République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université YAHIA FARES de Médéa

Faculté de Technologie

Département de Génie Civil

Projet de Fin d'Etude pour l'obtention du diplôme :

Master en Génie Civil

Option : GEOTECHNIQUE

Thème :

Développement d'une application de calcul des essais géotechniques

Réalisé par :

- BARKI BRAHIM.
- ROUIS MOHAMED

Proposé et Dirigé par :

- M^{me}. MIR MOUNA.

Promotion:2018

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier ALLAH pour nous avoir guidés vers le bon chemin de la lumière et du savoir et pour nous avoir donnés du courage et de la volonté afin de pouvoir réaliser ce modeste travail.

Nous remercions nos très chers parents pour leur soutien et leur patience.

Nous voudrions présenter nos remerciements à notre encadreur Dr. MIR MOUNA. Nous voudrions également lui témoigner notre gratitude pour sa patience et son soutien qui nous a été précieux afin de mener notre travail à bon port.

Nous tenons à remercier : le président et les membres de jury qui ont accepté d'évaluer notre travail.

Nos sincères remerciements vont également à tous les enseignants du département de Génie civil de l'université de Médéa, et à tous les enseignants qui ont participé à notre formation.

Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui, de loin ou de près, ont contribué à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail aux personnes qui me sont les plus chères

A Mes chers parents qu'Allah les gardes et les préserves.

A Mes frères : Redha, Redhoian, et Brahim.

A Mes Sœurs : Asmaa Et Hadjer.

A toute la famille ***« Rouis»*** *et* ***« Bengherbia»*** *sans exception.*

Je remercie mon ami et binôme ***Brahim*** *qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail.*

Mes amis intimes : Ismail, Rabah et Ahmed.

Mohamed



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail aux personnes qui me sont les plus chères

A Mes chers parents que dieu les gardes et les préserves.

A Mes frères : Mohamed, Kamel, Djamel et Ismail.

A Mes Sœurs : Rachida, Hnifa, Nawel et Amina.

A toute la famille ***« BARKI»*** *sans exception.*

Je remercie mon ami et binôme Mohamed qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail.

Mes amis : Ossama, Amine, Othmane, Khelil et MOHAMED

Brahim



ملخص

يهدف هذا العمل المتواضع إلى تطوير تطبيق معلوماتي باستعمال اللغة البرمجية (visual basic). هذا التطبيق يمكن من تسهيل إجراء الحسابات المتعلقة ببعض التجارب الجيو تقنية.

ودراسة علاقة ارتباط بين بعض المعاملات لهذه التجارب الجيو تقنية.

Résumé

L'objectif de ce travail est le développement d'une application via le langage visual basic. Cette application à pour but la simplification de calcul de quelques essais géotechniques.

Une interface a été mise au point pour facilité l'introduction des données.

Des corrélations ont été effectué entre quelque paramètres des essais traiter et une comparaison avec les corrélations présentent dans la littérature été effectuée.

Abstract

The objective of this work is the development of a computer application via the visual basic language. This application is for simplifying the interpretation of some geotechnical tests. An interface has been developed to facilitate the introduction of data. Correlations were performed between some parameters of the assay and a comparison with the correlations presented in the literature.

Sommaire

Introduction générale ……..…1

Chapitre I : Présentation de quelques essais et corrélation

1- Essai de pénétration dynamique ……..2

1-1 Principe de l'essai ……...….2

1-2 Appareillage ……...……....…….3

1-2-1 Types d'appareillage du sondage dynamique ……...…….4

1-2-2 Mode opératoire ……4

1-2-3 Résultats et calculs ……....……5

- Calcul de la résistance dynamique de pointe Rp ……...8
- Sols intéressées par l'essai DPT ……...……..9
- Calcul de la capacité portante d'un pieu à partir d'essai DPT ……..9

2- L'essai œdométrique ……..11

2-1 Principe de l'essai ……..……..……..11

2-2 Appareillage ……..11

2-3 Mode opératoire ……...……12

2-3-1 Préparation de l'échantillon ……12

2-3-2 Mise en place de l'échantillon ……13

2-3-3 Réalisation de l'essai ……...13

2-4 Résultats et calculs ……...……13

3- Essai de cisaillement rectiligne à la boite ……..18

3-1 Principe de l'essai ……...……..18

3-2 Appareillage ……...……18

3-3 Mode opératoire ……..……..21

3-3-1 Préparation des plaques drainantes ……..21

3-3-2 Préparation des éprouvettes ……21

3-3-3 Réalisation de l'essai ……...22

3-4 Résultats et calcul ……...…….23

4- Les corrélations en mécanique des Sols ……27

4-1 Définition des corrélations ……..27

4-2 L'importance des corrélations ……..27

4-3 Conditions d'utilisation des corrélations ……28

4-4 Domaines de validité des corrélations ……29

Sommaire

4-5 Les différents types de corrélations qui existent dans la littérature ……29
4-5-1 Les corrélations de déformabilité ……30
4-5-2 Les corrélations de résistance ……..32
4-5-3 Les corrélations de la perméabilité ……34
4-5-4 Autres corrélations ……...34

Chapitre II : Présentation du langage VISUAL BASIC

1- Généralités ……..37
2- VBA ou VB ou Visual Basic ……37
3- Caractéristiques du langage Visual Basic ……37
4- Structure générale ……..38
a- la Boîte à outils …… 38
b- la barre des menus ……39
c- Feuille Interface Utilisateur ……39
d- Fenêtre propriétés ……39
e- Fenêtre explorateur des projets ……40
5- Objet VB.NET utilisés ……40
5-1 LABEL ……..40
5-2 TEXTBOX ……40
5-3 BUTTON ……41
5-4 COMBOBOX ……41
5-5 LISTBOX ……41
5-6 DATAGRIDVIEW ……41
6- Développement d'un programme sous VB ……..42
7- Exemple …… 42

Chapitre III : Mise au point de l'interface

1- Introduction ……44
2- L'application Géo-Essai ……..44
3- Présentation de l'application Géo-Essai ……..44
3-1- La page d'essai de pénétration dynamique ……..……46
3-1-1 La barre de menu ……46
3-1-2 Le groupe : CALCUL DE Rp ……..49
3-1-3 Le groupe : Présentation graphique des résultats ……...50

Sommaire

1- Le groupe « capacité portante » ……50

3-1-4 Méthode de calcul ……..……51

- Validation du Géo-Essai ……..……..53

3-2- La page d'essai d'œdométrique ……..…….54

3-2-1 La fenêtre de dialogue (par_oedo) ……..……54

3-2-2 La fenêtre : ESSAI_OEDOMETRIQE ……..……55

1- La barre de menu ……56

2- La Zone [Paramètres] ……56

3- Le groupe [Entrer les données] ……..57

4- La zone [tracer] et la zone de courbe ……57

5- La zone de calcul de σ_p [calcul segma p] ……58

6- La zone calcul de [calcul segma v0] ……60

3-2-3 Méthode de calcul ……60

3-3- La page d'essai de cisaillement rectiligne à la boite ……63

3-3-1. L'onglet « TAU(DL)» ……63

3-3-2. L'onglet « TAU(SEGMA)» ……64

3-3-3. Méthode de calcul ……68

- Validation du Géo-Essai ……..70

Chapitre IV : Corrélations entre quelque paramètre

1- Introduction ……71

2- Coefficient de corrélation (R) ……71

3- Base de données ……..71

- Les sites étudiés ……71

-Données de pénétration dynamique ……72

-Données oedométrique ……..72

-Données cisaillement a boite ……72

4- Corrélation entre les paramètres ……...73

4-1- Corrélation entre Rp et σ_p ……..73

4-1-1- Base de données ……73

4-1-2- Présentation des résultats ……75

4-2- Corrélation entre R_p et C ……..76

4-2-1- Base de données ……..76

4-2-2- Présentation des résultats ……77

Sommaire

4-3- Corrélation entre R_p et φ ……..79
4-3-1- Base de données ……..79
4-3-2- Présentation des résultats ……80
4-4- Corrélation entre C et C_c……81
4-4-1- base de données ……..81
4-4-2- Présentation des résultats ……82
4-5- Corrélation entre φ et C_c ……..83
4-5-1- Base de données ……83
4-5-2- Présentation des résultats ……84
Conclusion générale ……86
Bibliographie

Liste des figures

Chapitre I : Présentation de quelques essais et corrélation

Figure I- 1 : Principe de Pénétration dynamique ...…….…….2

Figure I- 2 : Eléments du pénétromètre dynamique …….3

Figure I- 3 : Implantation des sondages (projet de lotissement de 37 lots) ……..5

Figure I- 4 : Exemple de présentation des résultats N_d (profondeur) …….6

Figure I- 5 : Exemple de présentation des résultats Rp (profondeur) ……..7

Figure I- 6 : Cellule œdométrique …….…..12

Figure I- 8 : Courbe œdométrique ……..14

Figure I- 9 : Courbe œdométrique

Détermination de la contrainte de préconsolidation ……15

Figure I- 10: courbe typiques des états normalement consolidé et sur consolidé …..17

Figure I- 11 : Schéma de la boite de cisaillement …….…..18

Figure I- 12 : La machine de cisaillement …….19

Figure I- 13 : Schéma de l'appareil de cisaillement ……...19

Figure I-14 : La boite de cisaillement …….……20

Figure I- 15 : Contrainte de cisaillement en fonction du déplacement horizontal …24

Figure I- 16 : Contrainte de cisaillement en fonction de la Contrainte Paramètres de résistance au cisaillement pour critère de rupture défini ……...25

Figure I- 17 : courbe intrinsèques ……...26

Chapitre II : Présentation du langage VISUAL BASIC

Figure II-1 : Interface utilisateur de Visual-Basic 2010 ……38

Figure II-2 : La boite à outils de Visual-Basic ……...38

Figure II-3 : Feuille Interface Utilisateur …….. 39

Figure II-4 : Fenêtre de propriétés en Visual-Basic ……...39

Figure II-5 : quelques Objets VB.NET utilisés ……42

Figure II-6 : exemple de programme VB ……..42

Figure II-7 : Un exemple de code en Visual basic ……43

Figure II-8 : Avant le click …….43

Figure II-9 : Après le click …….43

Chapitre III : Mise au point de l'interface

Figure III-1 : L'application **Géo-Essai** …….…….44

Figure III-2 : L'interface de **Géo-Essai** …….44

Figure III-3 : La page d'essai de pénétration dynamique ……..46

Liste des figures

Figure III-4 : Onglet « Paramètres d'essai de pénétration » ……..46
Figure III-5 : fenêtre de modification des paramètres de pénétromètre ……47
Figure III-6 : Onglet des points de station pénétrométrique ……..48
Figure III-7 : superposition des courbes pénétrométriques ……48
Figure III-8 : fenêtre d'exportation des données vers Word ……49
Figure III-9 : le groupe« Calcul de R_p » ……...49
Figure III-10 : Présentation graphique des résultats ……50
Figure III-11 : le groupe « capacité portante » ……50
Figure III-12: calcul de $R_{pmoy...}$……...51
Figure III-13 : résultats de Geo_Essai ……...53
Figure III-14 : La page d'essai d'œdométrique ……54
Figure III-15 : fenêtre de paramètres de l'œdomètre ……55
Figure III-16 : La fenêtre : ESSAI_OEDOMETRIQE ……..56
Figure III-17 : Zone de Paramètres oedométrique ……56
Figure III-18 : Le groupe [Entrer les données] ……..57
Figure III-19 : La zone [tracer] et la zone de courbe ……57
Figure III-20 : zone de calcul de σ_p ……...58
Figure III-21 : courbe oedométrique ……58
Figure III-21 : courbe oedométrique ……58
Figure III-22 : courbe oedométrique sur géo_essai ……...59
Figure III-23 : zone calcul de σ_0 ……..……60
Figure III-24 : schéma d'oedomètre ……..61
Figure III-25 : les paramètres sur géo_essai ……..62
Figure III-26 : les résultats de géo_essai ……...63
Figure III-27 : fenêtre d'essai de cisaillement- onglet « TAU(DL)» ……...64
Figure III-28 : fenêtre d'essai de cisaillement- onglet « TAU(SEGMA)» ……65
Figure III-29 : La droite intrinsèque ……..65
Figure III-30 : La droite intrinsèque pour l'ajuster ……...66
Figure III-31 : fenêtre de calcul de la contrainte de sol ……67
Figure III-32 : fenêtre d'exportation des données vers Word ……...67
Figure III- 33 : le graphe $\boldsymbol{\tau}$ en fonction de σ' ……68
Figure III-34 : le graphe $\boldsymbol{\tau}$ en fonction de $\boldsymbol{\sigma'}$ (l'exemple) ……69
Figure III-35 : les résultats de Géo-essai ……...70

Liste des figures

Chapitre IV : Corrélations entre quelque paramètre

Figure VI-1 : courbe de pénétometrique- projet de SEDI AMER ……..….72

Figure VI-2: résultats d'essai oedométrique- projet de SEDI AMER- ……..…72

Figure VI-3: résultats d'essai de cisaillement- projet de KASR EL BOUKHARI- ...73

Figure VI-4 : σ_p en fonction de Rp ……..……...75

Figure VI-5 : l'histogramme σ_p / R_p ……..……..……75

Figure VI-6 : C en fonction de R_p ……..77

Figure VI-7 : l'histogramme C / R_p ……78

Figure VI-8 : φ en fonction de R_p ……..80

Figure VI-9 : l'histogramme φ/ R_p ……...……..80

Figure VI-11 : l'histogramme C_c/C ……82

Figure VI-12 : φ en fonction de C_c ……..84

Figure VI-13 : l'histogramme φ / C_c ……..85

Liste des tableaux

Chapitre I : Présentation de quelques essais et corrélation

Tableau I- 1 : caractéristiques d'appareillage du sondage dynamique ……..…..4

Tableau I- 2 : contrainte verticale maximale appliquée à la série d'éprouvettes …...22

Tableau I- 2 : les paramètres nécessaires pour les corrélations en fonction du type du sol ……..29

Tableau I- 3 : Corrélations entre la l'indice de compression et la limite de liquidité 30

Tableau I- 4 : Corrélations entre l'indice de compression et l'indice des vides ….. 30

Tableau I- 5 : corrélations entre l'indice de compression et la teneur en eau ……..31

Tableau I- 6 : Corrélations de la contrainte de préconsolidation ……..31

Tableau I- 7 : les valeurs du module pressiométrique en fonction de la résistance de pointe statique ……..32

Tableau I- 8 : les valeurs du facteur N_K ……33

Tableau I- 9 : Corrélations entre la cohésion apparente et la résistance de pointe dynamique ……...33

Tableau I- 10 : les corrélations entre la cohésion apparente et l'essai pressiométrique ……..33

Tableau I- 11 : corrélations du coefficient de poussée des terres au repos K_0 ……..34

Tableau I- 12 : les corrélations de Biarez ……..35

Tableau I- 13 : Estimation des résistances des pénétromètres (statique et dynamique) …….……35

Chapitre III : Mise au point de l'interface

Tableau III-1 : Calcul de R_p ……52

Tableau III-2 : La comparaison entre les résultats de l'application et de l'exemple ...53

Chapitre IV : Corrélations entre quelque paramètre

Tableau VI-1 : Les valeurs du coefficient de corrélation (R) …….……..71

Tableau VI-2 : Corrélation entre Rp et σ_p …….……..…….73

Tableau VI- 3: Corrélation entre R_p et C ……..76

Tableau VI-4 : les valeurs du rapport C / R_p ……..…..……78

Tableau VI-5 : Corrélation entre R_p et φ ……..79

Tableau VI-6 : Corrélation entre C et C_c ……..…...81

Tableau VI-7 : Corrélation entre φ et C_c ……..83

Liste des symboles

A : l'aire de la section droite de la pointe (m^2).

C : la cohésion.

C_c : l'indice de compression.

C_s : l'indice de recompression.

d_{max} : la plus grande dimension des particules constituant le matériau soumis à essai.

e : l'indice des vides du sol.

e_i : l'indice des vides initial.

g : l'accélération de la pesanteur (m/s^2).

H : la hauteur de chute libre du mouton (m).

h : la hauteur de l'éprouvette en millimètres.

L : le diamètre intérieur au côté intérieure de la boite de cisaillement de section droite circulaire ou carré.

m : la masse du mouton (kg).

m' : la masse frappées (kg) [enclume, guidage du mouton, des tiges et la pointe].

N : l'effort vertical.

Nd : le nombre de coups de mouton nécessaire pour un enfoncement h de la pente.

R : le coefficient de corrélation.

R_p : est la résistance dynamique de pointe exprimée en Pascals.

s : section droite de l'éprouvette.

T : l'effort horizontal de cisaillement.

V : Le volume de l'éprouvette à une étape donnée.

w_d : poids de sol sec obtenu par pesée de l'éprouvette après passage à l'étuve.

γ_d : la masse volumique sèche de l'éprouvette avant essai et en fin de consolidation.

Δh : déplacement vertical.

δ_l: déplacement horizontal**.**

Δl : déplacement relatif horizontal.

ρ_s : la masse volumique.

ρ_s : la masse volumique des grains.

σ' : la contrainte normale effective.

σ'_p : la contrainte verticale effective de préconsolidation.

σ_v : la contrainte effective verticale.

τ : la contrainte de cisaillement .

ϕ: l'angle de frottement.

γ_s : poids volumique des grains. on pourra prendre généralement.

Introduction générale

L'étude de réalisation de n'importe quelle construction (bâtiment, établissement, pont, mur de soutènement …) industrielle ou civil, dépend d'une étude géotechnique à savoir les caractéristiques et la qualité du sol du projet. Cette étude géotechnique dépend principalement d'une série d'essais en laboratoire et in situ.

Cependant, après l'achèvement des essais, le géotechnicien a besoin de faire des calculs et de tracer les courbes correspondantes, à ces essais géotechniques, pour pouvoir analyser les résultats obtenus et décider de la nature du sol étudié.

C'est pourquoi nous avons développé une application en utilisant le langage Visual Basic pour aider à l'interprétation de quelques essais.

Le travail présenté comporte :

- Une introduction générale qui présente la problématique du sujet.

Une première partie consacrée à l'étude bibliographique : Cette étude contient les généralités sur l'essai de pénétration, l'essai œdométrique et l'essai de cisaillement à la boite. Ainsi, pour chaque essai est donné : la définition de l'essai, son principe, les appareils utilisés, le mode opératoire, les calculs et les résultats. Et le concept des corrélations, leurs intérêt pour le géotechnicien ainsi que la présentation des différentes relations corrélées appliquées sur différents paramètres et types de sols

- Une deuxième partie contient un aperçu du langage de Visual basic.
- Une troisième partie expose et explique le travail de l'application et montre les calculs adoptés.
- La quatrième partie est dédiée à l'étude de quelques corrélations entre les paramètres de ces trois essais.

Enfin, une conclusion générale et des perspectives.

Ce chapitre est destinée à donner un bref aperçu sur l'essai de pénétration dynamique, l'essai œdométrique et l'essai de cisaillement à la boite et donner un petit résumé sur les corrélations en mécanique des sols.

1-Essai de pénétration dynamique :

Le sondage au pénétromètre dynamique est un moyen de reconnaissance géotechnique qui teste le terrain en place et fournit en tant que tel une caractéristique de sol.

Un train de tige lisse, de faible diamètre, muni à son extrémité d'une pointe, est enfoncé par battage dans le sol.

La méthode de mesure consiste à compter le nombre de coups pour obtenir un enfoncement du train de tige de 10 ou 20 cm. On obtient dans ce cas un diagramme de pénétration dynamique donnant en fonction de la profondeur, le nombre de coups pour 10 ou 20 cm d'enfoncement.

1-1 Principe de l'essai :

L'essai de pénétration dynamique consiste à :

- Enfoncer dans le sol, par battage de manière continue, un train de tiges muni, en partie inférieure d'une pointe débordante.
- Noter le nombre de coups nécessaires (Nd10 ou Nd20) pour faire pénétrer dans le sol la pointe d'une distance (h) de 10 ou 20 cm. (Figure I-1)

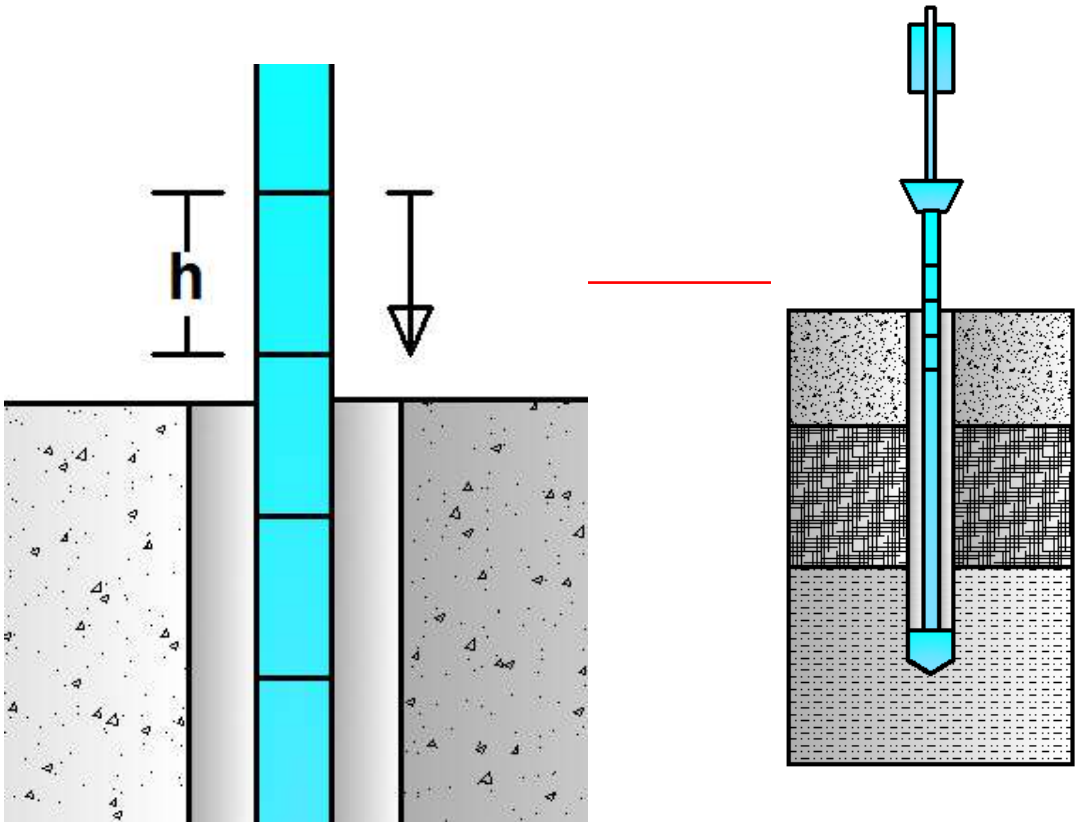


Figure I- 1 : Principe de Pénétration dynamique.

1-2 Appareillage :

Le pénétromètre dynamique est constitué de quatre (04) éléments importants :
Le mouton, l'enclume, le train de tiges et la pointe.

Le schéma de la Figure I- 2 montre les éléments qui composent le pénétromètre dynamique.

- **Le mouton**

C'est la source d'énergie, le plus souvent à chute libre, tombant d'une hauteur constante (H).

- **L'enclume et guidage du mouton**

L'enclume est en acier et solidaire du train de tiges.

- **Les tiges**

Les tiges de battage sont en acier. Elles sont pleines et identique. Les tiges sont assemblées fermement pour constituer un train de tiges rigidement lié selon un axe rectiligne et continu.

- **La pointe :**

La pointe est débordante. Elle peut être soit perdue soit récupérable et fixée à la tige inférieure.

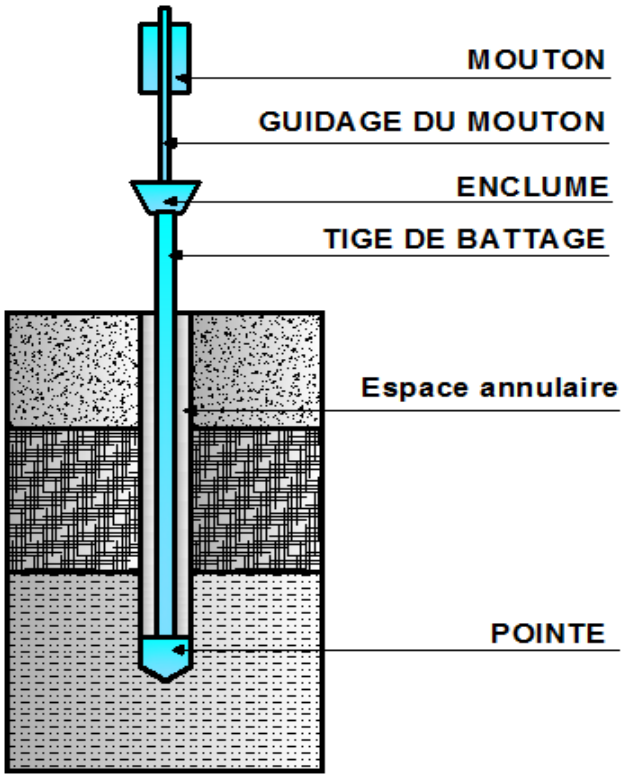


Figure I- 2 : Eléments du pénétromètre dynamique

1-2-1 Types d'appareillage du sondage dynamique :

L'Eurocode7 distingue quatre types d'appareils : le pénétromètre dynamique léger (DPL), le pénétromètre dynamique moyen (DPM), le pénétromètre dynamique lourd (DPH) et le pénétromètre dynamique très lourd (DPSH). La norme Française distingue deux types d'appareils : le pénétromètre dynamique type A (DPA) et le pénétromètre dynamique type B (DPB).

Les principales caractéristiques de ces matériels sont réunies dans le Tableau I- 1.

Tableau I- 1 : caractéristiques d'appareillage du sondage dynamique

Elément		Sondage dynamique					
		Leger (DPL)	**Moyen** (DPM)	**Lourd** (DPH)	**Très lourd** (DPSH)	**PDA** (NF P94-114)	**PDB** (NF P94-115)
Mouton	Masse m (kg)	10	30	50	63.5	32-64-96-128	64
	Hauteur de chute H(m)	0.5	0.5	0.5	0.75	0.75	0.75
Enclume	Masse (kg)	6	18	18	30	10-15	10-15
Tiges	Longueur (m)	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2
	Masse (kg)	3	6	6	6	4	8.5
	Enfoncement h (cm)	10	10	10	20	10	20
Pointe	Aire de section droite A (cm^2)	10	10	5	20	30	20

1-2-2 Mode opératoire :

- Avant de commencer l'essai de pénétration, il est nécessaire de déterminer l'emplacement des stations pénétrométriques sur un plan de situation. (Figure I-3)
- Sous l'effet de la chute du mouton à la cadence de 15 à 30 fois par minute, le train de tiges est battu d'une manière continue.
- Le nombre de coups doit être enregistré tous les 10 cm pour les sondages dynamiques légers (DPL), moyens (DPM), lourds (DPH) et PDA, soit N10, et tous les 20 cm pour les sondages dynamiques très lourds (DPSH) et PDB : N20.

- Pour obtenir des résultats fiables, les profondeurs de sondage maximales recommandées sont les suivantes :

8 m pour les sondages dynamiques légers (DPL), 20 m à 25 m pour les sondages dynamiques moyens (DPM) et 25 m pour les sondages dynamiques lourds (DPH).

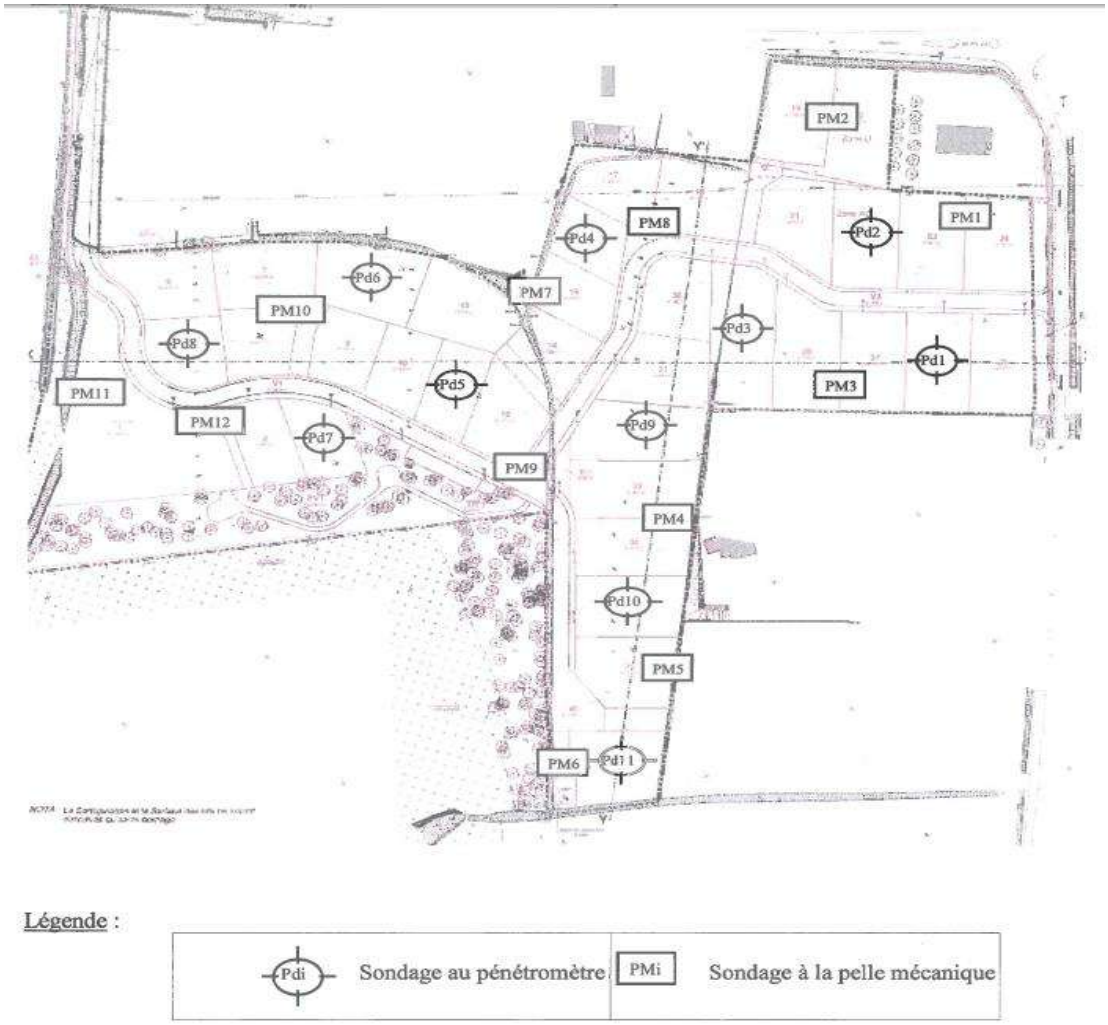


Figure I- 3 : Implantation des sondages (projet de lotissement de 37 lots)

1-2-3 Résultats et calculs :

Les résultats d'un essai de pénétration dynamique sont fournis sous forme d'un diagramme. On porte en ordonnées la profondeur de la pointe, et en abscisses :

- Soit le nombre de coups (Nd) nécessaires pour obtenir un enfoncement h (Figure I-.4) ; Tel que (h =10 ou 20 cm) selon le type de pénétromètre.
- Soit la résistance dynamique de pointe Rp (Figure I-.5) déduite de la formule de battage dite « formule des Hollandais ».

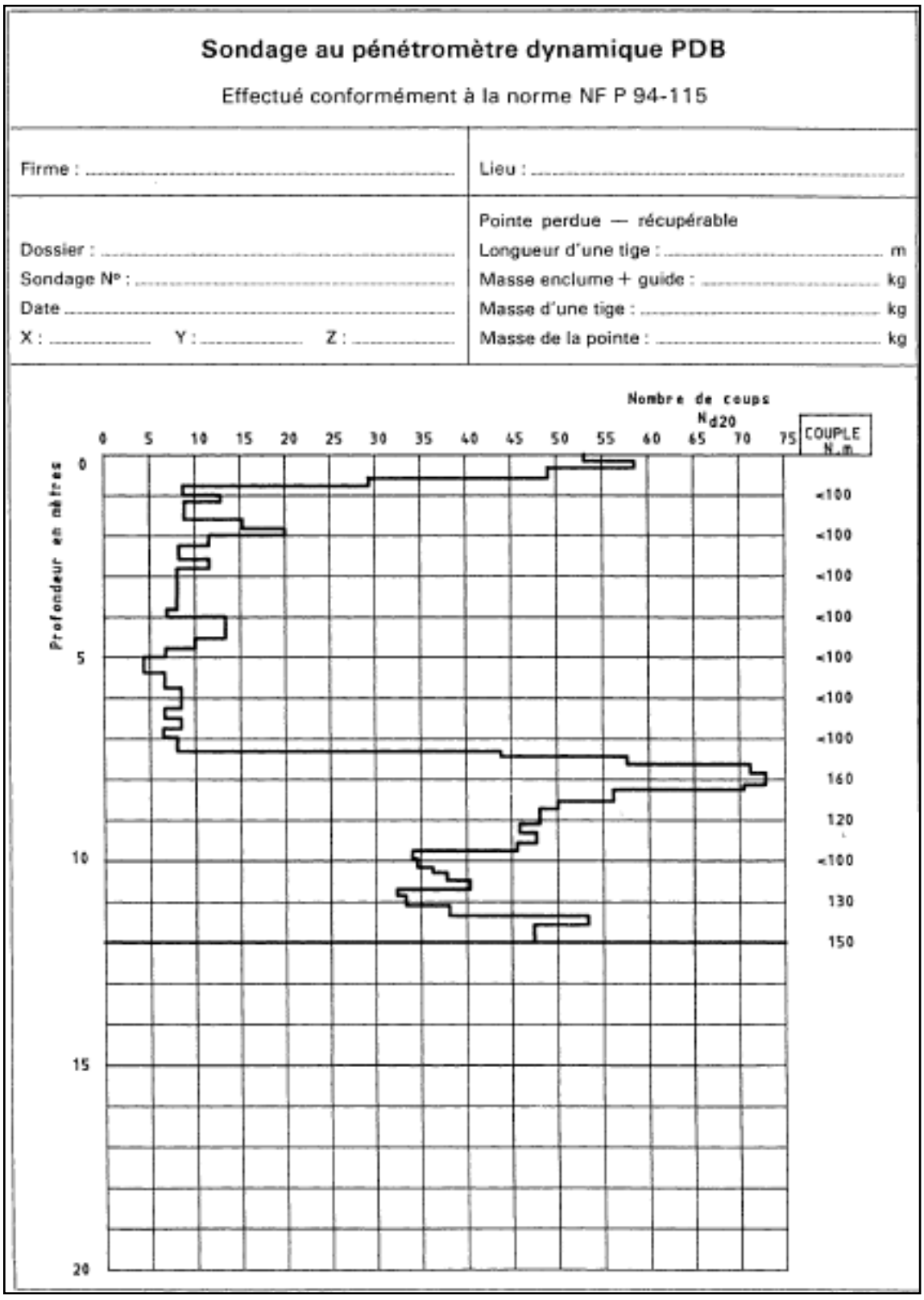


Figure I- 4 : Exemple de présentation des résultats Nd (profondeur)

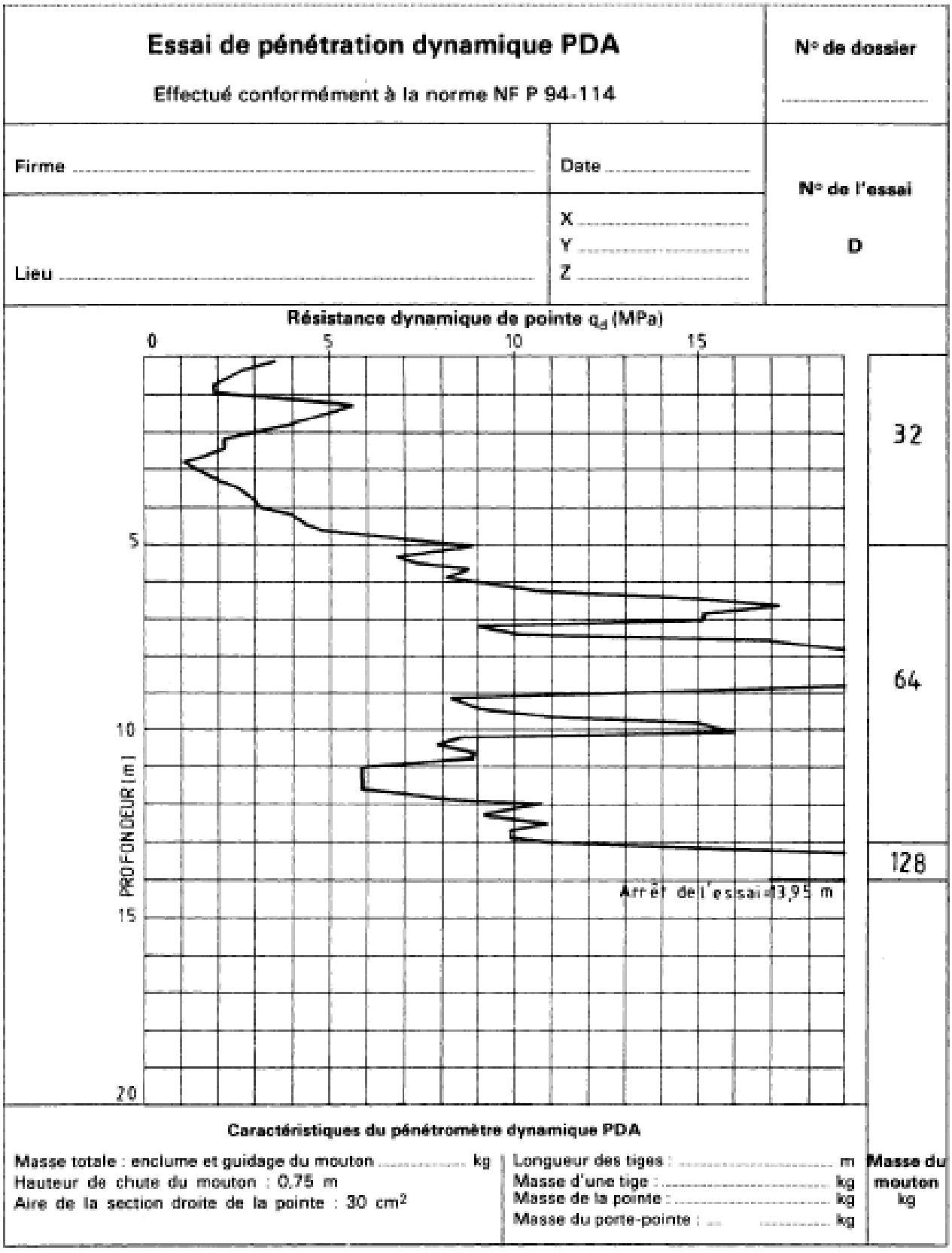


Figure I- 5 : Exemple de présentation des résultats Rp (profondeur)

- **Calcul de la résistance dynamique de pointe Rp :**

La résistance dynamique de pointe à la pénétration sous l'action du choc du mouton est donnée, conventionnellement, par l'expression suivante :

$$R_p = \frac{m \times g \times H}{A \times e} \times \frac{m}{m + m'}$$

Où :

Rp : est la résistance dynamique de pointe exprimée en Pascals.

m : est la masse du mouton (kg)

g : est l'accélération de la pesanteur (m/s²).

H : est la hauteur de chute libre du mouton (m)

A : est l'aire de la section droite de la pointe (m²)

m' : est la masse frappées (kg) [enclume, guidage du mouton, des tiges et la pointe].

e : est l'enfoncement par coup (m) ; $e = \frac{h}{N_d}$

Nd : désigne le nombre de coups de mouton nécessaire pour un enfoncement h de la ponte.

Avec : h=10 cm pour **DPL**, **DPM**, **DPH** et **DPA** ; h=20 cm pour **DPSH** et **DPB**.

On peut limiter la mobilisation du frottement latéral par une injection de la boue de forage à partir du cône, dans l'espace annulaire entre les tige et le paroi du forage, ou en ajoutant un tubage de revêtement.

Il est noter que la norme Française **NF p94-115** décrit un appareil adopté **PDB** (pénétromètre dynamique type B) qui correspondons exactement au type **DPSh (**pénétromètre dynamique très lourd**)** de la norme internationale. Selon Cassan, pour bien insister sur le caractère grossier de cet essai, la norme **NF p94-115** ne prescrit aucun calcul de résistance dynamique $\mathbf{R_p}$, et n'exige que la fourniture du graphe donnant $\mathbf{N_d}$ en fonction de la profondeur.

La valeur de résistance obtenue n'est pas utilisée pour vérifier la résistance d'une fondation mais donne une indication qualitative sur la nature des sols traversés. En particulier l'essai permet facilement de repérer des passages différents, par exemple une couche plus compressible ou bien une couche graveleuse... Il est également utilisé pour apprécier le compactage de couches de chaussée ou le remblaiement de tranchées.[5]

En Algérie, l'essai DPT est largement utilise relativement aux autres essais in-situ à cause se sa facilité de réalisation, de sa simplicité mais aussi de sa capacité de couvrir une large gamme de sols étudiés. les appareils les plus utilisés par les laboratoires géotechniques sont le BORRO-B2 et le SERMES.

- **Sols intéressées par l'essai DPT :**

Le caractère simple de l'essai laisse à peser qu'il peut être réalisé dans n'importe quel terrain. il faut noter que le battage d'une pointe dans un sol fin saturé se traduit par une fort résistance dynamique en pointe, due à l'absorption de la presque totalité de l'énergie de battage par l'eau interstitielle, ce qui fausse complètement l'interprétation de l'essai en donnant des valeurs fortement surestimées de la résistance en pointe.

Il est ainsi recommandé d'orienter l'utilisation de l'essai DPT vers les milieux perméables ou les milieux peu perméables non saturés.

- **Calcul de la capacité portante d'un pieu à partir d'essai DPT:**

On utilise couramment des formules de battages permettant de calculer la capacité portante d'un pieu. En effet, à chaque choc on suppose que l'énergie fournie par la chute du mouton se décompose en :

- énergie provoquant l'enfoncement,
- énergie restituée au mouton (rebondissement),
- énergie dépensée en pertes diverses : (raccourcissement élastique du pieu, chaleur, vibrations...).

De nombreuses formules ont été proposées mais elles ne sont pas toutes satisfaisantes. On s'en tiendra aux formules suivantes :

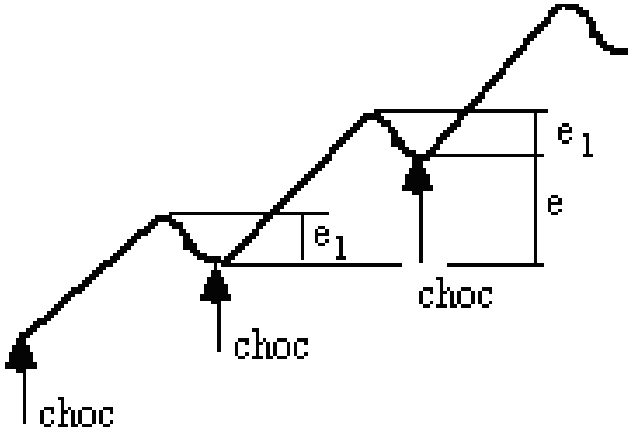
a) Formule des Hollandais:

$$Q_d = \frac{1}{6} \times \frac{m^2 \times H}{e \times (m + P)}$$

- Q_d : charge admissible (kN)
- m : poids de la masse frappante (kN)
- P : poids de la masse frappée (casque + pieu)
- h : hauteur de chute (m)
- e : est l'enfoncement par coup (m); $e = \frac{h}{N_d}$.

b) Formule de CANDRALL :

Cette formule est une correction de la précédente tenant compte du raccourcissement élastique du pieu au moment du choc. Pour mesurer ce dernier on fixe sur la surface du pieu un papier millimétré et on déplace horizontalement un crayon pendant plusieurs coups de mouton. On obtient le diagramme suivant :



La formule des Hollandais devient :

$$Q_d = \frac{1}{4} \times \frac{m^2 \times H}{(e + \frac{e_1}{2}) \times (m + P)}$$

D'une manière générale, les formules de battages seront utilisées à titre de vérification. Les résultats qu'elles donnent sont souvent pessimistes par rapport aux essais statiques de pieu ou aux études géotechniques.

2- L'essai œdométrique :

La compressibilité d'un sol fin est usuellement étudiée au laboratoire à travers un essai œdométrique. L'essai œdométrique reproduit les conditions de déformation des sols dans le cas d'un massif à surface horizontale chargé par une pression uniforme et où le sol ne peut se déplacer que verticalement.

Le principe de l'odomètre a été inventé au début du XXe siècle et cet appareil fait partie de l'équipement de tous les laboratoires de mécanique des sols. Il existe plusieurs essais œdométriques qui différent par leur mode opératoire et l'objectif à atteindre. Les essais les plus fréquents dans les projets sont les essais par paliers.

2-1 Principe de l'essai :

L'essai s'effectue sur une éprouvette de matériau placée dans une enceinte cylindrique rigide (œdomètre). Un dispositif applique sur cette éprouvette un effort axial vertical, l'éprouvette étant drainée, en haut et en bas, et maintenue saturée pendant l'essai **(Figure I-6)**.

La charge est appliquée par paliers maintenus constants successivement croissants et décroissants suivant un programme défini. Les variations de hauteur de l'éprouvette sont mesurées pendant l'essai en fonction de la durée d'application de la charge.

2-2 Appareillage :

L'appareil spécifique à l'essai œdométrique **(Figure I-6)** comprend :

- Le bâti qui permet d'appliquer les contraintes de chargement sur l'éprouvette.
- La cellule œdométrique (une bague œdométrique terminée par une trousse coupante rigide qui reçoit l'éprouvette de matériaux ; un réservoir ; deux pierres poreuses).
- Le dispositif d'application de la charge.
- Le système de mesurage.
- Comparateur (pour indiquer la variation de hauteur de l'échantillon).

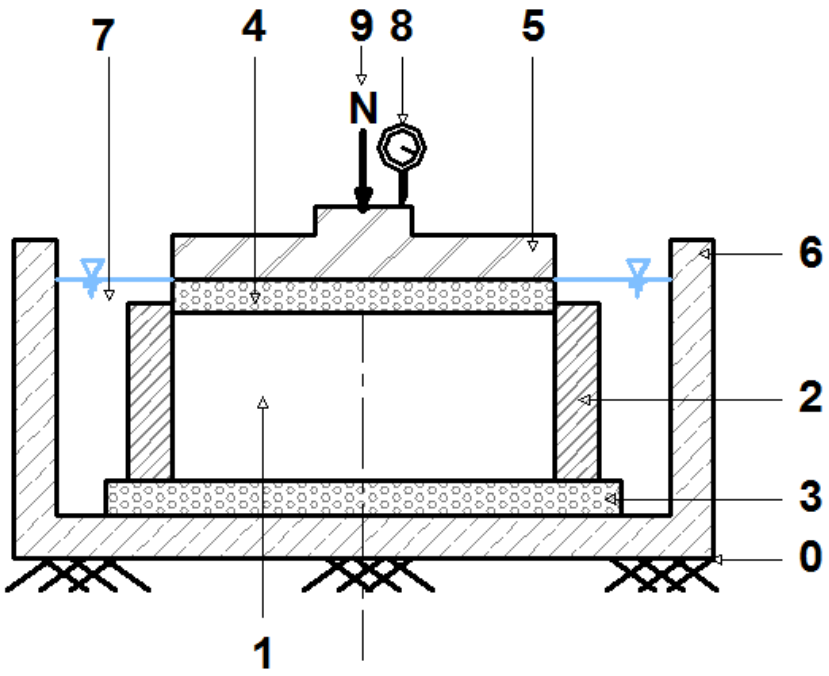


Figure I- 6 : Cellule œdométrique

0- Bâti.
1- Eprouvette de matériau.
2- Enceinte œdométrique.
3- Disque drainant inférieur.
4- Disque drainant supérieur.
5- Dispositif de chargement.
6- Réservoir.
7- Liquide d'imbibition.
8- Mesure du déplacement.
9- Effort (N) sur l'éprouvette.

2-3 Mode opératoire :

2-3-1 Préparation de l'échantillon :

- Bien nettoyer et huiler tous les éléments de la boite œdométrique.
- Tailler l'échantillon (intact) avec une trousse coupante de même diamètre que celui de la boite œdométrique prévue pour l'essai. aplanir avec une règle á rasé.
- Placer l'échantillon sur un papier filtre qui lui-même repose sur la pierre poreuse solidaire du fond de la boite œdométrique.
- Placer sur l'échantillon du papier filtre, puis la pierre poreuse solidaire de l'ensemble supérieur de la boite œdométrique.
- Mettre le couvercle de la boite et mettre la goupille de sécurité sur l'échancrure (prévue en fonction du diamètre de l'anneau porteur de l'échantillon 24 mm ou 12 mm).

2-3-2 Mise en place de l'échantillon :

- mettre la boite œdométrique sur l'œdomètre en centrant le piston sur le couvercle. Mettre l'ensemble porteur du piston bien vertical.
- Placer le comparateur de déplacement en contact du piston.
- Positionner l'ensemble des poids de manière telle que le crochet passe dans l'anneau (sans contact) : pour cela au moyen du boîtier de commande (montée ou descente).

2-3-3 Réalisation de l'essai :

L'essai œdométrique ou l'essai de compressibilité est un essai mécanique qui ne s'effectue que sur des échantillons intacts.

a- Commencer le cycle de chargement en plaçant successivement sur le plateau les poids fendus 1 ; 2 ; 3 ; 5 ; 10 ; 20 ; 40 ; 80kg. Noter après chaque application de charge, le tassement $\Delta \mathbf{H}$ (en mm) en fonction du temps, jusqu'à stabilisation du comparateur (on considère que le tassement est terminé lorsque les deux dernières mesurent différent de moins de 5/1000ème).

b- Effectuer ensuite le cycle de déchargement suivant le même processus jusqu'à 5 kg.

c- Démonter puis peser immédiatement l'éprouvette de sol. Déterminer sa teneur en eau.

d- Nettoyer le moule.

2-4 Résultats et calculs :

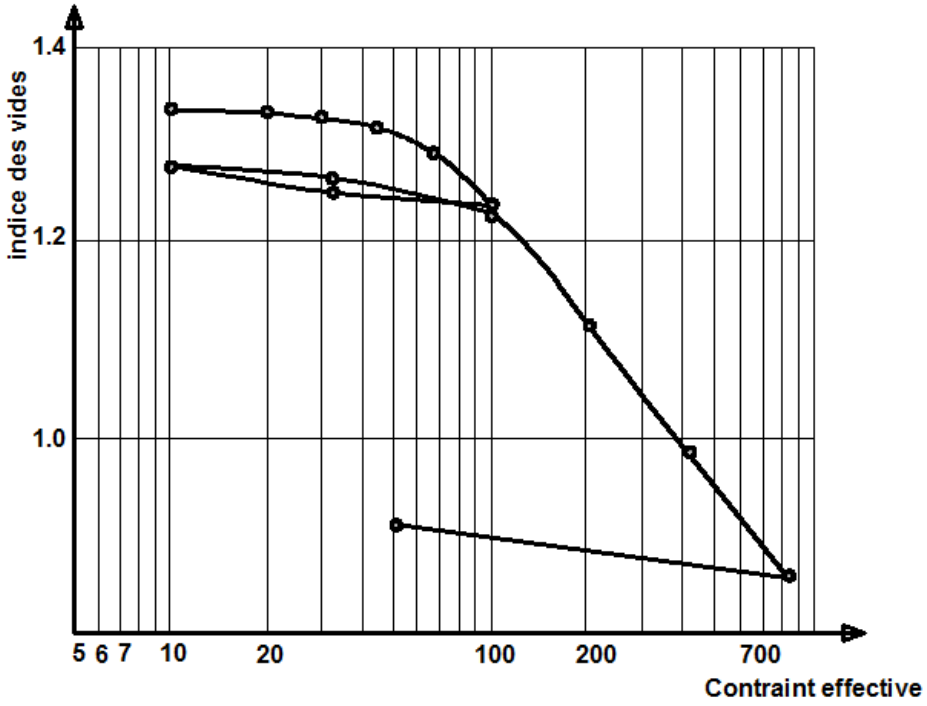
- **Calculs :**

Calculer :

- Le volume initial de l'éprouvette à partir de ses dimensions géométriques.
- L'indice des vides initial ($\mathbf{e_i}$) de l'éprouvette à partir des mesures de masse, de volume et de la masse volumique des grains **(ρ_s) (éventuellement estimée).**
- L'indice des vides de l'éprouvette à la fin de chaque palier de chargement et de déchargement.
- L'indice des vides de l'éprouvette à la fin de l'essai.
- les teneurs en eau initiale et finale de l'éprouvette.
- les masses volumiques sèches initiale et finale de l'éprouvette.
- les masses volumiques humides initiale et finale de l'éprouvette.
- les degrés de saturation, initiale et finale.

- **Graphique :**

- Tracer la courbe œdométrique [**e, σ_v**] donnant les variations de l'indice des vides du sol en fonction de la contrainte effective verticale appliquée à l'éprouvette **(Figure I- 8)**.



- Comme indiqué sur la Figure I-.9, tracer la droite AB selon la pente moyenne de la boucle du premier cycle de déchargement/rechargement.
- à partir du point D (origine de la courbe de compressibilité expérimentale, tracer la droite DL parallèle à AB.
- tracer ensuite la droite MN qui linéarise la seconde partie de la courbe de compressibilité, des trois derniers points expérimentaux de paliers de chargement. **(Figure I-9)**

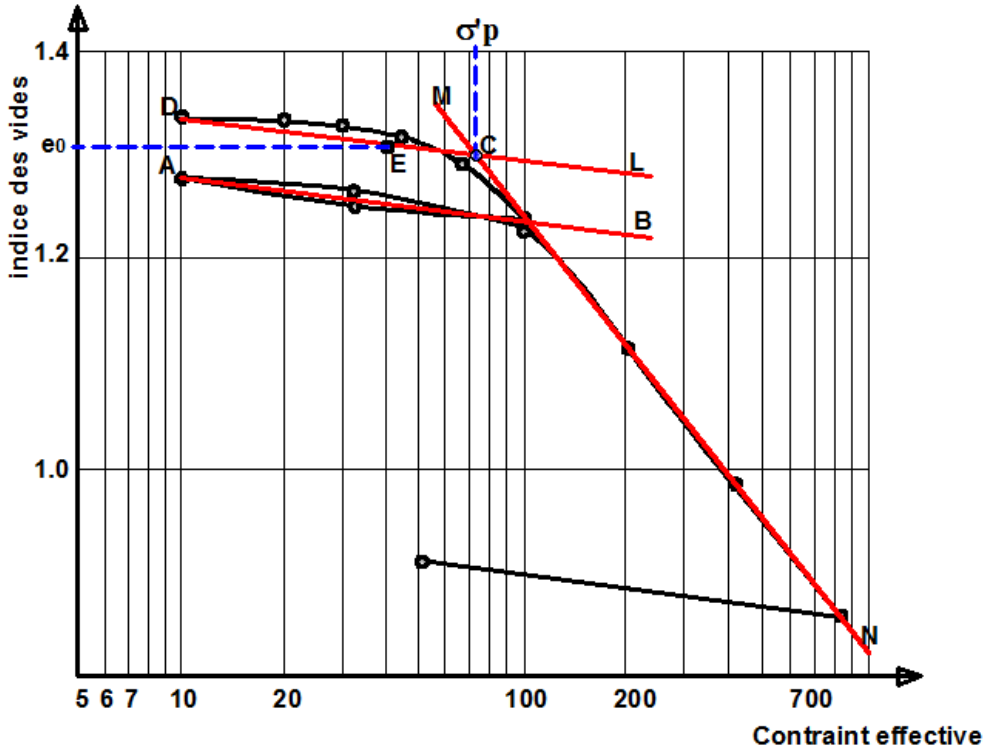


Figure I- 9 : Courbe œdométrique

Détermination de la contrainte de préconsolidation

- **Détermination de C_s, C_c σ'_p et e_0 :**

- **C_s :** L'indice de **recompression C_s** est la pente de la droite DL. Cette pente est définie comme la valeur absolue de la variation de l'indice des vides (e) pour un module de l'échelle logarithmique :

$$Cs = \frac{\Delta e}{\Delta \log(\sigma'_v)}$$

- **C_c :** L'indice de **compression C_s** est la pente de la droite MN.

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log(\sigma'_v)}$$

- **σ'_p :** Par définition, la contrainte verticale effective de préconsolidation, elle correspond au point C résultant de l'intersection des droites DL et MN. Dans le cas d'échantillons de sol fortement remaniés par le prélèvement, la détermination de cette contrainte de préconsolidation est parfois sujette à caution.

- **e_0** : la valeur approchée de l'indice des vides du sol en place **e_0** est l'ordonnée du point représentatif E de la droite **DL** qui a pour abscisse la valeur de la contrainte effective verticale du sol en place log (**σ'_0**).

Etat normalement consolidé, sous consolidé et sur consolidé :

D'après CASAGRANDE (1932) ; le sol a une mémoire des contraintes et des autres changements qu'il a pu subir au cours des siècles et ces changements sont conservés dans la structure du sol. Lorsque le sol est surchargé à un niveau supérieur a celui des chargements antérieurs, sa structure ne supporte plus l'augmentation de la charge et elle commence à s'affaisser.

Ces affaissements peuvent modifier complètement la pente d'une courbe de consolidation. La courbe e=*f* (log σ') contient une partie plane qui est la courbe de recompression, et une courbe de compression vierge.

Le rapport de sur consolidation est défini par la formule :

$$OCR = \frac{\sigma'_p}{\sigma'_0}$$

Où :

σ'_{v0} : contrainte due au poids des terres.

σ_p' : la contrainte de préconsolidation.

On peut avoir plusieurs cas selon les valeurs relatives de σ'p et la contrainte effective actuelle due au poids des terres σ'_{v0} :

a- Sol normalement consolidé :

La contrainte de préconsolidation est égale à la contrainte due au poids des terres (OCR=1) :

$$\sigma'_p = \sigma'_{v0}$$

Le sol n'a jamais été soumis à une contrainte supérieure à la contrainte géostatique. Le sol a seulement été consolidé par le poids des couches supérieures, suivant la courbe vierge.

b- Sol sur consolidé ou pré consolidé :

Lorsque les deux contraintes sont telles que (Avec OCR >1): $\sigma'_p > \sigma'_{v0}$

La sur consolidation peut être due sous l'effet de :

- la surcharge due a des terrains qui furent ensuite érodés.
- les forces tectoniques dues a des mouvements de l'écorce terrestre.
- la surcharge temporaire telle qu'il peut s'en produire dans le cas d'une nappe de glace continentale.
- les forces de précolation prolongées.

c- <u>Sol sous-consolidé</u> :

Ce cas est généralement rare (OCR<1) et n'est pas permanent. Lorsque : $\sigma'_p < \sigma'_{v0}$ En effet, on ne peut le trouver que dans les sols déposés récemment par un processus géologique ou par intervention humaine. Le sol en question n'a pas encore atteint son équilibre avec le poids des terres. La pression interstitielle est alors supérieure à la pression hydrostatique.

Si $\sigma'_p < \sigma'_{v0}$, il y a une anormale, en général, la valeur de (σ'_{v0}) a été mal estimée (erreur sur la pression interstitielle le plus souvent ou bien le sol a été remanié lors de son prélèvement et l'essai donne des résultats peu fiables.

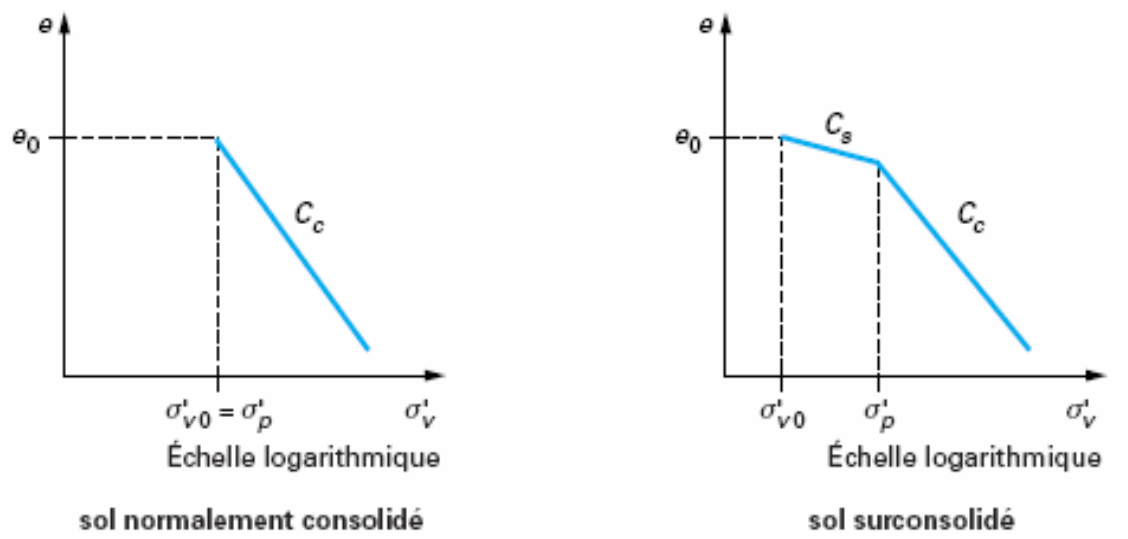


Figure I- 10: courbe typiques des états normalement consolidé et sur consolidé

3- Essai de cisaillement rectiligne à la boite :

Dans tous les problèmes de stabilité des sols (étude de fondations, ouvrage de soutènement, remblais, talus… etc.) il est nécessaire de connaitre la résistance du sol. Cette résistance est souvent difficile à déterminer, spécialement lorsqu'il s'agit d'un sol cohérent.

La résistance d'un sol peut être définie par l'essai de cisaillement rectiligne.

3-1 Principe de l'essai :

L'essai s'effectue sur une éprouvette de sol placée dans une boite de cisaillement constituée de deux moitiés indépendantes. Le plan de séparation des deux parties constitue un plan de glissement correspondant au plan de cisaillement de l'éprouvette. Il consiste à :

- Appliquer sur la face supérieure de l'éprouvette un effort vertical (N) maintenu constant pendant toute la durée de l'essai,
- Produire après consolidation de l'éprouvette sous l'effort (N) un cisaillement dans l'éprouvette selon le plan horizontal de glissement des deux parties l'un par rapport à l'autre en leur imposant un déplacement relatif Δl à vitesse constante,
- Mesurer l'effort horizontal de cisaillement (T) correspondant **(Figure I-11).**

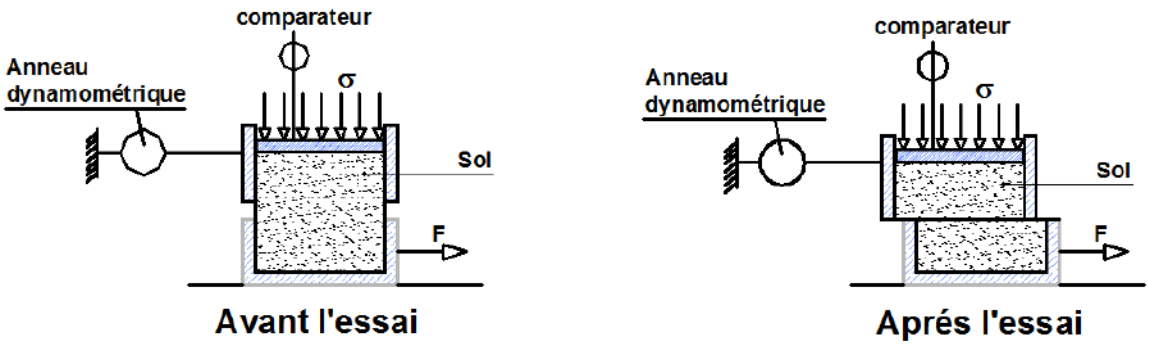


Figure I- 11 : Schéma de la boite de cisaillement.

3-2 Appareillage :

L'appareillage spécifique à l'essai **(Figure I-12)** comprend :

- Le bâti,
- La boite de cisaillement,
- Le dispositif d'application de l'effort normal sur l'éprouvette,
- Le dispositif produisant le déplacement relatif horizontal entre les deux demi-boites,
- Le système de mesurage des efforts, des déplacements et du temps.



Figure I- 12 : La machine de cisaillement

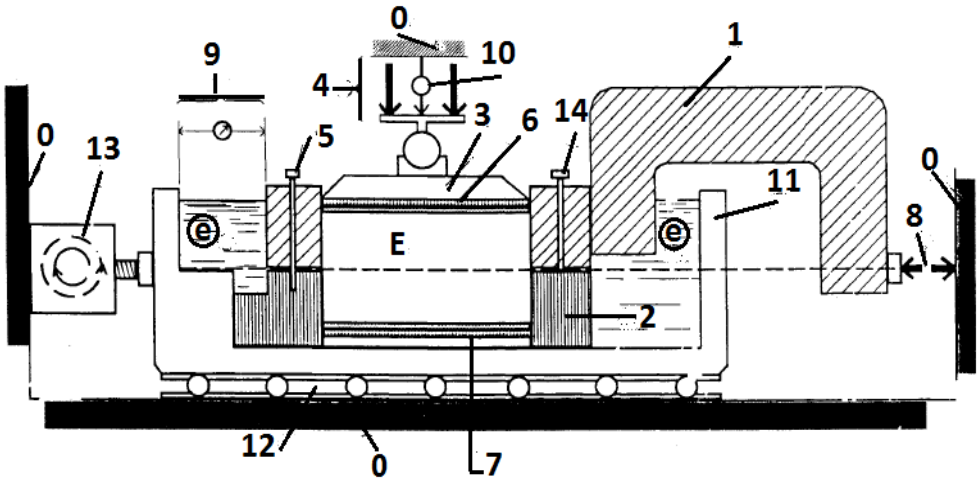


Figure I- 13 : Schéma de l'appareil de cisaillement

0- Bâti.

1- Demi-boite supérieure.

2- Demi-boite inférieure.

3- Piston rigide.

4- Dispositif d'application de l'effort vertical (N) centré sur le piston.
5- Solidarisation des demi-boites.
6- Plaque drainante supérieure.
7- Plaque drainante inférieure amovible.
8- Dispositif de mesure de l'effort horizontal (T).
9- Dispositif de mesure du déplacement relatif horizontal (Δl).
10- Dispositif de mesure du déplacement vertical (Δh).
11- Châssis étanche.
12- Glissière sans frottement.
13- Système de déplacement à vitesse constante.
14- Vis de soulèvement de la demi-boite.
e- Eau déminéralisée.
E- Eprouvette de sol.

a. Le bâti :

Le bâti, indéformable sous l'effet des efforts appliqués, supporte la boite de cisaillement et son châssis et les maintient horizontalement.

b. La boite de cisaillement :

Une boite de cisaillement dans laquelle est placé l'échantillon, elle est formée d'une demi -boite supérieur munie d'un piston qui lui transmet un effort verticale imposé, et d'une demi-boite inférieure avec une pierre poreuse. Les dimensions de la boite sont de 6*6 cm ou φ6 cm pour les sols cohérents et de 10*10 cm pour les sols pulvérulents la hauteur d'une demi-boite étant de 2 cm environ. **(Figure I- 14)**



Figure I-14 : La boite de cisaillement

c. Le dispositif d'application de l'effort normal sur l'éprouvette :

Le dispositif permet d'appliquer une force suivant une direction verticale et de la maintenir constante. Le matériel est conçu pour transmettre à l'éprouvette une contrainte verticale moyenne d'au moins 0.5 MPa.

d. Le dispositif de production du déplacement :

Le déplacement possible des deux demi-boites, l'une par rapport à l'autre, est d'au moins 5 mm à une vitesse constante.

e. Système de mesure :

- **Force verticale :**

L'intensité de la force verticale constante (N) est connue.

- **Effort de cisaillement :**

La mesure de l'effort horizontal(T) s'effectue au moyen d'un capteur.

- **Déplacements :**

- Le déplacement vertical (Δh), dans l'axe du piston placé à la partie supérieure de l'éprouvette, est mesuré par rapport à un repère fixe avec une incertitude de 0.05 mm.
- Le déplacement, horizontal (Δl) des deux demi-boites l'une par rapport à l'autre, est mesuré au moyen d'un capteur avec une incertitude de 0.05 mm.

3-3 Mode opératoire :

3-3-1 Préparation des plaques drainantes :

Les plaques sont saturées avec de l'eau désaérée et tout surplus d'eau en surface est éliminé juste avant leur mise en place. Elles sont recouvertes d'un papier-filtre lorsque des particules de sol risquent de migrer vers les pores des plaques drainantes.

3-3-2 Préparation des éprouvettes :

La hauteur des éprouvettes, une fois confectionnées, est telle que : $6\, d_{max} \leq h \leq \frac{L}{2}$

- **L** : est le diamètre intérieur au côté intérieur de la boite de cisaillement de section droite circulaire ou carré.
- $\mathbf{d_{max}}$: est la plus grande dimension des particules constituant le matériau soumis à essai.

Avec :

- $\mathbf{d_{max}} < 5$ mm dans le cas de la boîte de 60 mm de côté,
- $\mathbf{d_{max}} < 8$ mm dans le cas de la boîtede100 mm de côté.

a- Sols cohérents ou reconstitues après compactage :

Tailler les éprouvettes de telle sorte que les dimensions de la section droite de l'éprouvette soient ajustées au mieux à celles de la boîte et que la hauteur (h) en millimètres soit telle que : $20 \leq h \leq \frac{L}{2}$

- Peser l'échantillon et mesurer sa hauteur.
- Placer une plaque drainante dans le fond de la demi-boite inférieure.
- Introduire l'éprouvette dans les deux demi-boites solidarisées au préalable.
- L'éprouvette est calée dans la boîte de telle sorte que le plan de glissement la partage en deux parties sensiblement égales.

b- Sols pulvérulents :

Après solidarisation des deux demi-boites et après avoir mis en place une plaque drainante dans le fond de la demi-boite inférieure, le matériau est compacté directement dans la boîte qui servira au cisaillement.

La masse de sol à introduire dans la boîte est déterminée pour obtenir, après compactage, une éprouvette de masse volumique choisie et pour que le plan de cisaillement se trouve sensiblement à mi-hauteur de l'éprouvette.

3-3-3 Réalisation de l'essai :

L'essai comporte le cisaillement d'au moins trois éprouvettes de mêmes dimensions, préparées dans les mêmes conditions, cisaillées à la même vitesse mais soumises à des efforts verticaux différents.

- **Choix de l'effort vertical à appliquer :**

L'effort vertical (N) est déterminé pour chaque éprouvette en fonction des contraintes normales fixées par le géotechnicien responsable.

La contrainte verticale maximale appliquée à la série d'éprouvettes doit être supérieure à la contrainte effective verticale induite dans le sol après la réalisation de l'ouvrage.

Si aucune spécification n'est fournie, choisir les valeurs à partir des indications données dans le Tableau I- 2 et en respectant la condition précédente.

Tableau I- 2 : contrainte verticale maximale appliquée à la série d'éprouvettes

σ'_{v0}	<100	≥100
$\frac{N}{A}$	50	0.5 X σ'_{v0}
	100	1 X σ'_{v0}
	200	2 X σ'_{v0}

- **Mise en place :**

La boîte de cisaillement contenant l'éprouvette est placée dans le châssis étanche fixé sur le bâti. Tout en maintenant la solidification des deux demi-boites :

- placer le piston muni de sa plaque drainante sur le sommet de l'éprouvette.
- noter, après fixation du système de mesure de l'effort de cisaillement horizontal (T), et avant application de tout effort, la valeur d'origine du capteur de l'effort (T).
- régler la position du capteur de mesure du déplacement relatif horizontal entre les deux demi-boites et noter la valeur d'origine.
- positionner le capteur de mesure du déplacement vertical du piston par rapport à un repère fixe et noter la valeur d'origine ;
- appliquer l'effort (N) sur la partie supérieure du piston ;
- mesurer le déplacement vertical du piston δ_v en fonction du temps.

- **Identification de l'éprouvette après essai :**

- peser l'éprouvette et noter les particularités du plan de rupture.
- déterminer sa teneur en eau.

- **Mesurage :**

Les lectures de tous les appareils sont effectuées simultanément (en moins de 2 s) chaque augmentation de déplacement horizontal relatif des deux demi-boites d'environ 0.2 mm jusqu'à 2 mm puis 0.5 mm au-delà.

3-4 Résultats et calcul :

Pour chaque éprouvette :

- **Calculer :**

- la contrainte normale effective σ' à partir de l'expression : $\boldsymbol{\sigma' = \frac{N}{A}}$
- la contrainte de cisaillement τ, par la relation : $\boldsymbol{\tau = \frac{T}{A}}$
- la teneur en eau du sol avant essai et en fin de cisaillement.
- la masse volumique sèche γ_d de l'éprouvette avant essai et en fin de consolidation.

-Le volume de l'éprouvette à une étape donnée est : V = A (h- δh).

- l'indice des vides et le degré de saturation avant essai à partir de la masse volumique ρ_s.

Tracer la courbe -de la contrainte de cisaillement τ en fonction du déplacement horizontal δ_l : en utilisant les mêmes échelles pour toutes les éprouvettes.

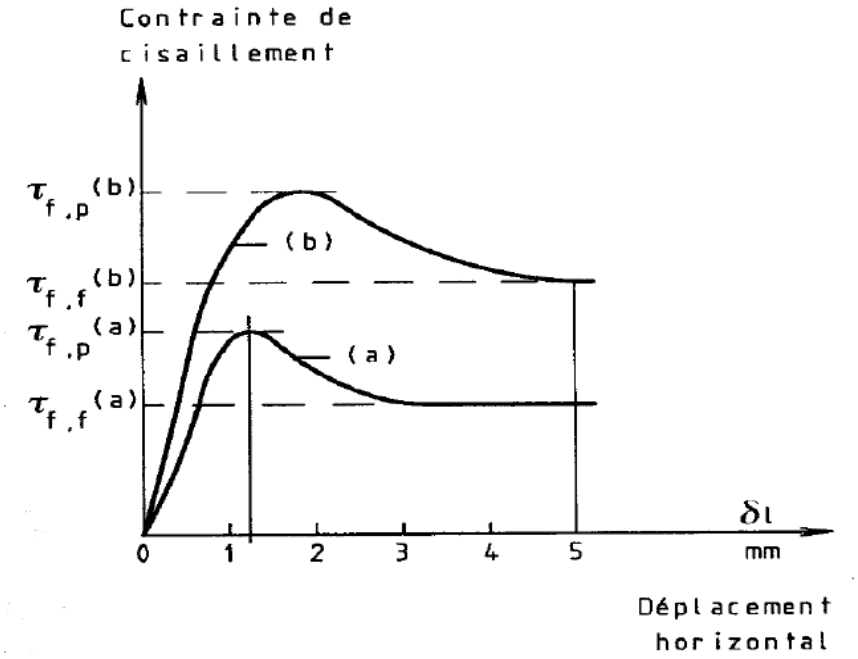


Figure I- 15 : Contrainte de cisaillement en fonction du déplacement horizontal

Déterminer les paramètres de cisaillement :

$\tau_{f,p}$: valeur correspondant au critère de rupture : pic de la courbe $\tau = f(\delta_l)$ lorsque cette courbe présente un pic.

$\tau_{f,f}$: valeur correspondant au critère de rupture à l'état final de la courbe, si la courbe ne présente pas de palier, $\tau_{f,f}$ est la valeur atteinte pour un déplacement horizontal (δ_l) de 5 mm.

Pour l'ensemble des éprouvettes :

- Représenter sur un graphique les couples de points (σ'-$\tau_{f,p}$) ou (σ'-$\tau_{f,f}$). (même échelle pour σ' et pour τ).

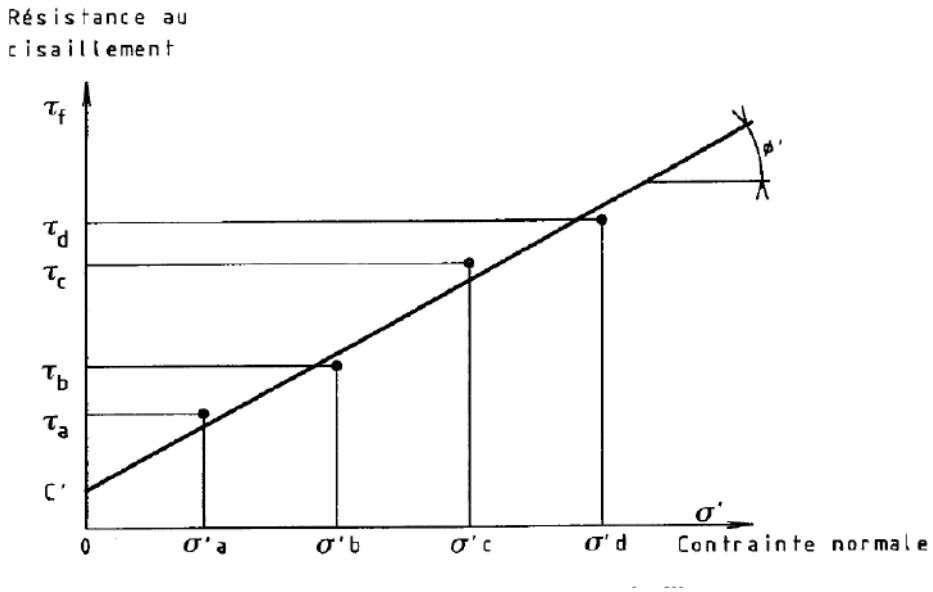


Figure I- 16 : Contrainte de cisaillement en fonction de la Contrainte

Paramètres de résistance au cisaillement pour critère de rupture défini.

- Déterminer par un ajustement linéaire l'équation de la droite correspondant à chaque critère de rupture (pic, état final). Les paramètres de résistance au cisaillement rectiligne sont obtenus :

- à partir de la pente des droites pour les angles (ø'$_p$) et (ø'$_f$)
- à partir de l'ordonnée à l'origine des droites pour les cohésions C'$_p$ et C'$_f$

Poids spécifique sec et teneur en eau :

Noter sur les feuilles d'essai les poids spécifiques secs des échantillons pulvérulents et les poids spécifiques secs et teneurs en eau des échantillons cohérents.

- **Cas d'un sol pulvérulent :**

Les points relatifs de chaque pression normale sont en principe alignés et la droite qui les jointe passe par l'origine (fig.17.a). Trois points expérimentaux suffisent généralement pour tracer cette droite avec une approximation convenable.

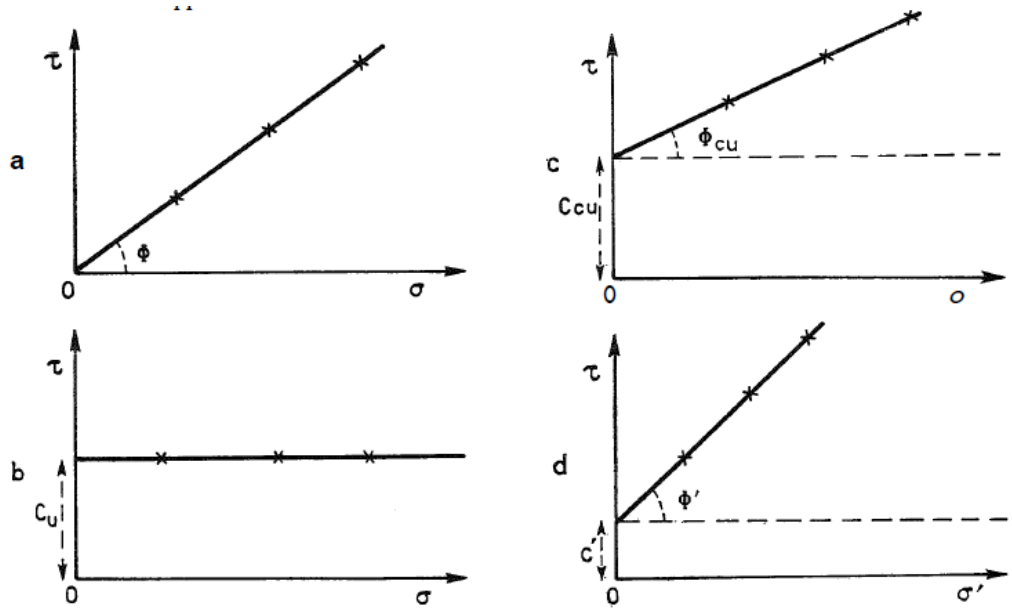


Figure I- 17 : courbe intrinsèques.

- **Cas des sols cohérents :**

1- essai non consolidé- non drainé :

La courbe intrinsèque obtenue est un droite parallèle à l'axe des contraintes normales (figureI-17.b). Elle est caractérisée par son ordonnée à l'origine C_u.

2- essai consolidé- non drainé :

La courbe intrinsèque est approximativement une droite inclinée sur l'axe des contraintes normales.(fig.17.c). On la caractérise par son ordonnée à l'origine C_{cu} et par son angle avec l'axe des abscisses ϕ_{cu}.

3- essai consolidé drainé :

On obtient également approximativement une droite sur l'axe des abscisses (fig.17.d) ; elle fournit la cohésion effective (C') et l'angle de frottement effectif ϕ'.

4- Les corrélations en mécanique des Sols :

4-1 Définition des corrélations :

Les corrélations sont les différentes relations et formules établies depuis longtemps entre les diverses caractéristiques des sols et les études statistiques entreprises sur des populations importants de sols. La littérature est pleine d'équations et des graphiques empiriques utilisées par les praticiens dans le monde entier.

Les essais in situ et les essais au laboratoire, sur des échantillons récupérés sur site restent les deux méthodes préférés pour la détermination des paramètres de conception en géotechnique. Les essais in situ se caractérisent par un coût moins chère, la rapidité et la simplicité, mais comme inconvénient ils n'ont pas une grande précision, par contre les essais au laboratoire ils ont une précision importante mais leurs coût est un peu chère.

Dans les étapes préliminaires, y compris des études de faisabilité quand les fonds sont limités pour l'exploitation des sols ; les corrélations empiriques deviennent très précieux. Par exemple des propriétés d'index simples, on peut obtenir une idée juste sur les caractéristiques de résistance et de consolidation de cisaillement d'une argile ou à eu de frais.

4-2 L'importance des corrélations :

Dans l'ingénierie géotechnique, l'empirisme a un grand rôle à jouer. Il permet de donner des estimations préliminaires, les corrélations peuvent également être utilisées pour comparer avec les valeurs déterminées à partir des essais in situ et au laboratoire. Il y a tellement des équations empiriques et des graphiques disponibles dans la littérature, qui sont régulièrement utilisées dans la conception du monde entier. Ceux ci sont donnés ou calculés à partir des données de laboratoire ou sur le terrain.

Le plus souvent, il n'y a à la disposition du géotechnicien qu'une morphologie approximative du site obtenue par quelques sondages de reconnaissance ainsi que quelques résultats des essais standard en laboratoire ou en place voirie même aucun.

Enfin, dans la plupart des projets de fondations le nombre des essais géotechniques réalisés ne permet pas la détermination des valeurs fiables sur le plan statistiques.

Dans la première partie de l'EUROCODE 7 (EN1997-1), publié par le comité Européen de Normalisation (CEN), demande l'usage de l'expérience et des corrélations et précise encore que ces corrélations doivent être faites entre les résultats d'au moins deux types d'essais.

Les corrélations donnent au géotechnicien un moyen simple pour évaluer les caractéristiques physiques et mécaniques utilisées dans les études d'un avant projet. Lorsque les essais en laboratoire sont inexistants ou peu nombreux, ou pour contrôler les rapports géotechniques.

En mécanique des sols les corrélations sont utilisées comme :

- ✓ Un moyen de contrôle des résultats des essais, en place ou en laboratoire, et des rapports géotechniques.
- ✓ Un moyen de fabrication de déduire certains paramètres en fonction d'autres connus.
- ✓ Un moyen de contrôle de l'homogénéité des sols ou de la qualité des essais.
- ✓ Un moyen d'estimation de certaines propriétés des sols (souvent des propriétés mécaniques) par des caractéristiques déjà mesurées tells que les des propriétés physiques (teneur en eau, densité,…).

Les corrélations servent à :

- ✓ Relier les paramètres difficilement mesurables à des paramètres facilement mesurables.
- ✓ Eclairer la conduite et l'interprétation d'un essai expérimental.
- ✓ Vérifier une mesure expérimentale.

Le but de la compilation de corrélations entre diverses caractéristiques des sols est avant tout pratique. Il s'agit de mettre à disposition des projeteurs, des corrélations qui leur permettent de contrôler ou d'évaluer les paramètres géotechniques qu'ils devront utiliser dans leurs projets. En particulier, si les résultats d'une reconnaissance géotechnique sont à disposition et que des essais en laboratoire ou in situ ont permis de déterminer ces paramètres sur un nombre réduit d'échantillons (ce qui est très souvent le cas), ces corrélations permettront de valider les valeurs provenant de la reconnaissance .

4-3 Conditions d'utilisation des corrélations :

Les conditions d'utilisation de corrélations dans les études géotechniques dépendent de la fiabilité des corrélations utilisées. Certains paramètres sont liés, à l'intérieur d'une couche de sol d'un site déterminé, par des relations proches d'une relation mathématique exacte.

Par contre, si l'on analyse simultanément des données provenant de deux sites, pour des sols de même nature, on trouve en général que les valeurs des paramètres sont plus dispersées, et cette dispersion augmente quand le nombre de sites s'accroît et quand on regroupe des données relatives à différents types de sols. Les erreurs expérimentales, lors de la détermination des paramètres qui servent à établir les corrélations, exercent également une influence défavorable sur la qualité des corrélations obtenues. Il est, pour cette raison,

indispensable de connaître l'origine des corrélations que l'on envisage d'utiliser dans le cadre d'une étude géotechnique, et d'être conscient de la variabilité possible des paramètres autour de leur relation moyenne affichée.

4-4 Domaines de validité des corrélations :

Habituellement, la validité des corrélations est limitée à la nature du sol étudié, par exemple certaines corrélations établies sur un site sont parfaites pour ce site peuvent aussi être inadaptés pour un autre site même si le deuxième site est de même nature que le premier ce qui exprime l'influence d'autres paramètres que ceux qui sont analysés, par exemple l'influence de l'état de sol, en plus de sa nature.

4-5 Les différents types de corrélations qui existent dans la littérature :

Dans la géotechnique on utilise plusieurs paramètres pour décrire les propriétés physiques et mécaniques des sols, ces paramètres sont de nature variante on distingue :

- ✓ **Paramètres d'identification et d'état** : porosité, indice des vides, densité, densité relative, limites d'Atterberg, …etc.
- ✓ **Paramètres de déformabilité** : indice de compression, indice de gonflement, module oedométrique, module pressiométrique, … etc.
- ✓ **Paramètres de résistance** : cohésion, angle de frottement interne, pression limite pressiométrique, résistance de cône statique ou dynamique, etc.…
- ✓ **Paramètres de perméabilité.**

Ces différents paramètres vont être utilisés dans les différents calculs des corrélations suivant le type de sol, ci après un Tableau I- qui donne quelques exemples de ces paramètres:

Tableau I- 2 : les paramètres nécessaires pour les corrélations en fonction du type du sol

Auteurs	Type de sol	corrélation Paramètres utilises dans la
Fleureau et al (2002)	Sols fins	-ω_L -ω_{opt} (pour Proctor normal et modifié)
Aubertin et al (2003)	Sols granulaires	-L'indice des vides (e) -D_{10} (passant à 10%) -C_u
Aubertin et al (2003)	Sols fins	- L'indice des vides (e) - ω_L -ρ_s
Coté et Kounard (2003)	Matériaux granulaires avec faible pourcentage de fines (assise de chaussées)	-La porosité (n) (ou indice des vides e) -La courbe granulométrique -La surface spécifique de la fraction fine.

4-5-1 Les corrélations de déformabilité :

Pour le calcul des déformations pour les sols fins compressibles des ouvrages (surtout les tassements) on utilise essentiellement les paramètres suivants :

a- L'indice de compression c_c :

Avec la limite de liquidité : la corrélation entre l'indice de compression et la limite de liquidité est la meilleure, elle utilise en effet un paramètre qui dépend surtout du type du sol fin (minéralogie, granulométrie de la partie argileuse, etc.) et non pas de son état (e_0, ω) **(Tableau I- 3).**

Tableau I- 3 : Corrélations entre la l'indice de compression et la limite de liquidité

Auteur	Corrélation
Rivard & Goodwin (1978) : Argiles alluviales et glaciaires	$C_c=0{,}0047\omega_L-0{,}003$
Skempton (1944) : Argiles remaniées	$C_c=0{,}007\ \omega_L-0{,}049$
Skempton : sol intact	$C_c=0{,}009(\omega_L-10)$
Terzaghi & Peck (1967) : Argiles normalement consolidées	$C_c=0{,}009\ \omega_L-0{,}09$
Azzouz (1976) : Toutes les argiles	$C_c=0{,}006\ \omega_L-0{,}054$

Avec l'indice des vides initial e_0 : (Tableau I- 4)

Tableau I- 4 : Corrélations entre l'indice de compression et l'indice des vides

Auteur	Corrélation
Dascal & Laroque (1973) : Argile très grande plasticité	$C_c=0{,}92\ e_0-0{,}56$
Dzwilewski & Richards (1974) : Argile limoneuse	$C_c=0{,}34\ e_0+0{,}02$
Kogure, Ohira(1977) : Tourbe & argile varvée	$C_c=0{,}37\ e_0^{1,17}$
Leroueil, Tavenas (1983) : Argiles marines	$C_c=0{,}65\ e_0^2+0{,}15\ e_0-0{,}5$
Moulin (1989) : Argiles sur consolidée	$C_c=0{,}15\ e_0^2+0{,}125\ e_0-0{,}025$
Nishida (1956) : Toutes les argiles	$C_c=0{,}54\ e_0-0{,}19$
Hough (1957) : Limons à argiles inorganiques	$C_c=0{,}29\ e_0-0{,}08$
Hough (1957) : sols fins organiques	$C_c=0{,}35\ e_0-0{,}18$
Sowers (1970) : Sols peu plastiques	$C_c=0{,}75\ e_0-0{,}38$

Avec la teneur en eau(ω) : pour les corrélations fonctions de la teneur en eau, le problème est que l'on ne connait pas sa valeur par rapport à la limite de liquidité ou, en d'autres termes, que l'indice de liquidité I_L ou l'indice de consistance I_C sont inconnus. Dans les sols très organiques ou très plastiques, leur teneur en eau s'écarte grandement de cette limite, ce qui explique leurs corrélations très différentes des autres sols. La corrélation de

HELENELUND (1951) est souvent utilisée dans la littérature, il est déconseillé cependant son usage pour estimer un indice de compression. **(Tableau I- 5).**

Tableau I- 5 : corrélations entre l'indice de compression et la teneur en eau

Auteur	Corrélation
Dascal, Laroque (1973) : Argiles lacustres très plastiques	$C_C=0,042\omega - 1,314$
Dascal, Laroque (1973) : Argiles marines varvées silteuses	$C_C=0,022\omega - 0,452$
Terzagui, Peck (1967) : Argiles normalement consolidées	$C_C=0,009\omega - 0,090$
Rivard, Godwin (1978) : Argiles alluviales et glaciaires	$C_C=0,0102\omega - 0,004$
Helenelund (1951) : Argiles finlandaises	$C_C=0,085\ (\omega /100)^{3/2}$
Moran et al (1958) : Limons et argiles organiques, tourbes.	$C_C=0,0115\omega$
Azzouz et al (1976) : Toutes les argiles	$C_C=0,01\omega - 0,05$
Koppula (1981) : Toutes les argiles	$C_C=0,01\omega$
Herrero (1983) : Toutes les argiles	$C_C=0,01\omega - 0,075$
Peck, Reed (1954) : Argiles glaciaires	$C_C=1,766(\omega/100)^2+0,593(\omega/100) - 0,0135$

b- <u>Le coefficient de gonflement C_S</u> :

Toutes les corrélations donnant l'indice de gonflement en fonction de différentes caractéristiques du sol sont mauvaises. La seule qui donne de bons résultats est celle l'évaluant par rapport à l'indice de compression. La relation approximative la plus connue est **:** $C_S= C_C/100$

c- <u>La contrainte de pré consolidation σ'_P</u> :

La contrainte de pré consolidation est un paramètre très important qui est souvent difficile à estimer par un essai oedométrique, sa mauvaise estimation peut conduire à de grossières erreurs dans l'estimation des tassements.

Des corrélations permettant d'évaluer cette contrainte sont donc I_L présentées dans le tableau I-6 suivant :

Tableau I- 6 : Corrélations de la contrainte de préconsolidation

Auteur	Corrélation
Peters & Lamb (1979) : Argiles non remaniée	$\sigma'_P =107.10^{-((IL -0,68)/0,88)}$
Kogure & Ohira (1977) : Tourbe et argiles varvées	$\sigma'_P=165\ e_0^{-0,988}$
Kogure & Ohira (1977) : Tourbe et argiles varvées	$\sigma'_P=4390.\omega^{-0,913}$

d- Modules de déformations :

Les modules de déformations se déterminent avec ces paramètres et le coefficient de Poisson **ν**.

Pour les sols grossiers on utilise :

- Un couple de modules de déformation, par exemple **E'** et **ν**.
- Le module de réaction K_S.

✓ **Module oedométrique** : en fonction de la résistance de pointe statique q_c(CPT) :

$$E_{oed} = \alpha \cdot q_c$$

✓ **Module pressiométrique E_M** : par résistance de pointe statique q_c (CPT).

Le Tableau I- suivant montre les valeurs de E_M en fonction de q_c :

Tableau I- 7 : les valeurs du module pressiométrique en fonction de la résistance de pointe statique

I_D	q_c (CPT)	E_M (MPa) (drainé)
Très faible	0 – 2,5	<10
Faible	2,5 – 5	10 – 20
Moyenne	5 – 10	20 – 30
Grande	10 – 20	30 – 60
Très grande	>20	60 – 90

e- Coefficient de Poisson :

Lors du calcul d'un module de déformation avec les indices de compression ou de gonflement, la connaissance du module de poisson **ν** est souvent nécessaire, la corrélation la plus connue et la plus utilisée est celle du hongrois JAKY (1944) : $\nu = (1 - \sin \phi')(2 - \sin \phi')$

4-5-2 Les corrélations de résistance :

Pour les calculs des états limites des ouvrages le géotechnicien a besoin de quelques paramètres qui sont :

- L'angle de frottement effectif ϕ' et la cohésion effective C' pour une analyse drainée.
- La cohésion apparente (non drainée) C_u pour une analyse non drainée.

a- La cohésion effective C' :

Avec l'indice de consistance : les corrélations qui devraient permettre d'évaluer la cohésion effective sur la base d'autres paramètres conduisent presque toujours à des coefficients de corrélations très faibles. Les seules corrélations intéressantes trouvées dans la littérature sont celles présentées par **Bjerrum** en 1951 : I_C **(%)** $= (\omega_L - \omega) / I_P$.

b- La cohésion apparente (non drainée) C_u :

- **Avec la résistance de pointe statique q_c (CPT) :**

Les essais aux pénétromètres statiques ou dynamiques sont un bon moyen pour estimer la résistance au cisaillement non drainée. Avec le pénétromètre statique CPT et pour des sols limoneux et argileux, on peut utiliser l'équation : $\mathbf{C_U = (q_c - \sigma'_{v0})/ N_K}$

Où : N_K est un facteur donné par divers auteurs comme il montre le Tableau I- suivant :

Tableau I- 8 : les valeurs du facteur N_K

Auteur	N_K
L'Herminier	11
Skempton	10
Meyerhof	9
Caquot et Kérisel	7
Steiner & Togliani (1998) : Argiles de l'arc alpin	15

- **Avec la résistance de pointe dynamique qd (DP ou SPT) :**

Tableau I- 9 : Corrélations entre la cohésion apparente et la résistance de pointe dynamique

Auteur	Corrélation
Zhou (1997) : Argile molle	$C_U = q_d / 11{,}4$
Gourvès & Barjot (1995) : sol fin de compacité moyenne	$C_U = q_d / (15 \text{ à } 20)$

- **Avec l'essai pressiométrique :** des relations du type $C_U = (\rho_{1m} - \sigma_h) /$ cste, ont été proposées par différents auteurs. **Tableau I- 10**

Tableau I- 10 : les corrélations entre la cohésion apparente et l'essai pressiométrique

Auteur	Corrélation
Cassan (1988), Amar & Jézéquel (1972) : Argile molle à ferme	$C_U = (\rho_{lm} - \sigma_h) / 5{,}5$
Dito : Argile ferme à dure	$C_U = (\rho_{lm} - \sigma_h) / 8$
Dito : Argile dure à très dure	$C_U = (\rho_{lm} - \sigma_h) / 15$
Marsland & Randolf (1977) : Argile dure	$C_U = (\rho_{lm} - \sigma_h) / 6{,}8$
Lukas & Le Clerc de Bussy (1976) : toutes les argiles	$C_U = (\rho_{lm} - \sigma_h) / 5{,}1$
Amar et Jézéquel (1972) : dito	$C_U = ((\rho_{lm} - \sigma_h) / 10) + 25$
Martin & Drahos (1986) : Argile dure	$C_U = (\rho_{lm} - \sigma_h) / 10$
Johnson (1984) : Argile molle à dure	$C_U = (\rho_{lm} / 10) + 25$

4-5-3 Les corrélations de la perméabilité :

Le but de ce type de corrélation est d'évaluer le coefficient de perméabilité K verticale pour des sols le plus souvent hétérogènes.

- Corrélation par la granulométrie : c'est le seul type de corrélation qui donne des résultats utilisables. Le meilleur marqueur de la granulométrie est le diamètre d_{10} à savoir le diamètre à 10% de la courbe granulométrique.

Dans la littérature se trouvent trois corrélations celle de **Slichter (1988)** pour les sols fins, de **Hazen (1911)** et du **NAVFACDM-7.** Ce sont les plus intéressants car elles sont en fonction de d_{10} et de l'indice des vides e_0, ces trois corrélations suivent une loi « puissance » de la forme : $K = C.d_{10}^2$; Avec C : constante.

4-5-4 Autres corrélations :

a- Estimation du rapport de sur consolidation OCR :

Ce paramètre est très important car il permet d'apprécier le degré de sur consolidation des sols : $\mathbf{OCR = \sigma'_P / \sigma'_{V0}}$

La seule corrélation trouvée dans la littérature de ce paramètre est celle proposée par **Mayne et Mitchel (1988),** elle concerne des argiles (probablement aussi des limons argileux) de consistance molle à moyenne : $\mathbf{OCR = 4{,}31\ (C_{US} / \sigma'_{V0})}$.

b- Estimation du coefficient de poussée des terres au repos K_0 :

Le coefficient de poussée des terres au repos est souvent difficile à estimer. Le **Tableau I- 11** présente les différentes corrélations trouvées dans la littérature en fonction de différents paramètres.

Tableau I- 11 : corrélations du coefficient de poussée des terres au repos K_0

Auteur	Corrélation
Jaky (1944) : sols normalement consolidés	$K_0 = 1 - \sin \phi'$
Brooker & Ireland (1965), Lambe & Whitman (1969) : sols normalement consolidés	$K_0 = 0{,}95 - \sin \phi'$
Alpan (1967)	$K_0 = 0{,}19 + 0{,}233 \log I_P$

La forme la plus courante de la relation $K_0 = f(\phi', OCR)$ est : $\mathbf{K_0 = (1 - \sin \phi').OCR^{\alpha}}$

Avec α : un coefficient peut prendre plusieurs valeurs suivant les auteurs :

- $\alpha = 0{,}5$ **(Schmidt, 1965)**
- $\alpha = \sin \phi'$ **(Kulhawy et al , 1989)**
- $\alpha = 0{,}46 \pm 0{,}05$ **(Jamiolkowski et al , 1979)**

Pour un angle de frottement interne de 30° (α =0,5) et pour un OCR de 10 (sol fortement sur consolidé), K_0 =1,6.

Pour un OCR de 10, les corrélations de **Brooker et Ireland (1965)** donne un K_0 d'environs 1,4.

c- Estimation de la masse volumique optimale ρ_{opn} et de la teneur en eau correspondante ω_{opn} (Proctor) :

La masse volumique optimale ainsi que la teneur en eau correspondante peuvent être estimées en fonction de la limite de liquidité et en fonction du pourcentage des grains <0,08 mm .

d- Les corrélations de Biarez :

Sur la base de corrélations bien établies, **Biarez & Favre (1972,1976)** ont établi un graphique liant les principaux paramètres caractérisant un sol **(Tableau I- 12)** , ce graphique donne des relations entre les valeurs tirées de l'essai oedométrique, les limites de consistance et la cohésion non drainée C_U pour les argiles ordinaires, remaniées et saturées, de compacité moyenne à très faible. Ces relations ne donnent qu'un ordre de grandeur à titre indicatif seulement.

Tableau I- 12 : les corrélations de Biarez

Les paramètres	La corrélation de Biarez
Le coefficient de compressibilité	$C_C = 0{,}009\ (W_L - 13)$
L'indice de plasticité	$I_P = 0{,}73\ (W_L - 13)$
La cohésion apparente	$(0{,}11 + 0{,}0037.I_P).\sigma'_V$

e- Estimation des résistances des pénétromètres (statique et dynamique) :

Tableau I- 13 : Estimation des résistances des pénétromètres (statique et dynamique)

Auteur	Corrélation
Cassan (1988) : Limons argileux	$q_d = 0{,}79\ q_c$
Cassan (1988) : Sables argileux	$q_d = 0{,}93\ q_c + 1{,}88$
Cassan (1988) : Les sables limoneux et les limons argilo-sableux	$q_d = 0{,}3\ q_c$
Cassan (1988) : Les sables et graviers saturés	$q_d = 0{,}4\ q_c$
Sanglerat & Gielly (1974) : Sols cohérents saturés	$q_d = q_c$. (10 à 100)
Waschkowski (cité par cassan 1988) : Argiles et limons surconsolidés	$q_d = 0{,}2\ N_{SPT}$
Waschkowski (cité par cassan 1988) : Argiles sableuses et limons sableux	$q_d = 0{,}3\ N_{SPT}$

Waschkowski (cité par cassan 1988) : Sables	$q_d = 0,4\ N_{SPT}$
Waschkowski (cité par cassan 1988) : Sables plus ou moins graveleux	$q_d = 0,8\ N_{SPT}$
Zhou (1997) : Argiles	$q_d / (\rho_{lm} - \sigma_h) = 4,6$
Zhou (1997) : Limons	$q_d / (\rho_{lm} - \sigma_h) = 6$

Les résistances de pointes statiques q_C et dynamiques q_d ne sont pas équivalents .Il existe plusieurs relations liant ces deux résistances soit entre eux soit avec d'autres paramètres **(Tableau I- 13).**

1- Généralités :

La programmation avec le langage VB.net est une programmation très semblable, dans son principe, à la programmation avec d'autres langages. On obéit toujours au principe de l'analyse puis codage.

Lors de la programmation d'un logiciel en VB, les étapes suivantes sont très importantes à suivre :

- Spécification des besoins des futurs utilisateurs. (Compréhension du problème à résoudre)
- Spécifications fonctionnelles : comment satisfaire aux besoins.
- Conception générale : division du logiciel en programmes.
- Conception détaillée : algorithme le plus adapté pour chaque programme.
- Assemblage des différents programmes.
- Codage à l'aide du langage le plus adapté.
- Validation et qualification.

La **conception** est beaucoup plus importante que le **codage** qui peut être sous-traité dans le cas de gros logiciels.

2- VBA ou VB ou Visual Basic :

- La terminologie autour de Visual Basic peut mener à une certaine ambiguïté.
- VBA = Visual Basic pour Application : Disponible avec MS Office (Excel, Access, Word)
- VB = Visual Basic : Langage de programmation contenu dans MS Office mais également intégré dans Visual Studio pour faire des applications indépendantes.

3- Caractéristiques du langage Visual Basic :

Ci-dessous on site les caractéristiques les plus importantes du langage VB :

Le langage VB puise ses sources du langage **BASIC** (**B**eginner's **A**ll purpose **S**ymbolic **I**nstruction **C**ode).

- Programmation par **objets** (briques logicielles)
- Programmation **graphique** (fenêtres, icônes, menus, souris…)
- Programmation **événementielle** (sollicitations : souris, clavier, autre événement…)
- Réutilisable (modules de code BASIC).

Le VB est dit **langage de programmation évènementiel** car l'exécution de n'importe quelle action se fait suite à l'occurrence d'un évènement, contrairement à la programmation séquentielle (langage C, Pascal etc.…).

Exemple : l'événement click avec la souris sur le bouton OK engendre la validation d'un choix.

4- Structure générale :

La structure générale du logiciel Visual Basic .net est représentée dans la figure suivante :

Comme on le voit sur la première figure, l'interface VB.net contient 5 zones.

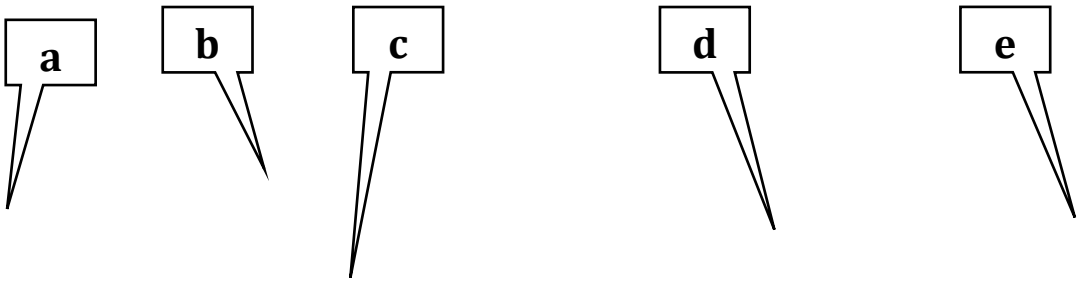


Figure II-1 : Interface utilisateur de Visual-Basic

a- la Boîte à outils :

Contenant les composants ou contrôles
servant à peupler la feuille (FORM) à programmer.
– Contient des outils et contrôles permettant
d'ajouter des éléments à l'interface.
– Chaque contrôle ajouté à l'interface
devient un objet, ou élément programmable de l'interface.

Figure II-2 : La boite à outils de Visual-Basic

b- la barre des menus : donnant accès à différentes fonctionnalités du logiciel.



c- Feuille Interface Utilisateur :

C'est la feuille à programmer (FORM), cette feuille représente l'interface de l'application à développer, s'affiche au démarrage.

– On peut ajuster la taille de l'interface à l'aide de la souris

– On peut ajouter des feuilles supplémentaires à l'aide de la commande : « Ajouter une feuille» du Menu « Projet».

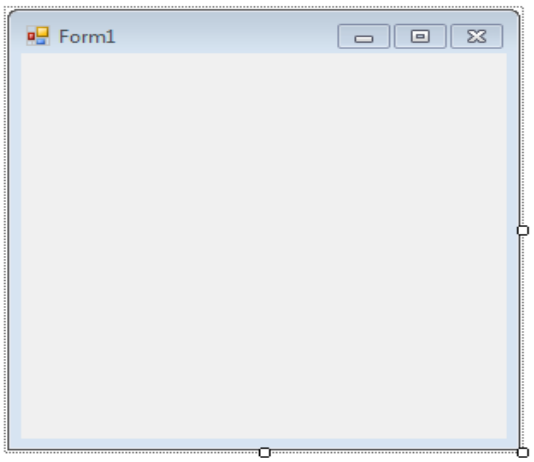


Figure II-3 : Feuille Interface Utilisateur

d- Fenêtre propriétés : contenant les propriétés du composant sélectionné.

Figure II-4 : Fenêtre de propriétés en Visual-Basic

e- Fenêtre explorateur des projets : ajout / suppression de feuille et/ou de module.

– Répertorie les fichiers crées dans le projet

– On y accède par 2 boutons : Code / Afficher l'objet

– Fichier projet est suffixé par .vb

– Sous le nom du projet, la fenêtre

affiche les composants sous la forme

d'une arborescence

• Cliquer sur le bouton « Explorateur de projet »

pour l'afficher.

– Répertorie les propriétés possibles des éléments

de l'interface et offre la possibilité de les changer.

– On peut affecter directement des propriétés aux

objets sélectionnés.

– Ces propriétés peuvent être ensuite changées par programme (en agissant sur le code).

– Si la fenêtre n'apparaît pas, cliquer sur le bouton correspondant de la barre d'outils.

En visual Basic :

- Les objets manipulés sont appelés des **contrôles** (bouton de commande, boîte de dialogue, zone de texte, zone d'image, etc.

- L'interface utilisateur créée est fenêtrée. Une fenêtre est appelée une **feuille** (Form). Une feuille est elle-même un contrôle. Au lancement, la feuille qui apparaît est dite feuille de démarrage.

5- Objet VB.NET utilisés :

Dans l'interface de mon application nous avons eu recours à plusieurs objets vb.net sur les quels on peut ajouter des événements et modifier le contenu.

5-1 LABEL :



Représente l'étiquette de texte pour un contrôle et fournit un support pour les touches d'accès. Cette classe fournit à la fois un support fonctionnel et visuel pour les touches d'accès (également connu sous le mnémonique). Il est fréquemment utilisé pour permettre l'accès rapide aux commandes clavier comme une zone de texte.

5-2 TEXTBOX :



Représente un contrôle qui peut être utilisé pour afficher ou modifier du texte non mis en forme.

5-3 BUTTON :



Représente un contrôle bouton Windows qui réagit à l'événement ButtonBase.Click.

5-4 COMBOBOX :



Un ComboBox affiche un champ d'édition de texte associé à un ListBox, permettant à l'utilisateur de sélectionner des éléments dans la liste ou d'entrer du texte.

Par défaut, ComboBox affiche un champ d'édition avec une liste déroulante masquée.

La propriété DropDownStyle détermine le style de la zone de liste déroulante à afficher.

On peut entrer une valeur qui fournit une liste déroulante simple dans laquelle la liste est toujours affichée, une zone de liste déroulante dans laquelle la partie de texte n'est pas modifiable et on doit appuyer sur une flèche pour afficher la zone de liste déroulante, ou la zone de liste déroulante par défaut dans laquelle la partie de texte est modifiable et l'utilisateur doit appuyer sur la touche de direction pour afficher la liste. Pour afficher une liste que l'utilisateur ne peut pas modifier, on utilise un contrôle ListBox.

5-5 LISTBOX :



Le contrôle ListBox permet d'afficher une liste d'éléments dans laquelle l'utilisateur peut sélectionner en cliquant. Un contrôle ListBox peut fournir des sélections uniques ou multiples suivant la valeur de la propriété SelectionMode. ListBox fournit également la propriété MultiColumn, qui permet d'afficher des éléments dans plusieurs colonnes plutôt que dans une liste verticale. Cela permet au contrôle d'afficher les éléments de façon plus visible et évite à l'utilisateur de faire défiler la liste pour afficher un élément.

5-6 DATAGRIDVIEW :



Affiche les données dans une grille personnalisable. Le contrôle DataGridView fournit une table personnalisable pour l'affichage des données. La classe DataGridView permet la personnalisation des cellules, des lignes, des colonnes et des bordures grâce à l'utilisation de propriétés telles que Default Cell Style, Column Headers Default Cell Style,Cell Border Style et GridColor. On peut utiliser un contrôle Data Grid View pour afficher des données avec ou sans source de données sous-jacente. Sans spécifier une source de données, on peut créer des colonnes et des lignes qui contiennent des données et les ajouter directement au DataGridView. On peut également définir les propriétés Data Source et DataMember pour lier le DataGridView à une source de données et le remplir automatiquement avec des données.

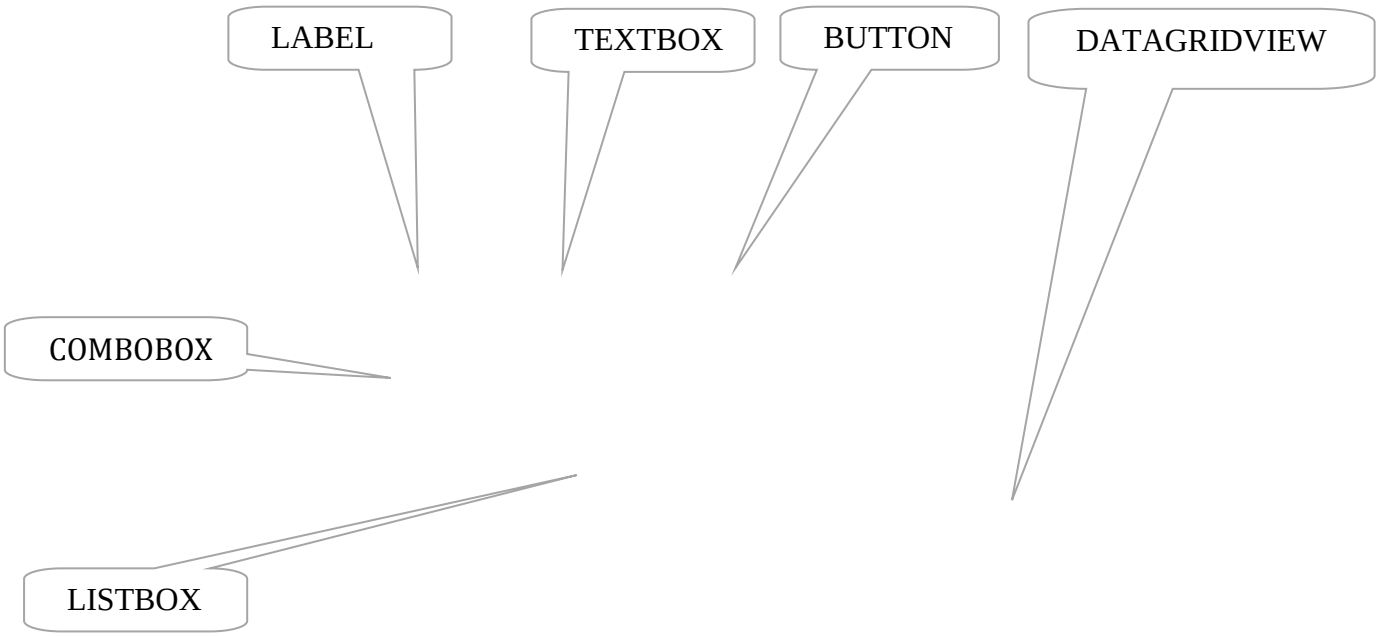


Figure II-5 : quelques Objets VB.NET utilisés

6- Développement d'un programme sous VB :

Le développement d'un programme en Visual basic doit être fait en trois étapes :

• Création de l'interface utilisateur à l'aide des contrôles VB,

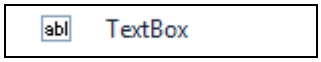
• Définition des caractéristiques ou propriétés des éléments qui composent l'interface,

• Ecriture du code de programmation pour un ou plusieurs éléments de l'interface en fonction des besoins.

7- Exemple : On écrit un programme VB qui affiche un message.

– Insérer une zone de texte par :

Boîte à outils / TextBox



– Insérer un bouton Commande par :

Boîte à outils / Button



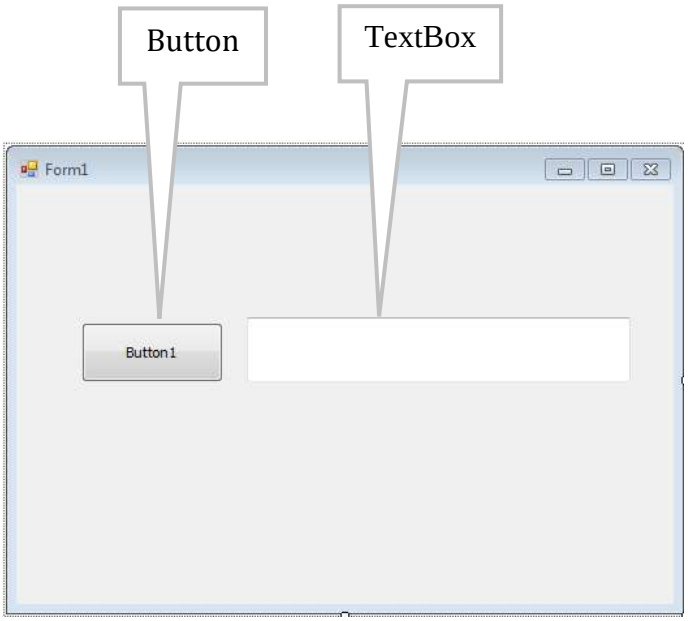


Figure II-6 : exemple de programme VB

– Utiliser : **Fenêtre Propriétés/Apparence/Text**, pour donner le nom "Afficher"

Text	Afficher

– Double-Cliquer sur le bouton Commande «Afficher » pour entrer l'instruction dans la fenêtre de code de **Button1_Click ()**

TextBox1.Text = " BIENVENUE A L'UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE MEDEA "

Figure II-7 : Un exemple de code en Visual basic

L'exécution de l'exemple :

En cliquant sur "Afficher ". Le message s'affiche dans la zone de texte.

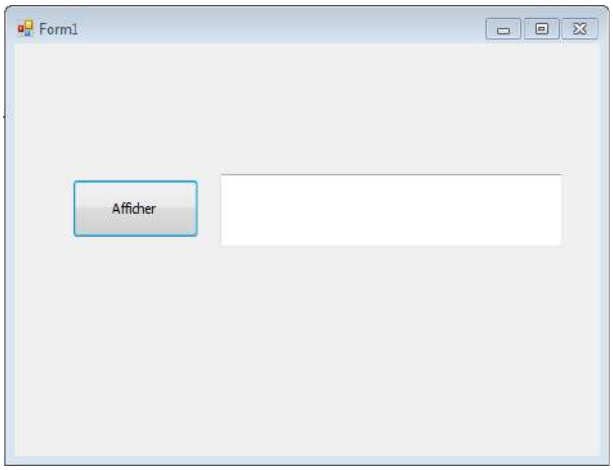


Figure II-8 : Avant le click

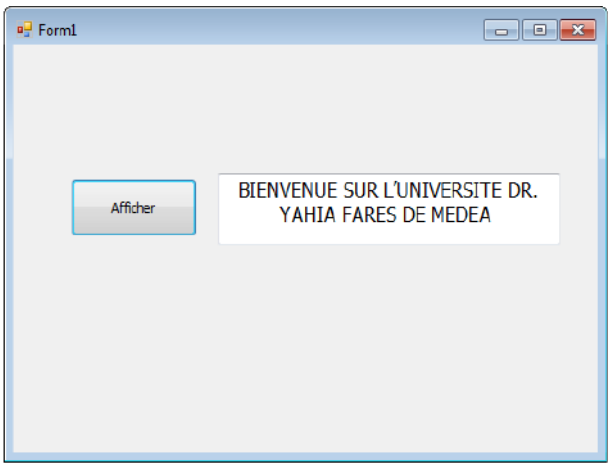


Figure II-9 : Après le click

1- Introduction :

Afin de faciliter le calcul de quelques essais géotechniques, nous avons développé une application informatique sous Visual-basic qu'on a appelé.

2- L'application Géo-Essai :

L'application Géo-Essai nous permet de faire des calculs, dessiner des graphes et donner des résultats pour les essais géotechniques suivants :

1. Essai de pénétration dynamique.
2. Essai d'œdométrique.
3. Essai de cisaillement rectiligne a la boite.



Figure III-1 : icône de l'application **Géo-Essai**

3- Présentation de l'application Géo-Essai :

L'interface de **Géo-Essai** contient les onglets principaux suivants :



Figure III-2 : L'interface de **Géo-Essai**



1-**PENETROMETRE** : pour accéder à la page d'essai de pénétration dynamique.



2-**OEDOMETRE** : pour accéder à la page d'essai œdométrique



3-**CISAILLEMENT** : pour accéder à la page d'essai de cisaillement rectiligne à la boite

-Le bouton (4) **Guide** pour afficher le guide de ce programme.

-Le bouton (5) **À propos** pour afficher certains renseignements sur cette application.

-Le bouton (6) **Fermer** pour quitter l'application.

3-1- La page d'essai de pénétration dynamique :

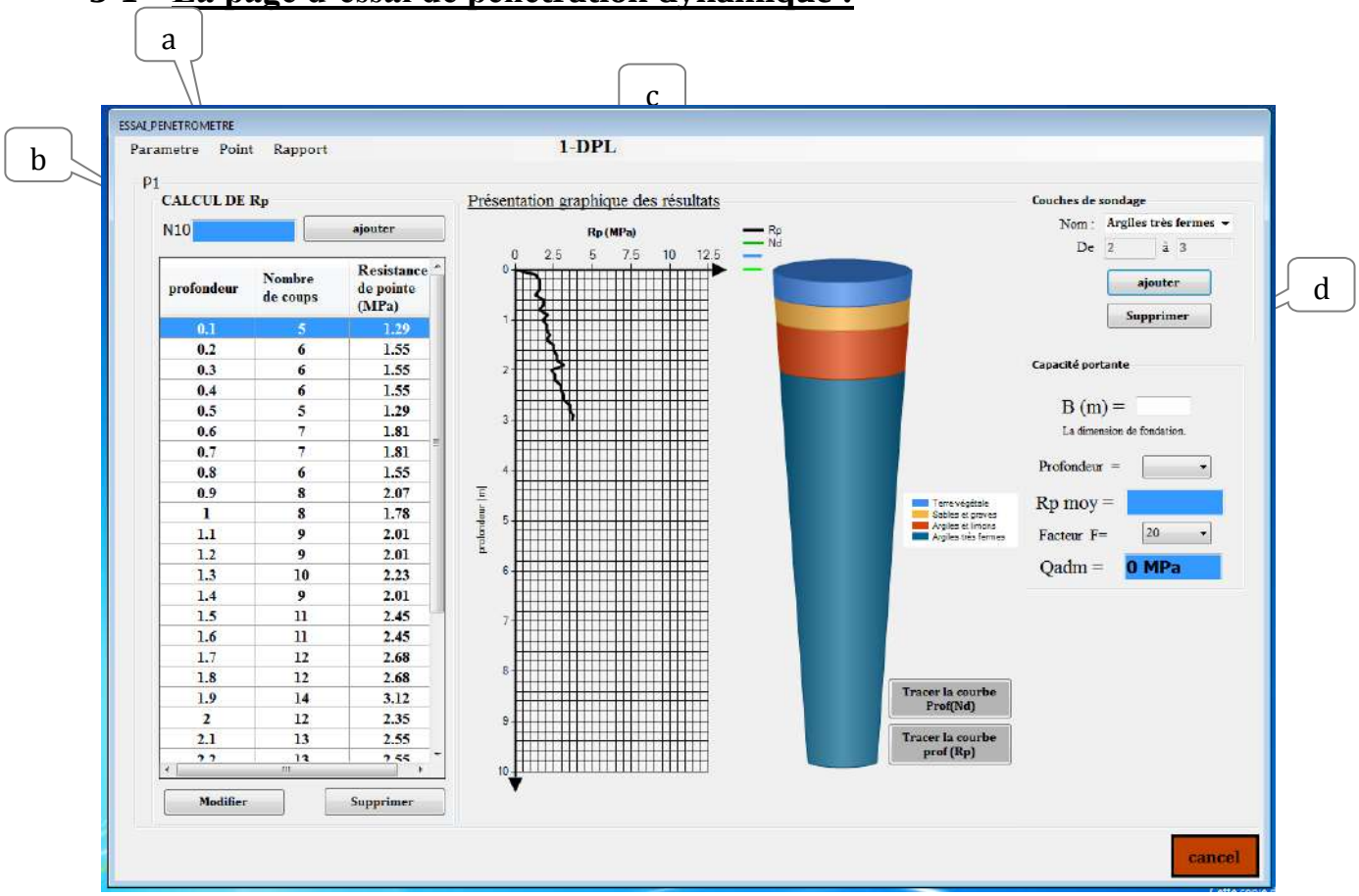


Figure III-3 : La page d'essai de pénétration dynamique.

- Cette fenêtre contient :

a- La barre de menu.

b- Le groupe : CALCUL DE Rp.

c- Le groupe : Présentation graphique des résultats.

d- Le groupe : Capacité portante.

3-1-a La barre de menu :



Ce menu contient trois onglets :

1- **Onglet « Paramètres » :** permet de choisir le type de pénétromètre dynamique et permet également de modifier les paramètres du type de pénétromètre sélectionné, comme :

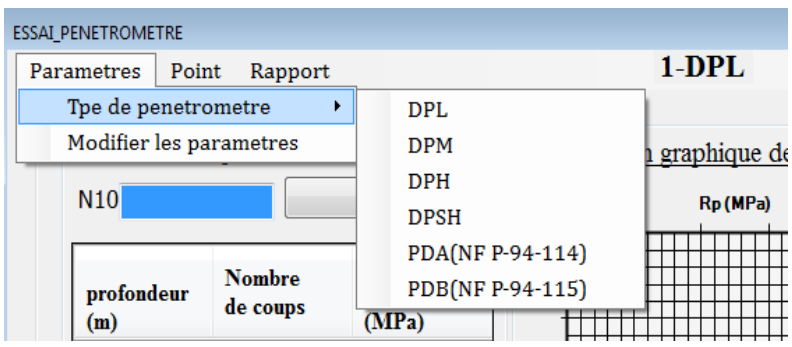
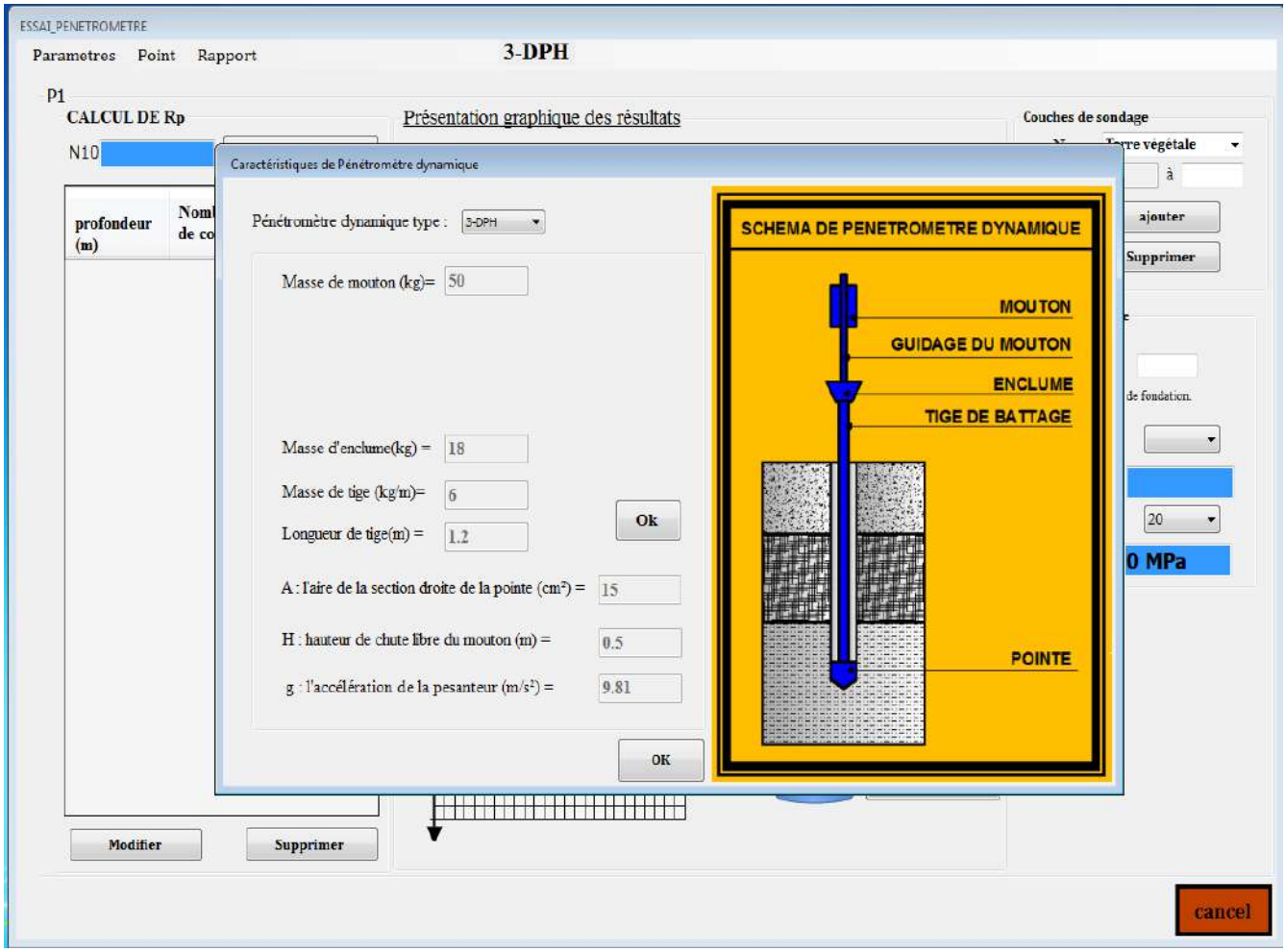


Figure III-4 : Onglet « Paramètres d'essai de pénétration ».

Il existe six types de pénétromètres dynamiques :

1- pénétromètre dynamique léger (DPL)- Eurocode.
2- pénétromètre dynamique moyen (DPM) - Eurocode.
3- pénétromètre dynamique lourd (DPH) - Eurocode.
4- pénétromètre dynamique très lourd (DPSH) - Eurocode.
5- pénétromètre dynamique type A (DPA) - NF P-94-114.
6- pénétromètre dynamique type B (DPB) - NF P-94-115.

- **La commande** : menu/ paramètres/ permet de modifier les paramètres :



*

Figure III-5 : fenêtre de modification des paramètres de pénétromètre

Dans cette fenêtre, on peut consulter ou modifier les paramètres du pénétromètre tel que : la masse du mouton, la masse de l'enclume, la longueur de la tige, la masse de la tige, l'aire de la section droite de la pointe, la hauteur de chute libre de la pointe et l'accélération de la pesanteur.

2- **Onglet « point » :** permet de sélectionner le point de la station pénétrométrique.

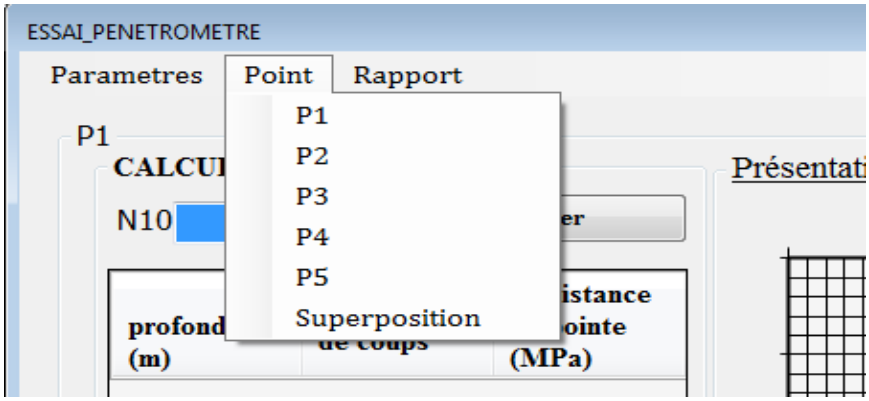


Figure III-6 : Onglet des points de station pénétrométrique.

Et permet aussi d'afficher la superposition des courbes des stations pénétrométriques qui donne une idée sur l'homogénéité du sol étudié

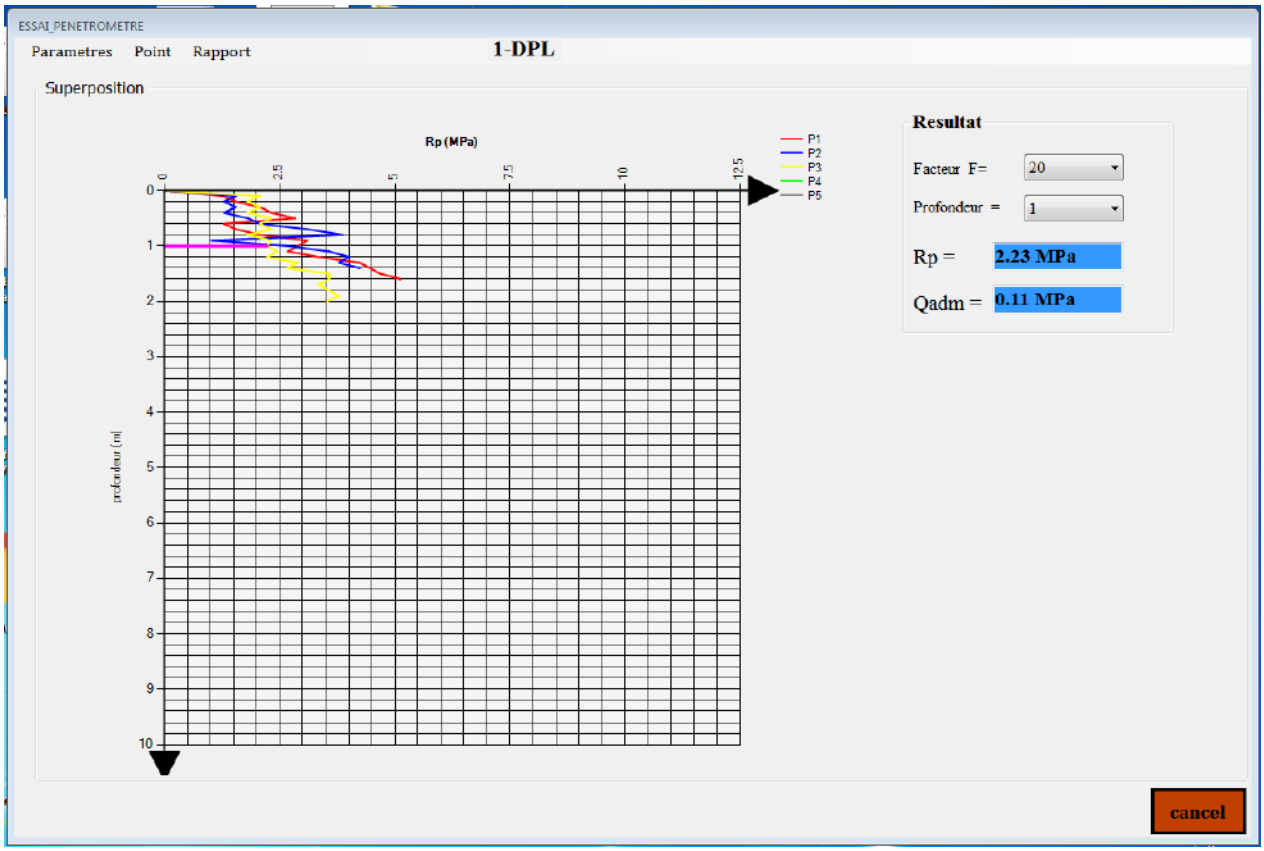


Figure III-7 : superposition des courbes pénétrométriques.

3- **Onglet « Rapport » :** pour exporter les résultats dans un fichier Word.

- **La commande** : menu/ Rapport :

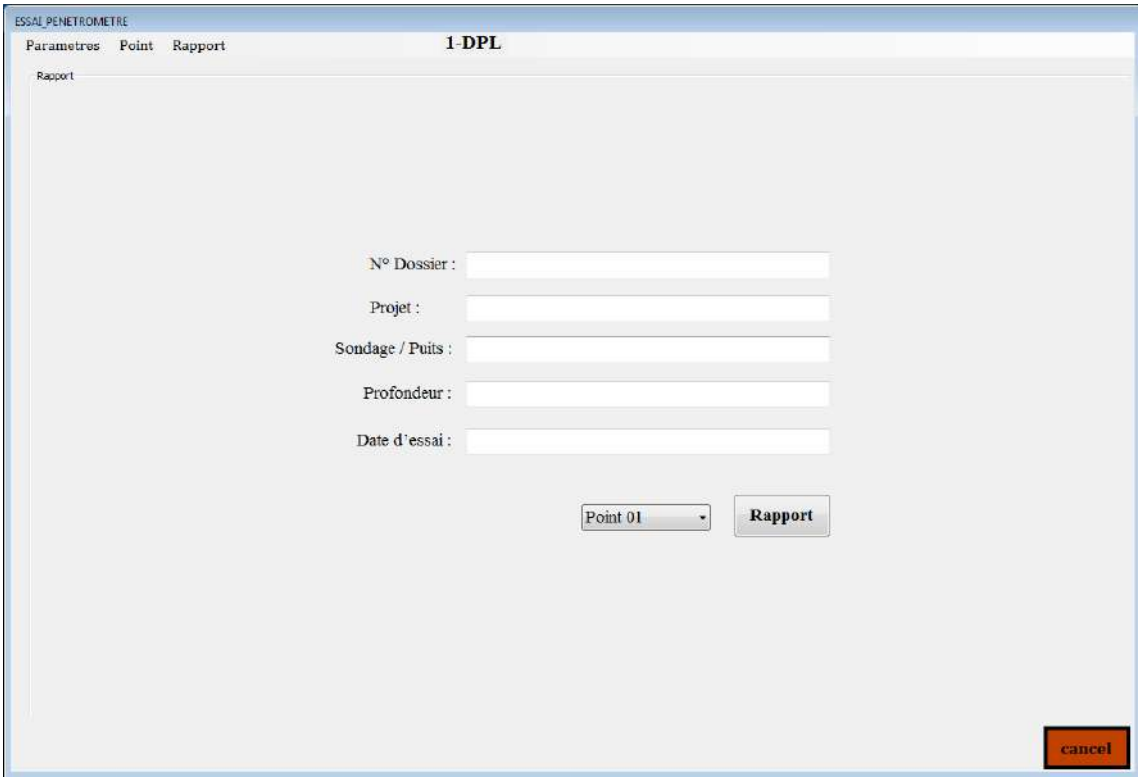


Figure III-8 : fenêtre d'exportation des données vers Word.

3-1-b Le groupe : CALCUL DE Rp :

Dans cette section, nous pouvons entrer le nombre de coup N_{10} ou N_{20} en tant que donnée ;

Puis nous obtenons les résultats dans un tableau qui affiche la profondeur exprimée en (mètres), le nombre de coup et la résistance dynamique de pointe à la pénétration exprimée en (MPa).

Le calcul de R_p est fait par la formule de battage (formule de Hollandais).

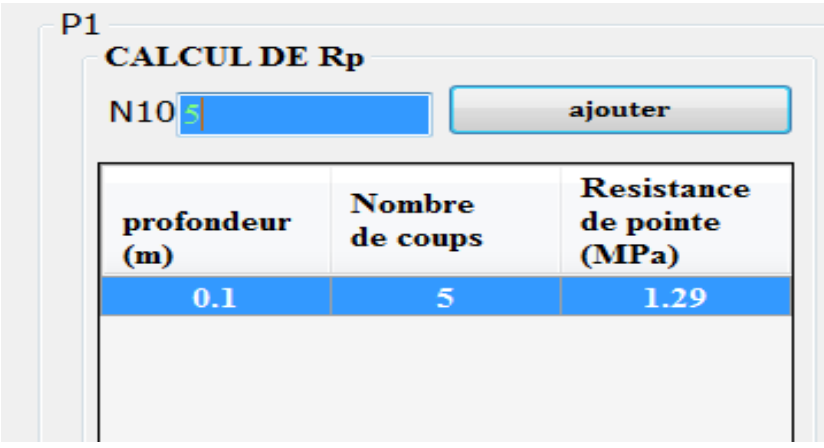


Figure III-9 : le groupe« Calcul de R_p »

3-1-c Le groupe : Présentation graphique des résultats :

Cette section permet d'afficher la courbe de résistance dynamique de pointe en fonction de la profondeur [R_p (Z)] à partir des résultats dans le tableau du groupe CALCUL DE R_p et permet aussi de présenter la coupe lithologique de sondage le plus de la station pénétrometrique.

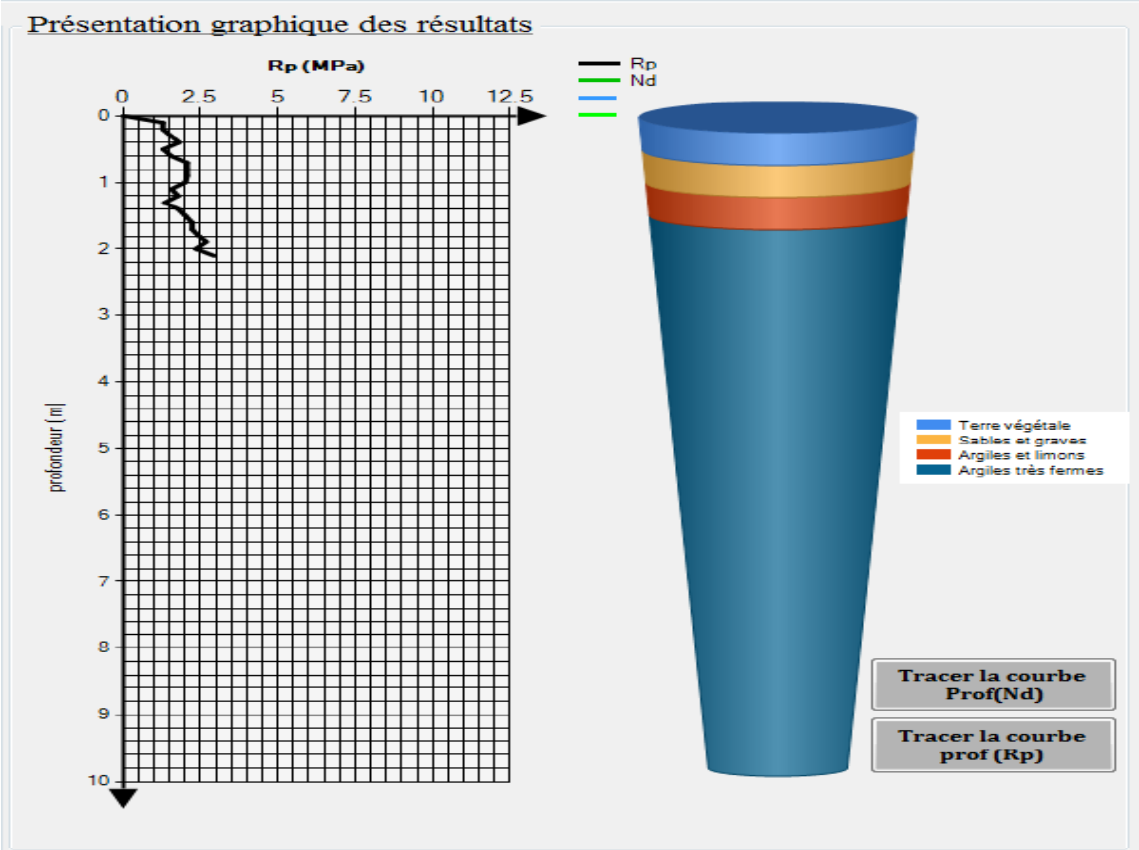


Figure III-10 : Présentation graphique des résultats

3-1-d Le groupe « capacité portante » :

Dans cette section, nous pouvons introduire la dimension de la fondation (B) et sélectionner leur ancrage (D), en nous donnant la résistance dynamique de la pointe moyenne $R_{p\ moy}$ dans la zone utile (entre le niveau d'ancrage de la fondation (D) et le niveau (D + 1,5.B)). (figure III-12)

Ensuite, nous choisissons le facteur de sécurité et obtenons la valeur de la contrainte admissible exprimée en MPa.

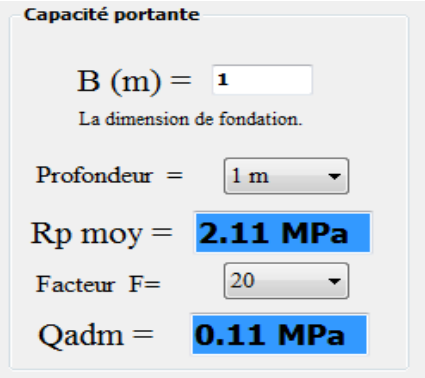


Figure III-11 : le groupe « capacité portante »

Cela peut être affiché sur la courbe [Rp (Z)] comme ceci :

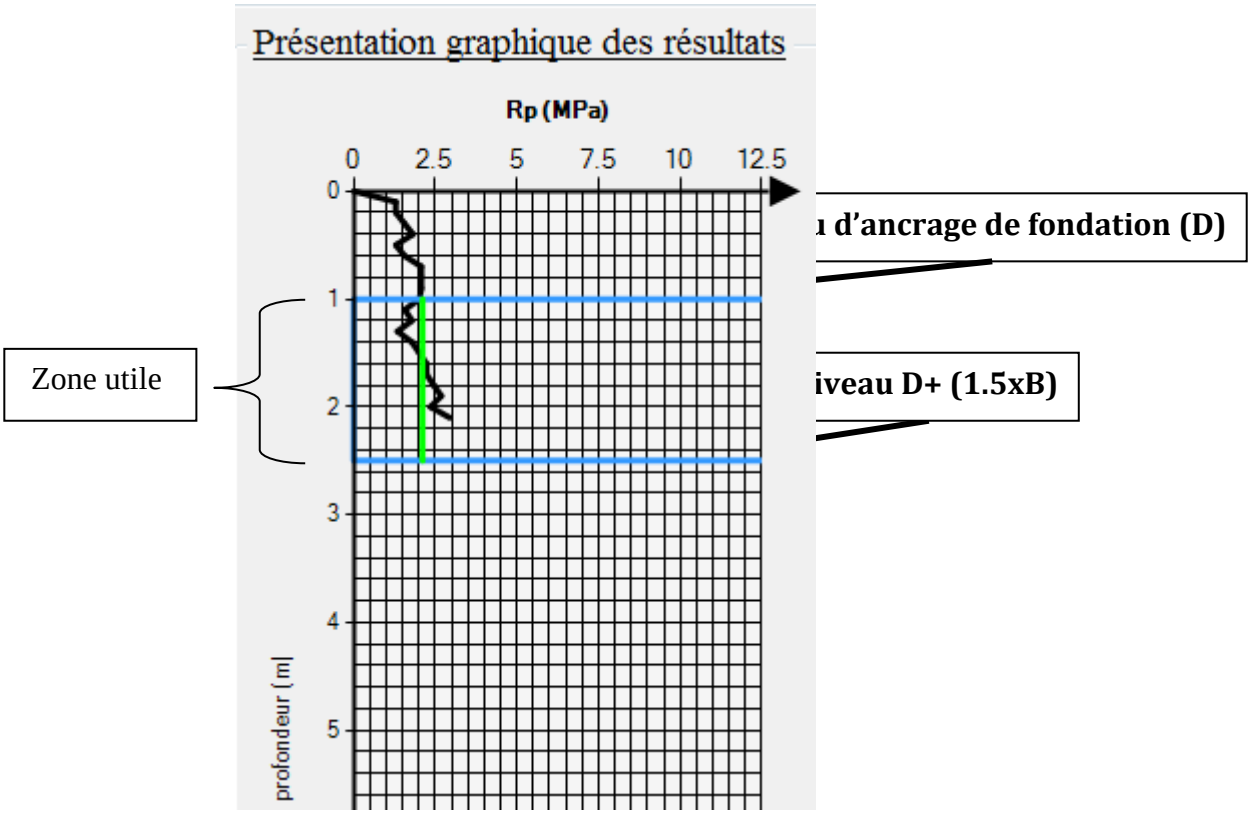


Figure III-12: calcul de $R_{pmoy.}$

Méthode de calcul :

La résistance dynamique de pointe $\mathbf{R_p}$= ?

Le Géo_Esai dépend de utilise la formule de battage (formule des hollandais), qui est mentionné dans le chapitre I.

- **Les données :**

m_m: La masse du mouton, (kg).

m_e: La masse de l'enclume, (kg).

L_t: La longueur de la tige, (m).

m_t: La masse de la tige, (kg/m).

A : L'aire de la section droite de la pointe, (cm^2).

H : La hauteur de chute libre de la pointe, (m).

g : L'accélération de pesanteur, (m/s^2).

- **Calculs :**

$$R_p = \frac{m_m \times g \times H}{A \times e} \times \frac{m_m}{m_m + m'}$$

m' : est la masse frappées (kg) [enclume, guidage du mouton, des tiges et la pointe].

$$\mathbf{m'} = m_e + (m_t \times L_t)$$

e : est l'enfoncement par coup (m) ;

$$e = \frac{h}{N_d}$$

- pour **DPL**, **DPM**, **DPH** et **DPA :** h=10 cm.

- pour **DPSH** et **DPB :** h=20 cm.

N_d : le nombre de coups de mouton nécessaire pour un enfoncement h de la ponte.

- **Exemple :**

Pénétromètre type (DPB) et $N_d = 5$

h=20 cm

$\mathbf{m_m}$= 63.5 kg ; $\mathbf{m_e}$= 18 kg ; $\mathbf{m_t}$= 6.2 kg/m ; $\mathbf{L_t}$=1.2 m ; **A** =15.9 cm² ; **H** =0.5 m

g =9.81 m/s²

$$\mathbf{m'} = m_e + (m_t \times L_t) = 18 + (6.2 \times 1.2) = \mathbf{25.44\ kg}$$

$$e = \frac{h}{N_d} = \frac{0.20}{5} = \mathbf{0.04\ m}$$

$$R_p = \frac{m_m \times g \times H}{A \times e} \times \frac{m_m}{m_m + m'}$$

$$R_p = \frac{63.5 \times 9.81 \times 0.5}{15.9 \times 10^{-4} \times 0.04} \times \frac{63.5}{63.5 + 25.44} = 3.5 \times 10^6\ \mathrm{N/m^2}$$

$$R_p = 3.5\ \mathrm{MPa}$$

De même manière, nous calculons les R_p pour les N_d suivants : 5 ; 6 ; 5 ; 8 ; 9

Tableau III-1 : Calcul de R_p

Profondeur (m)	N_d	R_P(MPa)
0.2	5	3.5
0.4	6	4.2
0.6	5	3.5
0.8	8	5.59
1.0	9	6.29

- **fiabillité des resultats de Géo-Essai :**

Afin de vérifier l'efficacité de l'application Geo_Essai nous lui avons donné les mêmes valeurs de nombres de coup que dans l'exemple précédent, les résultats suivants ont été obtenus.

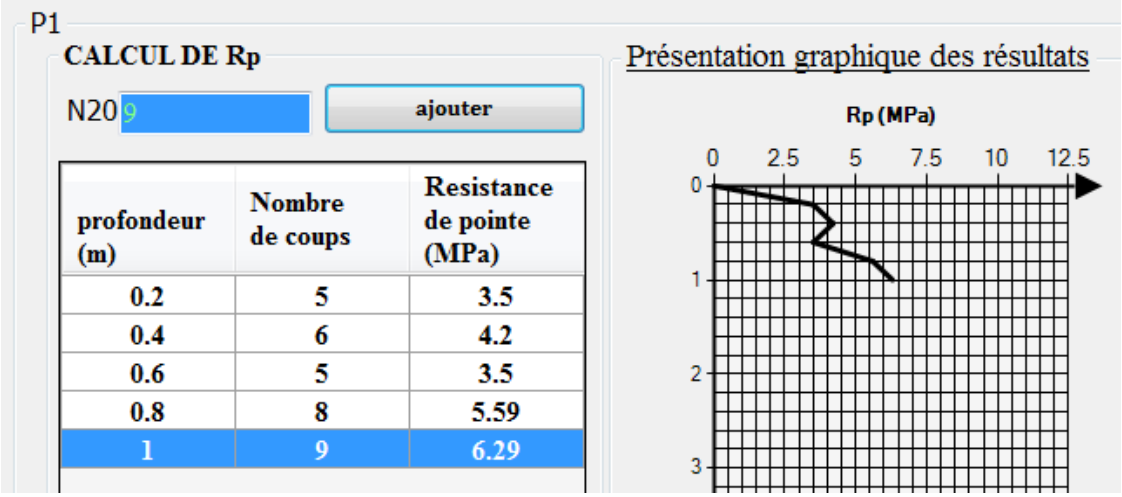


Figure III-13 : résultats de Geo_Essai.

La comparaison entre les résultats de l'application et de l'exemple, résumés dans le tableau suivant :

Tableau III-2 : La comparaison entre les résultats de l'application et de l'exemple

Profondeur (m)	R_P(MPa) [exemple]	R_P(MPa) [Geo_Essai]
0.2	3.5	3.5
0.4	4.2	4.2
0.6	3.5	3.5
0.8	5.59	5.59
1.0	6.29	6.29

3-2- La page d'essai d'œdométrique :

Dans cette page on a une fenêtre de dialogue (***par_œdo***) pour entrer les paramètres de l'œdomètre et de l'éprouvette de sol et pour calculer l'indice initial des vides de l'éprouvette (Figure III-14).

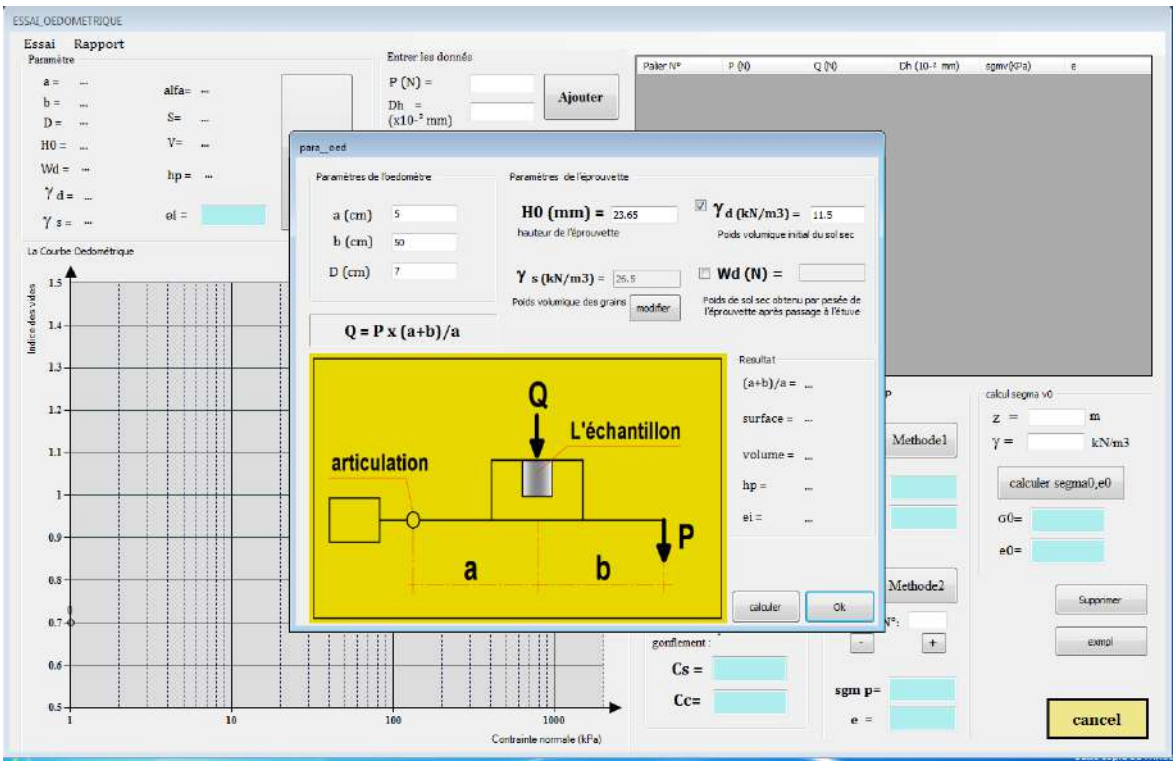
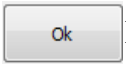


Figure III-14 : La page d'essai d'œdométrique

3-2-1 La fenêtre de dialogue (par_oedo) :

Cette fenêtre contient les paramètres de l'œdomètre, les paramètres de l'éprouvette, l'affichage des résultats des calculs et le schéma de l'œdomètre.

Après avoir terminé de travailler sur la fenêtre **(par_oedo)** en cliquant sur le bouton « ok » 

la fenêtre (**ESSAI _OEDOMETRIQE)** apparaît comme suit :

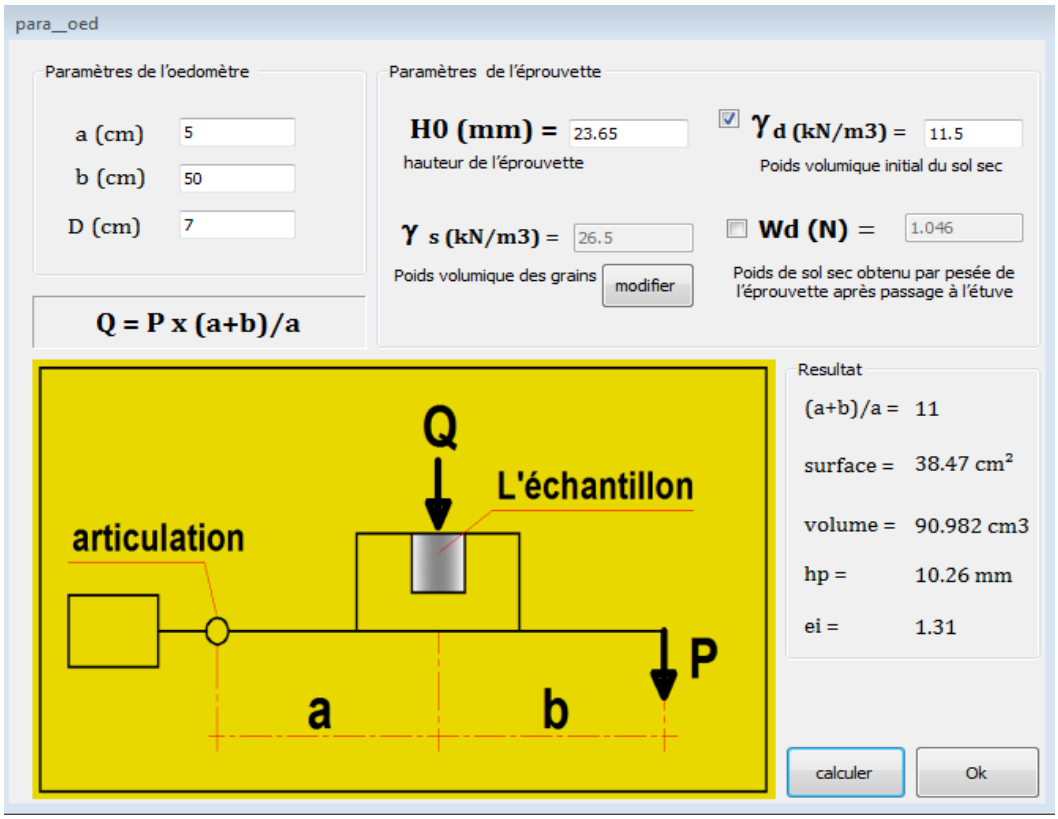


Figure III-15 : fenêtre de paramètres de l'œdomètre

3-2-2 La fenêtre : ESSAI_OEDOMETRIQE :

Cette fenêtre contient :

1. La barre de menu.
2. Une zone pour entrer ou modifier les différents paramètres de l'essai
3. Une zone pour les données tabulées.
4. Une zone pour le tracé des courbes
5. La zone calcul de σ_p.
6. La zone de calcul de calcul σ_{v0}.

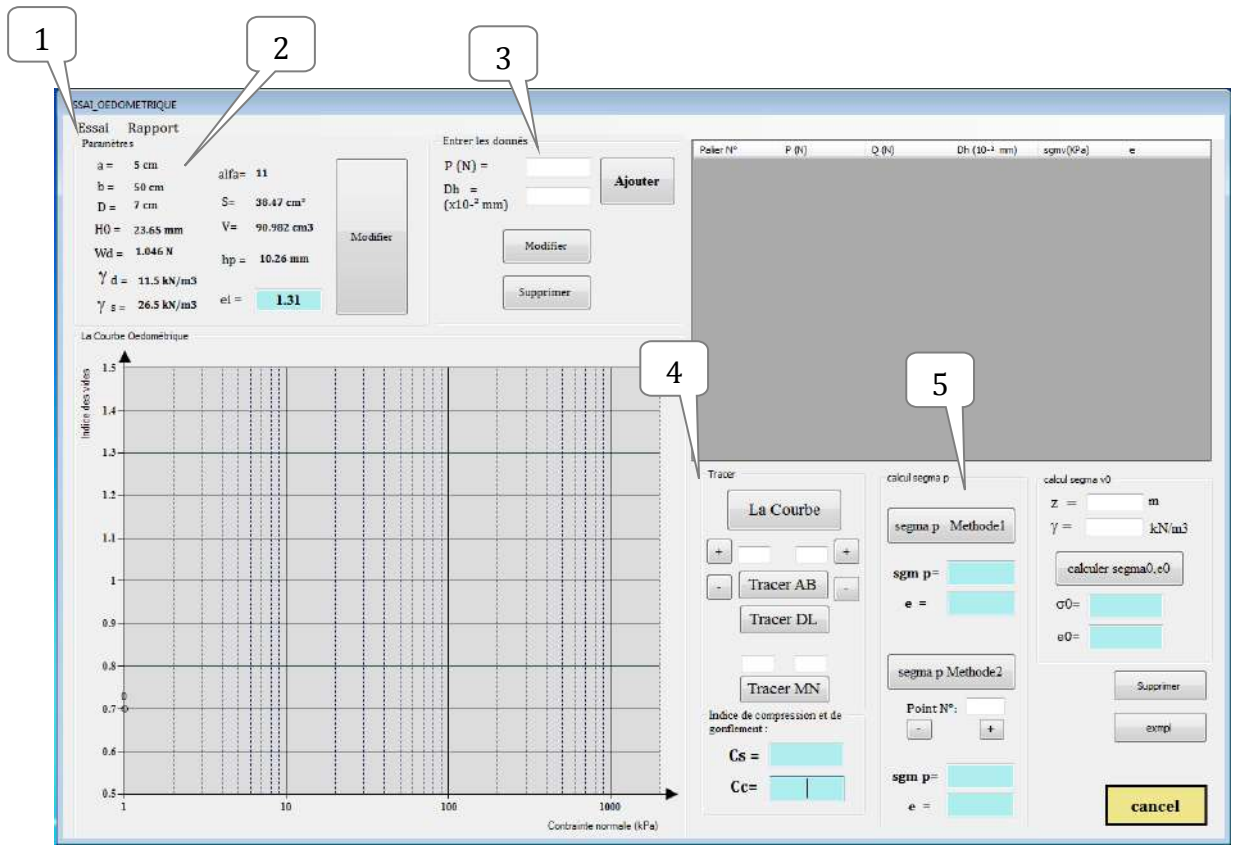
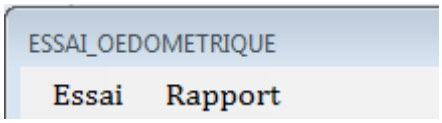


Figure III-16 : La fenêtre : ESSAI_OEDOMETRIQE

1- La barre de menu :



Contient deux onglets, l'onglet « essai » et l'onglet « Rapport » pour passer d'un page à l'autre.

2- La Zone [Paramètres] (Figure III-17) :

Afin consulter les paramètres d'essai œdométrique, avec la possibilité de les modifier en appuyant sur le bouton « modifier » qui permet de réafficher la fenêtre **(par_oedo)**

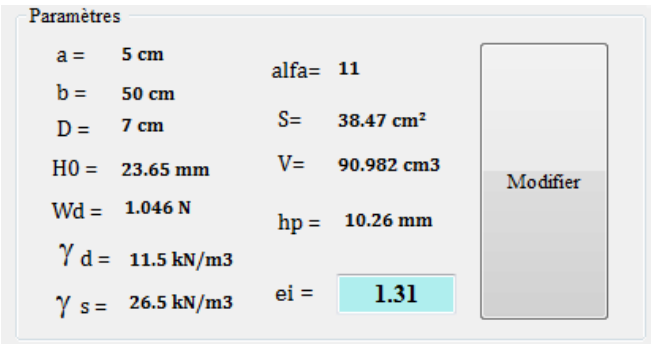


Figure III-17 : Zone de Paramètres oedométrique.

3- Le groupe [Entrer les données] :(Figure III-18)

Cette zone nous permet d'entrer la valeur de la charge (P) et la valeur de la variation de la hauteur de l'éprouvette(D_h) en tant que données et obtenir les résultats dans le tableau adjacent.

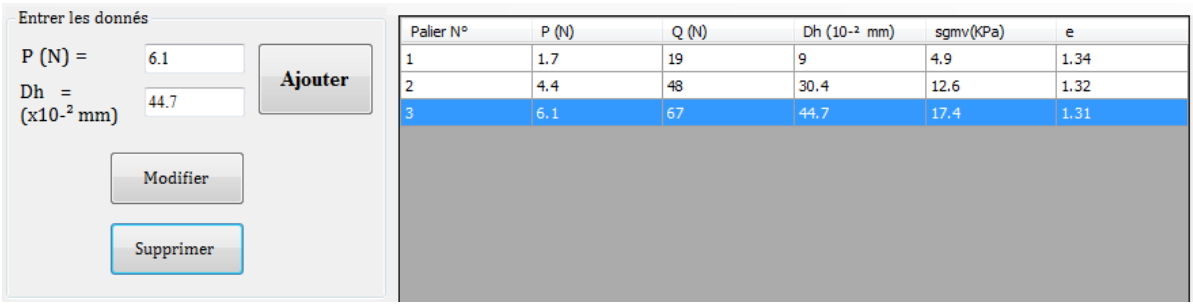


Figure III-18 : Le groupe [Entrer les données]

4- La zone [tracer] et la zone de courbe (Figure III-19)

Cette zone nous permet de dessiner la courbe œdométrique [e, logσ_v] dans la zone de courbe adjacente en utilisant les résultats dans le tableau. Et permet de dessiner les droites AB, DL et MN et de les ajuster. Et permet aussi de calculer l'indice de compression (Cc) et l'indice de recompression(Cs).

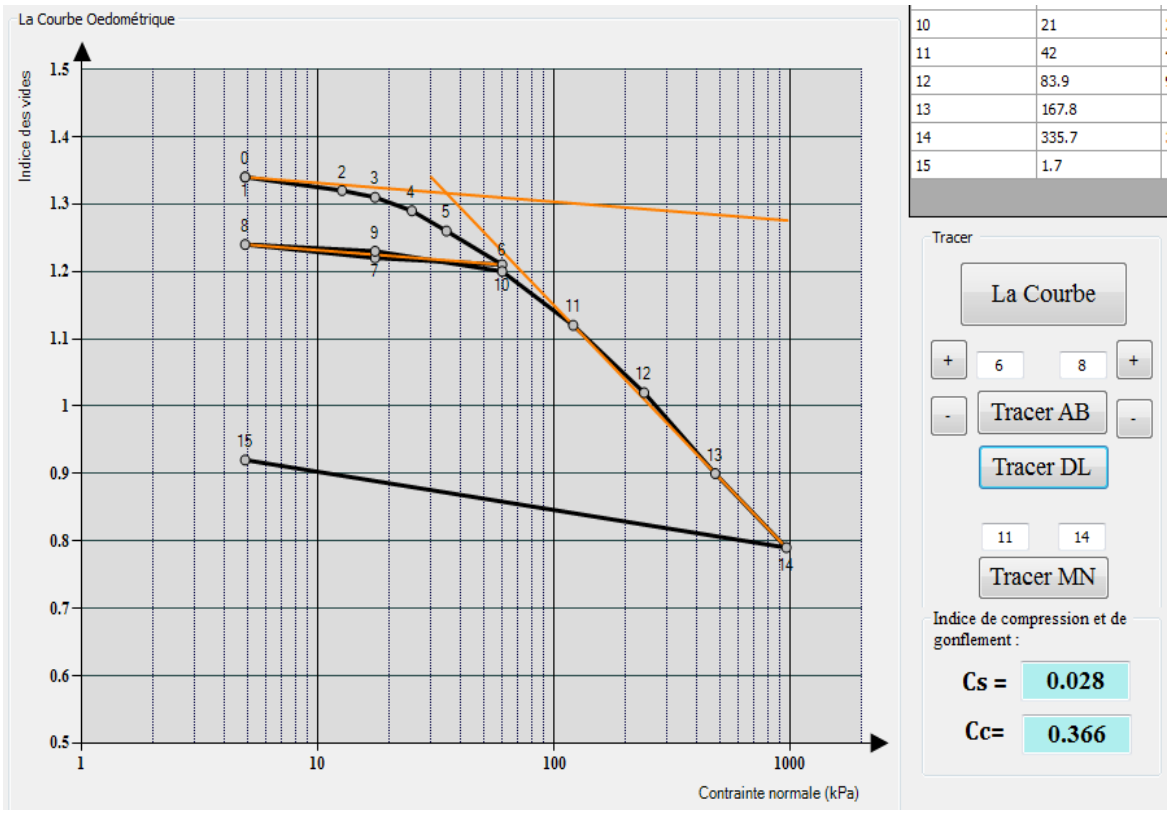


Figure III-19 : La zone [tracer] et la zone de courbe.

5- La zone de calcul de σ_p [calcul segma p] (Figure III-20)

Dans cette zone nous pouvons obtenir la valeur de σp et leur indice des vides correspondants par deux méthodes :

- La méthode 1 : pour calculer la contrainte verticale effective **σp'** de pré consolidation selon la norme française XP P94- 090-1
- La méthode 2 : pour calculer la contrainte verticale effective **σp'** de pré consolidation selon la Méthode de Casagrande.

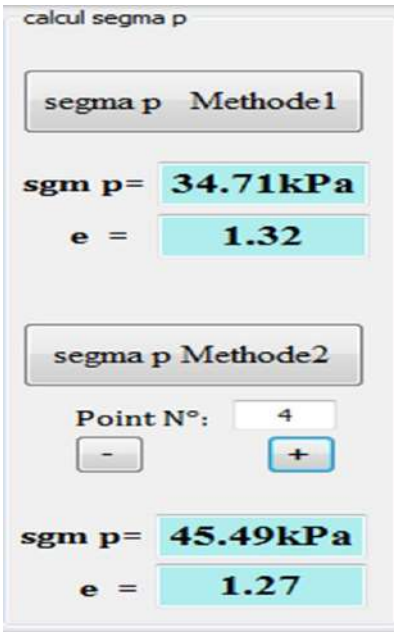
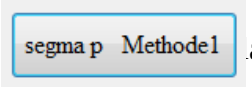


Figure III-20 : zone de calcul de σ_p

Après avoir appuyé sur le bouton 

a courbe apparaît comme suit :

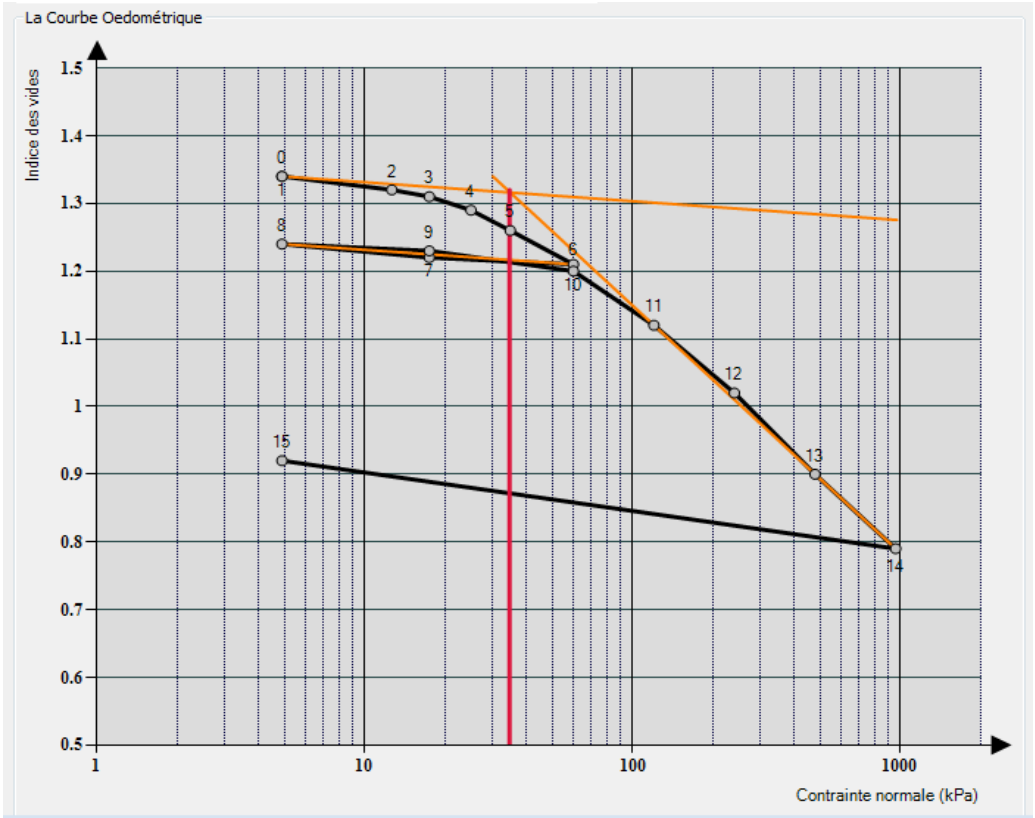
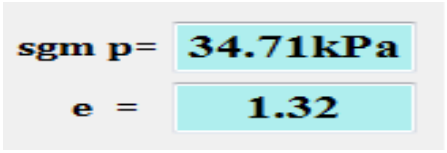
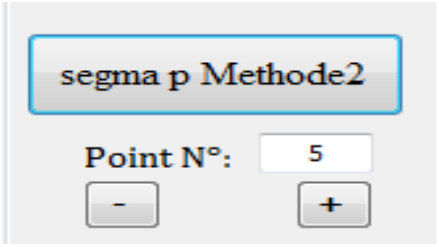


Figure III-21 : courbe oedométrique.

Et l'affichage de la valeur de la contrainte :



Pour la deuxième méthode, sélectionnez le point de tangence et appuyez sur le bouton « sigma p Methode2 ».



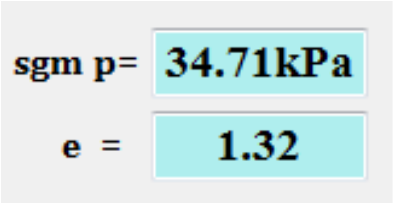
Après avoir appuyé sur le bouton 

la courbe apparaît comme suit :

σp'

Figure III-22 : courbe oedométrique sur geo_essai.

Et l'affichage de la valeur de la contrainte :



6- La zone calcul de [calcul segma v0]

Dans cette zone, nous donnons la profondeur de l'échantillon et la masse volumique du sol pour obtenir la contrainte verticale en place σ_0) et l'indice initial des vides du sol en place (e_0).

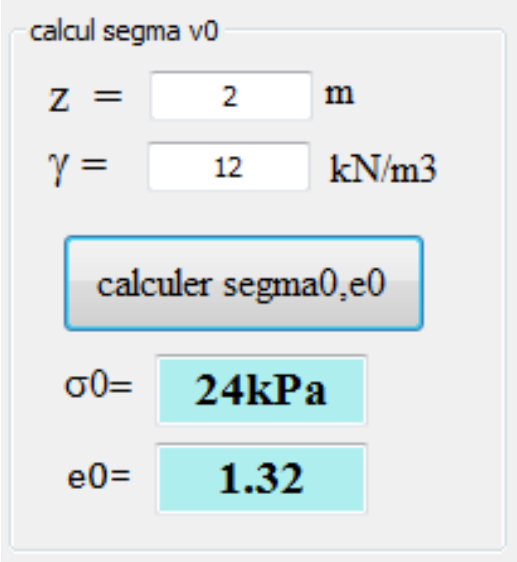


Figure III-23 : zone calcul de σ_0

3-2-3 Méthode de calcul :

Dans chaque palier, nous calculons la contrainte effective appliquée à l'éprouvette et l'indice des vides de l'éprouvette. $\boldsymbol{\sigma_v'}$= ? ; **e** = ?

Calcul de La valeur de Q

On détermine la valeur de la force **Q** à partir de l'équation d'équilibre des moments par :

$$\sum M_{/0} = 0$$

$$\Rightarrow \boxed{[(a+b)\times P]+[a\times Q]=0}$$

$$\Rightarrow \boxed{Q=\left(\frac{a+b}{a}\right)\times P}$$

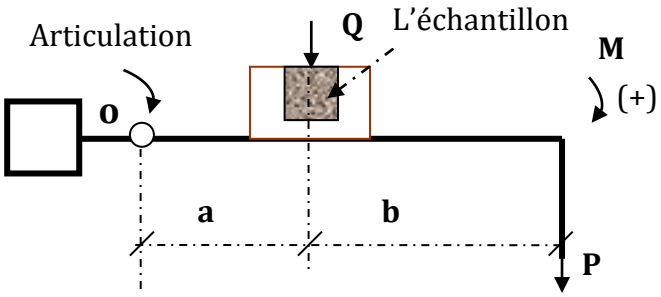


Figure III-24 : schéma d'oedomètre

Calcul de la contrainte effective [σ_v'(kPa)] :

On a $\sigma = \frac{N}{S} = \frac{Q}{S}$; Tel que : **s :** section droite de l'éprouvette.

Calcul de la section droite de l'éprouvette[S(cm²)] :

$S = \frac{\pi D^2}{4}$; Tel que : D : diamètre de l'éprouvette en (cm).

Calcul de l'indice des vides initial « e_i » :

$$e_i = \frac{H_0 - h_p}{h_p}$$

H_0 : hauteur initial de l'éprouvette.

H_p : hauteur de solide équivalente ou hauteur des pleins.

$$h_p = \frac{w_d}{\gamma_s . s}$$

w_d : poids de sol sec obtenu par pesée de l'éprouvette après passage à l'étuve.

s : section droite de l'éprouvette.

γ_s : poids volumique des grains. on pourra prendre généralement γ_s =26.5kN/m³.

Calcul de l'indice des vides « e » :

$$\text{On a } \frac{\Delta H}{H_0} = \frac{\Delta e}{1+e_i} \Rightarrow \Delta e = (1+e_i)\frac{\Delta H}{H_0} \text{ ; tel que } \Delta e = ei - e$$

$$e = e_i - [(1+e_i)\frac{\Delta H}{H_0}]$$

- **Exemple :**

a=5 cm, b=50 cm, D=7cm

H_0= 23.65 mm, w_d =1.046 N

γ_s = 26.5kN/m³

P = 1.7 N

$\Delta H = 9\times10^{-2}$ mm

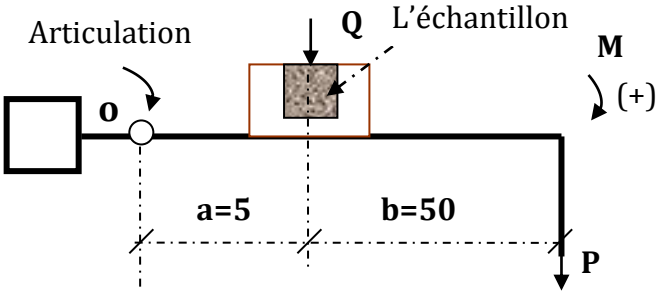


Figure III-24 : schéma d'oedomètre

Calcul de Q :

$$Q = \left(\frac{a+b}{a}\right) \times P = \left(\frac{5+50}{5}\right) \times P = 11.P$$

$\Rightarrow$ Q =11.P

Pour : P=1.7 $\Rightarrow$ Q =11x1.7 = 18.7 N

Calcul de la contrainte effective [σ_v'(kPa)] :

$$\sigma'_v = \frac{Q}{S} \quad ; S = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi . 7^2}{4} = 38.47 \text{ cm}^2$$

$$\sigma'_v = \frac{18.7}{38.47 \times 10^{-4}} = 4860{,}93 \text{ Pa} = \mathbf{4{,}86\ kPa}$$

Calcul de l'indice des vides initial « e_i » :

$$h_p = \frac{w_d}{\gamma_s . s} = \frac{1.046 \times 10^{-3}}{26.5 \times 38.47 \times 10^{-4}} = 0.01026 \text{ m} = \mathbf{10.26\ mm}$$

$$e_i = \frac{H_0 - h_p}{h_p} = \frac{23.65 - 10.26}{10.26} = 1.305 \approx \mathbf{1.31}$$

Calcul de l'indice des vides « e » :

$$\mathbf{e = e_i - \left[(1 + e_i)\frac{\Delta H}{H_0}\right] = 1.31 - \left[(1 + 1.31)\frac{9 \times 10^{-2}}{23.65}\right] = 1.30}$$

- **fiabilité des résultats de Géo-Essai :**

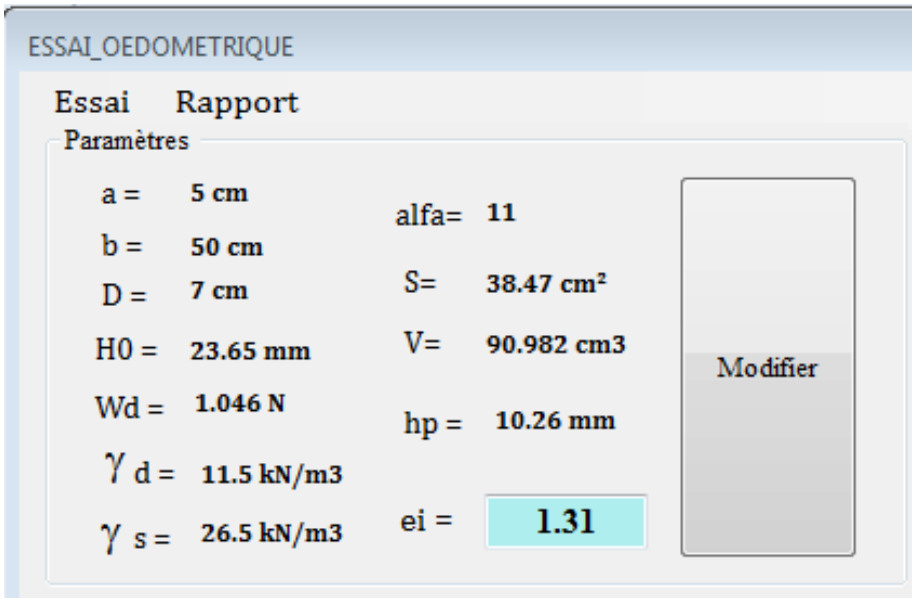


Figure III-25 : les paramètres sur géo_essai

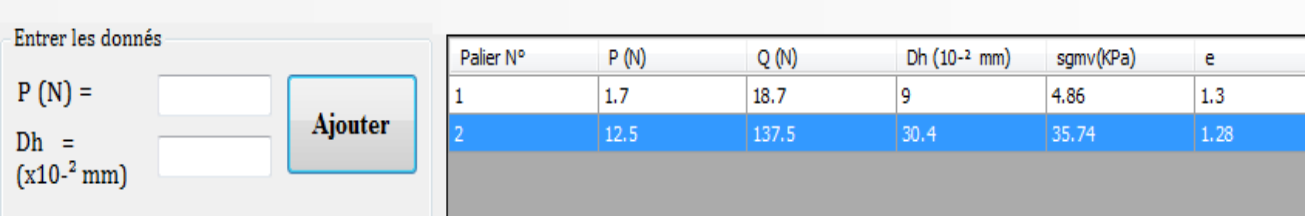


Figure III-26 : les résultats de géo_essai.

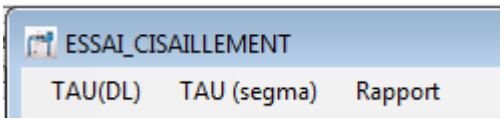
3-3- La page d'essai de cisaillement rectiligne à la boite :

Dans cette fenêtre, on a un menu qui contient trois onglets :

1- « TAU(DL) »,

2- « TAU(SEGMA)»,

3- « RAPPORT ».



3-3-1. L'onglet « TAU(DL)» :

Cet onglet nous permet d'afficher une page qui nous permet d'entrer comme données les valeurs suivantes :

- l'aire de la section transversale de la boite de cisaillement, soit carré ou circulaire.
- la force verticale (N).
- l'effort horizontal (T) et son déplacement horizontal correspondant (DL).

Ensuite, nous obtenons les résultats de la contrainte normale(σ) et la contrainte de cisaillement (τ) de chaque éprouvette.

Ensuite, nous pouvons afficher la courbe de la contrainte de cisaillement en fonction du déplacement [τ (δl)] et extraire la valeur de la contraintes de cisaillement maximale (τ_{max}) pour chaque éprouvette.

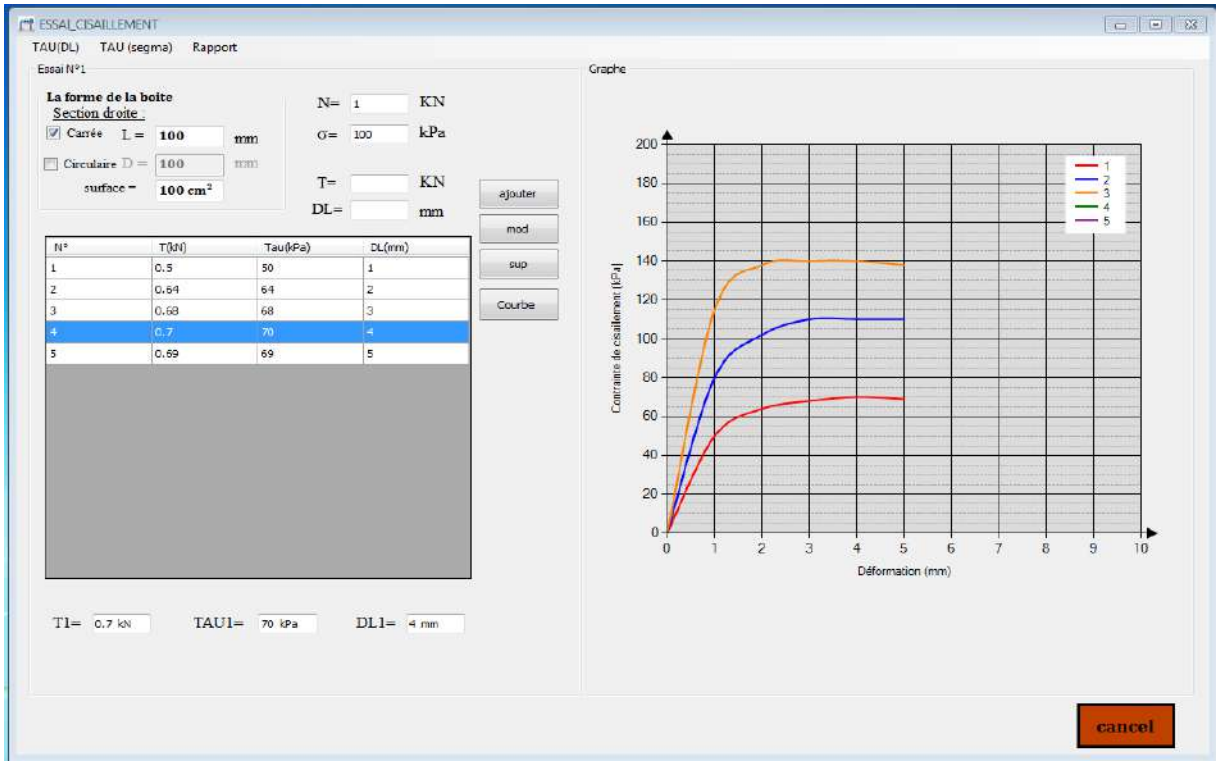


Figure III-27 : fenêtre d'essai de cisaillement- onglet « TAU(DL)»

3-3-2. L'onglet « TAU(SEGMA)» :

Cet onglet permet d'afficher une page qui regroupant les paramètres de résistance au cisaillement : la cohésion (C) et l'angle de frottement (ϕ).

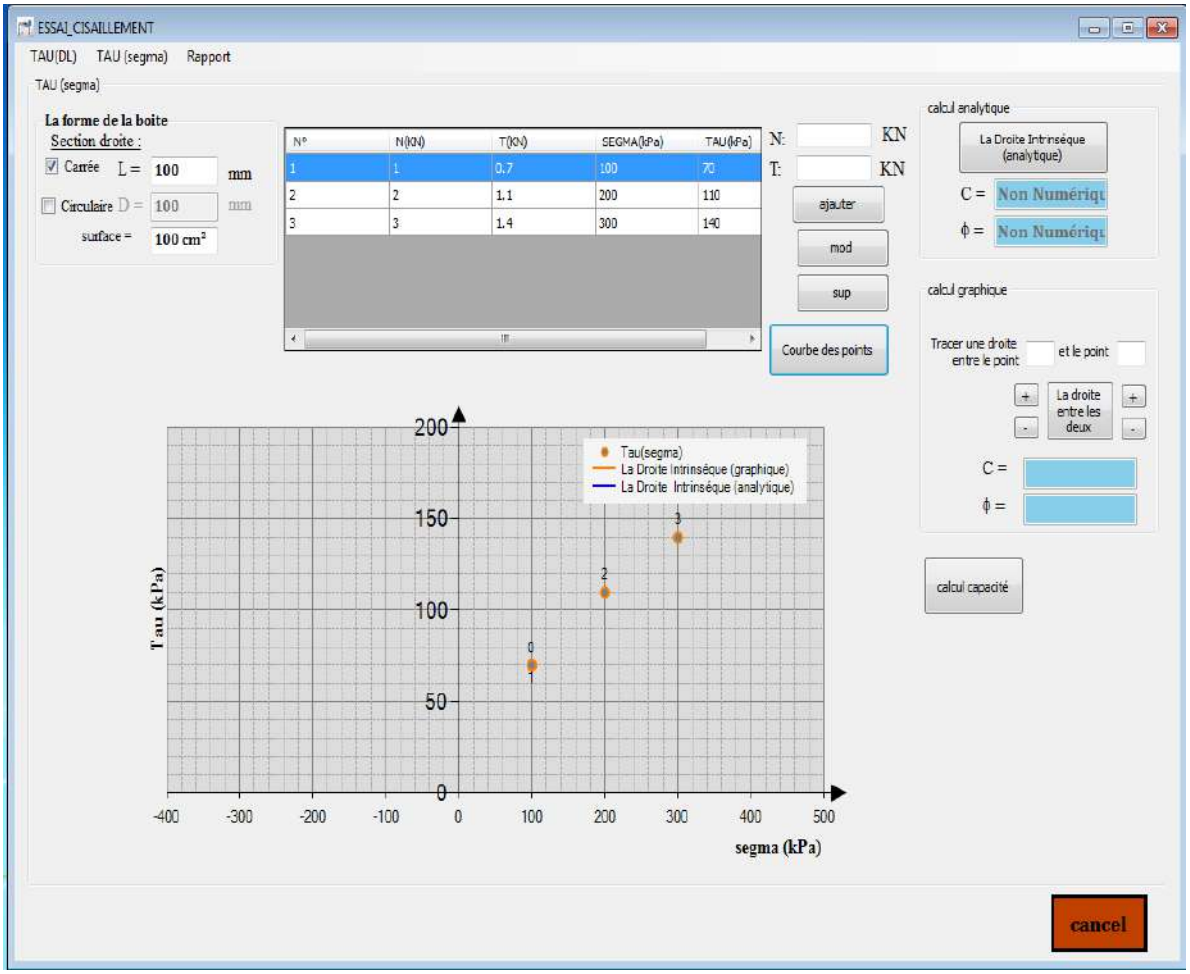
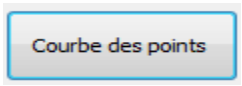
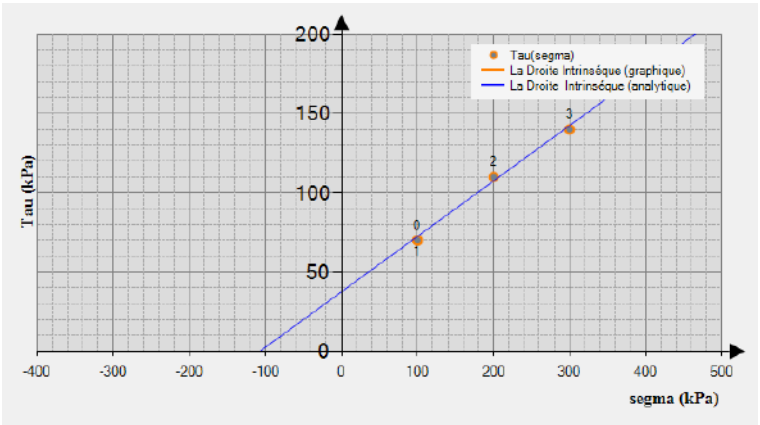


Figure III-28 : fenêtre d'essai de cisaillement- onglet « TAU(SEGMA)»

Dans cette page on peut afficher le diagramme de **COULOMB (τ,σ)** sous forme de points à l'aide du bouton « **Courbe des points** »



Ensuite, nous pouvons tracer la droite intrinsèque en utilisant une formule analytique et calculer les paramètres de résistance au cisaillement (C) et (ϕ) à l'aide du bouton « **La droite intrinsèque (analytique)**».



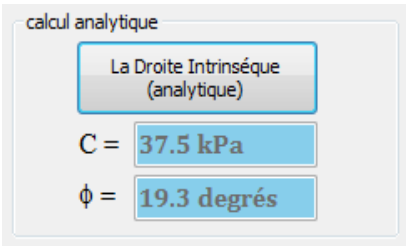


Figure III-29 : La droite intrinsèque

Nous pouvons également tracer la droite entre deux points de notre choix ; Ensuite, nous pouvons ajuster l'inclinaison de la droite.

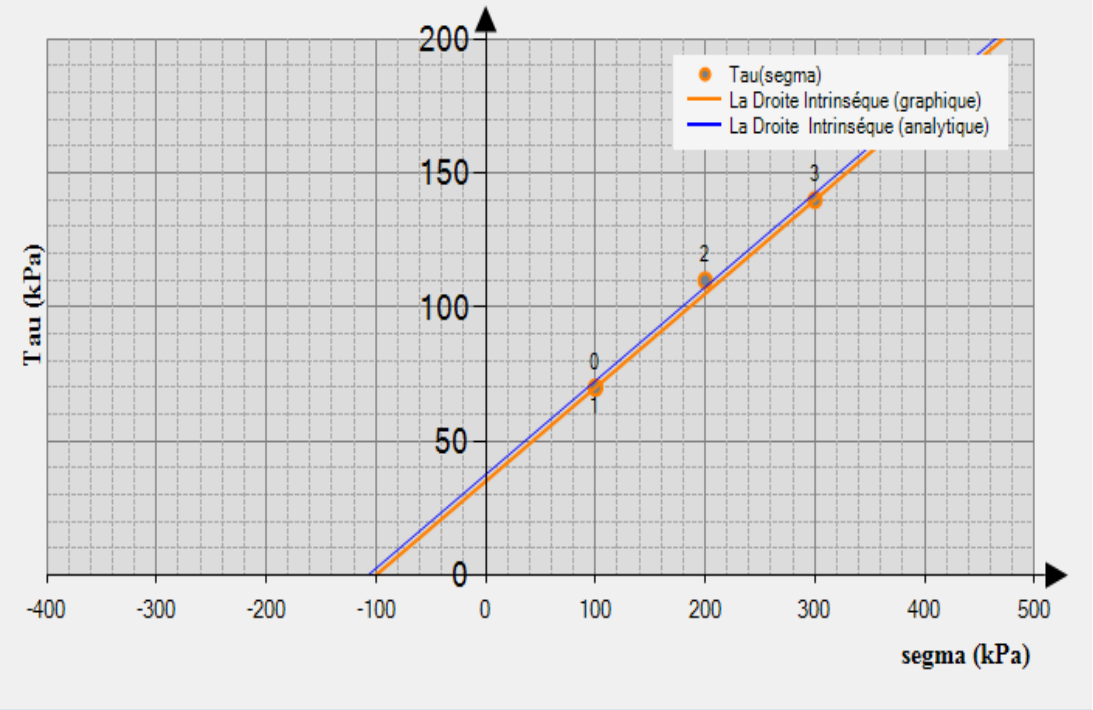
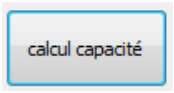


Figure III-30 : La droite intrinsèque pour l'ajuster.

Sur la page de l'onglet « TAU(SEGMA), il y a un bouton 

Ce bouton vous permet d'afficher une fenêtre permettant le calcul de contrainte de sol à partir des paramètres **C** et ϕ.

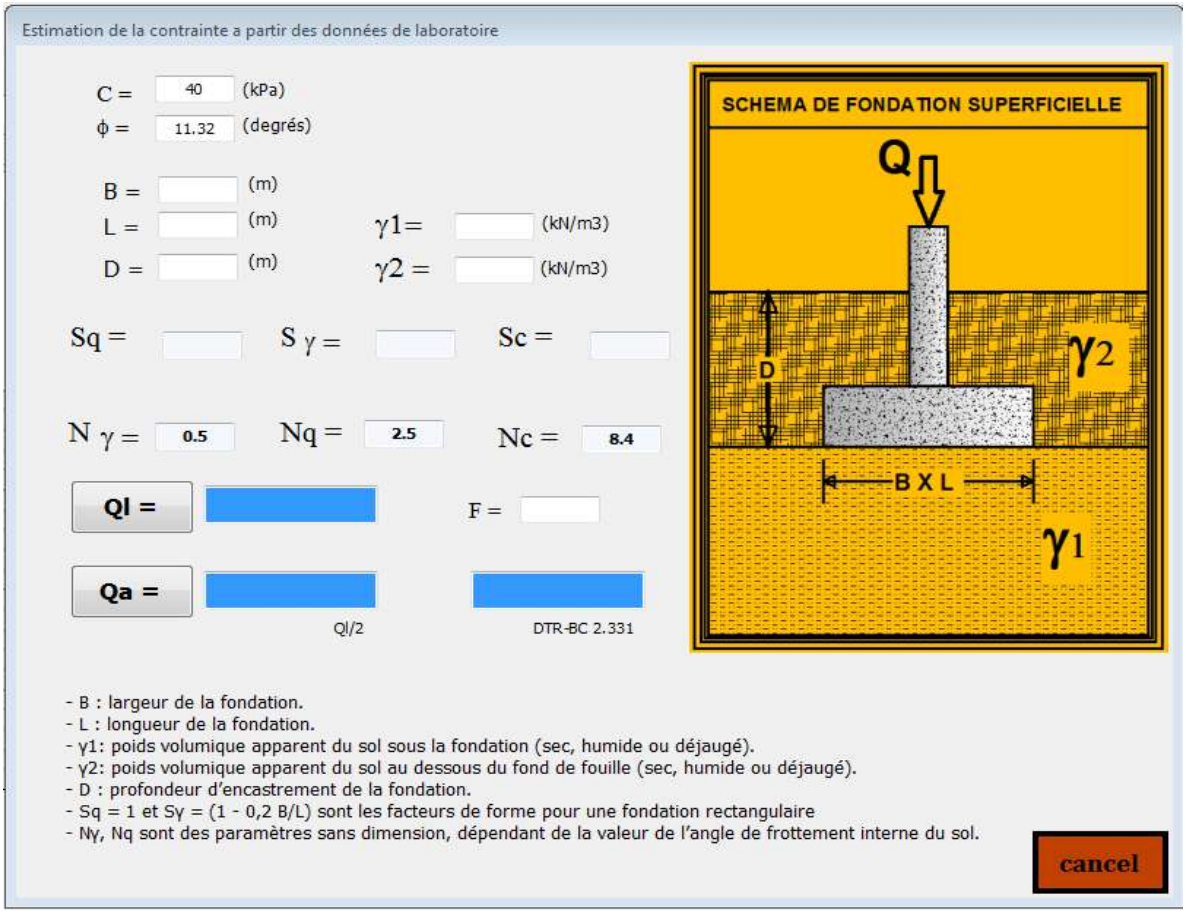


Figure III-31 : fenêtre de calcul de la contrainte de sol

3-3-3. L'onglet « RAPPORT » :

Cet onglet permet d'exporter les résultats dans un fichier Word.

- **La commande** : Menu/ Rapport

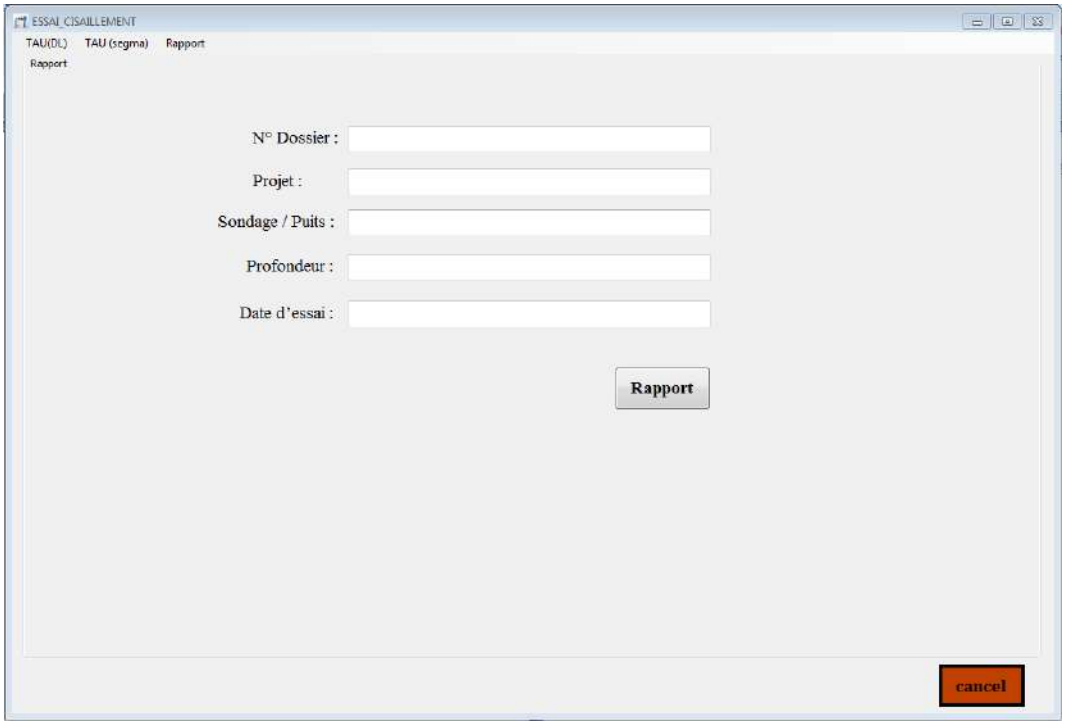


Figure III-32 : fenêtre d'exportation des données vers Word.

3-3-4. Méthode de calcul :

Pour chaque éprouvette, nous calculons :

- la contrainte normale effective : $\boldsymbol{\sigma'}$
- la contrainte de cisaillement τ.

Calcul de La valeur de σ' :

$$\sigma' = \frac{N}{A}$$

N : est l'effort vertical, exprimé en Newtons.

A : est l'aire de la section transversale de l'éprouvette avant cisaillement, exprimée en centimètres carrés.

Calcul de La valeur de τ :

$$\tau = \frac{T}{A}$$

T : est l'effort horizontal de cisaillement, exprimé en Newtons.

A : est l'aire de la section transversale de l'éprouvette avant cisaillement, exprimée en centimètres carrés.

Détermination des paramètres de résistance au cisaillement : [C, ø]

On trace sur un graphe les points ayant pour abscisse la contrainte normale et pour ordonnée la contrainte de cisaillement correspondant à la rupture.

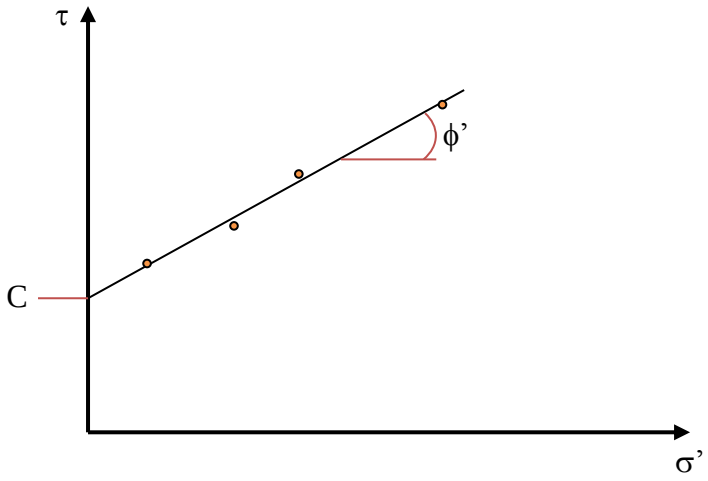


Figure III- 33 : le graphe $\boldsymbol{\tau}$ en fonction de $\boldsymbol{\sigma'}$

La courbe intrinsèque est approximativement une droite inclinée sur l'axe des contraintes normales. On la caractérise par son ordonnée à l'origine (**C**) et par son angle avec l'axe des abscisses(ϕ).

- **Exemple :**

N= 1 ; 2 ; 3 kN

T= 0.5 ; 0.7 ; 1 kN

Boite : 10x10 cm

Calcul de La valeur de σ':

$$\sigma' = \frac{N}{A}$$

A= 10x10 = 100 cm^2

$$\sigma_1' = \frac{1}{100 \times 10^{-4}} = 100 \text{ kN}$$

$$\sigma_2' = \frac{2}{100 \times 10^{-4}} = 200 \text{ kN}$$

$$\sigma_3' = \frac{3}{100 \times 10^{-4}} = 300 \text{ kN}$$

Calcul de La valeur de τ :

$$\tau = \frac{T}{A}$$

$$\tau_1 = \frac{0.5}{100 \times 10^{-4}} = 50 \text{ kN} \quad ; \quad \tau_2 = \frac{0.7}{100 \times 10^{-4}} = 70 \text{ kN} \; ; \quad \tau_3 = \frac{1}{100 \times 10^{-4}} = 100 \text{ kN}$$

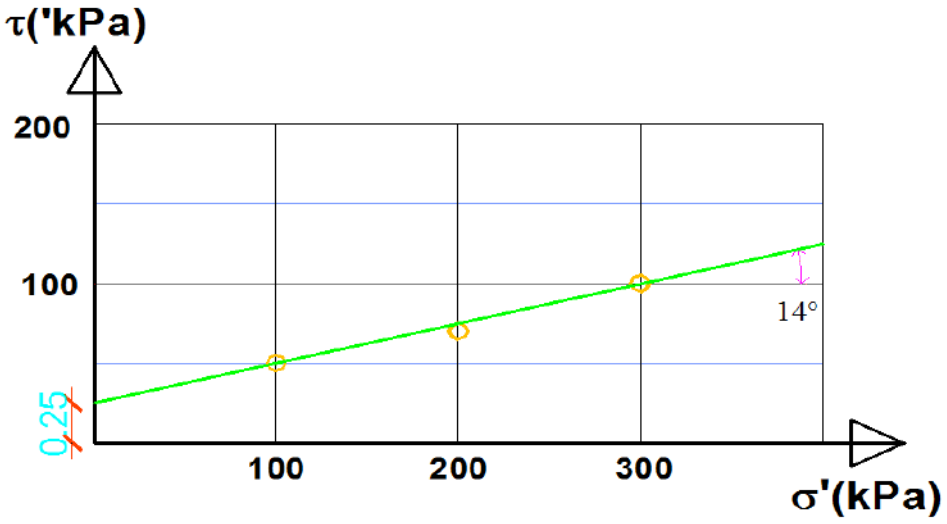


Figure III-34 : le graphe **τ** en fonction de **σ'** (l'exemple)

- **fiabilité des résultats de Géo-Essai :**

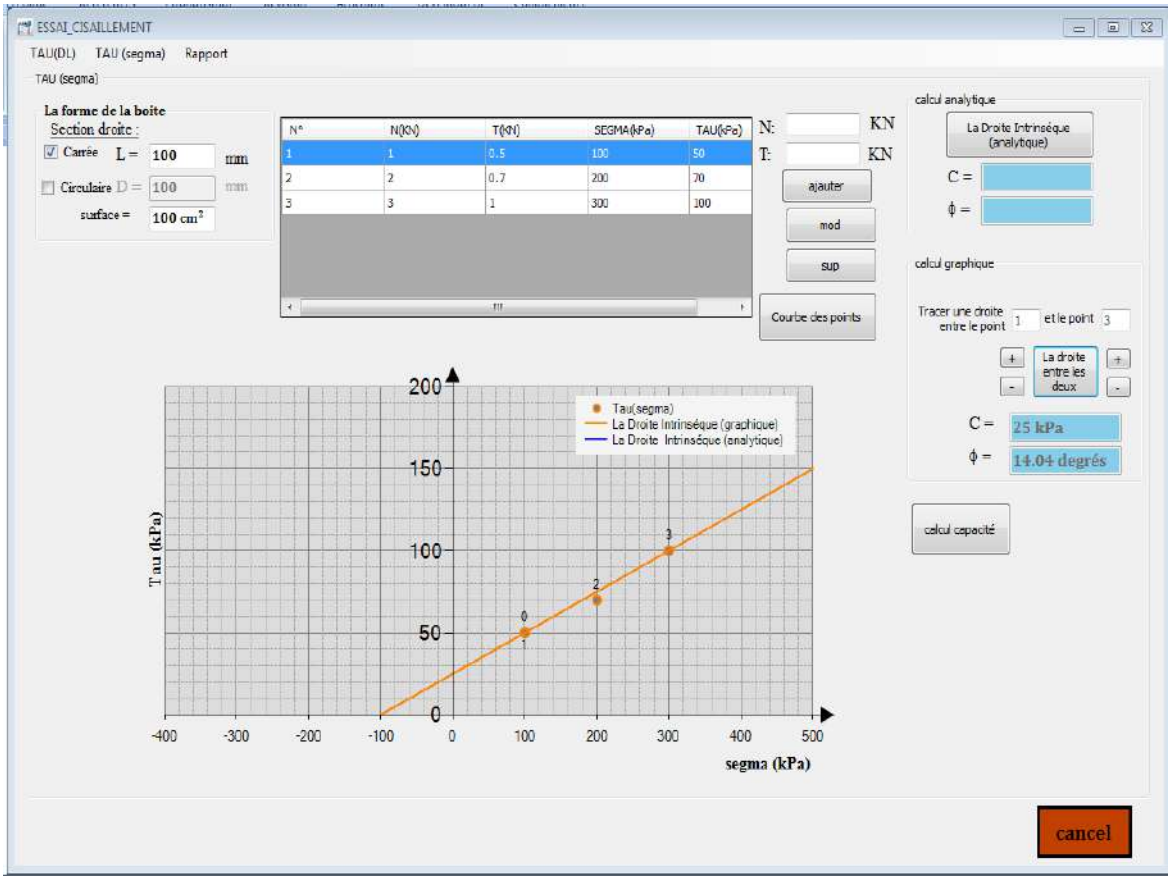


Figure III-35 : les résultats de Géo-essai.

Conclusion :

Après avoir comparé le calcul manuel au calcul utilisant le programme pour certains exemples, nous avons constaté que le programme donnait des résultats correspondant à la sortie du calcul manuel. Nous avons également vu la facilité de calcul en utilisant le programme.

1- Introduction :

Nous allons examiner et analyser dans ce chapitre un certain nombre de corrélations entre les résultats des essais pénétromètre dynamique, oedomètre et cisaillement à la boite(mise au point au chapitre I), dans le but d'essayer de voir dans un premier temps, s'il existe une relation entres différents paramètres .

2- Coefficient de corrélation (R) :

Le coefficient de corrélation est un coefficient statistique permettant de mettre en éIVdence, une liaison entre deux types de séries de données statistiques. Le coefficient de corrélation est compris entre 1 et -1.

Généralement, les valeurs suivantes seront utilisées pour qualifier la corrélation linéaire :

Tableau IV-1 : Les valeurs du coefficient de corrélation (R)

Valeur de R	Force de lien linéaire
Près de 0	nulle
Près de ±0.50	faible
Près de ±0.75	moyenne
Près de ±0.87	forte
Près de ±1	Très forte
±1	parfaite

3- Base de données :

La base de données que nous avons adoptée dans ce travail a été extraite d'un grand nombre de rapports géotechniques (plus de 40 rapports) pour divers projets. Ces rapports ont été collectés auprès de plusieurs bureaux d'études au niveau de Médéa.

- **Les sites étudiés:**

Les sites étudiés dans notre recherche sont généralement situes au niveau de la wilaya de Médéa qui sont : Ain boucif, Sept aziz, Berrouaghia, Médéa-centre, Pôle urbain, Beni slimane, Sidi amer, Kesr el boukhari, Boughezoul.

-Données de pénétration dynamique :

Obtenir la valeur de R_p à la profondeur que ne voulons, soyez par lecture directe de la courbe de pénétration. **(Figure IV-1)**.

-Données oedométrique :

À travers les feuilles de résultats des essais oedométriques, nous collectons les valeurs de σ_p et C_C. **(Figure IV-2)** .

-Données cisaillement a boite :

À travers les feuilles de résultats des essais de cisaillement à la bite, nous collectons les valeurs de cohésion **C** et d'angle frottement **ϕ**.**(Figure IV-3)**

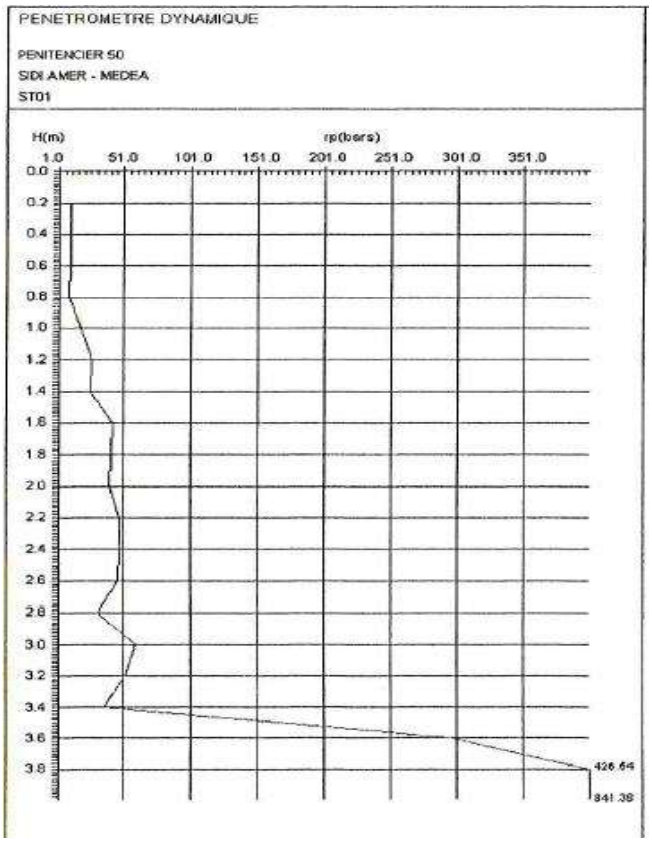


Figure IV-1 : courbe de pénétrométrique- projet de SEDI AMER

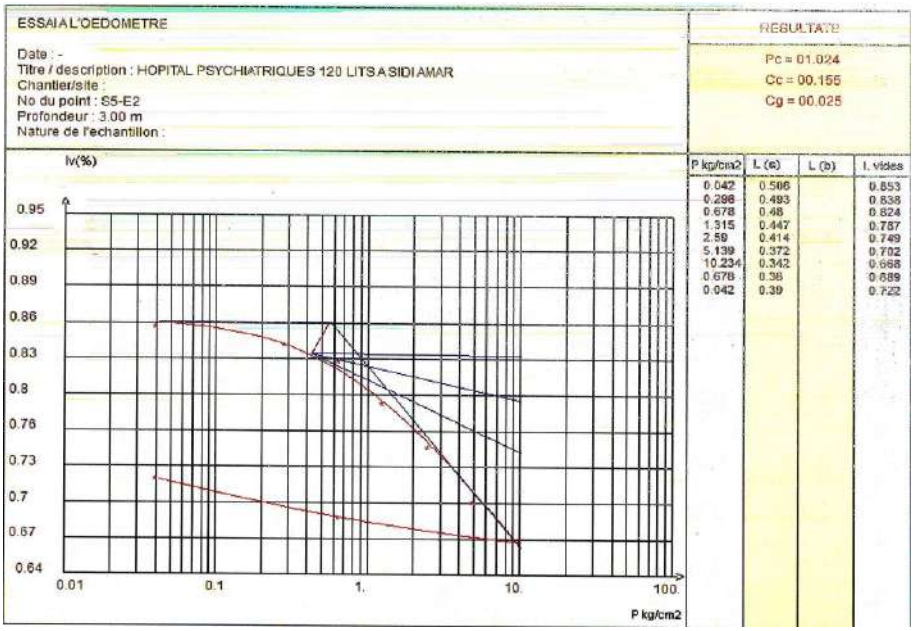


Figure IV-2: résultats d'essai oedométrique- projet de SEDI AMER-

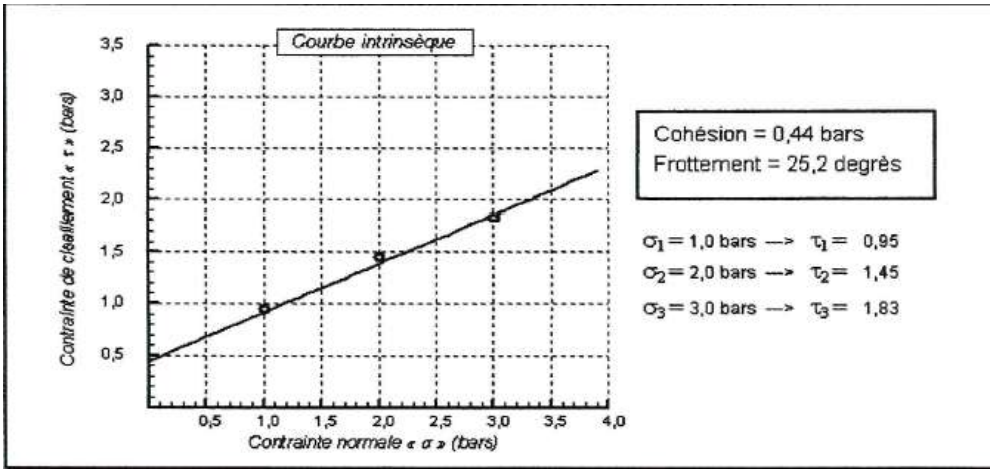


Figure IV-3: résultats d'essai de cisaillement- projet de KASR EL BOUKHARI-

4- Corrélation entre les paramètres:

Dans ce chapitre nous avons étudié la corrélation entre les caractéristiques des Sol suivantes:

- la résistance dynamique de pointe et la contrainte préconsolidation : (σ_p /Rp).
- la résistance dynamique de pointe et la cohésion: (C/ Rp).
- la résistance dynamique de pointe et l'angle de frottement: (φ/Rp).
- la cohésion et l'indice de compression (C_c/ C).
- l'angle de frottement et l'indice de compression (φ / C_c).

4-1- Corrélation entre Rp et σ_p :

4-1-1- Base de données :

Tableau IV-2 : Corrélation entre Rp et σ_p

N° d'essai	Rp (MPa)	σ_p (MPA)	σ_p/ Rp
1	4.5	0.165	0.037
2	8.0	0.564	0.071
3	7.5	0.19	0.025
4	8.0	0.234	0.029
5	10.0	0.163	0.016
6	3.0	0.749	0.250
7	3.8	0.314	0.083
8	4.2	0.634	0.151

9	7.0	0.859	0.123
10	8.0	0.554	0.069
11	8.8	0.589	0.067
12	12.0	0.549	0.046
13	3.0	0.839	0.280
14	4.5	0.749	0.166
15	5.0	0.794	0.159
16	4.8	0.414	0.086
17	5.0	0.538	0.108
18	6.4	0.624	0.098
19	4.0	0.654	0.164
20	4.8	0.443	0.092
21	8.0	0.543	0.068
22	4.0	0.789	0.197
23	4.8	0.499	0.104
24	15.2	0.694	0.046
25	10.0	0.859	0.086
26	8.0	0.744	0.093
27	4.5	0.179	0.040
28	7.5	0.199	0.027
29	4.0	0.166	0.042
30	5.0	0.206	0.041
31	11.0	0.849	0.077
32	7.5	0.2	0.027

4-1-2-**Présentation des résultats :**

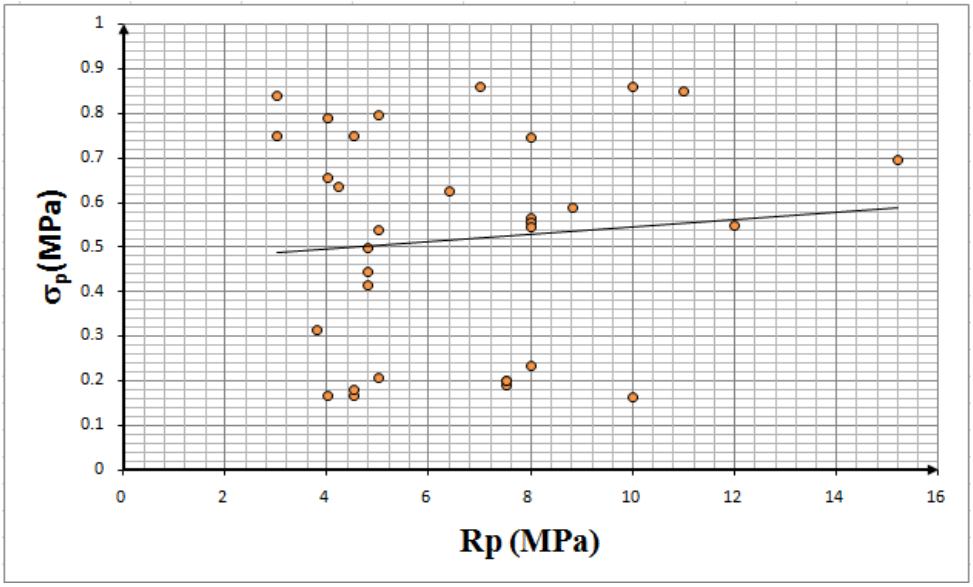


Figure IV-4 : σ_p en fonction de R_p

L'équation de la courbe de tendance est : σ_p = **0.008** R_p + **0.462**

R= 9.52% ⇒ Force de lien est nulle.

Un caractère aléatoire de la distribution de σ_p en fonction de R_p lors d'un ajustement linéaire (figure IV-4), ce qui nous oriente vers l'analyse statistique de l'histogramme représentant les différentes valeurs de σ_p / R_p (figure IV-5).

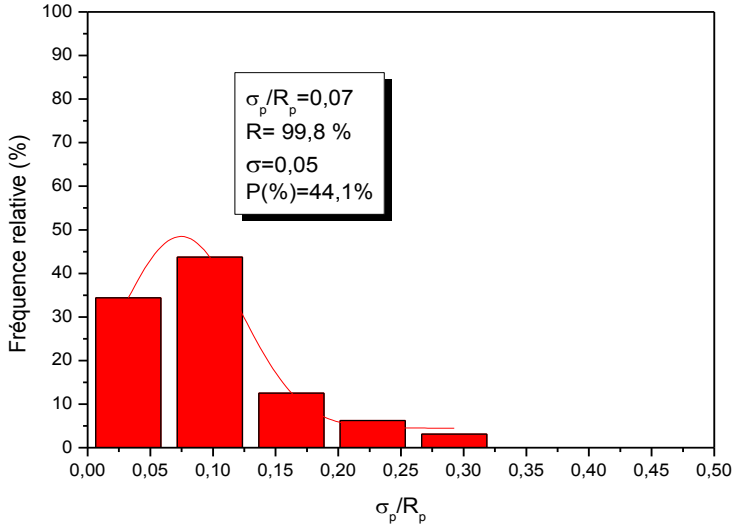


Figure IV-5 : l'histogramme σ_p / R_p

La tendance centrale apparaît nettement et l'ajustement de cet histogramme par la loi normale est fructueux, avec un coefficient d'ajustement R =99.8%.

Une probabilité de 44.1% pour que la valeur moyenne représentant l'échantillon est :

$$\sigma_p / R_p = 0.07 \pm 0.05 \ .$$

4-2- Corrélation entre R_p et C :

4-2-1- Base de données :

Tableau IV- 3: Corrélation entre R_p et C

N° d'essai	Rp (MPa)	C (MPa)	C/ Rp
1	80	0.06	0.0075
2	75	0.015	0.0020
3	75	0.045	0.0060
4	80	0.0384	0.0048
5	38	0.039	0.0103
6	30	0.04	0.0133
7	38	0.039	0.0103
8	42	0.051	0.0121
9	70	0.06	0.0086
10	280	0.051	0.0018
11	80	0.054	0.0068
12	88	0.064	0.0073
13	120	0.053	0.0044
14	30	0.041	0.0137
15	45	0.032	0.0071
16	50	0.02	0.0040
17	48	0.044	0.0092
18	50	0.043	0.0086
19	64	0.033	0.0052
20	40	0.029	0.0073
21	48	0.041	0.0085
22	80	0.03	0.0038
23	40	0.031	0.0078
24	48	0.032	0.0067
25	100	0.044	0.0044
26	80	0.0424	0.0053
27	45	0.013	0.0029
28	90	0.053	0.0059

29	90	0.054	0.0060
30	110	0.061	0.0055
31	100	0.061	0.0061
32	290	0.05	0.0017
33	360	0.0841	0.0023
34	725	0.0841	0.0012
35	500	0.0782	0.0016
36	100	0.044	0.0044
37	40	0.057	0.0143

4-2-2- Présentation des résultats :

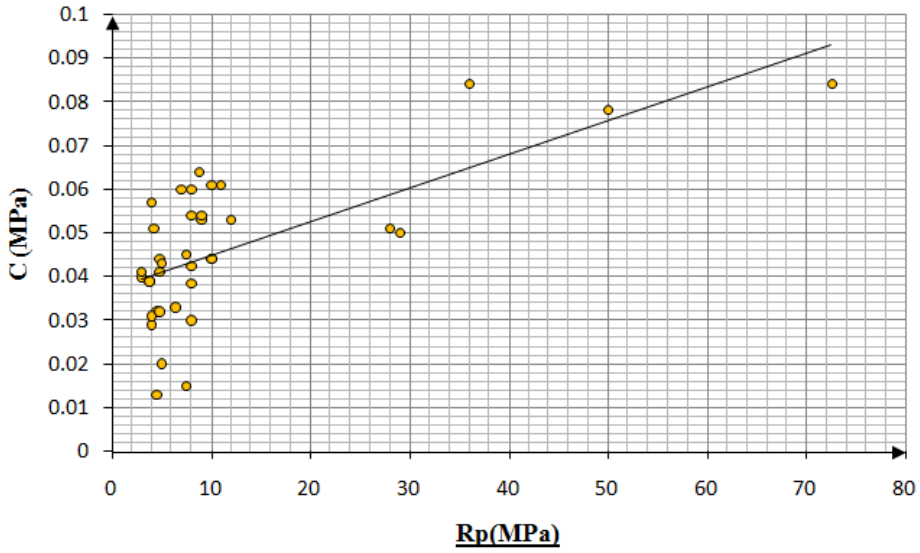


Figure IV-6 : C en fonction de R_p

L'équation de la courbe de tendance est : **$C = 0.00077\ R_p + 0.03734$**

R= 67 % ⇒ Force de lien est moyenne

Puisque R <80%, on ne peut se prôneuse sur la dépendance des deux variables donc on passe à l'analyse statistique de la population du rapport (C / R_p) (figure IV-7).

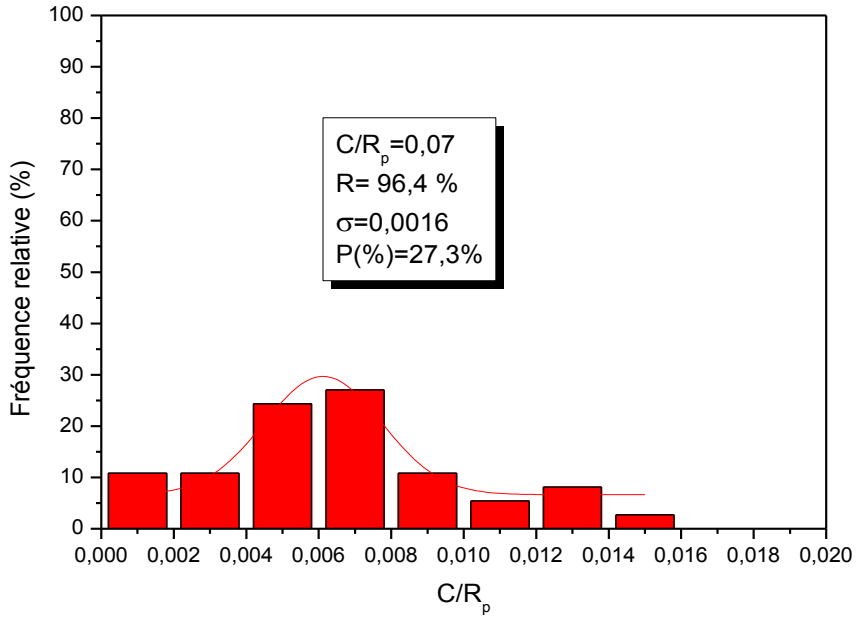


Figure IV-7 : l'histogramme C / R_p

Un coefficient d'ajustement : **R =96.4%**.

Une probabilité de **27.3 %** pour que la valeur moyenne représentant l'échantillon est :

$C / R_p = 0.07 \pm 0.0016 \Rightarrow$ **C = R_p / 14.28**

On a répertorié plusieurs travaux ayant trait à cette corrélation. Le tableau ci-dessous résume les valeurs du rapport C / R_p établis par différents auteurs :

Tableau IV-4 : les valeurs du rapport C / R_p

Auteur	**Corrélation**
Zhou (1997) : Argile molle	$C = R_p / 11{,}4$
Gourvès & Barjot (1995) : sol fin de compacité moyenne	$C = R_p / (15 \text{ à } 20)$

4-3- Corrélation entre R_p et φ :

4-3-1- Base de données :

Tableau IV-5 : Corrélation entre R_p et φ

N° d'essai	Rp (MPa)	φ (°)	φ/ Rp
01	8.0	21	2.63
02	7.5	20.61	2.75
03	7.5	12.91	1.72
04	8.0	27	3.38
05	3.8	18.19	4.79
06	3.0	22.8	7.60
07	3.8	19.92	5.24
08	4.2	22.06	5.25
09	7.0	25.38	3.63
10	28.0	26.29	0.94
11	8.0	21.19	2.65
12	8.8	19.97	2.27
13	12.0	22.04	1.84
14	3.0	18.34	6.11
15	4.5	20.34	4.52
16	5.0	18.31	3.66
17	4.8	17.95	3.74
18	5.0	14.55	2.91
19	6.4	12.31	1.92
20	4.0	20	5.00
21	4.8	17.01	3.54
22	8.0	9.76	1.22
23	4.0	20.54	5.14
24	4.8	14.09	2.94
25	10.0	20.33	2.03
26	8.0	24	3.00
27	4.5	20.33	4.52
28	9.0	21.91	2.43
29	9.0	20.22	2.25
30	11.0	21.45	1.95
31	10.0	25.04	2.50
32	29.0	24.09	0.83
33	36.0	26	0.72

34	72.5	27	0.37
35	50.0	21	0.42
36	10.0	25.2	2.52
37	4.0	20.03	5.01

4-3-2- Présentation des résultats :

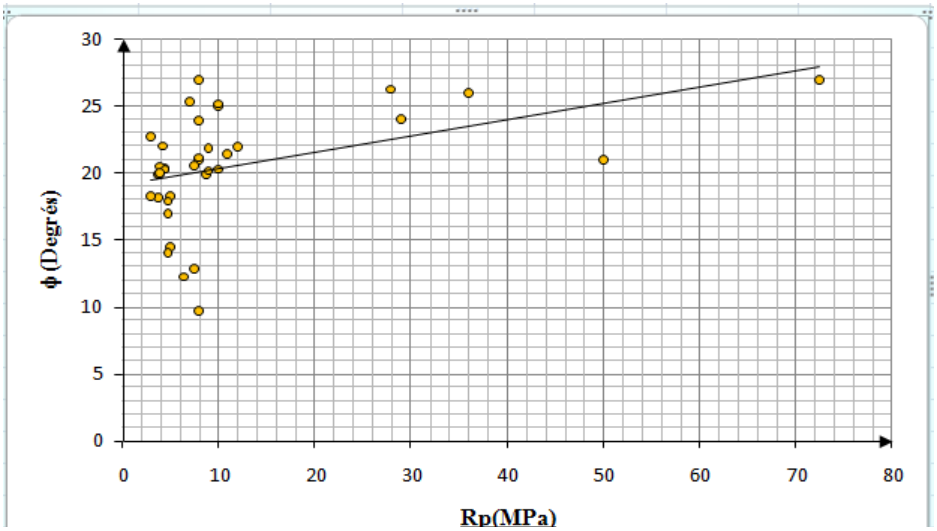


Figure IV-8 : φ en fonction de R_p

L'équation de la courbe de tendance est : $\varphi = 0.122\ R_p + 19.10$

R= 43% ⇒ Force de lien est faible.

Puisque R <80%, on ne peut se prôneuse sur la dépendance des deux variables donc on passe à l'analyse statistique de la population du rapport (φ / R_p) (figure IV-9).

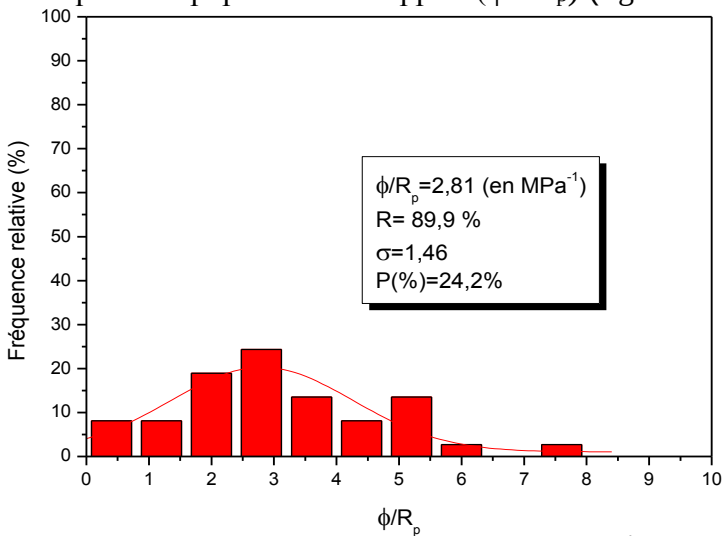


Figure IV-9 : l'histogramme φ / R_p

Un coefficient d'ajustement **R =89.9%**.

Une probabilité de **24.2 %** pour que la valeur moyenne représentant l'échantillon est :

$\varphi / R_p = 2.81 \pm 1.46$

4-1- Corrélation entre C et C_c:

4-1-1- base de données :

Tableau IV-6 : Corrélation entre C et C_c

N° d'essai	C (MPa)	C_C	C_C/ C
01	0.06	0.195	3.25
02	0.015	0.1571	10.47
03	0.045	0.1411	3.14
04	0.0384	0.123	3.20
05	0.039	0.174	4.46
06	0.04	0.197	4.93
07	0.039	0.156	4.00
08	0.051	0.159	3.12
09	0.06	0.127	2.12
10	0.051	0.131	2.57
11	0.054	0.189	3.50
12	0.064	0.191	2.98
13	0.053	0.196	3.70
14	0.041	0.188	4.59
15	0.032	0.196	6.13
16	0.02	0.205	10.25
17	0.044	0.182	4.14
18	0.043	0.193	4.49
19	0.033	0.202	6.12
20	0.029	0.177	6.10
21	0.041	0.195	4.76
22	0.03	0.197	6.57
23	0.031	0.181	5.84
24	0.032	0.199	6.22
25	0.044	0.181	4.11
26	0.0424	0.143	3.37
27	0.013	0.1893	14.56
28	0.053	0.183	3.45

29	0.054	0.197	3.65
30	0.061	0.178	2.92
31	0.061	0.104	1.70
32	0.05	0.105	2.10
33	0.044	0.155	3.52

4-1-2- Présentation des résultats :

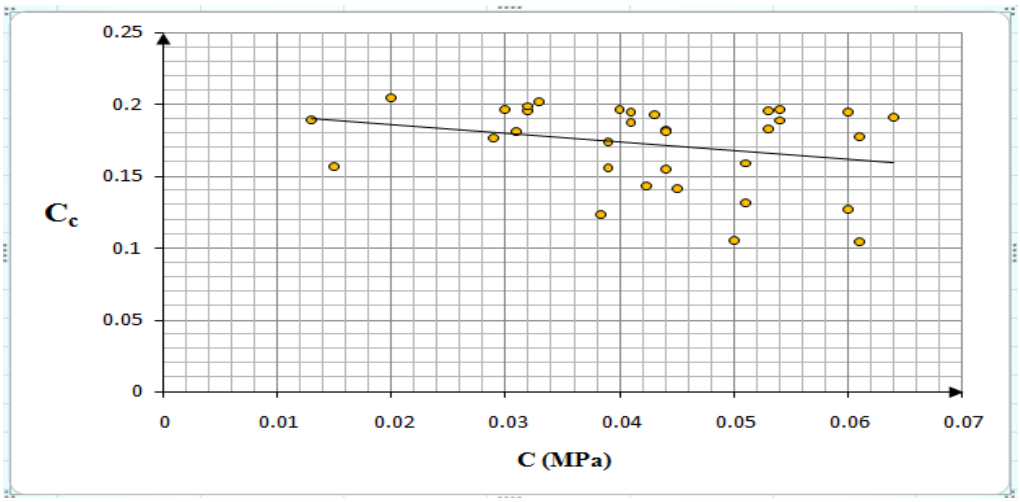


Figure IV-10 : C_c en fonction de C

L'équation de la courbe de tendance est : $\mathbf{C_c = -0.611C + 0.198}$

R= 27% ⇒ **Force de lien est faible.**

Puisque R <80%, on ne peut se prôneuse sur la dépendance des deux variables donc on passe à l'analyse statistique de la population du rapport ($\mathbf{C_c}$ / **C**) (figure IV-11).

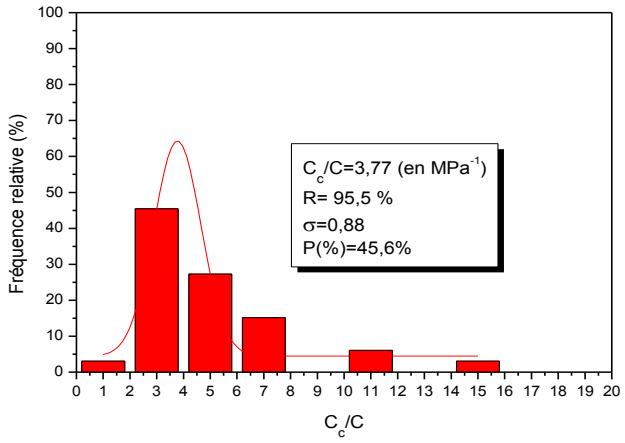


Figure IV-11 : l'histogramme C_c/C

Un coefficient d'ajustement : **R =95.5%**.

Une probabilité de **45.6 %** pour que la valeur moyenne représentant l'échantillon est :

$\boldsymbol{C_C / C = 3.77 \pm 0.88}$

4-2- Corrélation entre φ et C_c:

4-2-1- Base de données :

Tableau IV-7 : Corrélation entre φ et C_c

N° d'essai	φ (°)	C_C	φ/ C_C
01	0.6	0.195	107.69
02	0.15	0.1571	131.19
03	0.45	0.1411	91.50
04	0.384	0.123	219.51
05	0.39	0.174	104.54
06	0.4	0.197	115.74
07	0.39	0.156	127.69
08	0.51	0.159	138.74
09	0.6	0.127	199.84
10	0.51	0.131	200.69
11	0.54	0.189	112.12
12	0.64	0.191	104.55
13	0.53	0.196	112.45
14	0.41	0.188	97.55
15	0.32	0.196	103.78
16	0.2	0.205	89.32
17	0.44	0.182	98.63
18	0.43	0.193	75.39
19	0.33	0.202	60.94
20	0.29	0.177	112.99
21	0.41	0.195	87.23
22	0.3	0.197	49.54
23	0.31	0.181	113.48
24	0.32	0.199	70.80
25	0.44	0.181	112.32
26	0.424	0.143	167.83
27	0.13	0.1893	107.40
28	0.53	0.183	119.73
29	0.54	0.197	102.64
30	0.61	0.178	120.51
31	0.61	0.104	240.77
32	0.5	0.105	229.43
33	0.44	0.155	162.58

4-2-2- Présentation des résultats :

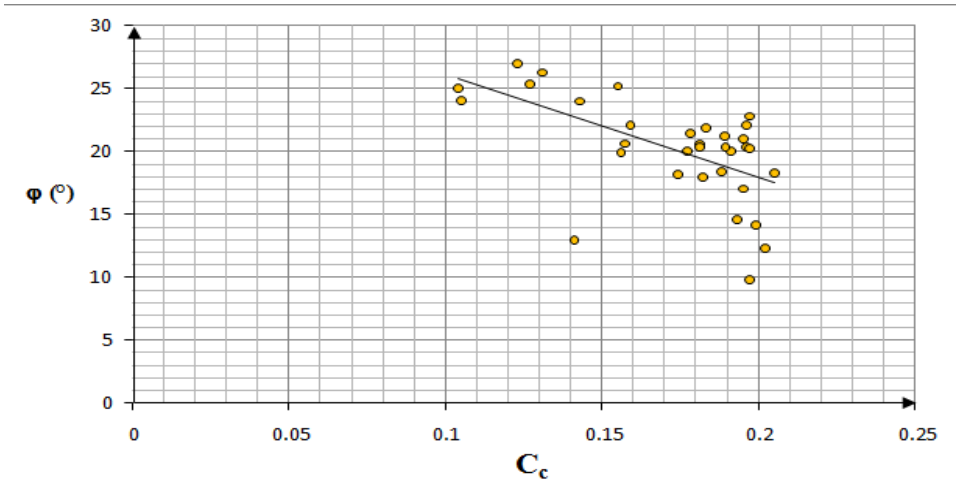


Figure IV-12 : φ en fonction de C_c

L'équation de la courbe de tendance est : $\varphi = -81.90\ C_c + 34.26$

$R^2 = 0.340$

R= 58 % ⇒ Force de lien est faible.

Puisque R <80%, on ne peut se prôneuse sur la dépendance des deux variables donc on passe à l'analyse statistique de la population du rapport (φ / C_c) (figure IV-13).

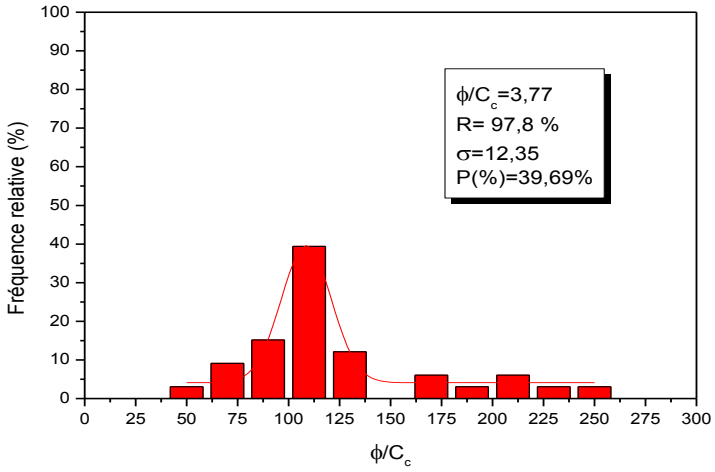


Figure IV-14 : l'histogramme φ / C_c

Un coefficient d'ajustement **R =97.8%**.

Une probabilité de **39.69 %** pour que la valeur moyenne représentant l'échantillon est :

$\varphi / C = 3.77 \pm 12.35$

Finalement d'après l'étude statistique on trouve : $C = R_p / 14.28$ Ce qui est relativement proche avec le résultat trouvé par des chercheurs.

Conclusion générale

Ce mémoire de fin d'études avait pour objectif le développement d'une application de calcul de certains essais géotechnique, en utilisant le langage Visual basic.

On a analysé l'essai de pénétration dynamique, l'essai oedométrique et l'essai de cisaillement à la boite de Casagrand. Nous avons essayé à travers une synthèse bibliographique de présenter différents types de corrélations de la littérature, permettant à l'ingénieur d'interpréter plus rapidement les essais sus –cités.

La seconde partie de ce mémoire avait pour objectif présentation du manuel (Geo-Essai), ce manuel contient trois essais géotechnique (essai de pénétration dynamique, essai oedométrique et l'essai de cisaillement à la boite de Casagrand).

La dernière partie consiste à essayer d'établir des corrélations à partir de données obtenu suite au traitement de différents rapports géotechnique réalisés dans la Wilaya de Médéa. Ces corrélations sont faites entre les paramètres de l'essai mentionnés ci-dessus dans le but d'essayer de voir la possibilité d'existence de relation entre ces derniers.

Le programme ici conçu ne saurait être utilisé que par des professionnels du métier et ne peut fournir des résultats fiables si les données entrées ne sont pas correctes. Aurait été mieux si nous ajoutons le calcul des autres essais de laboratoire dans l'utilitaire.

Ce programme, malgré l'attention accordée à son élaboration, pourrait contenir des insuffisances. Nous souhaitons qu'il soit poursuivi, que l'interface en soit améliorée et qu'il soit beaucoup plus interactif.

Ce travail nous a permis également d'effectuer un travail d'investigation modeste qui pourra constituer une assise pour des travaux de recherches futures (exemple étude des corrélations).

Par ailleurs, ce mémoire a permis la compréhension du logiciel Visual basic qui nous a été complètement inconnu.