

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi - Ouzou
Faculté du génie de la construction
Département de Génie Civil



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master en génie civil
Option : Géotechnique

Thème

***ETUDE DES CORRELATIONS ENTRE LES
PARAMETRES PHYSIQUES ET MECANIQUES
DES SOLS DE SITE DE TAMDA***

Proposé et dirigé par :
M^r. MERAKEB S.

Présenté par :
Melle BELMELLAT Hamida

Promotion:2018 /2019

Remerciements

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer ma gratitude ainsi que mes remerciements pour toutes les personnes qui ont contribué à sa réalisation.

Je tiens d'abord à remercier M^r MERAKEB S. pour son encadrement, son aide et son encouragement durant toute l'année afin de pouvoir achever ce projet.

Je tiens aussi à exprimer mes sincères remerciements pour tous les enseignants du département Génie Civil.

Mes profonds remerciements pour les membres de jury qui ont accepté d'évaluer ce travail.

DÉDICACES

Je dédie ce modeste travail,

*A mes chers parents, qui sont toujours derrière moi pour
m'encourager et me pousser vers la réussite .*

*A mes frères, à mes chères sœurs, mes oncles, mes tantes, qui ont
toujours confiance en moi durant tout mon parcours d'études.*

*A tous mes chers amis (es) qui m'ont aidé à la réussite de ce travail :
(doudou , nounou, jugo , rabah , titi , djoudja,Meriem , brahim) .*

Je dédie ce travail pour ma chère NAILA

HAMIDA

Sommaire

LISTE DES TABLEAUX.....	i
LISTE DES FIGURES.....	ii
LISTE DES SYMBOLES.....	iii

INTRODUCTION GENERALE	1
-----------------------------	---

CHAPITRE I : GENERALITESUR LES CORRELATIONS

I.Introduction.....	2
I.1 : Définitions des corrélations	2
I.2 : intérêt des corrélations	3
I.3 : L'importance des corrélations	4
I.4 : conditions d'utilisations des corrélations.....	4
I.5 :Domaines de validité des corrélations	4
I.6 :Les différents paramètres caractérisant un sol.....	5
I.7 :les paramètres physiques	6
I.7.1 : Teneur en eau W.....	6
I.7.2 .Masse volumique	6
I.7.3.Densité des grains solides.....	6
I.7.4 : Analyse Granulométrique	7
I.7.5: Limites d'Atterberg	7
I.7.5.1 : la procédure de l'essai	8
I.7.5.1.1 :la détermination de la limite de liquidité	9
I.7.5.1.2 :la détermination de la limite de plasticité	10
I.8 : les caractéristiques mécaniques	11
I.8.1: Essais de compressibilité –Gonflement.....	11
I.8.2: Gonflement a l'oedometre	11
I.8.2.1 : les courbes de compressibilité.....	12
I.8.2.2 : les courbes de compressibilité des sols compressibilité des sols cohérents	13
I.8.2.3 : Les courbes de compressibilité des sols pulvérulents.....	13
I.8.2.4 : Les paramètres de compressibilité.....	14
I.8.3 : la cohésion.....	16
I.8.4 : l'angle de frottement.....	16
I.9:Les caractéristiques numériques	17
I.9.1.Paramètres de tendances centrale	17

I.9.1.1: la moyenne arithmétique	17
I.9.2 : Paramètres de dispersion	17
I.9.2.1: la variance.....	17
I.2.2 : l'écart type	17
I.9.2.3 : Covariance	18
I.9.2.4 : Régression	18
I.9.2.4.1 : Régression multiple.....	18
I.9.2.4.2: régression linéaire.....	18
I.10 :Rapport de corrélation (coefficient de corrélation).....	19
I.11: Coefficients de déterminations	20
I.12. Conclusion	20

CHAPITRE II: ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

II. Introduction	21
II.1.Situation géographique de Tizi-Ouzou	21
II.2.SISMICITE DE LA REGION.....	21
II.3.Géologie de la wilaya de Tizi-Ouzou.....	22
II.4.Présentation de la région d'études.....	22
II.4.1 : Situation géographique de la zone d'étude	22
II.4.2.Localisation du site d'étude	25
II .4.3 : SITUATION ET MORPHOLOGIE DU SITE	25
II.4.4 : Lithologie de la zone d'étude.....	25
II.5. Conclusion	26

CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRITATIONS

III. Introduction	27
III.1 : interprétation des essais géotechniques.....	27
III.1.1 : interprétations des résultats et des essais in situ	27
III.1.1.1 : Sondages carottés.....	27
III.1.1.2 : Essais au Pénétromètre dynamique	27
III.1.2 : interprétations des résultats et des essais de laboratoire	28
III.1.2.1 : Essais d'identification physique	28
III.2.Interprétations des essais mécaniques	31
III.2.1. ESSAIS DE CISAILLEMENT RECTILIGNE DE TYPE « CU»	31
III.2.2- ESSAIS DE COMPRESSIBILITE A L'OEDOMETRE	32
III.3. CONCLUSION.....	33

CHAPITRE IV :ETUDE DES CORRELATIONS

IV.1. Introduction.....	34
IV.2 : Classifications des sols étudiés	34
IV.3 : Elaborations des équations de corrélations	35
IV.4 : les corrélations entres les caractéristiques physiques et les caractéristiques mécaniques ..	36
IV.4.1 : les corrélations entre les paramètres physiques et mécaniques.....	36
IV.4.1.1 : Le poids volumique sec	36
IV.4.1.1.1 : les corrélations entre le poids volumique sec et la cohésion	36
IV.4.1.1.2: les corrélations entre le poids volumique sec et l'angle de frottement.....	37
IV.4.1.1.3: les corrélations entre le poids volumique sec et la contrainte de consolidations.....	38
IV.4.1.1.4 : les corrélations entre le poids volumique sec et l'indice de compression.....	39
IV.4.1.1.5 : les corrélations entre le poids volumique sec et l'indice de gonflement.....	40
IV.4.1.2 : le poids volumique humide	41
IV.4.1.2 .1 : les corrélations entre le poids volumique humide et la cohésion	41
IV.4.1.2 .2 : les corrélations entre le poids volumique humide et l'angle de frottement....	42
IV.4.1.2 .3 :les corrélations entre le poids volumique humide et la contrainte de Consolidations	46
IV.4.1.2 .4 : les corrélations entre le poids volumique humide et l'indice de compression	46
IV.4.1.2 .5: les corrélations entre le poids volumique humide et l'indice de gonflement	47
IV.4.1.3 : le teneur en eau	48
IV.4.1.3.1 : les corrélations entre la teneur en eau et la cohésion.....	48
IV.4.1.3.2 :les corrélations entre la teneur en eau et l'angle de frottement	49
IV.4.1.3.3 :les corrélations entre la teneur en eau et l'angle de frottement effctif.....	50
IV.4.1.3.4 : les corrélations entre la teneur en eau et la contrainte de consolidations	52
IV.4.1.3.5 les corrélations entre la teneur en eau et l'indice de compression.....	53
IV .4.1.3.6 les corrélations entre la teneur en eau et l'indice de gonflement.....	54
IV .4.1.4 :limite de liquidité.....	55
IV .4.1.4.1 :les corrélations entre la limite de liquidité et la cohésion.....	55
IV .4.1.4.2 :les corrélations entre la limite de liquidité et l'angle de frottement	56
IV .4.1.4.3:les corrélations entre la limite de liquidité et la contrainte	

de consolidation	57
IV .4.1.4.4 :les corrélations entre la limite de liquidité et l'indice de compression	59
IV.4.1.4.5 :les corrélations entre la limite de liquidité et l'indice de gonflement	60
IV.4.1.5 :Limite de plasticité.....	62
VI.4.1.5.1 :les corrélations entre la limite de plasticité et la cohésion	62
IV.4.1.5.2 :les corrélations entre la limite de plasticité et la contrainte de consolidations.	63
IV.4.1.5.3 :les corrélations entre la limite de plasticité et l'indice de compression	66
IV.4.1.5.4 : les corrélations entre la limite de plasticité et l'angle de frottement effectif.....	66
IV.4.1.5.5 :les corrélations entre la limite de plasticité et l'indice de gonflement.....	68
IV.4.1.6 :L'indice de consistance.....	69
IV.4.1.6.1 :les corrélations entre l'indice de consistance et la cohésion	69
IV.4.1.6.2 :les corrélations entre l'indice de consistance et l'angle de frottement	70
IV.4.1.6.3 :les corrélations entre l'indice de consistance et la contrainte de Consolidation.....	72
IV.4.1.6.4 :les corrélations entre l'indice de consistance et l'indice de compression	72
IV.4.1.6.5 :les corrélations entre l'indice de consistance et l'indice de gonflement	73
IV.5 : CONCLUSION.....	76
CONCLUSION GENERALE.....	77
ANNEXES	
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	

LISTE DES FIGURES

- Figure I.1 : les essais in situ en géotechnique
Figure I.2 : les essais au laboratoire en géotechnique
Figure I.3 : les matériels utilisés
Figure I.4 : le mortier malaxe
Figure I.5 : la confections du rouleau
Figure I.6 : la fissurations et brisure du rouleau
Figure I.7: le principe de l'essai œdométrique
Figure I.8 :la courbe de compressibilité d'un sol fin
Figure I.9 : la courbe de compressibilité d'un sol pulvérulent
Figure I. 10: schématisations des trois rapports de corrélations
Figure II.1 : carte situation géographique de Tizi-Ouzou
Figure II.2 : carte de la zone sismique du territoire national
Figure II.3 : carte géologique de Tizi-Ouzou(Extrait de la carte géologique de DellysTizi-Ouzou
Figure II.4 : localisations du site de Tamda (CEM B7/200 à ZHU TAMDA)
Figure IV.1 : corrélations $\gamma_{det}C$
Figure IV.2 : corrélations $\gamma_{det} \varphi$
Figure IV.3 Courbes de corrélation $C_v-\gamma_d$
Figure IV. 4 Courbes de corrélation $C_c-\gamma_d$
Figure IV.5 Courbes de corrélation $C_g-\gamma_d$
Figure IV.6 Courbes de corrélation C et γ_h
Figure IV.7 Courbes de corrélation $\varphi-\gamma_h$
Figure IV.8 Courbes de corrélation $C_v-\gamma_h$
Figure IV.9 Courbes de corrélation $C_c-\gamma_h$
Figure IV.10 Courbes de corrélation $C_g-\gamma_h$
Figure IV.11 Courbes de corrélation $C-W$
Figure IV.12 Courbes de corrélation $\varphi_{et}W$
Figure IV.13 Courbes de corrélation φ' et w
Figure IV.14 Courbes de corrélation $C_{vet}W$
Figure IV.15 Courbes de corrélation C_c-W
Figure IV.16 Courbes de corrélation $C_{get}W$
Figure IV.17 Courbes de corrélation $C_{et}W_l$
Figure IV.18 Courbes de corrélation $\varphi_{et}W_l$
Figure IV.19 Courbes de corrélation $C_{vet}W_l$
Figure IV.20 Courbes de corrélation C_c-W_l
Figure IV.21 Courbes de corrélation $C_{get}W_l$
Figure IV.22 Courbes de corrélation $C_{et}I_p$
Figure IV.23 Courbes de corrélation $C_{vet}I_p$
Figure IV.24 Courbes de corrélation C_c-I_p
Figure IV.25 Courbes de corrélation φ' et I_p
Figure IV.26 Courbes de corrélation C_g-I_p
Figure IV.27 Courbes de corrélation $C-I_c$
Figure IV.28 Courbes de corrélation $\varphi-I_c$
Figure IV.29 Courbes de corrélation C_v-I_c
Figure IV.30 Courbes de corrélation C_c-I_c
Figure IV.31 Courbes de corrélation C_g-I_c

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Les paramètres utilisés dans les corrélations en fonctions de types de sols (boutonnier, 2007)

Tableau I.2 : L'indice de compression de différents types de sols

Tableau I.3 : La variation de la compressibilité suivant la nature minéralogique

Tableau II.1 : Coupe de sondage du CEM B7/200

Tableau III.1. Résultats d'essais physique de laboratoire 1 (analyse granulométrique)

Tableau III.2. Résultats d'essais physique de laboratoire (limite d'atterberg)

Tableau IV.1: caractéristique mécanique et physique

Tableau IV.2 : Valeur de poids volumique sec et la cohésion

Tableau IV.3 : Valeur de poids volumique sec et l'angle de frottement

Tableau IV.4 : valeurs de poids volumique sec et la contrainte de consolidations

Tableau IV.5: Valeur de poids volumique sec et l'indice de compression

Tableau IV.6 : valeurs de poids volumique sec et l'indice de gonflement

Tableau IV.7: Valeur de poids volumique humide et la cohésion

Tableau IV.8 : Valeur de poids volumique humide et l'angle frottement

Tableau IV.9 : Valeur de poids humide et contrainte de consolidations

Tableau IV.10 : Valeur de poids humide et l'indice de compression

Tableau IV.11 : Valeur poids humide et l'indice de gonflement

Tableau IV.12 : Valeur de la teneur en eau et la cohésion

Tableau IV.13 : Valeur de teneur en eau et l'angle de frottement

Tableau IV.14 : Valeur de *l'angle de frottement effectif* ϕ' et teneur en eau

Tableau IV.15 : Valeur de la teneur en eau et la contrainte de consolidation

Tableau IV.16 : valeurs de l'indice compression et la teneur en eau

Tableau IV.17 : valeur de la teneur en eau et l'indice de gonflement

Tableau IV.18 : valeur de la limite de liquidité et la cohésion.

Tableau IV.19: Valeur la limite de liquidité et l'angle de frottement.

Tableau VI.20 : Valeur limite de liquidité et la contrainte de consolidation

Tableau IV.21 : Les valeurs de la limite de liquidité et l'indice de compression

Tableau IV.22 : Valeur de limite de liquidité et l'indice de gonflement.

Tableau IV.23 : Valeur de limite de plasticité et la cohésion .

Tableau IV.24 : Valeur limite de plasticité et contrainte de consolidation.

Tableau IV.25: valeur de limite de plasticité et l'indice de compression

Tableau IV.26 : valeur de l'angle de frottement effectif ϕ' et l'indice de plasticité I_p

Tableau IV.27 : valeur de l'indice de plasticité et l'indice de gonflement

Tableau IV.28 : valeur de l'indice de consistance et la cohésion.

Tableau IV.29: Valeur de l'angle de frottement et l'indice de consistance .

Tableau IV.30 : Valeur de l'indice de consistance et la contrainte de consolidation

Tableau IV.31 : Valeur de l'indice de consistance et l'indice de compression

Tableau IV.32: Valeur de l'indice de consistance et l'indice de gonflement

Tableau IV.33: Valeur de indice de compression et l'indice de gonflement

LISTE DES SYMBOLES

Symbole	Désignations
C_c	Indice de compression
C_g	Coefficient de gonflement
C_v	Contrainte de consolidations
I_c	Indice de consistance
I_p	Indice de plasticité
W	Teneur en eau
W_l	Limite de liquidité
φ	Angle de frottement
γ_d	Poids volumique sec
γ_h	Poids volumique humide
C	Cohésion
n	La porosité
e	Indice des vides
R	Coefficient de corrélation
$\bar{X}$	Moyenne
$v_{(x)}$	Variance
$\delta_{(x)}$	Ecart type
Cov	Covariance

Depuis l'antique, l'homme a toujours cherché à connaître mieux la nature et les caractéristiques des sols, pour pouvoir placer les fondations.

De nos jours, les ouvrages sont tellement importants, que l'homme s'est trouvé entraîné à développer les méthodes de reconnaissance et de recherche.

La connaissance des paramètres physiques et mécaniques s'avère, comme une première étape, impérativement incontournable pour tout projet géotechnique, et cela après avoir réalisé une étude géologique basée sur une visite du terrain, une consultation des cartes, et enfin, l'établissement d'une coupe géologique, qui nécessite des connaissances détaillées et précises du sol.

Notre étude consiste, d'une part, à définir les essais de laboratoire servant à la détermination des caractéristiques physiques et mécaniques, et d'autre part, à étudier les corrélations entre les caractéristiques physiques et mécaniques des différentes formations rencontrées au niveau de site d'étude (CEM TAMDA).

Notre travail comporte quatre chapitres :

- Le premier chapitre est consacré aux généralités sur les corrélations.
- Le deuxième chapitre est consacré aux études géologiques et géotechniques.
- Le troisième chapitre est une application théorique par la présentation des essais physiques et mécaniques utilisés lors de la campagne de reconnaissance et une application pratique par l'interprétation des résultats obtenus en vue de déterminer la nature des couches et leur configuration.
- Le dernier chapitre consiste à établir des corrélations générales entre les caractéristiques physiques et mécaniques.
- Une conclusion générale est donnée à la fin du mémoire. Elle rassemble les points essentiels issus de ce travail.

I. Introduction

L'investigation géotechnique repose en générale sur des techniques in-situ & laboratoire est soit empiriques, ou l'ingénieur géotechnicien est confronté à des terrains hétérogènes. Cette hétérogénéité rend la mission plus ardue couteuse et augmente l'erreur de caractérisation des sols.

C'est dans ce contexte que le recours aux corrélations entre les différents paramètres des essais in situ d'une part et d'autre part entre les paramètres mécaniques est devenu indispensable afin d'obtenir des résultats plus fiables.

I.1 : Définition des corrélations

La corrélation est un concept issu de la biologie. C'est par le biais des travaux de Francis Galton que la corrélation devient un concept statistique. Toutefois pour Galton, la notion de corrélation n'est pas définie précisément et il l'assimile dans un premier temps à la droite de régression d'un modèle de régression linéaire.

En 1896 Karl Pearson a proposé une formule mathématique pour la notion de corrélation.

La corrélation est introduite en économie avec l'ouvrage de Bowley *Elements of Statistics* en 1902 et l'intervention de George Udny Yule en 1909. Yule introduit notamment la notion de corrélation partielle.

L'usage du coefficient de corrélation a suscité de vives controverses. Par exemple Maurice Fréchet s'y est vivement opposé en montrant les difficultés d'interprétation de ce paramètre.

➤ les essais in situ permettent de mesurer des paramètres sans effectuer de prélèvement, ce qui permet de se prémunir des aléas du prélèvement, de la détérioration des caractéristiques pendant le forage et les impondérables liées à la manipulation des échantillons au laboratoire. Les essais in situ permettent aussi l'application des contraintes au sol dans leur environnement initial tout en mesurant leur réponse en contraintes et/ou déformations. A partir des années 1950, beaucoup de recherches se sont focalisées sur le développement de l'appareillage de mesure in situ et les méthodes d'interprétation des données et de dimensionnement des fondations des ouvrages géotechniques. Parmi les essais in situ les plus utilisés on distingue :

- Pénétromètre statique (CPT),
- Pressiomètre Ménard (PMT), Fig (I.1)

- Les essais au laboratoire sont à l'intersection de différents métiers, géologue, géotechnicien, géophysicien, hydrogéologue... et sont un élément essentiel des programmes de reconnaissance du sous-sol pour définir le modèle géotechnique nécessaire au projet de génie civil. (Fig 2).

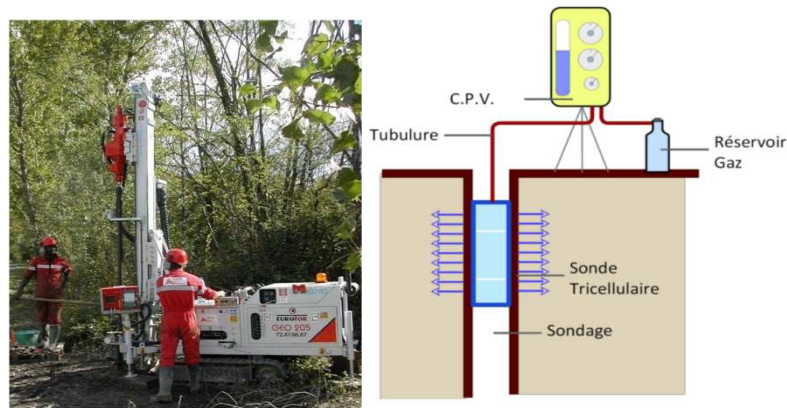


Figure I.1 les essais in situ



Figure I. 2 Les essais au laboratoire

I.2 : But des corrélations

L'étude des corrélations a pour but principal de donner aux ingénieurs de la mécanique des sols un moyen simple et éprouvé de contrôle des résultats d'investigations géotechniques, in situ et laboratoire. Fabrication de nouvelles valeurs complémentaires, à base de valeurs connues.

I.3 : L'importance des corrélations

L'étude des corrélations occupe une place importante dans le domaine de la géotechnique, elle permet à la fois le contrôle des différents résultats d'investigations, utilisation de valeurs caractéristiques représentatives, fabrications de nouvelles valeurs manquantes, cela se traduit par une optimisation considérable des programmes d'investigation et de leurs couts.

Les corrélations des paramètres géotechniques sont utilisées en mécanique des sols par plusieurs auteurs à savoir (**Magnan 1982,Benjamin&Carnell 1970..... etc**) .

Le but des corrélations entre diverses caractéristiques des sols est avant tout pratique, il s'agit de mettre à la disposition des projeteurs des corrélations qui leur permettent de contrôler ou 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 .Ces corrélations permettront de valider les valeurs provenant de la reconnaissance.

I.4. conditions d'utilisation des corrélations

L'utilisation des corrélations nécessite une attention particulière et une analyse critique, il est important de s'assurer que les paramètres faisant l'objet de l'étude de corrélations sont des valeurs caractéristiques et représentatives, les valeurs des résultats à utiliser doivent dériver de sols de même nature et dans de même conditions (état hydrique, état compacité, plasticité..)

I.5.Domains de validité des corrélations

Les corrélations que l'on peut établir entre les paramètres physiques et mécaniques des sols sont plus ou moins générales suivant les paramètres concernés. Habituellement, la validité d'une corrélation est limitée à la nature du sol étudié : les propriétés des sables, des tourbes, ou des argiles n'obéissent pas aux mêmes lois, elles sont d'ailleurs souvent décrites par des paramètres spécifiques et il n'est pas étonnant que les corrélations établies pour un type de sol ne soient pas valable pour les mêmes propriétés d'un autre type de sol.

Sous réserve d'une certaine prudence quant à la généralisation des corrélations établies sur un site ou reste du site, l'utilisation de corrélations constitue une technique très utile dans les études géotechniques des terrains et leur usage peut être recommandé tant pour compléter des données que pour contrôler la vraisemblance des résultats des essais réalisés en place comme en laboratoire : les données conformes aux corrélations tant générales qu'établies sur le site, sont en effet plus plausibles que celles qui sont trop éloignées et pour lesquelles des vérifications complémentaires sont toujours souhaitables.

I.6. Les différents paramètres caractérisant un sol

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

-Les paramètres Physiques & chimiques: porosité, indice des vides , densité , limites d'Atterberg, perméabilité, teneur en carbonate, teneurs en chlorure, teneur en sulfate... etc.

-Les paramètres de déformation : indice des compression, indice de gonflement , module œdométrique

- Les paramètres de déformations mécaniques : cohésion , angle de frottement interne, pression limite

Ces différents paramètres vont être utilisés dans les différents calculs des corrélations suivant le type de sol, le tableau ci-dessous résume les paramètres utilisés dans les corrélations :

Auteurs	Type de sol	Paramètres utilisés dans les corrélations
Fleureau et al (2002)	Sol fins	- W_l - w_{opt} (pour Proctor normal et modifier).
Aubertin et al (2003)	Sol granulaires	-indice des vides e - D_{10} (passant à 10%) - C_u
Aubertin et al (2003)	Sol fins	-indice des vides e - w_l - ρ_s
Coté et Kounard (2003)	Matériaux granulaires avec faible pourcentage de fines	-la porosité n -la courbe granulométrique - la surface spécifique de la fraction fine.

Tableau I.1 : les paramètres utilisés dans les corrélations en fonctions de types de sols .

(boutonnier, 2007).

I.7 :les paramètres physiques

Les paramètres physiques d'un sol se mesurent spécifiquement sur échantillons éventuellement remaniés par des essais d'identification.

I.7.1 : Teneur en eau W

(Norme NFP94-050:Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux).

l'échantillon de matériau est pesé, puis placé dans une étuve. Une fois la dessiccation réalisée (si la masse de la prise d'essai n'a pas varié de plus de 2/1000 entre deux pesées), l'échantillon est pesé à nouveau; les deux pesées donnent par différence la masse d'eau évaporée. Généralement, les étuves sont portées à 105°C pour les matériaux insensibles à la chaleur et à 50°C pour ceux sensibles à la chaleur.

L'intervalle entre deux prises de poids est au minimum :

De 4h dans le cas d'un étuvage à 105°C;

De 8h dans le cas d'un étuvage à 50°C.

I.7.2 .Masse volumique

(Norme NFP94-053:Détermination de la masse volumique des sols fins en laboratoire).

La masse volumique est obtenue par mesures successives des paramètres de masse (par pesée) et de volume (volume de la trousse coupante) qui caractérise un même échantillon de sol.

I.7.3.Densité des grains solides

(Norme NFP94-054: détermination de la masse volumique des particules solides des sols)

L'échantillon de sol est séché à l'étuve puis pesé. Le volume des particules est déduit par pesée à l'aide d'un pycnomètre en substituant l'eau de masse volumique connu aux particules solides.

On peut également déduire de ces trois essais

*La masse volumique de sol sec $\rho_d = \frac{\rho}{\omega+1}$

*La masse volumique du sol saturé $\rho_{sat} = \rho_d \left(1 - \frac{\rho_w}{\rho_s}\right)$

*L'indice des vides

*La porosité

*Le degré de saturation

I.7.4 : Analyse Granulométrique

Cet essai permet de déterminer la distribution dimensionnelle des grains. Il consiste à séparer les grains agglomérés d'une masse connue des matériaux par brossage sous l'eau à fractionner ce sol, une fois séché, au moyen d'une série de tamis et à peser successivement le refus cumulé sur chaque tamis. La masse de refus cumulé sur chaque tamis est rapportée à la masse totale séchée de l'échantillon soumis à l'analyse.

- Peser le refus du tamis ayant la plus grande maille : soit R_1 la masse de ce refus.
- Poursuivre la même opération avec tous les tamis de la colonne pour obtenir les masses des différents refus cumulés.
- Les masses des différents refus cumulés R_i sont rapportées à la masse totale de l'échantillon M
- Les pourcentages de refus cumulés ainsi obtenus, sont inscrits sur la feuille d'essai le pourcentage des tamis cumulés sera déduit.

Enfin on trace La courbe granulométrique sur une échelle semi-logarithmique (le pourcentage des passants en fonction de l'ouverture du tamis correspondant).

I.7.5: Limites d'Atterberg

Norme NFP 94-051 Détermination des limites d'Atterberg – limite de liquidité à la coupelle et limite de plasticité au rouleau) .

Les limites d'ATTERBERG consistent en des teneurs en eau limites qui marquent la transition entre deux états de consistance d'un sol cohérent. C'est pourquoi, on distingue trois états dans la consistance des argiles (les états liquide ,plastique et solide)

La transition d'un état à l'autre est très progressive, c'est pourquoi toute tentative pour fixer la limite entre deux états comporte une part d'arbitraire, on utilise généralement les limites définies par Atterberg et précisées ensuite par Casagrande.

Limite de liquidité (w_L)= l'état liquide vers l'état plastique
Limite de plasticité (w_p)= l'état plastique vers l'état solide

Limite de liquidité

la limite de liquidité est une teneur en eau qui sépare l'état liquide de l'état plastique . elle est fixée conventionnellement comme la valeur de la teneur en eau . exprimée en pourcentage , pour laquelle une rainure de dimensions normalisées se ferme sur une longueur de 1 cm sous l'effet de 25 chocs applique au moyen de l'appareil de Casagrande.

➤ Limite de plasticité

la teneur en eau (exprimée en %) du rouleau qui se brise en petits tronçons de 10 à 20 mm de longueur au La limite de plasticité w_p est moment où son diamètre atteint 3 mm.

I.7.5.1 : la procédure de l'essai

L'essai s'effectue en deux phases :

- la recherche de la limite de liquidité , à la coupelle ;
- la recherche de la limite de la plasticité , au rouleau.



Figure I.3 : les matériels utilisés

Pour la préparation du mortier , une masse de sol , prise après échantillonnage et homogénéisation par brassage , est mise à imbiber dans un récipient d'eau pendant 24h et tamisée humidification au tamis de $400\mu\text{m}$. L'eau de lavage et le tamisât sont recueillis dans un bac , une fois décantée , l'eau claire est siphonnée sans entrainer les particules solides . L'eau excédentaire est mise à évaporer , à une température 50°C .

I.7.5.1.1 :la détermination de la limite de liquidité

L'essai se fait au moyen d'un appareil normalisé, appelé coupelle de casagrande cette appareil est constitué d'une coupelle d'une dizaine de centimètres de diamètre , d'un socle rigide et d'une hauteur constante fixée à 10 mm, à raison de deux coupelles par seconde .

Après le contrôle du fonctionnement de l'appareil et de pointe de l'outil à rainurer qui doit être inférieure à 2.2 mm, tout en réglant la hauteur de chute de la coupelle , on malaxe la totalité de tamisât afin d'obtenir une pate homogène .(figure I.4)



Figure I.4 : le mortier malaxé

Avec une spatule , on étend une masse de pate sur la coupelle qui doit être propre et sèche. Cette dernière est étalée en plusieurs couches pour éviter d'emprisonner les bulles d'air , présentant une opération d'un aspect symétrique .

Ensuite , on trace une rainure à l'aide de l'outil à rainurer en forme de V , on imprime à la coupelle une série de choque , tout en comptant le nombre qui doit être compris entre 15 a 35 , nécessaires pour que les lèvres de la rainure se rejoignent sur une longueur d'environ 1 cm ,enfin , on prélève une quantité de mortier de chaque côté des lèvres de la rainure et au voisinage de l'endroit ou elles se sont refermées , afin de déterminer la teneur en eau. L'essai

est renouvelé 6 fois pour différentes teneurs en eau obtenues soit par addition d'eau , de façon à couvrir une plage de coups allant de 15 à 35 .

I.7.5.1.2 : la détermination de la limite de plasticité

Pour déterminer la limite de plasticité , on forme une boulette à partir de la pate préparée à l'aide de la paume de la main , on roule la boulette sur une plaque lisse de façon à lui donner la forme d'un rouleau , sans creux, qui s'amincit progressivement jusqu'à ce qui l'atteigne $3\text{mm} \pm 0.5 \text{ mm}$ de diamètre et une longueur de 10cm (figure I.5)



Figure I.5 : les confections du rouleau

On estime arbitrairement que le sol a atteint la limite de plasticité lorsque la cylindre se brise en deux segment en le soulevant du milieu sur une hauteur variant de 15 à 20 mm (figure I.6) on pèse alors ces derniers sans tarder et on mesure la teneur en eau . On refait l'opération quatre fois pour chacun des ces échantillons . la limite de plasticité W_p exprimée en pourcentage correspond à la moyenne arithmétique des quatre teneurs en eau obtenues



Figure I.6: la fissurations et brisure du rouleau

I.8. Les caractéristiques mécaniques

Les paramètres mécaniques sont les variables des formules de calcul de stabilité des talus, fondations... Ils sont spécifiques d'une théorie, d'une méthode de calcul et d'un essai (matériel et processus), de sorte qu'il n'est pas possible d'établir leurs corrélations numériques pour un même sol. On les mesure spécifiquement sur échantillons dits « intacts ».

I.8.1: Essais de compressibilité –Gonflement

(Norme NFP94-090: Essai œdométriques Essai de compressibilité sur matériau fins quasi saturés avec chargement par paliers).

L'essai de gonflement à l'oedomètre s'effectue sur des matériaux fins mis en présence d'eau. Il permet de déterminer la pression de gonflement d'un matériau ainsi que sa déformation lorsqu'il est soumis, en présence d'eau, à des contraintes verticales inférieures à cette pression de gonflement.

Il est utilisé pour apprécier le comportement d'ouvrages pouvant être affectés par la présence de matériaux gonflants. L'essai s'effectue sur plusieurs éprouvettes du même échantillon prélevées au même niveau. Chaque éprouvette est placée dans une cellule et un effort axial vertical maintenu constant est appliqué. L'essai consiste à appliquer à chaque éprouvette une contrainte verticale différente et à mesurer sa variation de hauteur lors de l'immersion

L'essai permet d'obtenir:

- La courbe de compressibilité, qui indique le tassement total en fonction du logarithme de la contrainte appliquée elle permet de déterminer l'indice des vides initial e_0 la contrainte de

l'altérations σ'_p le coefficient de consolidation C_v

I.8.2: Gonflement à l'oedomètre

(Norme NFP94-091: Essai de gonflement à l'oedomètre –Détermination des déformations par chargement de plusieurs éprouvettes).

L'essai œdométrique permet également de déterminer la pression de gonflement (pression en laquelle le sol gonfle lorsqu'on le met en présence d'eau) et le coefficient de gonflement C_g .

Pour cela, quatre éprouvettes au moins sont découpées dans le même échantillon, sensiblement à même niveau. L'essai consiste à appliquer une force différente mais maintenue

constant sur chacune des éprouvettes, et à mesurer la déformation axiale correspondante.

La pression de gonflement est obtenue entracant la courbe de la déformation de chaque éprouvette en fonction du logarithme des contraintes appliquées . La pression de gonflement correspond à une déformation nulle. Et a mesuré la variations Δh de sa hauteur h_0 au cours du temps . l'éprouvette est drainée en haut et en bas et maintenue saturée pendant l'essai . La charge est appliquée par paliers maintenus constants et successivement croissante et décroissante suivant un programme défini. Les variations de la hauteur de l'éprouvette sont mesurées pendant l'essai et ce en fonction de la durée d'application de la charge .

Le tassement de l'éprouvette dans un essai œdométrique est dû , dans un premier temps à la variations de la contrainte effective dans l'éprouvette (consolidation première) et ou fluage (consolidation secondaire) , dans un deuxième temps , qui est causé par le réarrangement du squelette granulaire du sol .

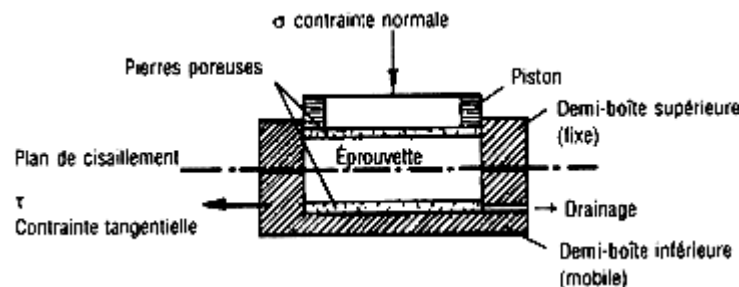


Figure I.7 : le principe de l'essai œdométrique

L'interprétation de l'essai consiste à tracer la courbe donnant la variation de l'indice des vides de l'éprouvette en fonction de la contrainte de consolidation appliquée . Cette courbe est nommée « courbe de compressibilité œdométrique » [MAGNAN Jean-Pierre, 2000] les indices de gonflement C_g et de compression C_c et les modules œdométriques y sont déduits. La pression de préconsolidation , qui est un paramètre très important reflétant l'histoire de chargement du sol dans la passé , est aussi identifiée.

I.8.2.1 : les courbes de compressibilité

D'une manière générale, les courbes compressibilité traduisent les variations de l'indice des vides du sol mesuré à la fin de chaque palier de chargement , et ceci en fonction de la contrainte verticale effective correspondante [MAGNAN Jean-Pierre , 2000].

I.8.2.2 : les courbes de compressibilité des sols cohérents

La perméabilité faible des sols fins empêche l'écoulement immédiat de l'eau à travers leurs pores .Ceci se traduit alors par le fait que les charges appliquées à la surface d'une éprouvette confectionnée à partir de ces sols se transmettent d'abord à l'eau puis progressivement au squelette solide , au fur et à mesure que l'eau sorte du sol . Les déformations obtenues dépendent dans le temps .

La courbe est composée de deux parties sensiblement rectilignes , (CD) à faible pente et (AB) à forte pente , raccordées par une partie courbe (BC). On constate en outre , lors d'un cycle de chargement – déchargement DEFGH, que le matériau n'a pas un comportement élastique et présente une boucle d'hystérésis [MAGNAN Jean-Pierre 2000].

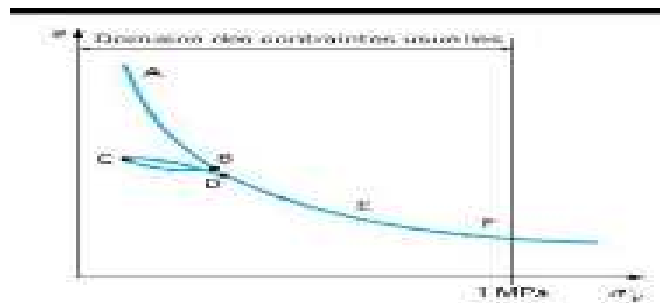


Figure I.8: Courbe de compressibilité d'un sol fin
(MAGNAN Jean-Pierre, 2000)

I.8.2.3 : Les courbes de compressibilité des sols pulvérulents

La courbe de compressibilité œdométrique d'un sol pulvérulent a l'allure générale indiquée sur la la figure (I.9) dans la partie AB de la courbe , la variation de volume est notable et provient surtout du réarrangement des grains . Dans la partie EF, cette variation est faible et rechargee , le comportement du sol est irréversible (trajets BC.CD) , seule la partie liée à la déformation élastique des grains est récupérée . En pratique , l'essai œdométrique est peu utilisé pour les sables [MAGNAN Jean-Pierre , 2000].

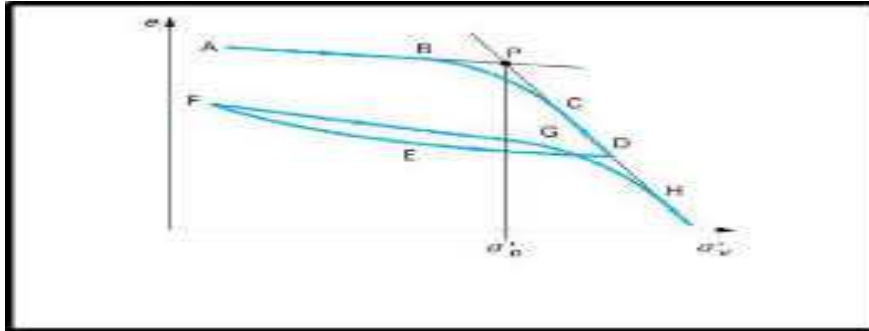


Figure I.9 : Courbe de compressibilité d'un sol pulvérulent
(MAGNAN Jean-Pierre 2000)

I.8.2.4 : Les paramètres de compressibilité

Les courbes de compressibilités caractérisées par la pression de préconsolidation σ_p , l'indice de gonflement C_g et l'indice de compression C_c .

❖ La pression de préconsolidation

La pression de préconsolidation est notée σ_p , correspond au coude de courbe œdométrique. Autrement dit, c'est l'abscisse du point d'intersection des deux parties rectilignes de la courbe de compressibilité œdométrique, cette contrainte est très importante en géotechnique. Elle donne une indication sur la pression verticale effective maximale que le sol a subie au cours de son histoire géologique [ARABET Leila, 2001].

La pression de préconsolidation n'est pas nécessairement égale à la contrainte effective initiale existant actuellement dans le sol d'où on a prélevé l'échantillon testé, au cours de son histoire, le sol a pu être soumis au poids de couches de terrains ou de glace qui ont disparu par la suite. Lorsque la pression de préconsolidation est supérieure à la contrainte effective verticale actuelle, on dit que le sol est consolidé. Si les deux contraintes sont égales, le sol est dit normalement consolidé. La pression de préconsolidation ne peut être inférieure à la contrainte effective verticale actuelle [MAGNAN Jean-Pierre 2000].

❖ **L'indice de gonflement**

La pente de la partie initiale de la courbe , C_g , appelée indice de gonflement , traduit le gonflement du sol au cours du déchargement .

❖ **L'indice de compression**

On appelle indice de compression C_c la pente de la partie finale de la courbe BC il traduit la compression du sol en phase de chargement.

Le tableau I.2 décrit l'ordre de grandeur de l'indice de compression de différents types de sols et le tableau I.3 décrit la variation de la compressibilité de certains minéraux argileux .

Type de sol	Compressibilité	Ordre de grandeur de C_c
Sable	Incompressible	$0.01 < C_c < 0.02$
	Très peu compressible	$0.02 < C_c < 0.05$
	Peu compressible	$0.05 < C_c < 0.10$
Argile raide (kaolinites)	Moyennement compressible	$0.10 < C_c < 0.25$
Argile moyenne (Illites)	Assez fortement compressible	$0.25 < C_c < 0.30$
	Très compressible	$0.30 < C_c < 0.80$
Argile molle(montmorillonite)	Extrêmes compressible	$0.80 < C_c < 2.20$

Tableau I.2 : l'indice de compression de différents types de sols

I.8.3 : la cohésion

Elle exprime la résistance au cisaillement du sol sous contrainte normale indépendamment de la contrainte normale. Elle constitue la résistance propre de la structure due essentiellement aux liaisons de type physico-chimique pouvant exister entre les grains et créées par la cimentation. La cohésion est nulle dans les sables étant donné qu'ils ne possèdent pas de telles liaisons. En revanche, cette dernière apparaît dans les sables humides ou légèrement cimentés en raison des ménisques d'eau existant aux points de contact entre les grains créant ainsi une certaine adhérence entre ces derniers et qui disparaît dès que la teneur en eau du sable augmente [MAGNAN 1991]. La cohésion est relativement élevée pour les sols cohérents, surtout dans les sols fortement surconsolidés. Mais celle-ci disparaît dès que les liaisons sont cassées par le cisaillement, ce qui correspond approximativement au maximum de la courbe de rupture [LERAU, 2005].

I.8.4 : l'angle de frottement

L'angle de frottement représente la capacité de résistance au cisaillement d'un sol sous un effort normal. Il peut être en général mesuré sur des échantillons en laboratoire par des essais tels que l'essai de la boîte de Casagrande (essai de cisaillement rectiligne) ou à l'appareil triaxial (essai de compression sur éprouvette cylindrique soumise à une pression de confinement donnée).

Il est généralement défini par la lettre grec (φ) il est préférable d'utiliser, pour les calculs l'angle de frottement drainé noté φ' qui est obtenu soit à partir des essais avec des vitesses de cisaillement lentes permettant ainsi la dissipation des pressions interstitielles au sein des échantillons.

I.9: Les caractéristiques numériques

Pour résumer l'information contenue dans une suite de « n » observations d'un caractère quantitatif on calcule les caractéristiques :

- Paramètres de tendance centrale
- Paramètres de dispersion .
- Paramètres de position.

I.9.1. Paramètres de tendance centrale

I.9.1.1: la moyenne arithmétique

La moyenne empirique d'un échantillon est la somme de ses éléments divisée par leur nombre.

$$X = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{N} = \sum_{n=1}^n x_n \cdot \frac{1}{N}$$

La moyenne peut être calculée à partir des valeurs distinctes et des effectifs

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n n_i x_i}{N}$$

I.9.2 : Paramètres de dispersion

I.9.2.1: la variance

La variance empirique d'un échantillon c'est la somme des carrés d'écarts à la moyenne divisée par le nombre d'observation on la note $v(x)$.

$$v(x) = \frac{1}{N} \sum x_i (x_i - X)^2$$

I.9.2.2 : l'écart type

L'écart type empirique d'un échantillon est la racine carrée de la variance on la note $\delta(x)$

$$\delta(x) = \sqrt{v(x)}$$

I.10.2.3 : Covariance

la covariance de deux caractères dans un échantillon bidimensionnel est la moyenne empirique du produit des deux coordonnées .

$$\text{Cov}(x,y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

I.10.2.4 : Régression

C'est une opérations consiste à mesuré la relations moyenne entre deux variable et on à deux types sont les suivant :

- Régression multiple ,
- Régression linéaire.

I.10.2.4.1 :Régression multiple

Est l'outil statistique le plus habituellement mis en œuvre pour l'étude des données multi dimensionnelles.

I.10.2.4.2: régression linéaire

Est l'outil statistique qui s'intéresse à une fonction de la forme

$$Y=aX+b$$

avec : Y : variable dépendante

X : variable indépendante

Cas d'une relation linéaire $\longrightarrow$ équation de droite

Cas d'une fonction puissance :

$$y=b x^a$$

$$\text{Ln } y= \ln b x^a$$

$$\text{Ln } y= \ln b + \ln x^a$$

$$\text{Ln } y= \ln b + a \ln x$$

On pose : $\ln y = Y$, $\ln b = B$, $a = A$, $\ln x = X$

On obtient la forme linéaire : $Y = AX + B$

I.11 : Rapport de corrélation : (coefficient de corrélation)

C'est un rapport sans dimension compris entre -1 et +1 destiné à chiffrer l'intensité de la liaison statistique entre deux variables sans hypothèse sur la nature de cette liaison ce rapport est défini par :

$$R(x, y) = \text{Cov}(x, y) / \sigma_x * \sigma_y$$

$\text{Cov}(x, y)$: covariance de x et de y.

$\sigma_x * \sigma_y$: écart type de x et y .

S'il existe une relation linéaire entre x et y : alors $R(x, y) = \pm 1$

$R = -1$ représente une corrélation négative parfaite

$R = +1$ représente une corrélation positive parfaite

$R = 0$ représente un manque de corrélation .

La figure I.10 donne une illustration des 3 rapports de corrélation :

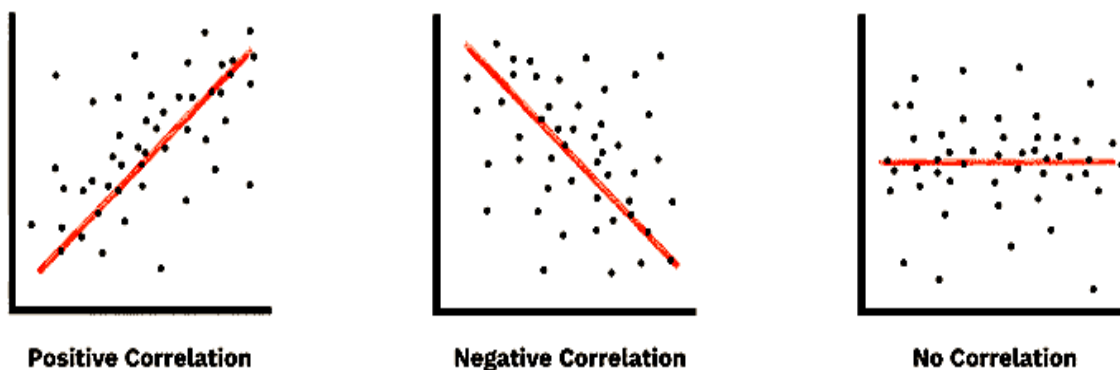


Figure I.10: Schématisation des trois rapports de corrélations

I.11: Coefficients de déterminations

Symbolisé par R^2 le coefficient de détermination est à angle droit du coefficient de corrélation .il peut avoir seulement des valeurs positives qui s'étendent de $R^2 = +1$ vers le bas à $R^2 = 0$.

$R^2 = +1$ corrélation parfaite positive ou négative.

$R^2 = 0$ absence complète de corrélation.

L'utilité de de ces coefficients est que :

R : fournit la direction positive ou négative de la corrélation

R^2 : fournit une mesure de la force de corrélation.

L'interprétation des valeurs du coefficient de corrélation est donnée comme suit :

Si $R=0$: corrélation nulle

Si $-0.4 < R < +0.4$: corrélation très faible

Si $+0.4 < R < 0.6$ corrélation faible

Si $0.6 < R < 0.75$ corrélations moyenne

Si $0.75 < R < 1$ corrélation forte.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté l'essentiel et l'objectif de l'étude des corrélations les conditions d'utilisation ainsi que le domaine d'application de dernière.

Ce chapitre contient une brève présentation de chaque essai, de la norme régissant ce dernier, des paramètres à utiliser dans les prochains chapitres.

Les corrélations peuvent contribuer efficacement dans le travail de synthèse du géotechnicien, et des formulations qui permettrons d'obtenir une estimation rapide, des caractéristiques intrinsèques des sols au stade des études avant-projet.

II. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les informations concernant la zone d'étude dont l'aspect géographique, la sismicité, la géologie régionale et locale de la zone d'étude. Ces informations sont à titre introductives au sujet de l'étude.

II.1. Situation géographique de Tizi-Ouzou

Tizi-Ouzou est située à 88 km à l'est de la capitale Alger, à 93 km à l'ouest de Béjaïa, à 52 km à l'est de Boumerdès et à 39,5 km au nord-est de Bouira.

Les coordonnées géographiques de la commune au point central de son chef-lieu valent respectivement $36^{\circ} 43' 00''$ Nord et $4^{\circ} 03' 00''$



Figure II.1 : carte situation géographique de Tizi-Ouzou

II.2. La sismicité de la région

Selon la nouvelle classification **RPA 99/ VERSION 2003** faite par le Centre national de recherche en Génie para-sismique C.G.S, la zone de TAMDA, fait partie de la wilaya de TIZI OUZOU classée en **zone II_a (sismicité moyenne)**.

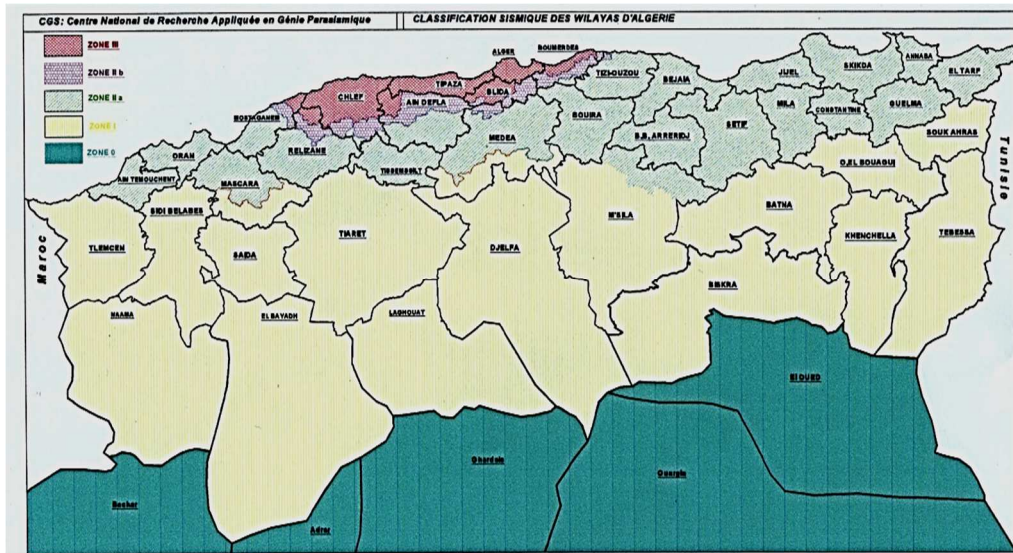


Figure II.2 : Carte de la zone sismique du territoire national (d'après CGS2003).

II.3.Géologie de la wilaya de Tizi-Ouzou

Géologiquement le territoire de la wilaya de Tizi-Ouzou (d'après Ziani et Arkoub 1994), s'inscrit dans l'orogénèse alpine périméditerranéenne de la chaîne littorale d'Afrique du Nord.

Les terrains qui affleurent sur ce territoire sont :

1. le socle kabyle et sa couverture paléozoïque.
2. la dorsale kabyle.
3. l'oligo-miocène kabyle.
4. les nappes de flyschs.
5. le miocène post-nappe.
6. le quaternaire.

1- Le socle kabyle

Il est constitué de terrains métamorphiques qui affleurent en grande partie dans la zone centrale et Sud de la Wilaya de TIZI OUZOU, à la limite des flancs Nord du Djurdjura.

Cette unité se subdivise en trois ensembles structuraux, superposés de bas en haut :

- Un socle gneissique fortement métamorphique.
- Une série de schistes satinés, faiblement métamorphique, la base de cette série comporte, de haut en bas des marbres, des quartzites, des sericitoschistes et des amphibolites.

Des schistes argileux et silteux, peu ou pas métamorphique.

2- La Dorsale kabyle

La chaîne du Djurdjura constitue le tronçon le plus important de la Dorsale Kabyle. Elle forme une barrière entre les formations du socle métamorphique au Nord et celle du crétacé tellien au Sud.

Ce sont des formations calcaires liasiques ou localement ceux de l'Eocène qui déterminent ses principaux reliefs.

3- L'Oligo-Miocène Kabyle

Il s'agit d'une formation conglomératique et gréseuse, transgressive, qui repose en discordance sur le socle Kabyle métamorphique. Elle passe vers le haut à un olistostrome à blocs divers de flysch crétacé, recouvert par les nappes de flyschs Nord kabyles.

4- Les nappes de flysch

Elles sont à matériel crétacé et nummulitique et s'empilent en couches pelliculaires, charriées sur les zones externes, et plus rarement sur les zones internes, comme c'est le cas pour le Nord de la Kabylie.

Dans ces unités structurales on classe les : flyschs numidiens ; les flysch massyliens, le flysch du haut Sébaou-Azazga, le flysch de port Gueydon et le flysch mauretarien.

5- Le Miocène post-nappe

Les terrains de cet ensemble géologique occupent un vaste synclinal qui s'étend sur près de 80 m d'Est en Ouest (TiziOuzou se place au centre du bassin). A l'Est il arrive jusqu'au méridien d'Azazga.

Il est représenté par des conglomérats (100 à 250 m) ; une formation molassique grés-marneuse (250 m) et une formation argileuse marneuse (500 m au maximum).

6- Le quaternaire

Il est représenté par des faciès variés ; dans les vallées il se développe des cailloutis grès polygènes, gravelles et aleurolites qui occupent ces espaces.

La région concernée **TiziOuzou** localise dans une partie de ces affleurements. D'après la carte géologique Tizi-Ouzou – Dellys au 1/50 000^e la région de Tizi-Ouzou repose sur une

puissante assise de marne notée M , altérée dans sa partie sommitale en marne argileuse. Localement cet ensemble est recouvert d'une fine couche de remblai.

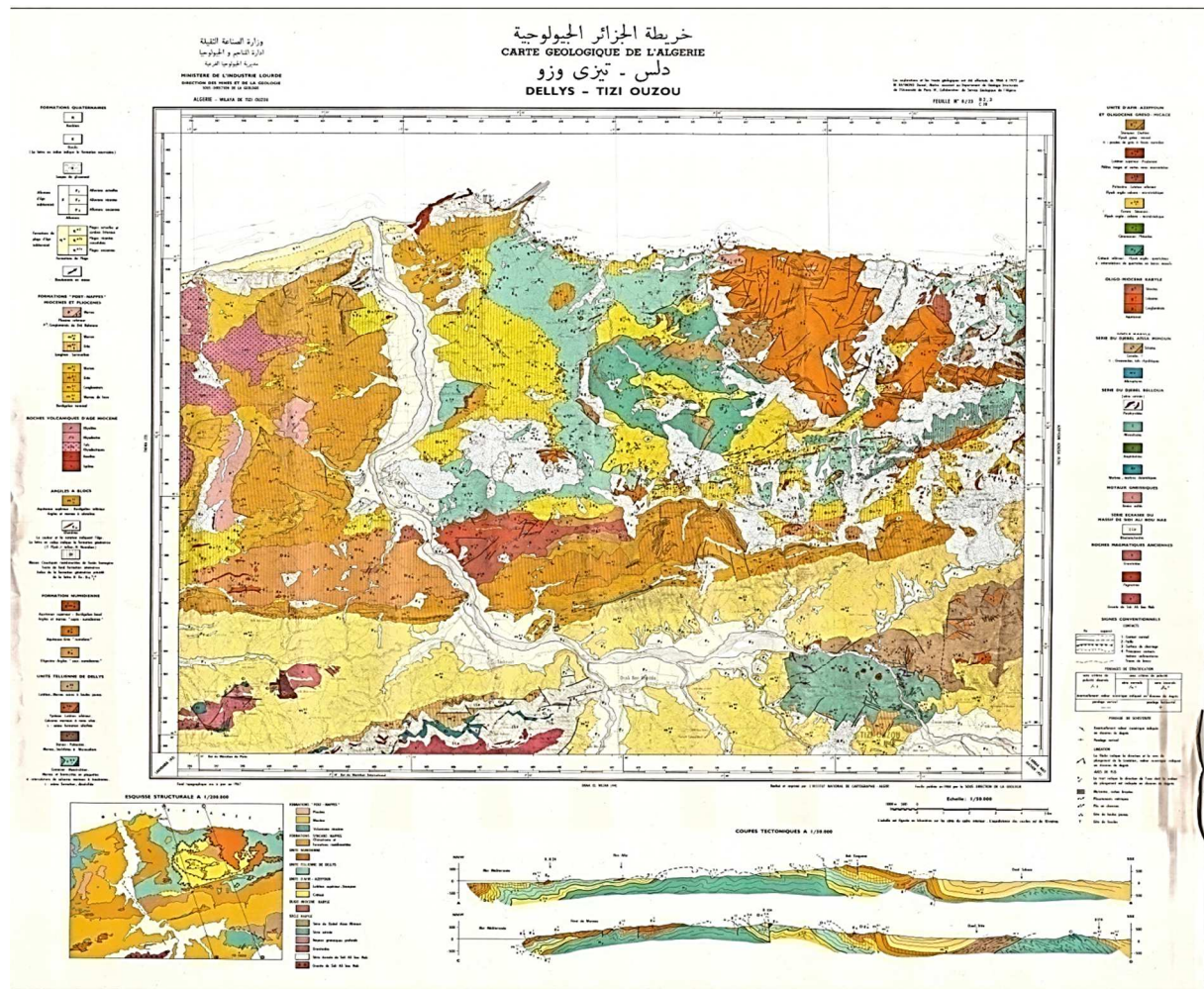


Figure II.3 : Carte géologique de TIZI OUZOU
(Extrait de la carte géologique de DELLYS-TIZI OUZOU, échelle 1/50 000)

II.4. Présentation de la région d'étude

II.4.1 : Situation géographique de la zone d'étude

A fin de réaliser notre projet d'étude nous avons focalisé sur une région qu'est TAMDA située sur la route de Freha (CW 174) qui longe la rive droite du Sebaou dans la vallée du même nom. Tamda est aussi proche de Tizi-Rached, chef-lieu de la commune et daïra du même nom sur la rive gauche du Sebaou.

II.4.2. Localisation du site d'étude

L'emprise du projet se situe dans la commune de TIZI OUZOU. Il occupe une parcelle affectée d'une topographie relativement plate.

Lors de notre visite, le terrain ne présente aucun signe apparent d'instabilité.

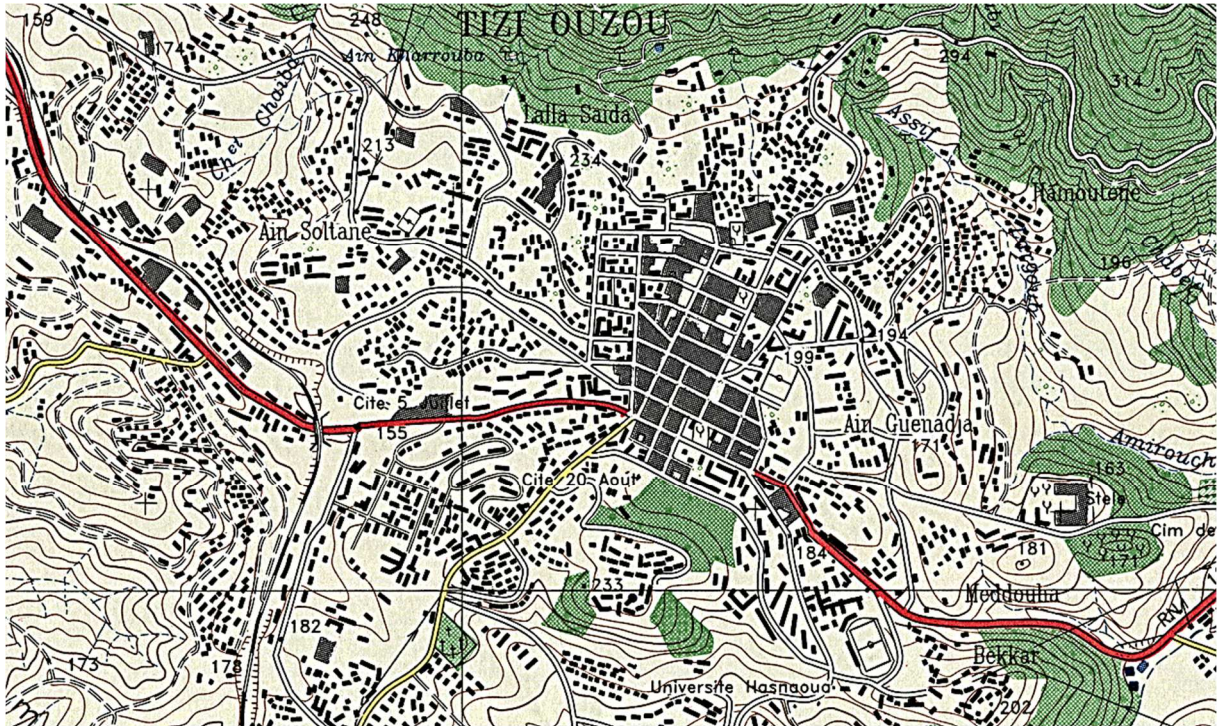


Figure II.4 : Localisation du site TAMDA (CEM B7/200R à ZHU TAMDA)

II .4.3 : SITUATION ET MORPHOLOGIE DU SITE

Le terrain destiné à recevoir le CEM B7/200R à ZHUN TAMDA, il est délimité selon le plan de masse comme suit :

- ✓ Au Nord : Route communal
- ✓ A L'Est : logements COSIDER
- ✓ A L'Ouest :logements COSIDER.

Le terrain est caractérisé par une pente allant de 9% à 12,5% environs.

II.4.4 : Lithologie de la zone d'étude

La géologie du site a été établie sur la base d'investigation sur le terrain et l'exploitations des données des sondages et des essais au pressiomètre réalisés par le laboratoire de l'habitat et de constructions de centre (LHCC) dans le cadre d'une étude du CEM B7/200R à ZHU TAMDA .

Et a partir de notre étude nous avons réussi à faire dégager 04 sondages carottés que nous trouvons dans le tableau suivant :

Numéro de sondage	La profondeur (m)	La nature de sol
Sc1	0.00 à 5.00	Remblais
	5.00 à 10.00	Marne grisâtres compacte
Sc2	0.00 à 4.00	Remblais
	4.00 à 6.50	Argile graveleuse
	6.50 à 10.00	Marne grise compacte
Sc3	0.00 à 4.00	Argile limoneuse
	4.00 à 6.00	Argile graveleuse
	6.00 à 11.00	Argile marneuse
	11.00 à 11.80	Marne altéré
	11.80 à 13.00	Marne grisâtres compacte
Sc4	0.00 à 2.00	Remblais
	2.00 à 10.70	Argile graveleux caillouteuse
	10.70 à 12.00	Marne grise compacte

Tableau II.2 :Coupe de sondage du CEM B7/200

Conclusion

L'objectif de ce chapitre est de présenter la région d'étude (cemB7/200R à ZHUN ,TAMDA) de déterminer les différentes couches constituant le sol , leurs transformations dans le temps ainsi les caractéristiques hydrogéologiques .

L'analyse des sondages carottés montre que le sol est constitué par une formation de marne grisâtre profondément, surmontée par une formation de marne altérée, et argile caillouteuse, le tout est recouvert par une couche importante de remblais variable allant de 0.0 à 10.50m de profondeur.

Introduction

Dans ce présent chapitre , nous procédons à la présentation et l'interprétation des résultats des essais in situ ,des essais de laboratoire à prendre en considération dans cette étude , et aussi les résultats des l'essaimécaniques, réalisée à Tizi-Ouzou (Tamda) et fourni par le LNHC .

III.1 : Interprétation des essais géotechniques**III.1.1 : Interprétation des résultats des essais in situ****III.1.1.1 : Sondage carottés**

Après avoir obtenu les résultats des 06 sondages réalisés sur le site de CEM B7/200R à ZHU TAMDA nous constatons qu'une couche de remblais d'une épaisseur de (0 à 10.50m) est présente au niveau de tous les sondages.

Selon les sondages faite elle nous permet de connaître et d'identifier la nature des formations géotechniques avec leurs épaisseurs , et surtout de connaître les différent composants de sol comme la marne grisâtre et tout les composants sont recouverts par une couche de remblais .

III.1.1.2 : Essais au Pénétromètre dynamique

L'essai consiste à faire pénétrer dans le sol, par battage, un terrain de tiges lisses, à l'aide d'une masse frappante (mouton) tombant d'une hauteur constante.

En fonceement donné (généralement 20 cm). On applique à ces essais la formule de battage dite des Hollandais,

Dans le but de déterminer la résistance de cette catégorie de sol à la pénétration dynamique, nous avons réalisé vingt (20) essais au moyen du pénétromètre lourd.

Les essais ont été implantés, d'une manière à couvrir toute la superficie accessible du site, ce qui permet d'avoir une idée globale sur les résistances du sol.

Ces essais ont été réalisés dans une optique de mettre en évidence la variation de la résistance du sol en fonction de la profondeur, ils permettent l'établissement des diagrammes représentant la résistance du sol à la pénétration de l'outil en profondeur donnant une idée générale sur la portance du sol ainsi :

- la succession de différentes couches de terrain.
- L'homogénéité d'une couche ou présence d'anomalies.
- La position d'une couche résistante dont l'existence est déjà connue.

En déduit que le sol ayant une faible résistance à la pénétration dynamique jusqu'à des profondeurs allant de 2.80 à 9.40m de profondeur, puis une amélioration progressive jusqu'à des refus allant de 5.00 à 12.0m de profondeur, à l'exception qui présentent une bonne résistance jusqu'à des refus allant de 2.80m à 3.80m de profondeur.

III.1.2 : Interprétations des résultats

III.1.2.1 : Essais d'identifications physique

L'analyse granulométrique

L'analyse granulométrique permet de mesurer la distribution dimensionnelle en poids des éléments d'un matériau, elle est réalisée par tamisage pour les grains supérieurs à 80 μm et par sédimentation pour les particules inférieurs à 80 μm .

Sondage	Profondeur (m)	γ_d (t/m ³)	W %	γ_h (t/m ³)	e	n %
SC01	0.00- 5.00	1.72	21.71	2.09	0,56	0,35
SC02	0.00-4.00	1.60	24.27	1.99	0,68	0,40
	4.00 -6.00	1.68	22.14	2.06	0,60	0,37
	6.00-10.00	2.05	10.78	2.27	0,31	0,23
SC03	0.00-4.00	1.59	25.33	2.00	0.69	0.40
	6.00-11.00	1.68	22.73	2.06	0,60	0,37
	11.00-11.80	1.66	23.68	2.05	0,62	0,38
	11.80-13.00	2.06	10.52	2.28	0,31	0,23
SC04	0.00-2.00	1.75	18.43	2.07	0,54	0,35
	2.00 – 10.00	1.71	19.56	2.05	0,57	0,36
	10.70 -12.00	2.09	2.75	2.30	0.29	0.22

Tableau III.1.Résultats de essais physiques de laboratoire

Limites d'atterberg

Sont des teneurs en eau particulières qui permettent de quantifier la plasticité du sol.

- La limite de liquidité (W_L) entre l'état liquide et l'état plastique ;
- L'indice de plasticité (I_p) est la différence entre la limite de liquidité et la limite de plasticité, il permet de définir le degré de plasticité du sol

Les paramètres se résument dans le tableau ci-dessous :

Sondage	Profondeur (m)	W _L	I _p	I _c	% des <2μ
SC01	0.00-5.00	52.00	23.83	1.52	17
SC02	0.00-4.00	49.00	21.00	1.68	15
	4.00-6.00	51.00	23.81	1.49	16
	6.00 –10.00	/	/	/	/
SC03	0.00-4.00	48.00	21.62	1.49	13
	6.00-11.00	50.00	23.66	1.59	16
	11.00 -11.80	52.00	25.78	1.69	08
	11.80 -13.00	/	/	/	/
SC04	0.00-2.00	48.00	21.40	1.66	08
	2.00-10.00	51.00	23.27	1.64	15
	10.70 -12.00	53.00	27.37	1.91	15

Tableau III.2.Résultats de essais physiques de laboratoire (limite d'atterger)

📌 Interprétation des resultants:

γ_h : poids volumique humide

γ_d : poids volumique sec

e : indice des vides

n : porosité

$$\gamma_h = \gamma_d / (1+w)$$

$$e = (\gamma_s / \gamma_d) - 1$$

$$n = e / (e + 1)$$

$\gamma_s = 2.70 \text{ t / m}^3$ (Poids volumique des grains).

➤ **La teneur en eau**

La teneur en eau naturelle est comprise entre 9.40 % et 25.33 %

➤ **La densité**

La densité sèche moyenne est de 1.79 t/m³, sa densité humide moyenne est de 2.12 t/m³.

WL : Limite de liquidité

Ip : Indice de plasticité

Ic : Indice de consistance

III.2. Interprétations des essais mécaniques :

III.2.1. Essais de cisaillement rectiligne de type 'CU'

Les essais de cisaillement caractérisent le comportement du sol vis-à-vis de la déformation par l'application d'une contrainte normale, et un déplacement à vitesse constante, la composante horizontale qui s'oppose au déplacement du chariot suivant un plan de rupture caractérise la quantification de la résistance au cisaillement traduite par les mesures de la cohésion (C) et de l'angle de frottement (ϕ) donne une possibilité de calculer la contrainte limite à la rupture, d'un sol.

Numéro de sondage	Nature de sol.	Profondeur (m)	Cohésion (bars)	Angle de frottement(φ)
SC01	Remblai	0.00 à 5.00	0.23	16.59
SC02	Remblai	0.00 à 4.00	0.47	18.65
	Argile graveleuse	4.00 à 6.50	0.30	19.01
SC03	Argilelimoneuse;	0 à 4.00	0.63	13.62
	Argile marneuse	6.00 à 11.00	0.49	12.05
	Marne altère	11.00 à 11.80	0.18	14.77
SC04	Argile gravelo caillouteuse	2.40 à 10.70	0.26	27.06
	Marne grise compacte	10.70 à 12.00	0.49	19.65

Tableaux III.2.1 : résultats des essais mécaniques**III.2.2- Essais de compressibilité a l'oedometre :**

Cet essai permet d'analyser la consolidation d'éprouvettes saturées de sols intacts (échantillons paraffinés), soumises à des charges verticales uniformes, drainées sur les deux faces (inférieure et supérieure) et maintenues latéralement par une paroi rigide.

L'essai permet de tracer une courbe œdométriques : indice des vides « e » en fonction de « $\log \sigma$ » d'où on peut déduire :

- ✓ Pression de consolidation P_c ;
- ✓ Coefficient de tassement C_v ;
- ✓ Coefficient de gonflement C_g

Numéro de sondage	Nature de sol.	Profondeur (m)	Contrainte de consolidation (bars)	Indice de compression	Indice de gonflement
SC01	Remblai	0.00 à 5.00	2.53	16.94	2.67
SC02	Remblai	0.00 à 4.00	3.15	12.96	2.08
	Argile graveleuse	4.00 à 6.50	1.72	11.29	2.08
SC03	Argilelimoneuse ;	0 à 4.00	4.11	17.61	2.21
	Argile marneuse	6.00 à 11.00	2.81	12.96	2.60
	Marne altère	11.00 à 11.80	3.18	11.29	2.41
SC04	Argile gravelo caillouteuse	2.40 à 10.70	3.39	15.95	1.95
	Marne grise compacte	10.70 à 12.00	3.25	19.60	3.32

Tableaux III.2.2 : résultats des essais mécaniques 02

Les résultats des essais de compressibilité œdométriques obtenus, ont donné les paramètres suivants :

- Indice de compression $11.29 \% < C_v < 19.60\%$.
- Indice de sur consolidation $1.95\% < C_g < 3.32 \%$.

CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons résumé et interprété les résultats des essais in –situ (sondage carotté, essai au pénétromètre dynamique SPT), essai de laboratoire (essais physiques), et les essais mécaniques .

Les essais réalisés ont permis de mettre en évidence les différentes couches de sol de la région d'étude, ainsi leurs profondeurs et leurs caractéristiques mécaniques, les résultats obtenus se confirment entre eux .

IV.1. Introduction

De nombreux travaux ont été consacré à établir des corrélations entre les différents essais in situ et leur paramètres . afin d'obtenir des résultats valable à notre analyse d'étude , de plusieurs lois et recherches ont été faites pour arriver à bien comprendre certains aspects du comportement géotechnique du sol.

Pour entamer le bilan de notre étude d'abord il faut bien cerner le domaine de validité des corrélations utilisées , notamment la nature du sol ainsi que ses caractéristique physico-mécanique et les conditions de chargements , degrés de consolidation , de capacité et de saturations.

IV.2: Classifications des sols étudiés

Afin de mieux cerner les paramètres géotechniques étudiés , une corrélation statistique à été analysée, Pour chacun des paramètres physiques et mécaniques, représentée sur le **TableauIV.1**

- Les paramètres physiques :
 - Le poids volumique sec (γ_d)
 - Le poids volumique humide (γ_h)
 - Le teneur en eau (W)
 - La limite de liquidité (WL)
 - La limite de plasticité (Ip)
 - L'indice de consistance (Ic)
- Et les parameters mécaniques :
 - la cohésion (C)
 - l'angle de frottement (φ)
 - Contraint de consolidation (Cv)
 - Indice de compression (Cc)
 - Indice de gonflement (Cg) .
 - L'angle de frottement effectif (φ')

L'ensemble des échantillons retenue pour les corrélations sont :

γ_d (t/m ³)	w (%)	γ_h (t/m ³)	Wl	Ip	Ic	C (bars)	φ (°)	Cv (bars)	Cc	Cg
1.72	21.71	2.09	52	23.83	1.52	0.23	16.59	2.53	16.94	2.67
1.60	24.27	1.99	49	21	1.68	0.47	18.65	3.15	12.96	2.08
1.68	22.14	2.06	51	23.81	1.49	0.30	19.01	1.72	11.29	2.08
1.59	25.33	2.00	48	21.62	1.49	0.63	13.62	4.11	17.61	2.21
1.68	22.73	2.06	50	23.66	1.59	0.49	12.05	2.81	12.96	2.60
1.66	23.68	2.05	52	25.78	1.69	0.18	14.77	3.18	11.29	2.41
1.71	19.56	2.05	51	23.27	1.64	0.26	27.06	3.39	15.95	1.95
2.09	9.75	2.30	53	27.37	1.91	0.49	19.65	2.25	19.60	3.32

Tableau IV.1:caractéristiques mécaniques et physiques

IV.3 :Elaborations des équations de corrélations

L'ensemble des paramètres physiques mentionnés précédemment (w ; wl ;Ip, Ic , γ_d , γ_h) ont fait l'objet d'une étude de corrélations avec le paramètres mécaniques (C ; φ ; Cv ; Cc ; Cg).

Les corrélations entre les paramètres étudiés suivant γ_d , γ_h , W, Wl, Ip, Ic. et φ , C, Cc, Cv, Cg qui ont permis d'obtenir des mesures que nous avons exploitées, ces mesures ont été triées suivant la même lithologie et nous ont permis d'établir des bases de données telle que $Y=f(X)$ à partir des quelles nous avons en utilisant le programme Excel, développé des équations de corrélation par progression linéaire de la forme $Y=AX+B$, et des équations de corrélation par la puissance régressions de la forme $Y=AX^B$ avec (A,B. des constantes), et R^2 est le coefficient de déterminations, et R le coefficient de corrélations ou nous avons pris en considérations l'équation de corrélation dont le coefficient de corrélation R et le plus élevé.

IV.4 : les corrélations entre les caractéristiques physiques et caractéristiques mécaniques

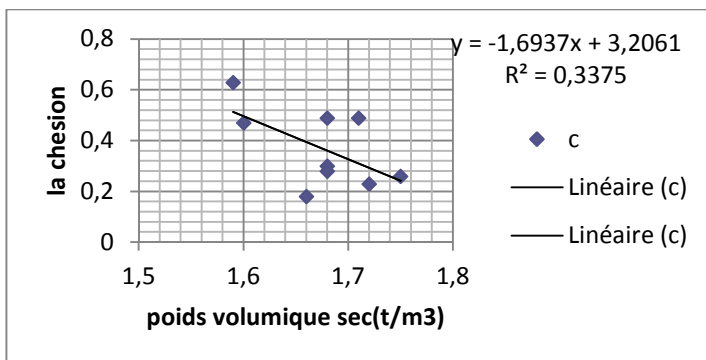
IV.4.1 : les corrélations entre les paramètres physiques et mécaniques :

IV.4.1.1 : Le poids volumique sec

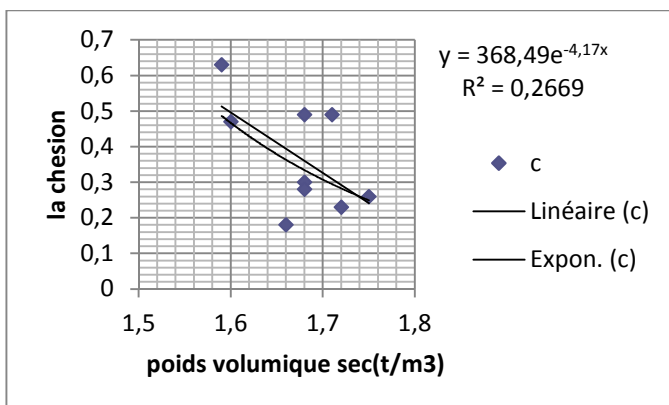
IV.4.1.1.1 : les corrélations entre le poids volumique sec et la cohésion

La profondeur (m)	La nature de sol	Le poids volumique sec (t/m^3)	La cohésion
0.00 à 5.00	Remblais	1.72	0.23
0.00 à 4.00	Remblais	1.60	0.47
4.00 à 6.50	Argile graveleuse	1.68	0.30
0.00 à 4.00	Argile limoneuse	1.59	0.63
6.00 à 11.00	Argile marneuse	1.68	0.49
11.00 à 11.80	Marne altérée	1.66	0.18
2.00 à 10.00	Remblais	1.71	0.26
10.70 à 12.00	Marne grise compacte	2.09	0.49

Tableau IV.2 : Valeur de poids volumique sec et de la cohésion



L'équation obtenue est $C = -1.693 \gamma_d + 3.206$
avec un coefficient de corrélation est $R = 0.58$
la corrélation entre les deux paramètre et faible
 $0.40 < R < 0.60$



L'équation obtenue est $C = 368.4e^{-4.17\gamma_d}$ avec
un Coefficient de corrélation est $R = 0.51$ la
corrélation entre les deux paramètre et faible
 $0.40 < R < 0.60$

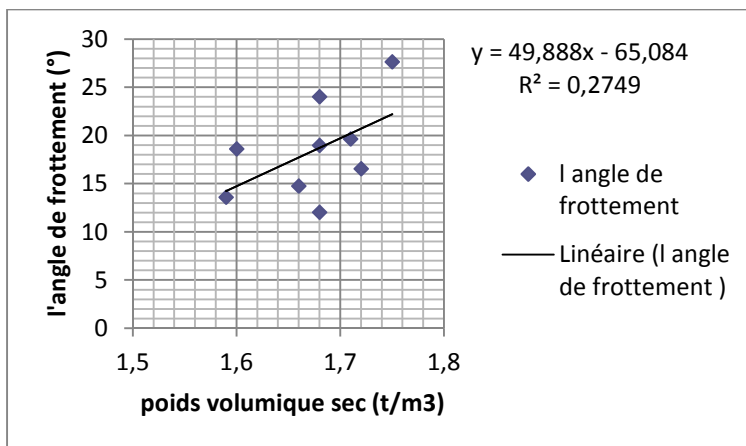
Figure IV.1 : corrélations γ_d et C

L'équation obtenue est $C_c = -1.693\gamma_d + 3.206$ avec un coefficient de détermination $R^2 = 0.337$ et le coefficient de corrélations $R = 0.58$ la corrélation entre les deux paramètre et faible $0.40 < R < 0.60$.

IV.4.1.1.2: corrélations entre le poids volumique sec et l'angle de frottement

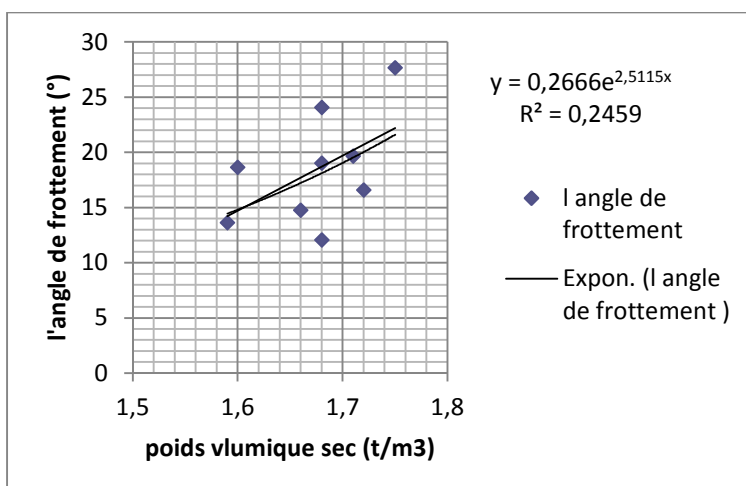
La profondeur	La nature de sol	Le poids volumique sec	L'angle de frottement
0.00 à 5.00	Remblais	1.72	16.59
0.00 à 4.00	Remblais	1.60	18.65
4.00 à 6.50	Argile graveleuse	1.68	19.01
0.00 à 4.00	Argile limoneuse	1.59	13.62
6.00 à 11.00	Argile marneuse	1.68	12.05
11.00 à 11.80	Marne altérée	1.66	14.77
2.00 à 10.00	Remblais	1.71	27.06
10.70 à 12.00	Marne grise compacte	2.09	19.65

Tableau IV.3 : Valeur de poids volumique sec et de l'angle de frottement



L'équation obtenue est $\phi = 49.88\gamma_d - 65.08$

Avec un Coefficient de corrélation est $R = 0.53$ la corrélation entre les deux paramètre et faible $0.40 < R < 0.60$



L'équation obtenue est $\phi = 0.266e^{2.511\gamma_d}$ avec un coefficient de corrélation est $R = 0.49$ la corrélation entre les deux paramètre et faible $0.40 < R < 0.60$

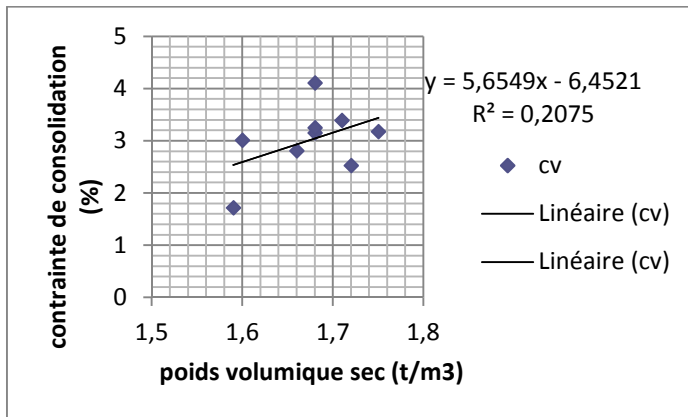
Figure IV.2 : corrélations γ_d et φ

L'équation obtenue est $\varphi = 49.88\gamma_d - 65.08$ un coefficient de détermination $R^2 = 0.274$ et le coefficient de corrélations $R = 0.52$ la corrélation entre les deux paramètres est faible. $0.40 < R < 0.60$.

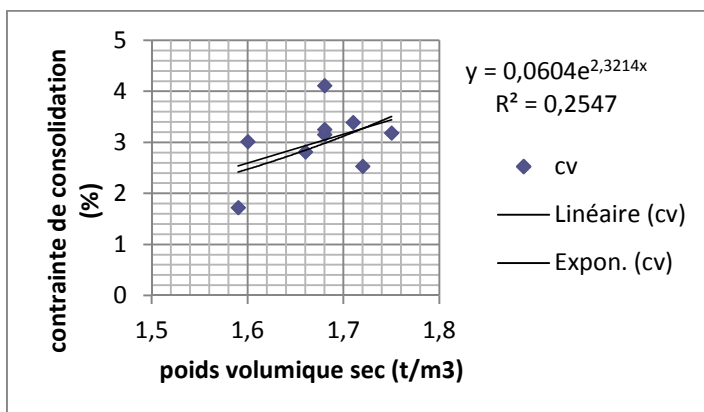
IV.4.1.1.3: corrélations entre le poids volumique sec et la contrainte de consolidations:

La profondeur	La nature de sol	Le poids volumique sec (t/m^3)	Contrainte de consolidation
0.00 à 5.00	Remblais	1.72	2.53
0.00 à 4.00	Remblais	1.60	3.15
4.00 à 6.50	Argile graveleuse	1.68	1.72
0.00 à 4.00	Argile limoneuse	1.59	4.11
6.00 à 11.00	Argile marneuse	1.68	2.81
11.00 à 11.80	Marne altérée	1.66	3.18
2.00 à 10.00	Remblais	1.71	3.39
10.70 à 12.00	Marne grise compacte	2.09	2.25

Tableau IV.4 : Valeurs de poids volumique sec et de la contrainte de consolidations



L'équation obtenue est $C_v = 5.654 \gamma_d - 6.45$ avec un coefficient de corrélation est $R = 0.45$ la corrélation entre les deux paramètres est faible $0.40 < R < 0.60$



L'équation obtenue est $C_v = 0.06 e^{2.321 \gamma_d}$ avec un coefficient de corrélation est $R = 0.50$ la corrélation entre les deux paramètres est faible $0.40 < R < 0.60$

Figure IV.3 Courbes de corrélation $C_v-\gamma_d$

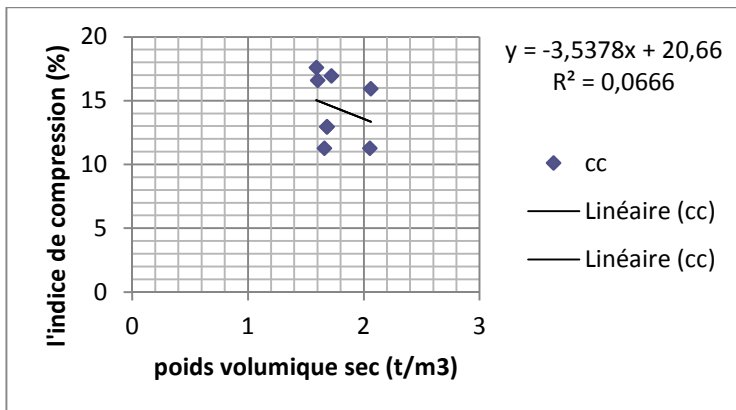
L'équation obtenue est $C_v = 0.06 e^{2.321 \gamma_d}$ avec un coefficient de détermination $R^2 = 0.254$ et le coefficient de corrélation $R = 0.50$ et la corrélation entre les deux paramètres est faible.

$$0.40 < R < 0.60.$$

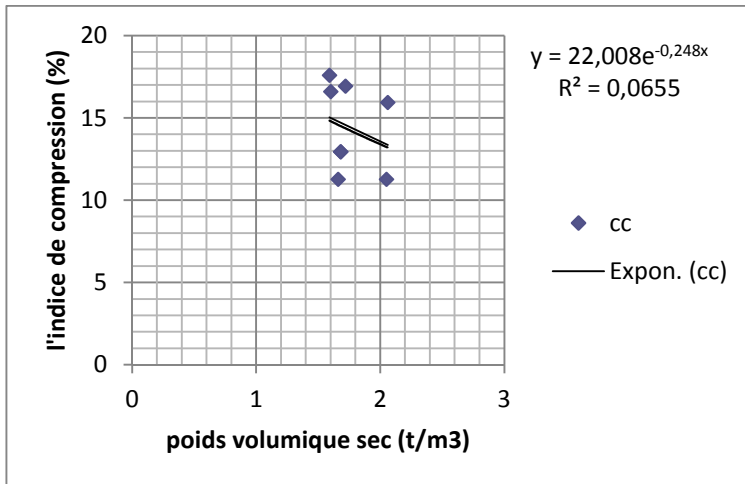
IV.4.1.1.4 : corrélations entre le poids volumique sec et l'indice de compression:

La profondeur	La nature de sol	Le poids volumique	Indice de compression
0.00 à 5.00	Remblais	1.72	16.94
0.00 à 4.00	Remblais	1.60	12.96
4.00 à 6.50	Argile graveleuse	1.68	11.29
0.00 à 4.00	Argile limoneuse	1.59	17.61
6.00 à 11.00	Argile marneuse	1.68	12.96
11.00 à 11.80	Marne altérée	1.66	11.29
2.00 à 10.00	Remblais	1.71	15.95
10.70 à 12.00	Marne grise compacte	2.09	19.60

Tableau IV.5: Valeur de poids volumique sec et de l'indice de compression



L'équation obtenue est $C_c = -3.5378\gamma_d + 20.66$ avec un coefficient de corrélation est $R = 0.26$ la corrélation entre les deux paramètres est très faible $-0.40 < R < 0.40$



L'équation obtenue est $C_c = 22.008e^{-0.248 \gamma_d}$ avec un coefficient de corrélation est $R = 0.25$ la corrélation entre les deux paramètres est très faible $-0.40 < R < +0.40$

Figure IV. 4 Courbes de corrélation $C_c - \gamma_d$

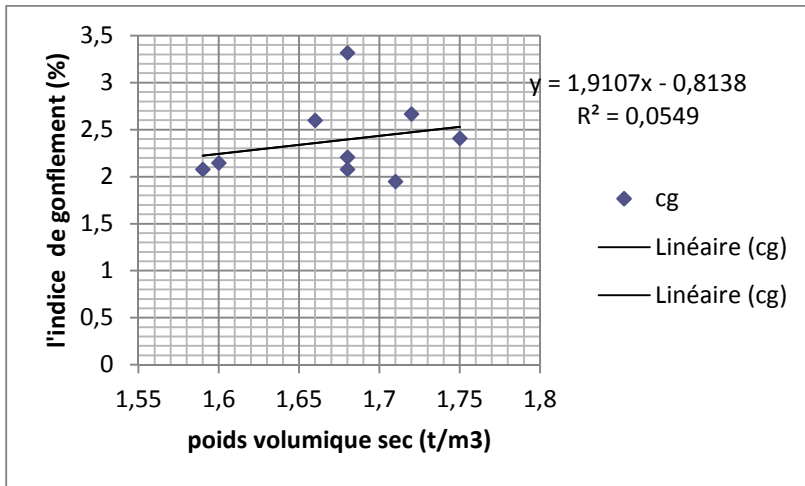
L'équation obtenue est $C_c = -3.5378\gamma_d + 20.66$ avec un coefficient de détermination $R^2 = 0.0666$ et le coefficient de corrélations $R = 0.26$ et la corrélation entre les deux paramètres est très faible.

$-0.40 < R < +0.40$.

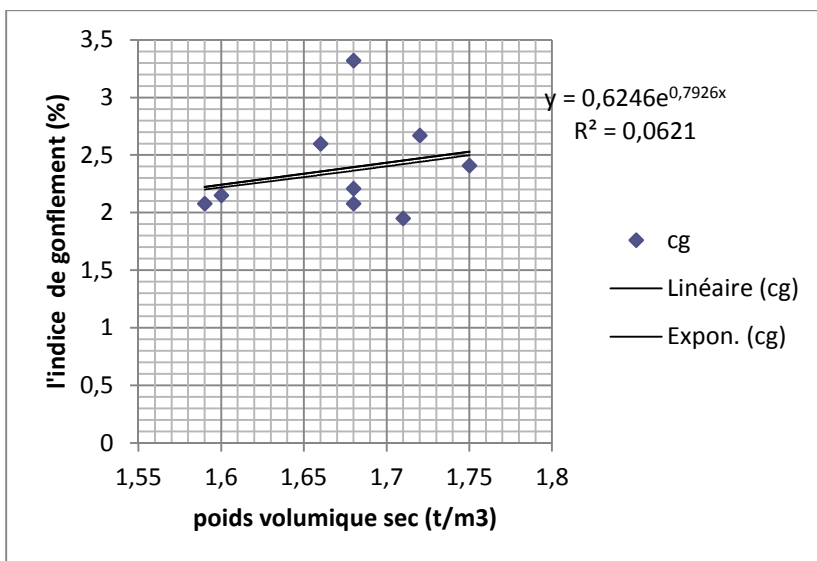
IV.4.1.1.5 : corrélations entre le poids volumique sec et l'indice de gonflement:

La profondeur	La nature de sol	Le poids volumique sec (t/m ³)	Indice de gonflement
0.00 à 5.00	Remblais	1.72	2.67
0.00 à 4.00	Remblais	1.60	2.08
4.00 à 6.50	Argile graveleuse	1.68	2.08
0.00 à 4.00	Argile limoneuse	1.59	2.21
6.00 à 11.00	Argile marneuse	1.68	2.60
11.00 à 11.80	Marne altérée	1.66	2.41
2.00 à 10.00	Remblais	1.71	1.95
10.70 à 12.00	Marne grise compacte	2.09	3.32

Tableau IV.6: valeurs de poids volumique sec et de l'indice de gonflement



L'équation obtenue est $Cg = 1.91 \gamma_d - 0.813$ avec un coefficient de corrélation est $R = 0.23$ la corrélation entre les deux paramètres est très faible $-0.40 < R < +0.40$



L'équation obtenue est $Cg = 0.624e^{0.792\gamma_d}$ avec un coefficient de corrélation est $R = 0.24$ la corrélation entre les deux paramètres est très faible $-0.40 < R < +0.40$

Figure IV.5 Courbes de corrélation $Cg-\gamma_d$

L'équation obtenue est $Cg = 1.91\gamma_d - 0.813$ avec un coefficient de détermination $R^2 = 0.054$ et le coefficient de corrélations $R = 0.23$ et la corrélation entre les deux paramètres est très faible.

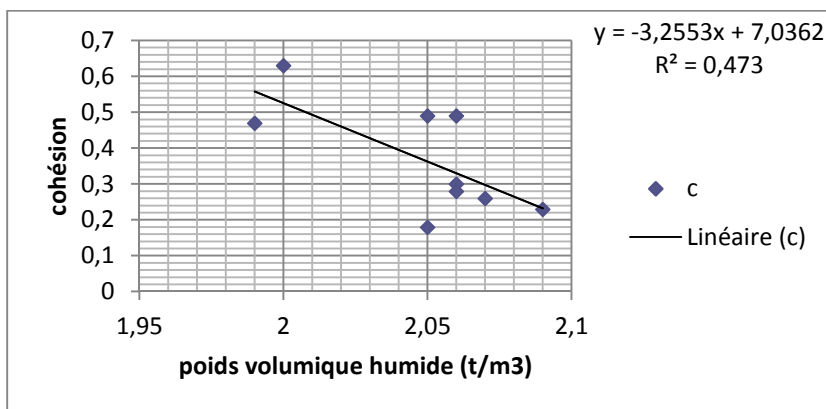
$-0.40 < R < +0.40$.

IV.4.1.2 :le poids volumique humide

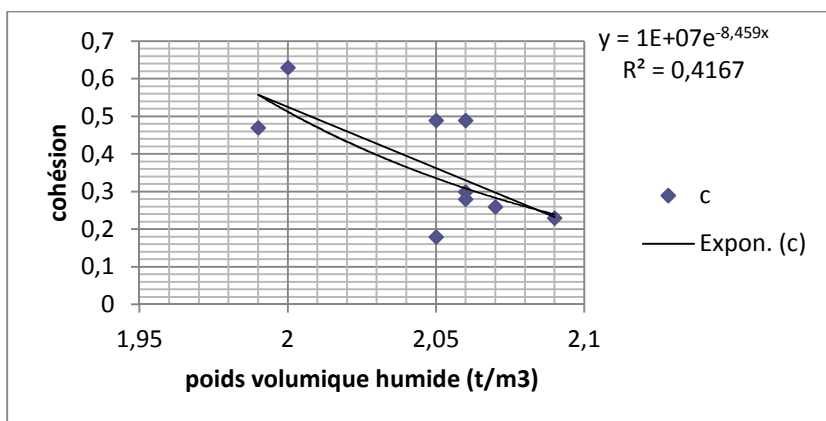
IV.4.1.2 .1 : corrélations entre le poids volumique humide et la cohésion

La profondeur	La nature de sol	Le poids humide (t/m3)	cohésion
0.00 à 5.00	Remblais	2.09	0.23
0.00 à 4.00	Remblais	1.99	0.47
4.00 à 6.50	Argile graveleuse	2.06	0.30
0.00 à 4.00	Argile limoneuse	2.00	0.63
6.00 à 11.00	Argile marneuse	2.00	0.49
11.00 à 11.80	Marne altérée	2.05	0.18
2.00 à 10.00	Remblais	2.05	0.26
10.70 à 12.00	Marne grise compacte	2.30	0.49

Tableau IV.7 : Valeur de poids volumique humide et de la cohésion



L'équation obtenue est $C = 3.255\gamma_h + 7.036$ avec un coefficient de corrélation $R = 0.68$ et la corrélation entre les deux paramètres est moyenne $0.60 < R < +0.75$



L'équation obtenue est $C = 1E+7e^{-8.45\gamma_h}$ avec un coefficient de corrélation est $R = 0.64$

la corrélation entre les deux paramètres est moyenne $-0.60 < R < +0.75$

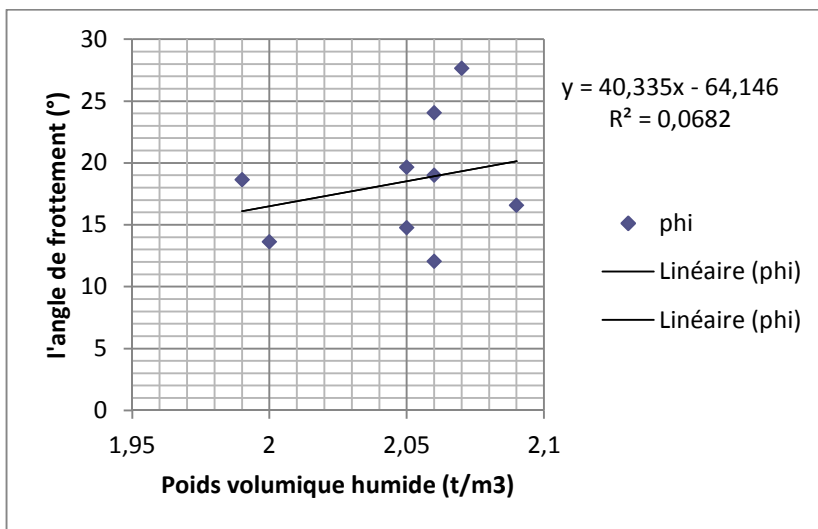
Figure IV.6 Courbes de corrélation C et γ_h

L'équation obtenue est $C = 3.255\gamma_h + 7.036$ avec un coefficient de détermination $R^2 = 0.473$ et le coefficient de corrélations $R = 0.68$ et la corrélation entre les deux paramètres est moyenne $0.60 < R < 0.75$

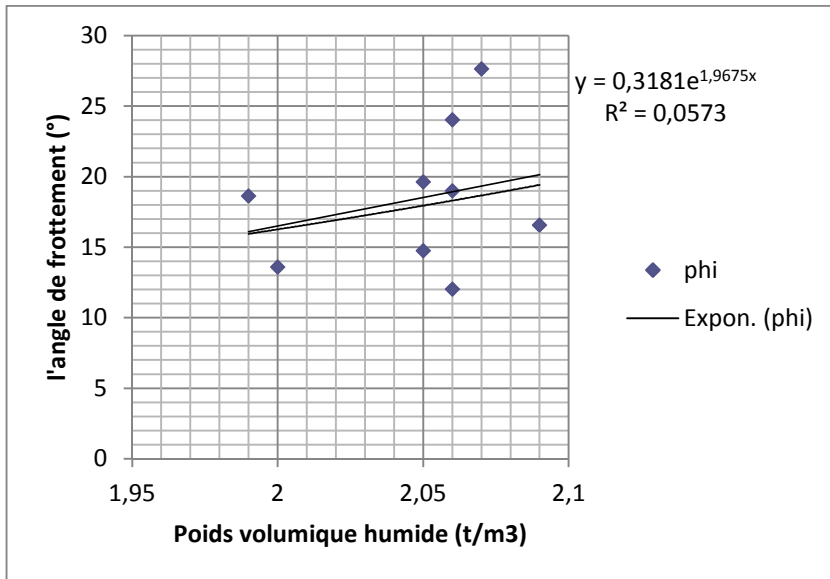
IV.4.1.2 .2 : corrélations entre le poids volumique humide et l'angle de frottement :

La profondeur	La nature de sol	Le poids humide (t/m^3)	L'angle de frottement ($^\circ$)
0.00 à 5.00	Remblais	2.09	16.59
0.00 à 4.00	Remblais	1.99	18.65
4.00 à 6.50	Argile graveleuse	2.06	19.01
0.00 à 4.00	Argile limoneuse	2.00	13.62
6.00 à 11.00	Argile marneuse	2.00	12.05
11.00 à 11.80	Marne altérée	2.05	14.77
2.00 à 10.00	Remblais	2.05	27.06
10.70 à 12.00	Marne grise compacte	2.30	19.65

Tableau IV.8 : Valeur de poids volumique humide et de l'angle frottement



L'équation obtenue est $\phi = 40.33 \gamma_h - 64.14$ avec un coefficient de corrélation est $R = 0.26$ la corrélation entre les deux paramètres est très faible - $0.40 < R < 0.40$



L'équation obtenue est $\phi = 0.318e^{1.967\gamma_h}$ avec un coefficient de corrélation est $R = 0.24$ la corrélation entre les deux paramètres est très faible- $-0.40 < R < +0.40$

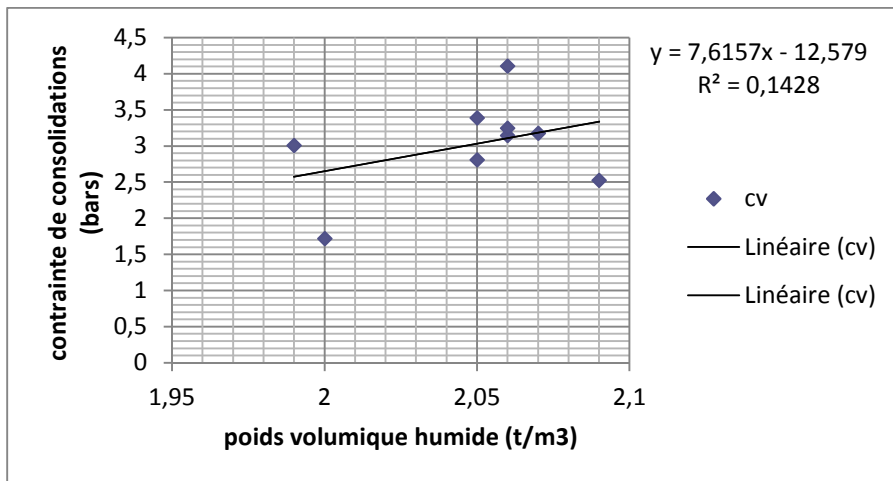
Figure IV.7 Courbes de corrélation ϕ - γ

L'équation obtenue est $\phi = 40.33\gamma_h - 64.14$ avec un coefficient de détermination $R^2 = 0.068$ et le coefficient de corrélation $R = 0.26$ et la corrélation entre les deux paramètres est très faible. $-0.40 < R < +0.40$.

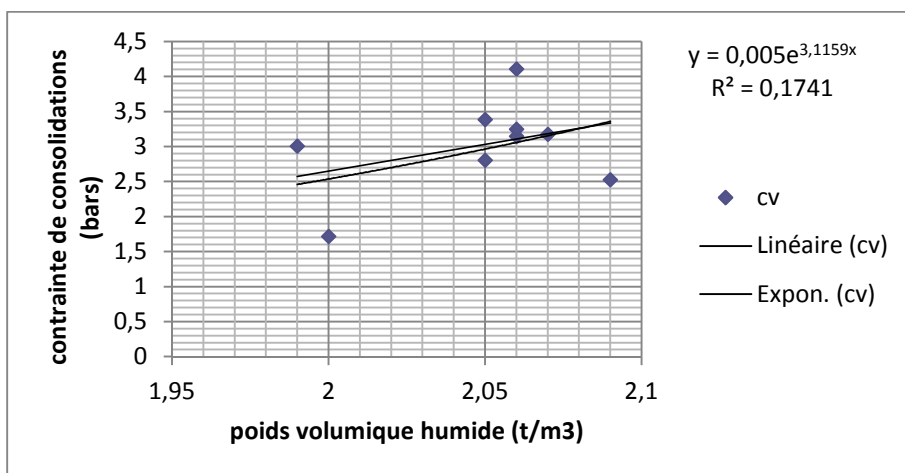
IV.4.1.2 .3 :corrélations entre le poids volumique humide et la contrainte de consolidations :

La profondeur	La nature de sol	Le poids humide (t/m ³)	La contrainte de consolidations
0.00 à 5.00	Remblais	2.09	2.53
0.00 à 4.00	Remblais	1.99	3.15
4.00 à 6.50	Argile graveleuse	2.06	1.72
0.00 à 4.00	Argile limoneuse	2.00	4.11
6.00 à 11.00	Argile marneuse	2.00	2.81
11.00 à 11.80	Marne altérée	2.05	3.18
2.00 à 10.00	Remblais	2.05	3.39
10.70 à 12.00	Marne grise compacte	2.30	2.25

Tableau IV.9 : Valeur de poids humide et de la contrainte de consolidations



L'équation obtenue est $C_v = 7.615 \gamma_h - 12.57$ avec un coefficient de corrélation est $R = 0.38$ la corrélation entre les deux paramètre et très faible - 0.40 $< R < +0.40$



L'équation obtenue est $C_v = 0.005e^{3.115\gamma_h}$ avec un coefficient de corrélation est $R = 0.41$ la corrélation entre les deux paramètre et faible $0.40 < R < +0.60$

Figure IV.8 Courbes de corrélation $C_v - \gamma_h$

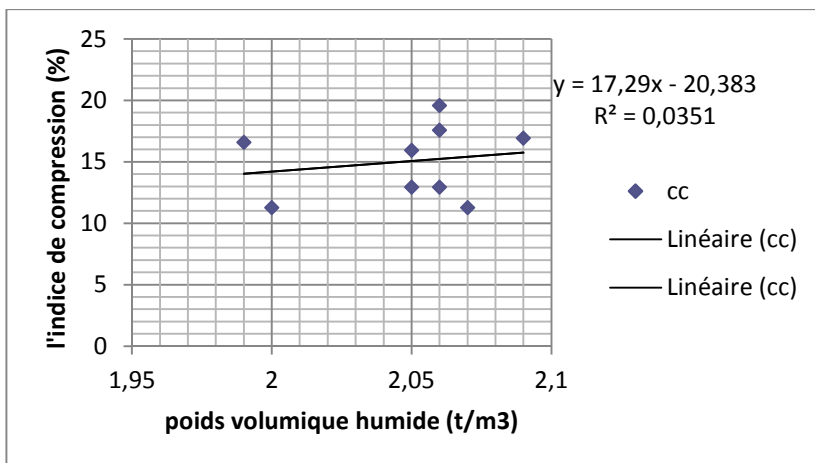
L'équation obtenue est $C_v = 7.615\gamma_h - 12.57$ avec un coefficient de détermination $R^2 = 0.142$ et le coefficient de corrélations $R = 0.38$ et la corrélation entre les deux paramètres et très faible.

$-0.40 < R < 0.40$.

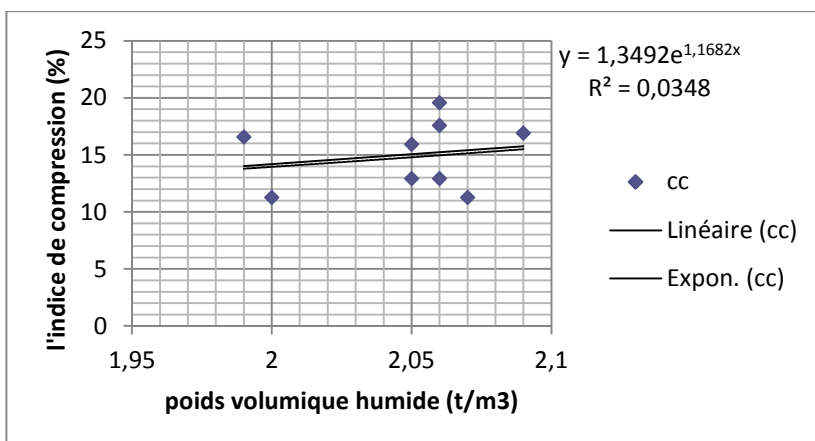
IV.4.1.2 .4.corrélations entre le poids volumique humide et l'indice de compression :

La profondeur	La nature de sol	Le poids humide	L'indice de compression
0.00 à 5.00	Remblais	2.09	16.94
0.00 à 4.00	Remblais	1.99	12.96
4.00 à 6.50	Argile graveleuse	2.06	11.29
0.00 à 4.00	Argile limoneuse	2.00	17.61
6.00 à 11.00	Argile marneuse	2.00	12.96
11.00 à 11.80	Marne altérée	2.05	11.29
2.00 à 10.00	Remblais	2.05	15.95
10.70 à 12.00	Marne grise compacte	2.30	19.60

Tableau IV.10 : Valeur de poids humide et l'indice de compression .



L'équation obtenue est $Cc = 17.29 \gamma_h - 20.38$ un coefficient de corrélation est $R = 0.19$ la corrélation entre les deux paramètres est très faible- $0.40 < R < +0.40$



L'équation obtenue est $Cc = 1.349 e^{1.168 \gamma_h}$ avec un coefficient de corrélation est $R = 0.18$ la corrélation entre les deux paramètres est très faible- $0.40 < R < +0.40$

Figure IV. 9 Courbes de corrélation $Cc-\gamma_h$

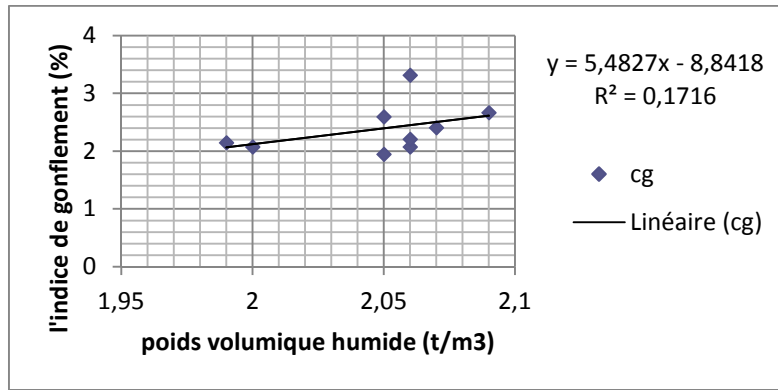
L'équation obtenue est $Cc = 17.29\gamma_h - 2.38$ avec un coefficient de détermination $R^2 = 0.035$ et le coefficient de corrélations $R = 0.19$ et la corrélation entre les deux paramètres est très faible.

$-0.40 < R < + 0.40$.

IV.4.1.2 .5: corrélations entre le poids volumique humide et l'indice de gonflement :

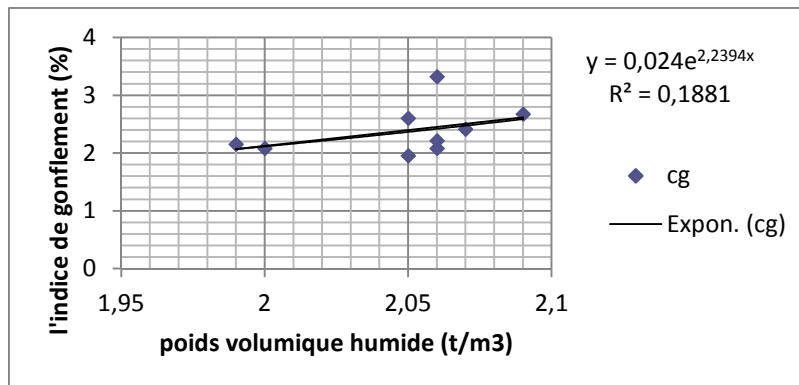
La profondeur	La nature de sol	Le poids volumique humide (t/m ³)	L'indice de gonflement
0.00 à 5.00	Remblais	2.09	2.67
0.00 à 4.00	Remblais	1.99	2.08
4.00 à 6.50	Argile graveleuse	2.06	2.08
0.00 à 4.00	Argile limoneuse	2.00	2.21
6.00 à 11.00	Argile marneuse	2.00	2.60
11.00 à 11.80	Marne altérée	2.05	2.41
2.00 à 10.00	Remblais	2.05	1.95
10.70 à 12.00	Marne grise compacte	2.30	3.32

Tableau IV.11 : Valeur poids humide et l'indice de gonflement



L'équation obtenue est $C_g = 5.482\gamma_h - 8.841$ avec un coefficient de corrélation est $R=0.41$ la corrélation entre les deux paramètre et faible

$$0.40 < R < +0.6$$



L'équation obtenue est $C_g = 0.024e^{2.239\gamma_h}$

avec un coefficient de corrélation est $R= 0.43$ la corrélation entre les deux Paramètres et faible $0.40 < R < +0.60$

Figure IV.10 Courbes de corrélation $C_g-\gamma_h$

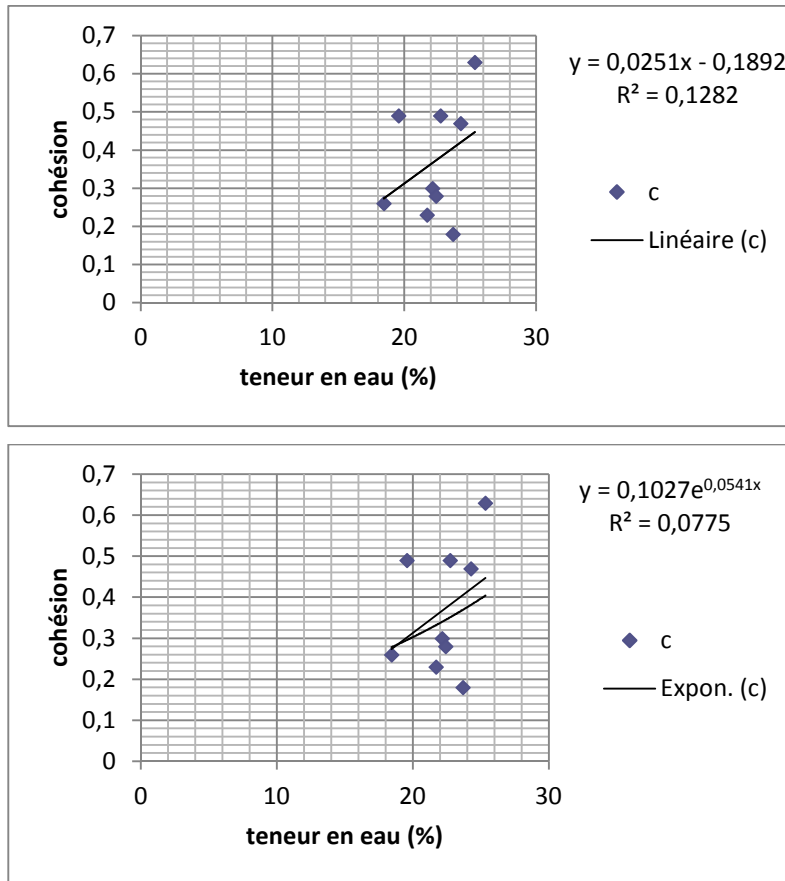
L'équation obtenue est $C_v = 0.024e^{2.239\gamma_h}$ avec un coefficient de détermination $R^2 = 0.188$ et le coefficient de corrélations $R= 0.43$ et la corrélation entre les deux paramètres et faible. $0.40 < R < + 0.60$

IV.4.1.3 : le teneur en eau

IV.4.1.3.1 : les corrélations entre la teneur en eau et la cohésion :

La profondeur	La nature de sol	la teneur en eau	Cohésion
0.00 à 5.00	Remblais	21.71	0.23
0.00 à 4.00	Remblais	24.27	0.47
4.00 à 6.50	Argile graveleuse	22.14	0.30
0.00 à 4.00	Argile limoneuse	25.33	0.63
6.00 à 11.00	Argile marneuse	22.73	0.49
11.00 à 11.80	Marne altérée	23.68	0.18
2.00 à 10.00	Remblais	19.56	0.26
10.70 à 12.00	Marne grise compacte	9.75	0.49

Tableau IV.12 : Valeur de la teneur en eau et la cohésion



L'équation obtenue est $C=0.025w-0.189$ avec un coefficient de corrélation est $R=0.38$ la corrélation entre les deux paramètres est très faible $-0.40 < R < +0.40$

L'équation obtenue est $C = 0.102e^{0.054w}$ avec un coefficient de corrélation est $R=0.27$ la corrélation entre les deux paramètres est très faible $-0.40 < R < +0.40$

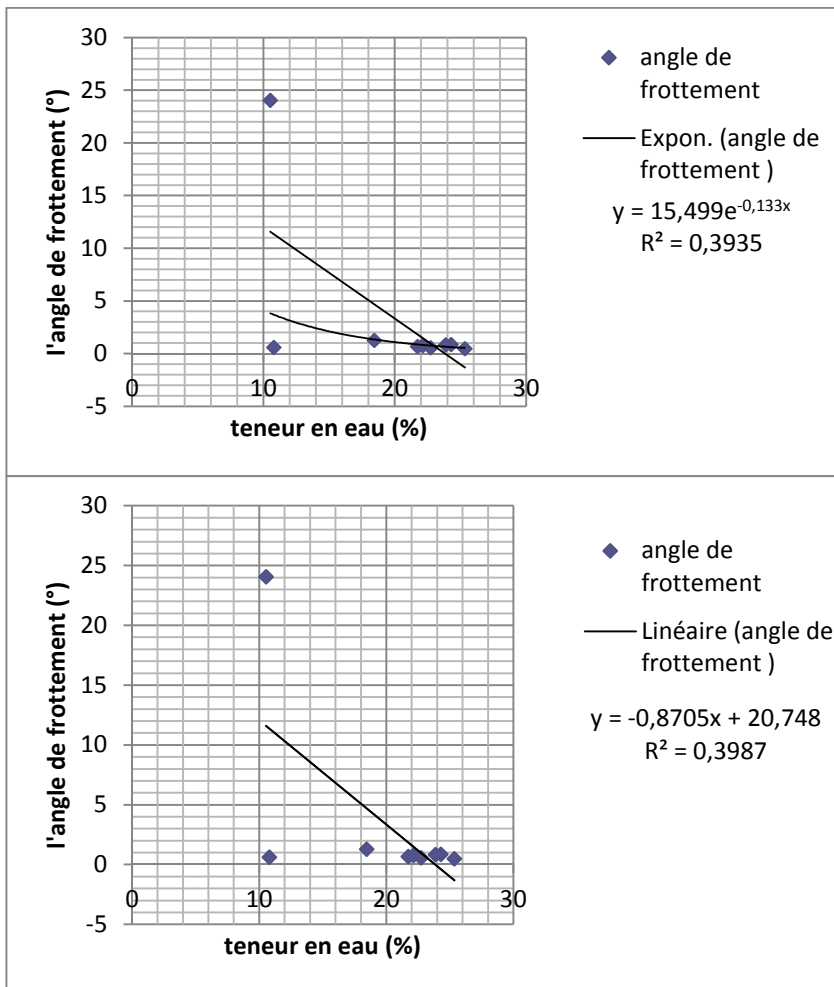
Figure IV.11 Courbes de corrélation C-W

L'équation obtenue est $C=0.025w-0.189$ avec un coefficient de détermination $R^2 = 0.128$ et le coefficient de corrélations $R= 0.38$ et la corrélation entre les deux paramètres est très faible. $-0.40 < R < + 0.40$

IV.4.1.3.2 : corrélations entre la teneur en eau et l'angle de frottement

La profondeur	La nature de sol	la teneur en eau (%)	L'angle de frottement (°)
0.00 à 5.00	Remblais	21.71	16.59
0.00 à 4.00	Remblais	24.27	18.65
4.00 à 6.50	Argile graveleuse	22.14	19.01
0.00 à 4.00	Argile limoneuse	25.33	13.62
6.00 à 11.00	Argile marneuse	22.73	12.05
11.00 à 11.80	Marne altérée	23.68	14.77
2.00 à 10.00	Remblais	19.56	27.06
10.70 à 12.00	Marne grise compacte	9.75	19.65

Tableau IV.13 : Valeur de teneur en eau et de l'angle de frottement



L'équation obtenue est $\varphi = 106.1 e^{-0.08w}$ avec un coefficient de corrélation est $R = 0.66$ la corrélation entre les deux paramètre et moyenne $0.60 < R < 0.75$

L'équation obtenue $\varphi = -1.556w + 53.06$ avec un coefficient de corrélation est $R = 0.68$ la corrélation entre les deux paramètre et moyenne avec $0.60 < R < 0.75$

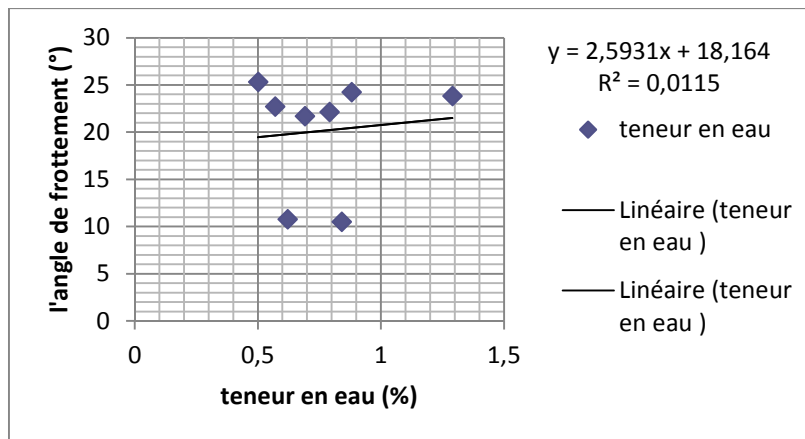
Figure IV12 Courbes de corrélation φ et W

L'équation obtenue est $\varphi = -1.556w + 53.06$ avec un coefficient de détermination $R^2 = 0.462$ et le coefficient de corrélations $R = 0.68$ et la corrélation entre les deux paramètres et moyenne $0.60 < R < 0.75$

IV.4.1.3.3 corrélations entre l'angle de frottement effectif φ' et la teneur en eau W

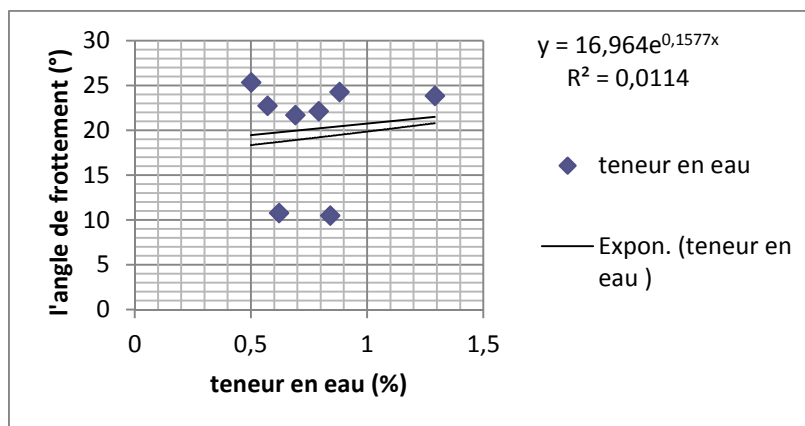
La profondeur	La nature de sol	L'angle de frottement effectif	Teneur en eau (%)
0.00 à 5.00	Remblais	0.69	21.71
0.00 à 4.00	Remblais	0.88	24.27
4.00 à 6.50	Argile graveleuse	0.79	22.14
0.00 à 4.00	Argile limoneuse	0.62	25.33
6.00 à 11.00	Argile marneuse	0.50	22.73
11.00 à 11.80	Marne altérée	0.57	23.68
2.00 à 10.00	Remblais	1.29	19.56
10.70 à 12.00	Marne grise compacte	0.84	9.75

Tableau IV.14: Valeur de l'angle de frottement effectif et de la teneur en eau



L'équation obtenue est $\varphi' = 2.59w + 18.16$

Avec un coefficient de corrélation est $R = 0.10$ la corrélation entre les deux paramètres est très faible $-0.40 < R < +0.40$



L'équation obtenue est $\varphi' = 16.96 e^{0.157w}$ avec un coefficient de corrélation est $R = 0.10$ la corrélation entre les deux paramètres est très faible $-0.40 < R < 0.40$

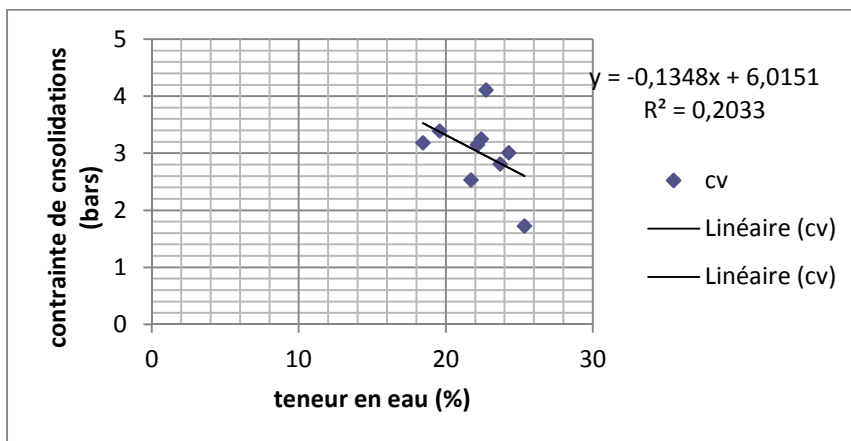
Figure IV.13 Courbes de corrélation φ' et w

L'équation obtenue est $\varphi' = 2.59w + 18.16$ avec un coefficient de détermination $R^2 = 0.011$ et le coefficient de corrélations $R = 0.10$ en comparaison avec les formule de Gibson(1953),Skempton, Gibson et Bjerrum (1960) Michel Dysil en (2001) $\varphi' = -0.11w + 28.80$ et la corrélation entre les deux paramètres est faible avec $R = 0.31$.(-0.40 < R < +0.40) . (Annexe3)

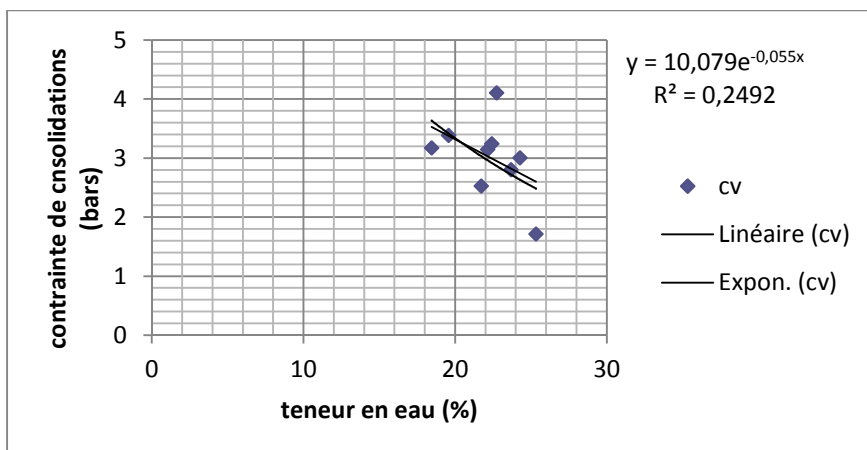
IV.4.1.3.4: les corrélations entre la teneur en eau et la contrainte de consolidations :

La profondeur	La nature de sol	la teneur en eau (%)	Contrainte de consolidations
2.25 à 2.60	remblai	21.71	2.53
3.00 à 3.50	remblai	24.27	3.15
5.40 à 6.00	Argile graveleuse	22.14	1.72
8.50 à 9.00	Marne grisâtre compacte	25.33	4.11
2.70 à 3.00	Argile limoneuse	22.73	2.81
7.20 à 8.00	Argile marneuse	23.68	3.18
11.00 à 11.60	Marne altère	19.56	3.39
12.00 à 12.70	Marne grisâtre compacte	9.75	2.25

Tableau IV.15: Valeur de la teneur en eau et de la contrainte de consolidation



L'équation obtenue $C_v = -0.134w + 6.015$ avec un coefficient de corrélation est $R = 0.45$ la corrélation entre les deux paramètres est faible avec $0.40 < R < 0.60$



L'équation obtenue est $C_v = 10.07 e^{-0.05w}$ avec un coefficient de corrélation est $R = 0.50$ la corrélation entre les deux paramètres est faible $0.40 < R < 0.60$

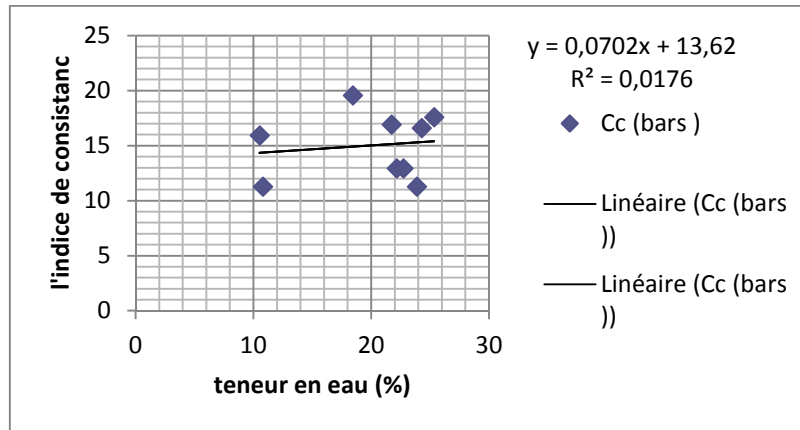
Figure IV.14 Courbes de corrélation C_v et W

L'équation obtenue est $C_v = 10.07 e^{-0.05w}$ avec un coefficient de détermination $R^2 = 0.249$ et le coefficient de corrélations $R = 0.50$ et la corrélation entre les deux paramètres est faible $+0.40 < R < 0.60$

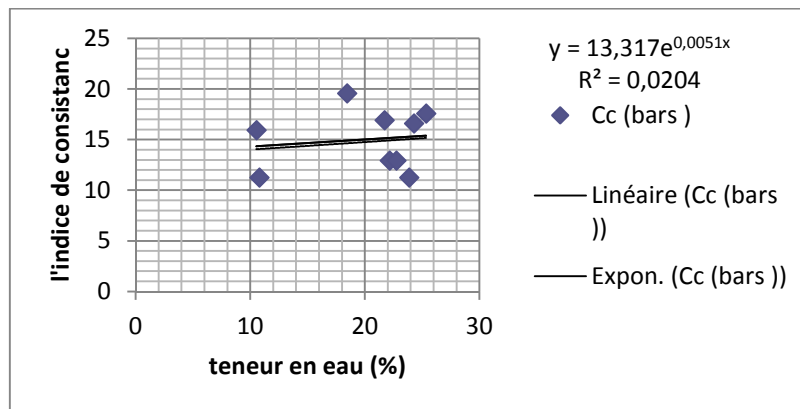
IV.4.1.3.5 :corrélations entre la teneur en eau et l'indice de compression

La profondeur	La nature de sol	la teneur en eau (%)	L'indice de compression
0.00 à 5.00	Remblais	21.71	16.94
0.00 à 4.00	Remblais	24.27	12.96
4.00 à 6.50	Argile graveleuse	22.14	11.29
0.00 à 4.00	Argile limoneuse	25.33	17.61
6.00 à 11.00	Argile marneuse	22.73	12.96
11.00 à 11.80	Marne altérée	23.68	11.29
2.00 à 10.00	Remblais	19.56	15.95
10.70 à 12.00	Marne grise compacte	9.75	19.60

Tableau IV.16 : les valeurs de l'indice compression et la teneur en eau



L'équation obtenue est $Cc = 0.070w + 13.62$ avec un coefficient de corrélation est $R=0.13$ la corrélation entre les deux paramètres est très faible $-0.40 < R < 0.40$



L'équation obtenue est $Cc = 13.31 e^{0.005w}$ avec un coefficient de corrélation est $R = 0.14$ la corrélation entre les deux paramètres est faible $-0.40 < R < +0.40$

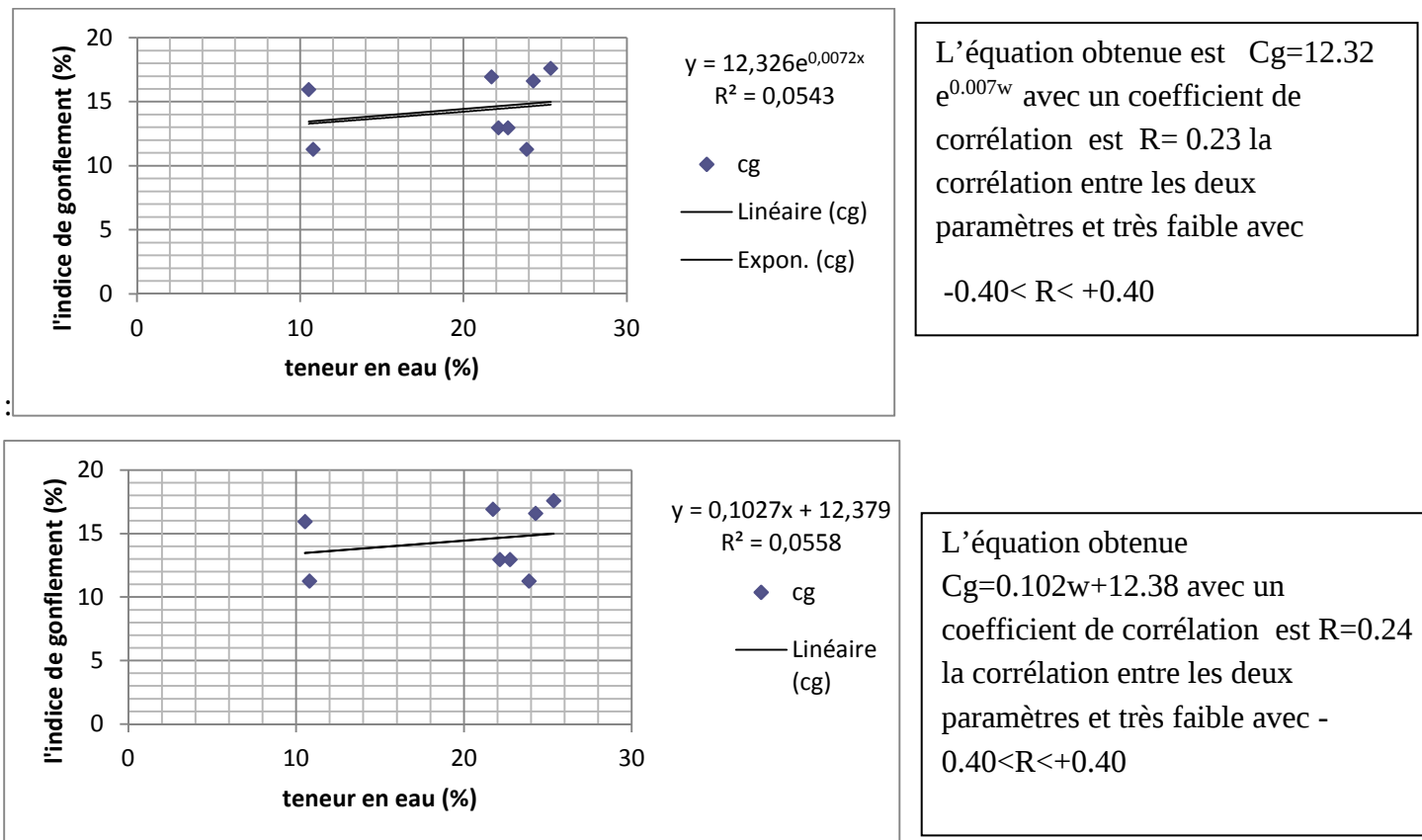
Figure IV.15 Courbes de corrélation Cc-W

L'équation obtenue est $Cc = 0.07w + 13.62$ avec un coefficient de détermination $R^2 = 0.0169$ et le coefficient de corrélation $R = 0.14$ en comparaison avec la formule de Herrero (1983) avec $Cc = 0.01W - 0.075$. avec $-0.40 < R < +0.40$ (Annexe 2)

IV .4.1.3.6 : corrélations entre la teneur en eau et l'indice de gonflement :

La profondeur	La nature de sol	la teneur en eau (%)	L'indice de gonflement (%)
0.00 à 5.00	Remblais	21.71	2.67
0.00 à 4.00	Remblais	24.27	2.08
4.00 à 6.50	Argile graveleuse	22.14	2.08
0.00 à 4.00	Argile limoneuse	25.33	2.21
6.00 à 11.00	Argile marneuse	22.73	2.60
11.00 à 11.80	Marne altérée	23.68	2.41
2.00 à 10.00	Remblais	19.56	1.95
10.70 à 12.00	Marne grise compacte	9.75	3.32

Tableau IV .17: valeur de la teneur en eau et l'indice de gonflement

Figure IV.16 Courbes de corrélation Cg et W

L'équation obtenue est $Cg = 0.102w + 12.38$ un un coefficient de détermination $R^2 = 0.055$ et le coefficient de corrélations $R = 0.24$ et la corrélation entre les deux paramètres et très faible avec

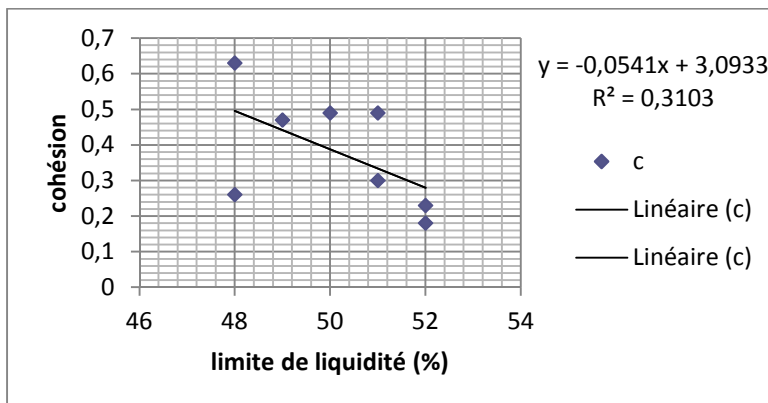
$-0.40 < R < +0.40$.

IV .4.1.4 :limite de liquidité

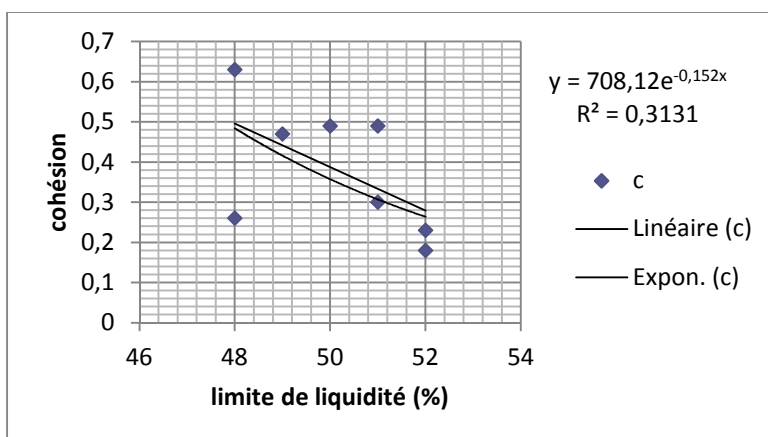
IV .4.1.4.1 : corrélations entre la limite de liquidité et de la cohésion

La profondeur	La nature de sol	Limite de liquidité (%)	Cohésion (bars)
0.00 à 5.00	Remblais	52	0.23
0.00 à 4.00	Remblais	49	0.47
4.00 à 6.50	Argile graveleuse	51	0.30
0.00 à 4.00	Argile limoneuse	48	0.63
6.00 à 11.00	Argile marneuse	50	0.49
11.00 à 11.80	Marne altérée	52	0.18
2.00 à 10.00	Remblais	51	0.26
10.70 à 12.00	Marne grise compacte	53	0.49

Tableau IV.18 :valeur de la limite de liquidité et de la cohésion.



L'équation obtenue $C = -0.0541w_l + 3.0933$ avec un coefficient de corrélation est $R = 0.56$ la corrélation entre les deux paramètres est faible avec $+0.40 < R < +0.60$



L'équation obtenue est $C = 708.12 e^{-0.152w_l}$ avec un coefficient de corrélation est $R = 0.56$ la corrélation entre les deux paramètres est faible avec $0.40 < R < +0.60$

Figure IV.17 Courbes de corrélation C et w_l

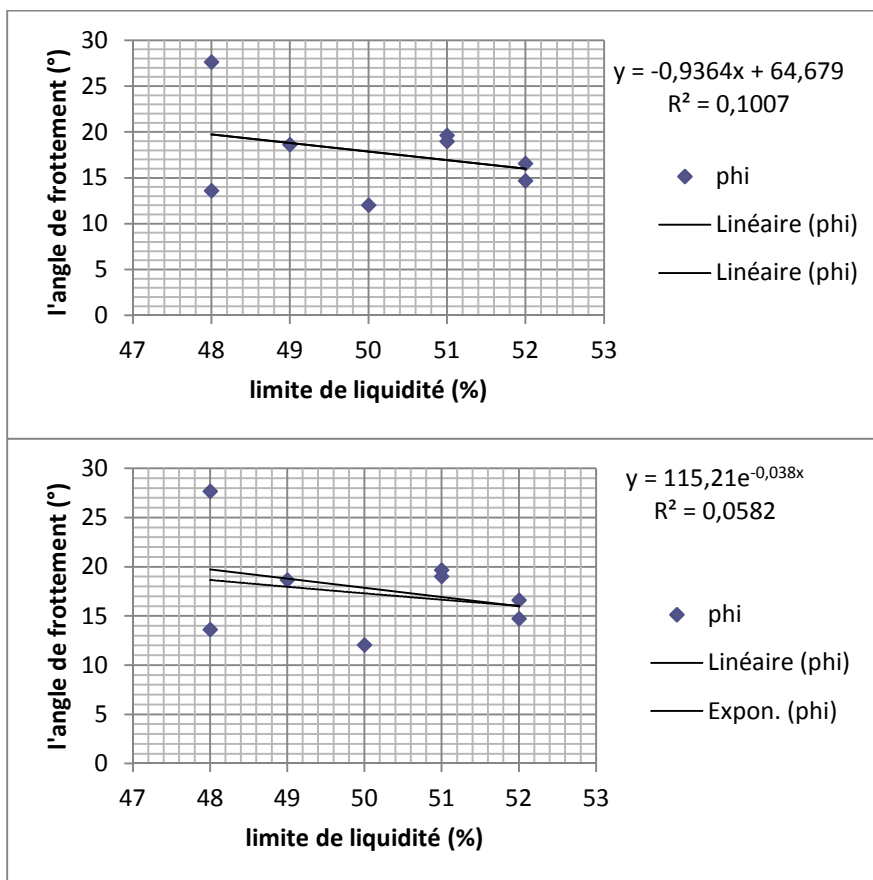
L'équation obtenue est $C = 708.12 e^{-0.152w_l}$ avec un coefficient de détermination

$R^2 = 0.3131$ et le coefficient de corrélations $R = 0.56$ et la corrélation entre les deux paramètres est faible avec $+0.40 < R < +0.60$.

IV .4.1.4.2 :les corrélations entre la limite de liquidité et l'angle de frottement

La profondeur	La nature de sol	Limite de liquidité (%)	L'angle de frottement (°)
0.00 à 5.00	Remblais	52	16.59
0.00 à 4.00	Remblais	49	18.65
4.00 à 6.50	Argile graveleuse	51	19.01
0.00 à 4.00	Argile limoneuse	48	13.62
6.00 à 11.00	Argile marneuse	50	12.05
11.00 à 11.80	Marne altérée	52	14.77
2.00 à 10.00	Remblais	51	27.06
10.70 à 12.00	Marne grise compacte	53	19.65

Tableau IV.19: Valeur la limite de liquidité et de l'angle de frottement.



L'équation obtenue $\phi = -0.964w_l + 64.67$ avec un coefficient de corrélation est $R = 0.31$ la corrélation entre les deux paramètres est très faible avec $-0.40 < R < +0.40$

L'équation obtenue est $\phi = 115.21 e^{-0.03w_l}$ avec un coefficient de corrélation est $R = 0.24$ la corrélation entre les deux paramètres est très faible avec $-0.40 < R < +0.40$

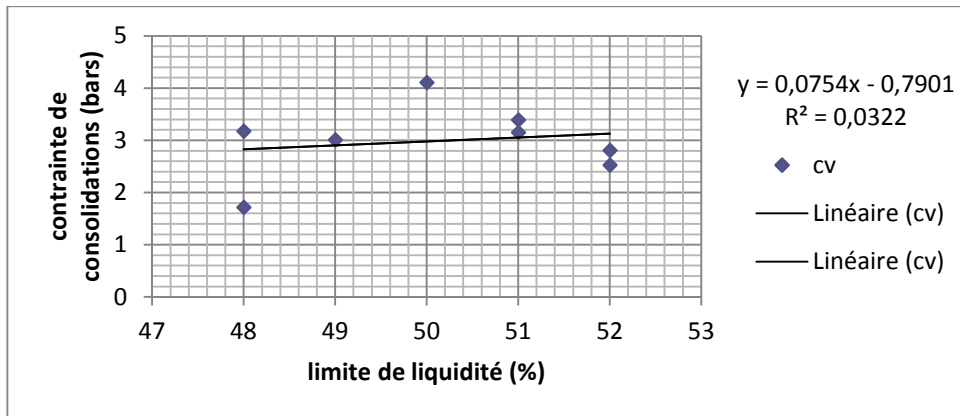
Figure IV.18 Courbes de corrélation ϕ et w_l

L'équation obtenue est $\phi = -0.936wl + 64.64$ un coefficient de détermination $R^2 = 0.100$ et le coefficient de corrélations $R = 0.31$ et la corrélation entre les deux paramètres est très faible avec $-0.40 < R < +0.40$.

IV .4.1.4.3:corrélations entre la limite de liquidité et la contrainte de consolidation

La profondeur	La nature de sol	Limite de liquidité (%)	Contrainte de consolidation
0.00 à 5.00	Remblais	52	2.53
0.00 à 4.00	Remblais	49	3.15
4.00 à 6.50	Argile graveleuse	51	1.72
0.00 à 4.00	Argile limoneuse	48	4.11
6.00 à 11.00	Argile marneuse	50	2.81
11.00 à 11.80	Marne altérée	52	3.18
2.00 à 10.00	Remblais	51	3.39
10.70 à 12.00	Marne grise compacte	53	2.25

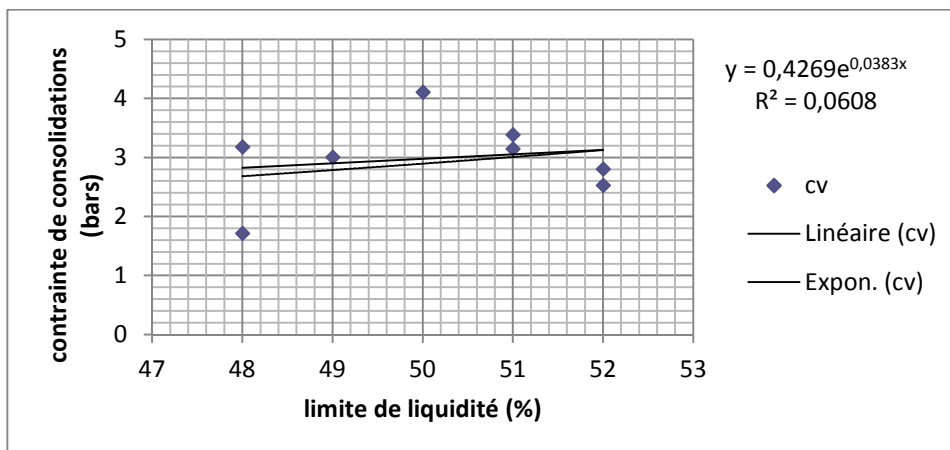
Tableau VI.20 : Valeur limite de liquidité et de la contrainte de consolidation.



L'équation obtenue est $Cv = 0.426e^{0.038wl}$

Avec un coefficient de corrélation est

$R = 0.24$ la corrélation entre les deux paramètres est très faible avec $-0.40 < R < +0.40$



L'équation obtenue $Cv = 0.075wl - 0.079$ avec un coefficient de corrélation est $R = 0.18$ la corrélation entre les deux paramètres est très faible avec $-0.40 < R < +0.40$

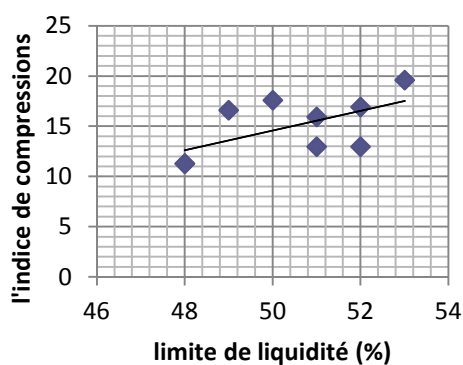
Figure IV.19 Courbes de corrélation C_v et W_l

L'équation obtenue est $C_v = 0.075W_l - 0.075$ avec un coefficient de détermination $R^2 = 0.032$ et le coefficient de corrélations $R = 0.17$ et la corrélation entre les deux paramètres est très faible avec

$$-0.40 < R < +0.40$$

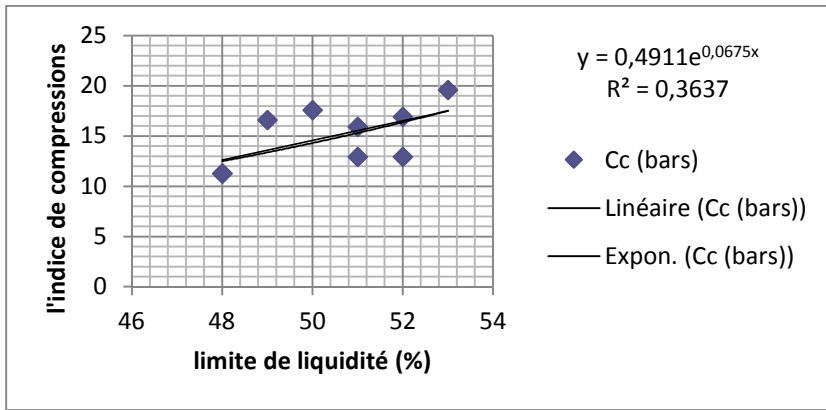
IV .4.1.4.4 : corrélations entre la limite de liquidité et l'indice de compression

La profondeur	La nature de sol	Limite de liquidité (%)	L'indice de compression
0.00 à 5.00	Remblais	52	16.94
0.00 à 4.00	Remblais	49	12.96
4.00 à 6.50	Argile graveleuse	51	11.29
0.00 à 4.00	Argile limoneuse	48	17.61
6.00 à 11.00	Argile marneuse	50	12.96
11.00 à 11.80	Marne altérée	52	11.29
2.00 à 10.00	Remblais	51	15.95
10.70 à 12.00	Marne grise compacte	53	19.60

Tableau IV.21 : Les valeurs de la limite de liquidité et de l'indice de compression

L'équation obtenue est $C_c = 0.978w_l + 34.31$ avec un coefficient de corrélation est

$R = 0.60$ la corrélation entre les deux paramètres est faible $0.40 < R < 0.60$



L'équation obtenue est $Cc = 0.491 e^{0.067wl}$ avec un coefficient de corrélation est $R = 0.59$ la corrélation entre les deux paramètres est faible $0.40 < R < 0.60$

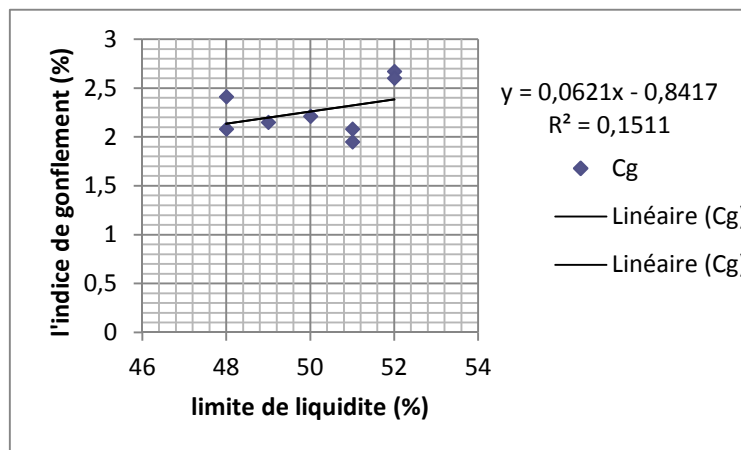
Figure IV.20 Courbes de corrélation Cc-Wl

L'équation obtenue est $Cc = 0.978Wl - 34.31$ avec un coefficient de détermination $R^2 = 0.363$ et le coefficient de corrélation $R = 0.60$ en comparaison avec les corrélations trouvées dans la littérature montre que la régression des sols de l'Arc alpin peut être appliquée sans restriction aux sols formule de Michel Dysli et Walter Steiner (2001)] $Cc = 0.011Wl - 0.123$ et la corrélation entre les deux paramètres est faible. (Annexe 1)

IV.4.1.4.5 : les corrélations entre la limite de liquidité et l'indice de gonflement

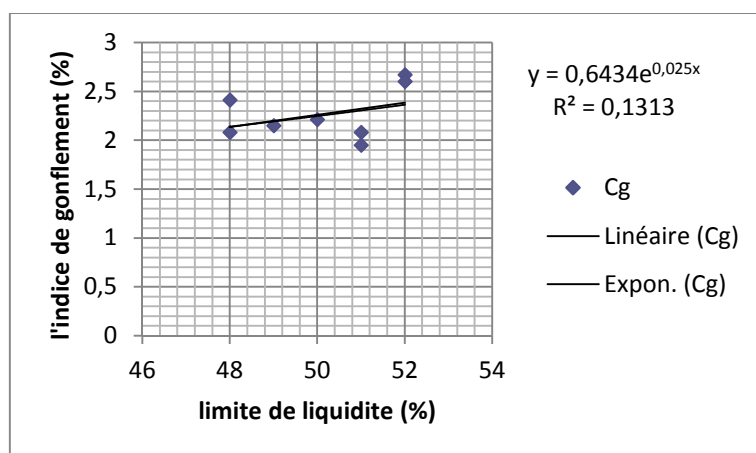
La profondeur	La nature de sol	Limite de liquidité (%)	L'indice de gonflement (%)
0.00 à 5.00	Remblais	52	2.67
0.00 à 4.00	Remblais	49	2.08
4.00 à 6.50	Argile graveleuse	51	2.08
0.00 à 4.00	Argile limoneuse	48	2.21
6.00 à 11.00	Argile marneuse	50	2.60
11.00 à 11.80	Marne altérée	52	2.41
2.00 à 10.00	Remblais	51	1.95
10.70 à 12.00	Marne grise compacte	53	3.32

Tableau IV .22 : Valeur de limite de liquidité et de l'indice de gonflement.



L'équation obtenue $Cg = 0.0621wl - 0.8417$

Avec un coefficient de corrélation est $R = 0.38$ la corrélation entre les deux paramètres et moyenne avec $-0.40 < R < +0.40$



L'équation obtenue est $Cg = 0.643 e^{0.025wl}$ avec un coefficient de corrélation est $R = 0.36$ la corrélation entre les deux paramètres et très faible avec $-0.40 < R < +0.40$

Figure IV.21 Courbes de corrélation Cg et Wl

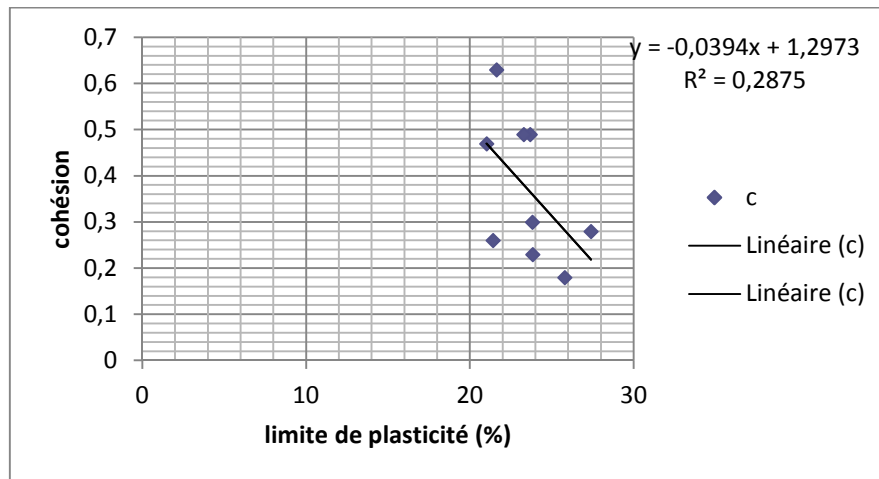
L'équation obtenue est $Cg = 0.643 e^{0.025wl}$ avec un coefficient de détermination $R^2 = 0.1313$ et le coefficient de corrélation $R = 0.36$ et la corrélation entre les deux paramètres est faible avec $-0.40 < R < +0.40$.

IV.4.1.5 : Limite de plasticité

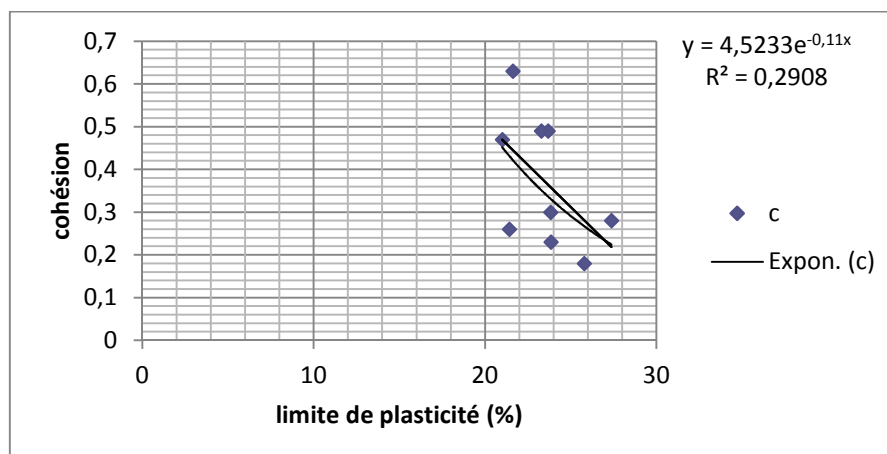
VI.4.1.5.1 : les corrélations entre la limite de plasticité et la cohésion

La profondeur	La nature de sol	Limite de plasticité	Cohésion
0.00 à 5.00	Remblais	23.83	0.23
0.00 à 4.00	Remblais	21	0.47
4.00 à 6.50	Argile graveleuse	23.81	0.30
0.00 à 4.00	Argile limoneuse	21.62	0.63
6.00 à 11.00	Argile marneuse	23.66	0.49
11.00 à 11.80	Marne altérée	25.78	0.18
2.00 à 10.00	Remblais	23.27	0.26
10.70 à 12.00	Marne grise compacte	27.37	0.49

Tableau IV.23 : Valeur de limite de plasticité et la cohésion .



L'équation obtenue est $C = -0.039Ip + 1.297$ avec un coefficient de corrélation est $R = 0.53$ la corrélation entre les deux paramètres est faible $0.40 < R < 0.60$



L'équation obtenue est $C = 4.523e^{-0.11Ip}$ avec un coefficient de corrélation est $R = 0.53$ la corrélation entre les deux paramètres est faible $0.40 < R < 0.60$

Figure IV.22 Courbes de corrélation C et I_p

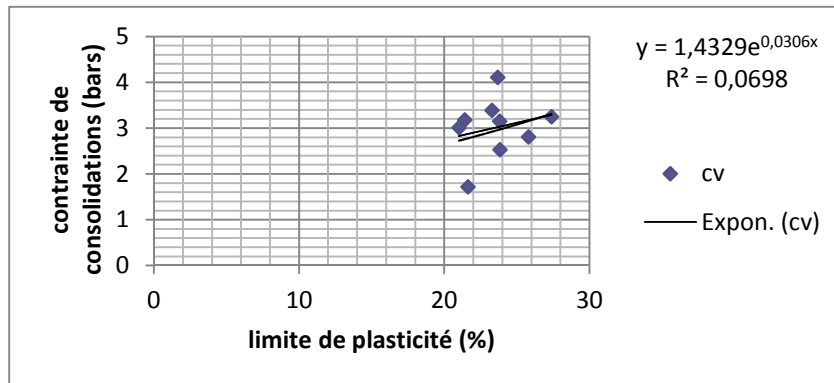
L'équation obtenue est $C = 4.523 e^{-0.11Ip}$ avec un coefficient de détermination $R^2 = 0.287$ et le coefficient de corrélations $R = 0.53$ en comparaison avec les formule de Carter et Bentley (1991)

et Peters et Lamb (1979 $C=52e^{-1.2Ip}$ et la corrélation entre les deux paramètres est faible avec $R=0.58$.($0.40 < R < 0.60$) (Annexe 5).

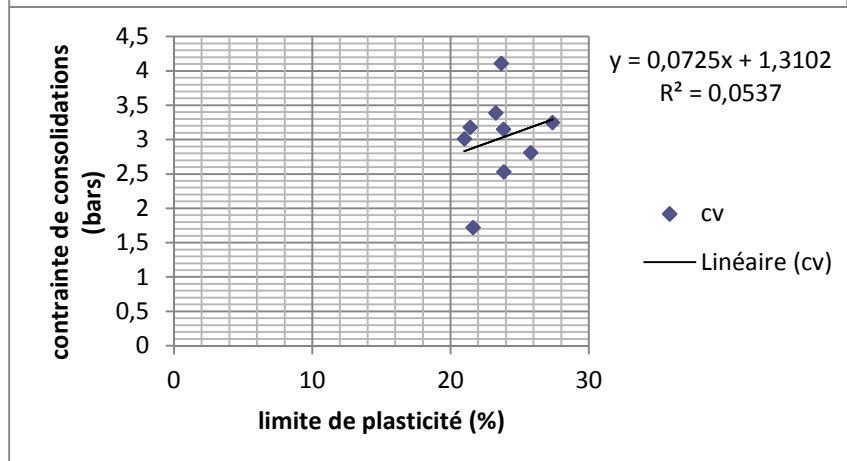
IV.4.1.5.2:les corrélations entre la limite de plasticité et la contrainte de consolidations :

La profondeur	La nature de sol	Limite de plasticité (%)	Contrainte de consolidation (bars)
0.00 à 5.00	Remblais	23.83	2.53
0.00 à 4.00	Remblais	21	3.15
4.00 à 6.50	Argile graveleuse	23.81	1.72
0.00 à 4.00	Argile limoneuse	21.62	4.11
6.00 à 11.00	Argile marneuse	23.66	2.81
11.00 à 11.80	Marne altérée	25.78	3.18
2.00 à 10.00	Remblais	23.27	3.39
10.70 à 12.00	Marne grise compacte	27.37	2.25

Tableau IV.24: Valeur limite de plasticité et contrainte de consolidation.



L'équation obtenue est $Cv = 1.432e^{-0.0306Ip}$ avec un coefficient de corrélation est $R = 0.26$ la corrélation entre les deux paramètres est très faible $-0.40 < R < 0.40$



L'équation obtenue est $Cv = 0.072Ip + 1.310$ avec un coefficient de corrélation est $R = 0.23$ la corrélation entre les deux paramètres est très faible $-0.40 < R < +0.40$

Figure IV.23 Courbes de corrélation C_v et I_p

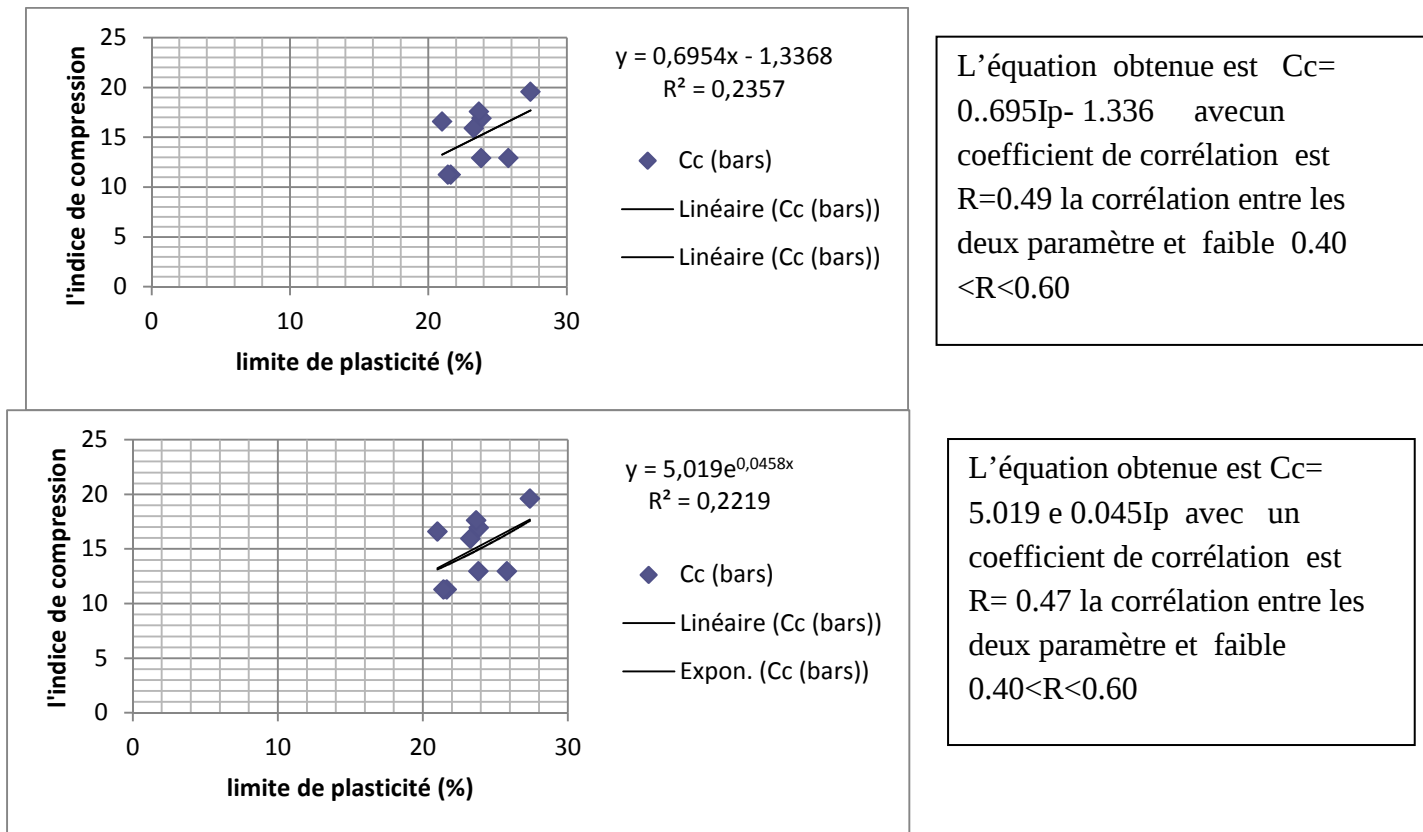
L'équation obtenue est $C_v = 1.432e^{-0.03I_p}$ avec un coefficient de détermination $R^2 = 0.069$ et le coefficient de corrélation $R = 0.26$ et la corrélation entre les deux paramètres est très faible avec

$$-0.40 < R < +0.40$$

IV.4.1.5.3: les corrélations entre la limite de plasticité et l'indice de compression

La profondeur	La nature de sol	Limite de plasticité (%)	L'indice de compression (%)
0.00 à 5.00	Remblais	23.83	16.94
0.00 à 4.00	Remblais	21	12.96
4.00 à 6.50	Argile graveleuse	23.81	11.29
0.00 à 4.00	Argile limoneuse	21.62	17.61
6.00 à 11.00	Argile marneuse	23.66	12.96
11.00 à 11.80	Marne altérée	25.78	11.29
2.00 à 10.00	Remblais	23.27	15.95
10.70 à 12.00	Marne grise compacte	27.37	19.60

Tableau IV.25: valeur de limite de plasticité et de l'indice de compression

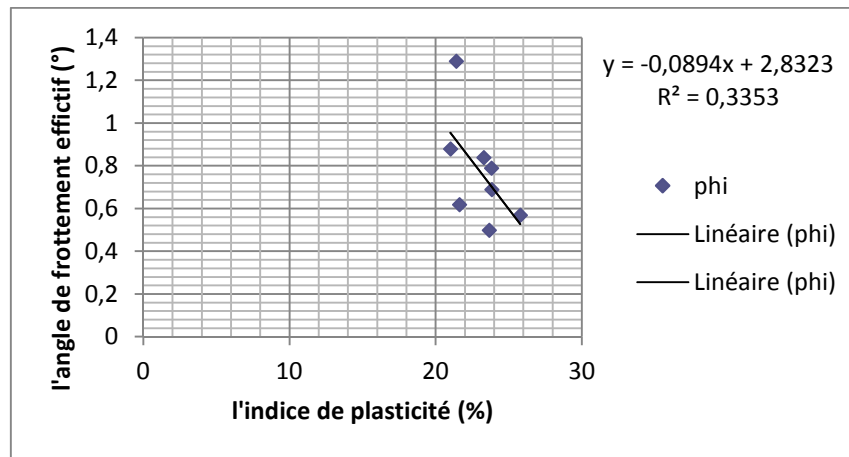
Figure IV.24 Courbes de corrélation Cc- I_p

L'équation obtenue est $Cc = 0,695Ip - 1,336$ avec coefficient de détermination $R^2 = 0,235$ et le coefficient de corrélations $R = 0,49$ et la corrélation entre les deux paramètres et faible. $0,40 < R < 0,60$.

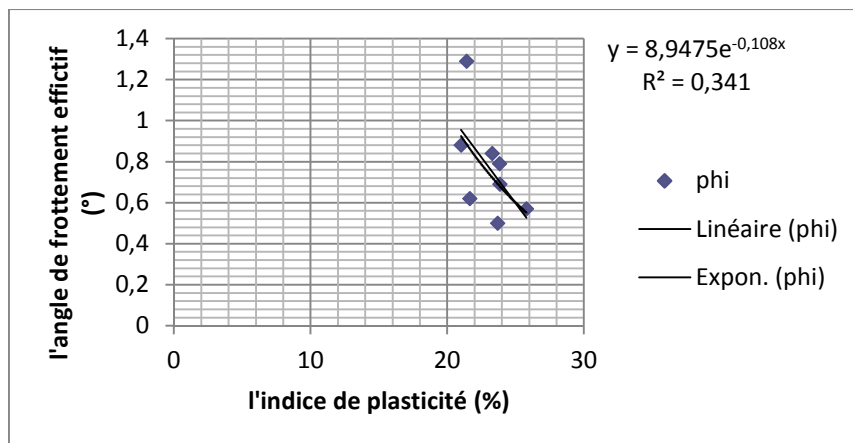
IV.4.1.5.4 Les corrélations entre l'angle de frottement effectif φ' et l'indice de plasticité I_p

La profondeur	La nature de sol	L'angle de frottement effectif	Indice de plasticité
0.00 à 5.00	Remblais	0.69	23.83
0.00 à 4.00	Remblais	0.88	21
4.00 à 6.50	Argile graveleuse	0.79	23.81
0.00 à 4.00	Argile limoneuse	0.62	21.62
6.00 à 11.00	Argile marneuse	0.50	23.66
11.00 à 11.80	Marne altérée	0.57	25.78
2.00 à 10.00	Remblais	1.29	23.27
10.70 à 12.00	Marne grise compacte	0.84	27.37

Tableau IV.26 : valeur de l'angle de frottement effectif φ' et de l'indice de plasticité I_p



L'équation obtenue est $\phi' = -3.751Ip + 25.94$ avec un coefficient de corrélation est $R=0.58$ la corrélation entre les deux paramètres est faible $0.40 < R < 0.60$



L'équation obtenue est $\phi' = 26.08 e^{-0.16Ip}$ avec un coefficient de corrélation est $R= 0.59$ la corrélation entre les deux paramètres est faible $0.40 < R < 0.60$

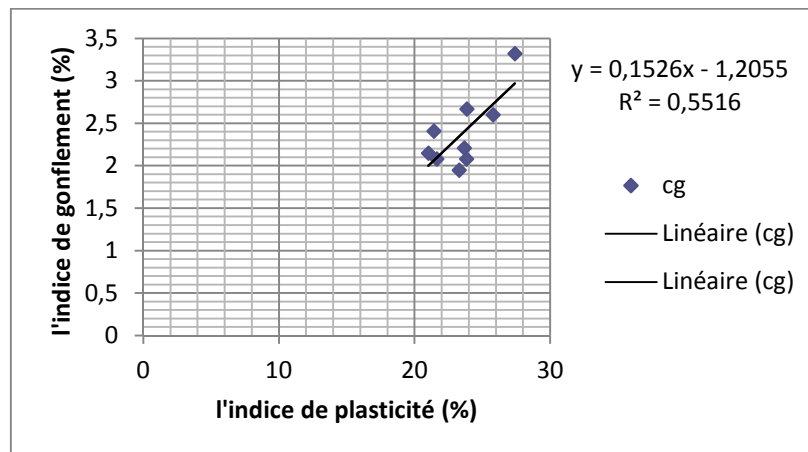
Figure IV.25 Courbes de corrélation ϕ' et Ip

L'équation obtenue est $\phi' = -3.751Ip + 25.94$ avec un coefficient de détermination $R^2 = 0.335$ et le coefficient de corrélations $R= 0.58$ en comparaison avec les formule de Gibson (1953), Skempton, Gibson et Bjerrum (1960) $\phi' = -0.42Ip + 37.2$ et la corrélation entre les deux paramètres est faible avec $R=0.55$.($0.40 < R < 0.60$) (Annexe 4).

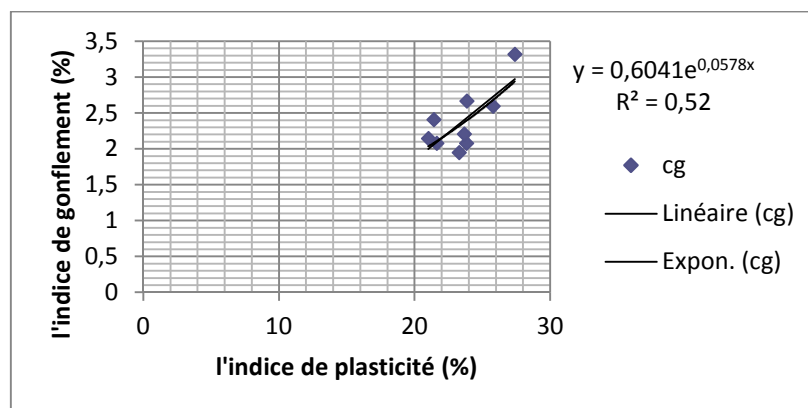
IV.4.1.5.5 :les corrélations entre la limite de plasticité et l'indice de gonflement :

La profondeur	La nature de sol	Limite de plasticité (%)	L'indice de gonflement (%)
0.00 à 5.00	Remblais	23.83	2.67
0.00 à 4.00	Remblais	21	2.08
4.00 à 6.50	Argile graveleuse	23.81	2.08
0.00 à 4.00	Argile limoneuse	21.62	2.21
6.00 à 11.00	Argile marneuse	23.66	2.60
11.00 à 11.80	Marne altérée	25.78	2.41
2.00 à 10.00	Remblais	23.27	1.95
10.70 à 12.00	Marne grise compacte	27.37	3.32

Tableau IV.27: valeur de l'indice de plasticité et de l'indice de gonflement



L'équation n obtenue est $C_g = 0.152I_p - 1.205$ avec un coefficient de corrélation est $R = 0.74$ la corrélation entre les deux paramètre et moyenne $0.60 < R < 0.75$



L'équation obtenue est $C_g = 0.604 e^{0.057I_p}$ avec un coefficient de corrélation est $R = 0.75$ la corrélation entre les deux paramètre et forte $0.75 < R < 1$

Figure IV.26 Courbes de corrélation Cg-Ip

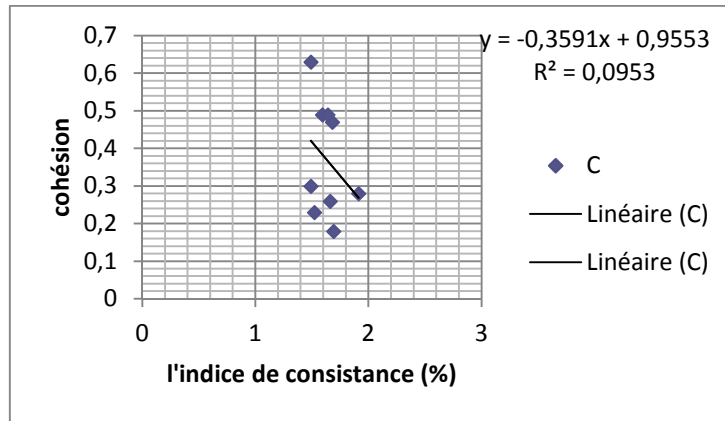
L'équation obtenue est $C_g = 0.152I_p - 1.205$ avec un coefficient de détermination $R^2 = 0.551$ et le coefficient de corrélations $R = 0.75$ et la corrélation entre les deux paramètres est forte $0.75 < R < 1$

IV.4.1.6 : L'indice de consistance

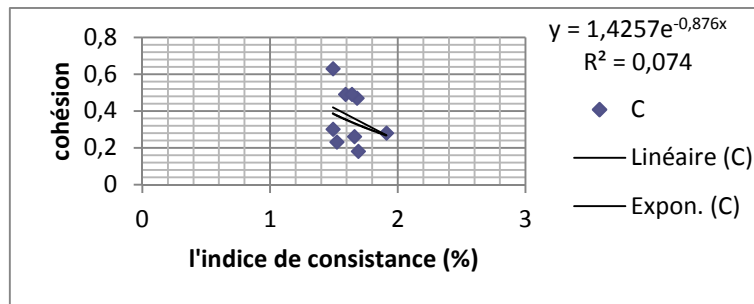
IV.4.1.6.1 : les corrélations entre l'indice de consistance et la cohésion

La profondeur	La nature de sol	L'indice de consistance	Cohésion
0.00 à 5.00	Remblais	1.52	0.23
0.00 à 4.00	Remblais	1.68	0.47
4.00 à 6.50	Argile graveleuse	1.49	0.30
0.00 à 4.00	Argile limoneuse	1.49	0.63
6.00 à 11.00	Argile marneuse	1.59	0.49
11.00 à 11.80	Marne altérée	1.69	0.18
2.00 à 10.00	Remblais	1.64	0.26
10.70 à 12.00	Marne grise compacte	1.91	0.49

Tableau IV.28: Valeur de l'indice de consistance et de la cohésion.



L'équation obtenue est $C = -0.359I_c + 0.955$ avec un coefficient de corrélation est $R = 0.31$ la corrélation entre les deux paramètre et très faible avec $-0.40 < R < +0.40$



L'équation obtenue est $C = 1.425e^{-0.87I_c}$

Avec un coefficient de corrélation est $R = 0.27$ la corrélation entre les deux paramètre et très faible avec $-0.40 < R < +0.40$

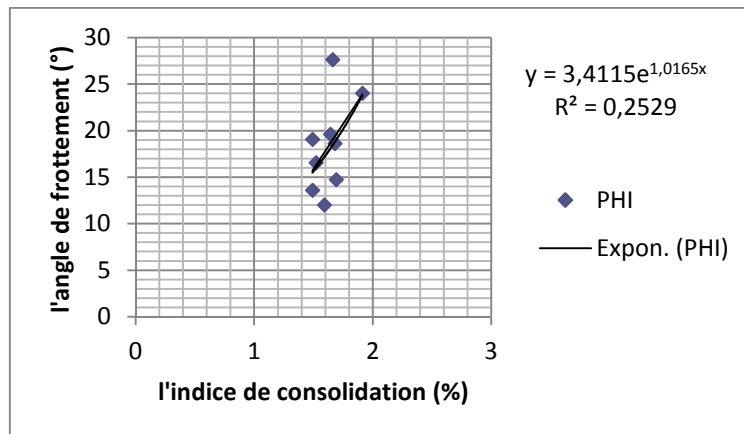
Figure IV.27 Courbes de corrélation C-Ic

L'équation obtenue est $C = -0.359I_c + 0.955$ avec un coefficient de détermination $R^2 = 0.095$ et le coefficient de corrélations $R = 0.30$ et la corrélation entre les deux paramètres et très faible avec $-0.40 < R < +0.40$

IV.4.1.6.2 : les corrélations entre l'indice de consistance et l'angle de frottement :

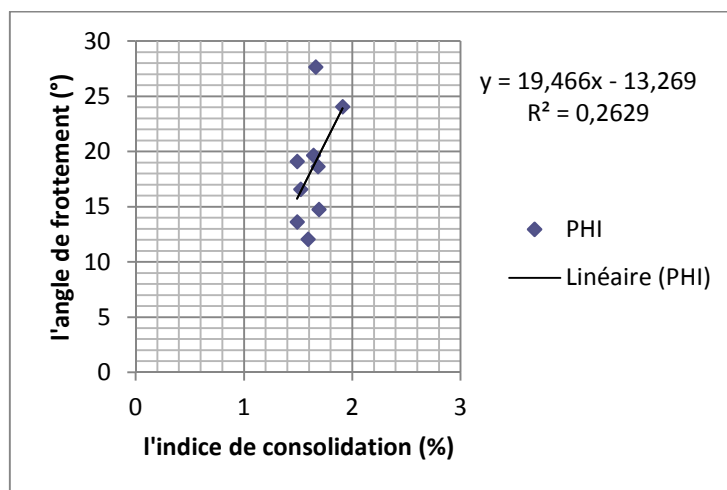
La profondeur	La nature de sol	L'indice de consistance	L'angle de frottement
0.00 à 5.00	Remblais	1.52	16.59
0.00 à 4.00	Remblais	1.68	18.65
4.00 à 6.50	Argile graveleuse	1.49	19.01
0.00 à 4.00	Argile limoneuse	1.49	13.62
6.00 à 11.00	Argile marneuse	1.59	12.05
11.00 à 11.80	Marne altérée	1.69	14.77
2.00 à 10.00	Remblais	1.64	27.06
10.70 à 12.00	Marne grise compacte	1.91	19.65

Tableau IV.29 : Valeur de l'angle de frottement et de l'indice de consistance .



L'équation obtenue est $\phi = 3.411e^{-1.016Ic}$ avec

un coefficient de corrélation est $R = 0.50$
 la corrélation entre les deux paramètres est faible avec $+0.40 < R < +0.60$



L'équation obtenue est $\phi = -19.46Ic - 13.26$ avec un coefficient de corrélation est $R = 0.52$ la corrélation entre les deux paramètres est faible avec $+0.40 < R < +0.60$

Figure IV.28 Courbes de corrélation ϕ

L'équation obtenue est $\phi = -19.46Ic - 13.26$ avec un coefficient de détermination $R^2 = 0.262$ et le coefficient de corrélations $R = 0.52$ et la corrélation entre les deux paramètres est faible Avec $+0.40 < R < +0.60$

IV.4.1.6.3 :les corrélations entre l'indice de consistance et la contrainte de consolidation

La profondeur	La nature de sol	L'indice de consistance	Contrainte de consolidation
0.00 à 5.00	Remblais	1.52	2.53
0.00 à 4.00	Remblais	1.68	3.15
4.00 à 6.50	Argile graveleuse	1.49	1.72
0.00 à 4.00	Argile limoneuse	1.49	4.11
6.00 à 11.00	Argile marneuse	1.59	2.81
11.00 à 11.80	Marne altérée	1.69	3.18
2.00 à 10.00	Remblais	1.64	3.39
10.70 à 12.00	Marne grise compacte	1.91	2.25

Tableau IV.30 :Valeur de l'indice de consistance et de la contrainte de consolidation

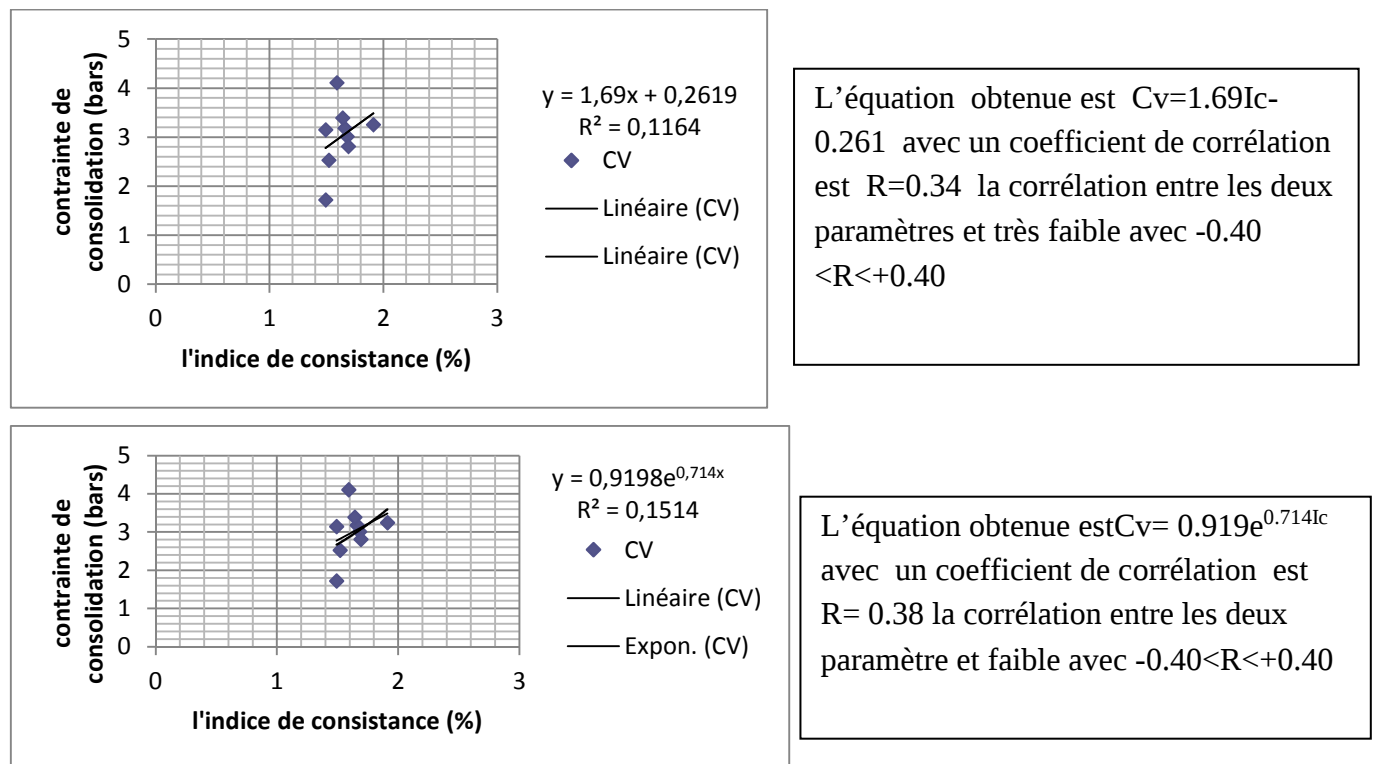


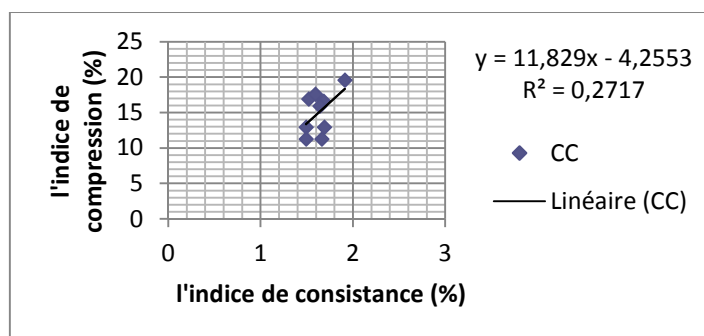
Figure IV.29 Courbes de corrélation C_v - I_c

L'équation obtenue est $C_v = 0.919e^{0.714I_c}$ avec un coefficient de détermination $R^2 = 0.151$ et le coefficient de corrélations $R = 0.38$ et la corrélation entre les deux paramètres et très faible Avec $-0.40 < R < +0.40$

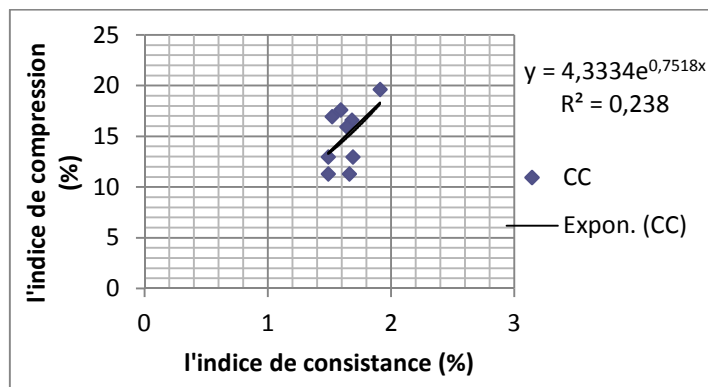
IV.4.1.6.4 :les corrélations entre l'indice de consistance et l'indice de compression :

La profondeur	La nature de sol	L'indice de consistance	L'indice de compression
0.00 à 5.00	Remblais	1.52	16.94
0.00 à 4.00	Remblais	1.68	12.96
4.00 à 6.50	Argile graveleuse	1.49	11.29
0.00 à 4.00	Argile limoneuse	1.49	17.61
6.00 à 11.00	Argile marneuse	1.59	12.96
11.00 à 11.80	Marne altéré	1.69	11.29
2.00 à 10.00	Remblais	1.66	15.95
10.70 à 12.00	Marne grise compacte	1.64	19.60

Tableau IV.31 :Valeur de l'indice de consistance et de l'indice de compression



L'équation obtenue est $Cc = 11.82Ic - 4.25$ avec un coefficient de corrélation est $R = 0.52$ la corrélation entre les deux paramètre et faible avec $+0.40 < R < +0.60$



L'équation obtenue est $Cc = 4.3334e^{0.7518Ic}$ avec un coefficient de corrélation est $R = 0.48$ la corrélation entre les deux paramètres et faible avec $+0.40 < R < +0.60$

Figure IV.30 Courbes de corrélation $Cc-I$

L'équation obtenue est $Cc = 11.82Ic - 4.255$ avec un coefficient de détermination $R^2 = 0.271$ et le coefficient de corrélations $R = 0.52$ et la corrélation entre les deux paramètres et faible Avec $+0.40 < R < +0.60$

IV.4.1.6.5 : les corrélations entre l'indice de consistance et l'indice de gonflement

La profondeur (m)	La nature de sol	L'indice de consistance	L'indice de gonflement
0.00 à 5.00	Remblais	1.52	2.67
0.00 à 4.00	Remblais	1.68	2.08
4.00 à 6.50	Argile graveleuse	1.49	2.08
0.00 à 4.00	Argile limoneuse	1.49	2.21
6.00 à 11.00	Argile marneuse	1.59	2.60
11.00 à 11.80	Marne altérée	1.69	2.41
2.00 à 10.00	Remblais	1.64	1.95
10.70 à 12.00	Marne grise compacte	1.91	3.32

Tableau IV.32: Valeur de l'indice de consistance et de l'indice de gonflement

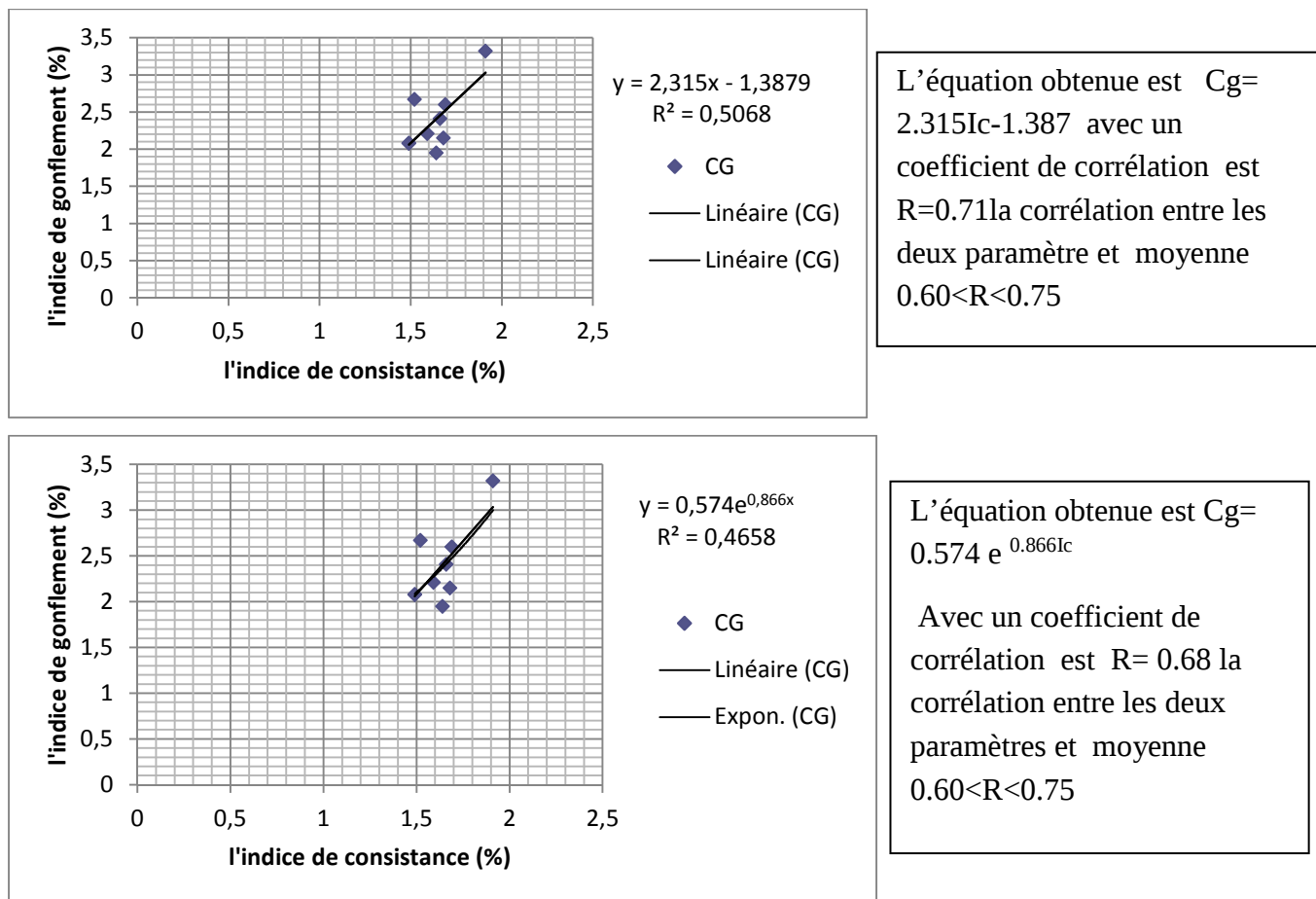


Figure IV.31 Courbes de corrélation Cg et Ic

L'équation obtenue est $Cg = 2.315Ic - 1.387$ avec un coefficient de détermination $R^2 = 0.506$ et le coefficient de corrélations $R = 0.71$ et la corrélation entre les deux paramètres et moyenne $0.60 < R < 0.75$.

IV.5 : Conclusion

Nous avons cité à travers ce travail les différents types de corrélations à partir des principaux résultats de la littérature dans ce domaine, adaptés à une variété de sols. Or la construction de corrélations inter-paramètres nécessite une évaluation statistique en vue de leurs efficacités et fiabilités afin de se mettre à l'abri. Ce chapitre a pour vocation de donner une analyse générale sur un certain nombre de corrélations récoltées de diverses recherches réalisées dans différents sites dans le monde. Néanmoins, nous avons constaté que certaines d'entre elles ne peuvent pas être généralisées vu leur dépendance de la nature de sol et du site. Pour cela, appliquer ses corrélations pour différents sols de notre région fera l'objet d'autre projet de fin d'étude.

Cette étude reste donc une ébauche qui pourrait être étendue ultérieurement à un nombre de couple de données plus considérable de résultats non encore exploitées et qui doit impérativement se faire sur différents types de sols .

Ce projet de fin d'étude se résume à chercher l'existence d'une relation de dépendance, entre les paramètres considérés . L'étude des corrélations doit être souvent entreprise avec un esprit critique et sélective. La complicité de cette thématique pose dans la variabilité de ces dernières en fonction des conditions y'afférentes.

En référence aux travaux de certains auteurs telles que Benjamin et Carnell en (1970) , Johnson (1994), Magnan (1982) et Baecher et Christain (2003) nous avons introduit cette étude prenant compte les paramètres physiques et mécaniques l'expression des corrélations et $C_c=f(w)$, de même pour les corrélations de l'angle de frottement effectif et les paramètres physiques comme $\varphi' = f(I_p)$ est basée sur les travaux de nombreux auteurs telles que Gibson (1953) , Brooker et Ireland (1965) .

Les travaux de cette étude ont été réalisé dans la wilaya de Tizi-Ouzou axés sur les données géologiques , de la région de Tamda , caractérisée par deux formation géologiques distinctes les marnes grisâtres compactes et les argiles graveleuse. Une étude géotechnique et géologique à été également réalisée ce que nous à donnée accès à exploiter les résultats obtenus des essais in-situ et les essais au laboratoire ce qui à permis de réaliser ces corrélations .

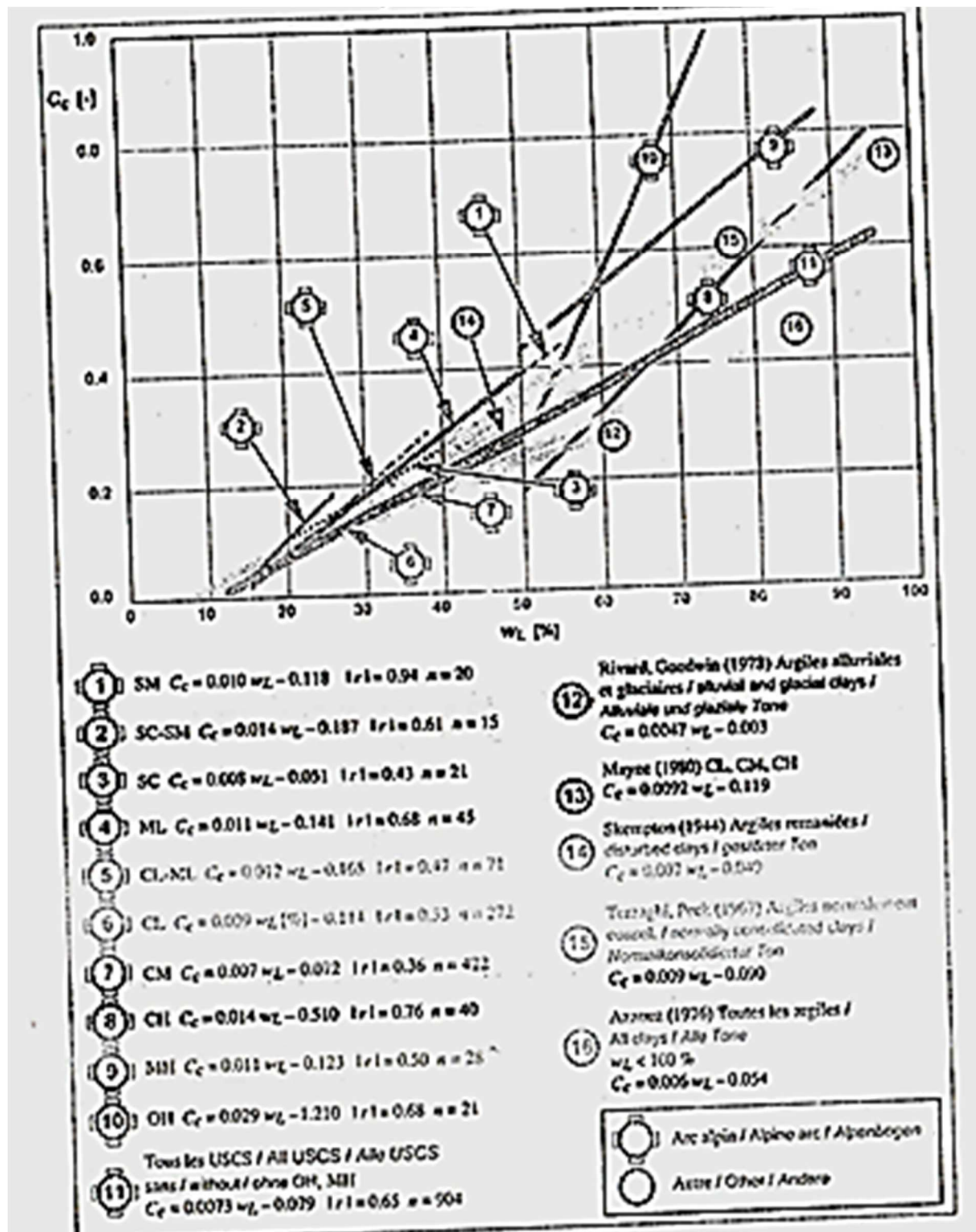
Les résultats obtenus dans l'étude de la corrélation entre les paramètres physiques et mécaniques ont permis de constater que la corrélation et moyenne pour les mesures effectuées , en comparaison avec les formules établies par Michel Dysli et Walter Steiner (2001) et Leroueil et Tavenas (1983) en tenant compte du critère nature géologique de la formation dans laquelle les mesures ont été faites qui ont abouti à des coefficients de corrélation inférieur à 0.75.

Les avantages économiques qui peuvent être tirés sur un plan pratique des corrélations établies entre les paramètres physiques et mécaniques d'un sol , l'étude des corrélations joue le rôle de contrôleur de données et permis ainsi de définir la représentativité et la fiabilité de données prises lors des compagnes de reconnaissances.

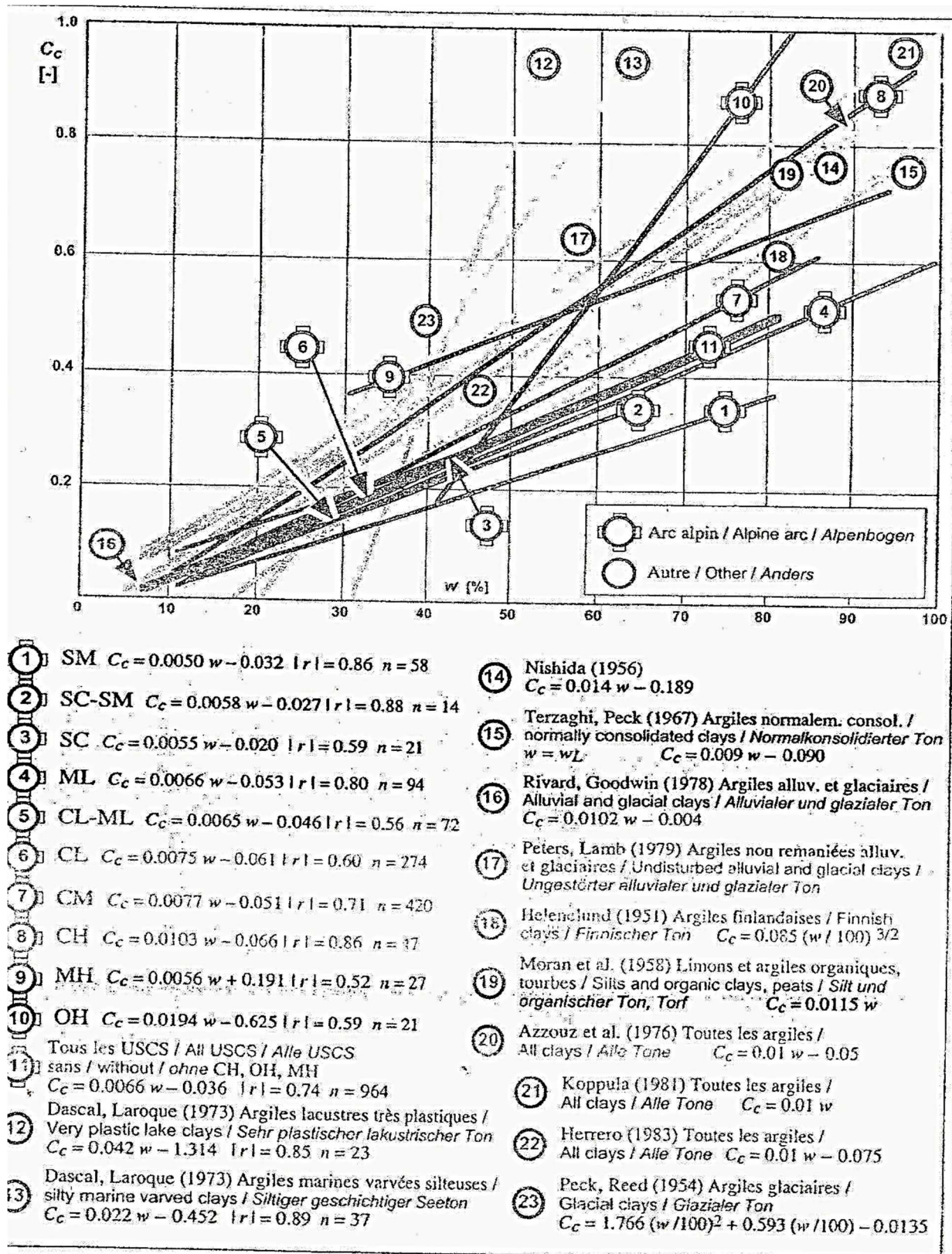
En conclusion ce modeste travail a permis de mettre en évidence la complémentarité entre les paramètres physiques et mécaniques tirés par l'une ou l'autre des techniques se complètent et permettent de cerner la configuration du terrain sans faire recours à l'exploitation , ce qui fait réduire le cout et les délais la compagne de reconnaissance .

1. KHETTAB Sihem : "Etude des corrélations entre les caractéristiques Proctor et les caractéristiques mécaniques et physiques" 2015.
2. NAIT CHABANE Mohand Ourabah : "Corrélations entre les caractéristiques géotechniques et les caractéristiques géophysiques" 2014.
3. PELISSIER Laurent : "Etude des corrélations en géotechnique dans le cadre de la géologie Toulousaine. " 2009.
4. MECIFI Fayza : "Corrélations des paramètres des sols compacts " 2016.
5. ABDOUN Soraya et BENABDARAHMANE Nadia : "Analyse des corrélations et interprétation des résultats préssiométriques et pénétromitriques" 2000.
6. BOUALIA Ghania et ZAKI Safia : "Corrélation entre les reconnaissance géologiques , géophysiques et géotechniques dans l'étude des marnes du palaisancien « Cheraga, Dely Ibrahim , El Achour » 2002.
7. DYSLI Michel et WALTER Steiner : Corrélations en mécanique des sols .
8. DYSLI Michel : recherche bibliographique et synthèse des corrélations entre les caractéristiques des sols .2001.
9. MAGNAN Jean-Pierre, article technique et ingénieur : Déformabilité des sols Tassement , Consolidations .2000

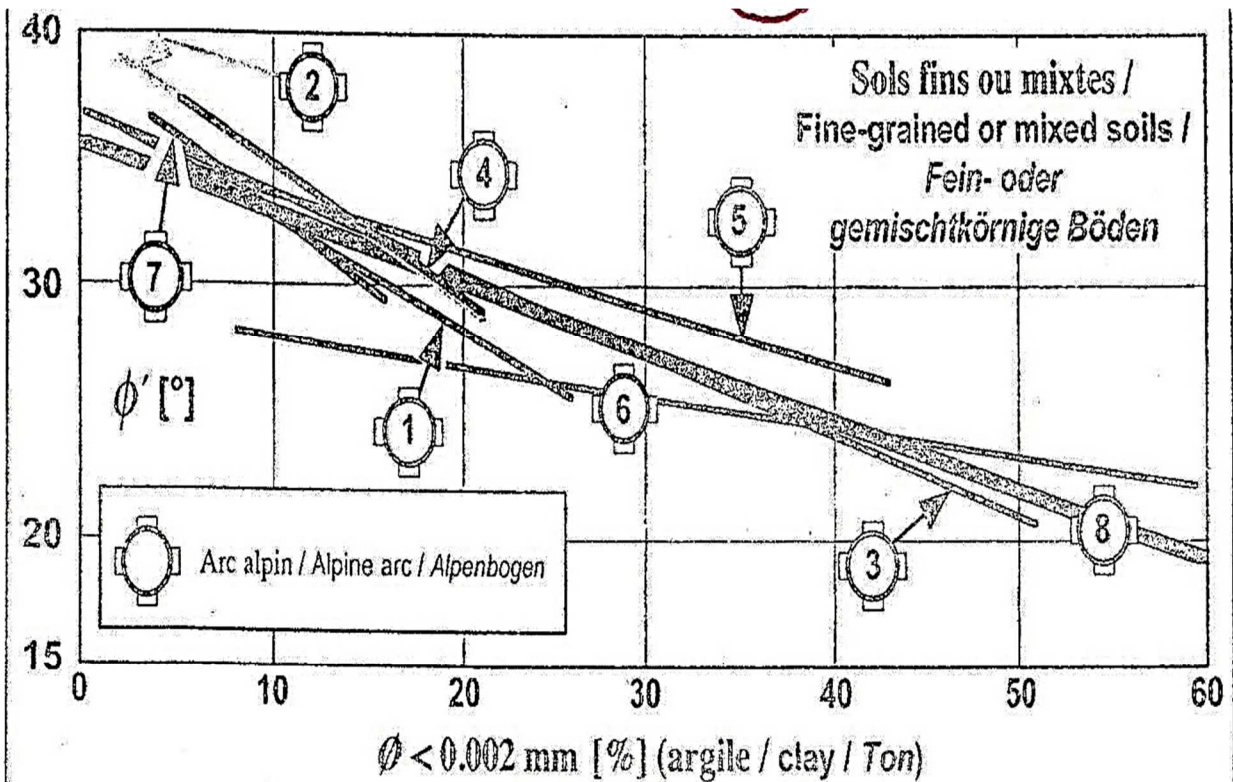
ANNEXE 1



ANNEXE 2



ANNEXE 3



① GC $\phi' = 36.8 - 0.45 \% \text{ argile / clay / Ton}$
 $|r| = 0.88 \quad n = 8$

② SC $\phi' = 39.4 - 0.52 \% \text{ argile / clay / Ton}$
 $|r| = 0.60 \quad n = 12$

③ ML $\phi' = 36.6 - 0.32 \% \text{ argile / clay / Ton}$
 $|r| = 0.55 \quad n = 22$

④ CL-ML $\phi' = 39.7 - 0.52 \% \text{ argile / clay / Ton}$
 $|r| = 0.53 \quad n = 8$

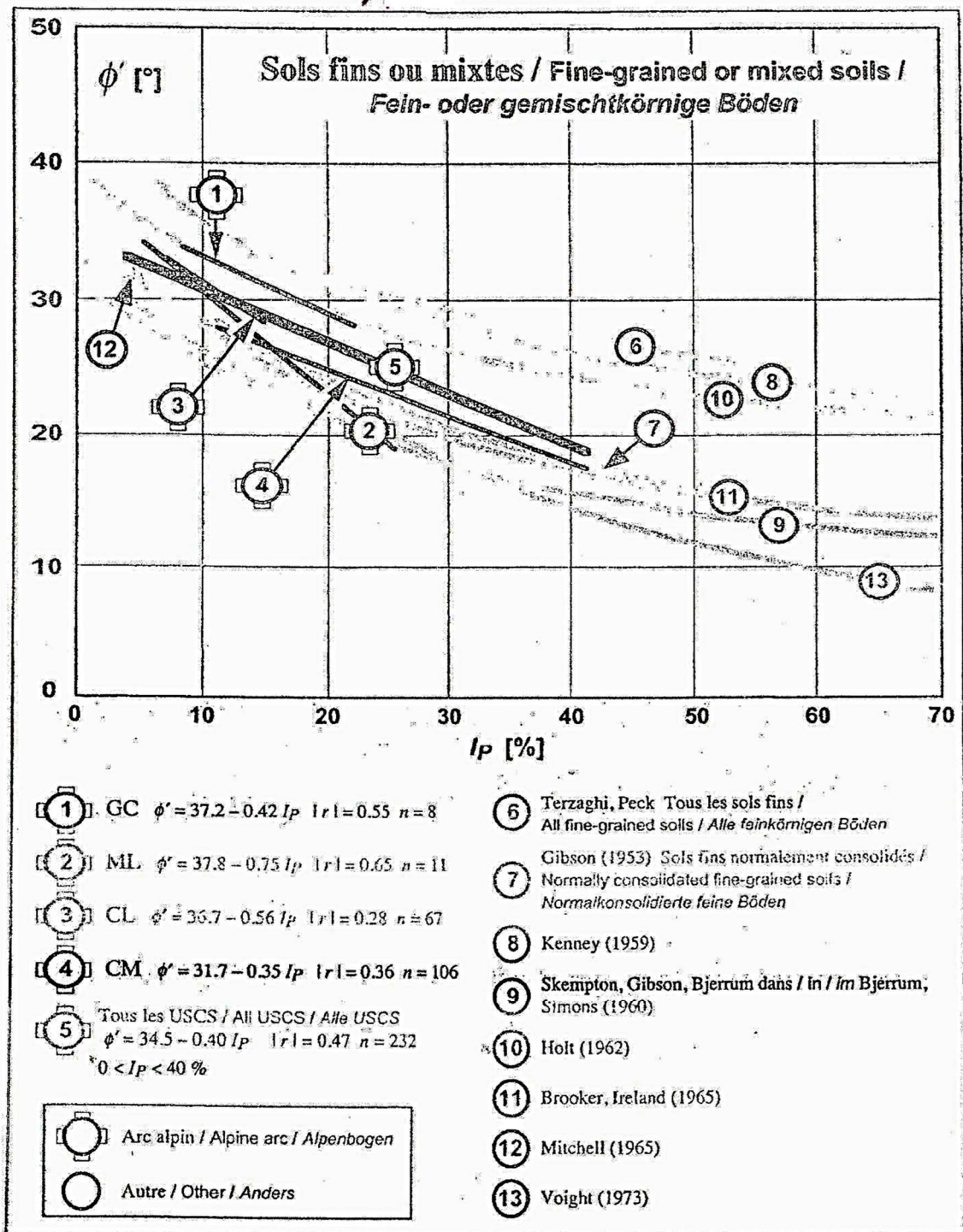
⑤ CL $\phi' = 35.4 - 0.22 \% \text{ argile / clay / Ton}$
 $|r| = 0.46 \quad n = 63$

⑥ CM $\phi' = 28.8 - 0.11 \% \text{ argile / clay / Ton}$
 $|r| = 0.31 \quad n = 101$

⑦ CH $\phi' = 38.3 - 0.57 \% \text{ argile / clay / Ton}$
 $|r| = 0.46 \quad n = 14$

⑧ Tous les USCS / All USCS / Alle USCS
 $\phi' = 35.3 - 0.27 \% \text{ argile / clay / Ton}$
 $|r| = 0.64 \quad n = 246$

ANNEXE 4



ANNEXE 5

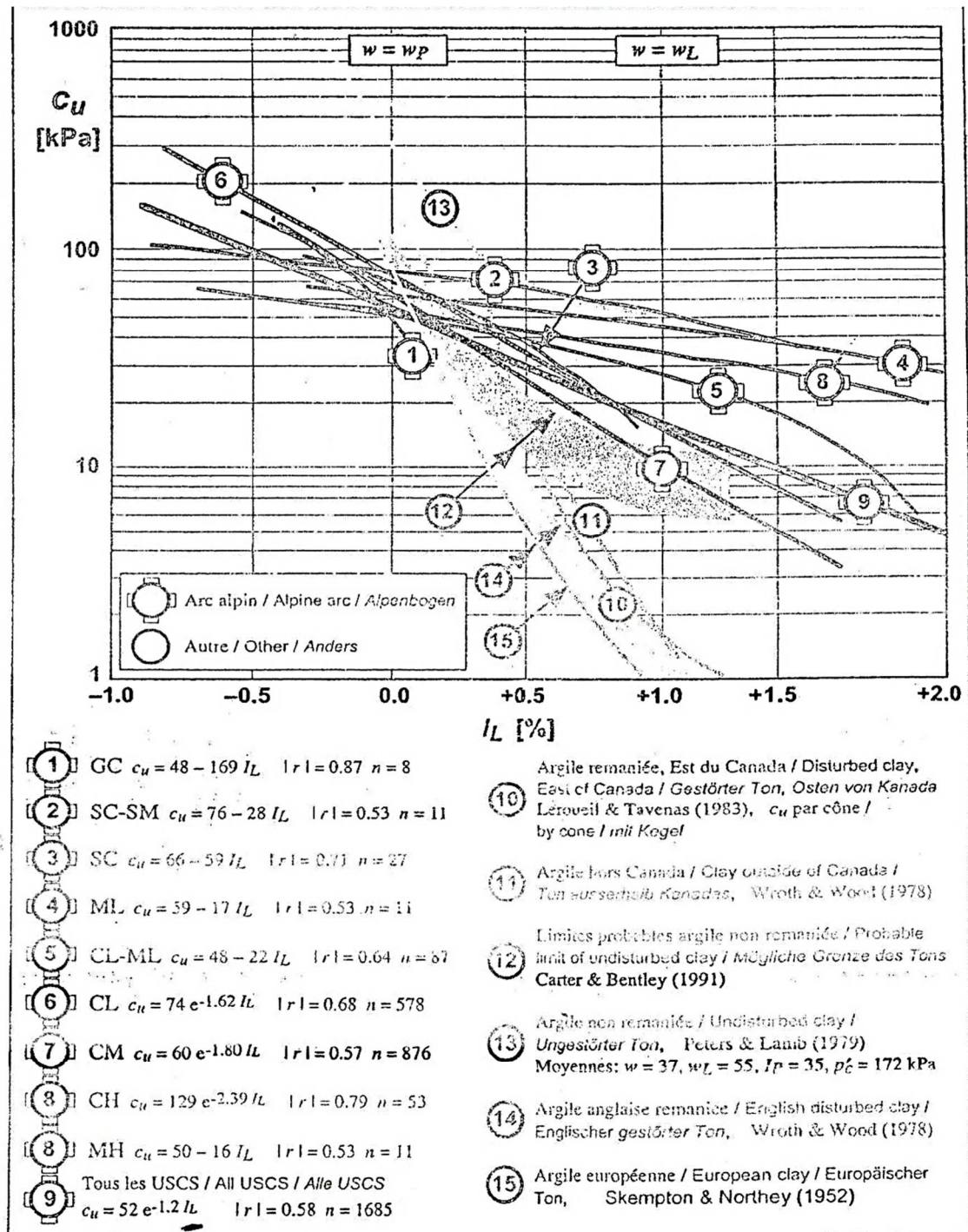


Fig. 3.8
 $c_u = f(I_L)$