Modèle de détermination de la résistance au pénétromètre dynamique des sols de la ville de Mouraye (Tchad)

Hamid Zagalo Al-Hadj, Idriss Goudja, Pierre Rochette

▶ **To cite this version:**

Hamid Zagalo Al-Hadj, Idriss Goudja, Pierre Rochette. Modèle de détermination de la résistance au pénétromètre dynamique des sols de la ville de Mouraye (Tchad). 11èmes journées nationales de géotechnique et de géologie de l'ingénieur, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon [INSA Lyon], CFMS, CFMR, CFGI, Jun 2022, Lyon, France. hal-03720258

HAL Id: hal-03720258
https://hal.science/hal-03720258

Submitted on 11 Jul 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

MODELE DE DETERMINATION DE LA RESISTANCE AU PENETROMETRE DYNAMIQUE DES SOLS DE LA VILLE DE MOURAYE (TCHAD)

MODEL OF DETERMINATION OF THE RESISTANCE TO THE DYNAMIC PENETROMETER OF THE SOILS OF THE CITY OF MOURAYE (CHAD)

Al-hadj Hamid Zagalo[1], Idriss Goudja Tchéré[2], Pierre Rochette[3]
[1] *Université des Sciences et de Technologie d'Ati, Faculté des Sciences de la vie, de la Terre et de l'Aménagement du Territoire - Ati, Tchad*
[2]*Laboratoire de Génie Civil, N'Djaména, Tchad*
[3]*Université d'Aix Marseille-CEREGE, Aix en Provence-France*

RESUME

Le présent article valorise un modèle géotechnique s'appuyant sur la résistance au pénétromètre dynamique lourd et les paramètres physiques tels que la teneur en eau naturelle et la porosité. A la suite de la vérification de sa validité, ce modèle élaboré est proposé pour le dimensionnement de fondations des ouvrages de génie civil dans la ville de Mouraye. Ce modèle constitue une contribution à la réduction des coûts des essais géotechniques.

Mots - clés : Paramètres physiques, Coût, Pénétromètre dynamique lourd, corrélations, modèle, Mouraye, Tchad.

ABSTRACT

The present article develops a geotechnical model based on the resistance to the heavy dynamic penetrometer and the physical parameters that the natural water content and porosity. Following the verification of its validity, this elaborated model is proposed for the dimensioning of foundations of civil engineering structures in the city of Mouraye. This model constitutes a contribution to the reduction of the costs of geotechnical tests.

Keywords: Physical parameters, cost, heavy dynamic penetrometer, correlations, model, Mouraye, Chad.

1. Introduction

La détermination des caractéristiques mécaniques des sols pour la conception des différents ouvrages est l'une des tâches les plus difficiles dans l'ingénierie des fondations. Les essais in-situ sont aujourd'hui couramment utilisés dans les études de fondations (Guettafi, 2012). Ils sont une alternative permettant de solliciter le sol dans son état de contrainte naturel (Escobar Valenci, 2015). A cela s'ajoute l'appréciation des hétérogénéités du sol qui aide à prendre des dispositions constructives conséquentes (Breysed. 2001 ; Kastner et Comeaga, 1997). Au Tchad, ces difficultés sont liées aux coûts des essais géotechniques qui, très élevés, ne sont pas toujours accessibles à la plus grande partie de la population. Eu égard à tout ce qui précède, l'élaboration d'un modèle pouvant faciliter la détermination des paramètres mécaniques

des sols à utiliser dans l'étude des projets de construction est d'une grande importance et d'actualité. Il est important de noter que les sols ne sont pas des matériaux homogènes. Leurs propriétés dépendent de plusieurs facteurs tels que la nature des roches mères desquelles elles dérivent, les conditions climatiques sous lesquelles ils ont été formés, le degré de désagrégation physique et de l'altération chimique de leurs particules, leur nature poreuse, leur composition chimique et minéralogique etc (Amadou, 2008). Deux sols semblables à l'œil nu peuvent avoir des propriétés différentes et par là, des comportements différents sous les charges.

Le présent article propose un modèle de détermination de la résistance au pénétromètre dynamique des sols de la ville de Mouraye (Fig. 1) à partir des caractéristiques physiques (teneur en eau et porosité) dont la mesure est simple et moins coûteuse.

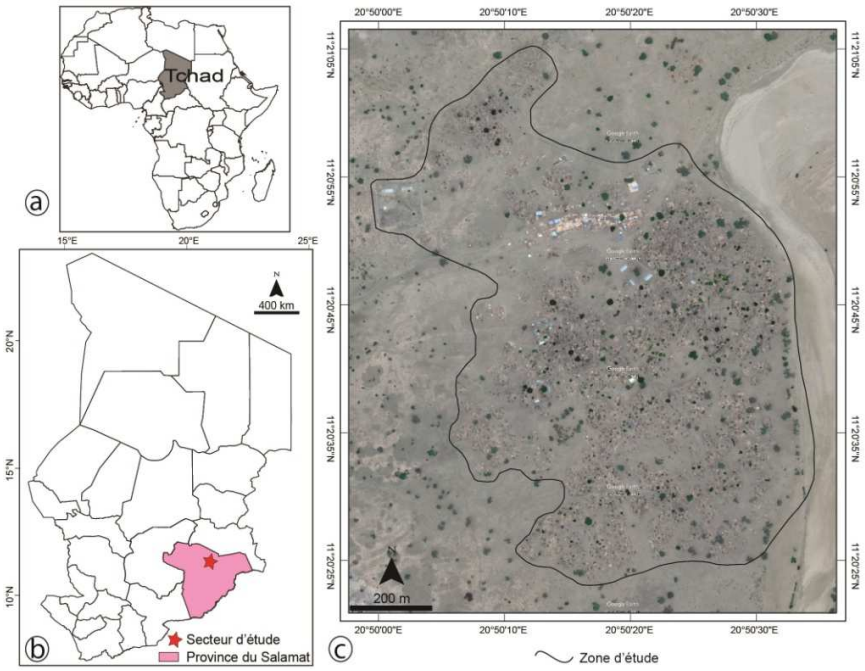

Figure 1: Carte de localisation de la zone d'étude. a) Carte d'Afrique, b) Carte du Tchad, c) Zone d'étude

2. Méthodologie

1.1. Localisation des points de prélèvement des échantillons et des points de sondage pénétrométrique

Les sites choisis sont situés dans différents quartiers de la ville et présentant toutes les diversités apparentes du point de vue de la couleur du sol. Le prélèvement a été effectué par sondage carotté et les échantillons intacts et remaniés ont été prélevés.

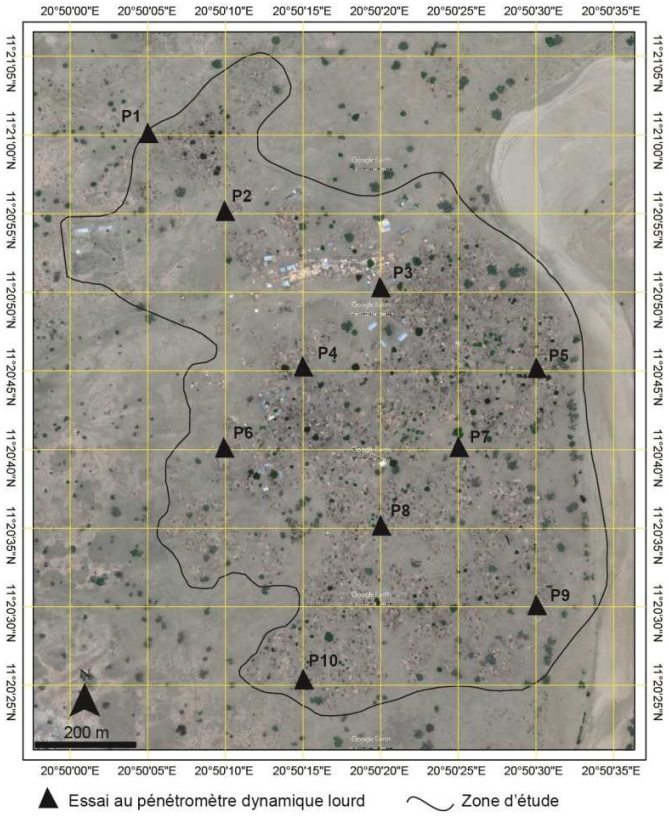

Figure 2 : Carte d'échantillonnage

2.2. Expérimentation

2. 2.1. Détermination des caractéristiques Physiques des sols

Les caractéristiques physiques déterminées sont la composition granulométrique suivant les prescriptions de la norme NF P 94 – 056 (1996), les limites d'Atterberg suivant la norme NF P 94-051 (1993), la teneur en eau naturelle suivant les prescriptions de la norme NF P 94 – 050 (1995), la masse volumique des grains solides suivant la norme NF P 94 – 054 (1991) et la masse volumique apparente par la méthode de la trousse coupante. L'indice de plasticité, la masse volumique du sol sec, l'indice des vides et la porosité ont été déterminés par calcul à l'aide des relations existant entre les différentes caractéristiques physiques des sols.

2. 2.2. Détermination de la résistance au pénétromètre dynamique

La résistance au pénétromètre dynamique a été déterminée sur dix (10) points de sondages à l'aide du pénétromètre dynamique lourd, suivant les prescriptions de la norme NF P 94 115 (2000). L'essai de pénétration dynamique consiste à faire pénétrer par battage dans le sol, des tiges métalliques précédées d'une pointe. C'est un moyen de reconnaissance géotechnique permettant de savoir la résistance du sol en place. Il consiste à déterminer le nombre de coups nécessaire pour enfoncer, selon une procédure définie, une pointe soumise, par l'intermédiaire d'un train de tiges, à une

énergie de battage. Cet essai permet d'apprécier d'une façon qualitative la résistance des terrains traversés afin d'orienter le choix des fondations. A partir de ce nombre de coups, on peut apprécier: la succession de différentes couches de terrain, l'homogénéité d'une couche ou la présence d'anomalie et la position d'une couche résistante dont l'existence est connue

2.3. *Traitement statistique des résultats des essais, établissement des corrélations entre les caractéristiques physico-mécanique et élaboration du modèle*

L'analyse statistique a été effectuée par le logiciel SPSS 2.0 dans l'objectif de déterminer les moyennes arithmétiques, les valeurs maximales, les valeurs minimales, les coefficients de variation et les écarts types.

L'élaboration du modèle de détermination de la résistance dynamique a commencé par l'étude des corrélations entre cette caractéristique et toutes les caractéristiques physiques des sols. A cet effet, dans le but d'évaluer le degré d'influence de chaque caractéristique physique sur la résistance au pénétromètre dynamique, une analyse des différentes relations de dépendance a été effectuée à l'aide des fonctions de régression de forme polynomiale d'ordre deux, à l'aide de l'option graphique de la feuille de calcul Excel 2007.

$$Y = a + bX + cX^2 \quad (1)$$

Où X et Y sont respectivement la caractéristique physique considérée et la résistance au pénétromètre dynamique ; a, b et c sont les coefficients de la fonction (1), déterminés à l'aide de la méthode des moindres carrés.

Les valeurs des coefficients de corrélation R obtenus ont permis d'évaluer le degré de dépendance entre la résistance dynamique et les caractéristiques physiques à l'aide de l'échelle ci-après (Izmaïl, 1983) :

- $R < 0{,}50$: Corrélation faible ;
- $0{,}50 \leq R \leq 0{,}70$: Corrélation moyenne ;
- $0{,}70 \leq R \leq 0{,}90$: Corrélation bonne ;
- $0{,}90 \leq R \leq 1$: Corrélation forte.

Faire le choix de l'équation de régression :

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_1X_2 + a_4X_1^2 + a_5X_2^2 \quad (2)$$

Où Y est le paramètre mécanique et X_1 et X_2 sont des paramètres physiques considérés;

3. Résultats et discussion

3.1. Caractéristiques physiques et mécaniques

L'étude des caractéristiques physiques des sols de la ville de Mouraye a été effectuée sur 60 échantillons. Les résultats de ces paramètres physiques et

mécaniques sont présentés dans les tableaux 1 et 2. Les données du tableau 1 montrent que les sols étudiés présentent un caractère fin et une plasticité moyenne a élevée. Le tableau 2 montre que Dans l'ensemble, la résistance au pénétromètre dynamique des sols étudiés varie dans un intervalle considérable de 10,17 à 87,26 bars, avec une valeur moyenne de 43,93 bars, un écart type de 21,87 et un coefficient de variation de 49,78%.

Tableau 1 : caractéristiques physiques des sols de la ville de Mouraye

Indices statistiques	w_L (%)	W_p (%)	I_p (%)	ρ_s (g/cm^3)	ρ (g/cm^3)	ρ_d (g/cm^3)	e	n (%)	particules < 0,080mm (%)
Valeur minimale	37,7	18,3	13,6	2	1	0,87	0,54	35,06	34,70
Valeur maximale	82,6	41,3	44	2,73	1,59	1,56	1,88	65,27	98,20
Valeur moyenne	59,95	31,44	28,5	2,47	1,22	1,07	1,31	55,96	76,66

Tableau 2 : Résistance dynamique des sols de la ville de Mouraye

Indices statistiques	Résistance dynamique R_{Pdyn} (bars)
Valeur minimale X_{min}	10,17
Valeur maximale X_{max}	87,26
Valeur moyenne X_{moy}	43,93
Ecart type	21,87
Coefficient de variation (%)	49,78

3.2. Corrélations entre la résistance dynamique et les paramètres physiques

L'étude des relations entre la résistance dynamique (R_{pdyn}) et les paramètres physiques a été effectuée suivant la méthode des nuages de point. Les coefficients de corrélation obtenus sont présentés sur le tableau 3 dans lequel w_p, w_L, I_p, I_c, I_L, ρ,ρ_s, ρ_d, w, n, et e sont respectivement la limite de plasticité, la limite de liquidité, l'indice de plasticité, l'indice de consistance, l'indice de liquidité, la masse volumique, la masse volumique des grains solides, la masse volumique sèche, la teneur en eau naturelle, la porosité et l'indice des vides.

Tableau 3: Corrélations entre la résistance dynamique (Rpdyn) et les caractéristiques physiques des sols de la ville de Mouraye

Caractéristiques physiques	w_p	w_L	I_p	I_c	I_L	ρ	ρ_s	ρ_d	w	n	e
Coefficient de corrélation R entre R_{pdyn}et X	0,13	0,08	0,03	0,10	0,08	0,25	0,36	0,58	0,70	0,82	0,81

Le tableau 3 montre que les paramètres physiques ayant une influence considérable sur la résistance dynamique des sols étudiés sont la masse volumique sèche, la teneur

en eau, la porosité et l'indice des vides. Les corrélations entre la résistance dynamique et la teneur en eau, la masse volumique sèche, la porosité et l'indice des vides sont moyennes à bonnes, avec des coefficients de corrélation respectifs de 0,70 ; 0,58 ; 0,82 et 0,81. Le degré de liaison entre w_p, w_L, I_p, I_c, I_L, ρ et ρ_s est faible, avec des coefficients de corrélation respectifs de 0,13 ; 0,08 ; 0,03; 0,1 ; 0,08 ; 0,25 et 0,36. Ces faibles valeurs témoignent d'une faible influence de ces derniers paramètres physiques sur la cohésion des sols étudiés. Les relations entre la teneur en eau, la masse volumique sèche, la porosité et l'indice des vides sont données par les expressions mathématiques suivantes :

$R_{Pdyn} = 0{,}143w^2 – 8{,}145w + 134{,}3$; (3)
$R_{Pdyn} = -25{,}82\ \rho_d^2 + 151{,}6\ \rho_d - 90{,}99$ (4)
$R_{Pdyn} = 0{,}244n^2 – 31{,}23n + 1022$; (5)
$R_{Pdyn} = 90{,}68\ e^2 – 309{,}8\ e + 288{,}7.$ (6)
$R_{Pdyn} =$ f(w) ; f(ρ_d) ; f(n) et f(e). (7)

Normalement, on devrait faire un modèle de détermination de R_{Pdyn} prenant en compte tous les quatre (4) caractéristiques physiques à savoir : la teneur en eau (w), la masse volumique sèche, la porosité (n) et l'indice des vides (e). Or, ρ_d, n et e sont tous trois paramètres de densité. De ce fait, nous devons prendre en compte un seul de ces trois derniers. Comme le coefficient de corrélation de la porosité (n) étant légèrement supérieur à celui de l'indice des vides, la porosité (n) est donc finalement retenue. De ce qui précède, la résistance au pénétromètre dynamique des sols de la ville de Mouraye en fonction de la teneur en eau et de la porosité s'exprime de la manière suivante :R_{Pdyn} = f (w,n)

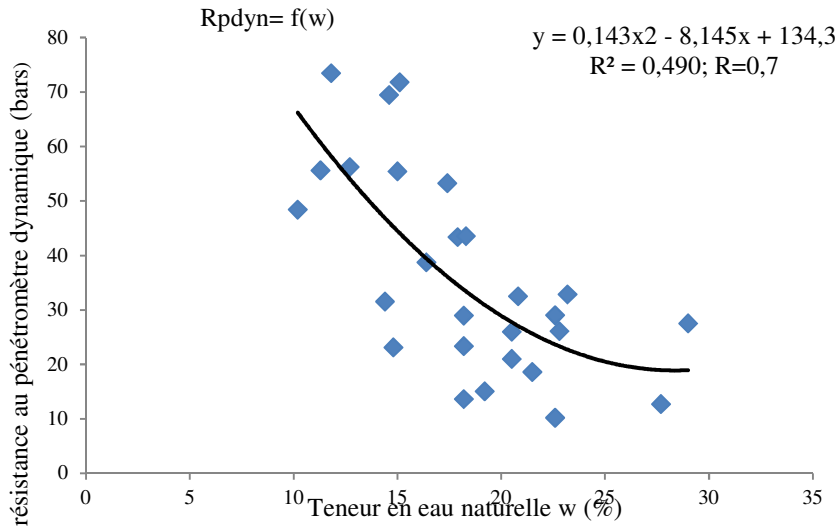

Figure 3:Corrélation entre la résistance dynamique et la teneur en eau naturelle

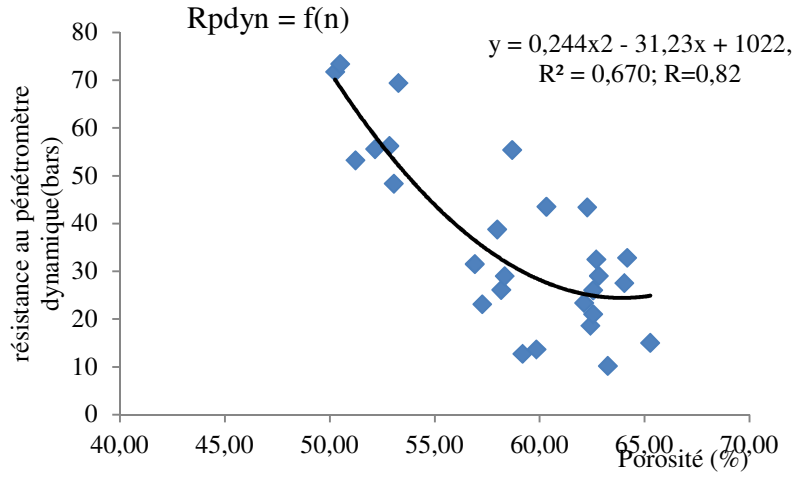

Figure 4: Corrélation entre la résistance dynamique et la porosité

3.3. Détermination des paramètres de régression

Comme le nombre de paramètres physiques les plus déterminants pour la caractéristique mécanique est égal à deux, la fonction de régression non linéaire s'exprime sous la forme:

$$Y = a_0 + a_1 w + a_2 n + a_3 wn + a_4 w^2 + a_5 n^2 \quad (8)$$

Où Y est le paramètre mécanique considéré ; w et n sont les deux paramètres physiques pris en compte ;a_0 , a_1, a_2, a_3, a_4 et a_5 sont les coefficients de la fonction obtenus en résolvant le système de six équations à six inconnues avec l'utilisation de la méthode des moindres carrés. La résolution du système à l'aide du logiciel matlab R2013a a consisté à trouver la matrice X en multipliant l'inverse de la matrice A par la matrice B (X = inv de A*B). L'obtention de la matrice X, dont les composantes sont les coefficients a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 et a_5 a permis d'exprimer le modèle.

Le modèle de détermination de la résistance au pénétromètre dynamique est donc le suivant :

$$\mathbf{R_{pdyn} = 839{,}009 - 12{,}769w - 21{,}127n + 0{,}305wn - 0{,}151w^2 + 0{,}113n^2} \quad (9)$$

4. Conclusion

La ville de Mouraye est située à l'Est de la ville d'Amtiman (Sud-Est Tchad). Le modèle de détermination de la résistance au pénétromètre dynamique des sols de ladite ville a été élaboré sur des données obtenues à partir de l'essai in-situ et celles de laboratoire. Ces résultats ont été traités à l'aide des logiciels Microsoft Office Excel 2007, SPSS 2.0 et matlab 6.1. Il ressort de ce traitement, un modèle de détermination

de la résistance dynamique, en fonction des paramètres physiques (teneur en eau et porosité) dont la mesure est plus simple et moins coûteuse. Ainsi, le modèle peut être utilisé dans la détermination de la résistance dynamique des sols de la ville de Mouraye.

5. Références bibliographiques

Amadou T. (2008). Caractéristiques physiques et mécaniques des sols ferralitiques de Bafoussam et leurs corrélations. *Thèse Doctorat*, *Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de l'Université de Yaoundé I, Cameroun*, 162p.

Breysed. (2001). Les enjeux en modélisation des terrains et des structures pour décrire au mieux l'interaction sol - ouvrage. *1ère Conférence Internationale Albert Caquot : Modélisation et simulation en génie civil de la pratique à la théorie, Paris, France*, 8p.

Escobar Valenci E.J. (2015). Mise au point et exploitation d'une nouvelle technique pour la reconnaissance des sols: le PANDA 3. *Thèse de Doctorat, Université Blaise Pascal – Clermont Ferrand II, France*, 169p.

Guettafi N. (2012). Comportement des sols mous lors d'un essai pressiométrique.*Thèse de Magistère,Université El Hadj Lakhdar Batna, Algérie*, *80p*.

Izmaïl M. X. (1983). Stroite l'nye svoistva grountov i opredelenie rational'nykh tipov foundamentov zdaniï i soorouzhenii na srednizemnomorskom poberejie Sirii. Diss. Na soiskanie outchenoï stepeni kandidata teknitcheskikh naouk. Kiev, 203s.

Kastner R. et Comeaga R. (1997). Simulation d'une excavation en terrainmeuble avec la méthode des différences finies : Comparaison avec les résultatsexpérimentauxet résultats de calcul. 15ème Rencontres Universitaires de Génie Civil, Strasbourg, France, pp 143 -150.

NF P 94 – 054 (1991). Sols : reconnaissance et essais. Détermination de la masse volumique des sols fins en laboratoire. Méthode du pycnomètre à eau. AFNOR, Paris.

NF P 94 – 051 (1993). Sols : reconnaissance et essais. Détermination des limites d'Atterberg. Limite de liquidité à la coupelle – limite de plasticité au rouleau. AFNOR, Paris.

NF P 94 – 050 (1995). Sols : reconnaissance et essais. Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux. Méthode par étuvage. AFNOR, Paris.

NF P 94 – 056, (1996). Sols : reconnaissance et essais. Analyse granulométrique des sols. Méthode par tamisage à sec après lavage. AFNOR, Paris.

NF P 94 – 115-1 (2000). Sols : reconnaissance et essais. Essai au pénétromètre dynamique lourd *AFNOR, Paris*.