

République Algérienne Démocratique et Populaire

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي



Ecole Nationale Supérieure
des Travaux Publics
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية

Mémoire

Pour l'Obtention du Diplôme de MASTER

Filière : travaux publics

Spécialité : Matériaux & Structures

Thème

**CORRELATION ENTRE LES ESSAIS IN SITU
ET LES ESSAIS DE LABORATOIRE**

Encadré par :

Pr MITICHE-KETTAB R.

Mme DEBBICHE F.

Présenté par :

BOURAI Hocine

Promotion 2015

Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics. Garidi. Kouba.

Remerciement

Tout d'abord, je tien à remercier en premier lieu et avant tout ALLAH le tout puissant, qui me a donné la force et la patience d'accomplir ce travail dans les meilleures conditions.

Je Souhaite Exprimer, Tout Particulièrement, mes Vifs Remerciements Et ma Profonde Reconnaissance A mes Encadreur Mme R.MITICHE KETTAB ET Mme f.DEBICHE de M' Avoir Fait Confiance Et Acceptent De Diriger Ce Mémoire.

Je remercie mes très chers parents pour leurs soutiens et leurs patiences.

Je tien à remercier tous Les Enseignants, de L'ENSTP Sans Exception.

Enfin, Je remercie chaleureusement, le président et les membres du jury d'avoir Accepter d'examiner ce mémoire.

ملخص :

يركز هذا العمل على دراسة العلاقة المتبادلة بين التجارب الجيوتقنية المخبرية و التجارب المكانية اعتمادا على نتائج مشروع طريق الهضاب العليا لمنطقة تبسة , حيث يتم عرض نتائج الأعمال السابقة بعد ذلك تحليل العلاقة المتبادلة بين نتائج التجارب الجيوتقنية
الكلمات المفتاحية : العلاقة المتبادلة, التجارب الجيوتقنية المخبرية , التجارب الجيوتقنية المكانية

Résumé

Ce travail présente une étude de corrélation entre les essais in-situ et les essais de laboratoire en se basant sur les résultats des investigations géotechniques réalisées au projet des haut plateaux tronçon de TEBESSA , Une synthèse des travaux antérieurs sur les corrélations est présentée; par la suite les essais géotechniques réalisés dans le cadre de notre étude sont décrits. Les données géotechniques pour les différents types de sol rencontrés dans la région seront analysées puis on exécutera notre corrélation

Mots clés : corrélation, essai in situ, essai au laboratoire

Abstract

This work presents a study of correlation between the laboratory tests and sites tests results from geotechnical study of way project in TEBESSA, a summary of previous work on the correlations presented later geotechnical tests in our study are described. Geotechnical data for the different soil types found in the region will be analyzed and then our correlation is run

Key words: correlation, laboratory tests, sites tests

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : METODOLOGIE DE RECONNAISSANCES GEOTECHNIQUES	
I.1 Introduction :.....	2
I.2 Reconnaissance primaire.....	3
I.2.1 Moyens de reconnaissance primaire	3
I.2.1.1 Reconnaissance géologique	3
I.2.1.2 La documentation	3
I.2.1.3 La télédétection.....	4
I.2.1.4 Les observations de terrain	4
I.3 Reconnaissance géophysique.....	4
1.3.1 Gravimétrie.....	4
1.3.2 Sismique réflexion	5
13.3 Sismique réfraction	5
I.4 Reconnaissance géotechnique I.4.1 Essais "in situ"	7
I.4.1.1 Le pénétromètre dynamique	7
I.4.1.2 Le pénétromètre statique	8
I.4.1.3 Le Scissomètre.....	9
I.4.1.4 Le Standard Pénétration Test (S.P.T).....	10
I.4.1.5 Préssiomètre	11
I.4.2 Essais de laboratoire.....	14
I.4.2.3 Les limites d'Atterberg	14
I.4.2.4 Les essais de cisaillement	15
Essai Triaxial	16
I.4.2.5 Les essais de compactage.....	17
I.4.2.6 L'essai œdométrique	17
I.4.2.7 Hydrogéologie	18
I.4.2.1.1 Mesure du coefficient de perméabilité k sur le terrain	19
I.4.2.1.1.1 L'essai ponctuel	19
I.4.2.1.1.2. L'essai de pompage	20
I.4.2.1.2 Mesure du coefficient de perméabilité en laboratoire.....	20

CHAPITRE II : NOTION DE CORRELATION

II.1 Introduction :	21
II.2 Autocorrélation	21
II.3 Origine des relations et corrélations dans les sols	21
II.4 DOMAINE D'UTILISATION DE LA CORRELATION	23
II.5 COEFFICIENT DE CORRÉLATION LINÉAIRE	24
II.5.1 COVARIANCE	24
II.5.2 PROPRIETES MATHÉMATIQUES DU COEFFICIENT DE CORRELATION LINEAIRE	25
II.5.3 INTERPRÉTATION DU COEFFICIENT DE CORRELATION	25
II.6 DROITE DE REGRESSION	27

CHAPITRE III : CORRELATIONS ANTERIEURES

III.1 Introduction :	29
III.2 Relation entre la compressibilité et la teneur en eau des tourbes	29
III.4 Relation entre la perméabilité et l'indice des vides des argiles effectuée par Vidalie	30
III.5 Relation entre la limite de liquidité et l'indice de compression des vases effectuée par Vidalie	30
III.6 Relation entre la pression limite pressiométrique et la résistance de cône au pénétromètre statique publiés par CASSAN	32

CHAPITRE IV : CAS PRATIQUE

IV.1.1 Introduction	33
IV.1.2 LOCALISATION DE QUELQUES SONDAGES :	33
IV.1.3 résultats des sondages :	34
IV.1.3 corrélation entre l'essai SPT et l'essai de cisaillement direct :	34
Procédure de calcul	34
Calcul de covariance	35
REPRESENTATION GRAPHIQUE	36
IV.1.3 corrélation entre l'essai SPT et la limite d'Atterberg :	36
Procédure de calcul	36
Calcul de covariance	37
REPRESENTATION GRAPHIQUE	38
CONCLUSION	38

CONCLUSION GENERALE	39
----------------------------	----

INTRODUCTION GENERALE :

La diversité de l'information géotechnique a travers les différents projets constitue un capital informationnel dans le domaine de l'étude et le calcul des fondations. D'ou l'intérêt de développer des méthodes de reconnaissances sur la base des corrélations qui sera d'un intérêt scientifique et économique appréciable.

Le travail proposé va étudier les corrélations des paramètres géotechniques obtenus des différents essais, Pour se faire on divise le travail sur deux volets un volet bibliographique et un volet pratique.

Dans le volet bibliographique on commence en premier chapitre par une synthèse des reconnaissances géotechniques dans le cadre des études des corrélations, le deuxième chapitre va donner les différentes bases mathématiques des corrélations, puis le troisième chapitre va synthétiser les travaux récents géotechniques dans le domaine des corrélations.

Le volet pratique va porter sur une corrélation des données géotechniques d'un projet Routier au niveau de la wilaya de TEBESSA.

I.1 Introduction :

La reconnaissance des sols permet d'appréhender les problèmes qui peuvent se poser lors de l'étude d'un projet de construction, en se basant sur les caractéristiques de ces sols.

Il existe en pratique deux catégories du sol:

Sol pulvérulent: tel que le sable, le gravier, les cailloux et les mélanges de ces matériaux tels que le sable graveleux. Il est caractérisé par une grande perméabilité et une absence d'adhérence entre ses grains; les particules sont visibles à l'oeil nu.

En général, ce sol retient peu l'eau interstitielle libre, celle-ci pouvant circuler librement entre les grains. Les forces d'attraction (ou de tension) capillaire sont négligeables devant les forces du poids des grains, mais pour un sable non saturé, les forces capillaires lui confèrent une certaine cohésion entre les grains, dite cohésion capillaire, permettant à un volume de ce sol de se tenir seul. Ceci peut se constater dans certains talus sableux humides dans les plages, ayant une grande hauteur et un angle de talus presque droit.

Sol cohérent: regroupant les sols fins saturés tels que l'argile, le limon, la marne et les mélanges de ces matériaux tels que la marne argileuse. Il est caractérisé par la présence d'une forte cohésion entre ses particules. Les dimensions de ces dernières sont faibles par rapport à celles du sol pulvérulent. Ce type de sol est peu perméable.

Il y a sommairement, trois catégories de Reconnaissance géotechnique:

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

-Les méthodes de mesure "in situ" basées sur la mesure d'une propriété physique du terrain

-Les méthodes de mesure "au laboratoire".

I.2 Reconnaissance primaire

Dans cette étape, le géotechnicien prend une connaissance du site, telle que la visite du site, consultation des cartes géologiques, collecte des avis de géologues locaux, observe des projets réalisés dans la région, prise des photos et l'étude générale de photographies aériennes en vision stéréoscopiques.

Après la description du site, le géotechnicien continue sa reconnaissance par une étude hydrogéologique.

I.2.1 Moyens de reconnaissance primaire

Il existe plusieurs moyens de reconnaissance primaire qui nous permettent de décrire le site sans rien quantifier. Les moyens les plus utilisés sont :

I.2.1.1 Reconnaissance géologique

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

I.2.1.2 La documentation

Les sources de renseignement géotechnique sont nombreuses, variées, dispersées et de valeurs très inégales ; elles vont de la bibliographie à l'entretien avec la personne informée en passant par la consultation d'archives et de banques de données. Les cartes topographiques et géologiques, les plans de géomètre sont des documents de base.

Ces renseignements sont ensuite soumis à la critique du géotechnicien, il doit les analyser et en retenir l'essentiel comme première approche de l'étude.

I.2.1.3 La télédétection

L'observation de photographies aériennes stéréoscopiques sert à une description générale du site et de ses abords. L'évolution, naturelle ou provoquée d'un site dans le temps, peut être suivie au moyen de clichés pris à des dates différentes.

I.2.1.4 Les observations de terrain

Il est indispensable d'observer le terrain, même voir la construction des ouvrages voisins et leur comportement, et de rencontrer des personnes connaissant bien le site, observer un affleurement, casser un caillou, mesurer un pendage ou partie du site.... Ceux sont des observations et des documents de base de toute étude géotechnique, quelles que soient les dimensions du site.

I.3 Reconnaissance géophysique

La géophysique appliquée est un ensemble de moyens d'étude du sous-sol, qui permet de recueillir des renseignements sur la nature et la structure d'un site.

Certains moyens de la géophysique appliquée sont bien adaptés à l'étude géotechnique. La résistivité électrique et la sismique réfraction y sont les plus efficaces ; dans des cas particuliers, on peut néanmoins recourir à d'autres moyens, à condition d'en bien connaître les possibilités et les limites

1.3.1 Gravimétrie

La gravimétrie est l'une des méthodes les mieux adaptées à la recherche d'anomalie de densité dans le sol. Elle repose sur l'application de la loi de Newton qui établit que l'intensité f de la force gravitationnelle s'exerçant entre deux masses m et m' , distantes de d , est telle que $f = G.m.m'/d^2$, G étant la constante universelle de la gravitation. Aux forces gravitationnelles de la Terre et de l'Univers (pratiquement seuls les effets de la Lune et du Soleil sont sensibles) s'ajoutent les forces d'inertie dues à la rotation de la Terre ainsi que les effets du relief, de l'altitude et de la latitude.

L'ensemble des effets gravitationnels, aussi appelés gravimétriques, s'exprime dans la relation connue $p = mg$, ou p est l'intensité du poids et g l'accélération de la pesanteur. Donc on peut définir la gravimétrie, en tant que l'étude des variations de g , pour détecter les anomalies de densité du sous-sol. C'est ce qu'illustre la figure suivante dans laquelle on a représenté schématiquement la diminution de g au dessus des cavités.

1.3.2 Sismique réflexion

La sismique réflexion, permet de repérer des " réflecteurs " à la verticale du point d'origine des ondes. Ces " réflecteurs "(ou interfaces) sont des surfaces qui renvoient les ondes à cause d'un changement assez brutal des propriétés physiques (densité, élasticité) du sous-sol. Ces surfaces de discontinuité peuvent être des limites de couches sédimentaires, ou des zones hétérogènes au sein d'une roche. C'est pourquoi cette technique permet de définir avec précision la structure "superficielle". La sismique réflexion, elle, complète cette connaissance par des informations sur les réflecteurs plus profonds.

13.3 Sismique réfraction

La sismique réfraction a pour objectif l'étude profonde du sous-sol au delà des sédiments, et donc l'analyse de la croûte océanique. Chaque ébranlement provoqué par une source permet de repérer des surfaces de discontinuité (au sens physique et non au sens géologique) séparant des roches où la célérité des ondes sismiques est différente. Ces surfaces ne sont repérées que lorsqu'elles sont assez superficielles. Ce sont assez souvent des limites de couches sédimentaires. Les ondes qui arrivent à une de ces limites sous l'angle d'incidence correspondant à la réfraction limite se propagent ensuite le long de cette interface qui leur sert de " guide d'onde " ce qui canalise leur énergie et leur permet de se propager plus loin. A cause des irrégularités de la surface limite, des ondes remontent en permanence vers la surface. Ceux-ci sont reçus soit par des récepteurs posés sur le fond, soit par des hydrophones traînés par un autre navire.

Il n'est pas rare que des campagnes mettent en œuvre 2 navires, l'un émetteur, l'autre récepteur.

Pour les autres essais on peut résumer leurs principe dans le tableau suivant :

Tableau 1.1 essai géophysique

Méthode	Principe de Mesure	Objectifs	Avantages	Inconvénients
Sismique réfraction	vitesse des ondes de compression directe et réfractée	-caractérisation des vitesses des terrains -profondeur du substratum -recherche du toit de la nappe	porte directement sur une propriété utilisable en mécanique	-la vitesse doit être croissante avec la profondeur -suppose un milieu quasi-tabulaire -Lente-mauvaise résolution horizontale -mise en œuvre délicate en ville
Sismique réflexion	temps d'arrivée des ondes élastiques sur tout interface	-structure géologique profonde, -caractérisation des terrains par mise en évidence des horizons réflecteurs -vitesse et impédance acoustique	porte directement sur des propriétés utilisables en mécanique	-mise en œuvre très lourde -utilisable pour les profondeurs > 20m -utilisation exceptionnelle en Génie Civil
Tomographie sismique	inversion des temps de trajet des ondes sismiques à travers la zone étudiée	Caractérisation mécanique des terrains, mise en œuvre entre forages, galeries et/ou surface	porte directement sur des propriétés utilisables en mécanique	-mise en œuvre lourde -coût élevé
(micro) Gravimétrie	Variations locales du champ de pesanteur	Recherche des vides, de zones décomprimées, du toit du substratum	porte sur la densité	-mesures lentes -mesure d'altitudes très précises nécessitent des corrections
Prospection électrique par courant injecté	résistivité	structure du terrain	-la résistivité présente une grande gamme de variations -maîtrise de la résolution latérale et verticale (profondeur d'investigation) -rapide (faibles coûts)	-nécessité d'un contact électrique avec le sol d'où difficultés en milieu urbain

I.4 Reconnaissance géotechnique

I.4.1 Essais "in situ"

I.4.1.1 Le pénétromètre dynamique

L'essai de pénétration dynamique des sols a pour but la mesure de la résistance des couches traversées au battage d'une pointe, en éliminant le frottement latéral. Cet essai est dans la pratique d'une grande importance car il permet de se faire rapidement une idée précise de la résistance des sols dans leur état naturel.

Ce type d'essai, consiste à faire pénétrer dans le sol par battage des tiges métalliques à l'aide d'un mouton tombant en chute libre. Pour une énergie de battage constante, est compté le nombre de coupe du mouton «N » correspondant à un enfoncement donné. La résistance de pointe au battage déduite des formules de battage à partir de nombre « N ».

Pour réaliser l'essai de pénétration dynamique d'un sol, il est pratique de procéder par tranches identiques d'enfoncement. L'appareil étant disposé bien verticalement, on laisse tomber le mouton de 10 daN d'une hauteur constante, en comptant pour chaque tranche d'enfoncement le nombre de chutes nécessaires.

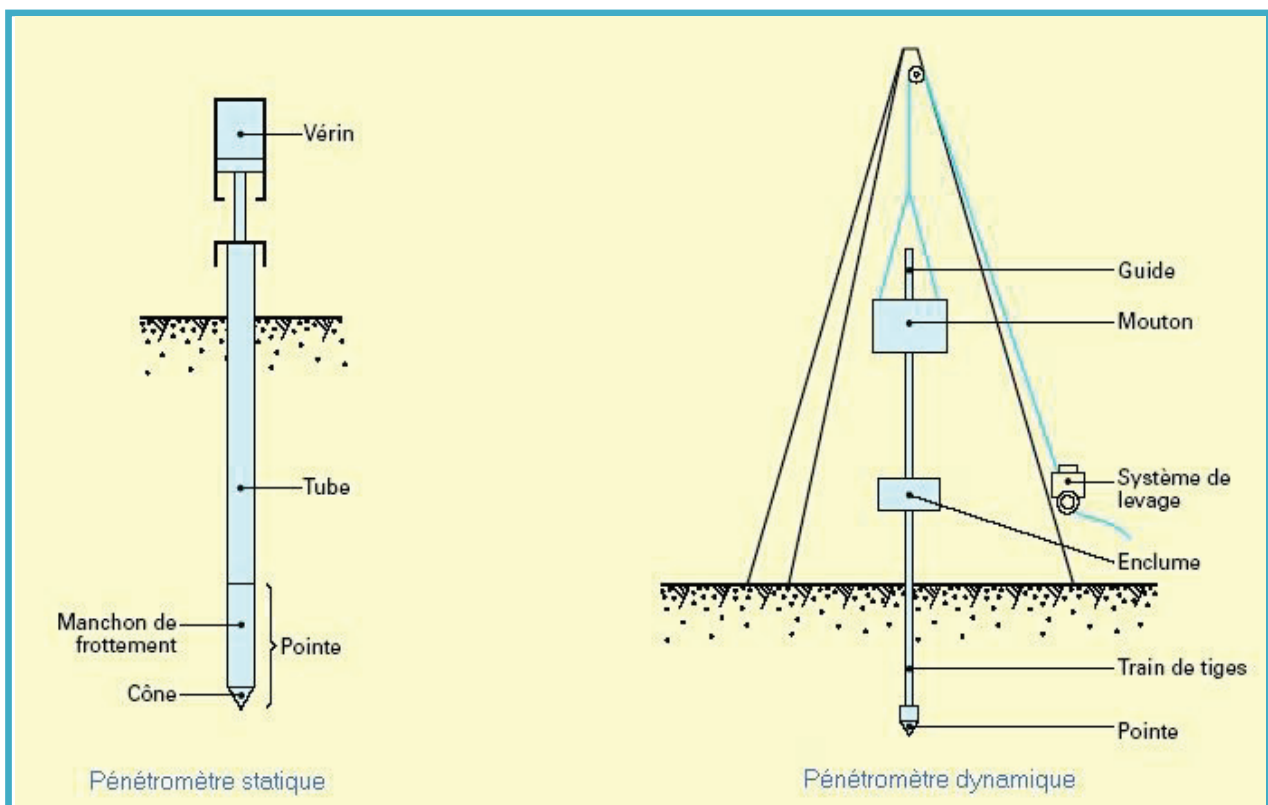


Figure I.1 Pénétromètre statique et Pénétromètre dynamique

I.4.1.2 Le pénétromètre statique

L'essai consiste d'enfoncer, à vitesse lente et constante (0,5 à 2 cm par seconde) des tiges munies d'une pointe à leur extrémité. Il est conçu pour mesurer le frottement latéral sur les tubes extérieurs qui entourent la tige centrale et les efforts de pointe développés par la résistance du sol.

La transmission des efforts reçus par la pointe peut être effectuée soit par des tiges (pénétromètre hollandais, Meurisse ou Andina), soit par un système hydraulique (pénétromètre Parez) jusqu'aux manomètres placés en surface. On peut également mesurer les efforts subis par la pointe du pénétromètre à l'aide de jauges de contrainte (pénétromètre électrique Fugro).

Les mesures sont effectuées à des profondeurs fixes, on continue selon le type de pénétromètre et le mode d'interprétation envisagé.

Dans le cas où l'appareil est muni d'un dispositif enregistreur on obtient directement la courbe des efforts en fonction de la profondeur. Dans le cas du pénétromètre à cône mobile, on arrête la pénétration pour agir sur le cône lors qu'on veut mesurer l'effort de pointe.

Les mesures obtenues d'un essai au pénétromètre statique permettent d'évaluer :

- Résistance à la pénétration
- L'effort total du frottement latéral
- Le frottement latéral
- Le rapport de frottement

Les essais exécutés à l'aide du pénétromètre statique sont de plus utilisés pour les reconnaissances des sols. A l'heure actuelle, les pénétromètres lourds permettent de reconnaître les terrains sur de grandes profondeurs, surtout s'ils possèdent un dispositif annexe de battage ou de forage qui rend possible la traversée des horizons très résistants tels que les couches de sable compact ou de gravier.

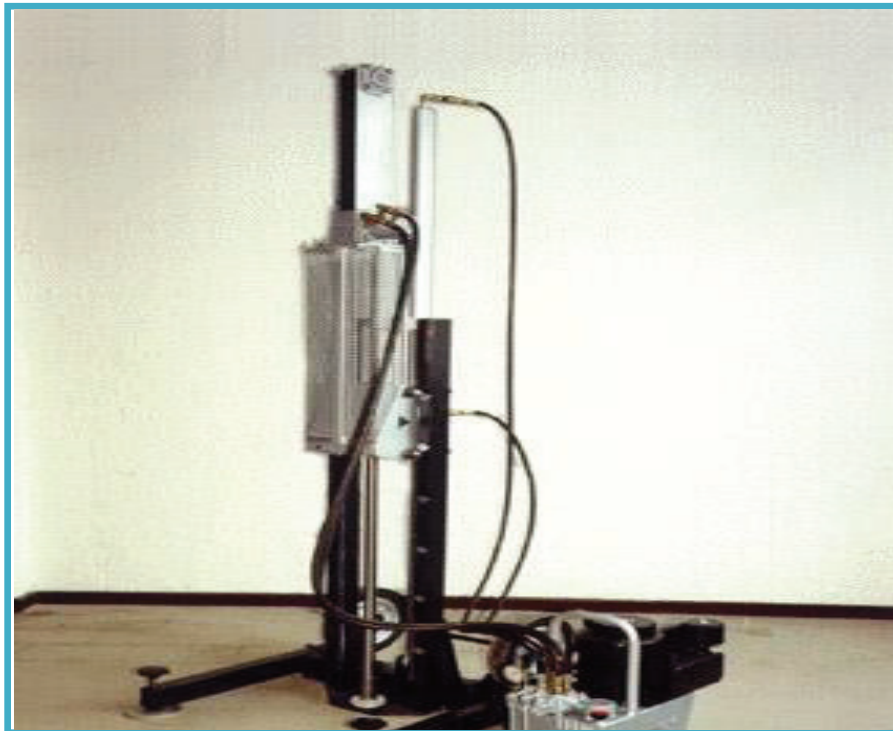


Figure I.2 : Penetrometre statique

I.4.1.3 Le Scissomètre

Cet essai consiste à mesurer dans les argiles molles saturées le couple de torsion nécessaire pour faire tourner un cylindre de terrain autour d'un axe de symétrie vertical au moyen de deux plaques rectangulaires, identiques, enfoncées préalablement dans la couche à étudier, formant quatre dièdres droits ayant pour arête commune verticale l'arbre de torsion.

Dans la rotation, un dynamomètre reliant les deux bras de rotation et mesure la force nécessaire pour assurer la rotation du moulinet. Le moulinet étant descendu à la profondeur désirée, on bloque le tubage de protection et on exerce sur les tiges d'entraînement un couple de torsion qui se transmet au moulinet. On mesure le couple de torsion en fonction de l'angle de rotation du moulinet enfoncé au fond d'un sondage. Les bords de la plaque engendrent une surface de révolution. Aucun drainage de l'eau n'est possible, l'essai donc doit être assimilé à un essai non drainé, et qui nous permet de mesurer de la cohésion.

I.4.1.4 Le Standard Pénétration Test (S.P.T)

L'essai a pour but de déterminer la cohésion et l'angle de frottement du sable, c'est un essai ancien qui a des applications très divers surtout dans les problèmes de liquéfaction des sables. Plusieurs abaques de calculs sont établis à partir de ces résultats.

Le principe de l'essai, consiste à exécuter un forage et on descend ensuite au fond du trou un carottier normalisé que l'on enfonce de 15 cm dans la couche à reconnaître. Le sondeur marque alors un repère sur les tiges et enregistre le nombre N de coups nécessaires pour enfoncer à nouveau le carottier sur une profondeur d'un pied (30 cm).

Il existe plusieurs facteurs qui peuvent influencer sur les valeurs obtenues pour N , en particulier

- L'état de surface intérieure du carottier dont les parties rouillées ou bosselées peuvent modifier considérablement le frottement dans les couches traversées ;
- L'affûtage du tranchant de la trosse coupante ;
- La forme et la surface des événements ;
- La position relative du fond du trou et du bord inférieur du tubage au début du battage ;
- La position de la nappe phréatique par rapport au niveau de l'essai ;
- Le temps écoulé entre le forage du trou et l'essai S.P.T ;
- La variation de la hauteur de chute du mouton ;
- Le manque de soin dans le compactage des coups ou la mesure de la pénétration ;
- L'emploi de tiges plus lourdes.

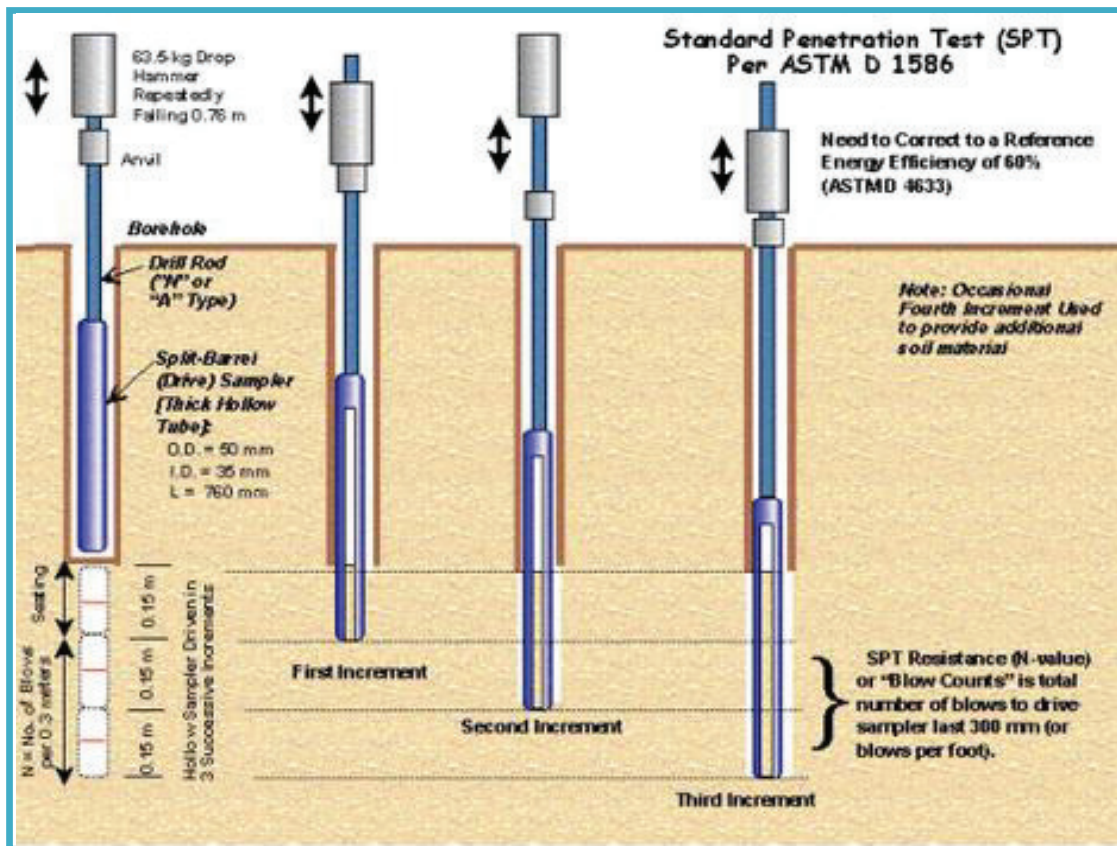


Figure I.3 : standard pénétration test SPT

I.4.1.5 Préssiomètre

L'essai consiste à effectuer une mise en charge latérale du terrain grâce à une sonde descendue dans un avant-trou (un forage) sensiblement de même diamètre avec les diamètres des carottiers, car il ne doit pas modifier les caractéristiques du sol. Cette sonde est dilatable radialement par application d'une pression interne croissante. L'équipement est constitué de trois cellules mise simultanément sous pression, la cellule centrale est utilisée pour mesurer le changement de volume, les cellules d'extrémités permettent de réduire l'effet des bords.

On détermine les déformations correspondantes, en mesurant la variation de volume du contrôleur pression-volume en fonction des pressions et du temps. Pour chaque pression on effectue une série de mesures de déformations volumétriques ; l'ensemble des résultats des mesures donne deux courbes qui sont

- La courbe préssiométrique obtenue, avec les pressions en abscisses et les déformations volumétriques en ordonnées,

Une courbe dite de « Fluage » obtenue en portant en abscisse les pressions et en ordonnées les déformations de fluages correspondantes

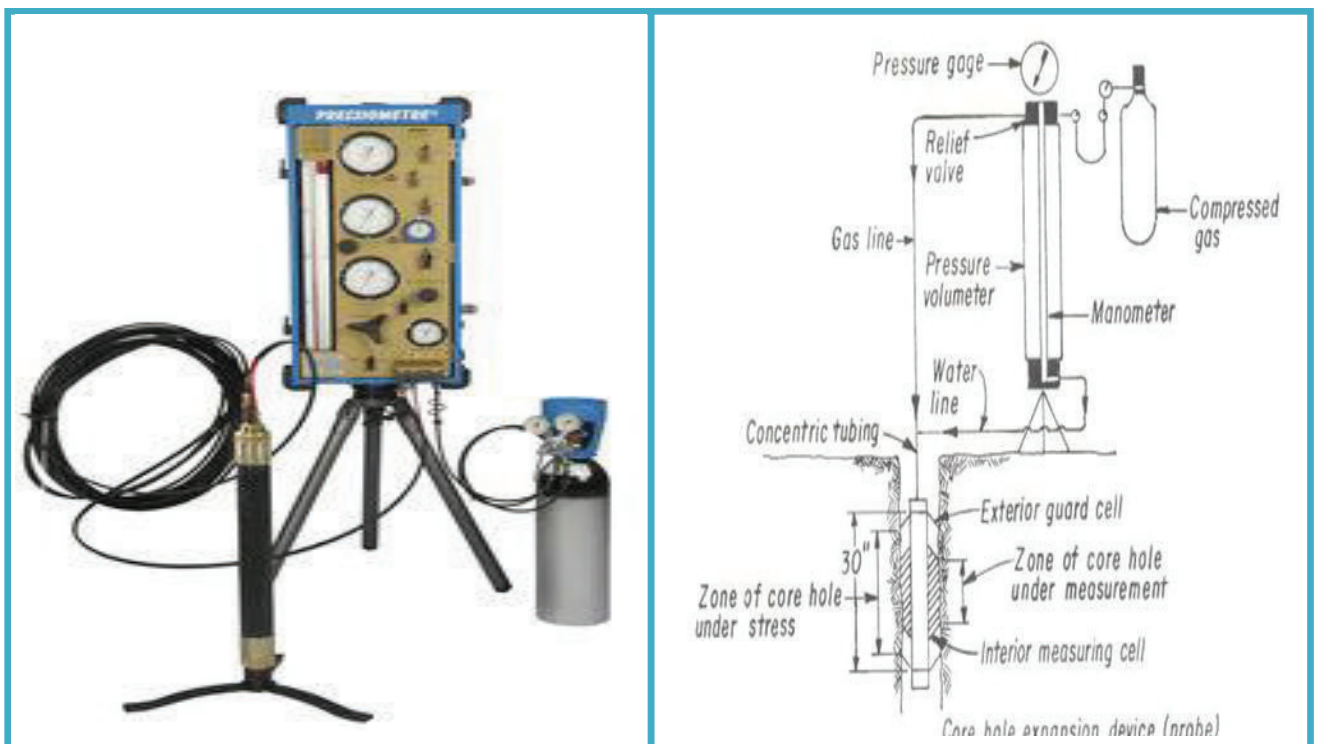


Figure I.4 Préssiomètre Menard

Tableau 1.2 avantages et inconvénients des essais

Méthode	Objectifs	Avantages	Inconvénients
Pénétromètre dynamique	-Déterminer la capacité portante du sol	-Rapide -Pas couteux	-Essai ne peut être effectué en cas des sols caillouteux -Ne va pas très profondément -Ne permet pas de classer le site selon les règlements parasismiques (RPA, RPOA)
Pénétromètre Statique CPT	-Résistance à la pénétration -L'effort total du frottement latéral -Le frottement latéral -Le rapport de frottement	-Atteindre des grandes profondeurs -Rapidité d'exécution -Résultats sur place - Résultats exacte en fonction de la profondeur - Ne permet pas de classer le site selon les règlements parasismiques (RPA, RPOA)	ne permet pas une reconnaissance visuelle du sol
Scissomètre	-mesurer la cohésion.	-le test est discontinu et ponctuel -Influencés par le type d'équipement et les modalités d'exécution.	- Ne va pas très profondément - utilisé que pour les sols cohérent
Standard pénétration Test SPT	-Déterminer la capacité portante du sol	-s'étend sur un test standard, sans dépenses excessives - s'effectue sur tout terrain - interprétation sûre du résultat	-le test est discontinu et ponctuel

I.4.2 Essais de laboratoire

I.4.2.1 Teneur en eau naturelle

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

I.4.2.2 Analyse granulométrique

Le but de l'essai d'analyse granulométrique est d'étudier la taille des particules solide et leur distribution et de mesurer l'importance relative de chacune des fractions de sol grenu, qui nous permettant de classer les différents sols grenus étudiés.

L'analyse granulométrique est la recherche du pourcentage des grains ayant un diamètre inférieur ou égale au diamètre d du tamis, qui va nous permettre de tracer la courbe granulométrique.

L'essai consiste à peser un poids (P) de l'échantillon de sol à l'aide d'une balance, et on place la série de tamis de haut en bas par celui ayant la grande ouverture vers la plus petite

On verse l'échantillon du sol dans le premier tamis (celui de grande ouverture), et on place la série de tamis dans la colonne de la tamiseuse, on laisse tamiser pendant dix minutes.

Après les dix minutes de tamisage, on pèsera le poids des refus de chaque tamis ainsi les passant du dernier tamis (celui de petit ouverture) , les résultats sont représentés dans le tableau qui nous permet de tracer la courbe granulométrique.

I.4.2.3 Les limites d'Atterberg

Le but de l'essai, c'est la détermination des teneurs en eau d'un sol à éléments fins, tel que la présence d'eau dans les vides d'une masse sol peut affecter le comportement de celle-ci. Afin d'étalonner et de comparer les comportements d'une masse d'argile, on définit des valeurs de teneurs en eau limites.

Les limites d'Atterberg servent à la classification des sols, à leur identification, et à caractériser les propriétés mécaniques des sols.

L'essai s'effectue en deux phases :

-Recherche de la limite de liquidité à l'aide de l'appareil de casagrande.

-Recherche de la limite de plasticité par formation de rouleaux de 3mm de diamètre.

L'appareil de casagrande se compose d'une coupelle qu'on peut lever à l'aide d'une manivelle à une hauteur bien précise et réglable.

La limite de liquidité est la limite inférieure de l'écoulement visqueux, elle correspond à la teneur en eau qui donne une fermeture de la rainure à 13mm (1/2 inch) après 25 chute du la coupelle

La limite de plasticité est la limite inférieure de plasticité, elle correspond à la teneur en eau pour laquelle le bâton de sol soigneusement roulé s'effrite à un diamètre de 3mm dont les segments obtenus ont une longueur de 1 à 2cm.



Figure I.5 : appareillage pour la limite d'atterberg

I.4.2.4 Les essais de cisaillement

Cet essai a pour but de déterminer la résistance au cisaillement direct d'un échantillon de sol consolidé, drainé ou non drainé (cisaillement rapide de sols cohérent). L'échantillon est placé dans une cellule de section circulaire ou carrée. Une charge verticale d'intensité P est appliquée à l'échantillon. Dans le cas d'un sol excessivement compressible, la charge P est appliquée par incréments afin d'éviter l'extrusion de l'échantillon.

Le cisaillement de l'échantillon est effectué par application d'un effort horizontal T . Cet effort T est appliqué généralement via une procédure à déformation contrôlée. Le choix de la vitesse des déformations est dicté par la considération des déformations des conditions de drainage. En plus de la mesure systématique lors de l'essai de l'effort horizontal T et de la déformation horizontale, il est nécessaire de mesurer la déformation verticale.

Les courbes expérimentales (déformation horizontale, contrainte de cisaillement) et (déformation verticale, contrainte de cisaillement) sont exploitées lors de l'interprétation des résultats. Les valeurs des contraintes normales et La résistance maximale au cisaillement sont définies dans le plan de rupture.

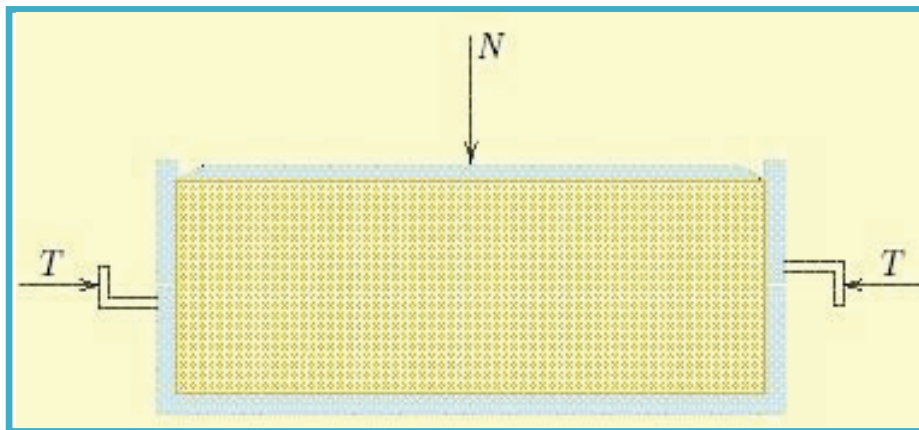


Figure I.6 : la boîte de Casagrande

Essai Triaxial

L'essai triaxial a été développé par Casagrande. Vers les années 1930, pour réduire les inconvénients constatés lors de l'essai de cisaillement. C'est un essai qui s'effectue sur une éprouvette cylindrique de rapport hauteur-diamètre d'environ deux. Les directions principales sont connues durant l'essai. En outre l'essai peut permettre un contrôle du chemin des Contraintes.

Le choix de la vitesse de cisaillement est effectué sur la base des conditions de drainage et des caractéristiques du sol. Lors d'un essai drainé, il est nécessaire que la pression interstitielle soit proche de zéro pour que les mesures du changement de volume soit représentative.

Lors d'un essai non drainé. Il est nécessaire d'assurer une uniformité des pressions interstitielle à l'intérieur de l'échantillon.

Les résultats d'un essai triaxial permettent de tracer deux courbes qui permettent d'obtenir les caractéristiques de résistance de Coulomb-Mohr, et de mieux apprécier le comportement du sol.

1.4.2.5 Les essais de compactage

Ils ont pour but d'étudier l'influence de la teneur en eau d'un échantillon de sol sur le poids volumique sec de cet échantillon soumis à une énergie de compactage déterminée.

Le principe consiste à compacter avec une énergie définie un échantillon de sol remanié dans un moule normalisé et à mesurer le poids volumique sec obtenu. L'essai est recommencé pour différentes teneurs en eau. Il existe deux types d'essai d'usage courant : l'essai Proctor Normal et l'essai Proctor Modifié

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

1.4.2.6 L'essai œdométrique

L'essai œdométrique a pour but de déterminer certains paramètres qui permettent la détermination du comportement de sols. L'essai de compression unidimensionnel au laboratoire est effectué dans une cellule œdométrique.

L'essai simule la compression des sols sous des charges externes. L'échantillon de sol est placé dans un anneau métallique de rapport diamètre-hauteur variant de 2.5 à 5.0. On distingue deux types de cellules œdométrique - une cellule œdométrique à anneau fixe et une cellule œdométrique à anneau flottant. Dans l'œdomètre à anneau fixe, le drainage à la base de l'échantillon peut être contrôlé, ce qui permet d'effectuer des essais de perméabilités sur ce type d'œdomètre.

L'essai permet de mesurer soigneusement l'évolution de la déformation jusqu'à ce que l'échantillon atteigne un état d'équilibre. L'état d'équilibre correspond à l'état où l'excès des pressions interstitielles est nul.

Les équilibres obtenus pour les différents paliers de charges permettent de tracer la courbe expérimentale (contraintes-déformations). Les résultats de l'essai peuvent être représentés comme suit :

- Pourcentage de consolidation ou de déformation verticale en fonction de la contrainte effective.
- Indice des vides fonction de la contrainte effective.

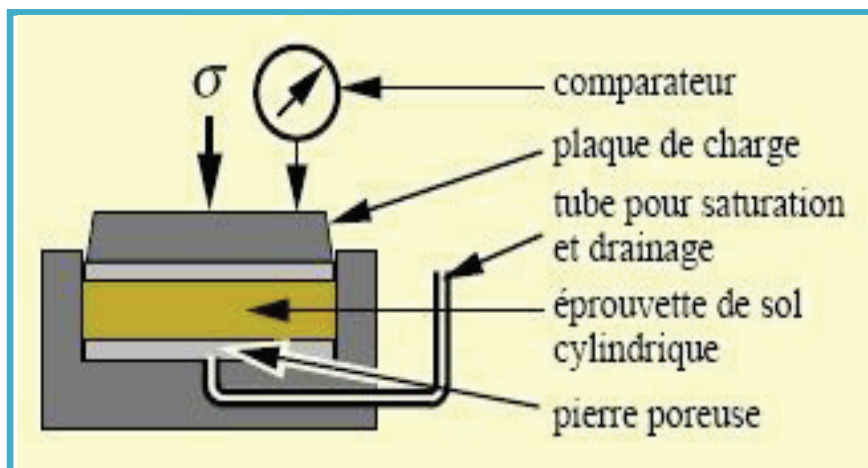


Figure I.7 : L'essai œdométrique

I.4.2.7 Hydrogéologie

Etant donné le rôle primordial que joue l'eau dans les instabilités de pentes, l'étude hydrogéologique est très importante. Elle a pour but de connaître la répartition des pressions interstitielles dans le sol, leur évolution dans le temps et, en prévision de la réalisation d'un drainage, le fonctionnement des nappes (sens des écoulements, alimentation...). Les techniques utilisées sont la piézométrie, le repérage des niveaux d'eau dans les puits, les mesures de débits de sources, le recueil des données météorologiques. Le suivi de ces paramètres doit se faire pendant une année au minimum, afin de disposer d'une image représentative des conditions hydrogéologiques du site.

I.4.2.1.1 Mesure du coefficient de perméabilité k sur le terrain

Les mesures se font généralement sur le terrain par deux types d'essais.

I.4.2.1.1.1 L'essai ponctuel

Pour les formations meubles ou peu consolidées, on l'appelle essai Lefranc. Il est exécuté habituellement en même temps que le sondage. Il consiste à injecter ou à pomper de l'eau à débit constant Q dans une cavité limitée par la paroi du sondage et à la partie supérieure par un bouchon étanche. On crée ainsi une variation de charge dans la cavité. Lorsque le régime d'équilibre est atteint, on a la relation simple : $Q = k.C.h$ avec C : coefficient qui dépend de la forme de la cavité. Pour une meilleure précision, on pompe et injecte à plusieurs débits.

L'essai Lefranc est rapide à réaliser, mais le volume intéressé est faible (5 m autour de la cavité), donc la précision sur la perméabilité est également faible. Pour obtenir une valeur correcte, il est nécessaire de réaliser de nombreux essais sur un site pour avoir une valeur moyenne.

I.4.2.1.1.2. L'essai de pompage

On réalise un puits de diamètre suffisant pour descendre une pompe ou une crépine jusqu'au mûr imperméable. Autour de ce puits, on pose des piézomètres. On pompe à débit constant et l'on suit le rabattement dans le puits et les piézomètres. On obtient pour chaque piézomètre, une valeur de k (perméabilités) et S (coefficient d'emmagasinement).

Après l'arrêt du pompage, on enregistre la remontée de la nappe dans les piézomètres, ce qui permet de calculer la perméabilité du terrain d'une manière plus facile que la descente.

L'essai de pompage donne une valeur moyenne de la perméabilité dans un volume très grand. La précision obtenue est de l'ordre de 10%.

I.4.2.1.2 Mesure du coefficient de perméabilité en laboratoire

Le coefficient de perméabilité des sols peut être mesuré en laboratoire, sur des échantillons de petit volume (quelques centaines de centimètres cubes). Ces essais sont habituellement effectués sur des éprouvettes de sol homogène, taillées dans les carottes prélevées sur le terrain. La mesure directe de la perméabilité des sols en laboratoire s'effectue selon deux procédures, dites « à charge constante » et « à charge variable ». Les essais à charge constante sont mieux adaptés aux sols de forte perméabilité et les essais à charge variable aux sols de faible perméabilité.

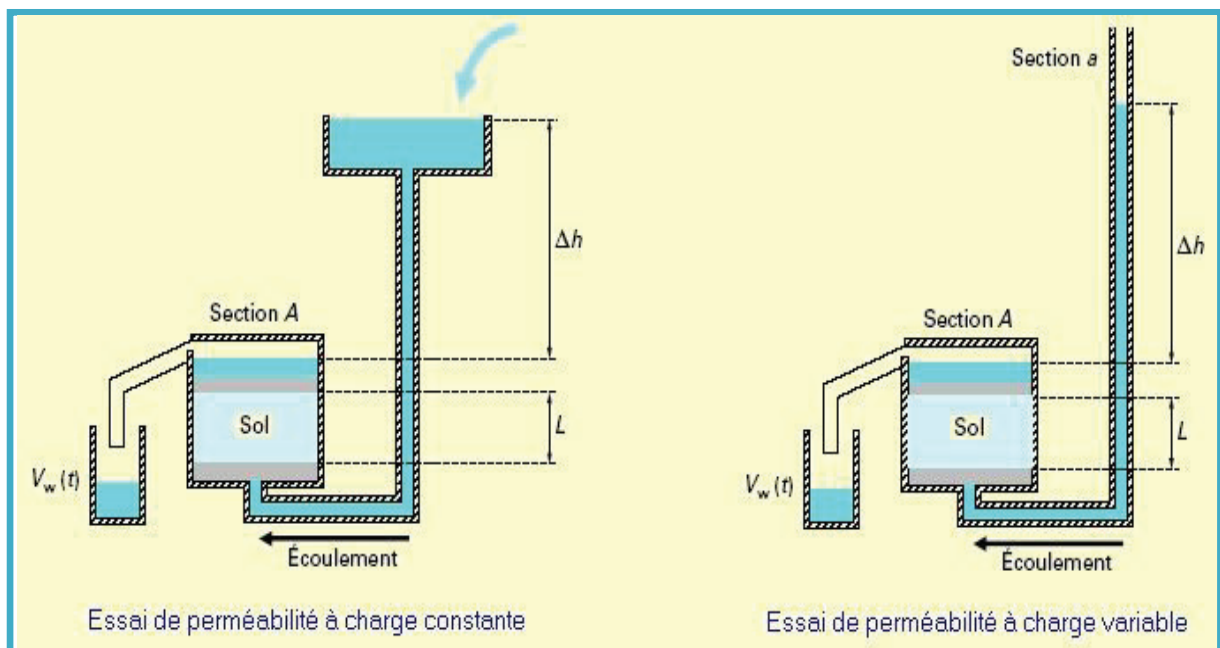


Figure I.8 : essai de perméabilité

II.1 Introduction :

Etudier la **corrélation** entre deux ou plusieurs paramètres des sols, c'est mesurer le degré de ressemblance ou étudier l'intensité de la liaison qui peut exister entre ces paramètres, d'où un paramètre peut prédire un autre en se basant sur la relation qu'elle les lie. Disposer des relations fiables entre les propriétés physiques et mécaniques des sols pour compléter les résultats des reconnaissances géotechniques est un vieux rêve de tous les ingénieurs géotechniciens et de nombreuses relations ou corrélations ont été proposées jusqu'à présent pour des types de sols particuliers ou pour application générale..

II.2 Autocorrélation

Décrit l'évolution du paramètre étudié autour de sa valeur moyenne estimée. Elle permet de caractériser la vitesse locale de variation des paramètres dans le sol.

En pratique, le calcul de la fonction d'autocorrélation suppose l'existence d'un pas régulier de mesure, Il convient aussi de respecter certaines règles pratiques pour garantir la représentativité des résultats trouvés :

- le nombre de couples de valeurs analysés doit être assez élevé ($n > 25$),
- la distance d'autocorrélation doit être inférieure au quart de la plus grande distance étudiée et au moins égale au plus petit pas d'observation des données.

L'analyse des fonctions d'autocorrélation pour les propriétés géotechniques des sols du site de confirme globalement les conclusions obtenues sur d'autres sites.

II.3 Origine des relations et corrélations dans les sols

s'il est difficile, voire impossible, de donner une justification théorique quantitative de l'existence de relations entre les propriétés d'un massif de sol naturel, il est facile d'admettre que les différents paramètres d'un sol doivent avoir des relations : la déformabilité comme la résistance au cisaillement ou la perméabilité dépendent à l'évidence de la forme et de la nature des particules, de la densité de leur empilement, de la quantité d'eau présente dans les pores... de plus, à l'intérieur d'une même catégorie de paramètres, par exemple les paramètres de résistance, il existe à l'évidence des relations entre les paramètres mesurés dans les différents types d'essais en

place ou en laboratoire, même si l'on ne peut pas les exprimer de façon explicite. et si les paramètres de résistance dépendent des mêmes propriétés physiques que les paramètres de déformabilité, il doit également exister des relations entre ces deux catégories de paramètres... cette réflexion purement qualitative est confirmée par l'expérience : il existe effectivement, dans chaque dépôt de sols, des relations entre les paramètres géotechniques, ainsi que des relations plus générales, valables pour un type de sol, ou même pour plusieurs types de sols.

Si l'on poursuit l'analyse des relations qui peuvent exister entre les propriétés géotechniques d'un sol, on est conduit à distinguer trois types de relations :

— les relations mathématiques exactes, qui existent par exemple entre les paramètres décrivant l'état du sol. On peut illustrer ce type de relations par toutes les formules mathématiques reliant

- l'indice des vides e et la porosité n :

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

- la teneur en eau w , le poids volumique du sol γ et le poids volumique du sol sec γ_d :

$$\gamma = \gamma_d (1 + w)$$

—Les lois d'évolution en fonction de la profondeur, dues à l'effet de la pesanteur et dont l'origine est liée à l'augmentation des contraintes quand on s'enfonce dans le sol. Par exemple, dans les dépôts homogènes de sols fins dont l'état s'est stabilisé, les contraintes effectives, pressions de préconsolidation, modules et résistances augmentent avec la profondeur ;

—les relations empiriques (ou corrélations) entre propriétés d'un même volume élémentaire de sol, par exemple la porosité et le coefficient de perméabilité, l'indice de densité d'un sable et son angle de frottement interne, la pression de préconsolidation et la cohésion non drainée d'une argile, etc.

Ces relations, qu'il n'est possible de caractériser que de façon statistique, s'expliquent par la raison déjà citée que toutes les propriétés d'un même empilement de particules évoluent de façon coordonnée et traduisent l'existence d'une loi de comportement générale pour chaque grande classe de sol.

II.4 DOMAINE D'UTILISATION DE LA CORRELATION

Dans la pratique de la mécanique des sols, les corrélations entre paramètres sont utilisées comme moyen de contrôle des résultats des essais en place et en laboratoire, et comme moyen de fabrication de valeurs complémentaires de certains paramètres en fonction des autres.

Par exemple, sur un site donné, on peut analyser la relation entre deux paramètres mesurés sur une même carotte de sol (indice des vides e et indice de compression C_c , etc.) ou mesurés en place dans le même essai (module pressiométrique E_M et pression limite pressiométrique p , etc.) et détecter les variations de la nature ou de l'histoire des sols d'après les modifications de leurs relations. Dans un tel cas, les corrélations servent d'outil de contrôle de l'homogénéité des sols (ou de la qualité des essais, si l'on sait de façon certaine que le sol est le même que celui qui a servi à établir la corrélation).

On utilise aussi les corrélations pour estimer certaines propriétés des sols (souvent, des propriétés mécaniques) en fonction des caractéristiques qui ont été mesurées (souvent, des propriétés physiques, comme la densité ou la teneur en eau). On peut ainsi, lors des études préliminaires et dans certaines situations de projets, disposer de valeurs des paramètres nécessaires au dimensionnement des ouvrages sans les avoir déterminées par des essais.

Les conditions d'utilisation de corrélations dans les études géotechniques dépendent de la fiabilité des corrélations utilisées. Certains paramètres sont liés, à l'intérieur d'une couche de sol d'un site déterminé, par des relations proches d'une relation mathématique exacte. Par contre, si l'on analyse simultanément des données provenant de deux sites, pour des sols de même nature, on trouve en général que les valeurs des paramètres sont plus

dispersées, et cette dispersion augmente quand le nombre de sites s'accroît et quand on regroupe des données relatives à différents types de sols. Les erreurs expérimentales, lors de la détermination des paramètres qui servent à établir les corrélations, exercent également une influence défavorable sur la qualité des corrélations obtenues. Il est, pour cette raison, indispensable de connaître l'origine des corrélations que l'on envisage d'utiliser dans le cadre d'une étude géotechnique, et d'être conscient de la variabilité possible des paramètres autour de leur relation moyenne affichée, notamment quand les corrélations ont été établies entre des fonctions logarithmiques des paramètres

II.5 COEFFICIENT DE CORRÉLATION LINÉAIRE.

Le coefficient de corrélation linéaire de Bravais-Pearson, appelé souvent simplement coefficient de corrélation, est une mesure de la liaison entre les paramètres. Avant d'en préciser les propriétés et les limites, nous introduisons la notion de covariance

II.5.1 COVARIANCE.

Définition : on appelle covariance $Cov(x, y)$ de la série (x_i, y_i) la moyenne des produits de la forme $(x_i - m_x)(y_i - m_y)$:

Propriété :

la covariance est égale à la moyenne des produits moins le produit des moyennes.

$$Cov(x,y) = 1/n \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)(y_i - m_y)$$

Ou bien $Cov(x,y) = E[(x-E(x)) x (y-E(y))]$

La covariance est un paramètre statistique difficile à interpréter : comment évaluer la taille de ce paramètre ? A partir de quelle valeur peut-il être considéré comme « grand », ou « petit » ? Comment comparer deux covariances calculées sur des données totalement différentes ? La difficulté de répondre à ces questions est due en particulier au fait que la covariance dépend des unités de mesure choisies pour observer les séries (x_i) et (y_i) . Pour cela on fait appel à la notion de coefficient de corrélation

Formule : le coefficient de corrélation linéaire noté $r(x, y)$ est égal à :

$$r(x, y) = \frac{cov(x,y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y}$$

σ_x : écart type des x_i

σ_y : écart type des y_i

Le coefficient de corrélation est du même signe que la covariance et indépendant des unités de mesures. Nous verrons qu'il est compris entre -1 et 1 . On peut donc comparer deux coefficients de corrélation calculés sur des données statistiques différentes

II.5.2 PROPRIETES MATHÉMATIQUES DU COEFFICIENT DE CORRELATION LINEAIRE.

Propriété fondamentale : le coefficient de corrélation linéaire d'une série de couples d'observations (x_i, y_i) $i = 1, \dots, n$ est compris entre -1 et 1 . S'il est égal à ± 1 , les couples (x_i, y_i) $i = 1, \dots, n$ vérifient exactement une relation linéaire de la forme :

quel que soit $i = 1, \dots, n$ $a x_i + b y_i + c = 0$ où a et b sont deux nombres réels constants et les points qui les représentent sont strictement alignés.

En fait, le coefficient de corrélation linéaire possède des propriétés mathématiques fondamentales analogues à celles du cosinus d'un angle.

La propriété fondamentale précédente est connue sous le nom d'inégalité de Schwarz

Dépendance

il est toujours possible de calculer un coefficient de corrélation (sauf cas très particulier) mais un tel coefficient n'arrive pas toujours à rendre compte de la relation qui existe en réalité entre les variables étudiées. En effet, il suppose que l'on essaye de juger de l'existence d'une relation linéaire entre nos variables. Il n'est donc pas adapté pour juger de corrélations qui ne seraient pas linéaires et non linéarisables. Il perd également de son intérêt lorsque les données étudiées sont très hétérogènes puisqu'il représente une relation moyenne et que l'on sait que la moyenne n'a pas toujours un sens, notamment si la distribution des données est multi modale. Si les deux variables sont totalement **indépendantes**, alors leur corrélation est égale à 0 . La **réciprocité** est cependant fautive, car le coefficient de corrélation indique uniquement une dépendance **linéaire**. Supposons que la variable aléatoire X soit uniformément distribuée sur l'intervalle $[-1;1]$, et que $Y = X^2$; alors Y est complètement déterminée par X , de sorte que X et Y ne sont pas indépendants, mais leur corrélation vaut 0 .

II.5.3 INTERPRÉTATION DU COEFFICIENT DE CORRELATION

L'interprétation du coefficient de corrélation linéaire n'est pas aussi facile qu'on le croit généralement :

- Plus il est proche de 1 ou de -1, plus les points sont proches d'une droite. S'il est égal à ± 1 , donc il s'agit d'une bonne ressemblance
- pour préciser une valeur à partir de laquelle on peut considérer le coefficient comme proche de 1 ou de -1, on utilise une table statistique (paragraphe 3.3).
- on peut obtenir des coefficients de corrélation très proches de 1 (0.95) sur des données non linéaires (par exemple, des données de la forme $y = e^x$).
- on peut obtenir des coefficients de corrélation nuls sur des données liées par une relation non linéaire exacte

Nous donnons ci-dessous trois schémas caractéristiques des valeurs du coefficient de corrélation dans le cas d'une liaison linéaire.

- ✓ Lorsque le coefficient de corrélation est proche de 1, les observations dans les quadrants I et III sont beaucoup plus nombreuses que dans les quadrants II et IV et sont presque alignées le long d'une droite appelée axe principal

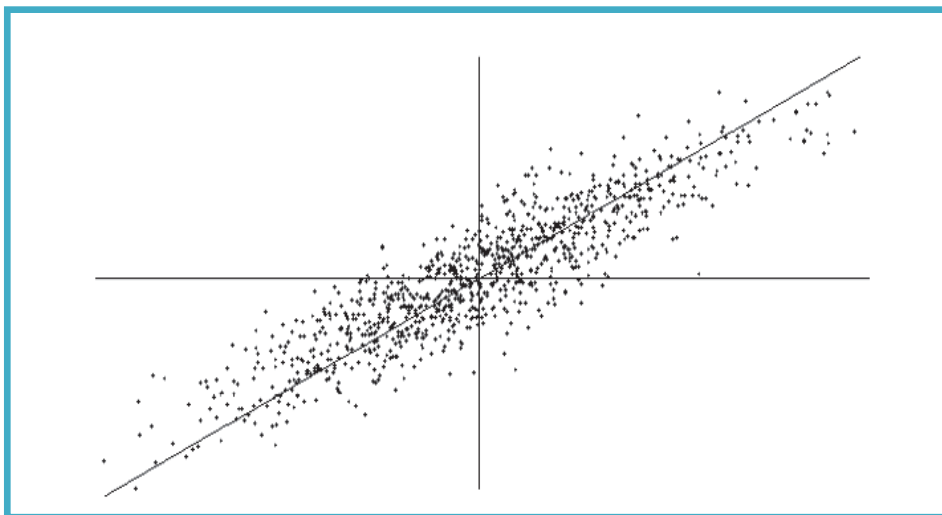


Figure II.1 : coefficient de corrélation proche de 1

- ✓ Lorsque le coefficient de corrélation est proche de -1 : les observations sont plus nombreuses dans les quadrants II et IV et sont moins bien alignées. L'axe principal apparaît encore assez nettement.

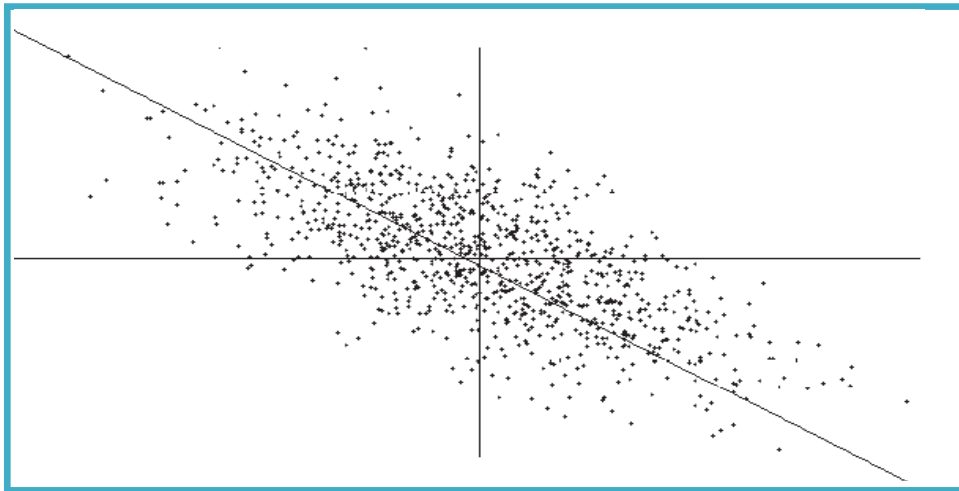


Figure II.2 : coefficient de corrélation proche de -1

- ✓ Lorsque le coefficient de corrélation est très proche de 0 et l'axe principal n'apparaît plus.
Les observations sont réparties de façon uniforme dans les quatre quadrants

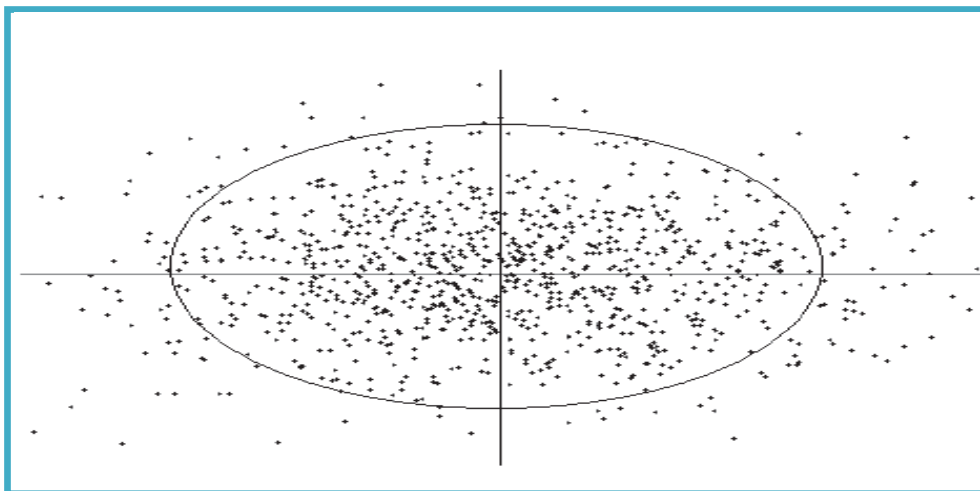


Figure II.3 coefficients de corrélation proche de 0

II.6 DROITE DE REGRESSION

Calculer le coefficient de corrélation entre 2 variables *numériques* revient à chercher à résumer la liaison qui existe entre les variables à l'aide d'une droite. On parle alors d'un **ajustement linéaire**.

Comment calculer les caractéristiques de cette droite ? En faisant en sorte que l'erreur que l'on commet en représentant la liaison entre nos variables par une droite soit la plus petite possible. Le critère formel le plus souvent utilisé, mais pas le seul possible, est de minimiser la somme de toutes les erreurs effectivement commises au carré. On parle alors d'ajustement selon la **méthode des moindres carrés** ordinaires. La droite résultant de cet ajustement s'appelle une droite de régression. Plus la qualité globale de représentation de la liaison entre nos variables par cette droite est bonne, et plus le coefficient de corrélation linéaire associé l'est également. Il existe une équivalence formelle entre les deux concepts.

III.1 Introduction :

De très nombreuses corrélations ont été publiées pour les propriétés des sols. Beaucoup d'entre elles n'existent que sous la forme d'une relation entre paramètres, sans accès possible aux données étudiées ni même d'indication du coefficient de corrélation correspondant, et il convient d'être prudent quand on les utilise.

Nous nous limiterons ici à quelques exemples de corrélations entre les paramètres des sols déterminés en place et en laboratoire pour lesquels les données expérimentales seront présentées en même temps que les fonctions de régression entre les paramètres.

III.2 Relation entre la compressibilité et la teneur en eau des tourbes

La durée importante des essais oedométriques conduit à utiliser, chaque fois que c'est possible, des corrélations avec des paramètres de détermination plus rapide, comme la teneur en eau, pour compléter la caractérisation des sols compressibles sur les sites de projets de grande ampleur. Il existe, pour cette raison, de nombreuses corrélations entre ces paramètres. L'exemple présenté sur la figure III.1 concerne différentes tourbes de Normandie

Les figures III.1a et b montrent les relations observées sur deux sites, relations assez marquées et pratiquement linéaires, mais nettement différenciées d'un site à l'autre. Les figures III.1c et d rassemblent tous les points disponibles sur les sites de tourbes de la région : on observe que les relations linéaires prévalant sur chaque site disparaissent au profit d'un nuage de points dont la meilleure approximation n'est pas linéaire (figure III.1c), mais exponentielle (figure III.1d), avec une corrélation nettement moins forte. En pratique, l'utilisation de corrélations est donc très recommandable au niveau d'un site, mais l'est moins si l'on passe d'un site à un autre.

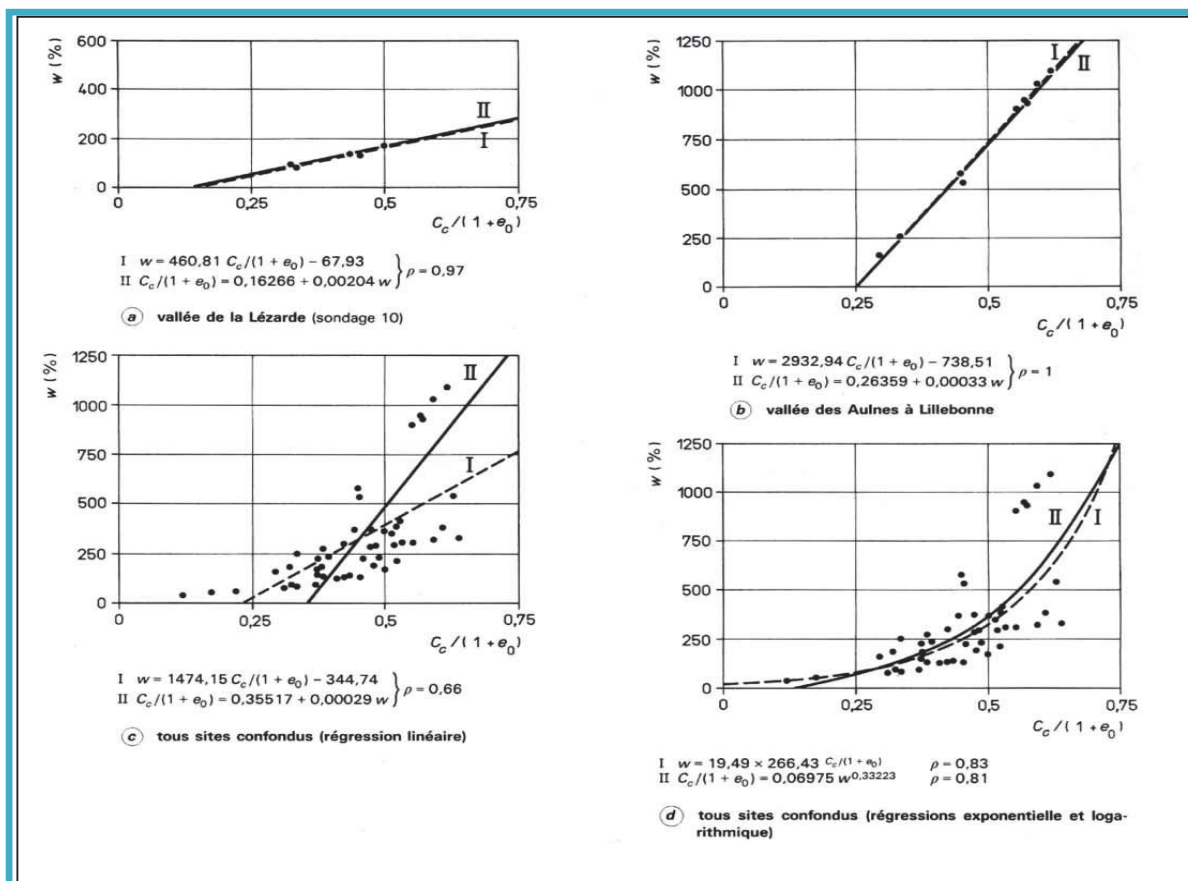


Figure III.1 relation entre la teneur en eau et la compressibilité

III.4 Relation entre la perméabilité et l'indice des vides des argiles effectuée par Vidalie

Il est généralement admis que le coefficient de perméabilité k des argiles est lié à l'indice des vides e par une relation de la forme

$$\Delta e = C_k \Delta(\lg k)$$

Le coefficient C_k de cette relation est lui-même lié à l'indice des vides initial du sol e_0 , comme on le voit sur les figures III.2 *a*, *b* et *c*.

On observe, dans ce cas, que les différences entre les droites de régression linéaire sont peu importantes, avec des coefficients de corrélation élevés dans chaque cas. Une telle corrélation peut donc, à la différence des précédentes, être utilisée sur des sites autres que ceux où elle a été établie.

III.5 Relation entre la limite de liquidité et l'indice de compression des vases effectuée par Vidalie

La figure III.3 présente les droites de régression obtenues par Vidalie [10] entre la limite de liquidité w_L et l'indice de compression C_c de sols fins organiques (vases) d'origines variées. La droite d'équation $C_c = 0,009 (w_L - 10)$ est celle donnée par Terzaghi pour représenter le comportement moyen des argiles. Cette fois aussi, le coefficient de corrélation est élevé et la relation obtenue peut être considérée comme assez fiable.

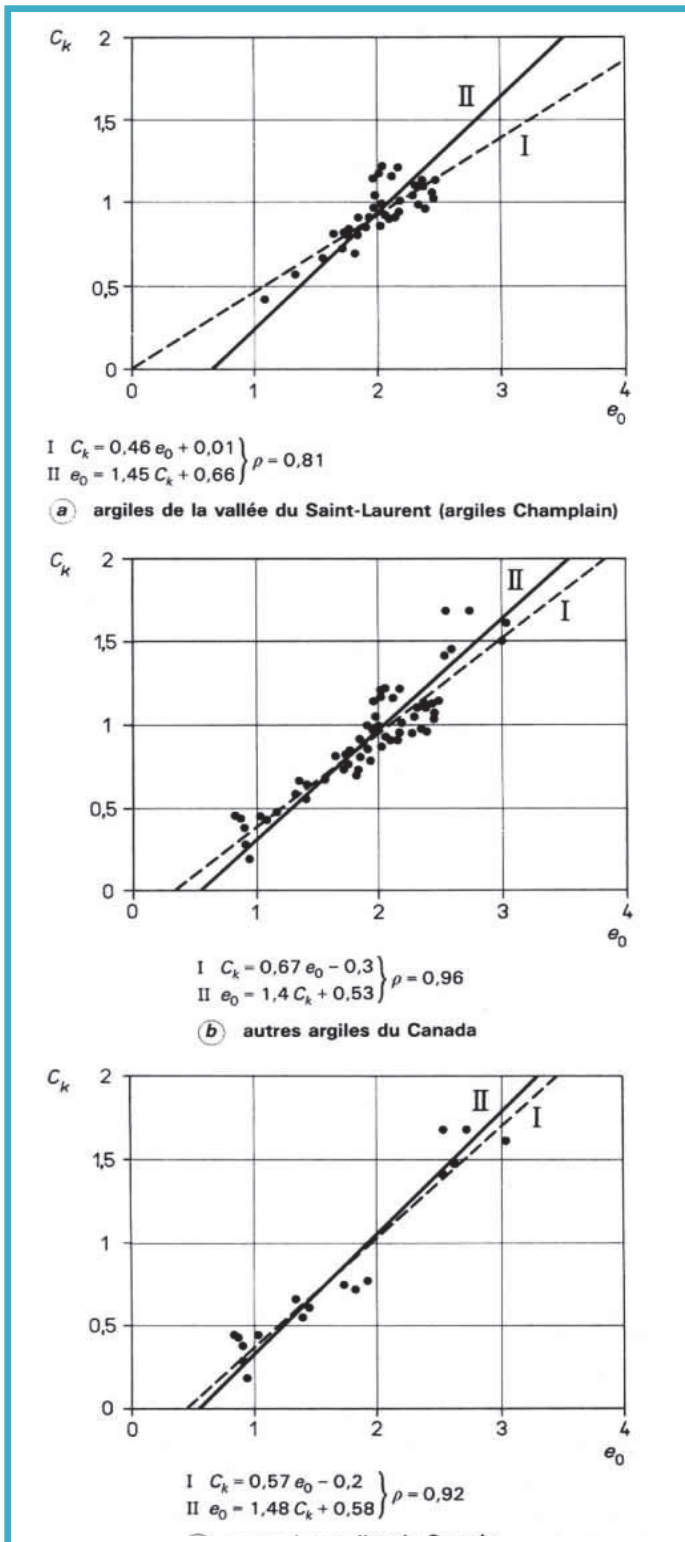


Figure III.2 Relations entre le taux de variation de la perméabilité C_k et l'indice des vides initial e_0 des argiles du Canada

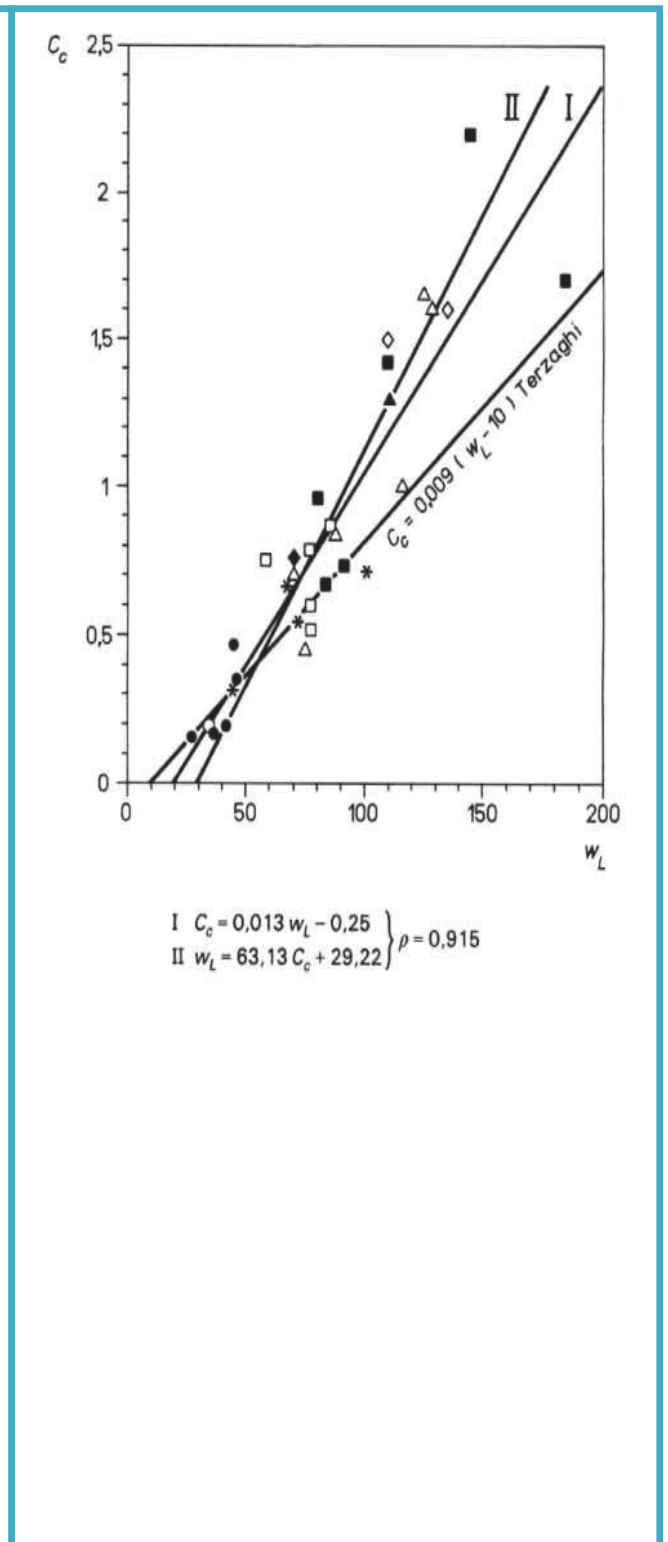


Figure III.3 Relations entre la limite de liquidité w_L et l'indice de compression C_c

III.6 Relation entre la pression limite pressiométrique et la résistance de cône au pénétromètre statique publiés par CASSAN

Les figures III.4 et III.5 montrent les relations existant entre la pression limite nette pressiométrique

$(p_l - p_0)$ et la résistance de cône déterminée au pénétromètre statique q_c , pour deux ensembles de données publiés par Cassan [3]. Pour les sables de Dunkerque (figure III.4), la relation entre les deux paramètres, bien que différente suivant le sens dans lequel on la recherche, est associée à un coefficient de corrélation assez élevé. Pour les argiles (figure III.5), de provenances diverses, les points sont beaucoup plus dispersés dans le graphique et la qualité de la corrélation est plus faible.

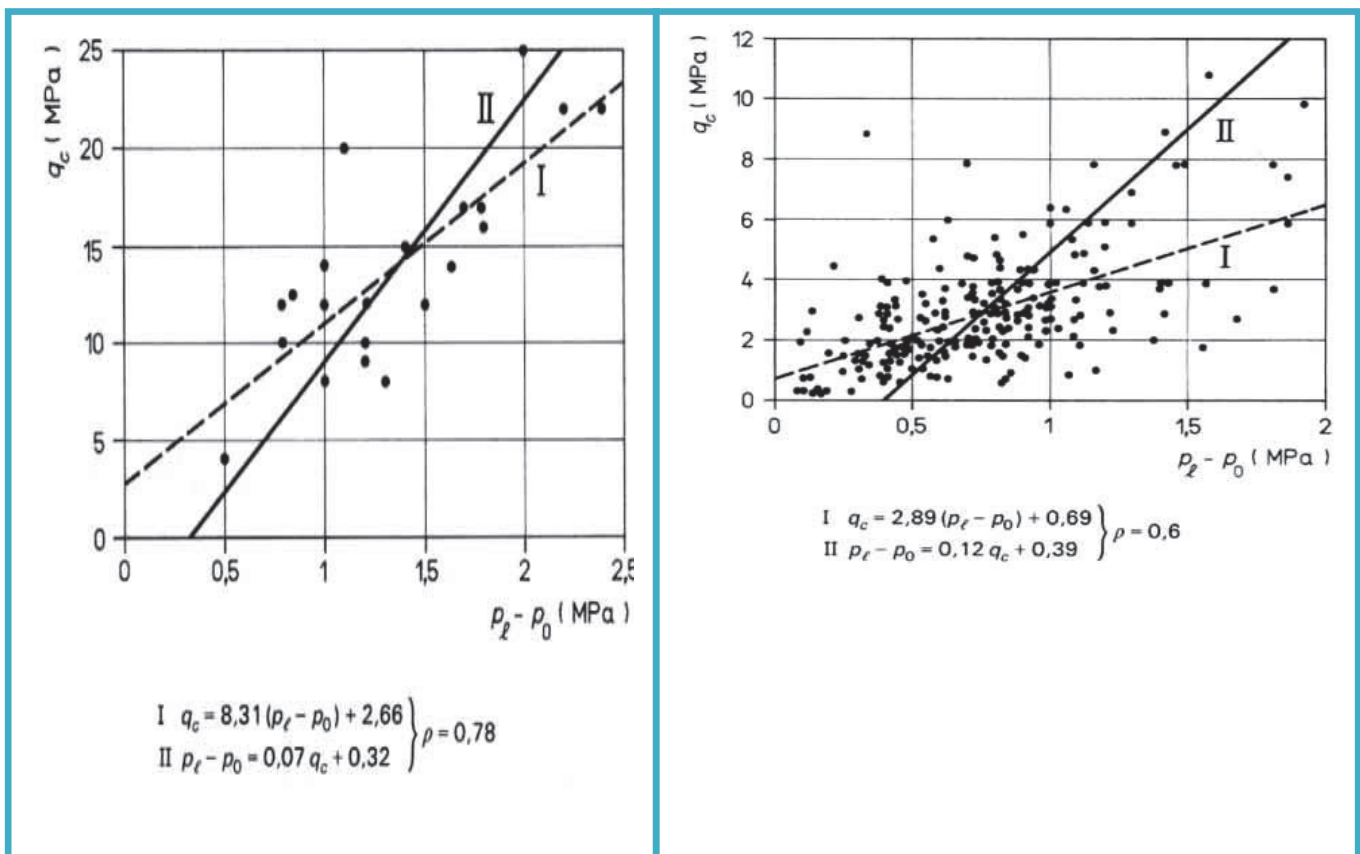


Figure III.4 Relations entre la pression limite nette pressiométrique $(p_l - p_0)$ et la résistance de cône statique q_c pour les sables de Dunkerque

Figure III.5 Relations entre la pression limite nette pressiométrique $p_l - p_0$ et la résistance de cône statique q_c pour des argiles de provenances diverses

IV.1.1 Introduction :

Notre étude s'est basée sur des données prises de l'étude géotechnique pour lot route (tronçon de la wilaya de Tébessa) de la rocade autoroutière des hauts plateaux



Figure IV.1 PRESENTATION DU SITE [agence nationale des autoroutes]

IV.1.2 LOCALISATION DE QUELQUES SONDAGES :

N°	localisation PK	coordonnées	
		x	y
TSC-1	11+300	378 130	3 917 856
TSC-2	11+950	378 779	3 917 819
TSC-3	23+850	390 547	3 916 308
TSC-4	32+950	398 387	3 917 466
TSC-5	33+050	398 365	3 917 594
TSC-6	35+800	400 830	3 918 689
TSC-7	36+450	401 376	3 919 059
TSC-08	37+200	401 856	3 919 649
TSC-09	37+500	401 916	3 919 954

IV.1.3 résultats des sondages :

N°	localisation PK	Profondeur	Description
TSC-1	11+300	0,0 - 3,0 3,0 - 4,5 4,5 - 9,5 9,5 - 10	Alternance calcaire blanc et graviers Calcaires Alternance calcaire et tuf Marne
TSC-2	11+950	0,0 - 0,3 0,3 - 10,0	Terre végétale. Alternance calcaire blanc et graviers
TSC-3	23+850	0,0 - 1,5 1,5 - 3,5 3,5 - 10,0	Tuf Argile tufacée Argile
TSC-4	32+950	0,0 - 1,2 1,2 - 6,0	Débris de calcaire Calcaire
TSC-5	33+050	0,0 - 1,7 1,7 - 10	Argile tufacée Calcaire
TSC-6	35+800	0,0 - 2,0 2,0 - 3,0 3,0 - 4,0 4,0 - 10	Graviers marneux Tuf Marne Marne
TSC-7	36+450	0,0 - 0,5 0,5 - 4,5 4,5 - 9,0 9,0 - 10	Terre végétale. Argile Argile marneuse Marne argileuse
TSC-11	38+500	0,0 - 10	Calcaire
TSC-13	80+900	0,0 - 4,5 4,5 - 10,0	Sables moyens argileux Sables fins argileux

IV.1.3 corrélation entre l'essai SPT et l'essai de cisaillement direct :

Pour faire la corrélation entre l'essai SPT et l'essai de cisaillement, On prend en compte le nombre de coups de l'essai SPT comme paramètre et la cohésion pour l'essai de cisaillement pour les différents types de sols

Procédure de calcul

Le calcul des corrélations est basé sur le calcul de coefficient de corrélation et la représentation graphique des résultats et de droite de régression, pour cela on calcul la covariance et les écartypes

Tableau IV .1 Tableau des données

	Profondeur (m)	Essai de cisaillement C (kN/m ²)	L'essai SPT (N)
TFC-06	02,0 -5,50	98	15
TFC-19	3,50 -11,0	300	50
TFC-20	03,0 -10,0	162	30
TFC-27	01,0-10,0	66	11
TFC-28	0,50-5,50	66	11
TFC-30	2,50-7,50	90	15
TFC-31	02,0-10,0	96	16
TFC-32	01,0-10,0	108	18
TFC-33	0,50-11,0	132	22
TFC-37	02,0-07,0	144	24

Calcul de covariance

On calcul la somme et la moyenne des valeurs de chaque paramètre

Tableau IV .2 CALCUL DE COVARIANCE(C, N)

	somme	moyenne
c	1262,00	126,20
N	212,00	21,20
C²	201700,00	25212,50
N²	5732,00	716,50
NxC	33972,00	4246,50
(c_i-m_c)x(N_i-m_N)	18664,49	2333,72

La covariance des COV(C, N)= 1866,45

Avec :

C : cohésion du sol prise de l'essai de cisaillement direct

N : nombre de coups de l'essai SPT

m_c : moyenne des valeurs du cohésion C

m_N : moyenne des valeurs de nombre de coups N

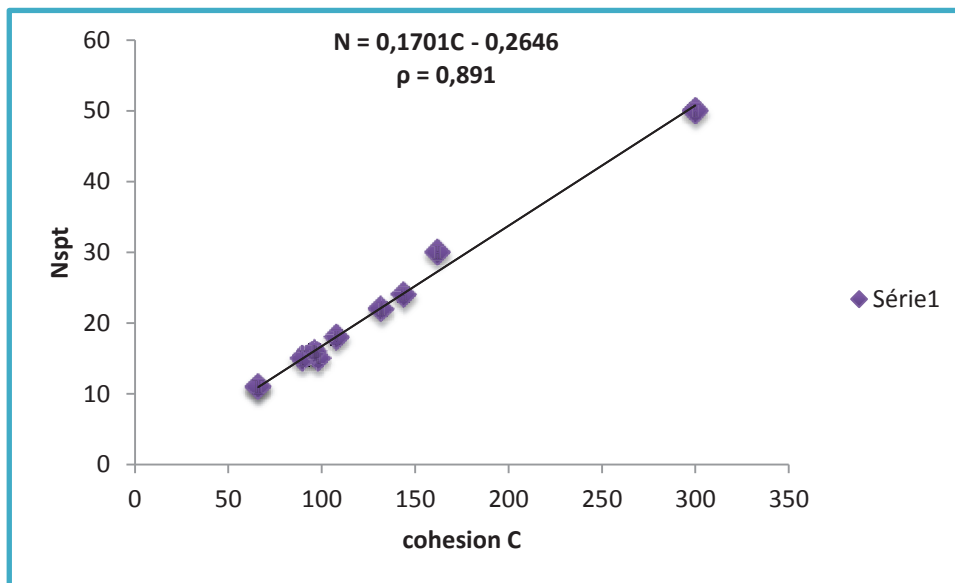
σ_c : ecartype des valeurs du cohésion C , avec $\sigma_c = \sqrt{\frac{\sum (c_i - m_c)^2}{n-1}}$

σ_N : ecartype des valeurs de nombre de coups N $\sigma_N = \sqrt{\frac{\sum (N_i - m_N)^2}{n-1}}$

$$\text{Donc : } \sigma_c = \sqrt{\frac{\sum (c_i - mc)^2}{n-1}} = 141,66 \quad \text{et} \quad \sigma_N = \sqrt{\frac{\sum (N_i - mN)^2}{n-1}} = 25,12$$

$$\text{D'où le coefficient de corrélation : } \rho(C, N) = \frac{1866,45}{141,66 \times 25,12} = 0,891$$

REPRESENTATION GRAPHIQUE



Commentaire : on remarque que les points sont dispersés d'une façon homogène autour de la droite de régression et le coefficient de corrélation est proche de 1 donc il s'agit d'une bonne corrélation

IV.1.3 corrélation entre l'essai SPT et la limite d'Atterberg :

Pour faire la corrélation entre l'essai SPT et l'essai de cisaillement, On prend en compte le nombre de coups de l'essai SPT comme paramètre et l'indice de plasticité pour la limite d'Atterberg

Procédure de calcul

Le calcul des corrélations est basé sur le calcul de coefficient de corrélation et la représentation graphique des résultats et de droite de régression, pour cela on calcul la covariance et les écartypes

Tableau IV .1 Tableau des données

	Profondeur (m)	Indice de plasticité (%)	L'essai SPT (N)
TFC-06	02,0 -5,50	16	15
TFC-19	0,50 -4,0	28	50
TFC-20	03,0 -10,0	13	30
TFC-27	01,0-10,0	24	11
TFC-28	0,50-5,50	19	11
TFC-30	2,50-7,50	17	15
TFC-31	02,0-10,0	25	16
TFC-32	01,0-10,0	32	18
TFC-33	0,50-11,0	17	22
TFC-37	02,0-07,0	21	24

Calcul de covariance

On calcul la somme et la moyenne des valeurs de chaque paramètre

Tableau IV .2 CALCUL DE COVARIANCE(C, N)

	somme	moyenne
Ip	212,00	21,20
N	212,00	21,20
Ip²	4814,00	601,75
N²	5732,00	716,50
NxIp	4612,00	576,50
(Ip_i-m_{Ip})x(N_i-m_N)	3367,02	336,70

La covariance des $COV(Ip, N)= 336,70$

Avec :

Ip : cohésion du sol prise de la limte d'ATTERBERG

N : nombre de coups de l'essai SPT

m_{Ip} : moyenne des valeurs de l'indice de plasticité Ip

m_N : moyenne des valeurs de nombre de coups N

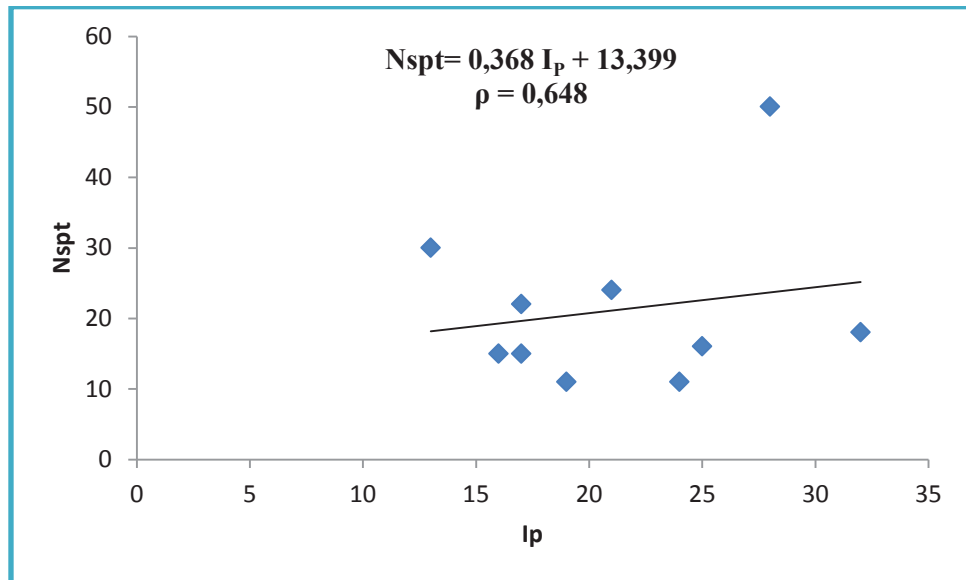
σ_{Ip} : ecartype des valeurs de l'indice de plasticité , avec $\sigma_{Ip} = \sqrt{\frac{\sum (Ip_i - m_{Ip})^2}{n-1}}$

σ_N : ecartype des valeurs de nombre de coups N ,avec $\sigma_N = \sqrt{\frac{\sum (N_i - m_N)^2}{n-1}}$

Donc : $\sigma_{Ip} = \sqrt{\frac{\sum (I_{pi} - mIp)^2}{n-1}} = 20,68$ et $\sigma_N = \sqrt{\frac{\sum (N_i - mN)^2}{n-1}} = 25,12$

D'où le coefficient de corrélation : $\rho (Ip, N) = \frac{336,70}{20,68 \times 25,12} = 0,648$

REPRESENTATION GRAPHIQUE



Commentaire : on remarque que les points ne sont pas dispersés d'une façon homogène autour de la droite de régression et le coefficient de corrélation est un peu loin de 1 donc il ne s'agit pas d'une bonne corrélation

Conclusion :

Les résultats obtenus concernent la corrélation des entre la cohésion et N_{SPT} nous a donné un coefficient de corrélation proche de 1 donc ces résultats peuvent être utile pour avoir une bonne approche des sols de la région, mais la relation entre la limite de plasticité et N_{SPT} ne les permet pas puisque il ne s'agit pas d'une bonne corrélation.

Le travail effectué nous a permis d'assimilé une notion très utilisé au niveau de la pratique de la mécanique des sols, les corrélations entre paramètres sont utilisées comme moyen de contrôle des résultats des essais en place et en laboratoire.

On utilise aussi les corrélations pour estimer certaines propriétés des sols en fonction des caractéristiques qui ont été mesurées. On peut ainsi, lors des études préliminaires et dans certaines situations de projets, disposer de valeurs des paramètres nécessaires au dimensionnement des ouvrages sans les avoir déterminées par des essais.

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 valables pour les mêmes propriétés d'un autre type de sol.

Un sol est un système complexe, dont l'étendue physique elle-même est soumise à des hypothèses. Compte tenu de ces hétérogénéités géotechniques des corrélations. Les conditions d'utilisation de corrélations dans les études géotechniques dépendent de la fiabilité des corrélations utilisées.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] AMAR Samuel, JÉZÉQUEL Jean-François : « Propriétés mécaniques des sols déterminées en place », Techniques de l'Ingénieur, 1999.
- [2] AOUADJ Abdelfattah « Système d'aide à la décision pour les procédures d'essais géotechniques » ; mémoire de magister ENP ; 2012.
- [3] BOUREZAK , Med Amine Chawki: «corrélation entre les résultats de l'essai pénétromètre dynamique et l'essai pressiométrique »,master ; ENSTP, 2014
- [4] CATTEAU Valentin, VAILLANT Jean-Michel : « Corrélations entre les résultats des essais pressiométriques et les caractéristiques intrinsèques des sols », JNGG, 2012.
- [5] DJEFFAL Hocine « Développement d'un système d'informations géotechniques Géo-Base » ; mémoire de magister ENP ; 2005.
- [6] Etude APS,APD rocade autoroutière des haut plateaux
- [7] FAWAZI Ali : « Etude et relation entre les modules pressiométrique et élastique du sol », JNGG, 2014
- [8] JOSSEAUME Henri: « Détermination des paramètres de compressibilité d'une argile raide à partir d'essais oedométriques à haute pression », BLPC172, 1991.
- [9] KHALDI Abdelhamid « étude de l'influence de la granulométrie sur le taux et l'amplitude de l'affaissement des sols par la méthode de double consolidation » ; mémoire de magister, université Hadj Lakhdar De Batna ; 2010
- [10] KHEMISSA Mohamed, Jean-Pierre MAGNAN « Variabilité des résultats d'essais oedométriques sur l'argile molle de Guiche », BLPC227, 2000.
- [11] MAGNAN ,Jean-Pierre: « Corrélations entre les propriétés des sols », Techniques de l'Ingénieur, 1999.
- [12] MAGNAN Jean-Pierre : « Déformabilité des sols. Tassements. Consolidation », Techniques de l'Ingénieur, 1999.
- [13] MECHKARINI Leila « Conception d'un outil d'aide pour l'analyse des résultats des essais géotechniques in situ » ; mémoire de magister ENP ; 2011.
- [14] VAILLANT Jean-Michel : « Corrélations entre les paramètres pressiométriques et de pénétration statique », JNGG, 2010.
- [15] WASCHKOWSKI ,Edwin : « Le pénétromètre dynamique », BLPC125, 1983.