595	29096.31	1.752569
24	16	30.82595	39557.56	1.60162
24	16	31.82595	51348.85	1.498815
24	16	32.82595	64482.99	1.424489
24	16	33.82595	78972.4	1.36851
24	16	34.82595	94836.42	1.324981
24	16	35.82595	112123.9	1.290019
24	16	36.82595	130827.6	1.261669
24	16	37.82595	151033.1	1.240848
24	16	37.85872	151725.8	1.240418

RAYON DEPASSANT LE SUBSTRATUM CHANGEMENT DE CENTRE

28	16	27.32448	939.6182	9.737249
28	16	28.32448	5115.761	3.759395
28	16	29.32448	11351.89	2.583328
28	16	30.32448	19341.66	2.081991
28	16	31.32448	28968.92	1.804561
28	16	32.32448	40183.2	1.628246
28	16	33.32448	52885.01	1.505876
28	16	34.32448	67009.07	1.420579
28	16	35.32448	82568.91	1.357579
28	16	36.32448	99594.29	1.31136
28	16	37.32448	117813.6	1.298645
28	16	38.32448	137002.6	1.291327
28	16	39.32448	157118.8	1.289395
28	16	39.35725	157800.5	1.289293

RAYON DEPASSANT LE SUBSTRATUM CHANGEMENT DE CENTRE

32	16	28.82301	2677.1741	22.67828
32	16	29.82301	4030.542	4.46064
32	16	30.82301	10263.8	2.806225
32	16	31.82301	18462.66	2.186809
32	16	32.82301	28455.16	1.863051
32	16	33.82301	40164.16	1.664335
32	16	34.82301	53555.28	1.530124
32	16	35.82301	68576.7	1.460123
32	16	36.82301	84662.22	1.433273
32	16	37.82301	101686.4	1.415375
32	16	38.82301	119898	1.382276
32	16	39.82301	139313.6	1.372182
32	16	40.82301	160414.9	1.358491
32	16	40.85578	161130	1.358114

RAYON DEPASSANT LE SUBSTRATUM CHANGEMENT DE CENTRE

OX	OY	RAYON	MOMENT	F _s
20	20	27.03611	247.6951	22.3892
20	20	28.03611	3678.963	4.460763
20	20	29.03611	9295.321	2.798455
20	20	30.03611	14501.36	2.204427
20	20	31.03611	2182.72	1.900447
20	20	32.03611	35300.26	1.715458
20	20	33.03611	46839.75	1.591194
20	20	34.03611	59792.34	1.50235
20	20	35.03611	74179	1.435653
20	20	36.03611	90068.94	1.383963
20	20	37.03611	107315.9	1.342648
20	20	38.03611	126102.1	1.309124
20	20	39.03611	146412	1.281311
20	20	40.03611	168279.9	1.257871
20	20	40.06889	169023.2	1.257165

RAYON DÉPASSANT LE SUBSTRATUM . CHANGEMENT DE CENTRE

24	20	29.53464	2651.492	5.609645
24	20	30.53464	8256.455	3.104849
24	20	31.53464	15905.07	2.315744
24	20	32.53464	25224.31	1.936533
24	20	33.53464	36083.5	1.721561
24	20	34.53464	48464.73	1.582955
24	20	35.53464	62360.16	1.486388
24	20	36.53464	77776.4	1.415417
24	20	37.53464	94708.53	1.361406
24	20	38.53464	113209.7	1.318705
24	20	39.53464	133259.9	1.284498
24	20	40.53464	154918.9	1.256327
24	20	41.53464	176238.9	1.235353
24	20	41.56742	179036.7	1.23495

RAYON DÉPASSANT LE SUBSTRATUM . CHANGEMENT DE CENTRE

28	20	31.03317	1619.871	7.841852
28	20	32.03317	6992.808	3.506521
28	20	33.03317	14721.56	2.47979
28	20	34.03317	24471.77	2.020903
28	20	35.03317	36064.87	1.757997
28	20	36.03317	49300.84	1.594155
28	20	37.03317	64142.92	1.4844
28	20	38.03317	80587	1.40603
28	20	39.03317	98650.31	1.347335
28	20	40.03317	118362.7	1.30173
28	20	41.03317	139459.1	1.288497
28	20	42.03318	161609.2	1.282628
28	20	43.03318	184817.9	1.281005
28	20	43.06595	185601.5	1.280932

RAYON DÉPASSANT LE SUBSTRATUM . CHANGEMENT DE CENTRE

32	20	32.5317	688.8046	14.00694
32	20	33.5317	5616.226	4.087865
32	20	34.5317	13314.75	2.680492
32	20	35.5317	23258.79	2.11905
32	20	36.5317	35251.32	1.817546
32	20	37.5317	49197.05	1.628669
32	20	38.5317	64987.58	1.499777
32	20	39.5317	82478.61	1.42146
32	20	40.5317	101241.7	1.403517
32	20	41.5317	120958.5	1.391591
32	20	42.5317	142007.6	1.362391
32	20	43.5317	164444.7	1.353357
32	20	44.5317	188814	1.339692
32	20	44.56447	189632.6	1.33939

RAYON DÉPASSANT LE SUBSTRATUM . CHANGEMENT DE CENTRE

OX	OY	RAYON	MOMENT	F _s
20	24	30.74481	632.995	13.90457
20	24	31.74481	5122.639	4.050373
20	24	32.74481	11850.27	2.70179
20	24	33.74481	20405.74	2.171297
20	24	34.74481	30666.32	1.886213
20	24	35.74481	42570.95	1.708385
20	24	36.74481	56088.87	1.587178
20	24	37.74481	71212.18	1.499438
20	24	38.74481	87942.76	1.433155
20	24	39.74481	106304.5	1.381321
20	24	40.74481	126292.7	1.339898
20	24	41.74481	147937.9	1.30605
20	24	42.74481	171371.8	1.277888
20	24	43.74481	196321	1.254125
20	24	43.77758	197171.3	1.25341

RAYON DEPASSANT LE SUBSTRATUM CHANGEMENT DE CENTRE

24	24	32.24334	31.95931	101.8253
24	24	33.24334	3871.378	4.993446
24	24	34.24334	10839.86	2.9315
24	24	35.24334	19920.4	2.239348
24	24	36.24334	30837.5	1.903717
24	24	37.24334	43515.72	1.704962
24	24	38.24334	57916.4	1.573658
24	24	39.24334	74023.18	1.480649
24	24	40.24334	91819.34	1.411659
24	24	41.24334	111337.2	1.358318
24	24	42.24334	132563.7	1.316157
24	24	43.24334	155531.9	1.281984
24	24	44.24334	180277.4	1.25372
24	24	45.24334	206811	1.231961
24	24	45.27611	207716.5	1.231604

RAYON DEPASSANT LE SUBSTRATUM CHANGEMENT DE CENTRE

28	24	34.74187	2553.561	6.604537
28	24	35.74187	9272.369	3.292421
28	24	36.74187	18644.9	2.387882
28	24	37.74187	30211.4	1.960394
28	24	38.74187	43661.68	1.724398
28	24	39.74187	58945.71	1.575412
28	24	40.74187	76030.16	1.473129
28	24	41.74187	94914.02	1.398649
28	24	42.74187	115601.9	1.34213
28	24	43.74187	138078.6	1.298086
28	24	44.74187	162248.2	1.280789
28	24	45.74187	187517.8	1.276215
28	24	46.74187	213969.3	1.274733
28	24	46.77464	214859	1.274691

RAYON DEPASSANT LE SUBSTRATUM CHANGEMENT DE CENTRE

32	24	36.2404	1317.737	10.25009
32	24	37.2404	7570.447	3.782219
32	24	38.2404	16884.24	2.569424
32	24	39.2404	28726.91	2.058101
32	24	40.2404	42876.69	1.774394
32	24	41.2404	59039.17	1.596362
32	24	42.2404	77113.9	1.47878
32	24	43.2404	97088.01	1.395506
32	24	44.2404	118617.4	1.383451
32	24	45.2404	141294.5	1.37312
32	24	46.2404	165293.2	1.347162
32	24	47.2404	190905.3	1.338753
32	24	48.2404	218563.5	1.310796
32	24	48.27317	219481.6	1.310589