

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة البليدة 1

UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 1

كلية التكنولوجيا

Faculté de Technologie

قسم الهندسة المدنية

Département de Génie Civil



MEMOIRE DE MASTER EN GENIE CIVIL

Pour l'Obtention du diplôme de

MASTER EN GENIE CIVIL

Spécialité : Géotechnique

Thème

**Analyse numérique par éléments finis d'un pieu isole sous sollicitations
verticales**

Présenté par :

M^r.NABI Azzedine

M^r.MAAMIRE Hamed Al Amine

Devant les membres de jury :

.....

U. Saad Dahleb-Blida

President

.....

U. Saad Dahleb-Blida

Examineur

Pr. Dj. AMAR-BOUZID

U. Saad Dahleb-Blida

Promoteur

Année Universitaire : 2021/2022

ملخص

في الوقت الحاضر، تشكل الأسس عنصرًا مهمًا في الأعمال. ترتبط سلامة الهياكل ارتباطًا مباشرًا بنوع الأساسات والطريقة المستخدمة في تصميمها وتحجيمها.

تعد التحقيقات والبحوث مع الاختبارات التي يتم إجراؤها في الموقع والتي تم جمعها أثناء مهمة للغاية لفهم سلوك التربة أثناء تفاعلها CPT و PMT الحملات الجيوتقنية مثل اختبارات مع الهياكل التي تطلبها.

وضع الباحثون نماذج سلوك تتنبأ برد فعل الأرض وفقًا لأنواع مختلفة من التحميل.

تسمح لنا آليات الفشل الموضوعية نظريًا باختيار نوع الأساس الذي يجب اعتماده.

Résumé

De nos jours les fondations constituent un élément important des ouvrages. La sécurité des ouvrages est liée de manière directe au type de fondations et à la méthode utilisée pour leurs conceptions et leurs dimensionnements.

Les enquêtes et les investigations avec des essais réalisés in situ et réunies lors des campagnes géotechniques tel que les essais PMT et CPT revêtent une importance cruciale pour la compréhension du comportement des sols lors de leurs interactions avec les ouvrages qui les sollicitent.

Des chercheurs ont établies des modèles de comportements qui permettent de prévoir la réaction du sol en fonction des différents types de chargement.

Des mécanismes de ruptures établies théoriquement nous permettent de faire un choix sur le type de fondation à adopter.

Dans notre cas on s'intéresse aux fondations profondes PIEUX avec des chargements verticaux. Des programmes numériques tel que PLAXIS a été utilisé.

Summary

Nowadays, the foundations constitute an important element of structures. The safety of structures is directly linked to the type of foundations and the method used for their design and sizing. The surveys and the investigations with tests carried out in situ and gathered during geotechnical campaigns such as PMT and CPT tests are crucially important to understand the behavior of soils during their interactions with the structures that solicit them. Researchers have established behavior models that predict the reaction of the soils according to different types of loading. Theoretically established rupture mechanisms allow us to make a choice on the type of foundation to adopt. In our case, we are interested in deep PILE foundations with vertical loadings. Numerical programs such as PLAXIS were used.

Remerciements

Nous remercions DIEU le tout puissant pour nous avoir donné la force et la patience pour avoir mené ce travail à terme Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et nos vifs remerciements à : **Mr. AMAR BOUZID** pour ses orientations et ses conseils durant l'évolution de ce

Travail

A tous nos professeurs durant notre cursus universitaire
Aux membres du jury d'avoir accepté de juger notre modeste travail
A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail,

MERCI !

DEDICACES

A mes parents qui ont suivi avec attention et un

Grand intérêt mon parcours et ont mis à ma

Disposition tous les moyens requis pour mon

Éducation et mon instruction.

A mes chers frères et sœurs.

A tous les membres de ma famille.

A tous ceux qui ont de près ou de loin participé à

La réalisation de ce travail.

- NABI AZZEDINE

- MAAMIRE HAMED EL AMINE

Table des matières

Résumé	
Remerciements	
DEDICACES	
LISTE DES TABLEAUX	
LISTE DES FIGURES	
LISTE DES SYMBOLES	
Introduction générale :	18
Chapitre 01 :Étude Bibliographique	
1.1. Introduction :	20
1.2. Définitions et généralités sur les pieux :	20
1.2.1. Définition des pieux :	21
1.2.2. Le mode de fonctionnement d'un pieu isolé :	21
1.3. Équipement de réalisation des pieux forés :	22
1.3.1. Outils de forage :	22
1.3.1.1. Les tarières :	23
1.3.1.2. Les tarières à godet ou buckets :	24
1.3.1.3. Les bennes de carottage ou carottier simple :	24
1.3.1.4. La benne à lames extensibles :	25
1.3.1.5. Le grappin :	25
1.3.1.6. Le trépan :	26
1.3.2. Chemise (casing) :	26
1.3.3. Boue de forage :	26
1.3.3.1. Rôles de la boue :	27
1.4. Conclusion :	28
Chapitre 02 :Méthode de dimensionnements des pieux	

2.1. Introduction :	30
2.2. Méthode de dimensionnements des pieux :	30
2.2.1. Force portante des pieux :	30
2.2.1.1. Estimation de la force portante à partir des essais de laboratoire :	30
2.2.2. Résistance au frottement des pieux dans le sable :	31
2.2.3. Résistance au frottement des pieux dans les sols argileux :	32
2.3. Estimation de la force portante à partir des essais in-situ :	33
2.3.1. Essai pressiométrique :	33
2.3.1.1. Calcul de la force portante :	33
2.3.2. Essai SPT :	36
2.3.2.1. de Meyerhof (1976) :	36
2.3.3. Essai pénétrométrique CPT :	37
2.3.3.1. La résistance en pointe est donnée par la formule :	37
2.4. Méthodes de calcul du tassement d'un pieu isolé :	38
2.4.1. Méthodes statiques :	38
2.4.2. Capacité portante de pointe Q_P :	39
2.4.2.1. Capacité portante d'un pieu isolé :	40
2.4.2.2. Les paramètres influençant la capacité portante d'un pieu isolé :	40
2.5. La méthode de calcul de la capacité portante :	41
2.5.1. La capacité portante à partir de l'essai de chargement du pieu :	41
2.6. Conclusion :	43

Chapitre 03 :Méthode numérique de calcul

3.1. Introduction :	45
3.2. Méthode de transfert de charges :	46
3.2.1. Présentation de la théorie de transfert de charges :	46
3.2.2. Calcul Tassement élastique d'un pieu :	47
3.3. Méthode empiriques :	49
3.4. Méthodes d'élasticité :	50
3.5. Conclusion :	52

Chapitre 04 :Etude par plaxis d'un pieu isolé sous sollicitations verticales

4.1. Introduction :	54
4.1.1. Buts et objectifs :	54

4.1.2. Unités et conventions de signe :	54
4.2. Conventions de signe :	55
4.3. Détermination de limites du modèle :	56
4.3.1. Détermination de limites du modèle (3D) :	56
4.3.2. Détermination de limites du modèle(5D) :	62
4.3.3. Détermination de limites du modèle (7D) :	63
4.3.4. Détermination de limites du modèle (10D) :	65
4.3.5. Détermination de limites du modèle (15D) :	67
4.4. Détermination de limites du modèle (L/D=2, L/D=5, L/D=10, L/D=15) :	70
4.4.1. Détermination de limites du modèle L/D=2 :	70
4.4.2. Détermination de limites du modèle L/D=5 :	72
4.4.3. Détermination de limites du modèle L/D=10 :	74
4.4.4. Détermination de limites du modèle L/D=15 :	76
4.5. Conclusion :	78

Chapitre 05 :Analyse d'un pieu coiffée d'une semelle de laissant supportons une étude de production d'oxygène

5.1. Introduction :	80
5.1.1. Situation et relief :	80
5.1.2. Climat de région :	81
5.1.3. Cadre géologique et hydrogéologique :	82
5.1.3.1. Le Villafranchien supérieur :	83
5.1.3.2. Le Quaternaire moyen :	83
5.1.3.3 Le Quaternaire récent (Rharbien) :	84
5.1.3.4. Le Quaternaire actuel :	84
5.1.4 : Sismicité :	85
5.2. Campagne d'investigation :	86
5.2.1. Essais in-situ :	86
5.2.1.1. Essai au pénétromètre dynamique lourd :	87
5.2.1.2. Essai pressiométrique :	90
5.3. Essai de laboratoire :	96
5.3.1. Catégories d'essais de laboratoire :	96
5.4. Choix du type d'essai de laboratoire :	97
5.4.1. Résultats des essais de laboratoire :	97

5.5. Interprétation des résultats :	101
5.5.1. Essais in-situ :	101
5.5.1.1. Lithologie des terres :	101
5.5.1.2. Résistance en pointe dynamique :	101
5.5.2. Pression limite et module pressiométrique :	102
5.5.3. Essai de laboratoire :	102
5.5.3.1. Classification des sols :	102
5.5.4. Portance du sol :	104
5.5.4.1. Portance du sol calculée par les sondages au P.D.L. :	104
5.5.5. Portance du sol calculée par méthode pressiométrique (PMT) :	105
5.5.5.1 : Contrainte admissible adoptée :	106
5.6. Étude par plaxis pour résolution de problème de tassement d'une semelle soumise à une charge verticale 130 TN :	106
5.6.1. Dimensionnement par plaxis en cas de la semelle uniquement :	107
5.6.2. Dimensionnement par plaxis en cas d'une semelle avec pieu de L=3m et D=1m :	111
5.6.3. Dimensionnement par plaxis en cas d'une semelle avec pieu de L=5m et D=1m :	114
5.6.4. Dimensionnement par plaxis en cas d'une semelle avec pieu de L=9m et D=1m :	117
5.7. Dimensionnement par plaxis en cas d'une semelle :	120
5.7.1. Dimensionnement par plaxis en cas d'une semelle avec pieu de L=3m et D=2m :	120
5.7.2. Dimensionnement par plaxis en cas d'une semelle avec pieu de L=5m et D=2 m :	123
5.7.3. Dimensionnement par plaxis en cas d'une semelle avec pieu de L=9m et D=2m :	126
5.8. Conclusion :	129
Conclusion générale	131

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2. 1: Valeurs de K_p	34
Tableau 2. 2: Valeurs du facteur de portance k_c	37
Tableau 3. 1: Types de C_p	48
Tableau 3. 2: Valeurs de I_v dans un sol homogène ($\nu=0.33$).....	51
Tableau 3. 3: Valeurs de I_v un sol Gibson $E_s = a. z$ ($\nu=0.33$).....	51
Tableau 4. 1: Différents paramètres et unité.....	55
Tableau 4. 2: Le paramètre de sol et de pieu.....	56
Tableau 4. 3: Déplacement sur diamètre en fonction de maillage.....	69
Tableau 4. 4: Déplacement sur diamètre en fonction de L/D	78
Tableau 5. 1: Les valeurs mensuelles des températures dans la région d'étude (ANRH).....	82
Tableau 5. 2: Les précipitations enregistrées dans la station de Boufarik.....	82
Tableau 5. 3: Les valeurs d'accélération sismique (RPA/99).....	86
Tableau 5. 4: Résultats des limites d'Atterberg.....	98
Tableau 5. 5: Valeurs des résistances en pointe dynamique.....	101
Tableau 5. 6: Etat du sol sur la base de l'essai au pressiomètre Ménard.....	102
Tableau 5. 7: Résultats de la classification des sols du site.....	104
Tableau 5. 8: Les contraintes admissibles de l'assiette du projet.....	105
Tableau 5. 9: Valeur de la contrainte admissible déduite de la méthode PMT au sondage SP01.....	106
Tableau 5. 10: Valeur de la contrainte admissible adoptée.....	106

Tableau 5. 11: Les paramètres de pieu et sol et semelle.....	106
Tableau 5. 12: Représenté la déformation verticale en fonction de longueur de semelle uniquement	111
Tableau 5. 13: Représenté la déformation verticale en fonction de longueur de semelle L=3m, D=1m.....	114
Tableau 5. 14: Représenté la déformation verticale en fonction de longueur de semelle L=5m, D=1m.....	117
Tableau 5. 15: Représenté la déformation verticale en fonction de longueur de semelle L=9m, D=1m.....	120
Tableau 5. 16: Représenté la déformation verticale en fonction de longueur de semelle L=3m, D=2m.....	123
Tableau 5. 17: Représenté la déformation verticale en fonction de longueur de semelle L=5m, D=2m.....	125
Tableau 5. 18: Représenté la déformation verticale en fonction de longueur de semelle L=9m, D=2m.....	128

LISTE DES FIGURES

Figure 1. 1: Les principaux types de fondation	21
Figure 1. 2: Le mode de fondation des pieux.	22
Figure 1. 4: Tarière monté sur chenilles.	23
Figure 1. 3: Tarière monté sur un camion.	23
Figure 1. 5: Tarière pleine.	23
Figure 1. 6: Tarière articulée.	23
Figure 1. 7: Bucket	24
Figure 1. 8: Carottier simple.....	24
Figure 1. 9: (a) Benne extensible à une porte, (b) Benne extensible à deux lames.	25
Figure 1. 10: Grappin.....	25
Figure 1. 11: Trépan.	26
Figure 1. 12: Réalisation d'un pieu.	26
Figure 1. 13: La circulation la boue de forage.....	27
Figure 2. 1: Coefficients de force portante.	31
Figure 2. 2: Résistance de frottement unitaire pour un sol homogène.	32
Figure 2. 3: Variation de α en fonction de la cohésion non drainée c_u	33
Figure 2. 4: Description des paramètres utilisés pour le calcul de la résistance en pointe.....	34
Figure 2. 5: Valeurs du frottement unitaire en fonction des pressions limites.	35
Figure 2. 6: Valeurs du frottement unitaire en fonction des pressions limites.	35
Figure 2. 7: Test de essai spt.....	36
Figure 2. 8: Définition de la résistance de pointe (ou du cône) équivalente au pénétromètre statique.....	38
Figure 2. 9: a et b - présente le Mécanisme de transfert de charge sur un pieu.....	39
Figure 2. 10: :(a) Capacité portante d'un pieu en compression (b) Mobilisation des charges d'un pieu.....	40
Figure 2. 11: Schéma d'équilibre limite du pieu sous une force verticale.	41
Figure 2. 12: Interprétation de l'essai de chargement d'un pieu.	42
Figure 3. 1: Principe de transfert de charg d'un pieu isolé.....	46
Figure 3. 2: Stribution de frottement unitaire le long du puit du pieu.	48
Figure 3. 3: Schéma d'équilibre du pieu sous une force verticale.....	50

Figure 3. 4: Schéma du modèle élastique du système sol/pieu (a : sol homogène ; b : sol de Gibson.....	51
Figure 4. 1: Système de coordonnées et définition des composantes de contrainte Positive. ...	55
Figure 4. 2: Caractéristiques générales du modèle.	57
Figure 4. 3: Taille du maillage.....	57
Figure 4. 4: Le dessin de la fuguer par plaxis.....	58
Figure 4. 5: Le maillage (croasse).	58
Figure 4. 6: Contraints effective.	59
Figure 4. 7: Phase 1.	59
Figure 4. 8: Phase 2.	60
Figure 4. 9: Calculassions.....	60
Figure 4. 10: Déplacement totale extrême.....	61
Figure 4. 11: Déplacement vertical.....	61
Figure 4. 12: Contraintes effective (5D).....	62
Figure 4. 13: Déplacement totale extrême (5D).	62
Figure 4. 14: Déplacement vertical (5D).	63
Figure 4. 15: Contraint effective (7D).	63
Figure 4. 16: Déplacement totale (7D).	64
Figure 4. 17: Déplacement vertical (7D).	64
Figure 4. 18: Contrainte effective (10D).	65
Figure 4. 19: Déplacement totale "maillage corsé"(10D).....	65
Figure 4. 20: Déplacement vertical (10D).	66
Figure 4. 21: Déplacement totale " maillage medium"(10D).	66
Figure 4. 22: Déplacement totale "maillage fine "(10D).	67
Figure 4. 23: Contrainte effective (15D).	67
Figure 4. 24: Déplacement totale (15D).	68
Figure 4. 25: Déplacement vertical (15D).	68
Figure 4. 26: Graphe déplacement sur diamètre en fonction de maillage.	69
Figure 4. 27: Phase 1(L/D=2).	70
Figure 4. 28: Contraintes effective (L/D=2).	70
Figure 4. 29: Déplacement totale extrême (L/D=2).	71
Figure 4. 30: Déplacement verticale (L/D=2).	71
Figure 4. 31: Phase 2(L/D=5).	72

Figure 4. 32: Contraintes effective (L/D=5).....	72
Figure 4. 33: Déplacement totale extrême (L/D=5).	73
Figure 4. 34: Déplacement verticale (L/D=5).	Erreur ! Signet non défini.
Figure 4. 35: Phase 3(L/D=10).	74
Figure 4. 36: Contrainte effective (L/D=10).	74
Figure 4. 37: Déplacement totale (L/D=10).	75
Figure 4. 38: Déplacement vertical (L/D=10).	75
Figure 4. 39: Phase (L/D=15).	76
Figure 4. 40: Contraint effective (L/D=15).	76
Figure 4. 41: Déplacement totale extrême (L/D=15).	77
Figure 4. 42: Déplacement vertical (L/D=15).	77
Figure 4. 43: Graphe de déplacement sur diamètre en fonction de L/D.....	78
Figure 5. 1: Carte de situation du site étudié.	80
Figure 5. 2: Aperçu de la parcelle de terrain à étudier (à l'intérieur de l'usine de PETROFINA).....	81
Figure 5. 3: Extrait de la carte de pluviométrie de l'Algérie (Echelle : 1/500.000).	82
Figure 5. 4: Extrait de la carte géologique détaillée de Koléa (Échelle : 1/50.000).	83
Figure 5. 5: Extrait de la carte hydrogéologique de la région (Échelle : 1/200.000).	85
Figure 5. 6: Carte de zonage sismique de l'Algérie (RPA/99).	86
Figure 5. 7: Carte d'implantation des essais in-situ.....	87
Figure 5. 8: Photo du PDL en service.....	89
Figure 5. 9: Diagrammes pénétrométriques des essais réalisés (Norme : NF P94 114, PDL : 1 à 5).....	89
Figure 5. 10: Photo du sondage au pressiomètre en service.....	90
Figure 5. 11: Courbe pressiométrique mesurée à la profondeur de 2m.....	91
Figure 5. 12: Courbe pressiométrique mesurée à la profondeur de 4m.....	92
Figure 5. 13: Courbe pressiométrique mesurée à la profondeur de 6m.....	93
Figure 5. 14: Courbe pressiométrique mesurée à la profondeur de 8m.....	94
Figure 5. 15: Courbe pressiométrique mesurée à la profondeur de 10m.....	95
Figure 5. 16: Profils pressiométriques de l'essai SP01.	96
Figure 5. 17: Essais de laboratoire.....	96
Figure 5. 18: Essai de limites d'Atterberg.	97
Figure 5. 19: Diagramme de plasticité S1E1 à une profondeur 0.00-0.80m.	98

Figure 5. 20: Diagramme de plasticité S1E2 à une profondeur 0.80-2.00m.	99
Figure 5. 21: Diagramme de plasticité S1E2 à une profondeur 2.00-3.50m.	100
Figure 5. 22: Diagramme de plasticité S1E2 à une profondeur 5.00-7.50m.	100
Figure 5. 23: Diagramme de Casagrande pour la classification des sols fins.	103
Figure 5. 24: Les paramètres généraux.....	107
Figure 5. 25: Dimensionnement de la semelle	107
Figure 5. 26: Le maillage de la semelle uniquement.	108
Figure 5. 27: Phase 1 de la semelle uniquement.....	108
Figure 5. 28: Phase 2 de la semelle uniquement.....	109
Figure 5. 29: Contrainte effective de la semelle uniquement.	109
Figure 5. 30: Maillage déformé de la semelle uniquement.	110
Figure 5. 31: Déformation vertical de la semelle uniquement.	110
Figure 5. 32: Dimensionnement de pieu de de L=3m et D=1m.	111
Figure 5. 33: Maillage fine de pieu de de L=3m et D=1m.	112
Figure 5. 34: Contrainte effective de pieu L=3m et D=1m.	112
Figure 5. 35: Maillage déformé de pieu L=3m et D=1m.	113
Figure 5. 36: Déplacement verticale de pieu L=3m et D=1m.	113
Figure 5. 37: Dimensionnement en cas d'une semelle avec pieu de L=5m et D=1m.....	114
Figure 5. 38: Maillage fine cas d'une semelle avec pieu de L=5m et D=1m.	115
Figure 5. 39: Contrainte effective cas d'une semelle avec pieu de L=5m et D=1m.....	115
Figure 5. 40: Maillage déformé cas d'une semelle avec pieu de L=5m et D=1m.	116
Figure 5. 41: Déplacement verticale cas d'une semelle avec pieu de L=5m et D=1m.....	116
Figure 5. 42: Dimensionnement en cas d'une semelle avec pieu de L=9m et D=1m.....	117
Figure 5. 43: Maillage déformé en cas d'une semelle avec pieu de L=9m et D=1m.....	118
Figure 5. 44: Contrainte effective en cas d'une semelle avec pieu de L=9m et D=1m.	118
Figure 5. 45: Maillage déformé en cas d'une semelle avec pieu de L=9m et D=1m.....	119
Figure 5. 46: Déplacement vertical d'un pieu L=9m et D=1m.	119
Figure 5. 47: Dimensionnement en cas d'une semelle avec pieu de L=3m et D=2m.....	120
Figure 5. 48: Maillage fine en cas d'une semelle avec pieu de L=3m et D=2m.....	121
Figure 5. 49: Contrainte effective en cas d'une semelle avec pieu de L=3m et D=2m	121
Figure 5. 50: Maillage déformé en cas d'une semelle avec pieu de L=3m et D=2m.....	122
Figure 5. 51: Déplacement vertical en cas d'une semelle avec pieu de L=3m et D=2m.	122
Figure 5. 52: Dimensionnement en cas d'une semelle avec pieu de L=5m et D=2m.....	123
Figure 5. 53: Contrainte effective en cas d'une semelle avec pieu de L=5m et D=2m.	124

Figure 5. 54: Maillage déformé en cas d'une semelle avec pieu de $L=5\text{m}$ et $D=2\text{m}$	124
Figure 5. 55: Déplacement vertical en cas d'une semelle avec pieu de $L=5\text{m}$ et $D=2\text{m}$	125
Figure 5. 56: Dimensionnement en cas d'une semelle avec pieu de $L=9\text{m}$ et $D=2\text{m}$	126
Figure 5. 57: Maillage fine en cas d'une semelle avec pieu de $L=9\text{m}$ et $D=2\text{m}$	126
Figure 5. 58: Contrainte effective en cas d'une semelle avec pieu de $L=9\text{m}$ et $D=2\text{m}$	127
Figure 5. 59: Maillage déformé en cas d'une semelle avec pieu de $L=9\text{m}$ et $D=2\text{m}$	127
Figure 5. 60: Déplacement vertical en cas d'une semelle avec pieu de $L=9\text{m}$ et $D=2\text{m}$	128
Figure 5. 61: Graphe représenté la déformation verticale en fonction de longueur de pieu. .	129

LISTE DES SYMBOLES

- A_p** : Section transversale de la base du pieu.
- c** : Cohésion du sol de fondation.
- q** : Contrainte effective du sol à la base de pieu.
- γ** : poids volumique du sol.
- P** : périmètre de la section transversale du pieu.
- ΔL** : longueur du pieu correspondante à la résistance unitaire q_s (figure 2.4).
- q_s** : résistance au frottement unitaire.
- K** : coefficient de poussée des terres.
- σ'_v** : contrainte effective verticale à la profondeur considérée (z) .
- δ** : Angle de frottement (interaction) sol-pieu.
- k_p** : facteur de portance (tableaux 2.1) .
- P_1^*** : pression limite équivalente.
- Q_1** : Force portante du pieu.
- m** : Facteur empirique, $m=400$ pour un pieu battu et $m=120$ pour un pieu foré.
- N_p** : Nombre de coup SPT à la base du pieu.
- D** : Diamètre du pieu.
- A_p** : Section de la base du pieu.
- n** : Facteur empirique, $n=2$ pour un pieu battu et $n=1$ pour un pieu foré.
- N_s** : Nombre de coup SPT moyen le long du pieu.
- P** : Périmètre du pieu.
- k_c** : facteur de portance .
- q_{ce}** : résistance de pointe équivalente.
- Q_u** : capacité portante globale ultime du pieu.
- Q_p** : capacité portante globale de la pointe du pieu.
- Q_s** : résistance au frottement de la surface latérale du pieu.
- A_p** : surface transversale du pieu .
- C** : Cohésion du sol de fondation .
- q_p** : capacité portante unitaire à la pointe .
- q'** : contrainte effective au niveau de la pointe.
- S** : tassement élastique total du pieu .
- S_1** : tassement élastique du puit .

S2: tassement élastique dû à la pointe du pieu .

S3: tassement élastique dû à la transmission de la charge le long du puit .

Q_{wp} :Charge supporté par la pointe du pieu sous les conditions de travail .

Q_{ws}: Résistance au frottement du pieu sous les conditions de travail .

A_p: section transversale du pieu .

L : longueur du pieu .

E_p: module de Young du matériau du pieu .

La valeur de ξ dépend de la distribution de la résistance au frottement dans le puit du pieu .

D: diamètre ou largeur du pieu .

q_{wp}: Charge de pointe par unité de surface .

E_s: module de Young du sol .

V_s: coefficient de poisson du sol .

I_{wp}: coefficient d'influence donné par l'abaque de Harr .

q_p: capacité portante de pointe ultime du pieu .

C_p: coefficient empirique (tableau 2.2) .

I_{ws}: coefficient d'influence donné par l'expression .

ΔL : le raccourcissement élastique du pieu.

B : diamètre du pieu (en mètre) .

A : aire de la section droite du pieu .

D : fiche du pieu .

Q : charge verticale appliquée en du pieu .

E_p : module d'élasticité du matériau du pieu .

Introduction générale :

Les ouvrages d'art en génie civil prennent appuis sur des sols qui sont en générale de différentes qualités. La transmission des efforts au sol est effectuée par l'intermédiaire des FONDATIONS.

La stabilité du sol de fondation peut être affectée si le comportement du sol n'est pas bien étudié. Une étude géotechnique devra être menée afin d'adopter un modèle de comportement aussi exact que possible.

De plus le type de fondation devra être bien choisi et le dimensionnement des fondations devrait être fait en tenant compte d'un choix de modèle de fondation adéquat.

Ce choix repose essentiellement sur la nature du sol et son le modèle de comportement ; le type de fondations (superficielles ou profondes) et enfin sur le type de chargement des fondations (Statique ou dynamique).

Le choix de fondations repose sur le critère de rupture du sol à adopter ; et qui détermine l'importance des dommages constatés au niveau du sol.

Une fondation mal calculée peut subir des tassements très importants, un renversement ou un glissement.

Les fondations sont en général soumises à des charges verticales ou latérales qui peuvent être statiques ou dynamiques.

Dans le cas des fondations soumises à des charges verticales, le tassement du sol représente le paramètre le plus important dans l'étude des fondations.

Lorsque les fondations superficielles donnent des tassements très importants, le choix des fondations devient une nécessité (superficielle ou profonde).

Dans le cas des semelles profondes il existe les PIEUX.

Le premier chapitre sera consacré à étude bibliographique sur les pieux isolés chargés verticalement.

Le second chapitre passe en revue les différentes méthodes de dimensionnement des pieux.

Le troisième chapitre s'intéresse aux méthodes numériques utilisées dans l'analyse des pieux.

Le chapitre quatre aura pour objet l'analyse d'un pieu isolé sous chargement vertical avec le programme PLAXIS.

Dans le chapitre cinq un exemple d'étude d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène.

Chapitre 01 :
Étude Bibliographique

1.1. Introduction :

Ce chapitre présente un système bibliographique sur le comportement axial des pieux isolés sous un chargement vertical. Tout d'abord on expose quelques généralités sur les pieux et leurs modes de fonctionnement ensuite on s'intéresse aux méthodes principales d'évaluation de la capacité portante en commençant par les différents mécanismes de rupture selon la théorie classique des corps rigide-plastique.

Équipement de réalisation des pieux forés (Les outils de forage qui sont généralement utilisés sont)(Les tarières, Les buckets ou tarières à godets, Les carottiers simples, Les bennes à lames extensibles, Le grappin, Les trépan)

À la fin de ce chapitre on présente l'évaluation directe du comportement d'un pieu isolé par l'essai de chargement en vraie grandeur.

1.2. Définitions et généralités sur les pieux :

Dans le domaine du génie civil, la fondation d'un ouvrage représente un enjeu essentiel dans sa construction car elles forment la partie structurelle qui assure sa portance et permet de contrôler les tassements dus aux charges qu'il applique au sol.

Il existe cinq grands types de fondations :

- Fondations superficielles (semelles isolées, semelles filantes, radier).
- Fondations semi-profondes (puits).
- Fondations profondes (pieux).
- Fondations spéciales (fondations sur sol amélioré).
- Fondations mixtes (combinaison pieux et radier).

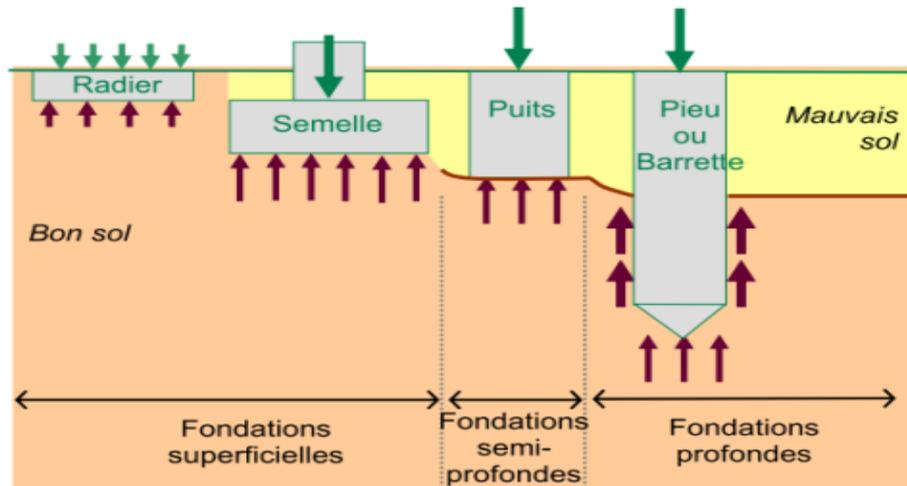
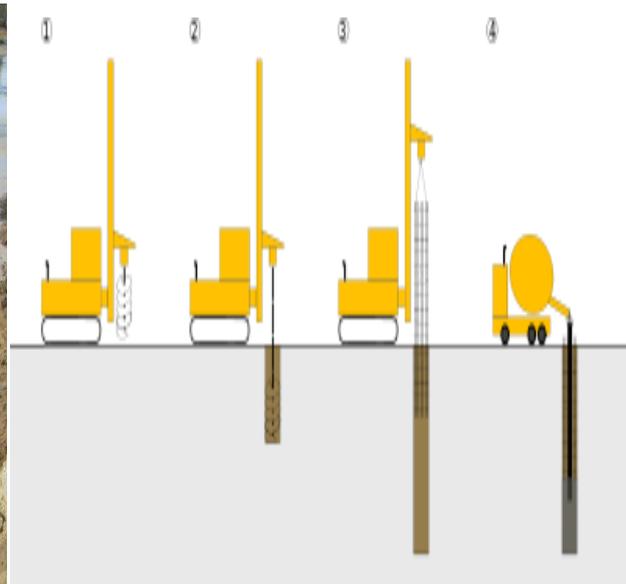


Figure 1. 1: Les principaux types de fondation

1.2.1. Définition des pieux :

Les pieux sont des colonnes élancées, couramment en béton armé, en acier ou en bois, installés dans le sol et formant un groupe par une semelle ou une dalle de liaison, les pieux se constituent de trois parties principales : la tête, la pointe, et le fût compris entre la tête et la pointe.



1.2.2. Le mode de fonctionnement d'un pieu isolé :

La stabilité d'un pieu isolé est assurée soit par la pointe du pieu, par frottement latéral, ou bien les deux combinés :

- Résistance en pointe

Un pieu résiste par sa pointe lorsque la pointe de cette dernière repose sur un sol assez rigide (substratum) et que le confinement autour du pieu est négligeable, le pieu est dit : colonne

L'effort de pointe est conditionné par :

- La section de la base du pieu.
- La résistance du substratum rocheux.
- Le frottement latéral

On admet que le frottement latéral n'est mobilisable qu'en cas de déplacement relatif entre le pieu et le sol avoisinant. Et si le pieu a tendance à s'enfoncer dans un sol stable, le frottement sol-pieu crée un effort vertical ascendant et le frottement est alors dit frottement positif, dans l'autre cas, c'est-à-dire que lorsque le pieu reste figé et le sol a tendance à tasser alors le frottement est appelé frottement négatif.

Ceci a pour effet de surcharger le pieu et dans ce cas de figure le pieu est chemisé par un tubage pour diminuer l'effet du frottement négatif.

-La résistance en pointe et le frottement latéral

Le pieu est dit combiné lorsqu'il résiste par sa pointe et que par le frottement latéral.

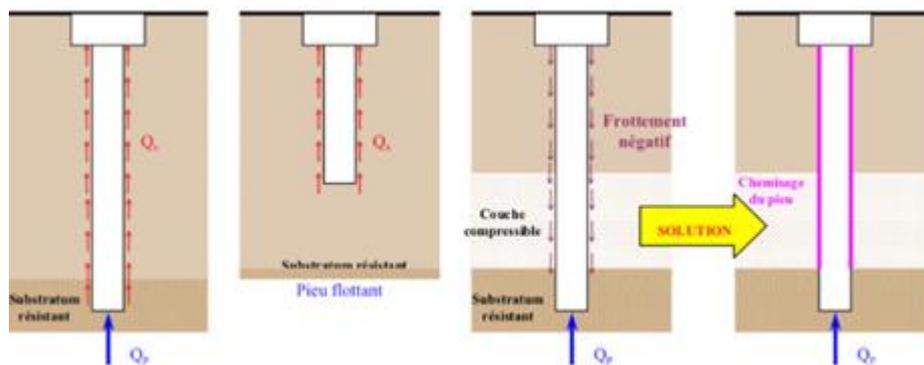


Figure 1. 2: Le mode de fondation des pieux.

1.3. Équipement de réalisation des pieux forés :

1.3.1. Outils de forage :

Les outils de forage qui sont généralement utilisés sont :

- Les tarières,
- Les buckets ou tarières à godets,
- Les carottiers simples,
- Les bennes à lames extensibles,
- Le grappin,

- Les trépans,

Ces outils de forage sont montés sur des camions (figure 1.3), des chenilles (figure 1.4)



Figure 1. 4: Tarière monté sur un camion.



Figure 1. 3: Tarière monté sur chenilles.

1.3.1.1. Les tarières :

Les tarières sont généralement de forme cylindrique, rarement conique, comportent une ou deux hélices (figure 1.5). Elles sont généralement munies à leur base d'un outil pilote. L'hélice présente sur son bord d'attaque une série de dents le plus souvent interchangeables (vissées, emmanchées ou soudées) ou plus simplement une ou deux lames lorsqu'il s'agit de forer des terrains meubles. On rencontre même des tarières dites « articulées » qui facilitent l'éjection du matériau (figure 1.6). Elle fonctionne comme un tire-bouchon pour s'enfoncer dans le sol par rotation et remonte le sol par cisaillement. Une fois remontée on vide la tarière en la frappant sur le sol.



Figure 1. 6: Tarière pleine.

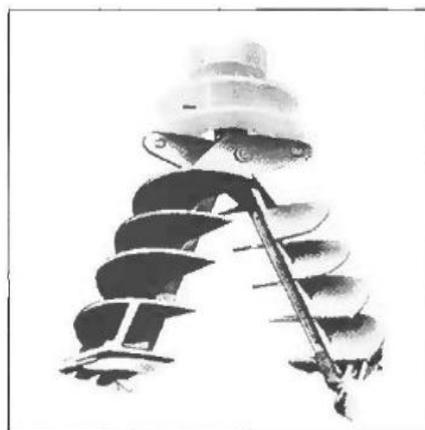


Figure 1. 5: Tarière articulée.

1.3.1.2. Les tarières à godet ou buckets :

Un bucket est un godet cylindrique comportant à sa base un couvercle bombé ou plat. Ce couvercle, muni ou non d'un outil pilote en pointe, présente selon un rayon ou un diamètre une ouverture munie de lames coupantes ou de dents interchangeables. Par pression et rotation, les dents découpent le sol qui s'emmagasiné dans le godet. Le bucket se vide par système de trappe situé à sa base.

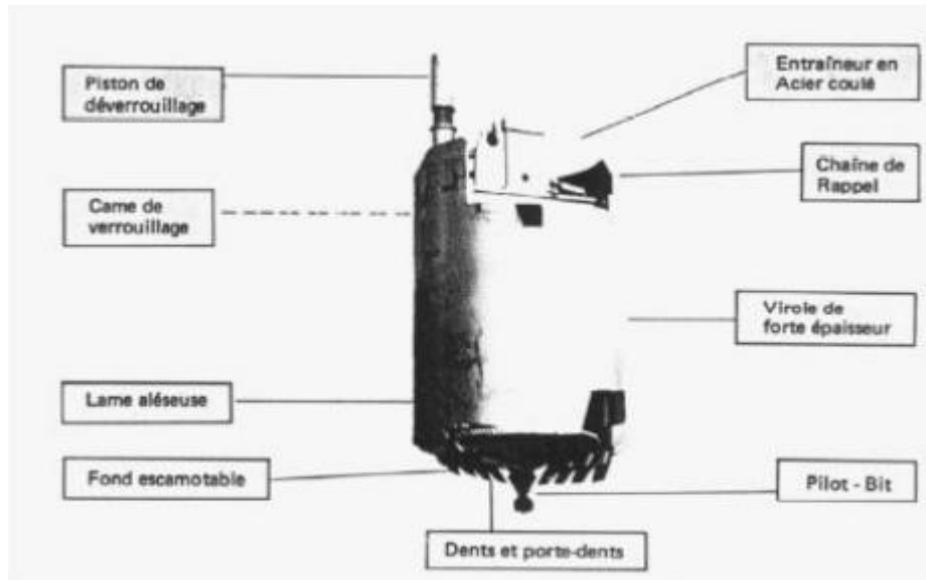


Figure 1. 7: Bucket

1.3.1.3. Les bennes de carottage ou carottier simple :

Comme on peut le voir sur la figure 1.8, la couronne est constituée de dents ou de pastilles fixées par soudure soit latéralement soit en bout de tube. Il fonctionne comme un poinçon en cisillant le sol par rotation et en le remontant par adhérence.



Figure 1. 8: Carottier simple.

1.3.1.4. La benne à lames extensibles :

De tels outils sont utilisés pour l'exécution en fond de forage de « pattes d'éléphant ». Ce sont des élargisseurs de fond conduisant sur une hauteur limitée à l'élargissement progressif du fût du pieu en forme de cloche, d'où la deuxième appellation anglo-saxonne « bellings-bucket ». Comme on peut le voir sur les figures 1.9 (a) et 1.9 (b), l'outil comprend un ou deux couteaux articulés en tête ou à la base. Les couteaux sont munis de dents de façon à faciliter la découpe du terrain lors de la rotation de l'outil.

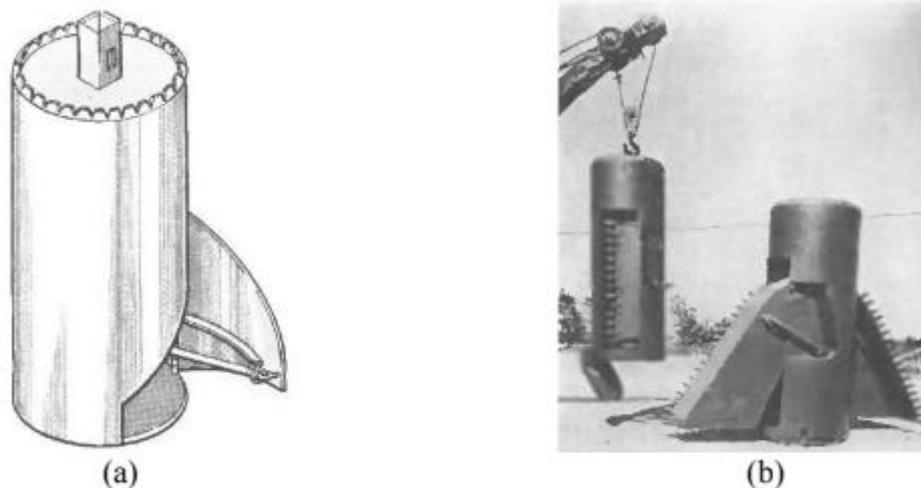


Figure 1. 9: (a) Benne extensible à une porte, (b) Benne extensible à deux lames.

1.3.1.5. Le grappin :

C'est une mâchoire métallique qui détruit le sol par son poids. Le grappin est laissé tomber en chute libre dans le forage, arrivé au fond du forage la mâchoire se referme sur le sol qui est ensuite remonté. Utilisable pour des terrains durs.



Figure 1. 10: Grappin.

1.3.1.6. Le trépan :

Il fonctionne de la même façon que le grappin mais ne peut pas remonter le sol, sert donc en général pour détruire des passages rocheux dans le terrain.



Figure 1. 11: Trépan.

1.3.2. Chemise (casing) :

Les chemises (figure 1.12) sont indispensables dans la plupart des méthodes d'installation des pieux forés, ils peuvent être introduits sur les premiers mètres du forage afin de guider l'outil de forage, ou être sur toute la profondeur du pieu dans le cas d'un sol instable.



Figure 1. 12: Réalisation d'un pieu.

1.3.3. Boue de forage :

La boue de forage généralement utilisée est la bentonite ou une autre argile montmorillonite qui a les mêmes caractéristiques. Dans les sols grenus, la boue de forage a la particularité de pénétrer les parois du forage et geler, ce qui rend les parois plus résistant et plus stable, cependant dans les sols cohérents, elle permet de maintenir les parois en exerçant une pression hydrostatique.

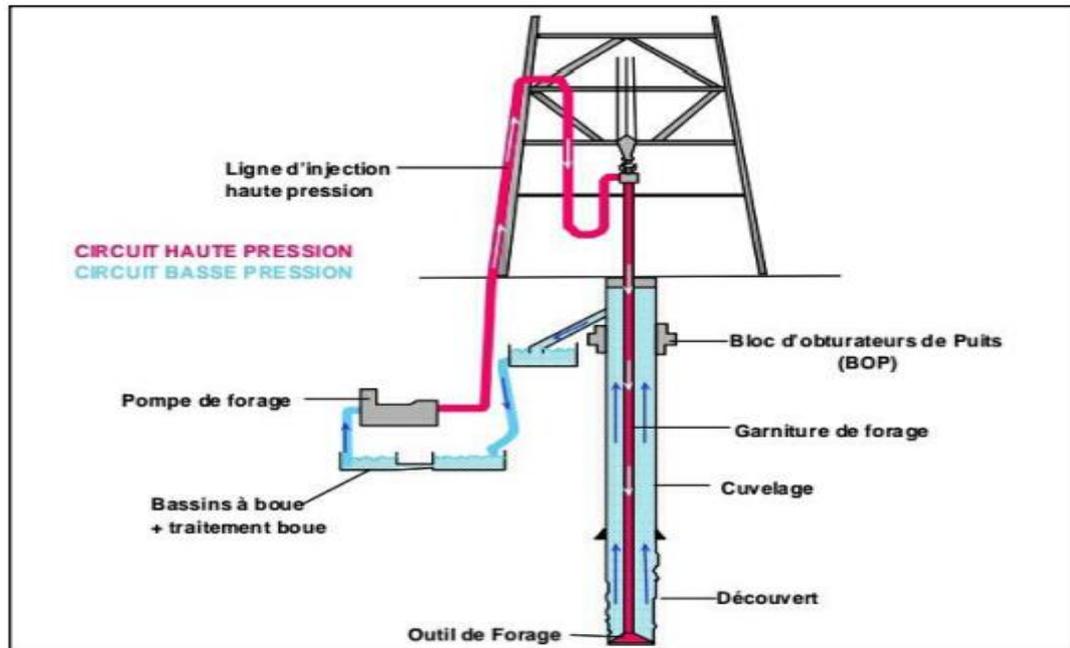


Figure 1. 13: La circulation la boue de forage.

1.3.3.1. Rôles de la boue :

Les boues de forage doivent avoir les propriétés leur permettant d'optimiser les fonctions suivantes :

- Nettoyage du puits
- Maintien des déblais en suspension
- Sédimentation des déblais fins en surface
- Refroidissement et lubrification de l'outil et du train de sonde
- Prévention du cavage et des resserrements des parois du puits
- Dépôt d'un cake imperméable
- Prévention des venues d'eau, de gaz, ou d'huile
- Augmentation de la vitesse d'avancement
- Entraînement de l'outil
- Diminution du poids apparent du matériel de sondage
- Apport de renseignements sur le sondage
- Contamination des formations productrices
- Corrosion et usure du matériel
- Toxicité et sécurité

1.4. Conclusion :

Le but de ce chapitre est de savoir tout ce qui concerne de pieu isolé chargement vertical parmi eux (définition de pieu et le, mode de fonctionnement d'un pieu isolé).

Et pour réaliser un pieu, nous utilisons les outils parmi eux (Les tarières, Les buckets ou tarières à godets, Les carottiers simples, Les bennes à lames extensibles, Le grappin, Les tréfans), et puis on creuse après avoir équipé le matériel nécessaire au forage .

Chapitre 02 :
Méthode de dimensionnements des
pieux

2.1. Introduction :

Ce chapitre vise à présenter une analyse de la capacité portante verticale des fondations sur pieux isolés, à partir des essais pressiométriques et pénétrométriques conformément à la norme française NF P94-262, qui sera adoptée par le nouveau règlement Algérien DTR-BC-2.33. À ce propos nous allons d'abord présenter un rappel des formules de la capacité portante, ensuite nous passons à son évaluation ainsi celle de la charge de fluage basées sur des essais PMT et CPT.

À la fin de ce chapitre nous allons faire une étude des rapports Q_p/Q_l et Q_s/Q_l dans le but de prévoir le mode de travail des pieux étudiés.

2.2. Méthode de dimensionnements des pieux :

Les applications de cette méthode pour le calcul des pieux sont relativement rares (si on les compare aux autres méthodes). Cet outil permet, toutefois, de modéliser le chargement des pieux ainsi que leur mise en place dans le sol par forage ou par battage (Mestat, 1998). Ellison et al. (1971) ont été les premiers à utiliser une analyse axisymétrique par éléments finis pour étudier le comportement de pieux isolés sous charge axiale.

2.2.1. Force portante des pieux :

Plusieurs méthodes d'estimation de la force portante d'un pieu isolé sous chargement vertical ont été élaborées. Elles sont basées soit sur les résultats des essais de laboratoire soit sur les résultats des essais in-situ.

2.2.1.1. Estimation de la force portante à partir des essais de laboratoire :

Ces méthodes sont basées sur les résultats des essais d'indentification et des essais mécaniques effectués sur les échantillons de sol

a) Résistance en pointe Q_p

La résistance en pointe peut s'exprimer par

$$Q_p = A_p(cN_c^* + qN_q^* + \frac{1}{2}\gamma DN\gamma^*) \quad (2.1)$$

Vue que le diamètre des pieux est relativement faible, le paramètre $\frac{1}{2}\gamma DN\gamma^*$ peut être négligé devant les deux autres paramètres, d'où la résistance en pointe peut s'exprimer par :

$$Q_p = A_p(cN_c^* + qN_q^*) \quad (2.2)$$

A_p : Section transversale de la base du pieu,

c : Cohésion du sol de fondation,

q : Contrainte effective du sol à la base de pieu,

γ : poids volumique du sol,

N_c^* , N_q^* et N_γ^* : Coefficients de force portante qui tiennent compte de la forme, la profondeur de la fondation et de la nature du sol.

N_c^* , N_q^* sont données par l'abaque de la figure 2.3

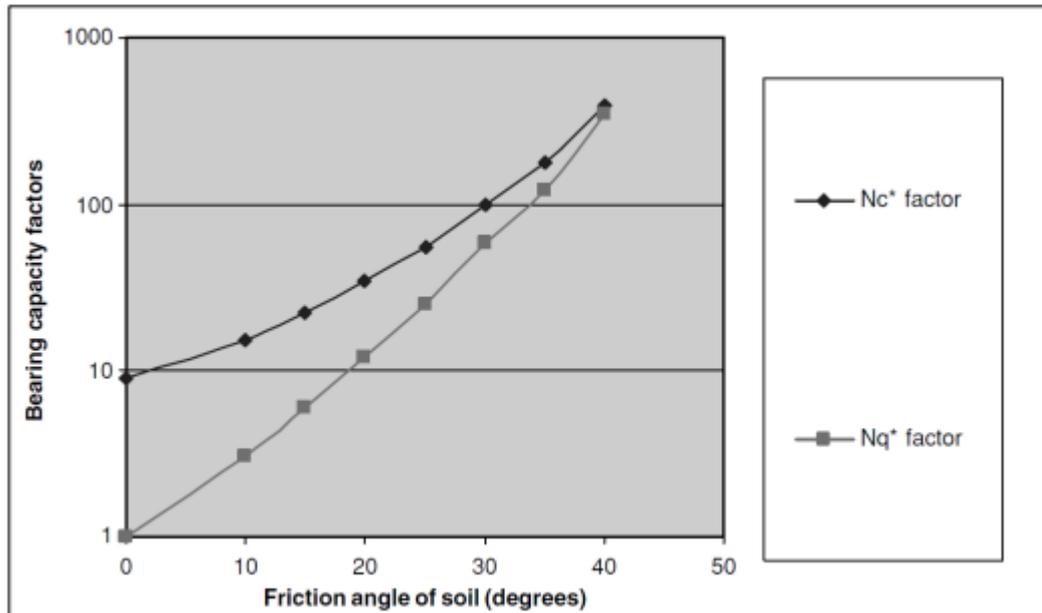


Figure 2. 1: Coefficients de force portante.

b) Résistance au frottement Q_s :

La résistance au frottement d'un pieu est donnée par l'équation :

$$Q_s = P \Delta L q_s \quad (2.3)$$

Avec :

P : périmètre de la section transversale du pieu,

ΔL : longueur du pieu correspondante à la résistance unitaire q_s (figure 2.4)

q_s : résistance au frottement unitaire.

2.2.2. Résistance au frottement des pieux dans le sable :

La résistance au frottement unitaire d'un pieu à une profondeur donnée (z) est :

$$q_s = K \sigma'_v \tan \delta \quad (2.4)$$

Avec :

K : coefficient de poussée des terres.

σ'_v : contrainte effective verticale à la profondeur considérée (z) ;

δ : Angle de frottement (interaction) sol-pieu.

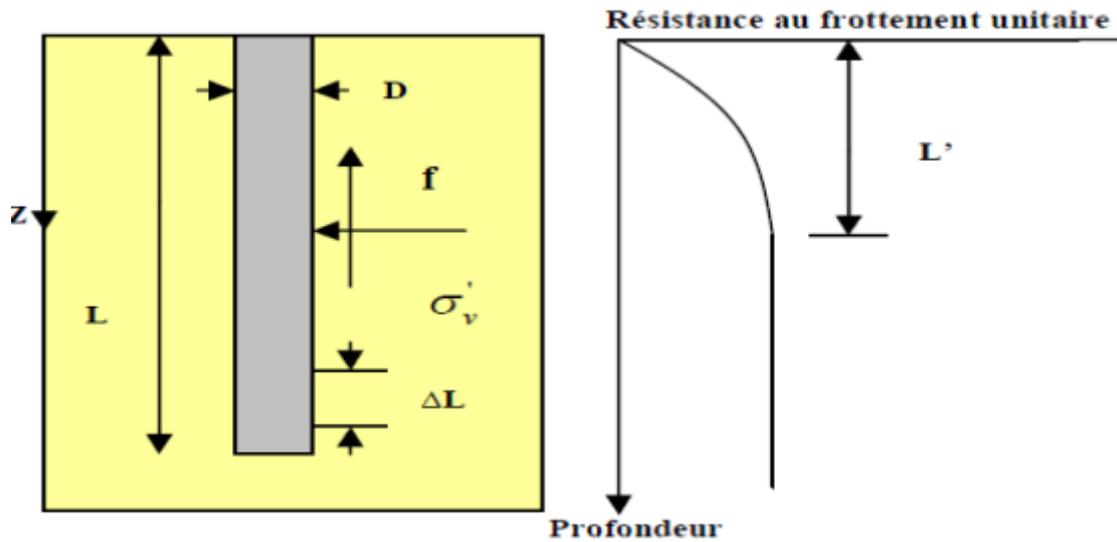


Figure 2. 2: Résistance de frottement unitaire pour un sol homogène.

La valeur numérique du coefficient de poussé des terres K est fonction de la profondeur z . Ce coefficient est égal au coefficient des poussées des terres passives ($K = K_p$) au sommet du pieu et il est inférieur au coefficient de poussé des terres au repos ($K \leq K_0$) à la base du pieu. K dépend aussi de la nature de l'installation du pieu.

$$K = K_0 = 1 - \sin \varphi \quad (2.5)$$

La résistance au frottement unitaire augmente jusqu'à une valeur maximale à une profondeur de 1.5 à 2.0D et reste constante (figure 2.4).

La longueur critique L' dépend de plusieurs facteurs dont l'angle de frottement interne φ , la densité relative et la compressibilité du sol. Lors des calculs la valeur de $L' = 1.5D$ est prise comme valeur approximative. L'angle de frottement d'interaction sol-pieu est pris dans l'intervalle : $0.5\varphi \leq \delta \leq 0.8\varphi$.

2.2.3. Résistance au frottement des pieux dans les sols argileux :

Cette méthode a été proposée par Tomlinson (1971) Elle stipule que la résistance au frottement unitaire dans un sol argileux est donnée par la formule suivante:

$$q_s = \alpha c_u \quad (2.6)$$

Le coefficient α a été déterminé empiriquement. La figure 2.4 donne la valeur de α en fonction de la cohésion non-drainée c_u .

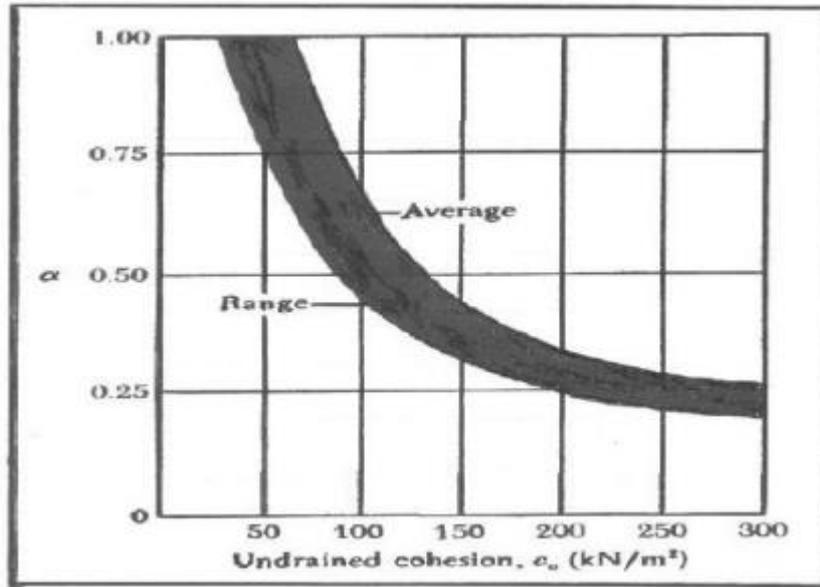


Figure 2. 3: Variation de α en fonction de la cohésion non drainée c_u .

2.3. Estimation de la force portante à partir des essais in-situ :

2.3.1. Essai pressiométrique :

Le pressiomètre de Ménard est probablement l'instrument qui modélise le plus efficacement le comportement du sol autour d'un pieu . Il permet de déterminer les paramètres à la rupture ainsi que les déplacements qui sont de l'ordre de 10^{-2} . C'est un excellent outil pour estimer la force portante verticale, le tassement et le comportement sous chargement latéral d'un pieu .

2.3.1.1. Calcul de la force portante :

a) Résistance en pointe :

Selon le fascicule 62, titre V (1993), la résistance en pointe est donnée par la formule :

$$Q_P = A_P K_P P_1^* \quad (2.7)$$

k_P : facteur de portance (tableaux 2.1).

P_1^* : pression limite équivalente,

$$P_1^* = \frac{1}{b+3a} \int_{L-b}^{L+3a} p_1(z) dz \quad (2.8)$$

Avec :

$a = B/2$ si $B \geq 1$ m,

$a = 0,5$ m si $B < 1$ m,

$b = \min \{a, h\}$ où h est la hauteur de l'élément de fondation dans la couche porteuse,

P_1 : Pression limite.

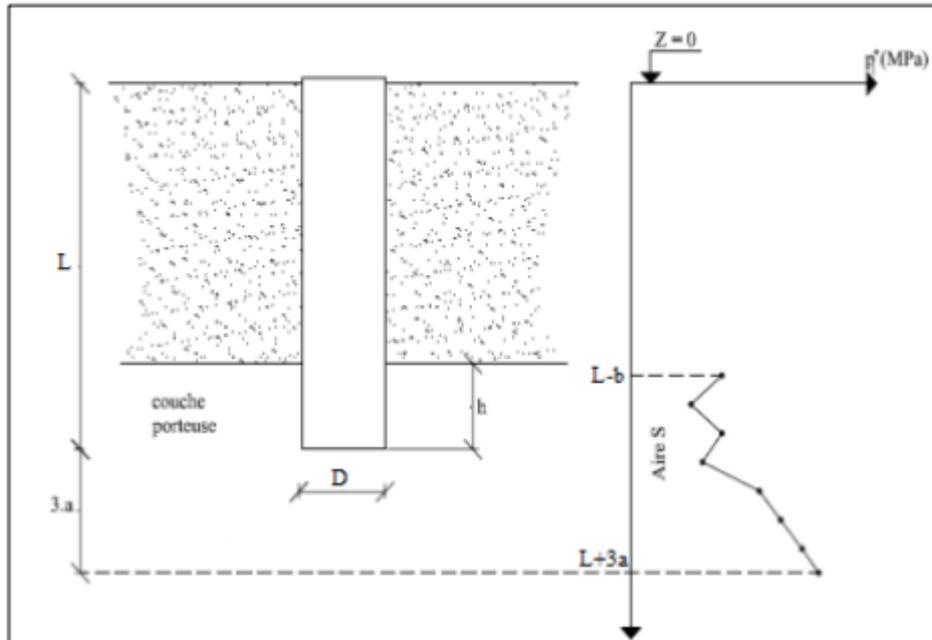


Figure 2. 4: Description des paramètres utilisés pour le calcul de la résistance en pointe.

Tableau 2. 1: Valeurs de K_p

Nature des terrains		Éléments mis en œuvre sans refoulement du sol	Éléments mis en œuvre avec refoulement du sol
Argiles. Limons	A	1.1	1.4
	B	1.2	1.5
	C	1.3	1.6
Sables. Graves	A	1.0	4.2
	B	1.1	3.7
	C	1.2	3.6
Craies	A	1.1	1.6
	B	1.4	2.2
	C	1.8	2.6
Marnes. Mano-calcaires		1.8	2.6
Roches altérées		1,1 à 1,8	1,8 à 1,32

b) Résistance de frottement :

la résistance au frottement est donnée par la formule :

$$Q_s = p \int_0^L q_s(z) dz \quad (2.9)$$

Le frottement latéral unitaire limite q_s est donné en fonction de la pression limite nette (figures 2.6 et 2.7).

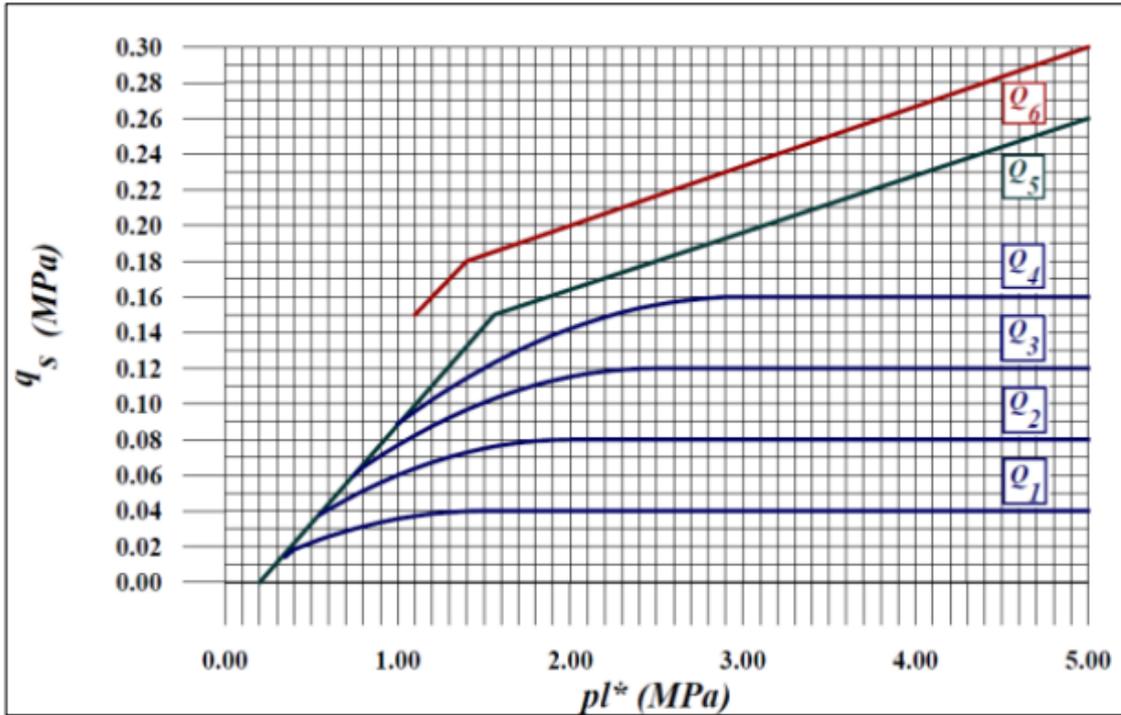


Figure 2. 5: Valeurs du frottement unitaire en fonction des pressions limites.

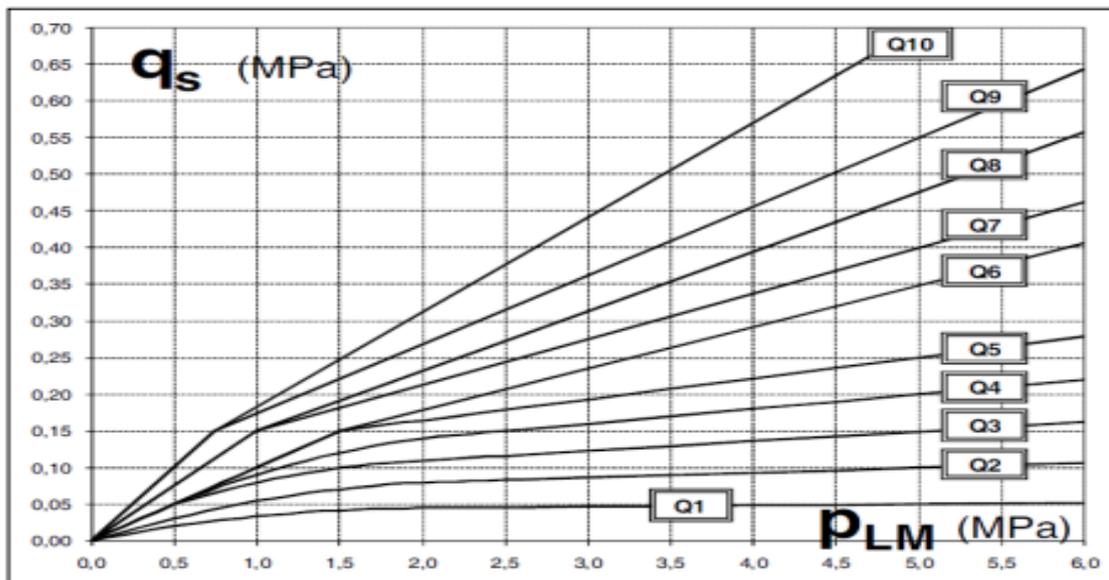


Figure 2. 6: Valeurs du frottement unitaire en fonction des pressions limites.

2.3.2. Essai SPT :

Le manuel canadien d'engineering des fondations (2006) recommande d'utiliser soit la méthode de Meyerhof (1976) soit la méthode de Decourt (1995) dans le cas où on calcul la force portante d'un pieu isolé à partir des résultats des essais SPT.

2.3.2.1. de Meyerhof (1976) :

Meyerhof propose de déterminer la force portante d'un pieu en utilisant l'équation suivante

$$Q_1 = m N_p A_p + n N_s P \quad (2.10)$$

Avec:

Q_1 : Force portante du pieu.

m : Facteur empirique, $m=400$ pour un pieu battu et $m=120$ pour un pieu foré.

N_p : Nombre de coup SPT à la base du pieu, il a proposé que la valeur représentative soit une moyenne arithmétique des nombres N dans une zone entre $8D$ au-dessus de la base et $3D$ en dessous.

D : Diamètre du pieu.

A_p : Section de la base du pieu.

n : Facteur empirique, $n=2$ pour un pieu battu et $n=1$ pour un pieu foré.

N_s : Nombre de coup SPT moyen le long du pieu.

P : Périmètre du pieu.

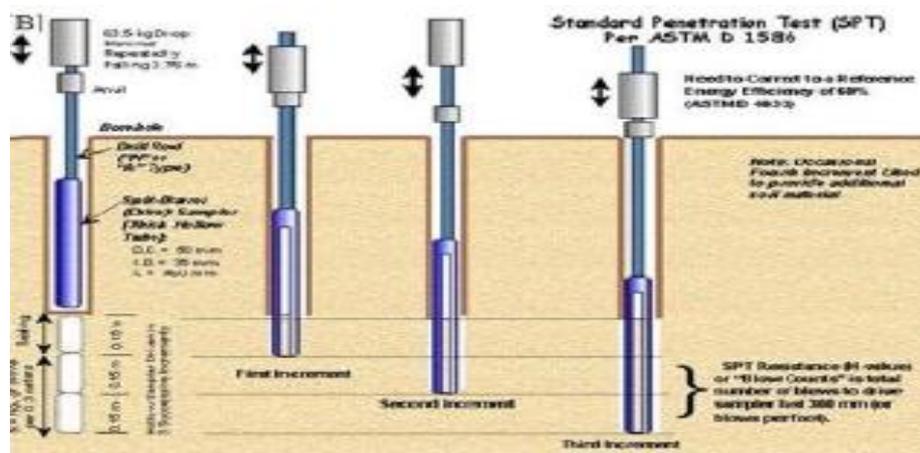


Figure 2. 7: Test de essai spt.

2.3.3. Essai pénétrométrique CPT :

L'essai au pénétromètre statique est un essai in-situ consiste à enfoncer dans le sol, à vitesse constante (20-25 mm/s), une pointe pénétrométrique au moyen d'une tige de fonçage, au cours de la pénétration, les mesures de la résistance au cône q_c et du frottement latéral local f_s sont effectuées et les résultats enregistrés.

2.3.3.1. La résistance en pointe est donnée par la formule :

$$Q_P = A_P k_c q_{ce} \quad (2.11)$$

Avec :

k_c : facteur de portance ;

q_{ce} : résistance de pointe équivalente.

Le coefficient de portance traduit la proportionnalité entre la résistance en pointe du pieu et celle du pénétromètre. Ce coefficient dépend de la nature du sol et du mode de mise en œuvre du pieu (pieu foré ou battu). Les valeurs de k_c données .

La résistance en pointe équivalente est une résistance en pointe moyenne autour de la base du pieu définie, à partir d'une courbe $q_c(z)$ lissée (figure 2.9).

$$q_{ce} = \frac{1}{3a+b} \int_{L-b}^{L+3a} q_{cc}(z) dz \quad (2.12)$$

Avec q_{cc} résistance de pointe q_c écrêtée à $1.3 q_{cm}$.

$$q_{cm} = \frac{1}{3a+b} \int_{L-b}^{L+3a} q_c(z) dz \quad (2.13)$$

Tableau 2. 2: Valeurs du facteur de portance k_c

Nature des terrains		Éléments mis en œuvre sans Refoulement du sol	Éléments mis en œuvre sans Refoulement du sol
Argiles. Limons	A	0.40	0.55
	B		
	C		
Sables. Graves	A	0.15	0.50
	B		
	C		
Craies	A	0.20	0.30
	B	0.30	0.45

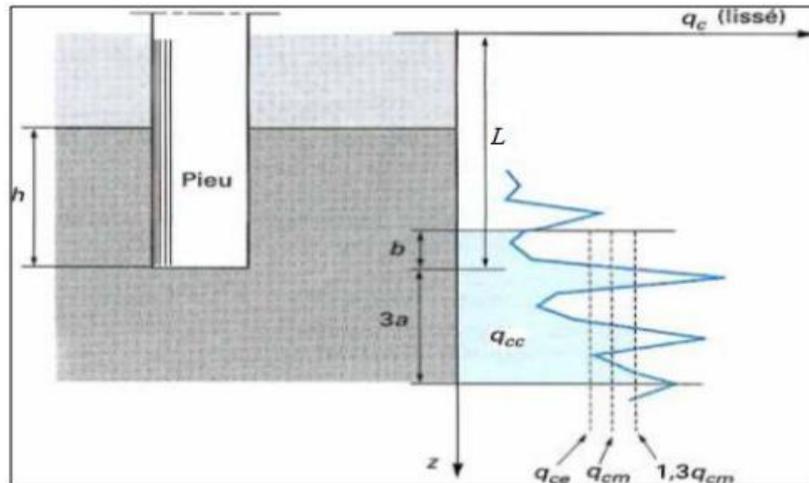


Figure 2. 8: Définition de la résistance de pointe (ou du cône) équivalente au pénétromètre statique.

2.4. Méthodes de calcul du tassement d'un pieu isolé :

Les méthodes de calcul des pieux sont utilisées pour le dimensionnement des pieux ou pour faire des recherches. Ces méthodes consistent à évaluer la charge admissible d'un pieu isolé et à vérifier la stabilité (calcul de la charge limite) pour s'assurer que les tassements sont admissibles pour la structure supportée.

Généralement, les méthodes de dimensionnement des pieuses isolées sous charge axiales appuient principalement sur :

- Méthodes statiques.
- Méthodes de la théorie de transfert de charges.
- Méthodes de la théorie d'élasticité.
- Méthode empirique.

2.4.1. Méthodes statiques :

Les formules dites statiques constituent une adaptation aux fondations sur pieux des méthodes de calcul de la capacité portante des fondations superficielles. Ainsi la charge ultime Q_u d'un pieu est la somme de la charge supportée par la pointe du pieu Q_p et la résistance du frottement totale de la surface latérale du pieu en contact avec le sol adjacent Q_s (figure 2.10 a et b) :

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (2.14)$$

Avec :

Q_u : capacité portante globale ultime du pieu

Q_p : capacité portante globale de la pointe du pieu

Q_s : résistance au frottement de la surface latérale du pieu

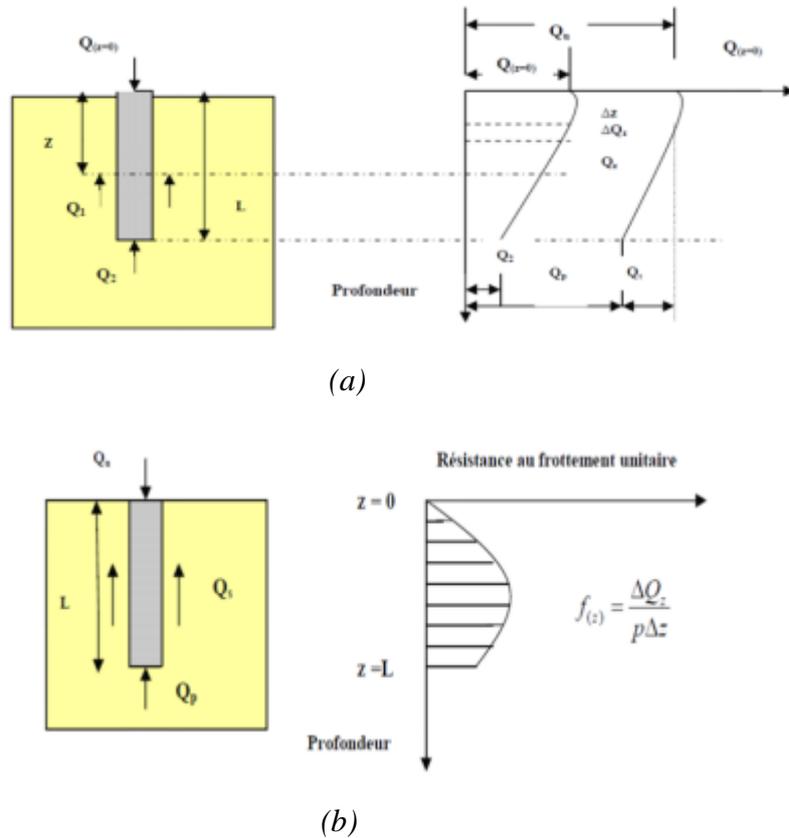


Figure 2. 9: a et b - présente le Mécanisme de transfert de charge sur un pieu.

2.4.2.Capacité portante de pointe Q_p :

La capacité portante ultime à la pointe peut s'exprimer par :

$$Q_p = c Nc^* + q Nq^* + D\gamma N\gamma^* \quad (2.15)$$

Où $Nc^*, Nq^*, N\gamma^*$, sont les coefficients de capacité portante qui tiennent compte de la forme et la profondeur de la fondation. Comme le diamètre du pieu est relativement petit alors le terme $D\gamma, N\gamma^*$ devient nul et l'équation de la capacité portante devient :

$$Q_p = cNc^* + q'Nq^* \quad (2.16)$$

Le terme q est remplacé par la contrainte effective q' pour prendre en compte l'effet d'une éventuelle nappe phréatique. D'où la charge sur la pointe du pieu est :

$$Q_p = A_p \cdot q_p = A_p (cNc^* + q' Nq^*) \quad (2.17)$$

A_p : surface transversale du pieu .

C : Cohésion du sol de fondation .

q_p : capacité portante unitaire à la pointe .

q' : contrainte effective au niveau de la pointe.

2.4.2.1. Capacité portante d'un pieu isolé :

Le calcul de la force portante des pieux isolés soumis à des chargements verticaux est une phase très importante dans un projet de construction, donc il est nécessaire d'accorder un équipement avantageux des méthodes permettant une estimation réaliste de cette force portante.

2.4.2.2. Les paramètres influençant la capacité portante d'un pieu isolé :

La capacité portante s'écrit :

- dans le cas des pieux qui travaillent en compression : $Q_c = Q_p + Q_s - W$

- dans le cas des pieux qui travaillent en arrachement : $Q_t = Q_p + Q_s + W$

(W étant le poids propre du pieu).

La mobilisation des charges totale Q , de frottement Q_s et en pointe Q_p en fonction du tassement des pieux est donnée sur la (figure 2.11 -b) où le poids propre du pieu est négligé. Dans la suite, on considère le frottement positif lorsque la contrainte de cisaillement est dirigée vers le haut (figure 2.11- a). On s'intéresse ici aux paramètres influençant le frottement axial Q_s et la résistance en pointe Q_p . Plus particulièrement, on discute de l'effet de la densité du massif, de la rugosité du pieu et de l'effet du temps en termes de fluage sur la mobilisation du frottement axial et la résistance en pointe au cours du chargement du pieu.

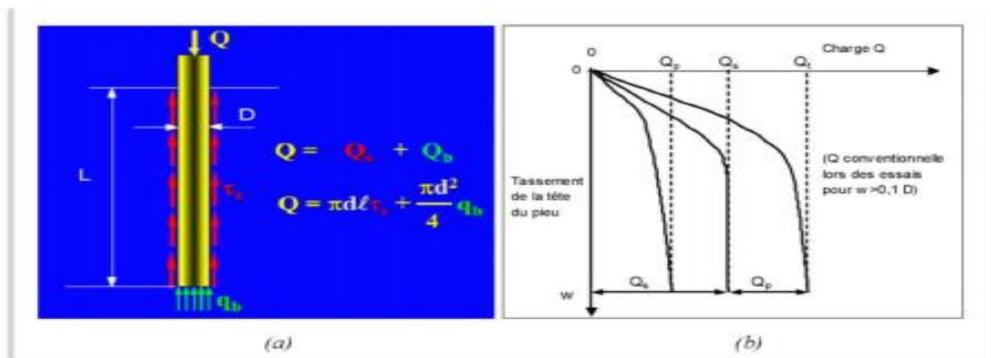


Figure 2. 10: :(a) Capacité portante d'un pieu en compression (b) Mobilisation des charges d'un pieu

2.5. La méthode de calcul de la capacité portante :

2.5.1. La capacité portante à partir de l'essai de chargement du pieu :

La capacité portante verticale d'un pieu Q_L étant la somme de l'effort limite de frottement latéral Q_s le long de fût et de la résistance en pointe Q_p .

$$Q_L = Q_p + Q_s = S q_l + p \int_0^D q_s(z) dz \quad (2.18)$$

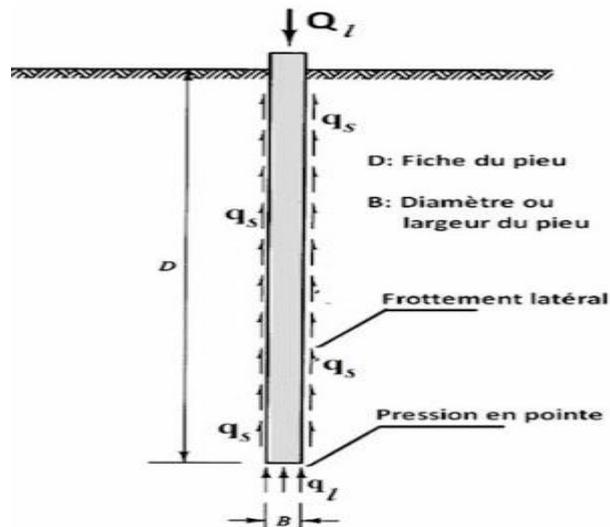


Figure 2. 11: Schéma d'équilibre limite du pieu sous une force verticale.

La capacité portante correspond à une asymptote de la courbe de chargement (a) si elle est évidente. Sinon la capacité portante correspond à la charge Q causant un tassement égal à $B/10$. La courbe (b) de cette figure donne l'évolution du tassement en tête du pieu sous une charge donnée en fonction du logarithme de temps.

La courbe (c) traçant la pente α en fonction de Q , ce qui correspond au domaine d'instabilité des tassements dans le temps.

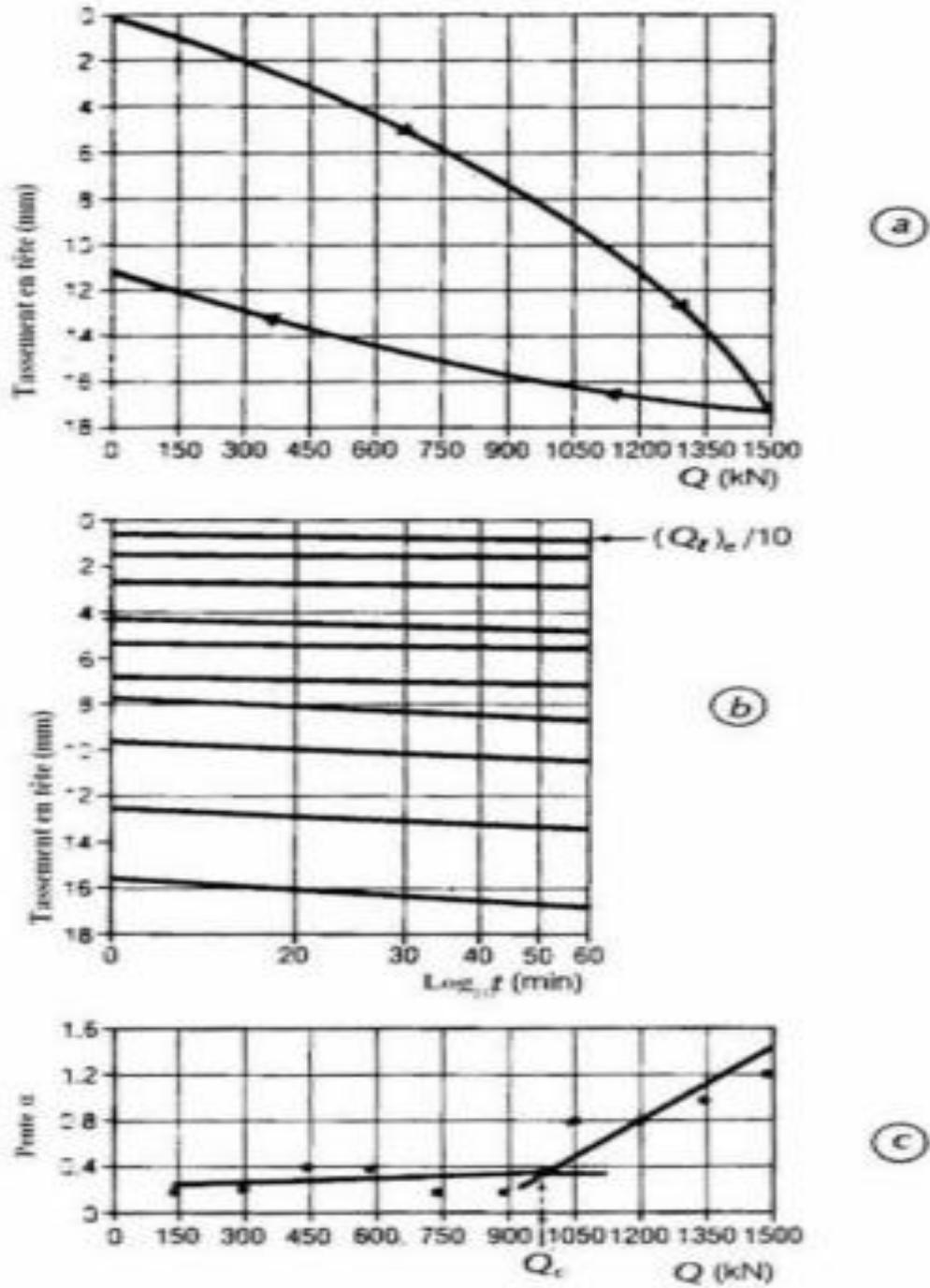


Figure 2.12: Interprétation de l'essai de chargement d'un pieu.

2.6. Conclusion :

Ce chapitre a pour le but de présenter les principales notions et définitions relatives aux fondations sur pieux. Les pieux sont des éléments structuraux, conçus pour reporter des charges aux couches profondes plus résistantes lorsque le sol en surface présente une mauvaise qualité. La capacité portante ultime d'un pieu Q_l est la somme de l'effort limite en pointe Q_p et l'effort limite de frottement latéral Q_s le long de fût, cette dernière peut être déterminée à partir des méthodes théoriques comme celle de la théorie classique des corps rigides-plastiques, empirique à l'aide des essais in-situ (PMT, CPT, SPT) ou direct. L'essai de chargement en vraie grandeur est un outil pratique d'analyse in-situ de la capacité portante et du tassement d'un pieu isolé, l'essai est pour but de déterminer directement la courbe charge-tassement du pieu et déduire après les charges limites Q_l, Q_c et la charge admissible sur pieu

Chapitre 03 :
Méthode numérique de calcul

3.1. Introduction :

Les méthodes numériques deviennent un outil puissant de modélisation des problèmes d'interaction sol/fondation , et il est plus courant d'avoir le recours à la méthode des calculs, l'interaction sol/pieu est modélisée par un maillage axisymétrique formé des éléments plan. Le problème peut être étudié à l'aide de tout programme général de calcul par différence finie citons à titre d'exemple des logiciels vous à la modélisation des problèmes géotechniques :

- Plaxis 2D ;
- Crips ;
- Flac 2D ;

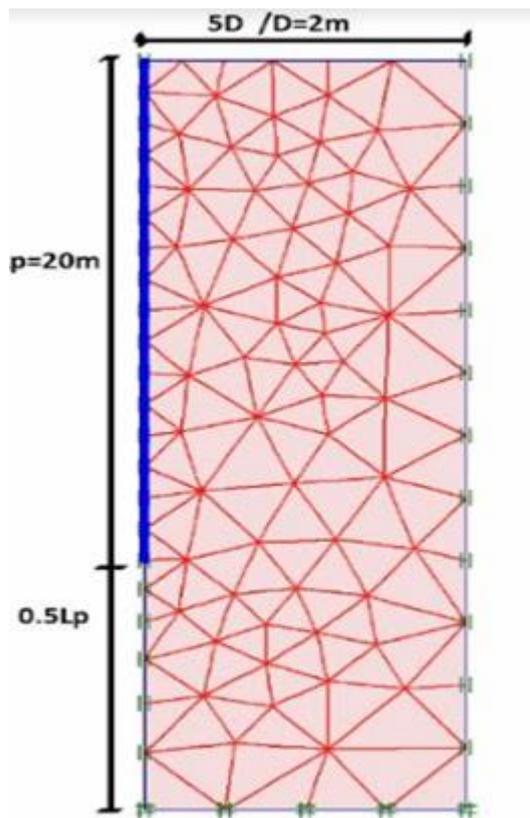


Figure 3.1 :Exemple de maillage d'éléments fini du problème de tassement d'un pieu/sol.

3.2. Méthode de transfert de charges :

3.2.1. Présentation de la théorie de transfert de charges :

Par la méthode des courbes q-z l'estimation du tassement d'un pieu isolé est donnée par une approche pratique en analysant par une petite base de donnée d'essais le chargement statique de pieux instrumentés par des extensomètres ou des jauges de déformation le long du fût .

B_0 et R_0 en fonction des paramètres géotechnique q_c

La discrétisation de l'interface sol/pieu en une infinité de ressorts non linéaires indépendants reprenant les contraintes de frottement latéral $\tau(z)$ et la pression vertical q_p à la bas du pieu .

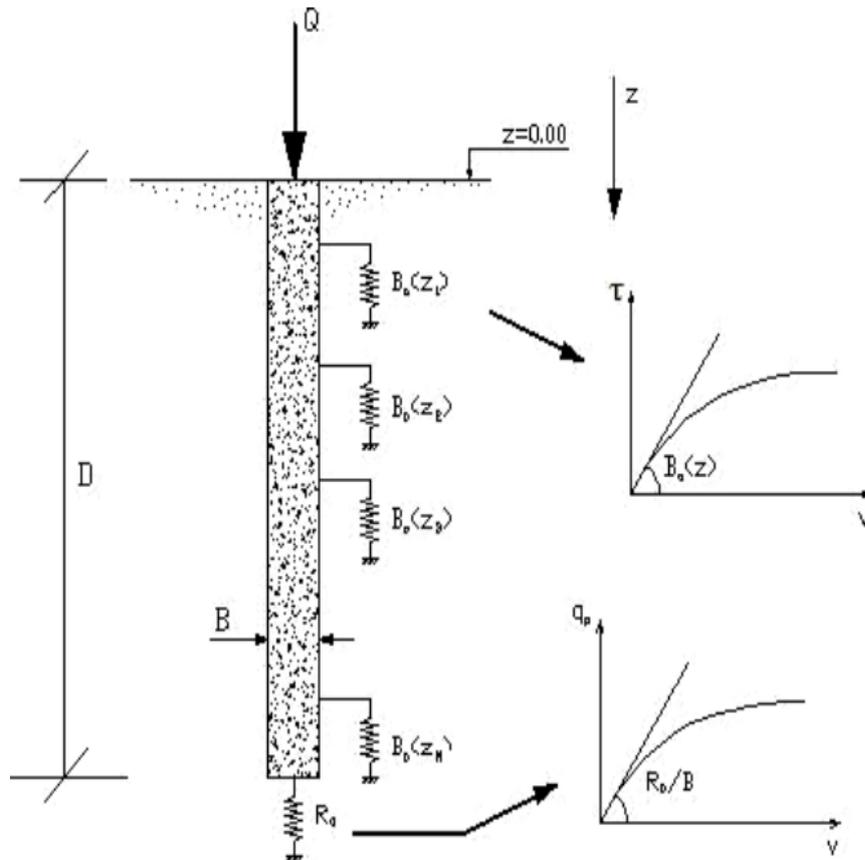


Figure 3. 1: Principe de transfert de charge d'un pieu isolé.

On suppose que les contraintes mobilisées à l'interface sol/pieu, à une profondeur donnée sont proportionnelles au tassement correspondant telles que :

$$\tau(z) = B_0(z) \cdot v(z) \quad (3.1)$$

$$q = R_0 \frac{v(D)}{B} \quad (3.2)$$

L'équilibre d'une tranche infinitésimale du pieu se traduit par l'équation différentielle suivante :

$$\left(\frac{d^2 v}{dz^2} \right) - a^2 \cdot v = 0 \quad (3.3)$$

$$a = \sqrt{\frac{4B_0}{E_p \cdot B}} \quad (3.4)$$

Dans le d'un sol homogène caractérisé par B_0 constant avec profondeur , cette équation s'intègre analytiquement et tassement en tête du pieu est donnée par :

$$V_0 = \frac{4Q}{\pi B} \frac{1 + \frac{R_0 \cdot \tan h(aD)}{a \cdot B \cdot E_p}}{R_0 + a \cdot B \cdot E_p \cdot \tan h(aD)} \quad (3.5)$$

Dans le cas d'un pieu incompressible, la solution précédente devient en imposant $E_p/E = \infty$

$$V_0 = \frac{4Q}{\pi B} \frac{1}{(R_0 + 4 \cdot D \cdot B_0)} \quad (3.6)$$

3.2.2. Calcul Tassement élastique d'un pieu :

Le tassement élastique total d'un pieu sous une charge verticale Q_w est :

$$S = S_1 + S_2 + S_3 \quad (3.7)$$

Avec :

S : tassement élastique total du pieu ;

S_1 : tassement élastique du puit ;

S_2 : tassement élastique dû à la pointe du pieu ;

S_3 : tassement élastique dû à la transmission de la charge le long du puit ;

a-Calcul de S_1 :

Le matériau constituant le pieu est supposé être élastique. Le tassement élastique du puit est donné par le principe de la mécanique des matériaux :

$$S_1 = \frac{Q_{wp} + \xi Q_{ws}}{A_p \cdot E_p} \quad (3.8)$$

Q_{wp} :Charge supporté par la pointe du pieu sous les conditions de travail ;

Q_{ws} : Résistance au frottement du pieu sous les conditions de travail ;

A_p : section transversale du pieu ;

L : longueur du pieu ;

E_p : module de Young du matériau du pieu ;

Chapitre 03 :Méthode numérique de calcul

La valeur de ξ dépend de la distribution de la résistance au frottement dans le puit du pieu .

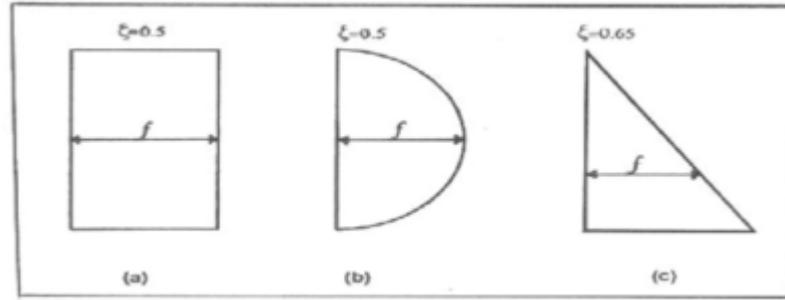


Figure 3. 2: Distribution de frottement unitaire le long du puit du pieu.

b- Calcul de S2 :

Le tassement élastique dû à la pointe du pieu est :

$$S_2 = \frac{Q_{wp}.D}{E_s}(1-\nu_s)I_{wp} \quad (3.9)$$

Avec :

D : diamètre ou largeur du pieu ;

q_{wp}: Charge de pointe par unité de surface ;

E_s: module de Young du sol ;

ν_s: coefficient de poisson du sol ;

I_{wp}: coefficient d'influence donné par l'abaque de Harr ;

Ce tassement élastique peut aussi être calculé par une méthode empirique proposée par Vesic (1977) :

$$S_2 = \frac{Q_{wp}.C_p}{Dq_p} \quad (3.10)$$

Ou :

q_p: capacité portante de pointe ultime du pieu ;

C_p: coefficient empirique (tableau 2.2) ;

Tableau 3. 1: Types de C_p

Type de sol	Pieu battu	Pieu foré
Sable (dense à lâche)	0.02-0.04	0.09-0.18

c-Calcul de S3 :

De même le tassement dû à la transmission de charge le long du puit est donné :

$$S_3 = \frac{Q_{ws} D}{Pl E_s} (1 - \nu_s^2) I_{ws} \quad (3.11)$$

Avec :

P : périmètre du pieu ;

L : longueur d'ancrage du pieu ;

I_{ws}: coefficient d'influence donné par l'expression ;

$$I_{ws} = 2 + 0.35 \sqrt{\frac{L}{D}} \quad (3.12)$$

3.3.Méthode empiriques :

cette méthode se base sur copilation d'un nombre de constatation sur les pieux ,elles donnent une estimation approximative du tassement v_0 en tête sous une charge, et pour un sol pulvérulent et un chargement vertical loin de celui de la rupture du sol ,le tassement v_0 peut être estimé par :

$$v_0 = \frac{B}{100} + \Delta L \quad (3.13)$$

D'où :

ΔL : le raccourcissement élastique du pieu ,égal $\frac{Q \cdot D}{A \cdot E_p}$

B : diamètre du pieu (en mètre) ;

A : aire de la section droite du pieu ;

D : fiche du pieu ;

Q : chargement vertical appliqué en du pieu ;

E_p : module d'élasticité du matériau du pieu ;

Pour méthode de Meyerhof (1995) :

$$V_0 = \frac{B}{30F_s} \quad (3.14)$$

$F_s = 3$

-formule de Frank (1995) :

Pour un pieu foré :

$$\frac{v_0}{B} = 0.6\% \quad (3.15)$$

Pour un pieu battu :

$$\frac{v_0}{B} = 0.9\% \quad (3.16)$$

Pour une charge égale $0.7 Q_C$, Q_C : charge vertical critique .

3.4. Méthodes d'élasticité :

C'est une méthode qui suppose que le sol un comportement élastique linéaire et se base sur la solution fondamentale de Minidlin (1936) du problème d'une force verticale entrnée dans un massif du sol élastique semi-infini .le tassement vertical en tête du pieu v_0 s'exprime en général sous forme suivante :

$$v_0 = \frac{QIv}{Es(D).B} \quad (3.17)$$

$Es(D)$: module d'élasticité du sol à la bas du pieu .

$$Iv = 4(1+\nu) \frac{1 + \frac{8}{\pi} \frac{D \tan h(\mu D)}{\lambda(1-\nu)B} \frac{\mu D}{\alpha}}{\frac{4}{(1-\nu)\xi} + \frac{4\pi \tan h(\mu D)}{\alpha \mu D}} \quad (3.18)$$

$$\beta = \frac{D(\frac{D}{2})}{E.D} \quad (3.19)$$

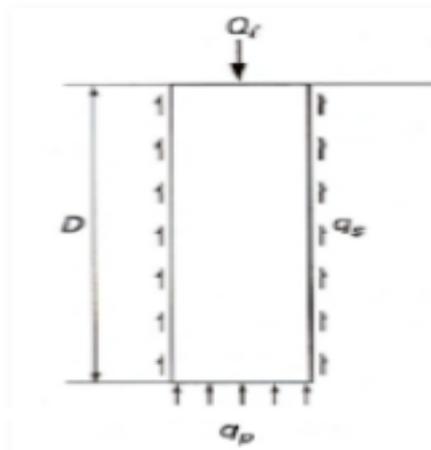


Figure 3. 3: Schéma d'équilibre du pieu sous une force verticale.

$$\alpha = \ln \left[2 \frac{D}{b} (0.25 + (2.5\beta(1-\nu) - 0.25)\xi) \right] \quad (3.20)$$

$$\lambda = 2. (1 + \nu) \frac{E_p}{E.D} \quad (3.21)$$

$$D\mu = \frac{D}{B} \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{\alpha\lambda}} \quad (3.22)$$

En cas d'un sol semi infini, on prend $\xi =1$, et en présence d'un substratum élastique caractérisé par un module E_b , le facteur ξ est calculé comme suit :

$$\xi = \frac{E.D}{E_b} \quad (3.23)$$

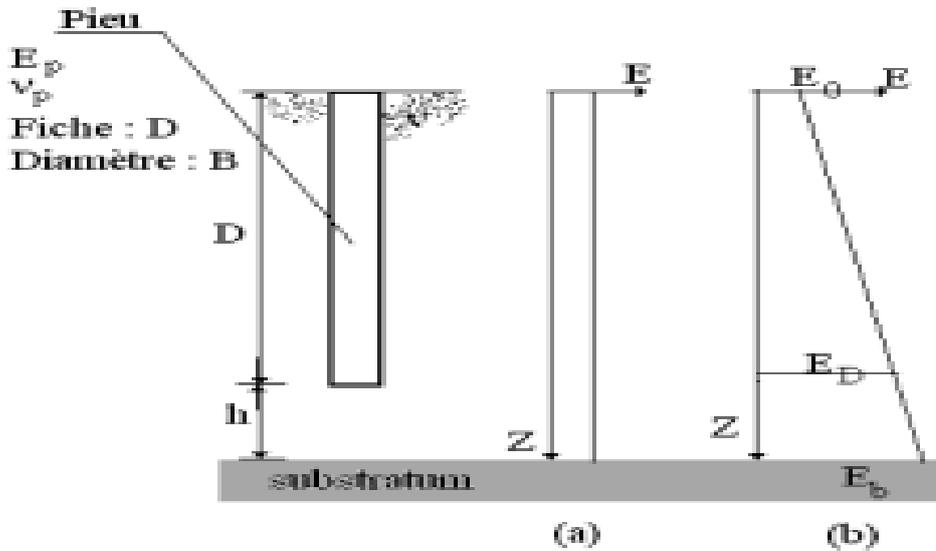


Figure 3. 4: Schéma du modèle élastique du système sol/pieu (a : sol homogène ; b : sol de Gibson.

Tableau 3. 2: Valeurs de I_v dans un sol homogène ($\nu=0.33$)

$K=Ep/E$		10^2	10^3	10^4	10^6
D/B	5	0.2140	0.1910	0.1884	0.1882
	10	0.1733	0.1323	0.1280	0.1274
	20	0.1580	0.0900	0.0820	0.0810
	50	0.1660	0.0615	0.0435	0.0414

Tableau 3. 3: Valeurs de I_v un sol Gibson $E_s = a \cdot z$ ($\nu=0.33$)

$K=Ep/E$		10^2	10^3	10^4	10^6
D/B	5	0.2944	0.2603	0.2567	0.2563
	10	0.2595	0.1960	0.1890	0.1882
	20	0.2504	0.1430	0.1290	0.1274
	50	0.2693	0.1053	0.0732	0.0692

3.5. Conclusion :

Le caractère hétérogène du sol rend difficile l'établissement d'une seule méthode générale d'estimation de la force portante des pieux. De ce fait, la littérature contient plusieurs méthodes d'estimation de la capacité portante.

La détermination de l'effort dans le pieu est étroitement liée à l'estimation du module d'élasticité du pieu. Ce dernier est généralement connu dans le cas d'un pieu en acier. Par contre, dans le cas d'un pieu composite, il diffère d'un pieu à un autre. A cet effet, on place des jauges de déformations à côté de la tête du pieu où la charge dans le pieu est la même que celle qui est appliquée sur la tête du pieu et on calcule le module d'élasticité par le biais de les méthodes de calcul .

Plusieurs méthodes ont été développées pour interpréter la courbe charge-déplacement. Le concept sur lequel elles se sont basées dépend des données des essais de chargement utilisées lors de leurs développements.

De ce chapitre il est compris associés les pieu isolé chargement verticale, et il plusieurs méthodes numériques de calcul, tel que (méthode statiques, et empirique... ect).

Le but de ce chapitre calcul (la capacité portante d'un pieu isolé, et calcul tassement élastique d'un pieu ...ect).

Chapitre 04 :

Etude par Plaxis d'un pieu isolé sous sollicitations verticales

4.1. Introduction :

PLAXIS est un programme d'éléments finis en deux dimensions spécialement conçu pour réaliser des analyses de déformation et de stabilité pour différents types d'applications géotechniques. Les situations réelles peuvent être représentées par un modèle plan ou axisymétrique

LES POINTS FORTS DE PLAXIS 2D

- Convivialité de l'interface (Windows©), pour la saisie des données, la définition des phases de projets et l'analyse des résultats
- Génération automatique des maillages
- Des jeux prédéfinis de lois de comportement de sol (linéaire élastique, Mohr-Coulomb, Hardening Soil, Soft Soil, ...) et la possibilité de définir ses propres lois de comportement
- Couplage avec les calculs d'écoulement et de consolidation
- Prise en compte des éléments de structure et de l'interaction sol-structure
- Calcul de coefficients de sécurité (procédure c/ϕ réduction)

4.1.1. Buts et objectifs :

Dans ce chapitre on va étudier l'effet du comportement du pieu lorsqu'on fait varier la limite du terrain autour du pieu.

L'étendue du sol autour du pieu joue un rôle très important sur le comportement de ce dernier.

La limite du sol qui sera prise en considération varie en fonction du diamètre du pieu selon la série suivante : (3D,5D,7D,10D),

Une analyse sera faite pour déterminer l'influence de cette distance sur le tassement du pieu et ainsi prévoir la limite au-delà de laquelle le tassement du pieu n'est plus affecté.

4.1.2. Unités et conventions de signe :

Il est important dans toute analyse d'adopter un système cohérent d'unités. Au début de la saisie d'une géométrie, un ensemble approprié d'unités de base doit être sélectionné. Les unités de base comprennent une unité de longueur, de force et de temps. Ces unités de base sont définies dans la feuille de l'onglet Modèle de la fenêtre Propriétés du projet dans le programme Input. Les unités par défaut sont les mètres [m] pour la longueur, le kilo Newton [kN] pour la force et le jour [jour] pour le temps.

Tableau 4. 1: Différents paramètres et unité

		Système International
Unité De Base	Longueur Force Temps	(m) (N) (jour)
Géométries	Coordonnées Déplacements	(m)
Propriétés de Matériaux	Module De Young Cohésion Angle De Friction Angle De Dilatation Poids volumique Perméabilité	(KN/m ²)=(kPa) (KN/m ²) (deg) (KN/m ³) (m/jour)
Forces et Contraintes	Charges ponctuelles Charges linéaire Charges réparties Contraintes	(KN) (KN/m) (KN/m ²) (KN/m ²)

Les unités sont généralement utilisées uniquement comme référence pour l'utilisateur, mais, dans une certaine mesure, la modification des unités de base dans la fenêtre Propriétés du projet convertira automatiquement les valeurs d'entrée existantes en nouvelles unités. Cela s'applique aux paramètres des propriétés de matériau du programme Input. Elle ne s'applique pas aux valeurs d'entrée liées à la géométrie comme les données de géométrie, les charges, les déplacements prescrits ou les niveaux phréatiques ou à toute valeur en dehors du programme Input. S'il a l'intention d'utiliser un autre système d'unités dans un projet existant, l'utilisateur doit modifier toutes les données géométriques manuellement et refaire tous les calculs.

4.2. Conventions de signe :

Les contraintes calculées dans PLAXIS sont basées sur le système de coordonnées cartésiennes illustré à la figure 4.1. Dans toutes les données de sortie, les contraintes et les forces de compression, y compris les pressions interstitielles, sont considérées comme négatives, tandis que les contraintes et les forces de traction sont considérées comme positives. La figure 4.1 montre les directions positives des contraintes.

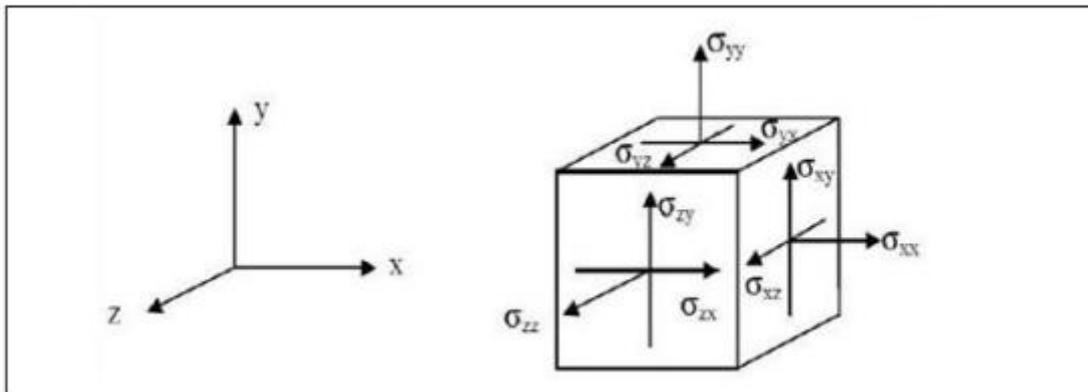
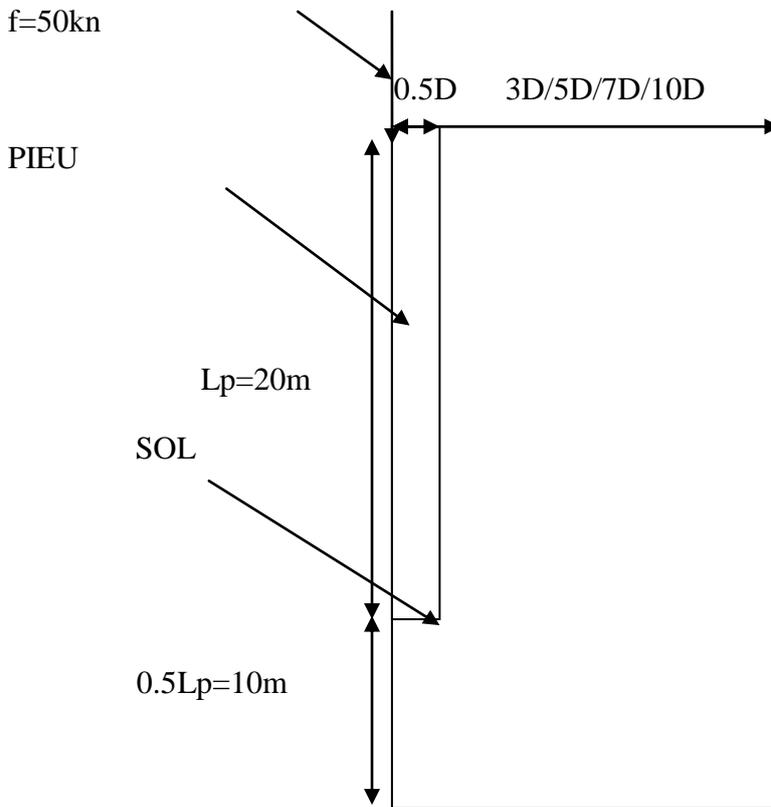


Figure 4. 1: Système de coordonnées et définition des composantes de contrainte Positive.

4.3. Détermination de limites du modèle :

Alors nous avons déterminé un pieu de diamètre $D=2\text{m}$ et de longueur de $L_p=20\text{m}$ sous sollicitations vertical égale 50kn , et calculé les déplacements verticaux en cas de maillage égale ($3D, 5D, 7D, 10D$), et on cas de change la longueur de pieu ($L/D=2\text{m}$, $L/D=5\text{m}$, $L/D=10\text{m}$, $L/D=12.5\text{m}$),

4.3.1. Détermination des limites du modèle (2D) :



Le dessin de la figure.

Tableau 4. 2: Le paramètre de sol et de pieu

Paramètres	Nom	Pieu	Sol	Unit
Modèle de matériau	Model	Linéaire élastique	MC	-
Type de comportement du matériau	Type	Non poreux	Non drainé	-
poinds volumique non saturé	γ_{unsat}	24	16	KN/m ³
Poids volumique saturé	γ_{sat}	-	18	KN/m ³
Module de Young	E_{ref}	$2 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^5$	KN/m ²
Coefficient de Poisson	ν	0.2	0.3	-
Cohésion	C_{ref}	-	40	KN/m ²
Angle de frottement.	φ	-	30	°

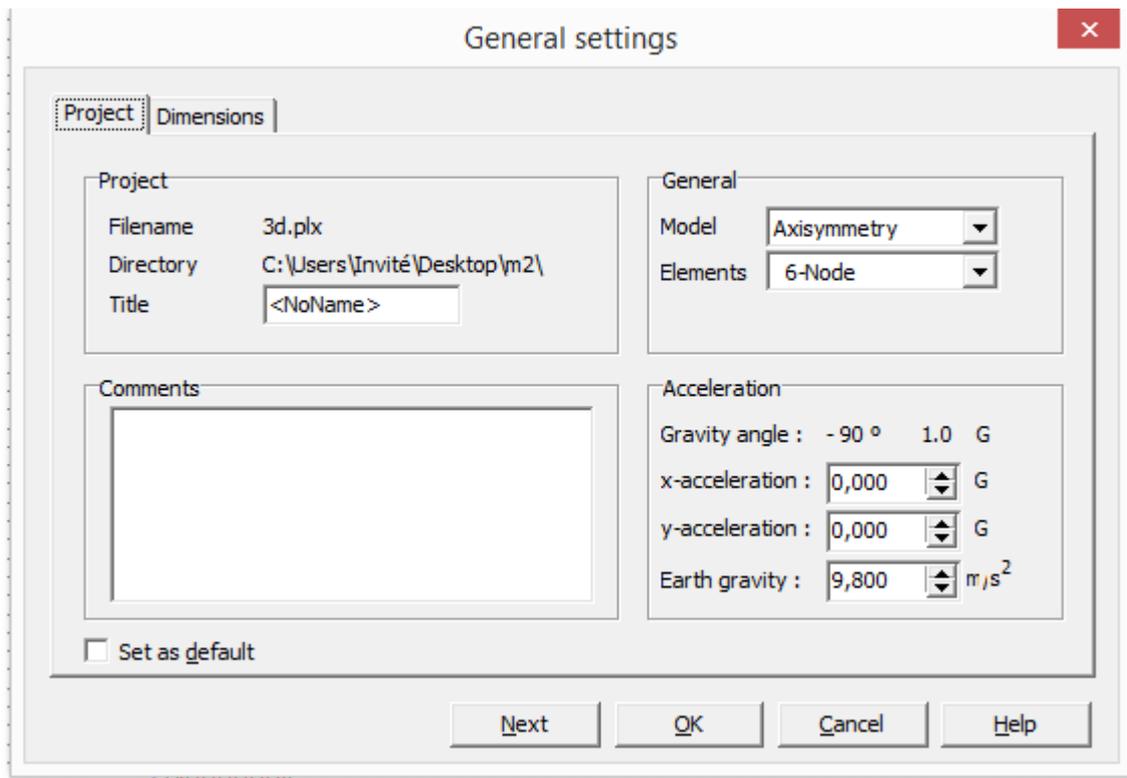


Figure 4. 2: Caractéristiques générales du modèle.

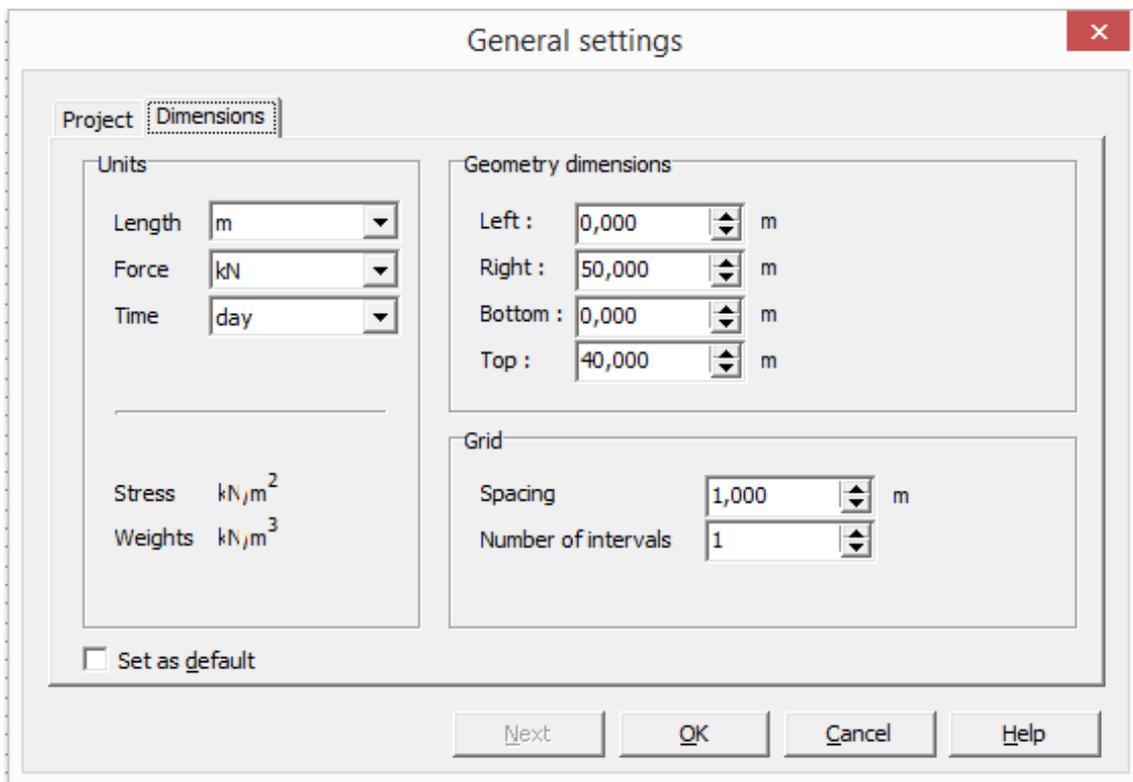


Figure 4. 3: Taille du maillage.

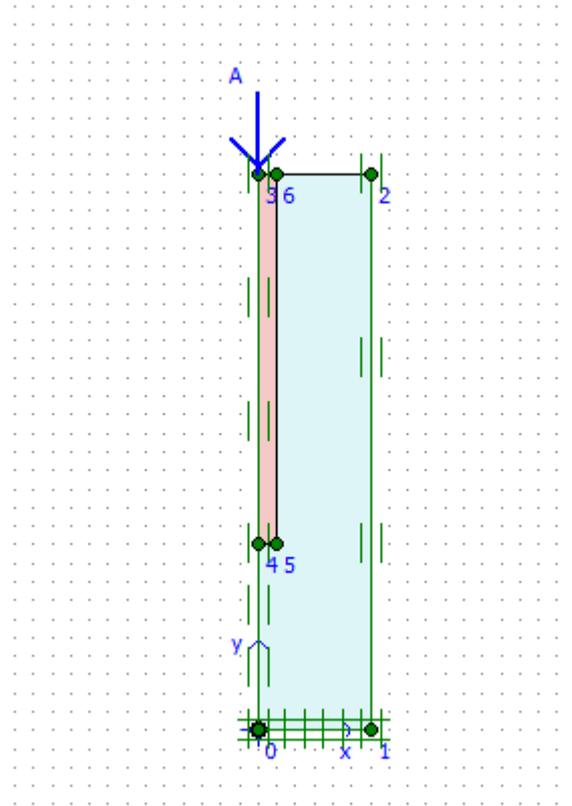


Figure 4. 4: Le dessin de la fuguer par plaxis.

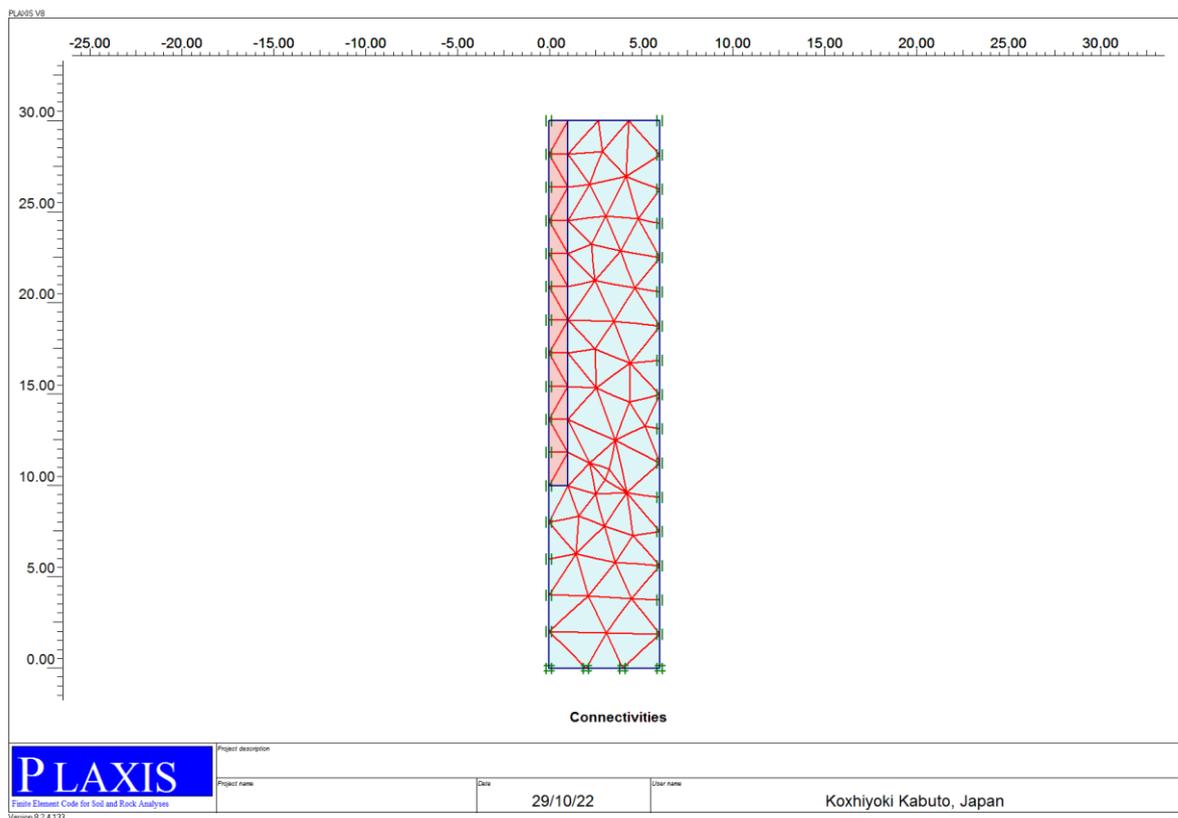


Figure 4. 5: Le maillage (croasse).

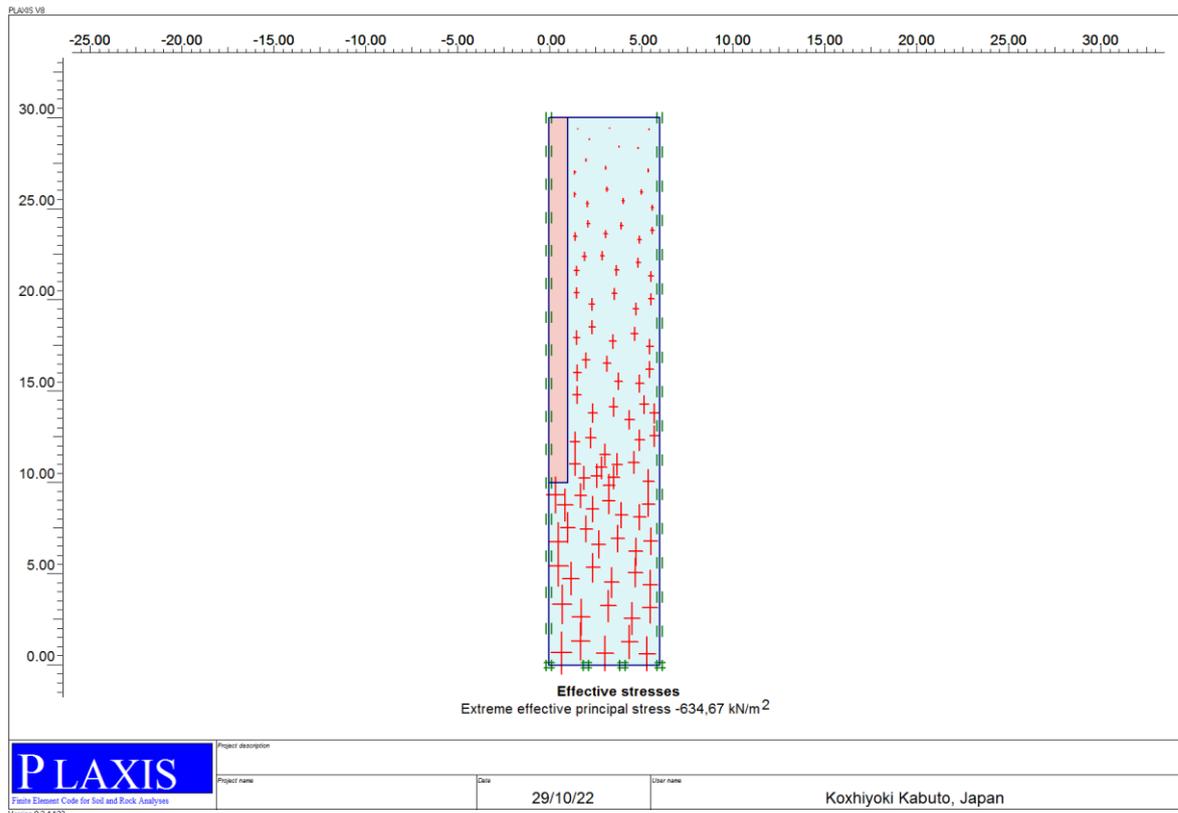


Figure 4. 6: Contraints effective.

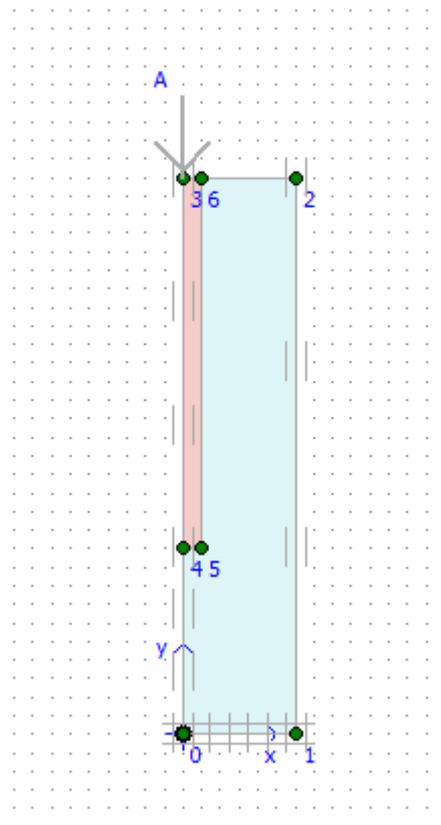


Figure 4. 7: Phase 1.

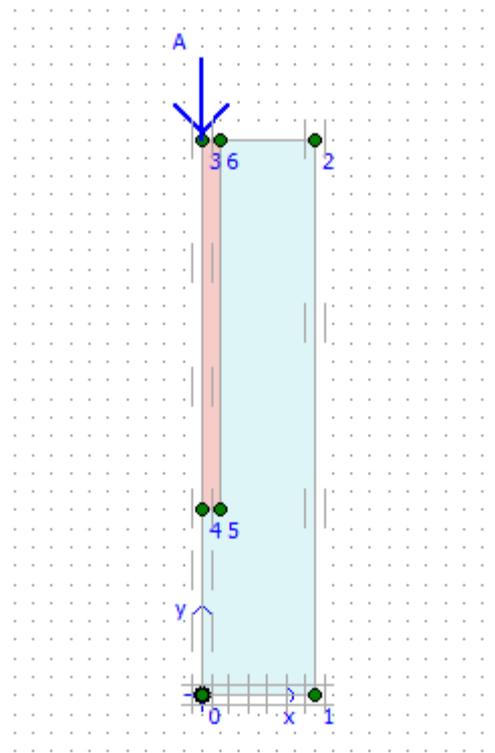


Figure 4. 8: Phase 2.

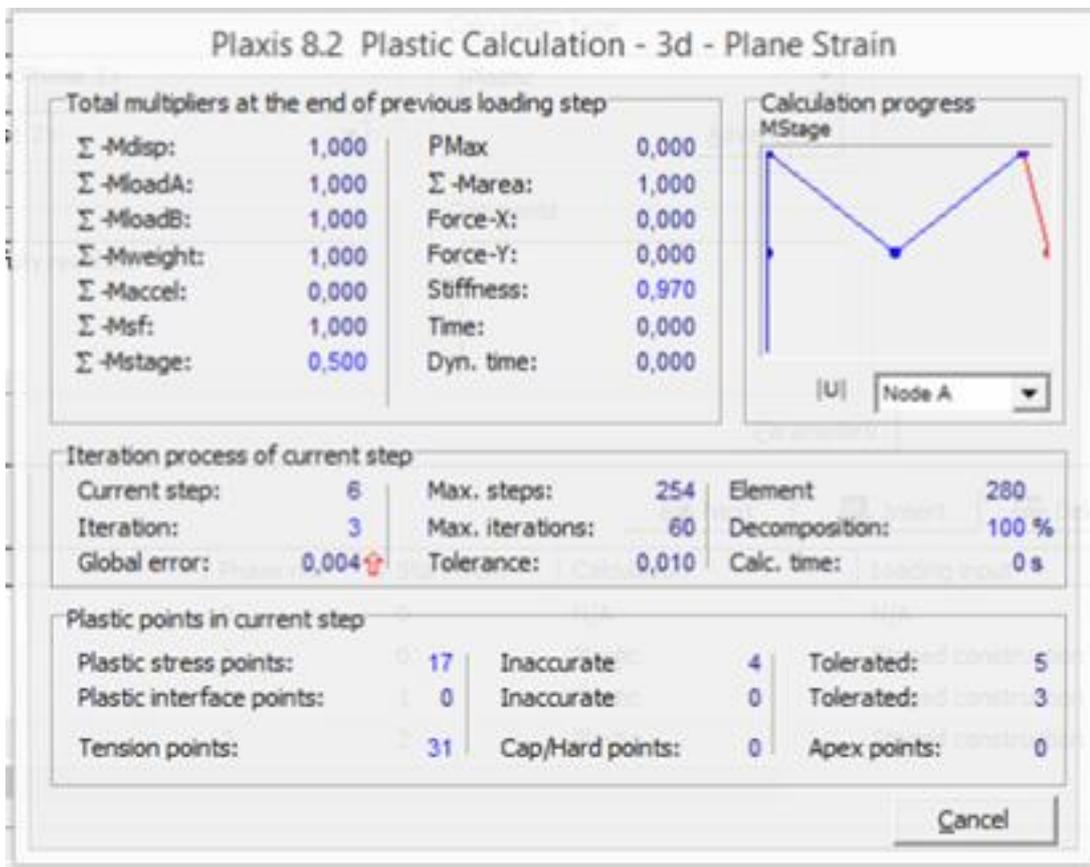


Figure 4. 9: Calculassions.

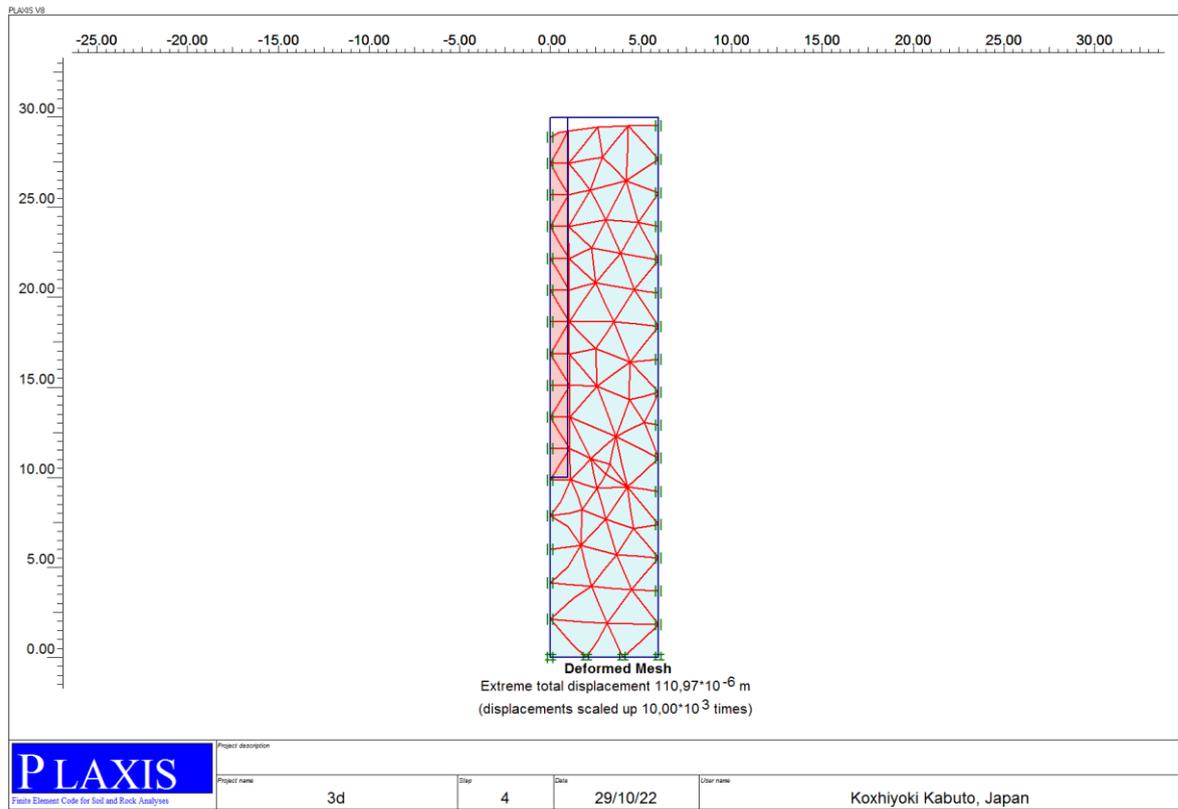


Figure 4. 10: Déplacement totale extrême.

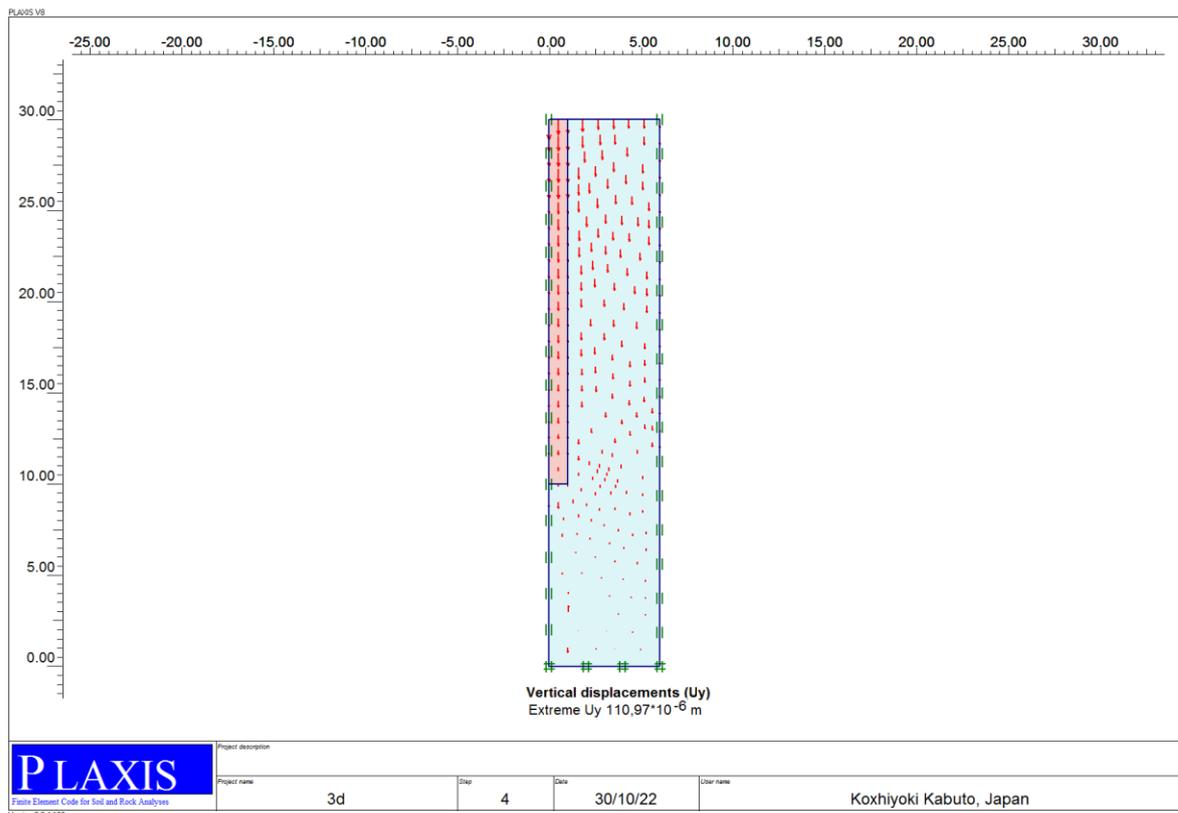


Figure 4. 11: Déplacement vertical.

4.3.2. Détermination de limites du modèle(5D) :

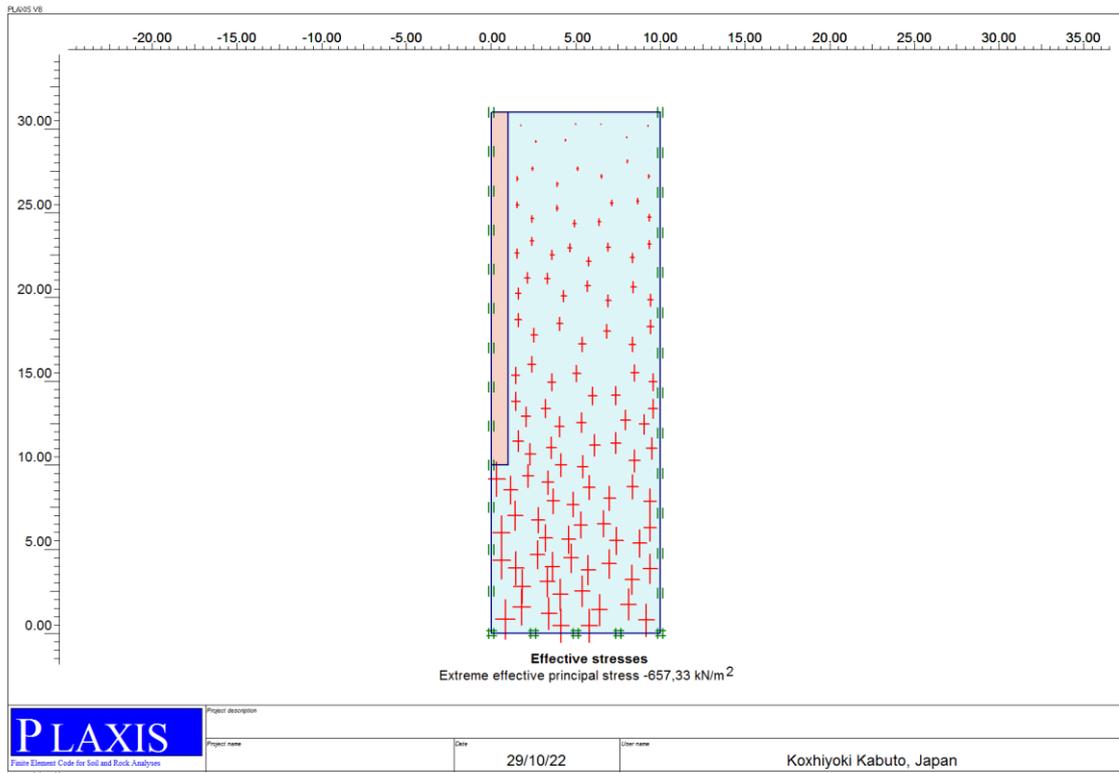


Figure 4. 12: Contraintes effective (5D).

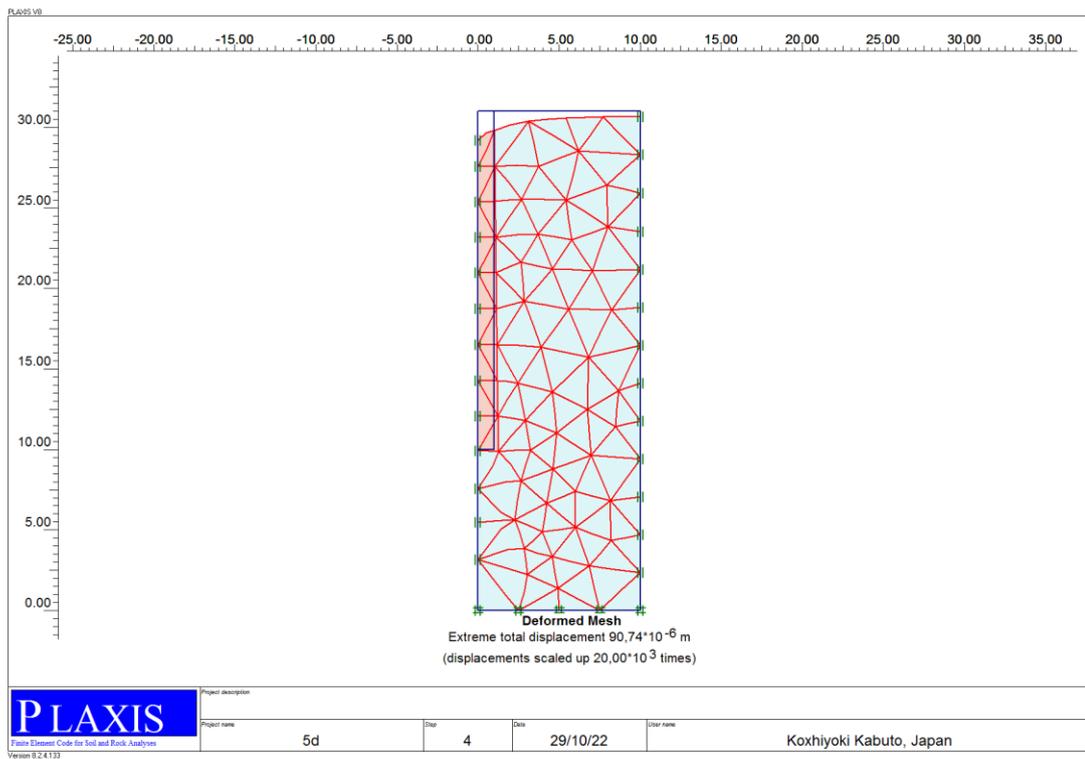


Figure 4. 13: Déplacement totale extrême (5D).

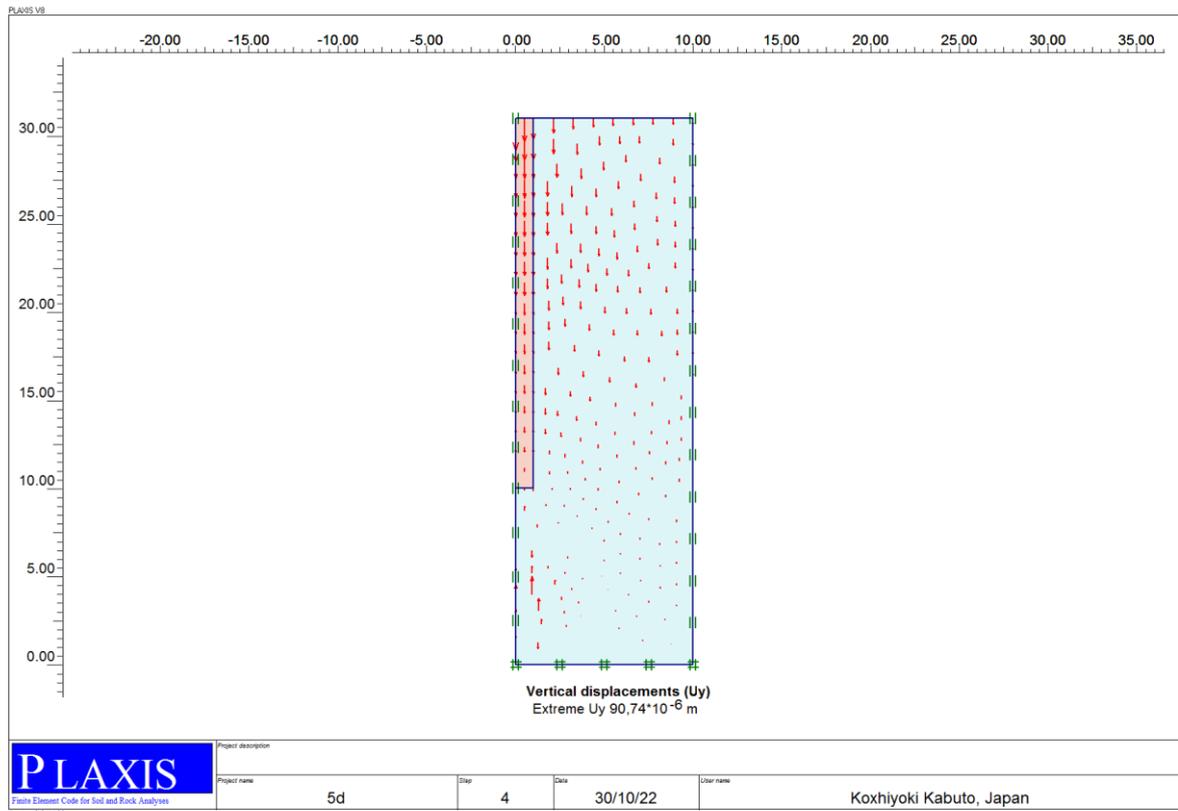


Figure 4. 14: Déplacement vertical (5D).

4.3.3. Détermination de limites du modèle (7D) :

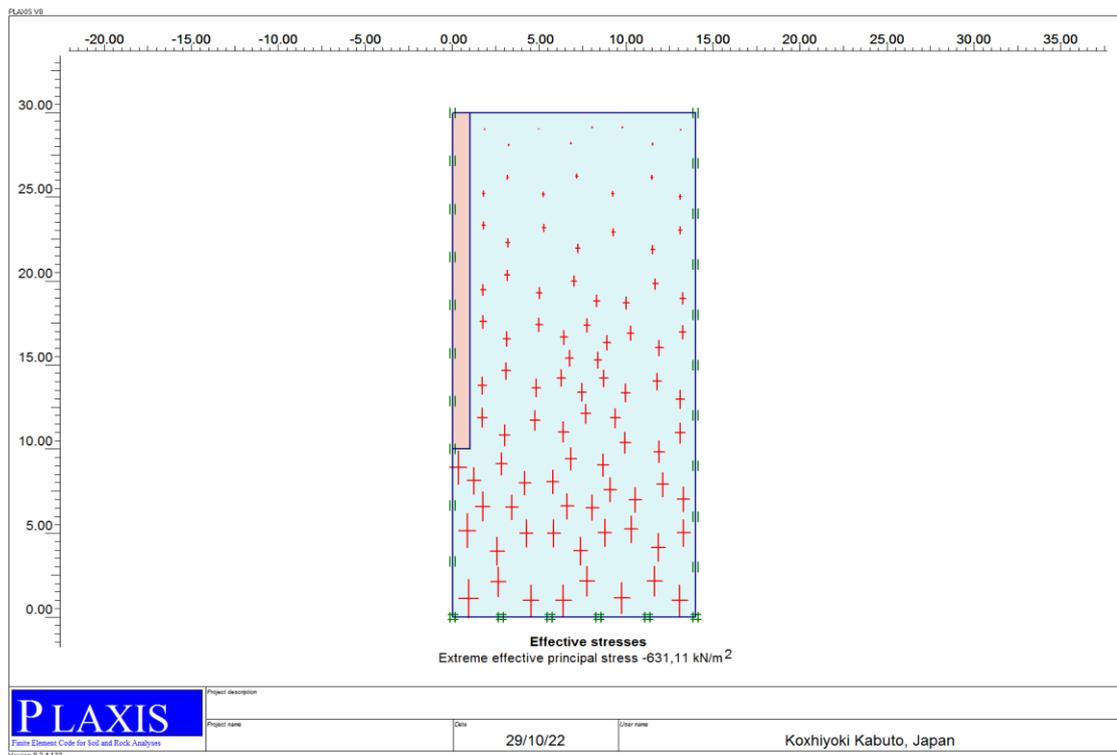


Figure 4. 15: Contraint effective (7D).

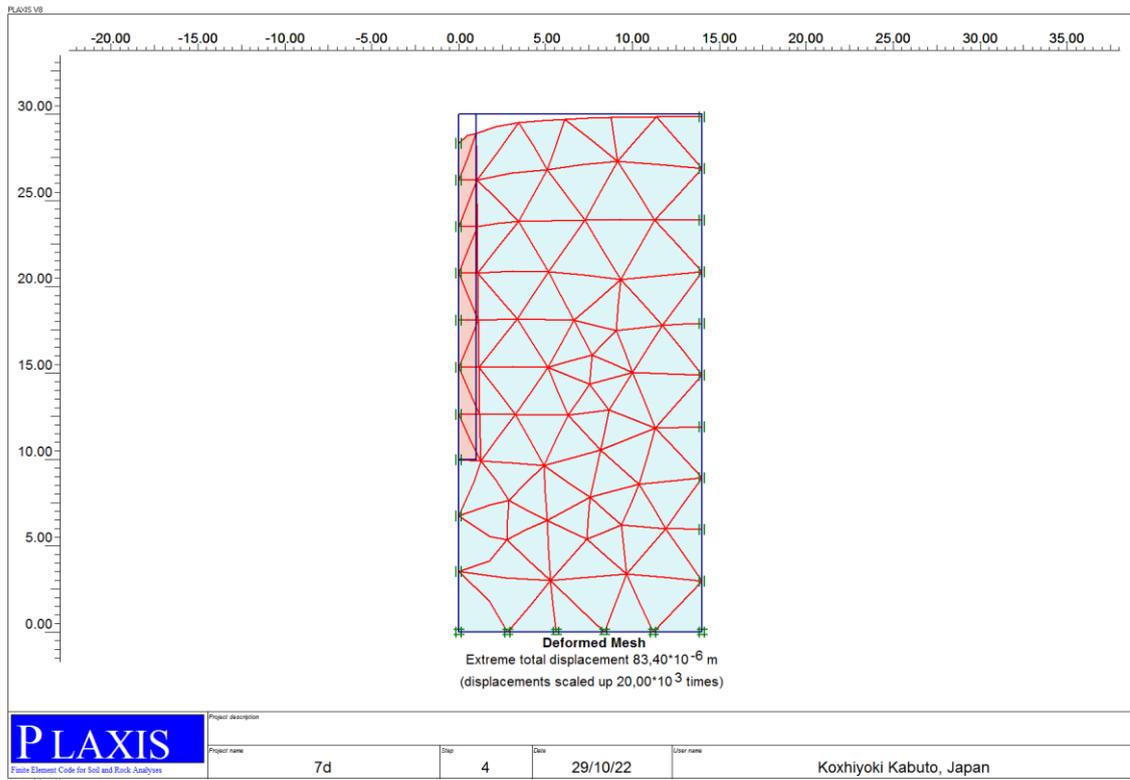


Figure 4. 16: Déplacement totale (7D).

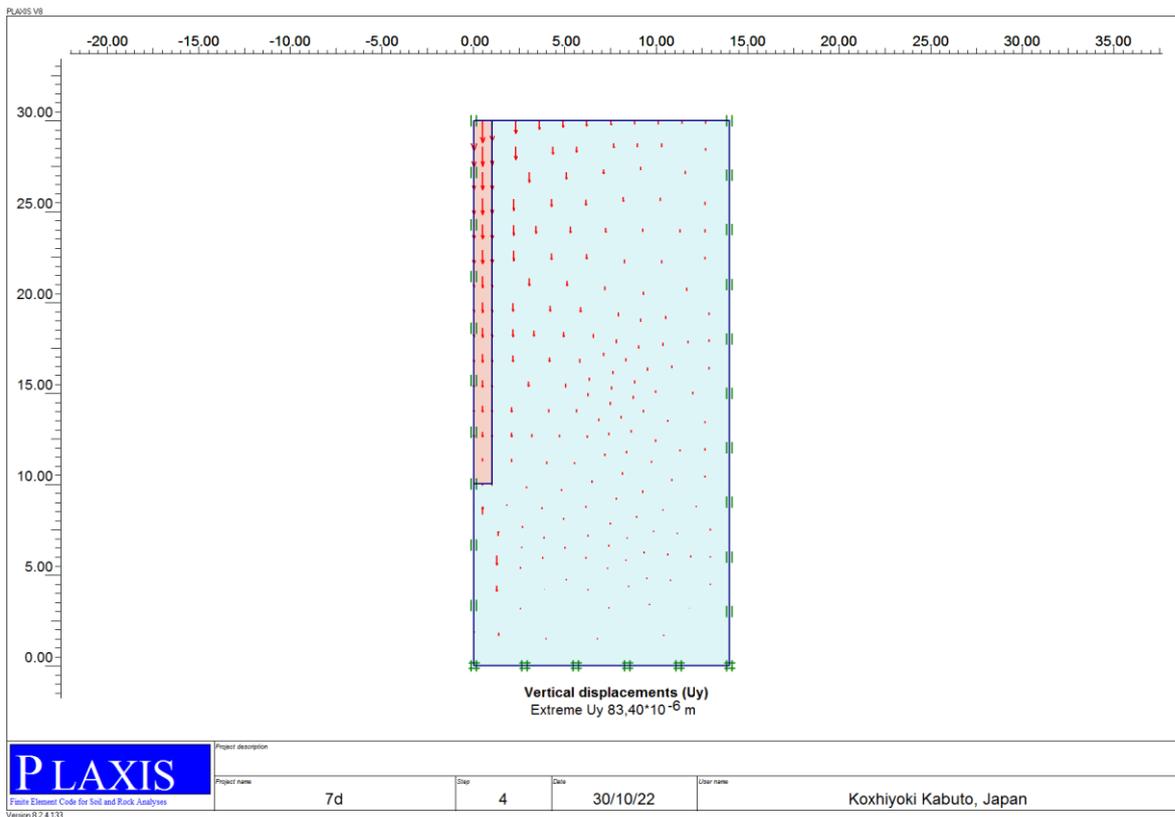


Figure 4. 17: Déplacement vertical (7D).

4.3.4. Détermination de limites du modèle (10D) :

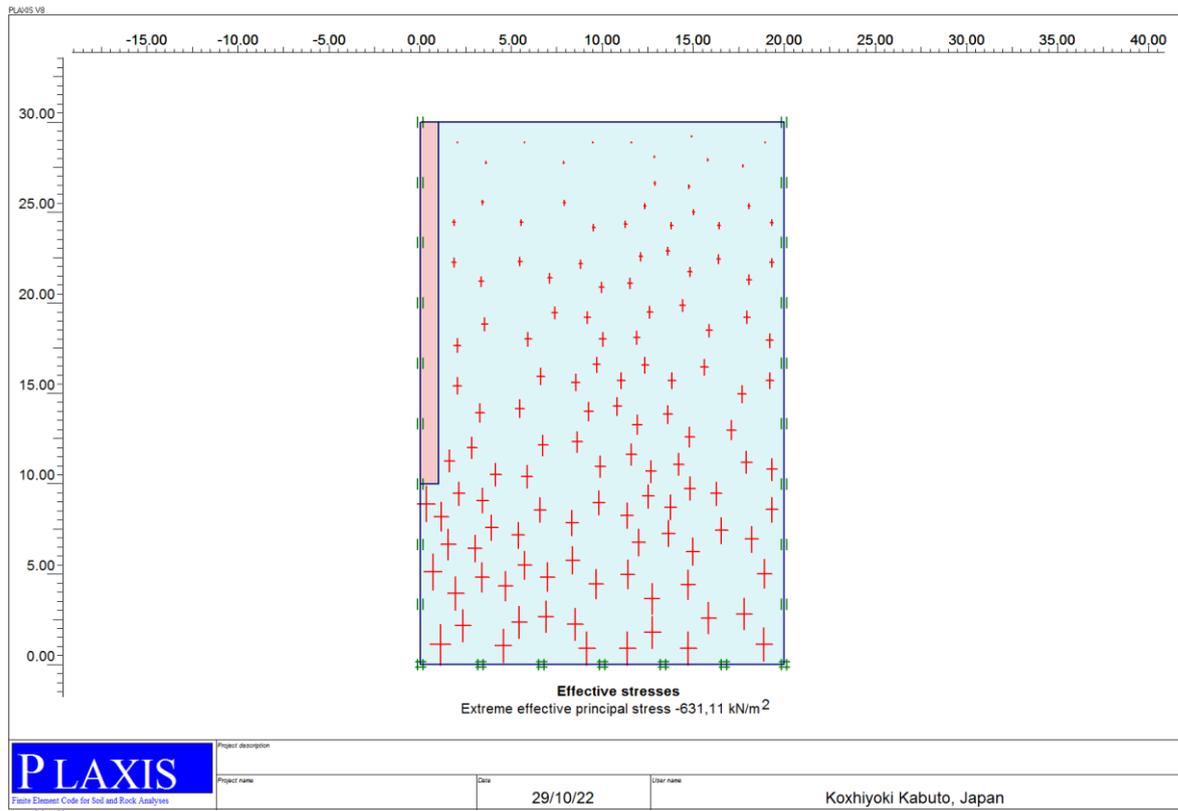


Figure 4. 18: Contrainte effective (10D).

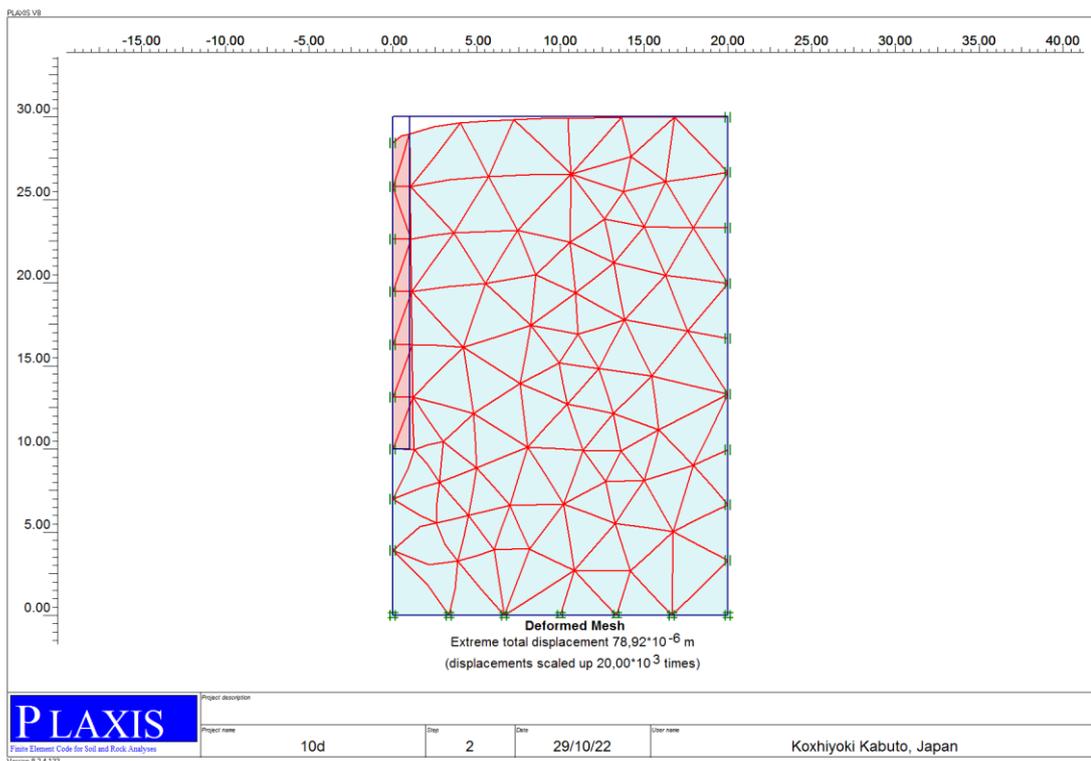


Figure 4. 19: Déplacement totale "maillage corsé"(10D).

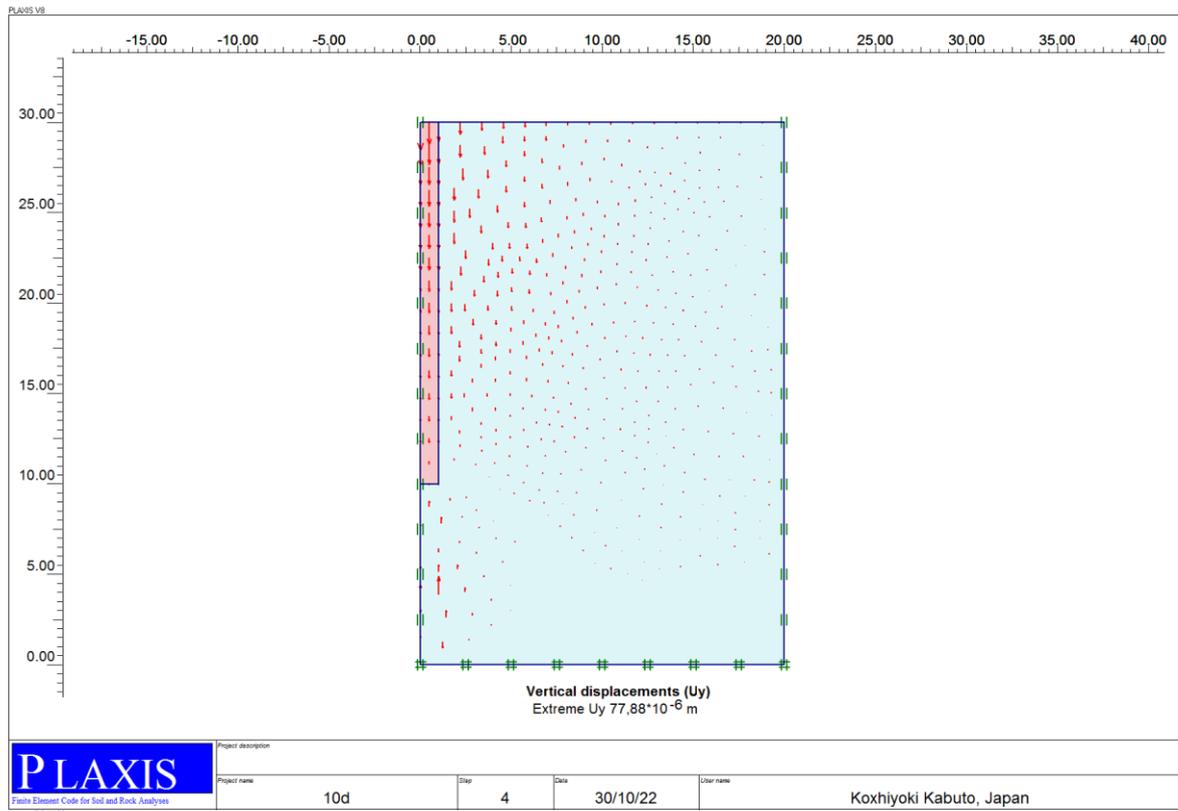


Figure 4. 20: Déplacement vertical (10D).

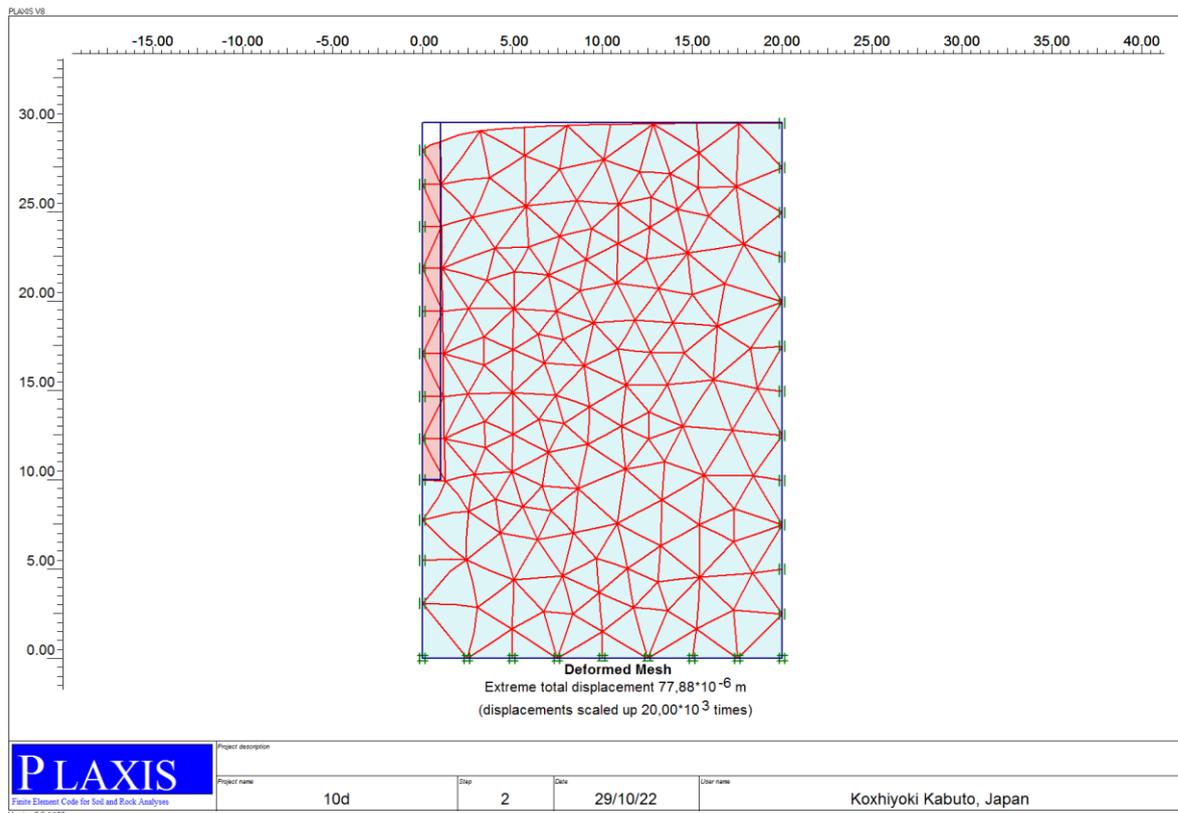


Figure 4. 21: Déplacement totale " maillage medium"(10D).

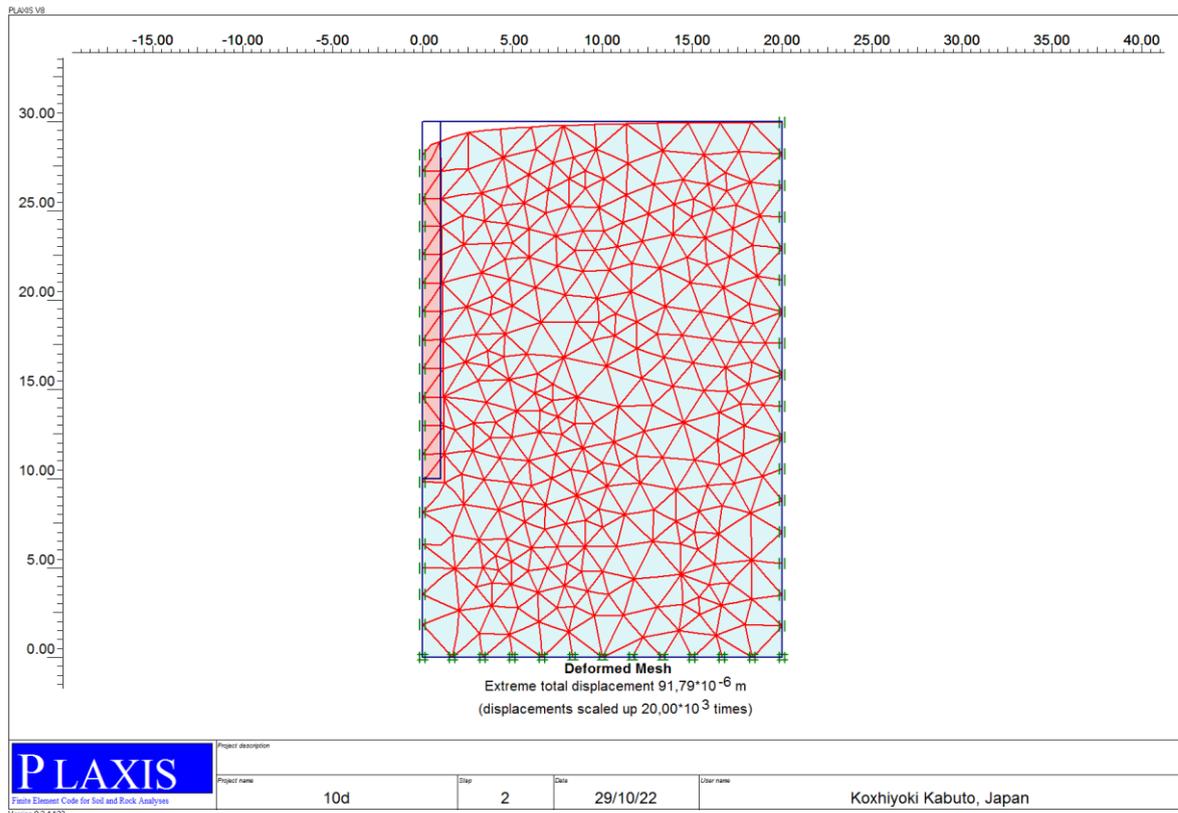


Figure 4. 22: Déplacement totale "maillage fine "(10D).

4.3.5. Détermination de limites du modèle (15D) :

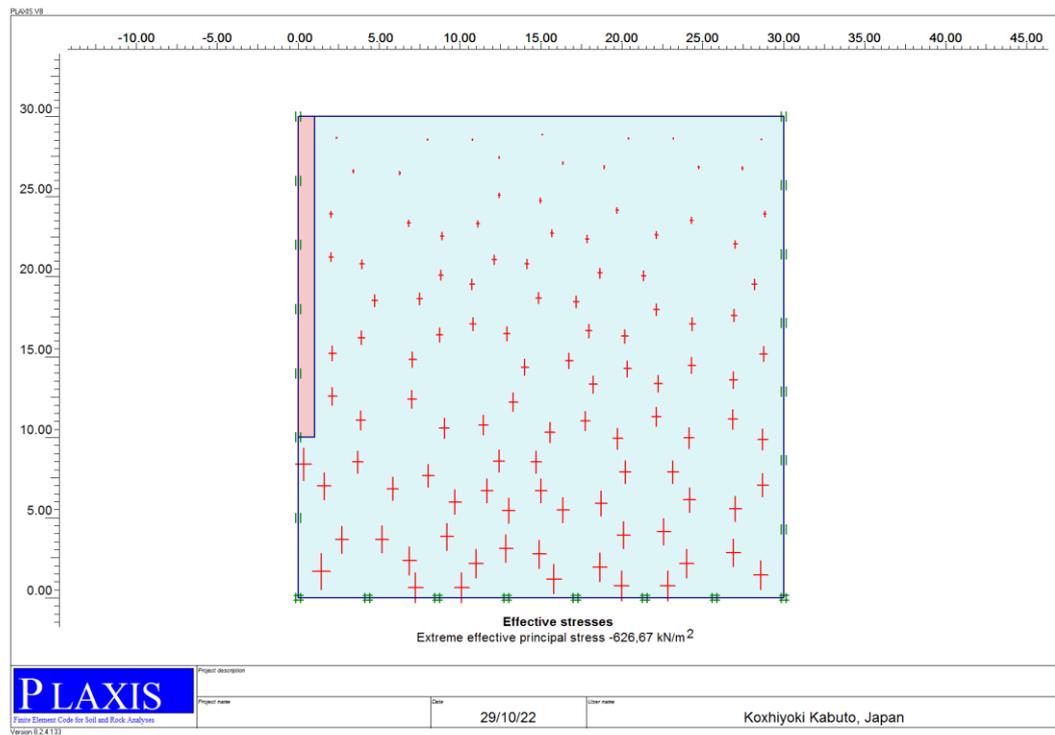


Figure 4. 23: Contrainte effective (15D).

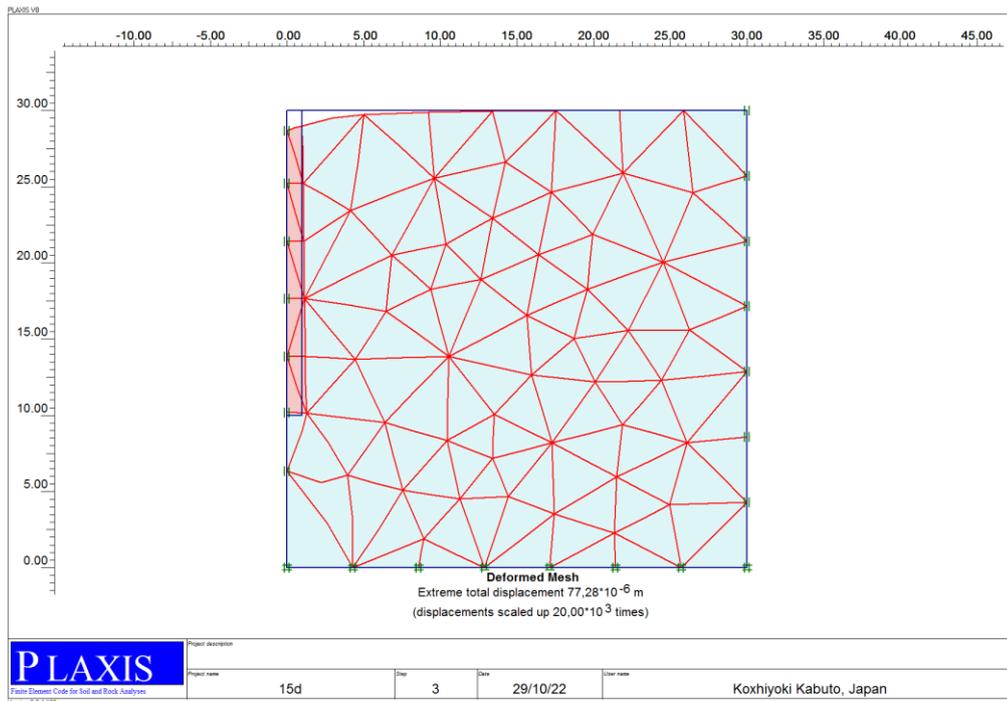


Figure 4. 24: Déplacement totale (15D).

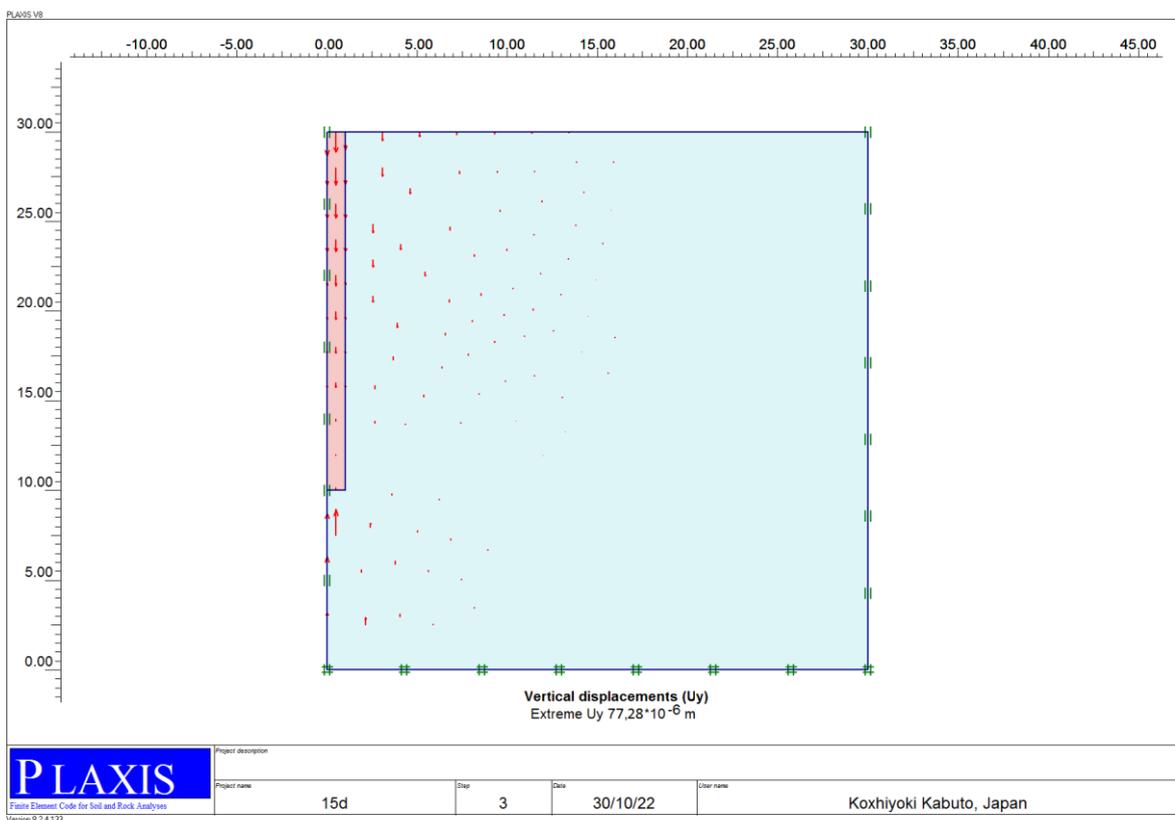


Figure 4. 25: Déplacement vertical (15D).

Tableau 4. 3: Déplacement sur diamètre en fonction de maillage

Maillage	3D	5D	7D	10D	15D
U/D *10 ⁻⁶	55.49	45.37	41.7	38.67	38.64

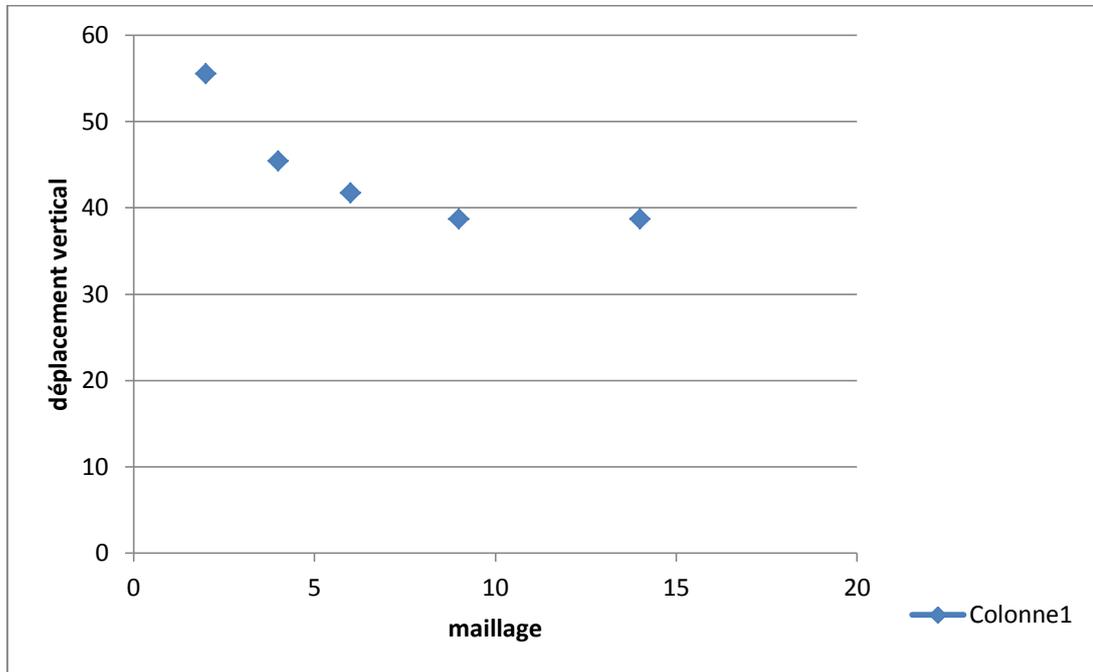


Figure 4. 26: Graphe déplacement sur diamètre en fonction de maillage.

Commenter :

On remarque approximativement une constante dans les valeurs du déplacement vertical entre le maillage 10D et 15D donc en prend 10D

4.4. Détermination de limites du modèle (L/D=2, L/D=5, L/D=10, L/D=12.5) :

4.4.1. Détermination de limites du modèle L/D=2 :

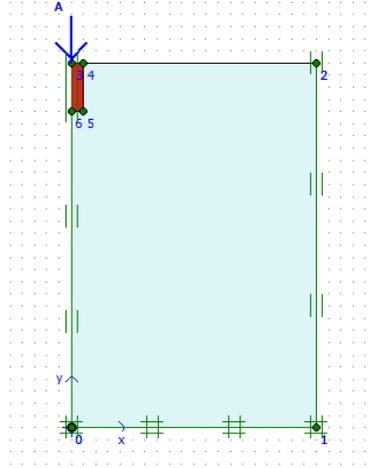


Figure 4. 27: Phase 1(L/D=2).

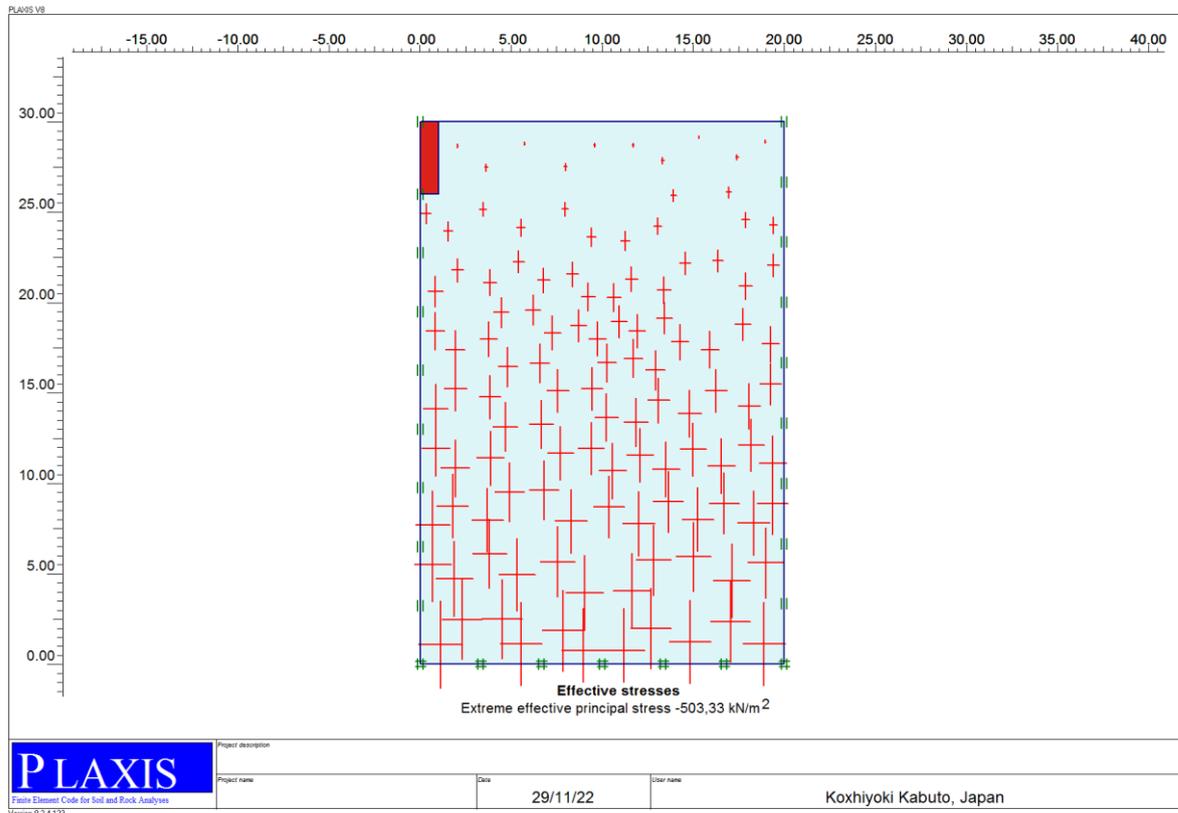


Figure 4. 28: Contraintes effective (L/D=2).

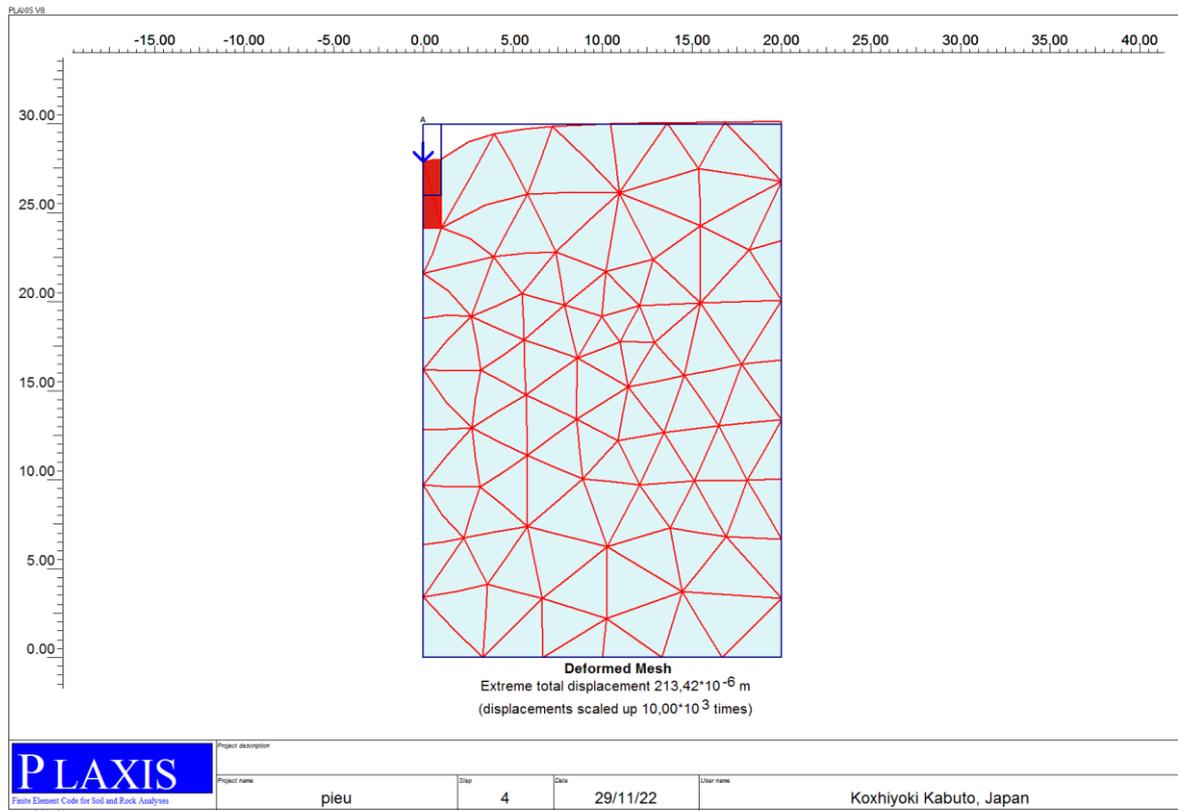


Figure 4. 29: Déplacement totale extrême (L/D=2).

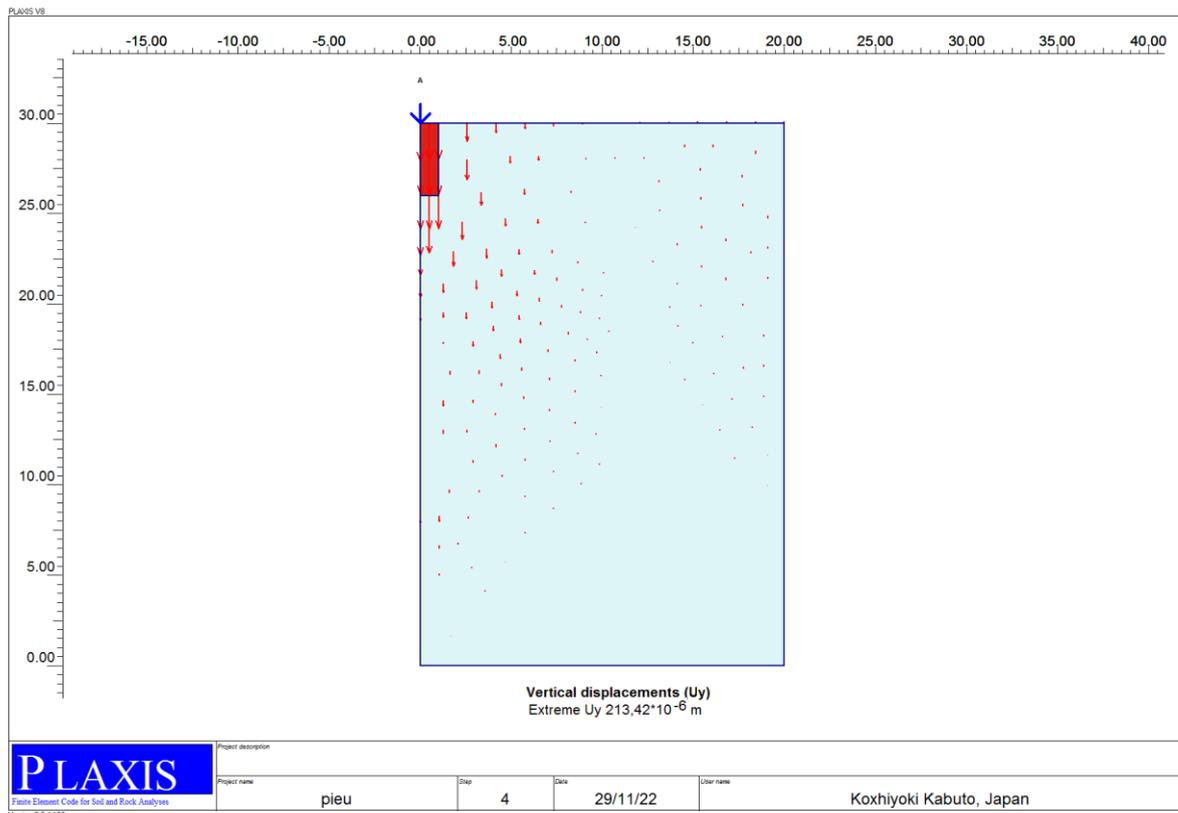


Figure 4. 30: Déplacement verticale (L/D=2).

4.4.2. Détermination de limites du modèle L/D=5 :

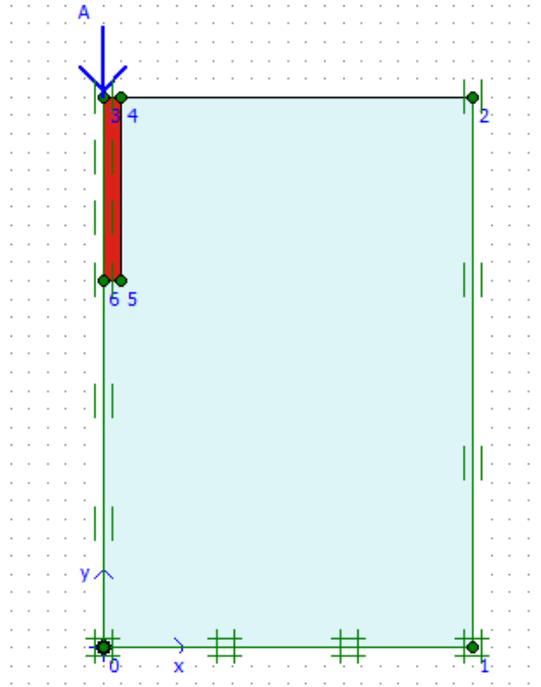


Figure 4. 31: Phase 2(L/D=5).

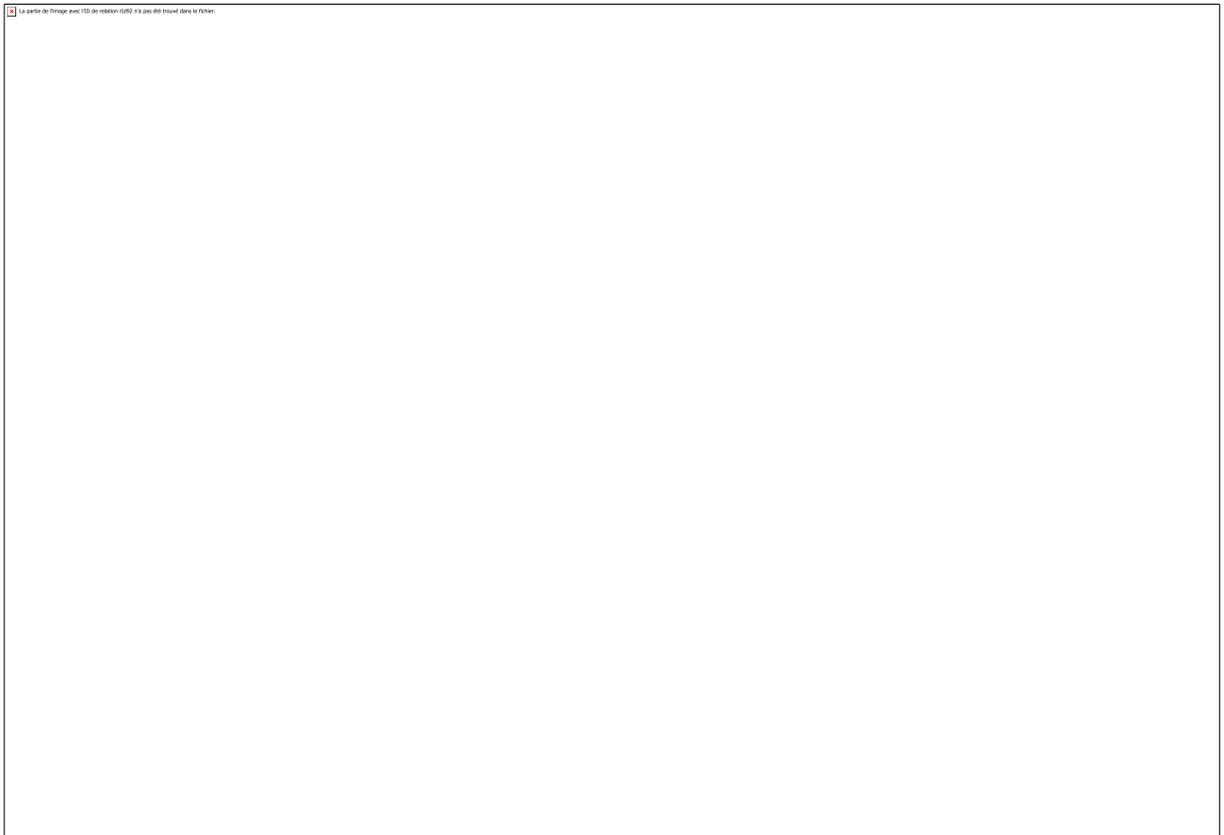


Figure 4. 32: Contraintes effective (L/D=5).

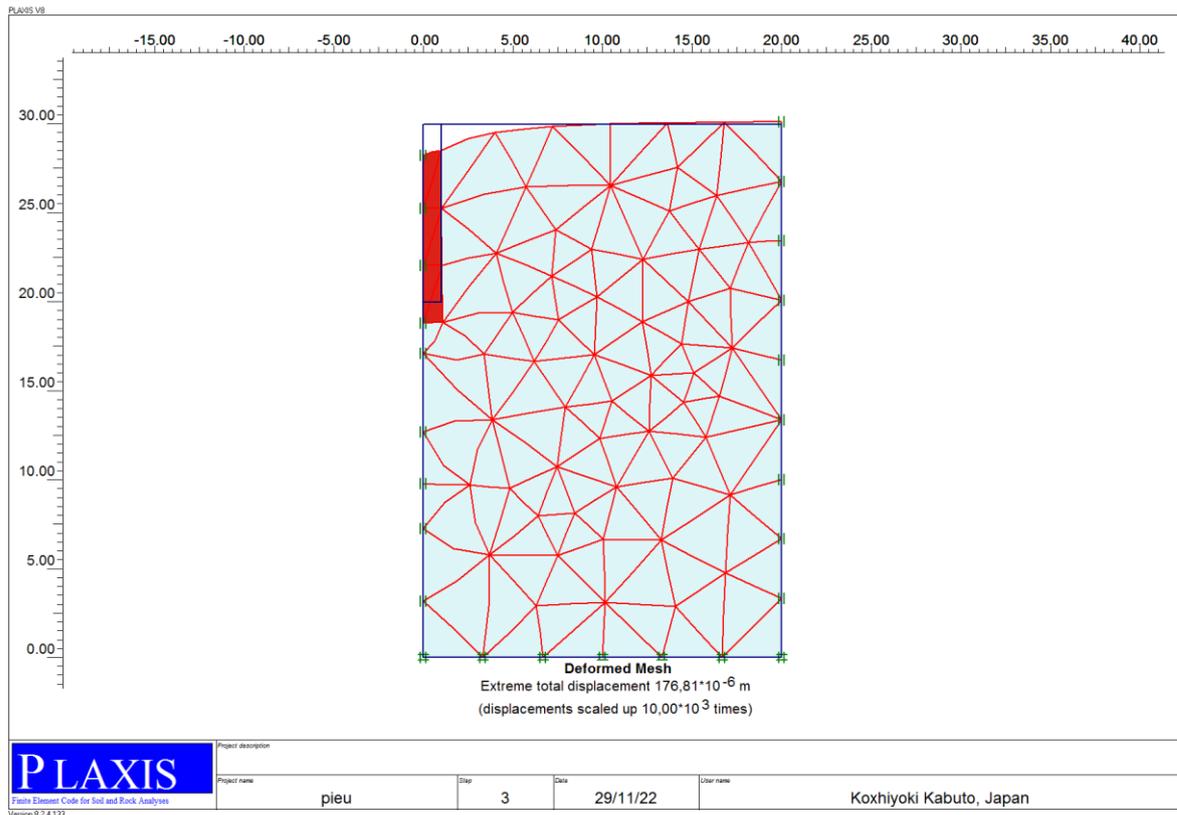


Figure 4. 33: Déplacement totale extrême (L/D=5).

Dans ce chapitre on a étudié le tassement du pieu lorsqu'on fait varier la limite du terrain autour du pieu.

La limite du sol qui sera prise en considération varie en fonction du diamètre du pieu selon la série suivante : (3D,5D,7D,10D),

L'analyse nous a donné le constat suivant :

Au-delà de la limite équivalente à 10D (dix fois le diamètre) le tassement ne varie plus et reste constant.

4.4.3. Détermination de limites du modèle L/D=10 :

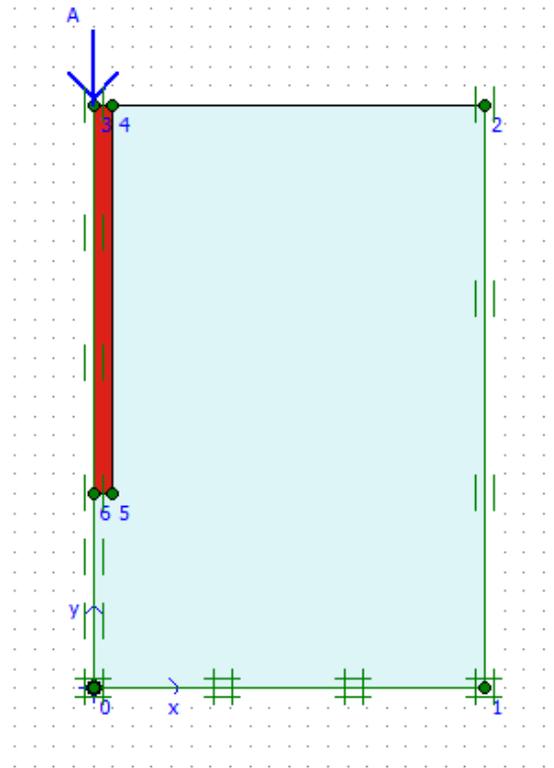


Figure 4. 34: Phase 3(L/D=10).

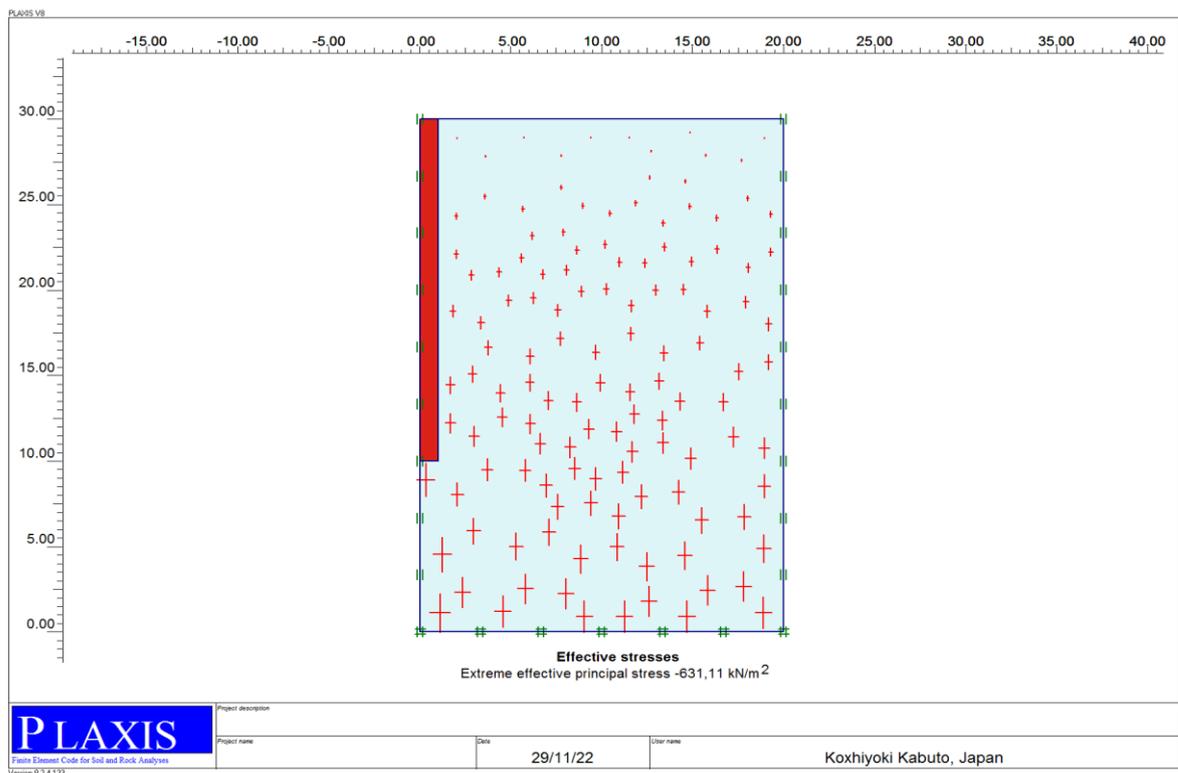


Figure 4. 35: Contrainte effective (L/D=10).

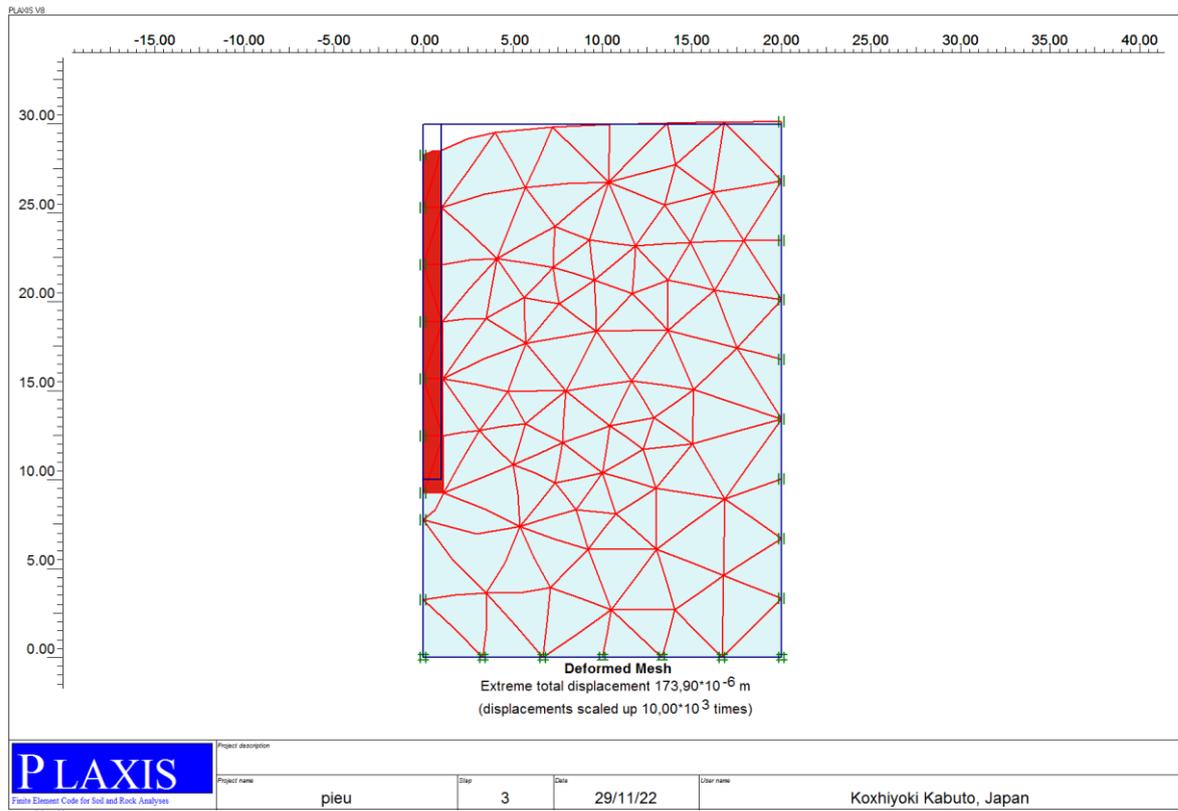


Figure 4. 36: Déplacement totale (L/D=10).

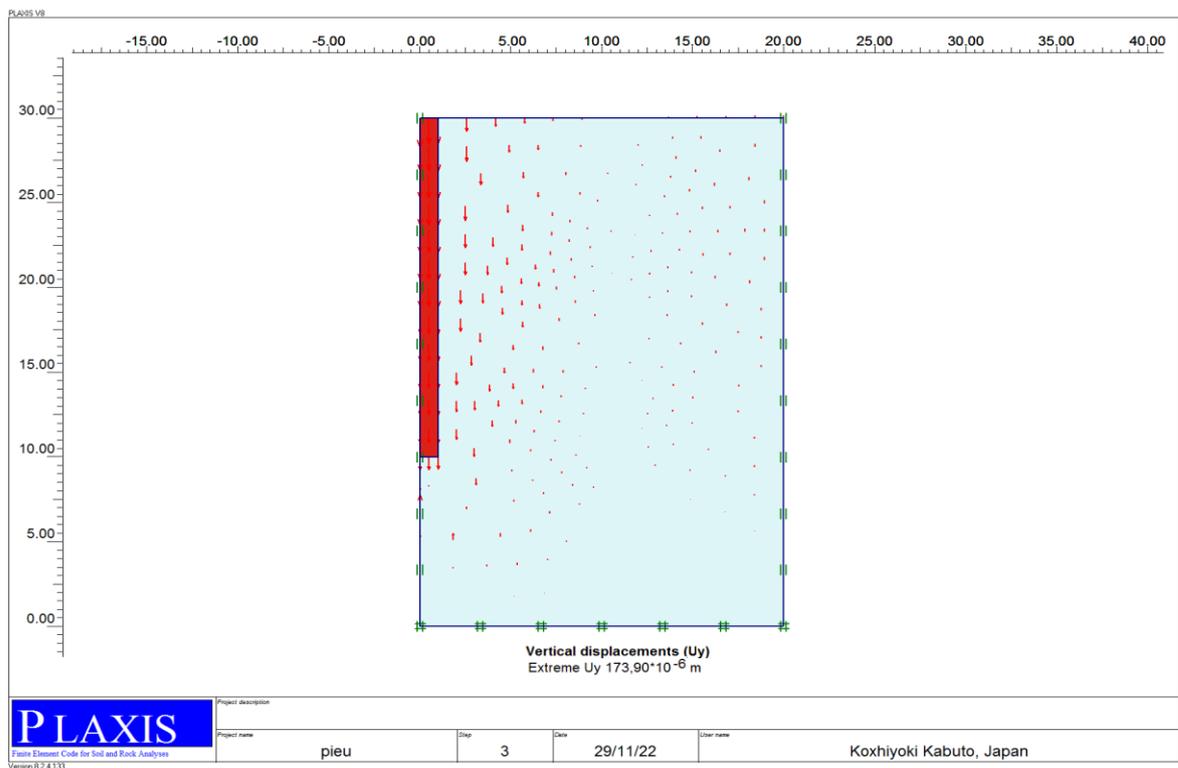


Figure 4. 37: Déplacement vertical (L/D=10).

4.4.4. Détermination de limites du modèle L/D=12.5 :

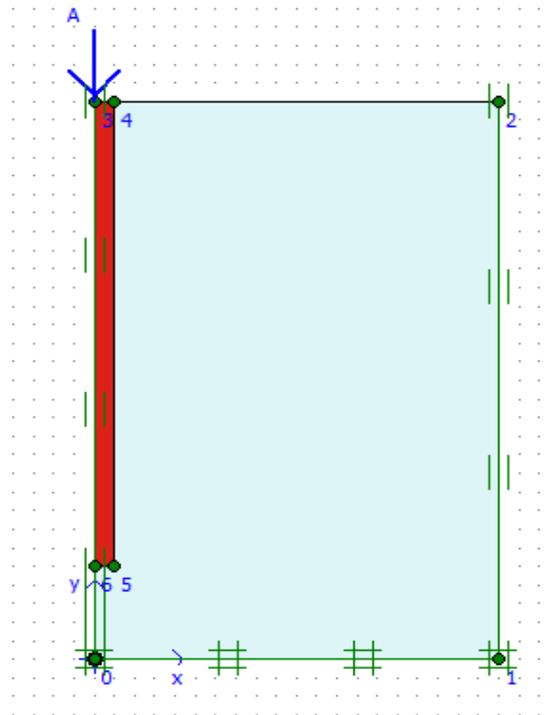


Figure 4. 38: Phase (L/D=12.5).

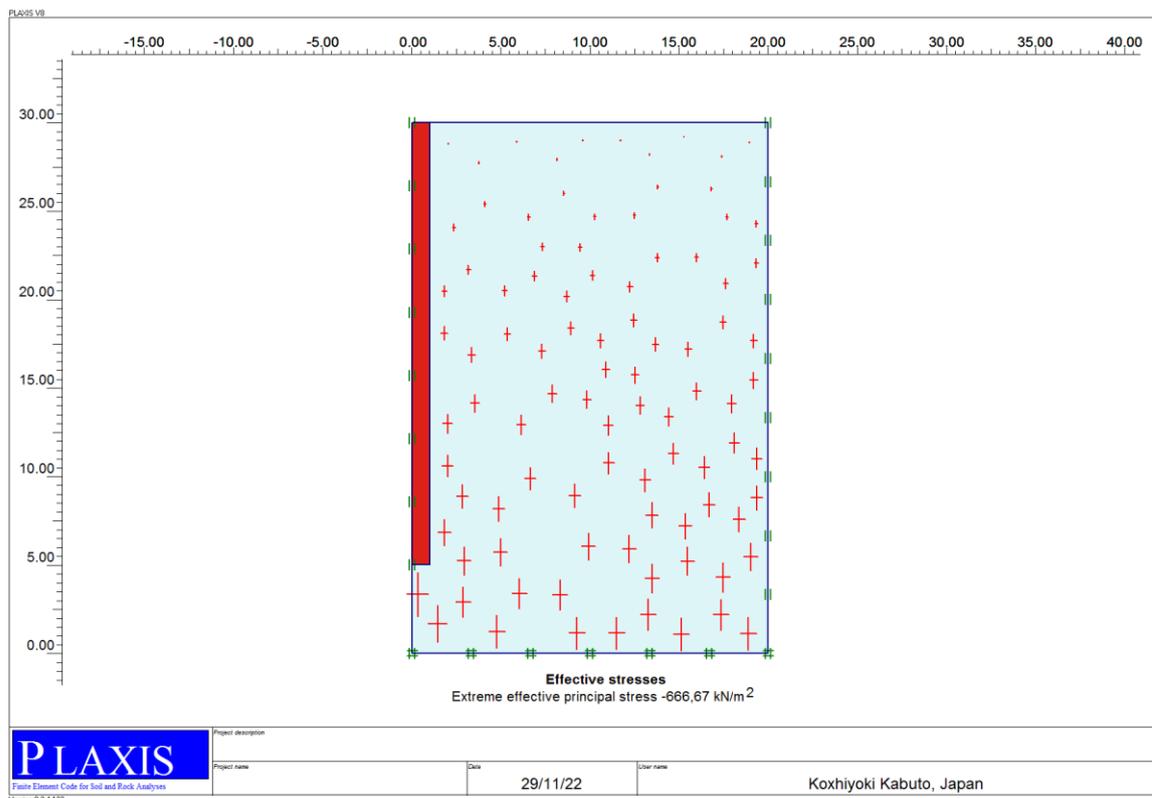


Figure 4. 39: Contraint effective (L/D=12.5).

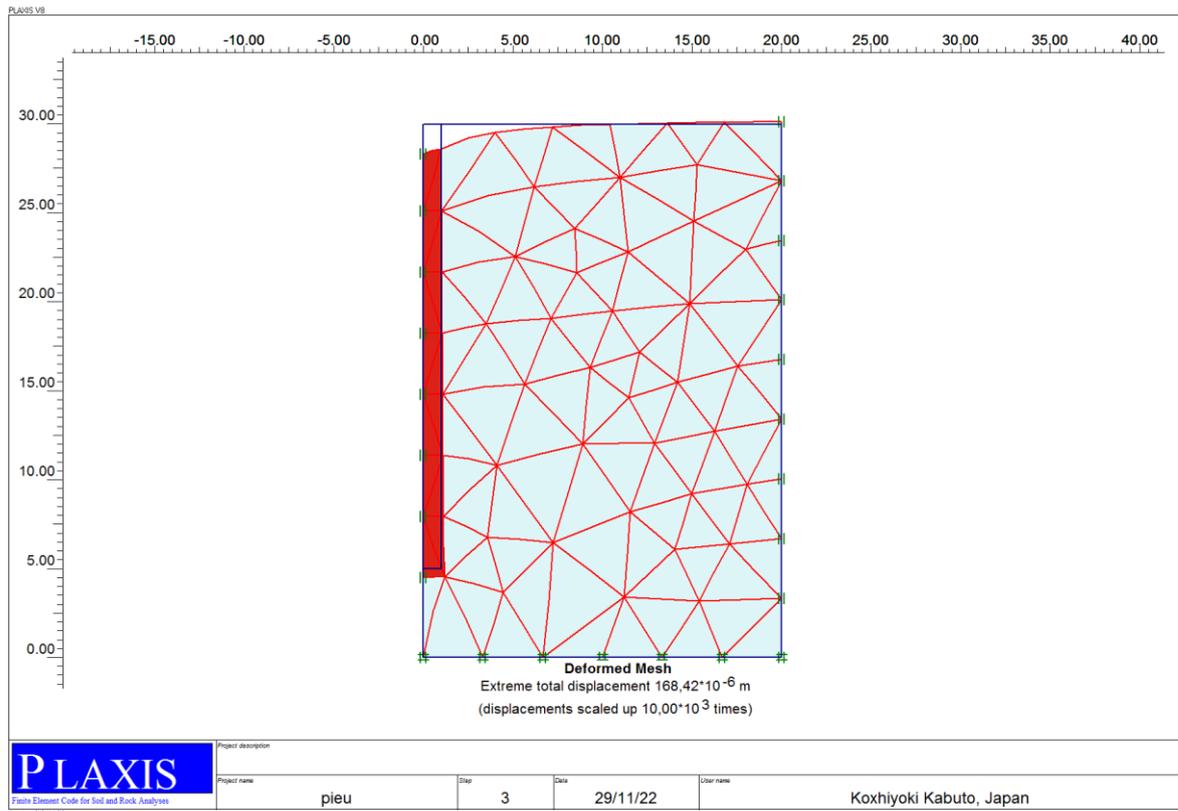


Figure 4. 40: Déplacement totale extrême (L/D=12.5).

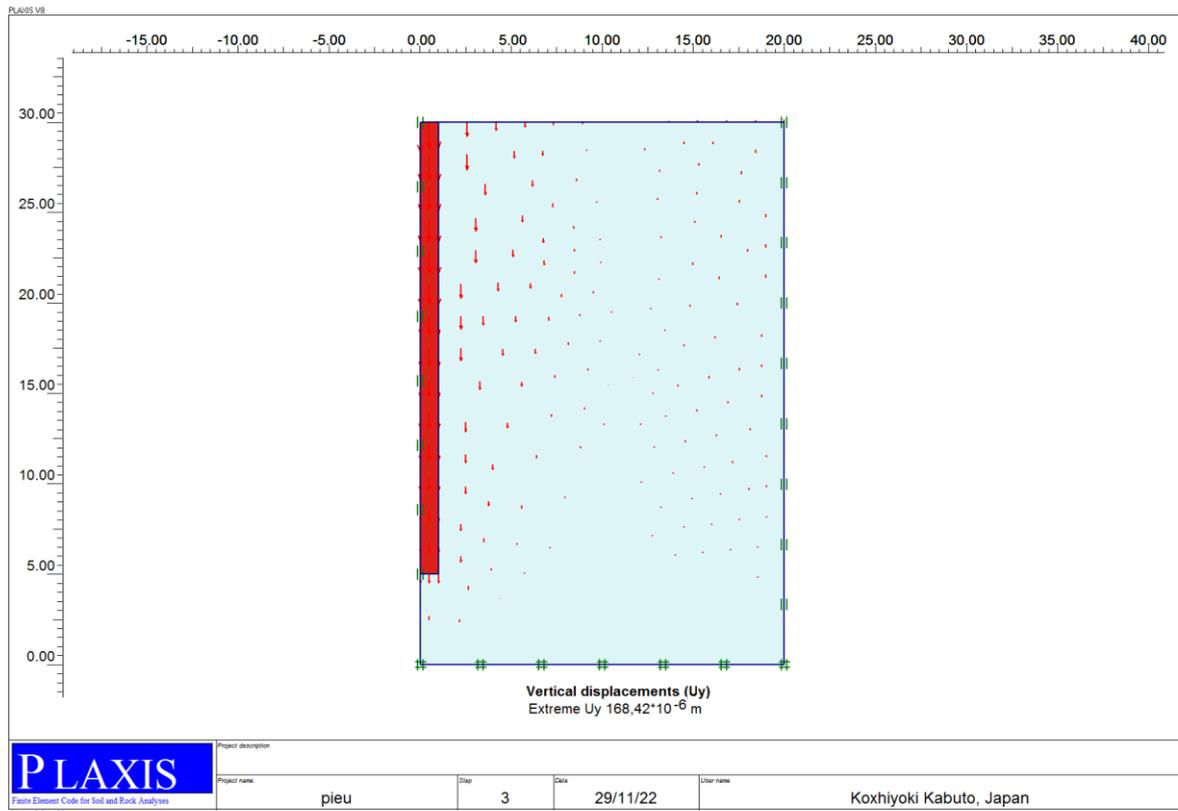


Figure 4. 41: Déplacement vertical (L/D=12.5).

Tableau 4. 4: Déplacement vertical sous pieu sur le diamètre en fonction de L/D

L/D	2	5	10	12.5
U/D*10 ⁻⁶	92.610	57.951	37.353	23.568

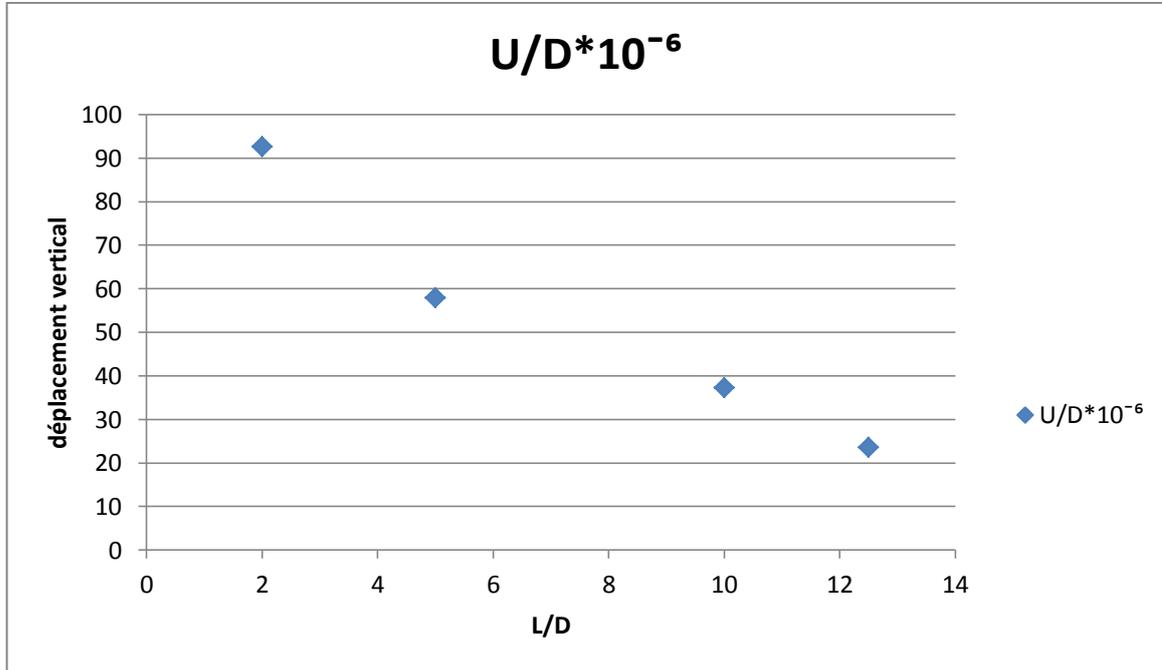


Figure 4. 42: Graphe de déplacement sur diamètre en fonction de L/D.

Commenter : dans ce cas nous avons trouvé les valeurs de déplacement vertical diminué, tout ce que nous avons grandi les longueurs de pieu

4.5. Conclusion :

Dans ce chapitre de Plaxis nous avons calculé contrainte effective et déplacement total et vertical, le déplacement vertical égale(5D=90.74*10⁻⁶, 7D=83.40*10⁻⁶, 10D=77.88*10⁻⁶, 15D=77.28*10⁻⁶) dans le résultat est le même, on remarque approximativement une constante dans les valeurs du déplacement vertical entre le maillage 10D et 15D donc en prend 10D.

Dans ce partie 2 de Plaxis nous avons augmenté la longueur de pieu et calculé contrainte effective et déplacement total et vertical, le déplacement vertical égale (L/D=2m=92.610*10⁻⁶, L/D=5m=57.951*10⁻⁶, L/D=10m=37.353*10⁻⁶, L/D=15m=23.568*10⁻⁶).

Chapitre 05 :

**Analyse d'un pieu coiffé d'une
semelle supportant une unité de
production d'oxygène**

Chapitre 05 :Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

5.1. Introduction :

Dans ce chapitre nous avons pris un exemple de Tessala El-Merdja(Alger), dans lequel une semelle supportant une unité de production d'oxygène sera analysée.

La semelle sera étudiée au début sans la présence du pieu, puis on lui associera un pieu. On va faire varier la profondeur du pieu, du diamètre du pieu et de la longueur de semelle seule.

- En premier temps on va changer la longueur de la semelle sans le pieu. Le tassement de la semelle sera étudié en faisant varier le maillage sous la semelle de manière à rendre le maillage plus fin.
- En deuxième phase on étudiera la semelle avec le pieu. La profondeur du pieu sera augmentée par pas.

Nous allons procéder à une étude paramétrable afin de déterminer le meilleur couple de valeurs de la longueur de la semelle et du diamètre du pieu qui donnera la valeur du tassement le plus petit.

5.1.1.Situation et relief :

Le site,se trouve à 2.3 km au Sud-Ouest du chef-lieu de la commune de Tessala El-Merdja, à l'Ouest de la route nationale N°01 et l'Autoroute Est-Ouest. L'assiette est entourée à l'Ouest et au Sud par des terrains agricoles, au Nord par la société « Cellulose Processing CEPRO » et à l'Est par la société Tessala Danone (Figure 5.1)



Figure 5. 1: Carte de situation du site étudié.

Chapitre 05 :Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

- L'assiette est de forme rectangulaire, elle s'étend sur une largeur de 7.20 m et une longueur de 12.80 m.
- L'existence d'une dalle en béton.
- Le niveau de la dalle par rapport au terrain naturel est de 1.65 m.
- Le terrain est généralement plat et par conséquent, il n'y a aucune contrainte qui pourra empêcher l'intervention de l'équipe géotechnique.



Figure 5. 2: Aperçu de la parcelle de terrain à étudier (à l'intérieur de l'usine de PETROFINA).

5.1.2. Climat de région :

Le site de la présente étude appartient à la plaine de la Mitidja. Cette plaine se trouve par supposition géographique soumise à l'influence du régime climatique méditerranéen.

La plaine de la Mitidja est soumise à un climat régional subhumide littoral caractérisant l'ensemble des plaines côtières. Au fur et à mesure que l'on s'éloigne du littoral, le climat devient de plus en plus continental et l'on enregistre une baisse sensible des températures.

Les températures minimales sont enregistrées en mois de Décembre alors que les températures maximales sont enregistrées en mois de Septembre.

Chapitre 05 :Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

Généralement les températures moyennes mensuelles varient entre (Mois de Décembre) et (Mois de Juillet).

Tableau 5. 1: Les valeurs mensuelles des températures dans la région d'étude (ANRH).

Température (°C)	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Maximale	14.8	12.6	19.2	21	19.8	28.3	31	29.2	33	28.2	19	14.5
Minimale	8.5	7.5	7.7	13	14	18	25.5	24	15	15	11	7.3
Moyenne	12.1	13.1	13.8	16.2	17.6	23	27.9	26.6	23	21.1	14.5	11.4

Les pluies sont fréquentes en automne et en hiver et diminuent dès la fin du printemps et deviennent presque nulles en été. Les précipitations annuelles moyennes sont de l'ordre de à le tableau suivant représente les précipitations mensuelles et annuelles moyennes enregistrées dans la station de Boufarik.

Tableau 5. 2: Les précipitations enregistrées dans la station de Boufarik.

Mois	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Des	Annue
Pluies (mm)	86	74.8	69.3	63.6	43.2	9.7	2.7	5.8	30.3	63.3	87.2	86.9	622.4

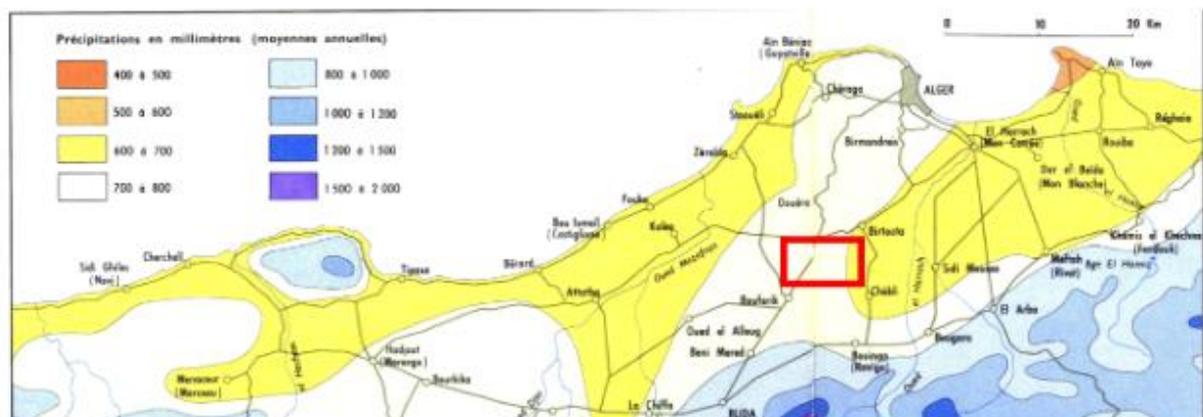


Figure 5. 3: Extrait de la carte de pluviométrie de l'Algérie (Echelle : 1/500.000).

5.1.3. Cadre géologique et hydrogéologique :

Le site de l'étude appartient à la plaine de Metidja centrale. Cette plaine s'étend au Sudd'Alger entre Hadjout et Réghaïa, selon une direction SW-NE, elle est bordée au Nord par

Chapitre 05 :Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

les collines du Sahel et au Sud par l'Atlas Tellien. Elle fait environ 90km de longueur et de 8 à 18km de largeur.

Quant à la géologie locale du site étudié, les formations Quaternaires rencontrées dans la région sont de nature alluvionnaire récente, principalement des dépôts limoneux de la Metidjaselon la carte géologique de Koléa, feuille N°41.



Figure 5. 4: Extrait de la carte géologique détaillée de Koléa (Échelle : 1/50.000).

La succession lithologique rencontrée se présente de bas en haut comme suit :

5.1.3.1. Le Villafranchien supérieur :

Constitué de gravier siliceux fluviaux et graviers de grès avec de l'argile rouge d'origine crétacé. Il est localisé essentiellement sur des glacis à des Altitudes comprises entre 100 et 300 m d'altitudes formant les terrasses du Sahel.

- Le Quaternaire ancien : Compris entre 50 et 150 m, au-dessus des oueds caillouteux.

5.1.3.2. Le Quaternaire moyen :

Constitué par des alluvions, il forme les terrasses qui s'étagent au-dessus des oueds et les piémonts de l'Atlas Blidéen. Ce sont des alluvions fluviales, enrobées dans une matrice argileuse rouge et brune. Les alluvions sont finement litées avec passées limoneuses alternant avec des galets.

Chapitre 05 :Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

5.1.3.3 Le Quaternaire récent (Rharbien) :

Ce sont des terrasses de 5 m d'épaisseur environ, constituées de limons d'argile noire ou blanc, de limons caillouteux et de cailloux grossiers. Ce sont les derniers matériaux qui ont participé au complément de la Mitidja.

5.1.3.4. Le Quaternaire actuel :

Se limite aux lits mineurs et majeurs des oueds. Il est formé de dépôts fluviaux constitués de galets roulés et de plage de limons gris ocre.

Cette plaine est constituée de deux horizons aquifères :

- Les grès astien, d'une épaisseur d'environ 100m, qui affleurent essentiellement sur les collines du Sahel.
- Les alluvions du Quaternaire, qui affleurent sur la majeure partie de la plaine.

Leur épaisseur peut dépasser 200 m au centre du bassin.

L'examen de la carte hydrogéologique de la région d'Alger publiée en 1973 par la direction des études de milieu et de la recherche hydraulique indique que les formations de la ré d'étude datent du Quaternaire, elles sont caractérisées par une alternance d'argiles et de graviers, d'une perméabilité élevée avec des ressources en eau importantes, et une transmissivité allant de rapport du sol pour la mise en place d'une unité de production d'oxygène, Tessala El-Merdja, Alger jusqu'à concernant les ressources en eaux souterraines, le débit enregistré au niveau des puits.

Chapitre 05 :Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

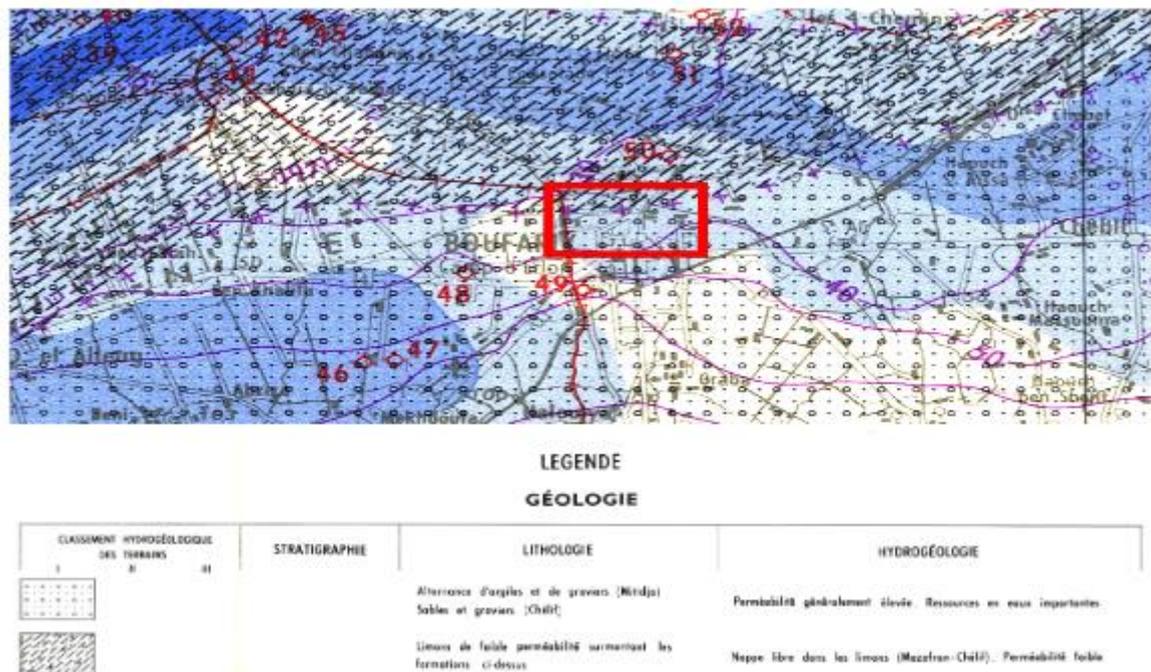


Figure 5. 5: Extrait de la carte hydrogéologique de la région (Échelle : 1/200.000).

5.1.4 : Sismicité :

Le règlement parasismique Algérien (R.P.A.) a établi des règles, qui sont fonctions de l'intensité de l'action sismique d'une région, pour tenir compte de la probabilité d'occurrence d'un séisme dans une région d'étude. Ces règles, qui ont été révisées après le séisme du 21 mai 2003 de Boumerdès, divisent le territoire Algérien en cinq (05) zones sismiques :

- Zone 0 sismicité négligeable ;
- Zone I sismicité faible ;
- Zone II a et 2b sismicité moyenne ;
- Zone III forte sismicité ;

Ces zonalités sont représentées sur la Figure 6 dite carte de zonage sismique.

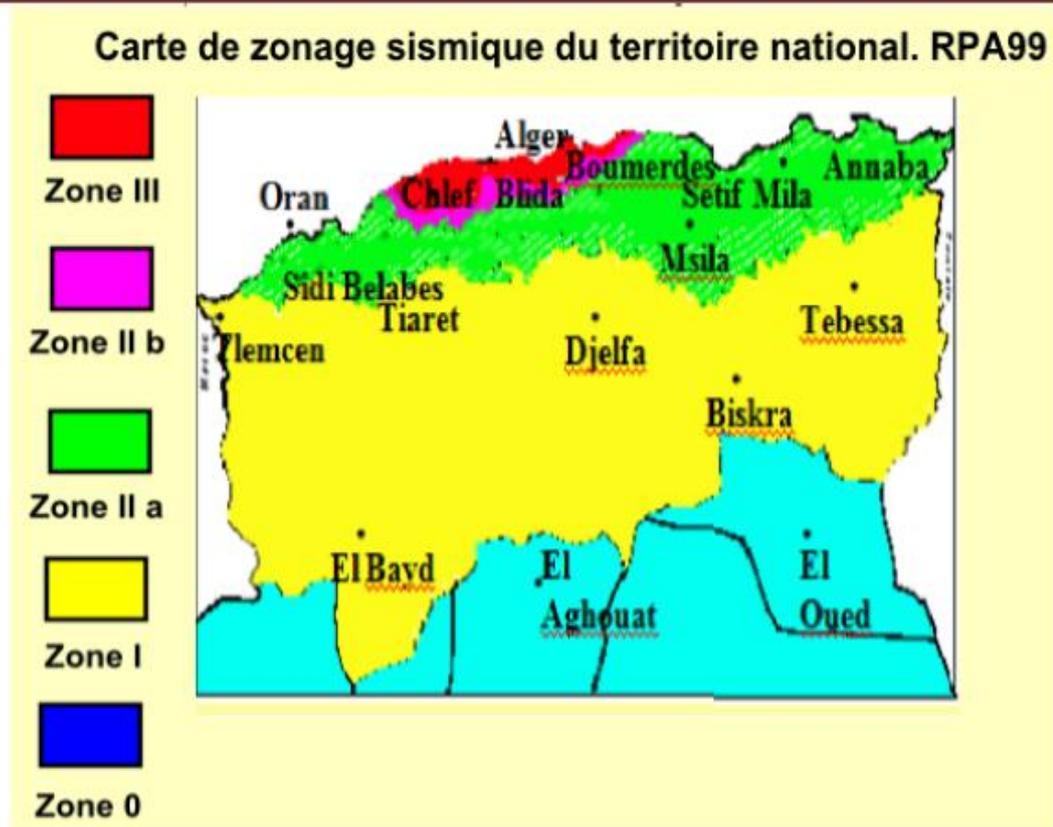


Figure 5. 6: Carte de zonage sismique de l'Algérie (RPA/99).

Nous remarquons que la région de Tessala El Merdja, comprenant le site étudié, se trouve dans la « zone III de forte sismicité ». Le coefficient d'accélération « A » dans cette zone varie, d'après l'addenda 2003 au R.P.A. 99, de 0,18 à 0,40 selon le groupe d'usage du bâtiment (voir le tableau 5.3).

Tableau 5. 3: Les valeurs d'accélération sismique (RPA/99)

Groupe \ Zone	I	Ila	Iib	III
1A	0.15	0.25	0.30	0.40
1B	0.12	0.20	0.25	0.30
2	0.10	0.15	0.20	0.25
3	0.07	0.10	0.14	0.18

5.2. Campagne d'investigation :

5.2.1. Essais in-situ :

Dans ces essais expliquez l'expérience réalisée en laboratoire (figure 5.7)

- Un (01) sondage Pressiométrique, noté SP01.

Chapitre 05 :Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

- Cinq (05) sondages au pénétromètre dynamique lourd, notés PDL 01, PDL 02, PDL03, PDL04 et PDL05.
- Une (01) série des essais au laboratoire.

Les échantillons extraits (remaniés ou intacts), permettent d'une part de reconnaître de visu la nature géologique des terrains, et donc de compléter les informations géologiques locales recueillies dans l'étude préliminaire, et d'autre part de mener la campagne d'essais de laboratoire pour aboutir aux caractéristiques d'identification physique et mécanique du sol. Celles-ci sont utilisées, entre autres, pour étudier la résistance au cisaillement du sol ainsi que sa prédisposition à tasser.

Les échantillons extraits sont dits « intacts » lorsque l'on prend le plus grand soin dans leur extraction, conservation et transport au laboratoire. L'opération particulière, dans ce cas, consiste à paraffiner l'échantillon de sol dès son extraction ; ce qui permettra de conserver au maximum la structure et l'état du sol tel qu'il était en place. Ces échantillons peuvent servir à tous les essais de laboratoire aussi bien d'identification (granulométrie, limites d'Atterberg, ...) que mécanique (compressibilité et cisaillement).

Concernant le site où il a été étudié (01) sondage pressiométrique et cinq (05) sondages au Pénétromètre Dynamique Lourd (PDL). Les emplacements où ces essais ont été réalisés sont indiqués sur la figure 5.7.

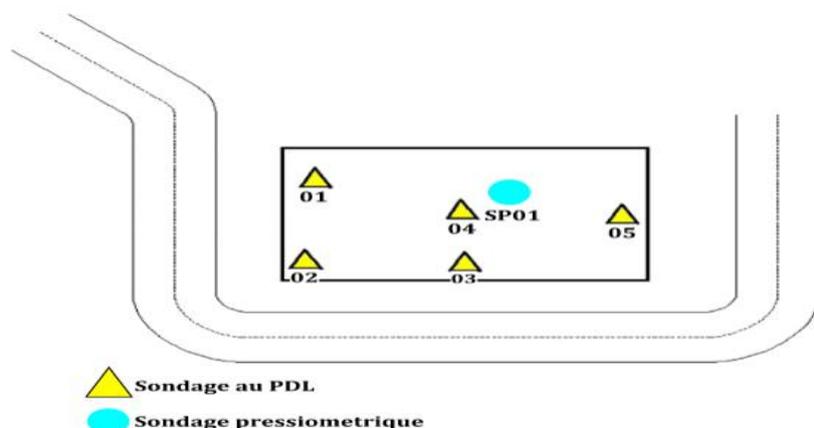


Figure 5. 7: Carte d'implantation des essais in-situ.

5.2.1.1. Essai au pénétromètre dynamique lourd :

A- Principe de l'essai :

Chapitre 05 :Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

L'essai au pénétromètre dynamique lourd consiste à faire pénétrer dans le sol par battage un train de tiges lisses, muni à son extrémité d'une pointe conique perdue, à l'aide d'un mouton tombant d'une hauteur fixe. On compte le nombre de coups N correspondant à chaque enfoncement de 20 cm de la tige dans le sol. On dit que le refus est atteint lorsque le nombre de coups N , pour une pénétration inférieure ou égale à 20 cm, devient très élevé. Les résultats des essais sont représentés par des diagrammes donnant, en fonction de la profondeur atteinte par l'extrémité inférieure, la résistance en pointe au battage déduite de la formule des Hollandais. Celle-ci est donnée par :

Avec :

$$q_d = \frac{M \cdot 2 \cdot G \cdot H}{e \cdot (M + M') \cdot A} \quad (5.1)$$

- L'aire de la section droite de la pointe ;
- Pénétration moyenne par coup ;
- Accélération de la pesanteur ;
- Hauteur de chute ;
- Masse du mouton ;
- Somme des masses du train de tiges, de l'enclume et de la tige guide.

Les valeurs de ces caractéristiques sont variables suivant les types d'appareils. Aussi tout diagramme de pénétration dynamique devra mentionner ces caractéristiques. Le pénétromètre dynamique que nous avons utilisé pour la réalisation de nos essais possède les caractéristiques suivantes :

- Pointe de diamètre = 45 mm ;
- Mouton de masse = 63,5 kg ;
- Tige de masse $M = 6,1$ kg, de diamètre = 32 mm et de longueur 1m.

B- Essais réalisés :

Pour le site étudié : Nous avons réalisé cinq (05) sondages au Pénétromètre Dynamique Lourd

(PDL).

Chapitre 05 : Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène



Figure 5. 8: Photo du PDL en service

Les résultats de ces essais sont illustrés par les pénétrogrammes donnant la variation de la résistance dynamique en pointe en bars, en fonction de la profondeur en mètre.

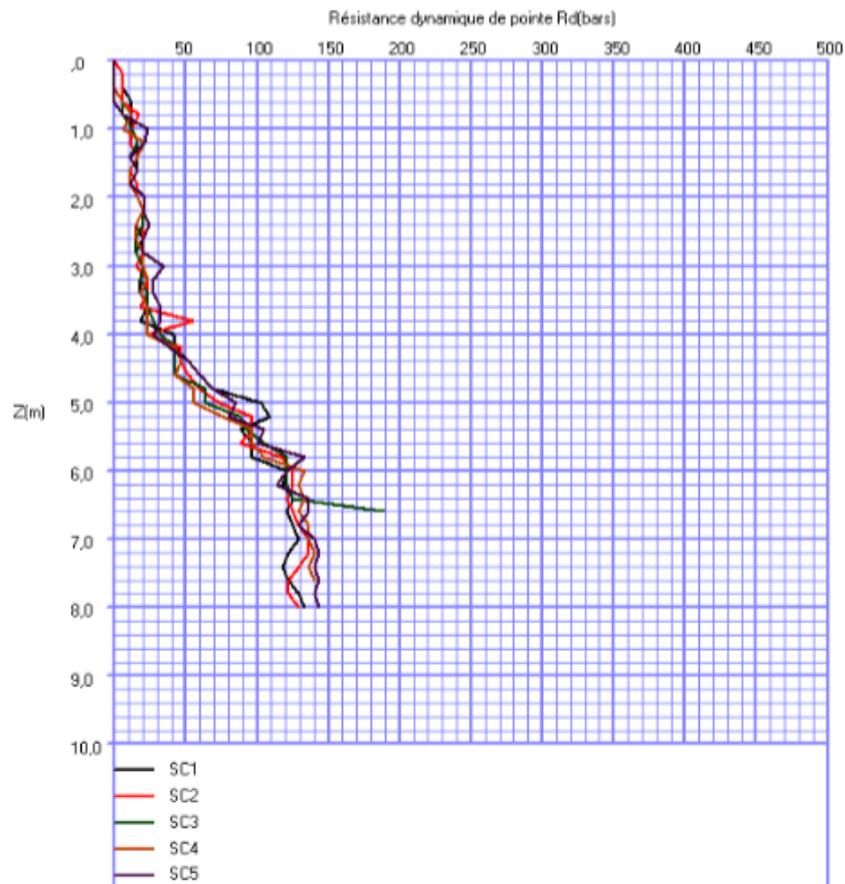


Figure 5. 9: Diagrammes pénétrométriques des essais réalisés (Norme : NF P94 114, PDL : 1 à 5).

Chapitre 05 :Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

5.2.1.2. Essai pressiométrique :

A- Principe de l'essai :

L'essai pressiométrique consiste à la dilatation d'une sonde cylindrique de dimensions bien déterminées dans un forage préalablement réalisé. La sonde constituée de trois cellules (une cellule de mesure et deux cellules de garde) est gonflée dans le forage jusqu'à la rupture du sol. Deux paramètres sont tirés de cet essai ; un paramètre de résistance à savoir le pression limite P_l , et un paramètre de déformation E_p . Les deux paramètres sont utilisés respectivement pour le calcul de la contrainte admissible et les tassements.

B- Essais réalisés :

Concernant si pressiométrique noté SP01 (Figure 5.10).L'emplacement du sondage est montré sur la Figure 7 intitulée (carte d'implantation des essais in-suit).



Figure 5. 10: Photo du sondage au pressiomètre en service.

La courbe pression en fonction du volume injecté dans les cinq points de mesure réalisés aux profondeurs 2, 4, 6, 8 et 10m sont illustrées par les Figures 5.11-5.15

Chapitre 05 : Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

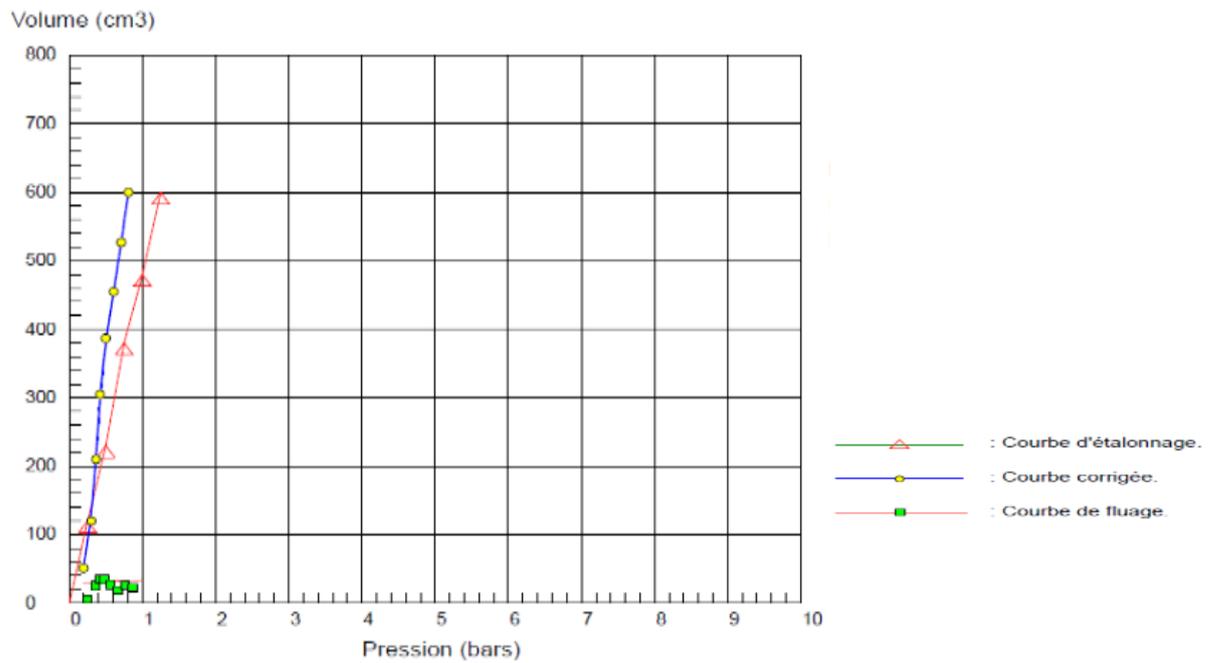


Figure 5. 11: Courbe pressiométrique mesurée à la profondeur de 2m.

Pr. Brute (bars)	Vol a 30s(cm ³)	Vol a 60s(cm ³)	Pr.corrigée (bars)
0.00	39	51	0.19
0.25	89	120	0.30
0.50	169	210	0.36
0.75	265	305	0.42
1.00	354	387	0.50
1.25	430	455	0.61
1.50	495	527	0.71
1.75	572	600	0.81

Module pressiométrique : $E=2.75$ bars
 Pression limite : $P_L=0.85$ bars
 Pression de fluage : $P_f=0.81$ bars

Chapitre 05 : Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

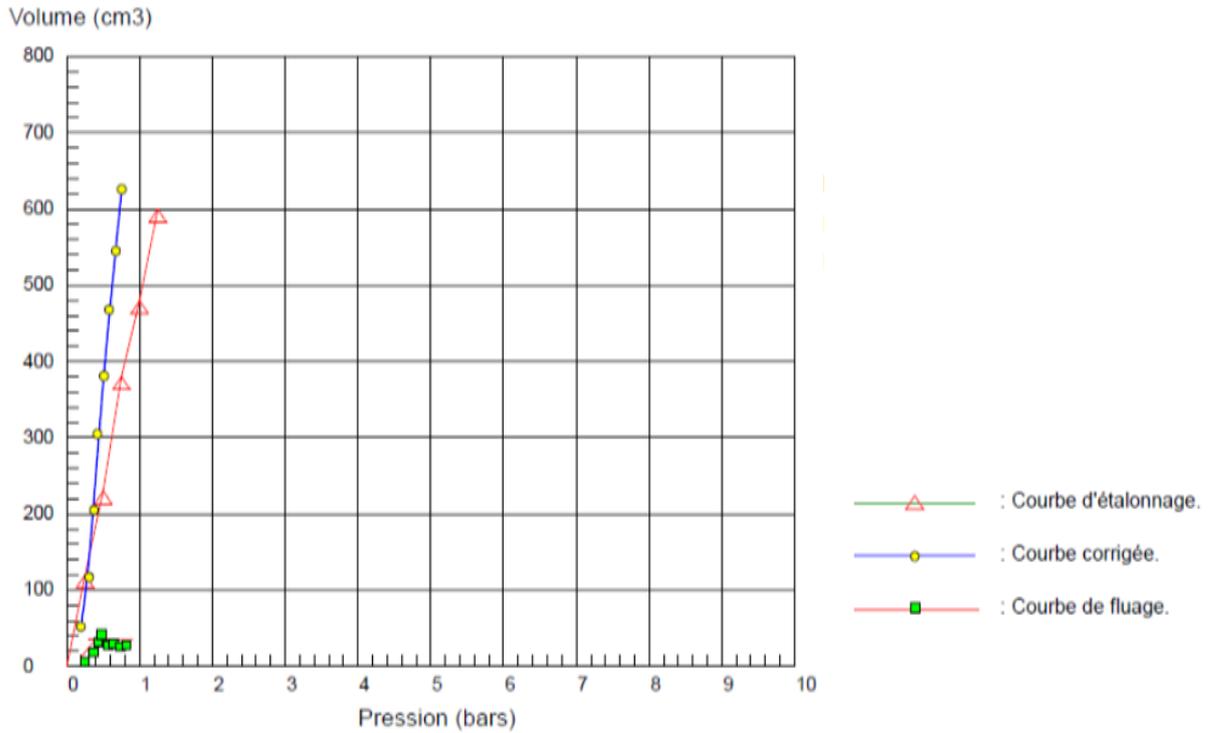


Figure 5. 12: Courbe pressiométrique mesurée à la profondeur de 4m.

Pr.brute (bars)	Vol à 30s (cm ³)	Vol à 60s (cm ³)	Pr.Corrigée (bars)
0.00	40	52	0.19
0.25	92	117	0.31
0.50	168	205	0.37
0.75	257	305	0.42
1.00	347	381	0.51
1.25	432	468	0.58
1.50	513	545	0.67
1.75	592	626	0.75

Module pressiométrique :

$E=2.93$ bars

Pression limite : $P_L=0.75$ bars

Pression de fluage : $P_f = 0.40$

Chapitre 05 : Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

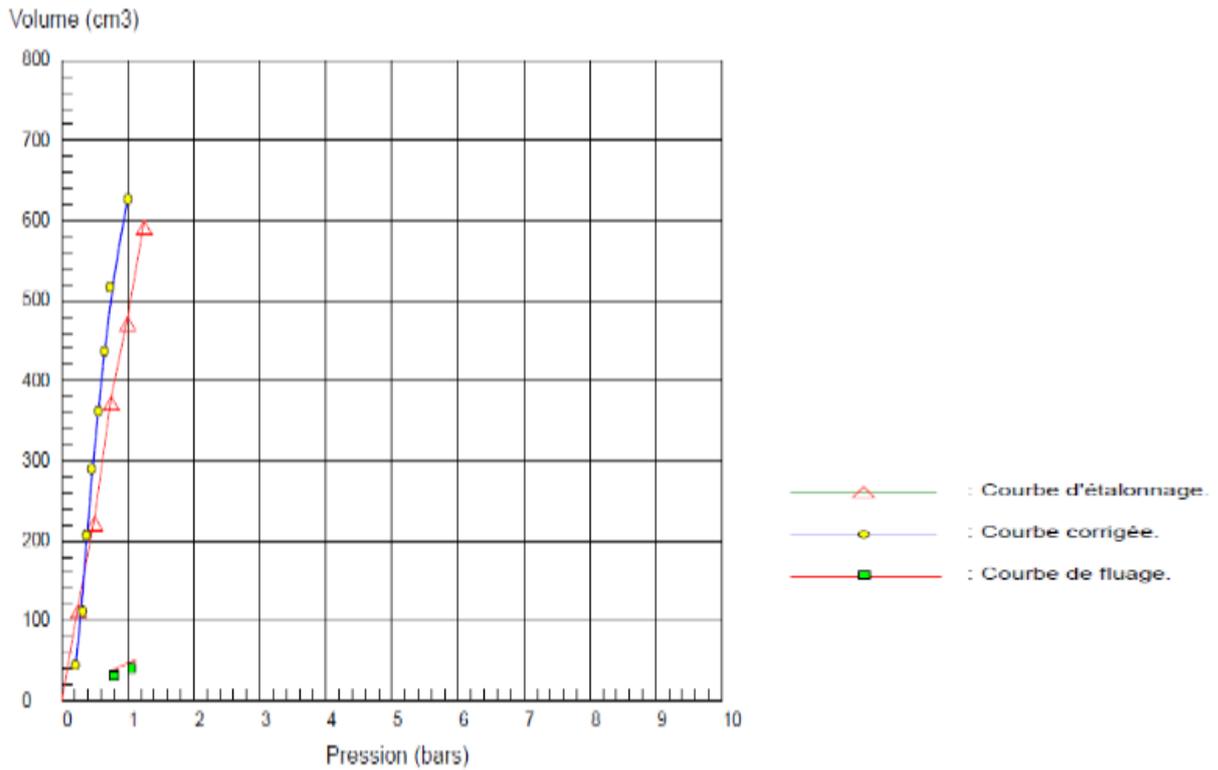


Figure 5. 13: Courbe pressiométrique mesurée à la profondeur de 6m.

Pr.brute (bars)	Vol à30s (cm ³)	Vol à60s (cm ³)	Pr.Corrigée (bars)
0.00	30	45	0.20
0.25	87	112	0.32
0.50	167	207	0.37
0.75	255	290	0.45
1.00	328	362	0.55
1.25	412	437	0.65
1.50	480	517	0.73
2.00	580	627	1.00

Module pressiométrique :

$E=7.30$ bars

Pression limite : $P_L=1.00$ bars

Pression de fluage : $P_f=1.00$ bars

Chapitre 05 : Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

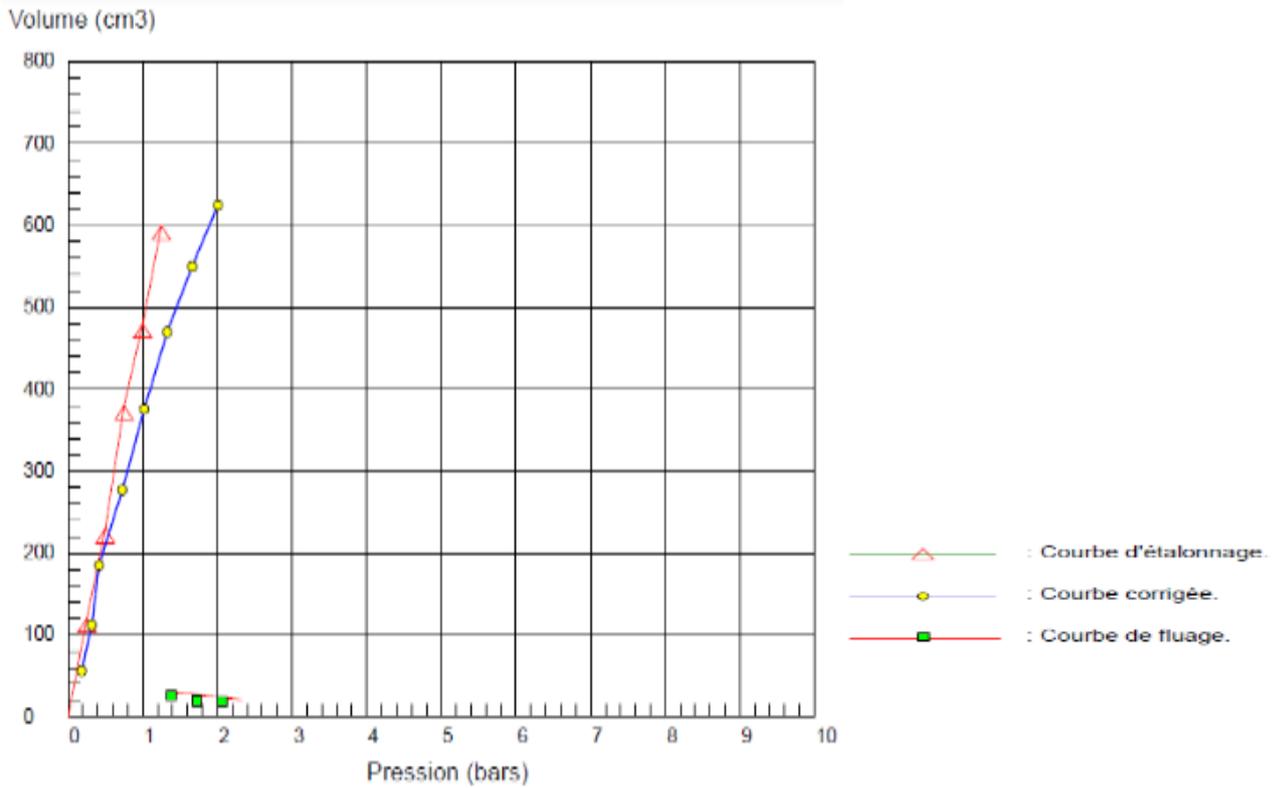


Figure 5. 14: Courbe pressiométrique mesurée à la profondeur de 8m.

Pr.brute (bars)	Vol à 30s (cm ³)	Vol à 60s (cm ³)	Pr.Corrigée (bars)
0.00	43	56	0.18
0.25	88	112	0.32
0.50	157	185	0.42
1.00	243	277	0.73
1.50	342	376	1.02
2.00	438	470	1.33
2.50	524	550	1.66
3.00	600	625	2.01

Module pressiométrique :

$E=12.63$ bars

Pression limite : $P_L=2.01$ bars

Pression de fluage : $P_f=2.01$ bars

Chapitre 05 : Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

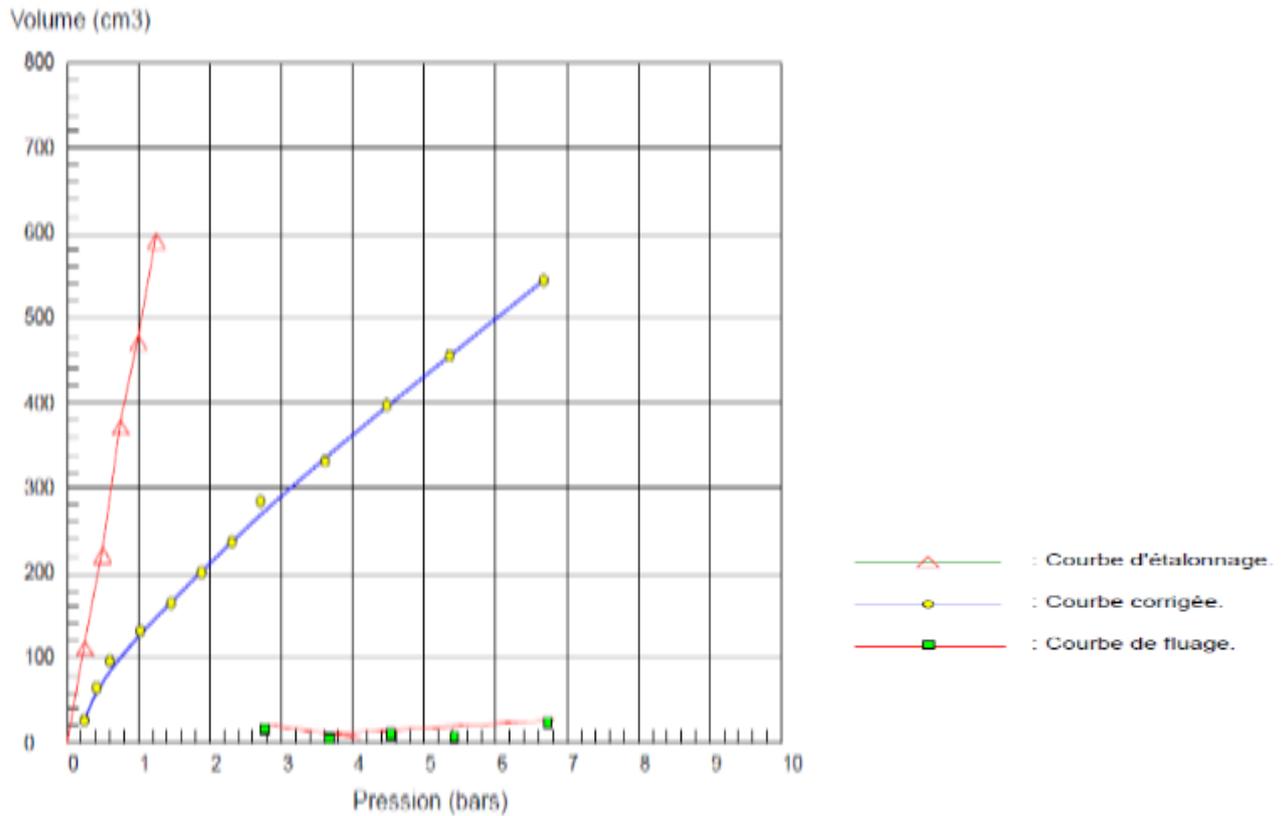


Figure 5. 15: Courbe pressiométrique mesurée à la profondeur de 10m.

Pr.brute (bars)	Vol à30s (cm ³)	Vol à60s (cm ³)	Pr.Corrigée (bars)
0.00	25	27	0.24
0.25	50	65	0.41
0.50	85	97	0.60
1.00	126	132	1.03
1.50	156	165	1.46
2.00	187	201	1.88
2.50	226	237	2.31
3.00	262	285	2.71
4.00	320	332	3.61
5.00	382	398	4.48
6.00	442	456	5.36
7.50	515	545	6.67

Module pressiométrique :

$E=43.10$ bars

Pression limite : $P_L=8.97$ bars

Pression de fluage : $P_f=3.71$

bars

Chapitre 05 : Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

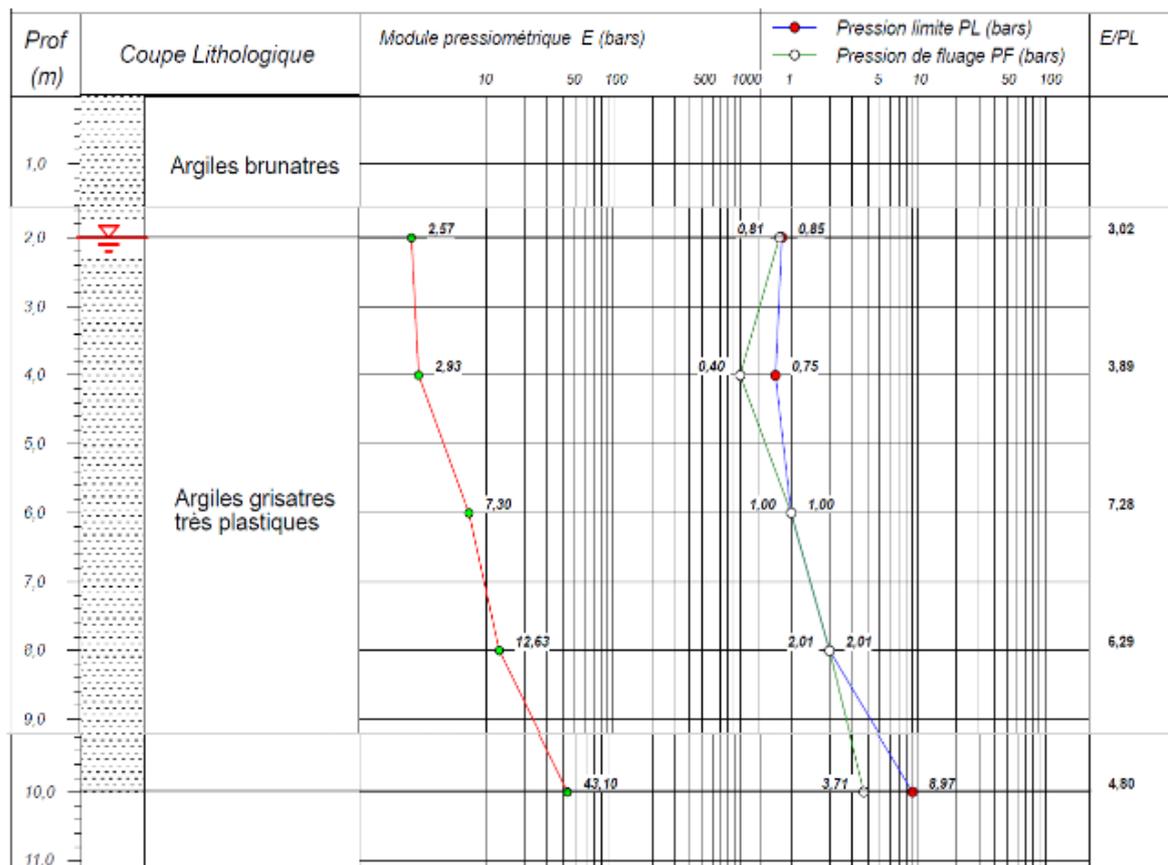


Figure 5. 16: Profils pressiométriques de l'essai SP01.

5.3. Essai de laboratoire

5.3.1. Catégories d'essais de laboratoire :

Outre l'investigation expérimentale in-situ, nous avons réalisé une campagne d'essais de laboratoire (Figure 5.17) sur les échantillons de sol, remaniés ou intact, extraits lors du sondage réalisé.



Figure 5. 17: Essais de laboratoire.

5.4. Choix du type d'essai de laboratoire :

Les échantillons de sol extraits sont remaniés, destinés à certain type d'essais (densité, granulométrie, ...).

Pour que nos essais de laboratoire soient plus représentatifs, nous avons réalisé pour les échantillons un ensemble d'essais d'identification (physique) à différentes profondeurs.

5.4.1. Résultats des essais de laboratoire :

A- Limites d'Atterberg :

En fonction de la teneur en eau, un sol remanié se présente suivant des consistances variables pour lesquelles on peut distinguer trois états : état liquide, état plastique et état solide.

Le passage du sol d'un état à un autre se fait graduellement et les frontières séparant ces états sont définies conventionnellement par ce qu'on appelle les « limites d'Atterberg »

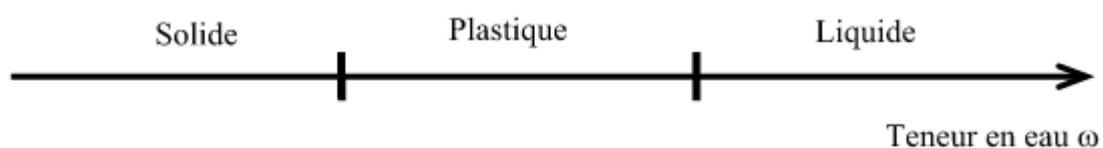
Les limites d'Atterberg sont donc deux teneurs en eau particulières, déterminées expérimentalement (Figure 5.18) qui séparent les trois (03) états de consistance ; celle qui sépare l'état liquide de l'état plastique est appelée « limite de liquidité », notée, celle qui sépare l'état plastique de l'état solide est appelée « limite de plasticité », notée.

La teneur en eau est calculée par et exprimée en pourcentage (%).



Figure 5. 18: Essai de limites d'Atterberg.

Sur un axe portant les teneurs en eau, et peuvent être représentées comme suit :



Chapitre 05 :Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

Les limites d'Atterberg ont une importance essentielle en mécanique des sols. Elles permettent en particulier de classer les sols fins et interviennent dans la classification des sols grenus.

Pour le site étudié, quatre (04) mesures de la limite d'Atterberg ont été exécutées, le résultat est donné ci-après.

Tableau 5. 4: Résultats des limites d'Atterberg.

Sond	N° échantillon	Prof. (m)	Limite de liquidité L (%)	Limite de plasticité p (%)	Indice de plasticité I _p (%)
SC01	E1S1	0.00-0.80	55.82	30.86	24.96
	E2S1	0.80-2.00	61.60	31.56	30.04
	E3S1	2.00-3.50	58.53	29.64	28.89
	E4S1	5.00-7.50	55.59	30.95	24.64

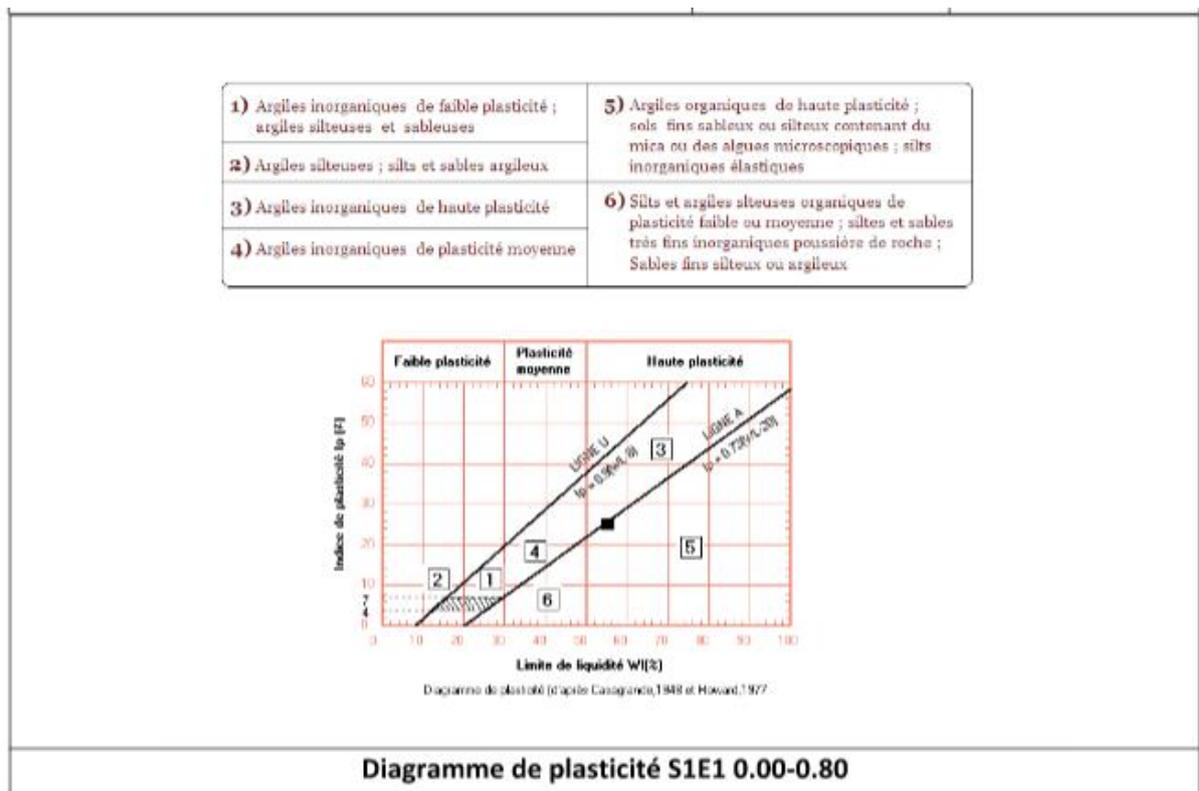


Figure 5. 19: Diagramme de plasticité S1E1 à une profondeur 0.00-0.80m.

Chapitre 05 :Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

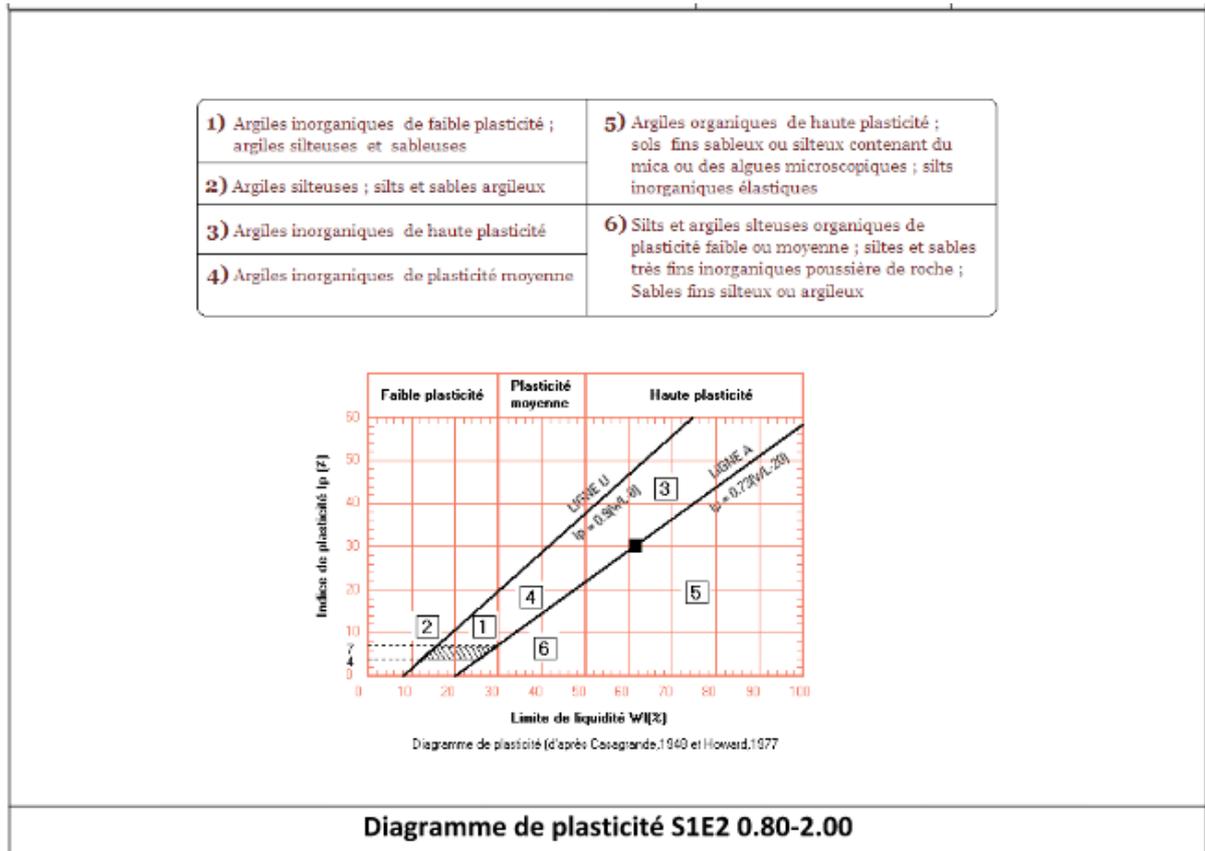


Figure 5. 20: Diagramme de plasticité S1E2 à une profondeur 0.80-2.00m.

Chapitre 05 :Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

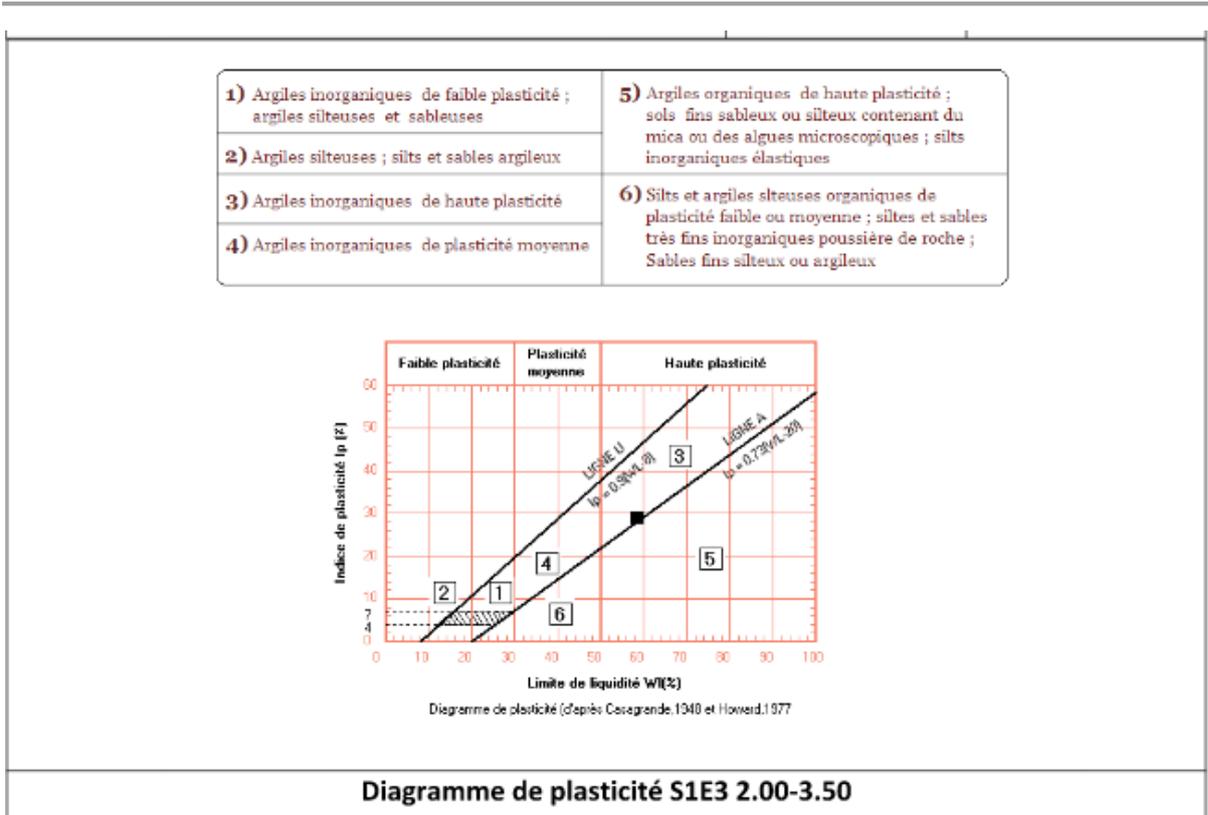


Figure 5. 21: Diagramme de plasticité S1E2 à une profondeur 2.00-3.50m.

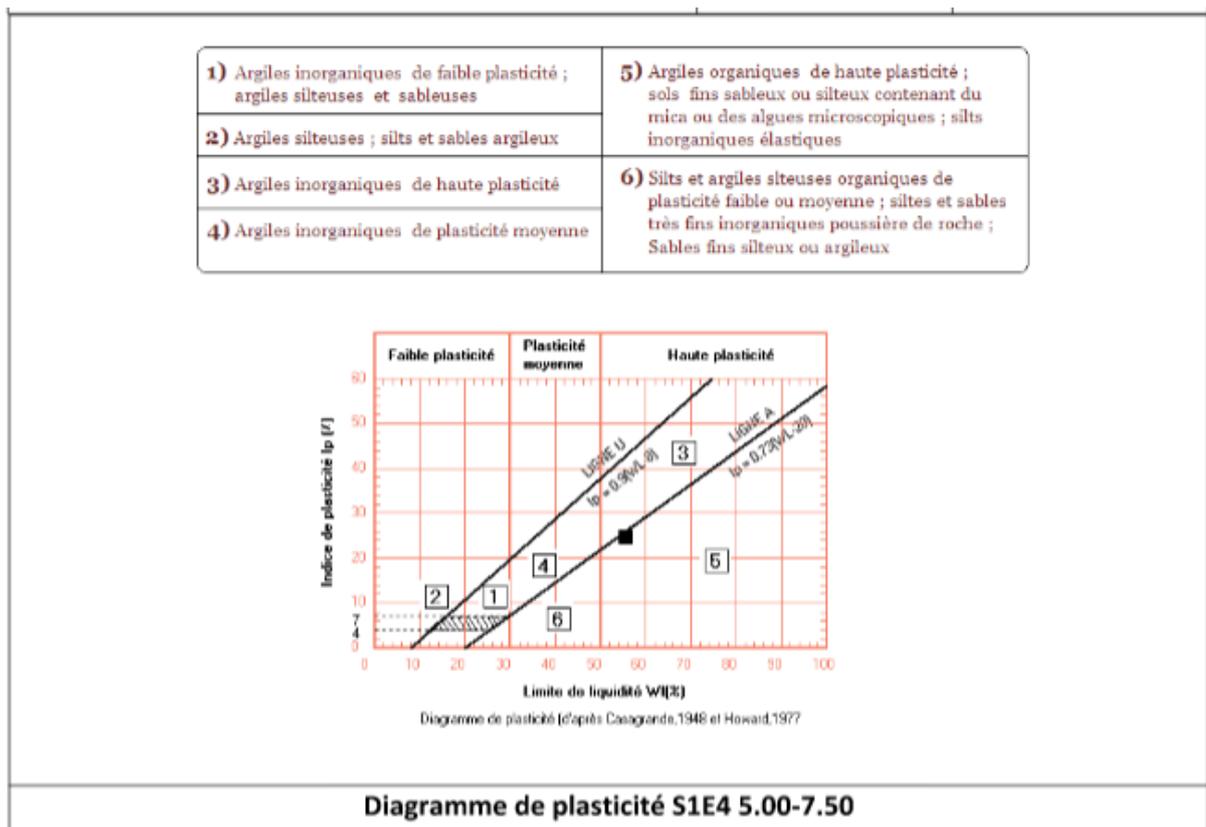


Figure 5. 22: Diagramme de plasticité S1E2 à une profondeur 5.00-7.50m.

5.5. Interprétation des résultats :

5.5.1. Essais in-situ :

5.5.1.1. Lithologie des terres :

L'examen visuel des échantillons extraits du site « Etude géotechnique pour une parcelle de terrain à l'intérieur de l'usine de PETROFINA, TessalaEl Merdja, Alger »; montre que le sol du site est généralement homogène, les deux premiers mètres sont constitués par des argiles brunâtres, alors qu'à partir de deux (02) mètres, le sol est constitué par des argiles grisâtres très plastiques.

5.5.1.2. Résistance en pointe dynamique :

Les pénétrogrammes des différents sondages au PDL réalisés, tracés sur la Figure 9, montrent que :

1. Le sol dévoile une homogénéité sur le plan résistance, justifiée par la ressemblance parfaite des cinq pénétrogrammes ;
2. Sur la profondeur explorée, les cinq sondages mettent en évidence trois couches de sol dont les résistances en pointe se distinguent nettement. En surface, et sur une profondeur d'environ quatre (04) mètres à partir du niveau de la dalle existante, on rencontre une couche de très faible résistance. Cette couche est suivie d'une deuxième couche qui a approximativement une épaisseur d'environ deux (02) mètres. La résistance du sol en pointe dans cette couche est plus ou moins élevée et augmente linéairement avec la profondeur. A partir d'une profondeur de 06mètres environ, une troisième couche est rencontrée. Cette dernière est caractérisée par une forte résistance en pointe qui varie légèrement avec la profondeur. Il s'agit probablement de marnes consolidées.
3. A l'exception du sondage no. 3 qui s'est arrêté à 6.60 m, aucun refus n'a été décelé dans les autres sondages pénétrométriques.
4. Sur la base de l'analyse de ces pénétrogrammes, nous pouvons adopter, à partir des profondeurs et (comptées à partir de la dalle existante), les valeurs minimales de la résistance en pointe suivantes :

Tableau 5. 5: Valeurs des résistances en pointe dynamique

La profondeur à partir de la dalle existante (m)	résistances en pointe
4.00	20.0
4.60	40.0

Chapitre 05 :Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

5.5.2. Pression limite et module pressiométrique :

Les paramètres issus de l'essai pressiométrique sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau 5. 6: Etat du sol sur la base de l'essai au pressiomètre Ménard.

Profondeur(m)	(bars)	(bars)	(bars)	(bars)	(bars)	(bars)	Etat
2	0.81	0.85	0.342	0.508	2.57	3.02	Argile plastique mollé
4	0.40	0.75	0.684	0.066	2.93	3.89	Argile plastique mollé
6	1.00	1.00	1.026	-0.026	7.30	7.28	Argile plastique mollé
8	2.01	2.01	1.368	0.642	12.63	6.29	Argile ferme
10	3.71	8.97	1.710	7.260	42.10	4.80	Argile très raide

D'après le RPA/99, il existe quatre (04) classes du sol S1 (Site rocheux), S2 (Site ferme), S3(Site meuble) et S4 (Site très meuble).

La loi permettant le calcul de la moyenne harmonique de la pression limite s'écrit sous la forme : avec

$$P_L' = \frac{H}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{h_i}{p_i}\right)} \quad (5.2)$$

Épaisseur de la couche « i » caractérisée par une valeur.

Nombre des couches constituant le sol. Donc la classe du site est S4 (Site très meuble) dont la description est l'argile.

5.5.3. Essai de laboratoire :

5.5.3.1. Classification des sols :

Un des intérêts de la classification d'un sol est de renseigner sur la façon dont ce sol va se comporter sous un ouvrage réel, pendant la construction ou sous les charges structurales.

La classification d'un sol a pour objectif de regrouper dans une même catégorie les sols ayant les mêmes caractéristiques physiques. La classification proposée par Casagrande (1948) a été adoptée par les américains dans le système unifié U.S.C.S. (Unified Soil Classification System).

Les résultats de la classification des sols du site de notre projet sont donnés dans le tableau 5.7

Chapitre 05 :Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

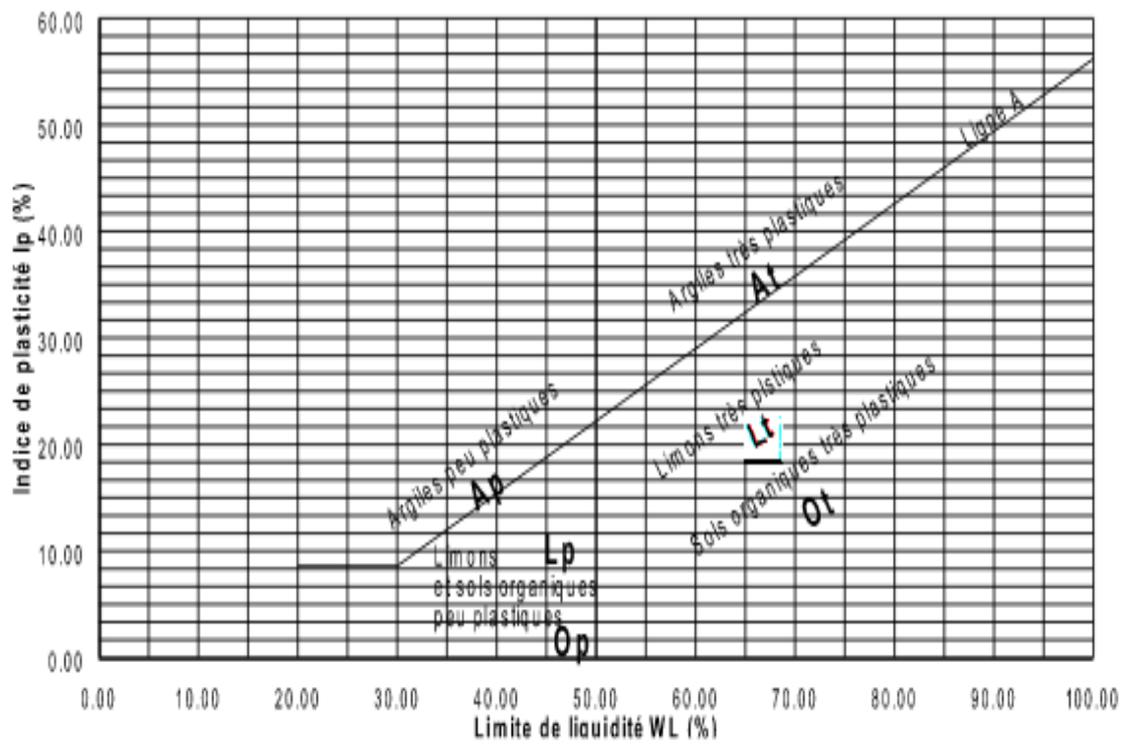


Figure 5. 23: Diagramme de Casagrande pour la classification des sols fins.

Chapitre 05 :Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

Tableau 5. 7: Résultats de la classification des sols du site.

Sond.	N° éch.	Prof. (m)	W L (%)	W p (%)	I p (%)	Classe du sol
SP01	E1S1	0.00-0.80	55.82	30.86	24.96	Argiles organiques de haute plasticité
	E2S1	0.80-2.00	61.60	31.56	30.04	Argiles organiques de haute plasticité
	E3S1	2.00-3.50	58.53	29.64	28.89	Argiles organiques de haute plasticité
	E4S1	5.00-7.50	55.59	30.95	24.64	Argiles organiques de haute plasticité

5.5.4. Portance du sol :

La sécurité de tout ouvrage réaliser sur le sol dépend de la vérification de deux critères très importants :

- La portance du sol : on doit vérifier que les contraintes de l'ouvrage transmises au sol doivent être en deçà des contraintes que le sol peut supporter.
- Le tassement du sol : on doit vérifier que les déformations du sol induites par les contraintes ramenées par la construction de l'ouvrage ne soient pas excessives au point d'engendrer des préjudices au bon fonctionnement de l'ouvrage.

Pour vérifier la portance du sol, on calcule d'abord la valeur de cette portance, notée, c'est-à-dire la valeur de la pression au-delà de laquelle le sol se rompt par cisaillement. Une marge de sécurité doit être prise en compte bien sûr entre la valeur de cette portance et la valeur limite de rupture du sol. On compare ensuite la valeur trouvée de la pression de service ramenée par l'ouvrage au niveau des fondations.

5.5.4.1. Portance du sol calculée par les sondages au P.D.L. :

La charge limite du sol, notée, est la pression au-delà de laquelle le sol rompt par cisaillement.

Elle est donnée par :

$$q_l = \frac{Rd}{\beta} \quad (5.3)$$

Chapitre 05 :Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

Avec : coefficient de portance compris entre 5 et 7.

La capacité portante (ou taux du travail) du sol est la contrainte admissible acceptable que l'on prenne en compte pour dimensionner les fondations de l'ouvrage ; elle est notée et est telle que F étant un coefficient de sécurité pris égal à 3 dans le cas des fondations superficielles.

En tenant compte de ces deux coefficients (et F), la valeur de peut être évaluée à partir des résultats de l'essai au pénétromètre dynamique lourd par la formule :

$$Q_{adm} = \frac{Rd}{20} \quad (5.4)$$

En tenant compte des valeurs adoptées de la résistance équivalente portées sur le Tableau 5.8 les valeurs calculées de la pression admissible en fonction de la profondeur sont récapitulées sur le Tableau ci-après :

Tableau 5. 8: Les contraintes admissibles de l'assiette du projet.

La profondeur à partir de la dalle existante (m)	contraintes admissibles
4.00	1.00
4.60	2.00

5.5.5. Portance du sol calculée par méthode pressiométrique (PMT) :

La charge limite q_L du sol sous la fondation est calculée selon le DTU (13.12) par :

Avec :

$$q_L = K_p \cdot P_{leq}^* + q_0$$

P_{leq}^* : Pression limite nette équivalente déduite du pressiomètre ;

K_p : Coefficient de portance pressiométrique ;

q_0 : Contrainte verticale à la base de la fondation.

La contrainte admissible se calcule par la formule suivante :

$$Q_{adm} = \frac{K_p \cdot P_{leq}^*}{3} + q_0 \quad (5.5)$$

Pour une semelle rectangulaire de 6 m de largeur et 8 m de longueur fichée à 2 m à partir du terrain naturel, la zone utile est d'environ Si l'on prend 10 m, toutes les valeurs des pressions limites nettes illustrées par le Tableau 6 sont à utiliser. Les paramètres de calcul nécessaires

Chapitre 05 :Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

au calcul de la capacité portantes en utilisant le prosimètre sont regroupés dans le tableau 5.9
Le calcula abouti aux résultats suivants :

Tableau 5. 9: Valeur de la contrainte admissible déduite de la méthode PMT au sondage SP01.

Profil	SP01
contrainte admissible	
(bars)	1.69
(bars)	0.865
(bars)	0.297
(bars)	1.76
(bars)	0.784

5.5.5.1 : Contrainte admissible adoptée :

La valeur de la contrainte admissible adoptée pour le dimensionnement des fondations c'est la valeur la plus défavorable, celle de l'essai PMT. Le tableau ci-après montre la valeur adoptée.

Tableau 5. 10: Valeur de la contrainte admissible adoptée.

La profondeur à partir de la dalle existante(m)	4.00
contrainte admissible adoptée. (bars)	0.784

5.6. Étude par Plaxis pour résolution de problème de tassement d'une semelle uniquement et d'un pieu coiffée d'une semelle de laissant supportons semis a une charge verticale 130 TN :

Tableau 5. 11: Les paramètres de pieu et sol et semelle

Paramètre	Name	Pieu	Sol	Semelle	Unit
Material model	Model	LE	MC	LE	-
Type of material behaviour	Type	Nonporous	Undraind	Nonporos	-
Soil unit weight above phreatic level	γ_{unsat}	24	16	24	KN/m ³
Soil unit weight belowphreatic level	γ_{sat}	-	18	-	KN/m ³
Young's modulus (constant)	E_{ref}	$2 \cdot 10^7$	5000	$2 \cdot 10^7$	KN/m ²
Poisson's ratio	ν	0.2	0.35	0.2	-

Chapitre 05 : Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

Cohesion	C_{ref}	-	8	-	KN/m ²
Friction angle	φ	-	16	-	°

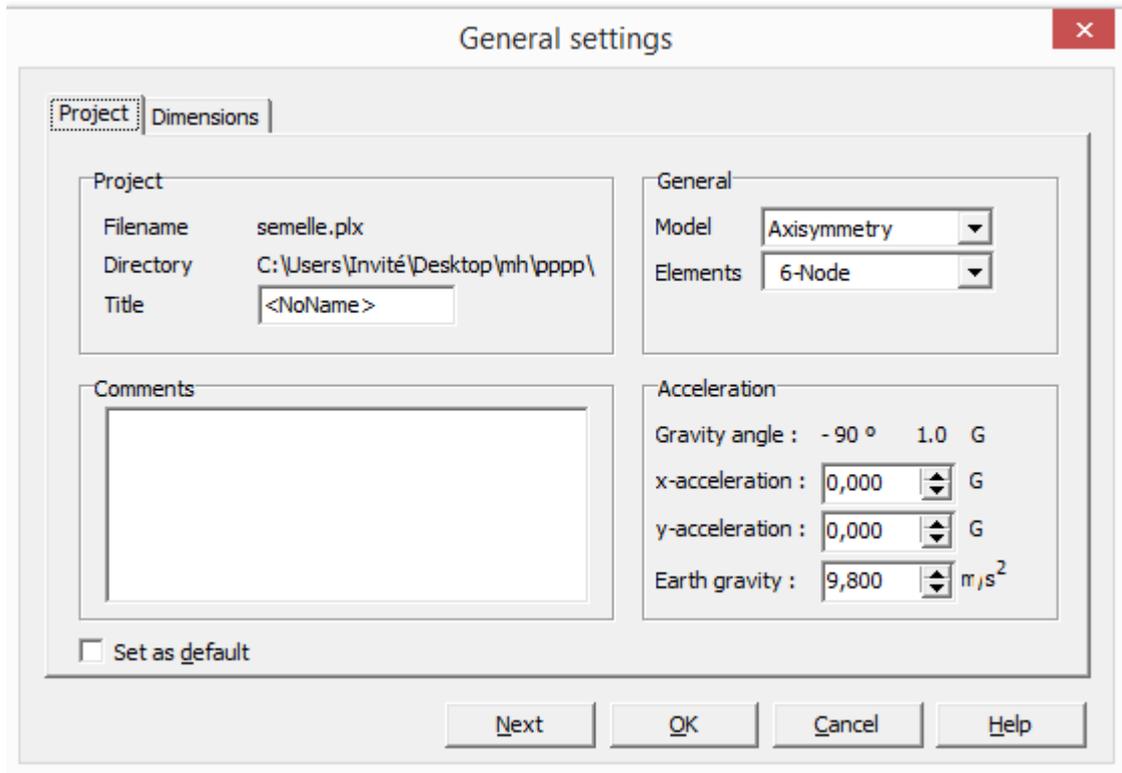


Figure 5. 24: Les paramètres généraux.

5.6.1. Dimensionnement par plaxis en cas de la semelle uniquement :

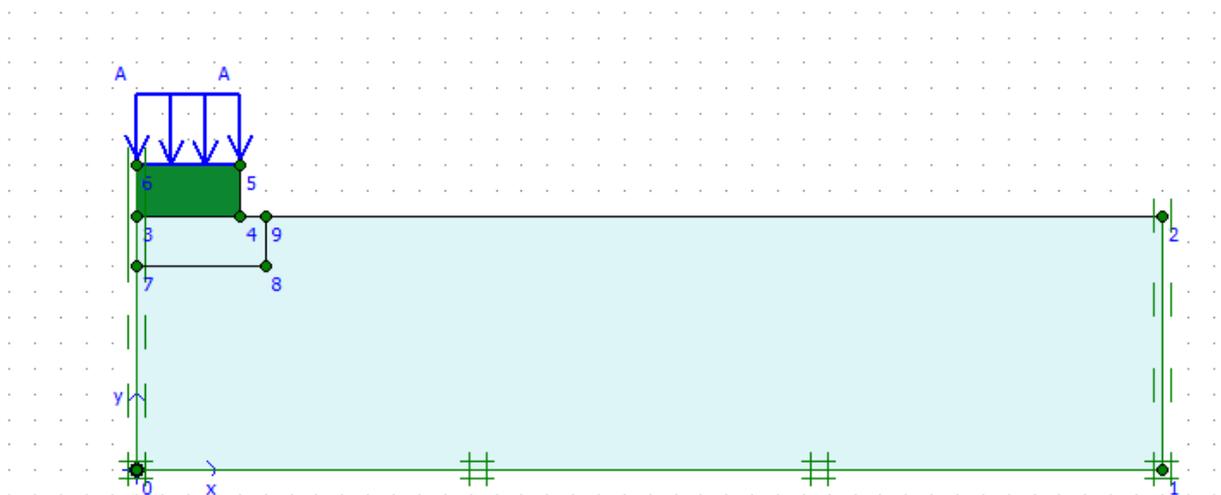


Figure 5. 25: Dimensionnement de la semelle.

Chapitre 05 : Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

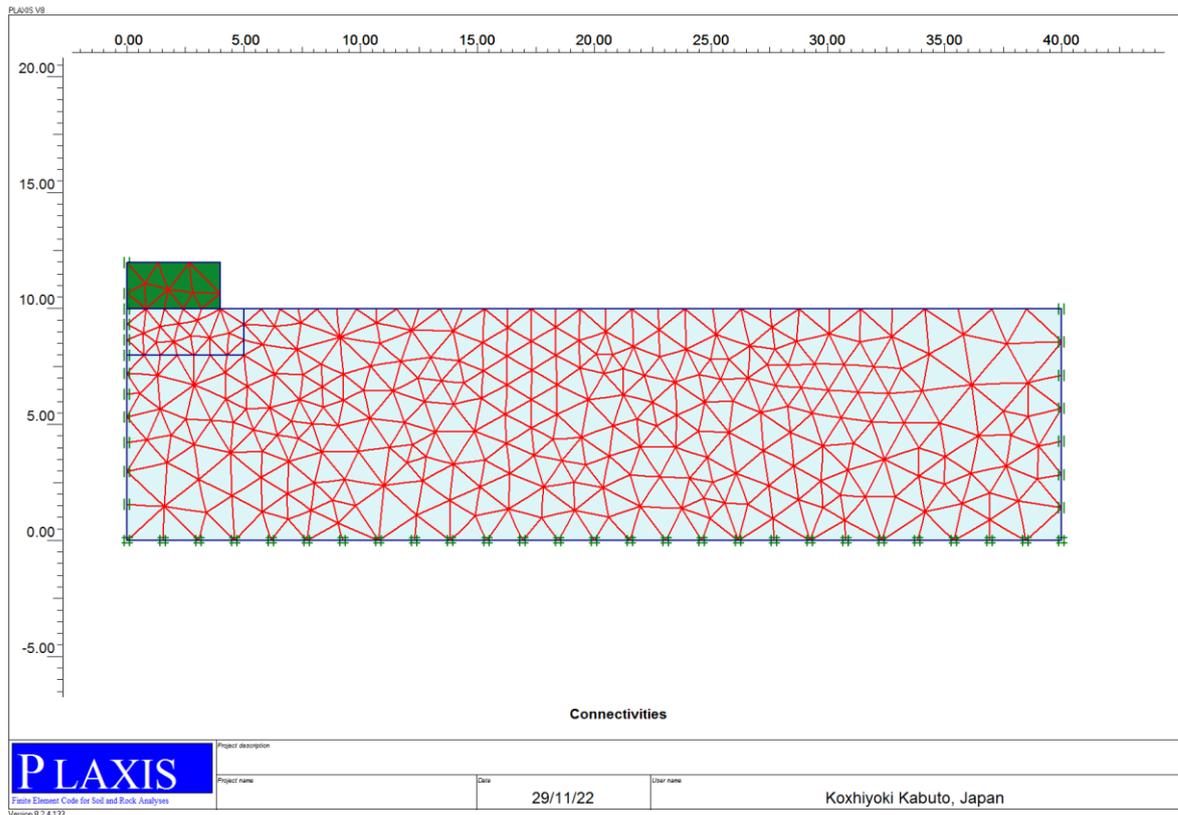


Figure 5. 26: Le maillage de la semelle uniquement.

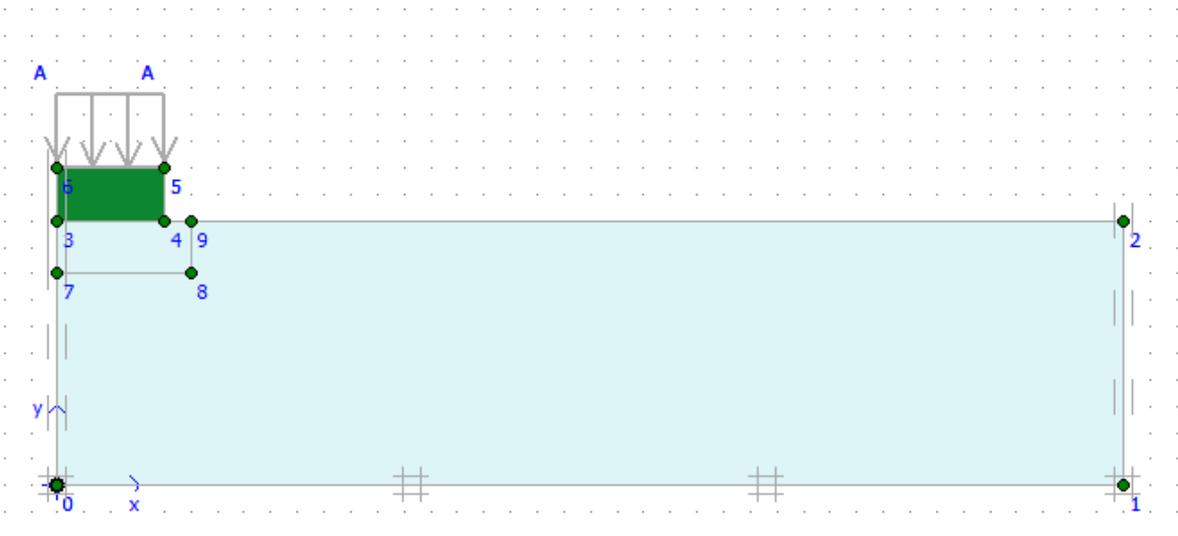


Figure 5. 27: Phase 1 de la semelle uniquement.

Chapitre 05 : Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

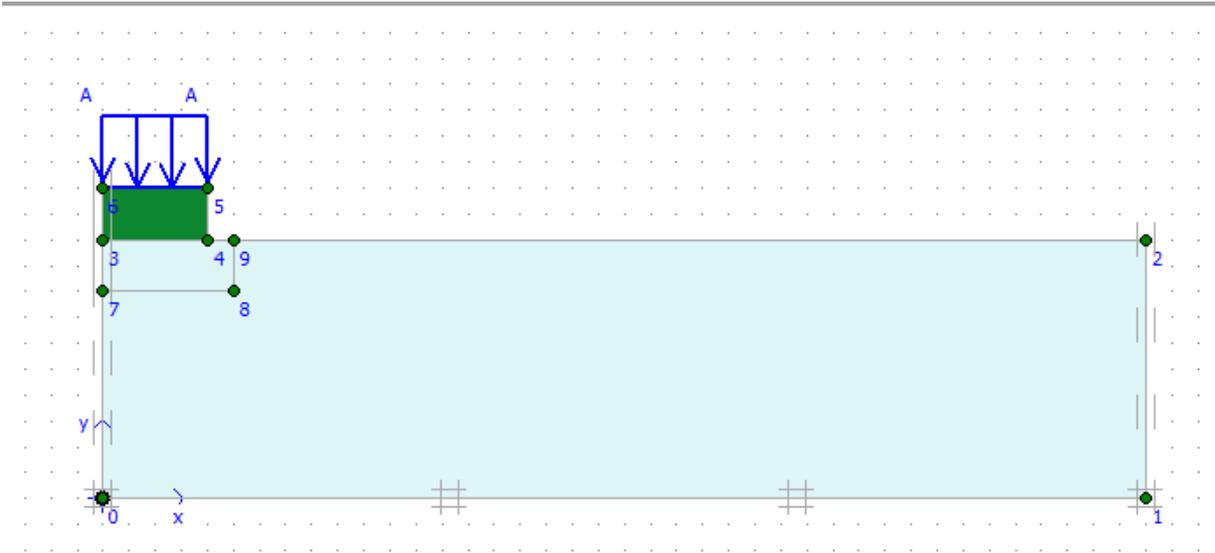


Figure 5. 28: Phase 2 de la semelle uniquement.

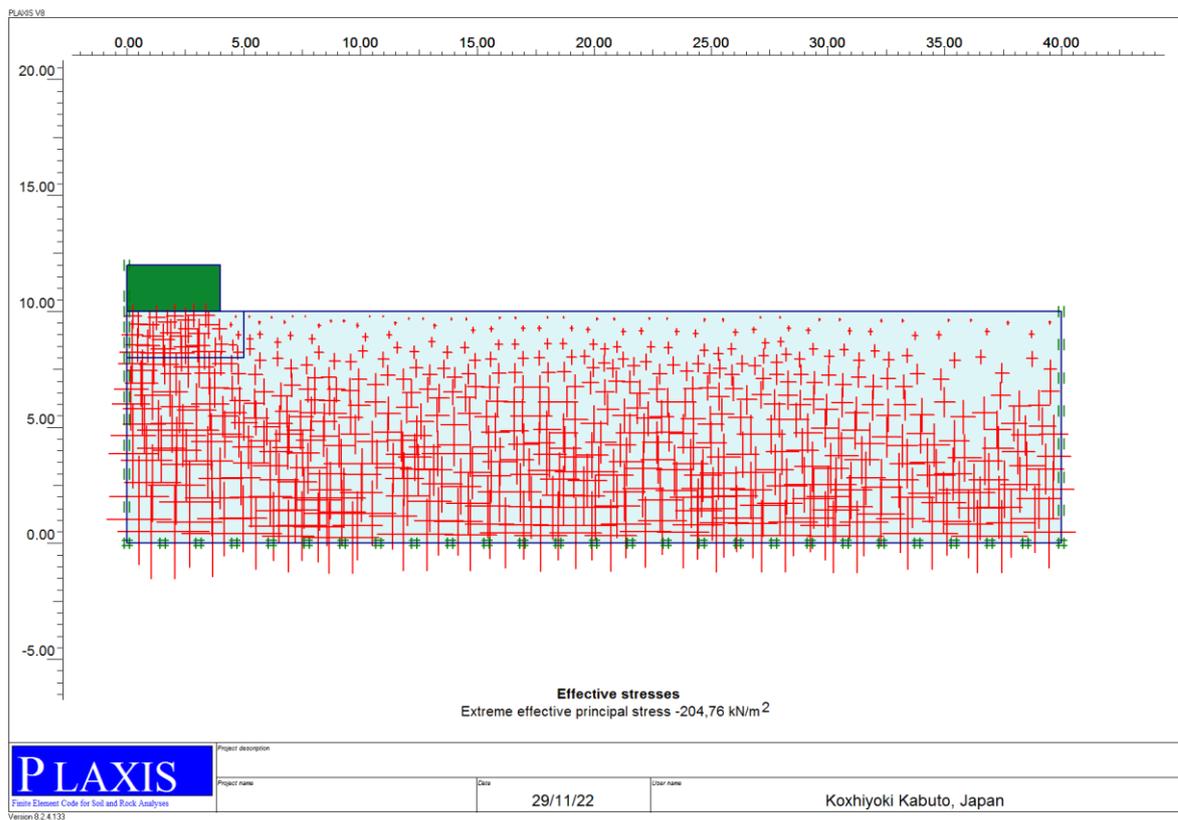


Figure 5. 29: Contrainte effective de la semelle uniquement.

Chapitre 05 : Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

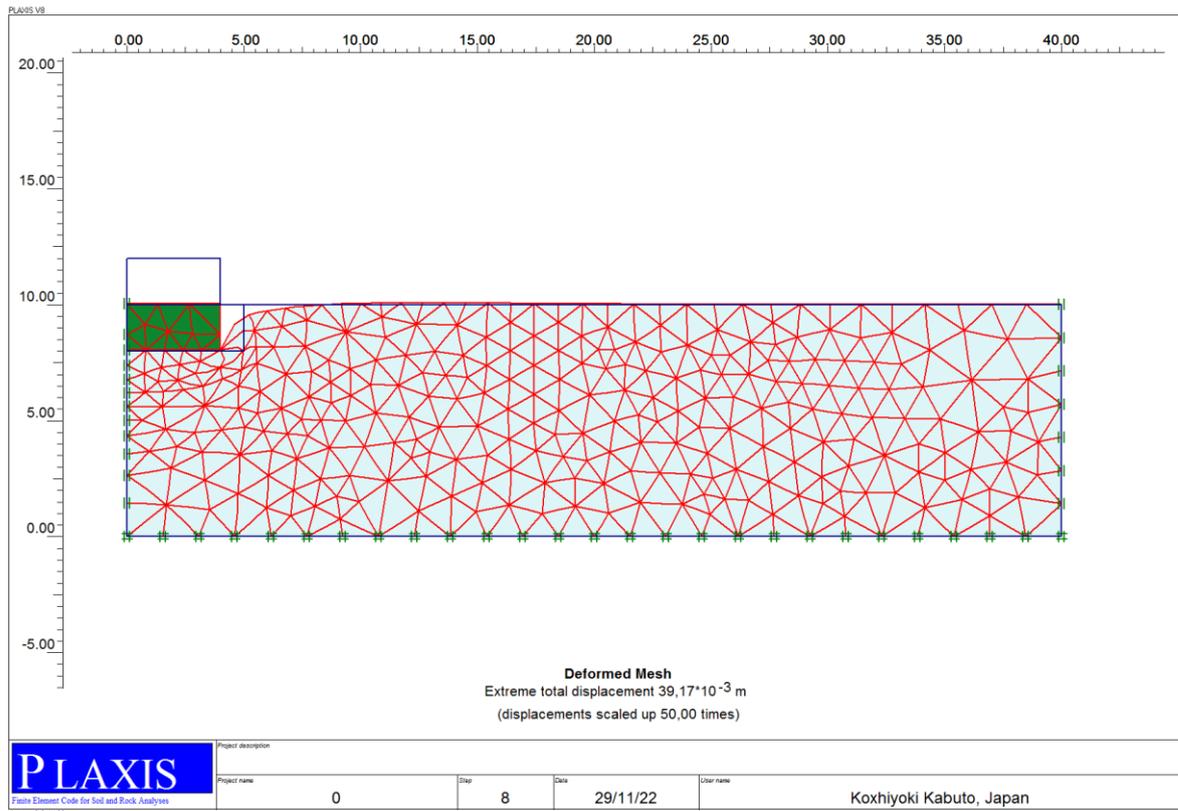


Figure 5. 30: Maillage déformé de la semelle uniquement.

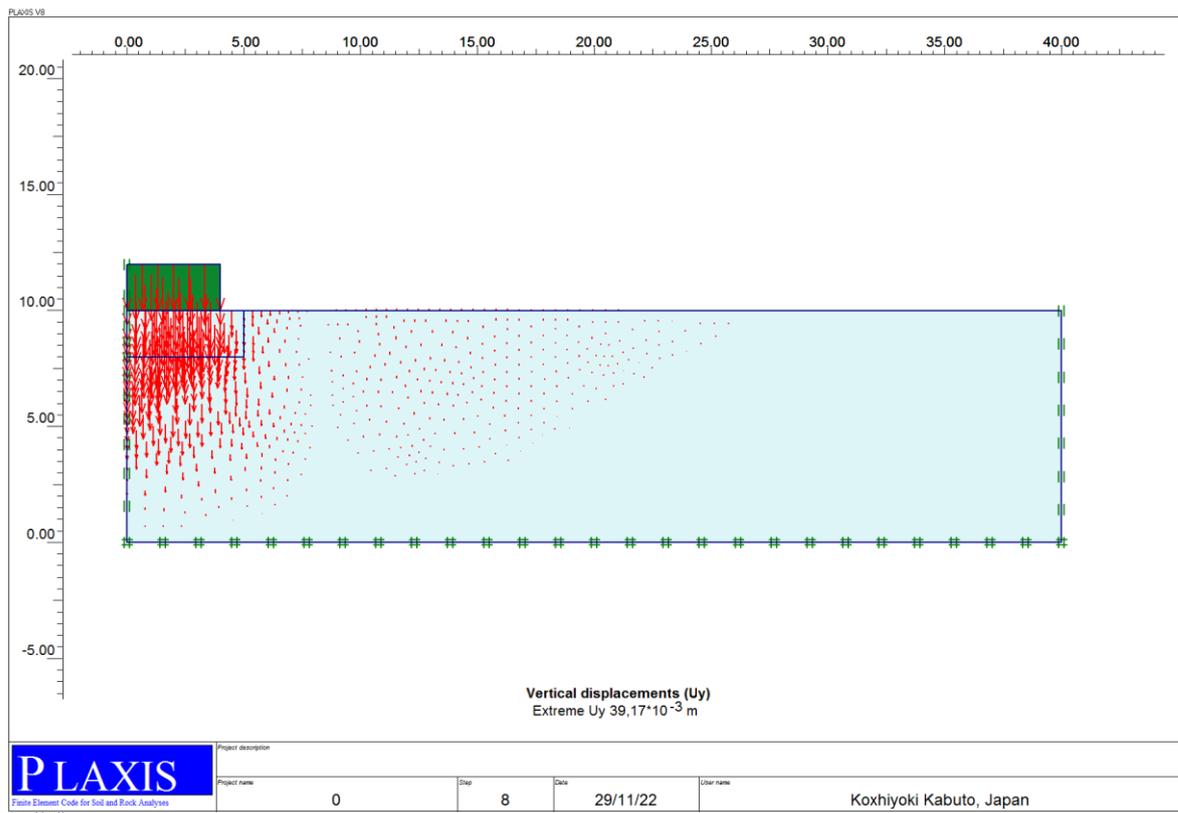


Figure 5. 31: Déformation verticale de la semelle seule.

**Chapitre 05 :Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production
d'oxygène**

**Tableau 5. 12: Représentation de la déformation verticale en fonction de longueur de
semelle uniquement**

Longueur de semelle(m)	0	0.4	0.8	1.2	1.6	2	2.4	2.8	3.2	3.6	4
$U_y \cdot 10^{-3} \text{m}$	39.167	39.167	39.166	39.163	39.160	39.156	39.152	39.147	39.141	39.124	39.124

La moyenne de déplacement vertical sous la semelle est $U_y = 39.152 \cdot 10^{-3} \text{m}$

5.6.2. Dimensionnement par Plaxis en cas d'une semelle avec pieu de $L=3\text{m}$ et $D=1\text{m}$:

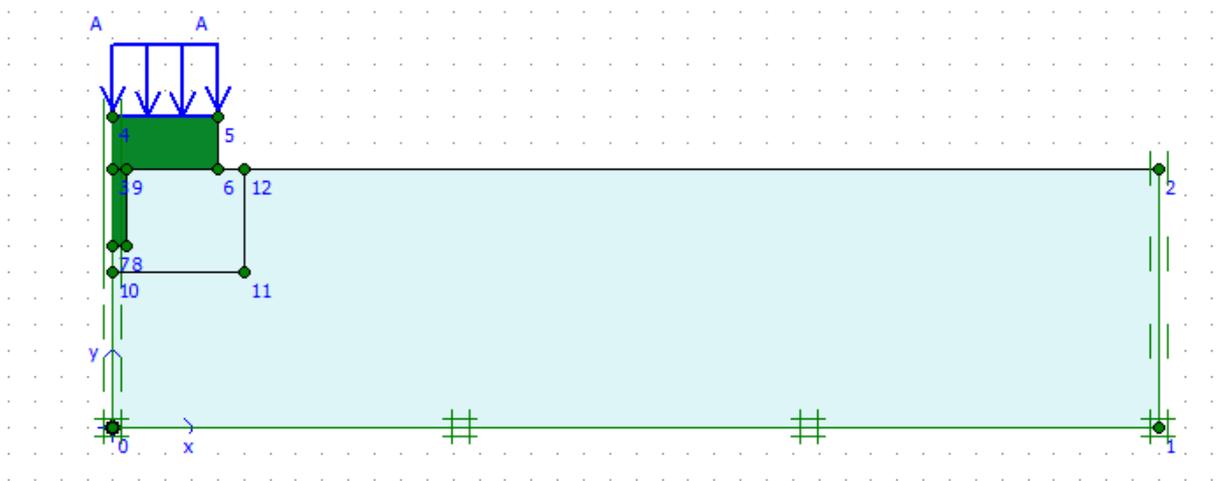


Figure 5. 32: Dimensionnement de pieu de de $L=3\text{m}$ et $D=1\text{m}$.

Chapitre 05 : Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

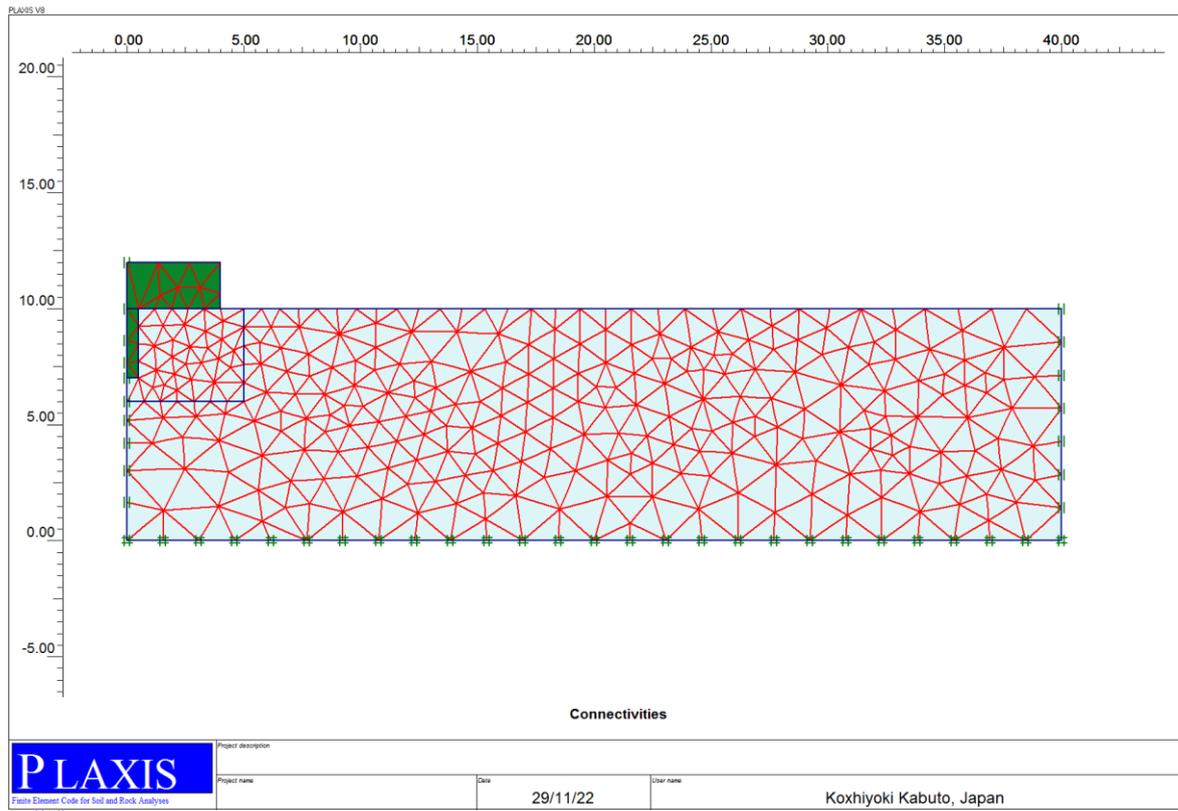


Figure 5. 33: Maillage fine de pieu de de L=3m et D=1m.

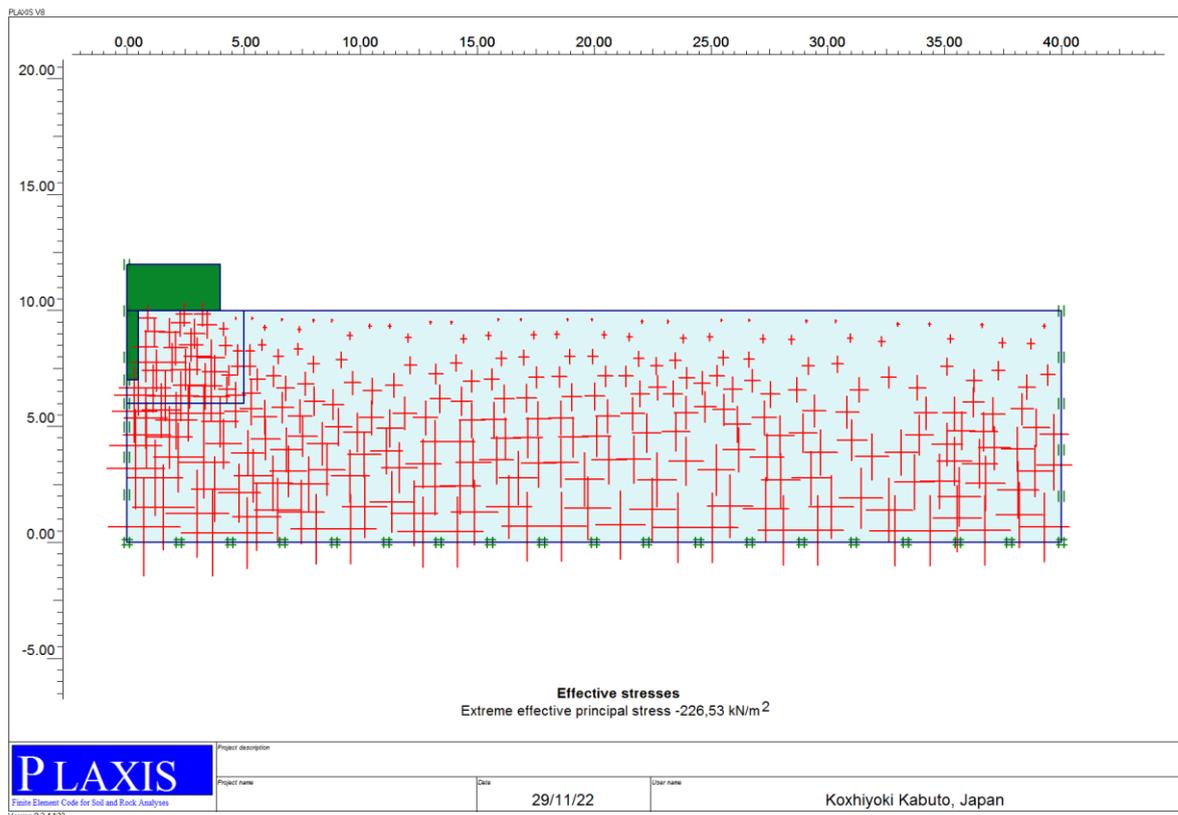


Figure 5. 34: Contrainte effective de pieu L=3m et D=1m.

Chapitre 05 : Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

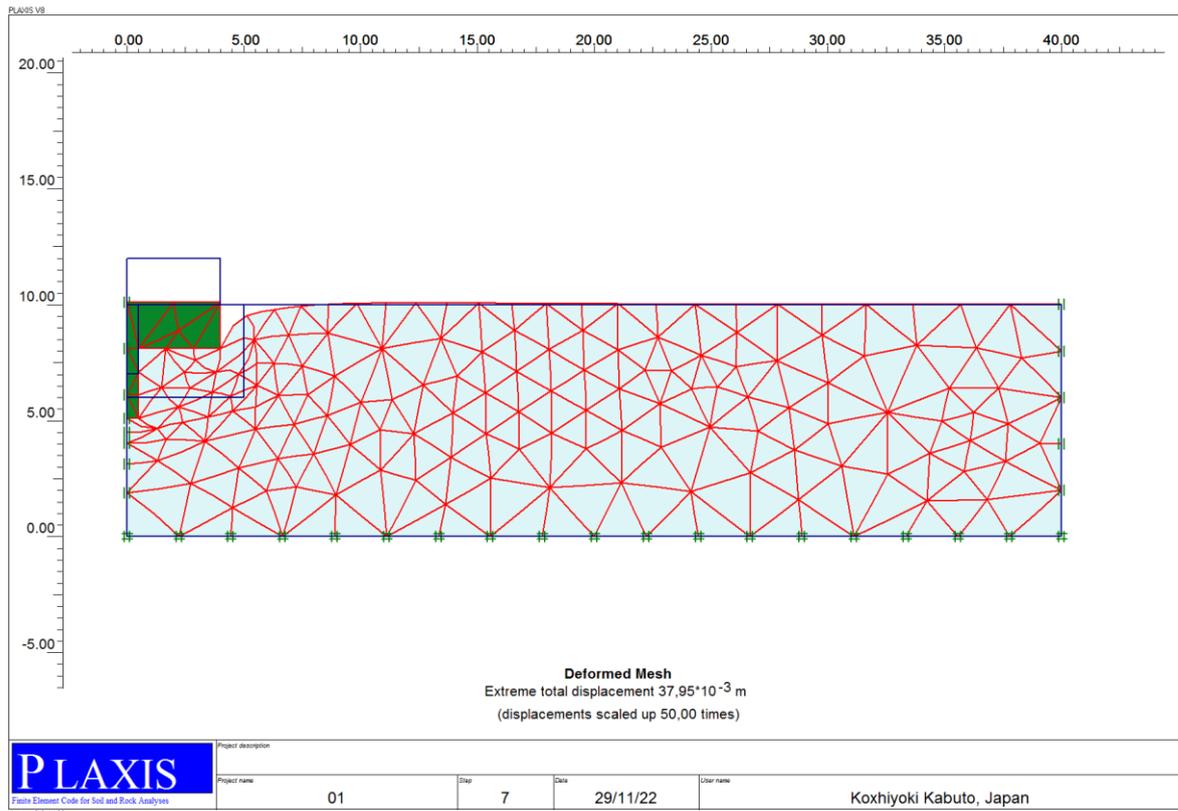


Figure 5. 35: Maillage déformé de pieu L=3m et D=1m.

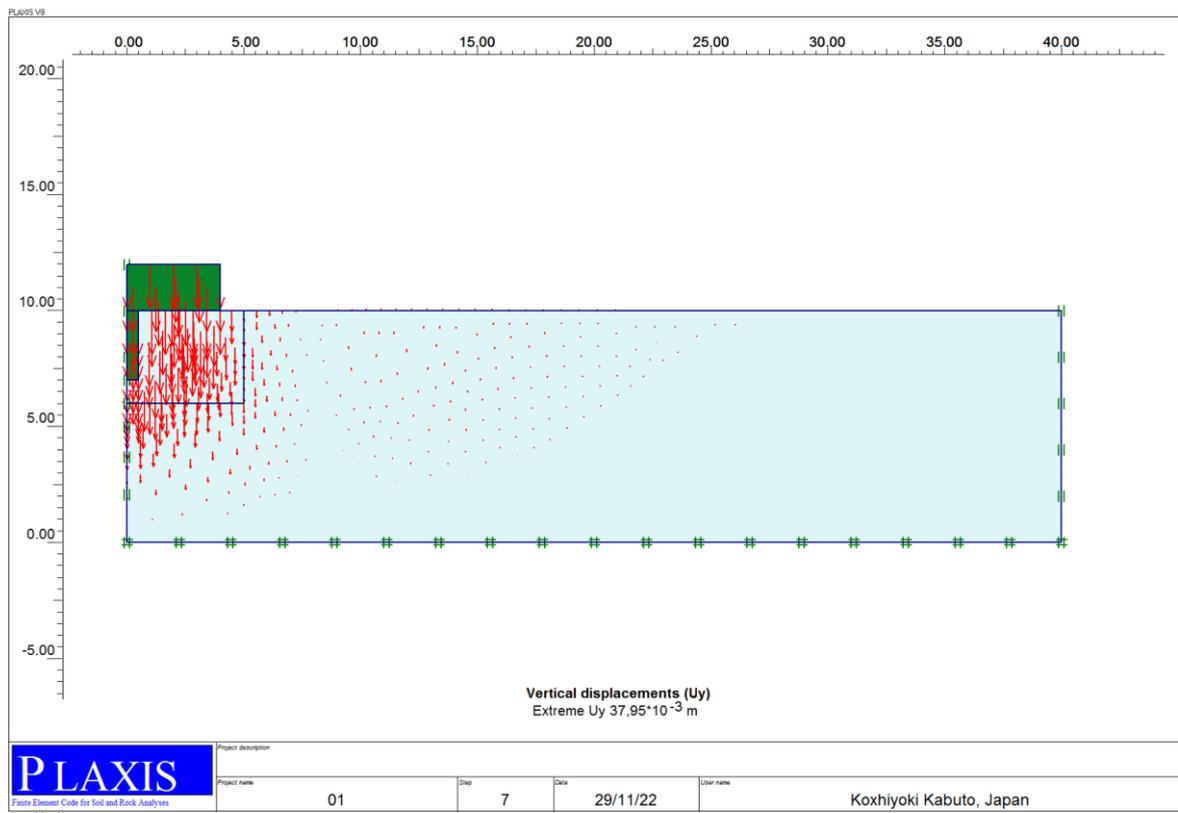


Figure 5. 36: Déplacement verticale de pieu L=3m et D=1m.

**Chapitre 05 :Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production
d'oxygène**

**Tableau 5. 13: Représentation de la déformation verticale en fonction de longueur de
semelle L=3m, D=1m**

Longueur de semelle	0	0.44	0.88	1.32	1.76	2.2	2.64	3.08	3.52	4
$U_y \cdot 10^{-3} \text{m}$	37.946	37.947	37.948	37.949	37.947	37.942	37.942	37.936	37.927	37.916

La moyenne de déplacement vertical sous la semelle est $U_y = 37.940 \cdot 10^{-3} \text{m}$

5.6.3. Dimensionnement par Plaxis en cas d'une semelle avec pieu de L=5m et D=1m :

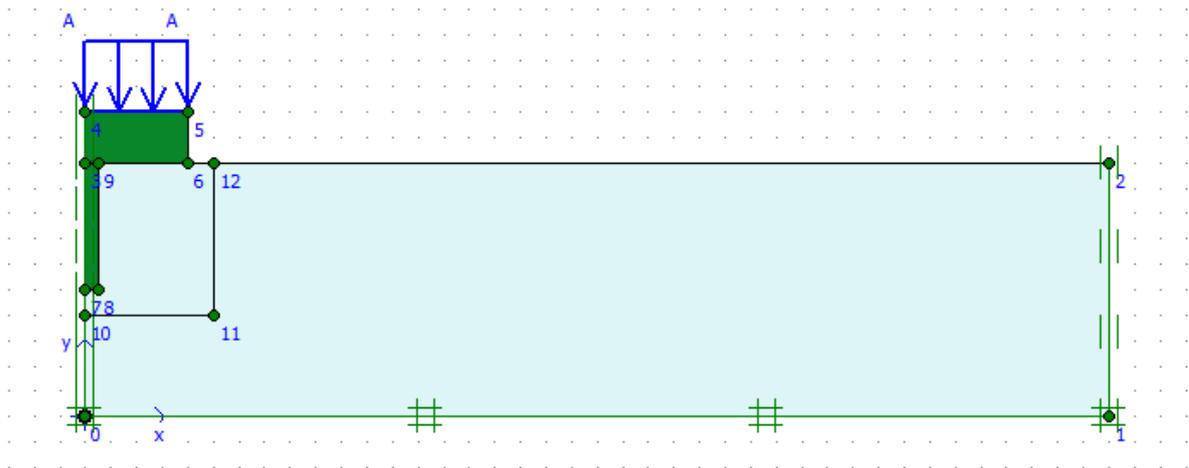


Figure 5. 37: Dimensionnement en cas d'une semelle avec pieu de L=5m et D=1m.

Chapitre 05 : Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

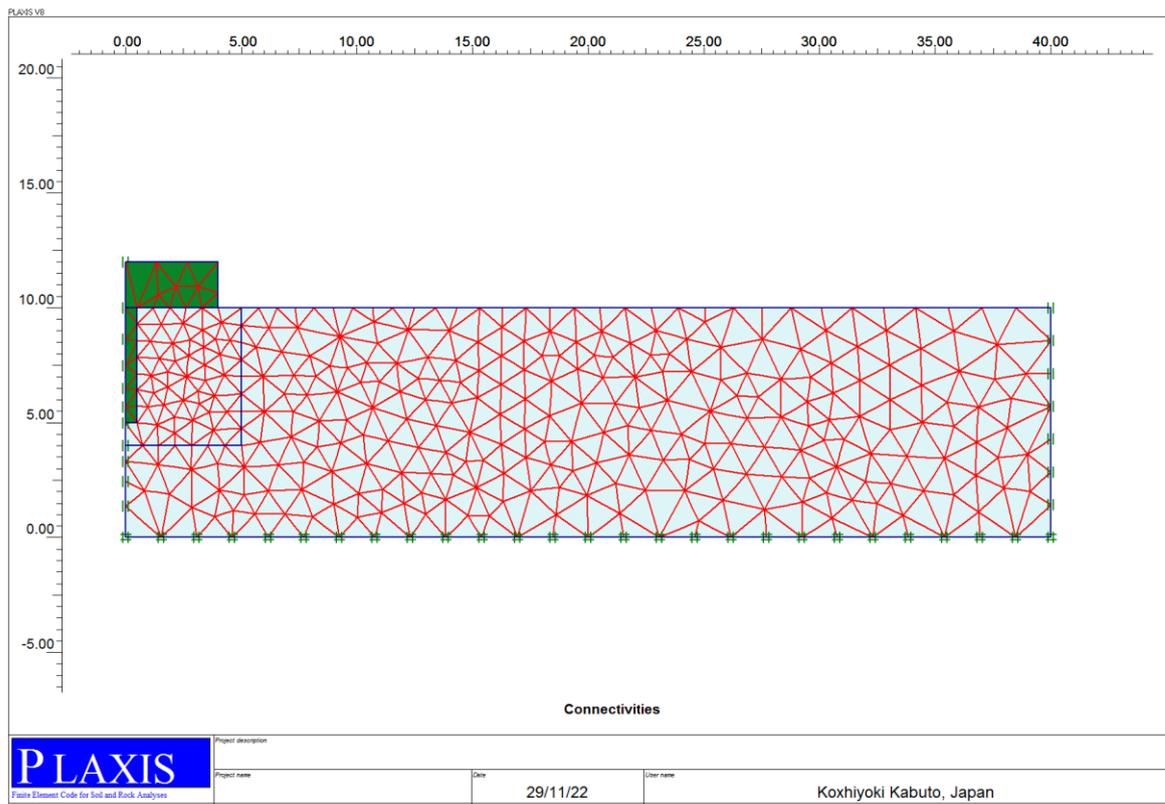


Figure 5. 38: Maillage fin cas d'une semelle avec pieu de L=5m et D=1m.

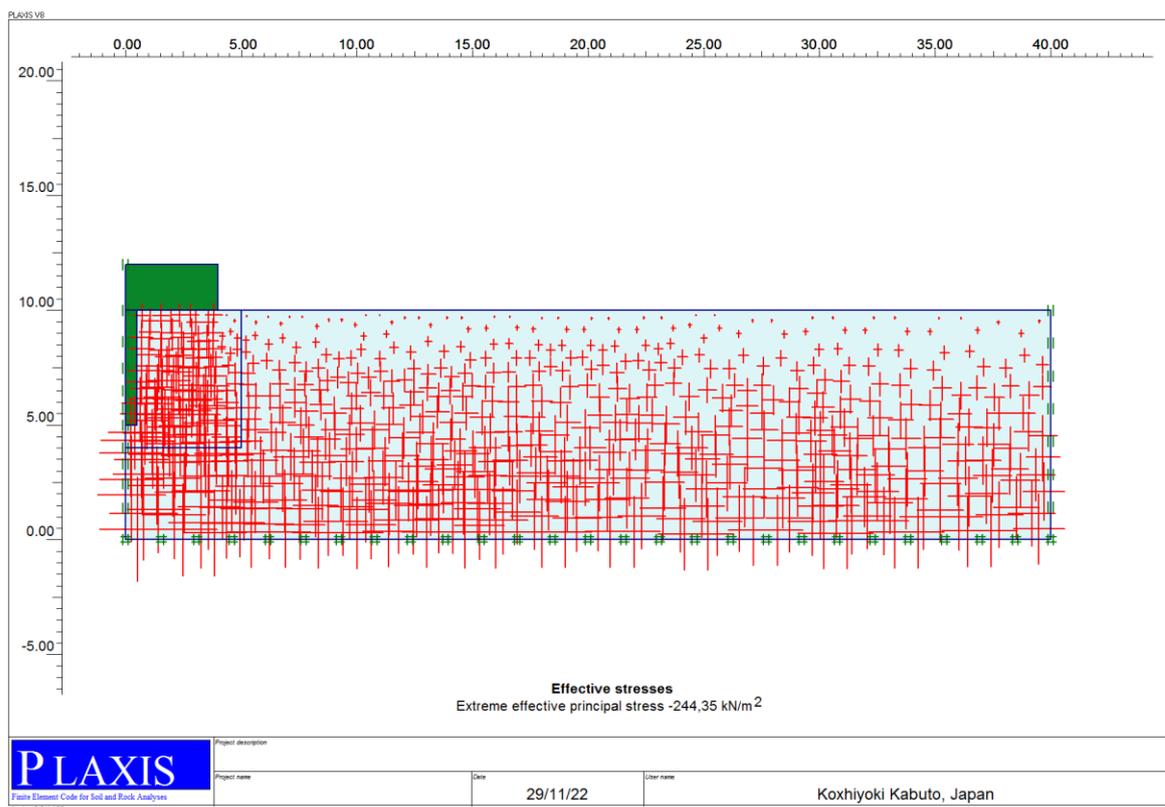


Figure 5. 39: Contrainte effective cas d'une semelle avec pieu de L=5m et D=1m.

Chapitre 05 : Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

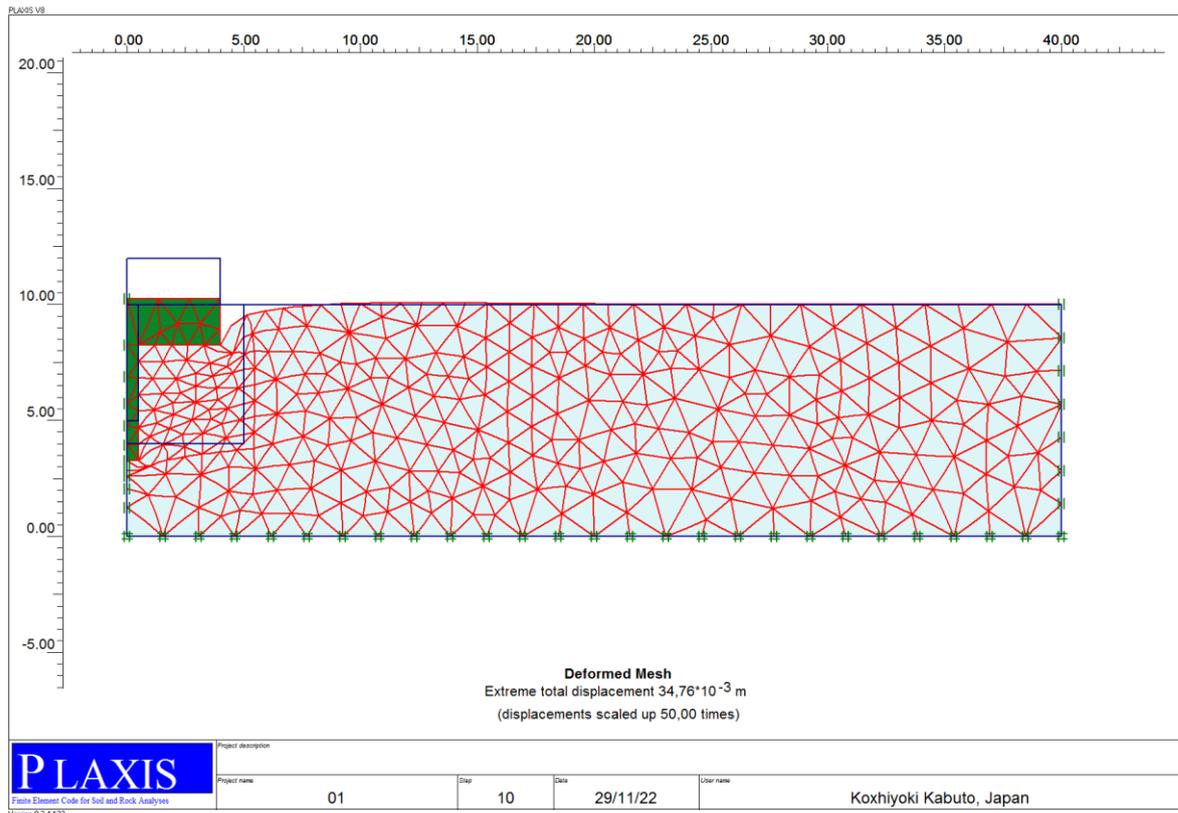


Figure 5. 40: Maillage déformé cas d'une semelle avec pieu de L=5m et D=1m.

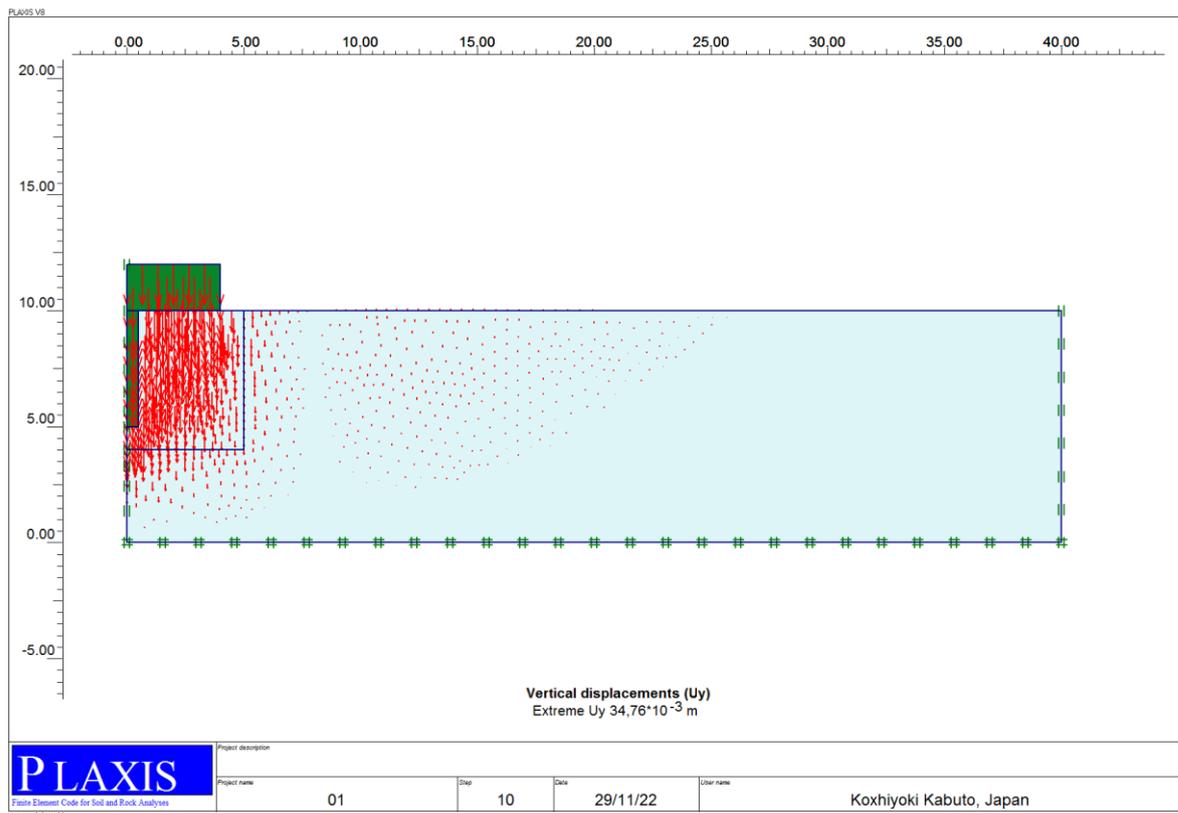


Figure 5. 41: Déplacement verticale cas d'une semelle avec pieu de L=5m et D=1m.

Chapitre 05 :Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

Tableau 5. 14: Représentation de la déformation verticale en fonction de longueur de semelle L=5m, D=1m

Langueur de semelle(m)	0	0.33	0.66	0.99	1.32	1.65	1.98	2.31	2.62	2.97	3.3	3.63	4
$U_y \cdot 10^{-3} \text{m}$	34.703	34.704	34.708	34.712	34.714	34.714	34.712	34.710	34.707	34.703	34.698	34.693	34.680

La moyenne de déplacement vertical sous la semelle est $U_y = 34.661 \cdot 10^{-3} \text{m}$

5.6.4. Dimensionnement par Plaxis en cas d'une semelle avec pieu de L=9m et D=1m :

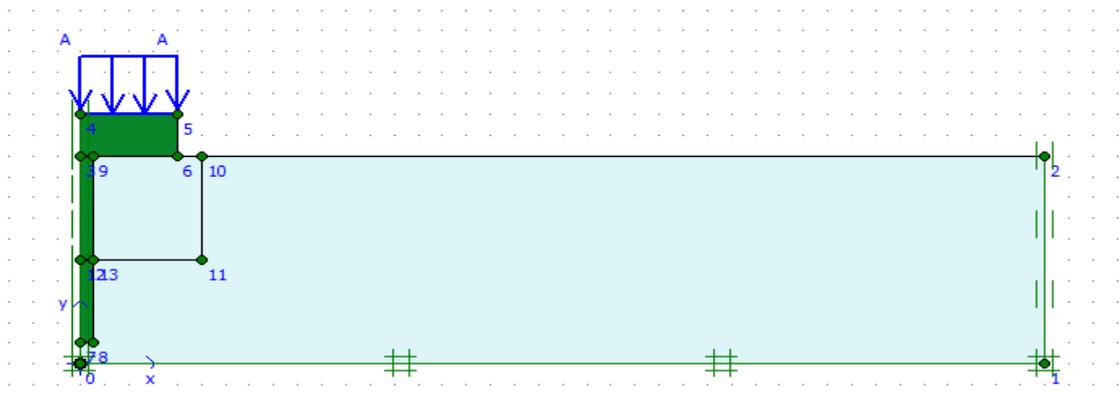


Figure 5. 42: Dimensionnement en cas d'une semelle avec pieu de L=9m et D=1m.

Ici on a une région où le maillage doit être raffiné afin d'avoir des résultats plus précis au voisinage de la surface de contact du sol avec le pieu

Chapitre 05 : Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

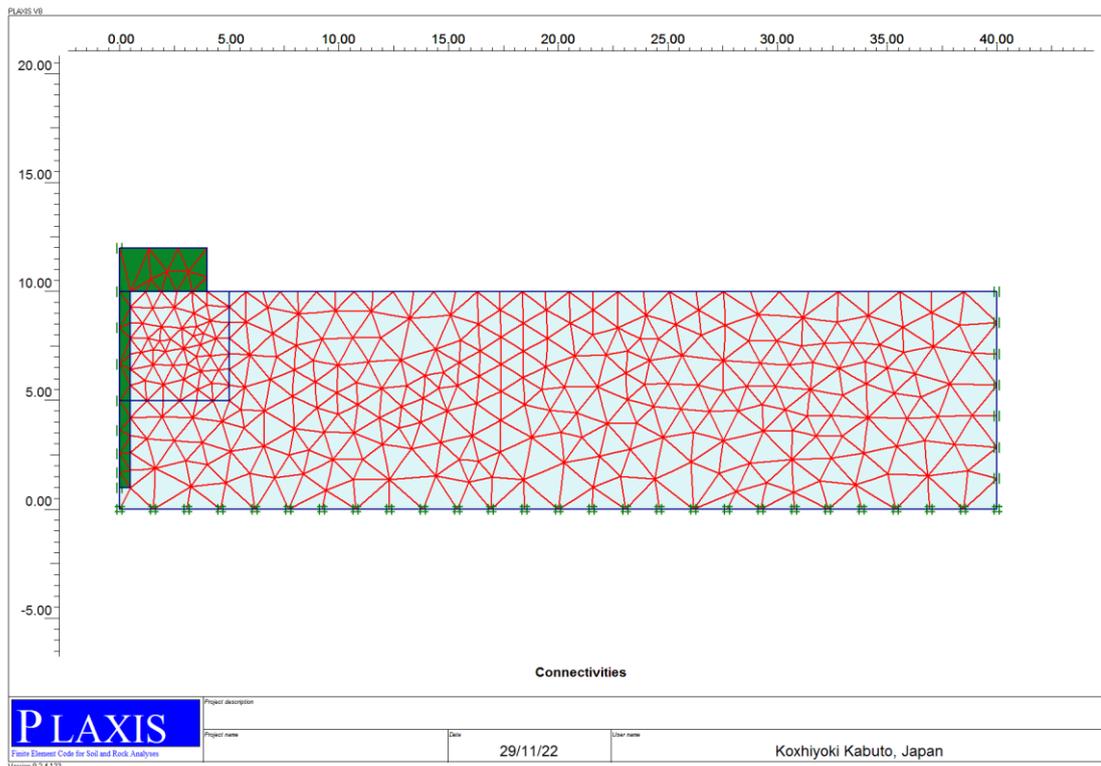


Figure 5. 43: Maillage déformé en cas d'une semelle avec pieu de L=9m et D=1m.

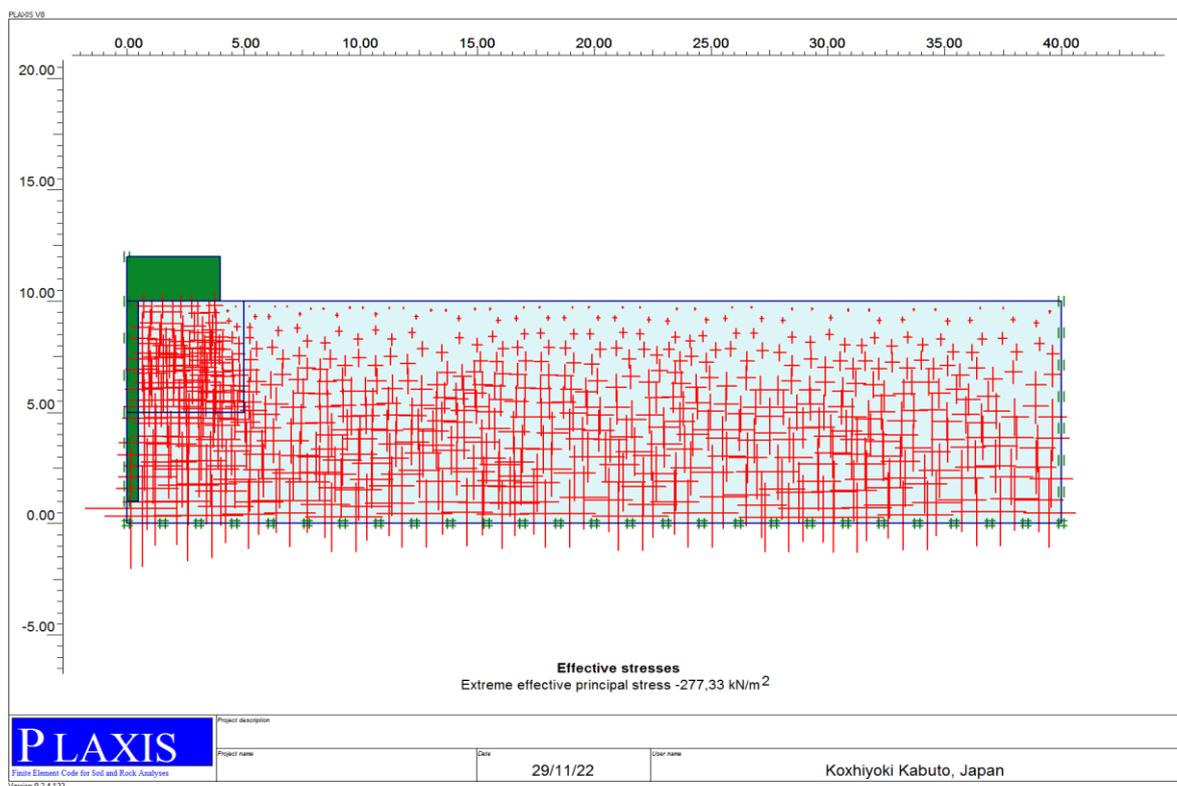


Figure 5. 44: Contrainte effective en cas d'une semelle avec pieu de L=9m et D=1m.

Les contraintes effectives sont concentrées sous la coiffe et atteignent une valeurs 277 KN/m².

Chapitre 05 : Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

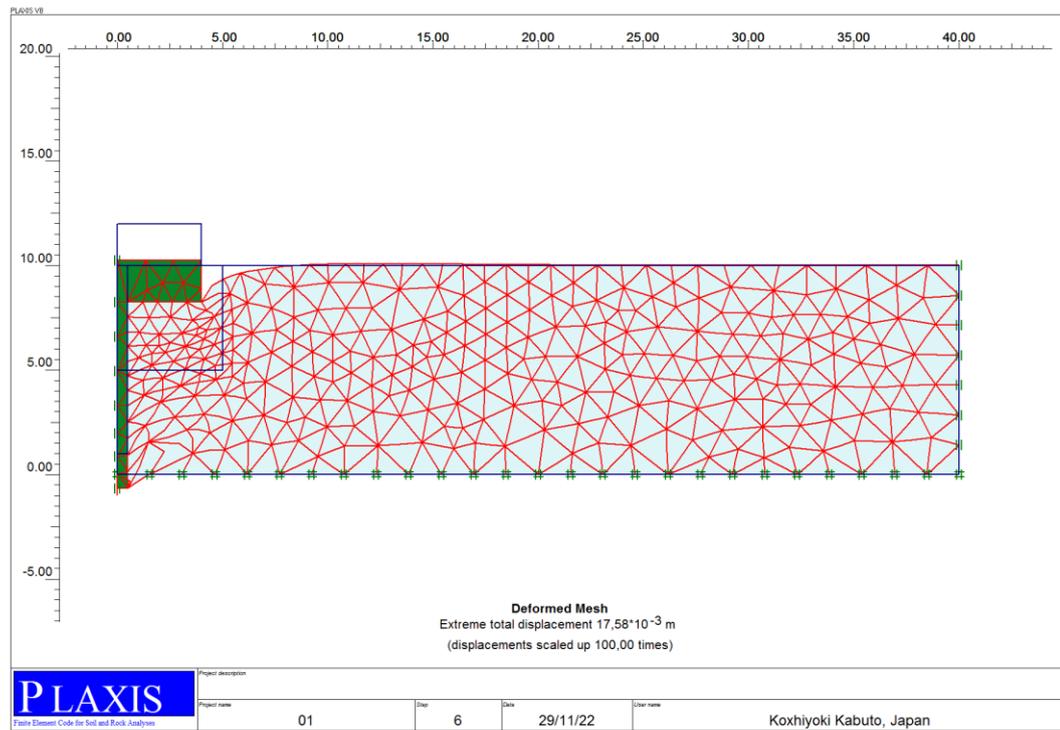


Figure 5. 45: Maillage déformé en cas d'une semelle avec pieu de $L=9\text{m}$ et $D=1\text{m}$.

La déformation a atteint une valeur de 17 mm sous la coiffe.

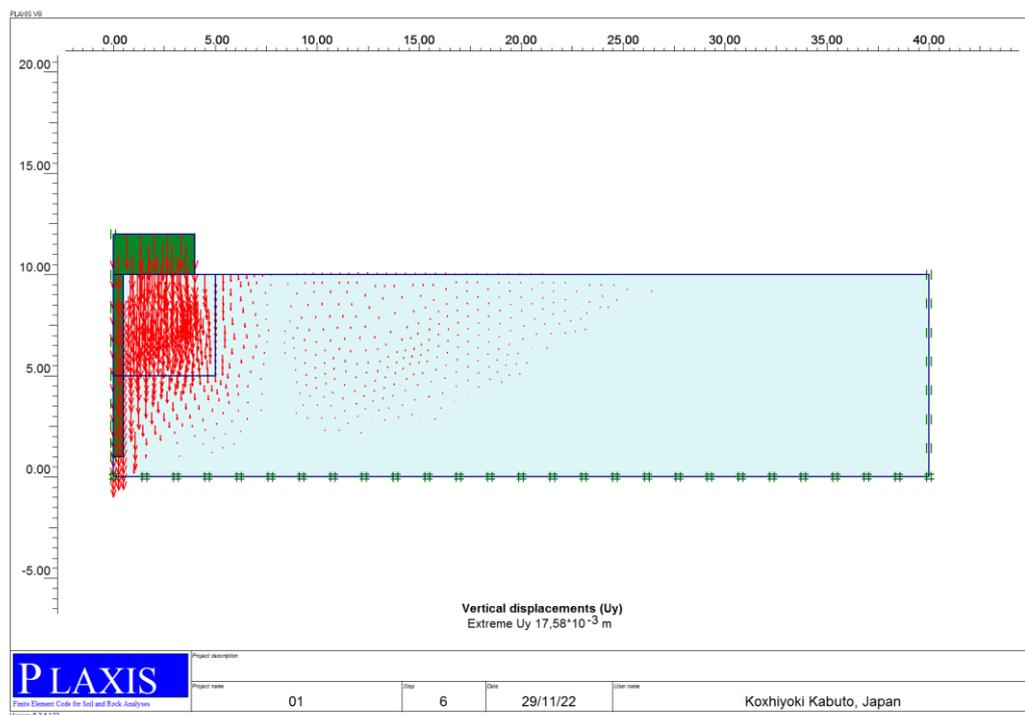


Figure 5. 46: Déplacement vertical d'un pieu $L=9\text{m}$ et $D=1\text{m}$.

Le déplacement vertical est équivalente à la déformation constatée précédemment c'est-à-dire 17 mm qui est une valeur acceptable pour un pieu de cette importance.

Chapitre 05 :Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

Tableau 5. 15: Représenté la déformation verticale en fonction de longueur de semelle L=9m, D=1m

Langueur de semelle(m)	0	0.33	0.66	0.99	1.32	1.65	1.98	2.31	2.62	2.97	3.3	3.63	4
$U_y \cdot 10^{-3}m$	17.397	17.402	17.415	17.441	17.457	17.466	17.473	17.478	17.483	17.486	17.489	17.490	17.488

La moyenne de déplacement vertical sous la semelle est $U_y=17.458 \cdot 10^{-3}m$

5.7. Dimensionnement par Plaxis en cas d'une semelle :

5.7.1. Dimensionnement par Plaxis en cas d'une semelle avec pieu de L=3m et D=2m :

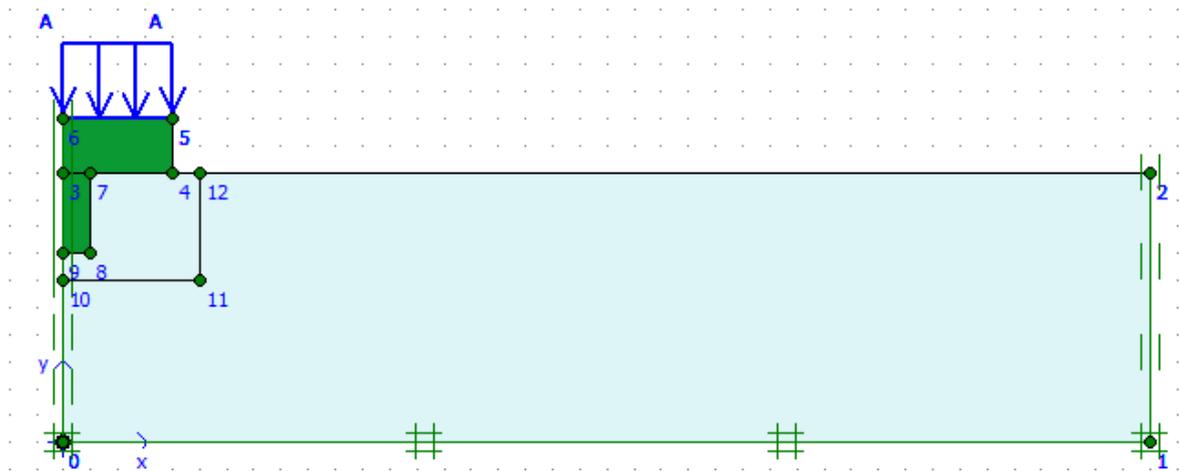


Figure 5. 47: Dimensionnement en cas d'une semelle avec pieu de L=3m et D=2m.

Chapitre 05 : Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

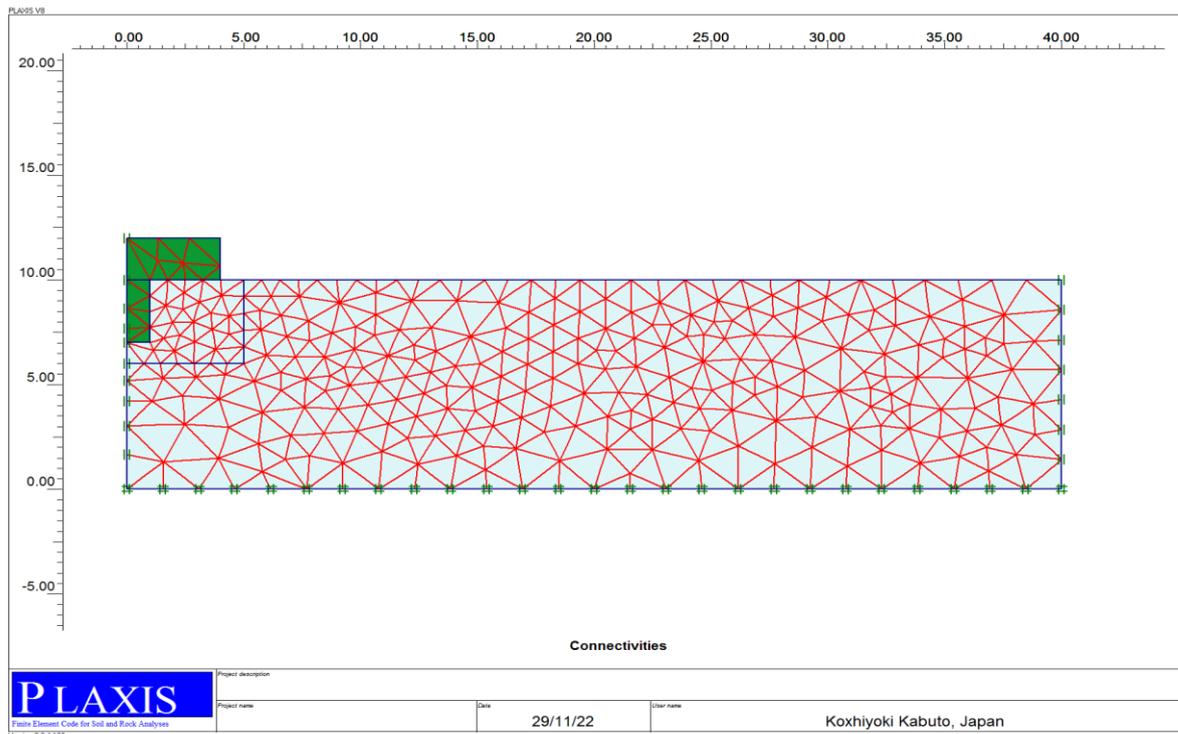


Figure 5. 48: Maillage finen cas d'une semelle avec pieu de $L=3\text{m}$ et $D=2\text{m}$.

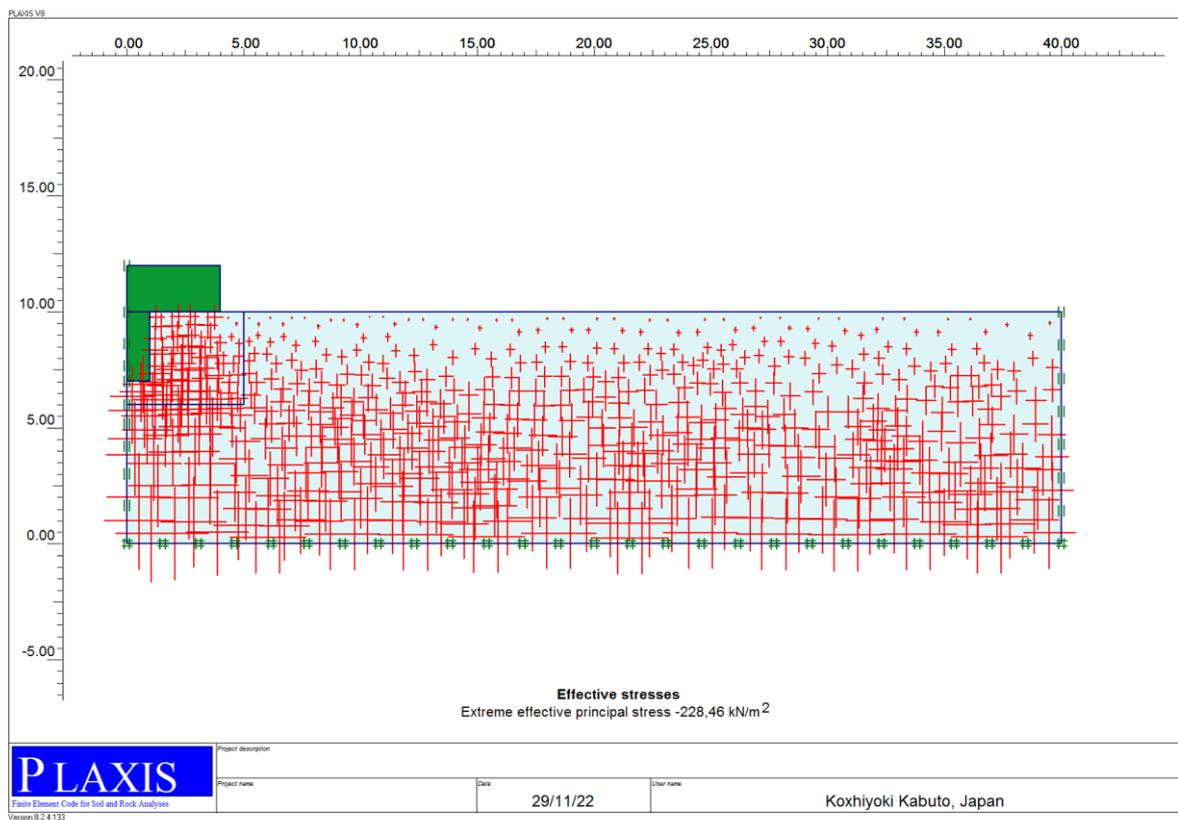


Figure 5. 49: Contrainte effective en cas d'une semelle avec pieu de $L=3\text{m}$ et $D=2\text{m}$.

Les contraintes effectives ont diminué : valeurs 228 KN/m². Le diamètre a un effet sur la répartition des contraintes.

Chapitre 05 :Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

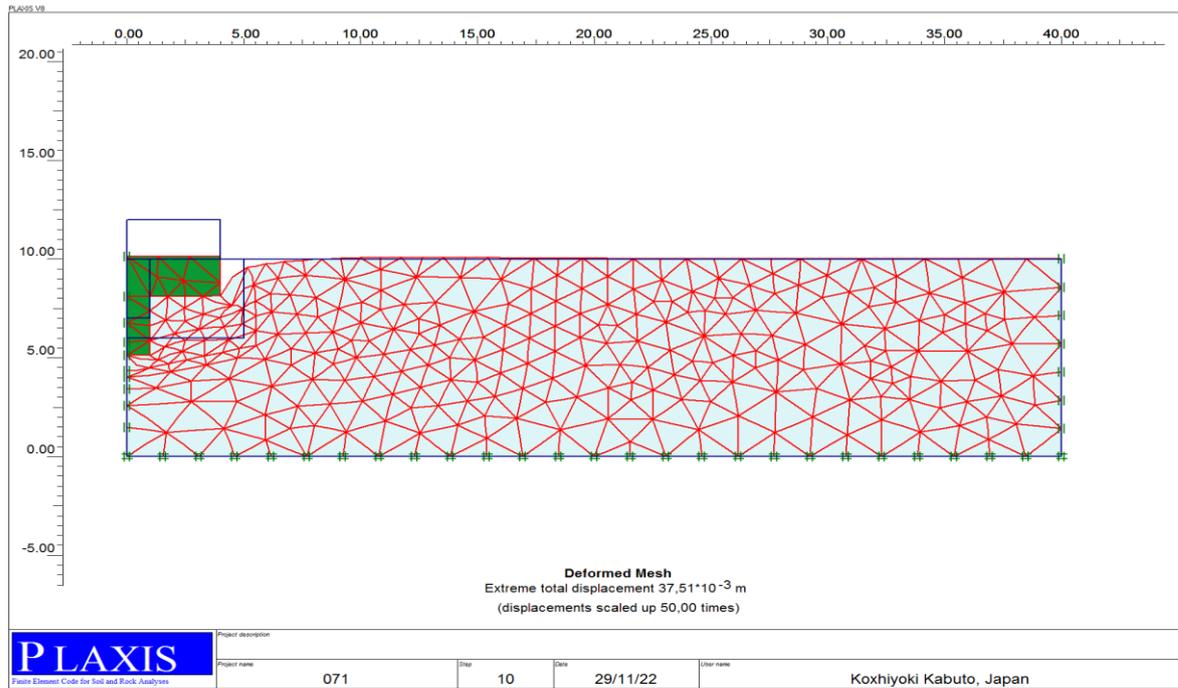


Figure 5. 50: Maillage déformé en cas d'une semelle avec pieu de L=3m et D=2m.

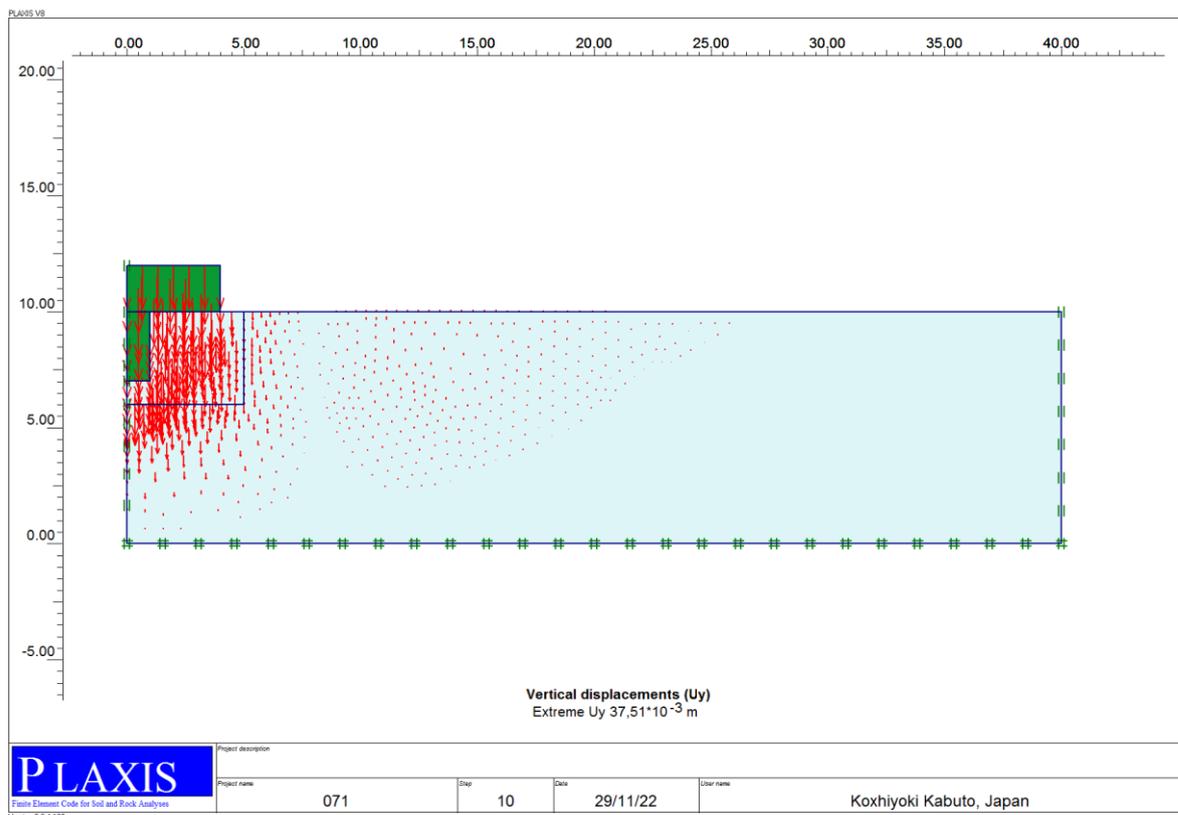


Figure 5. 51: Déplacement vertical en cas d'une semelle avec pieu de L=3m et D=2m.

**Chapitre 05 :Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production
d'oxygène**

**Tableau 5. 16: Représenté la déformation verticale en fonction de longueur de semelle
L=3m, D=2m.**

Langueur de semelle(m)	0	0.4	0.8	1.2	1.6	2	2.4	2.8	3.2	3.6	4
$U_y \cdot 10^{-3}m$	34.48	34.48	34.481	34.482	34.48	34.477	34.474	34.47	34.465	34.459	34.446

La moyenne de déplacement vertical sous la semelle est $U_y=34.472 \cdot 10^{-3}m$

5.7.2. Dimensionnement par plaxis en cas d'une semelle avec pieu de L=5m et D=2 m :

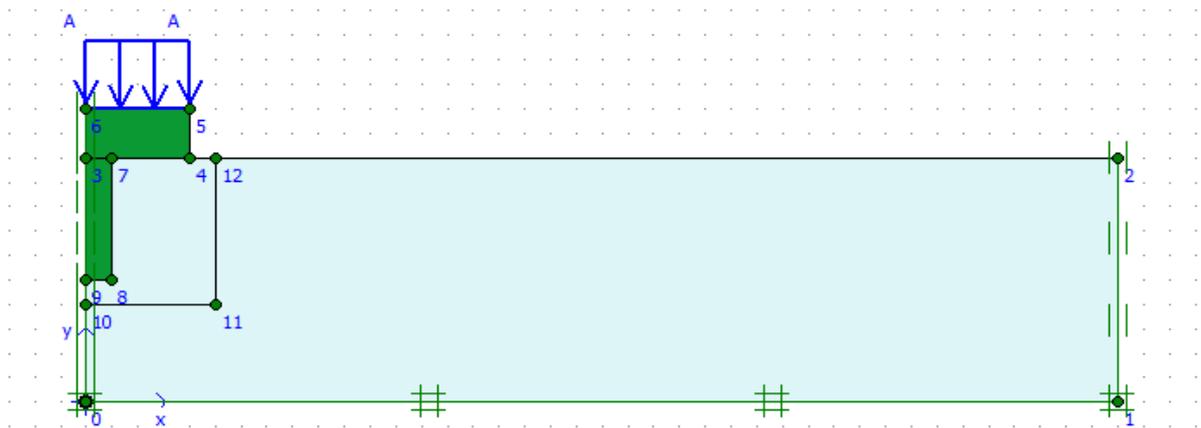


Figure 5. 52: Dimensionnement en cas d'une semelle avec pieu de L=5m et D=2m.

Chapitre 05 : Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

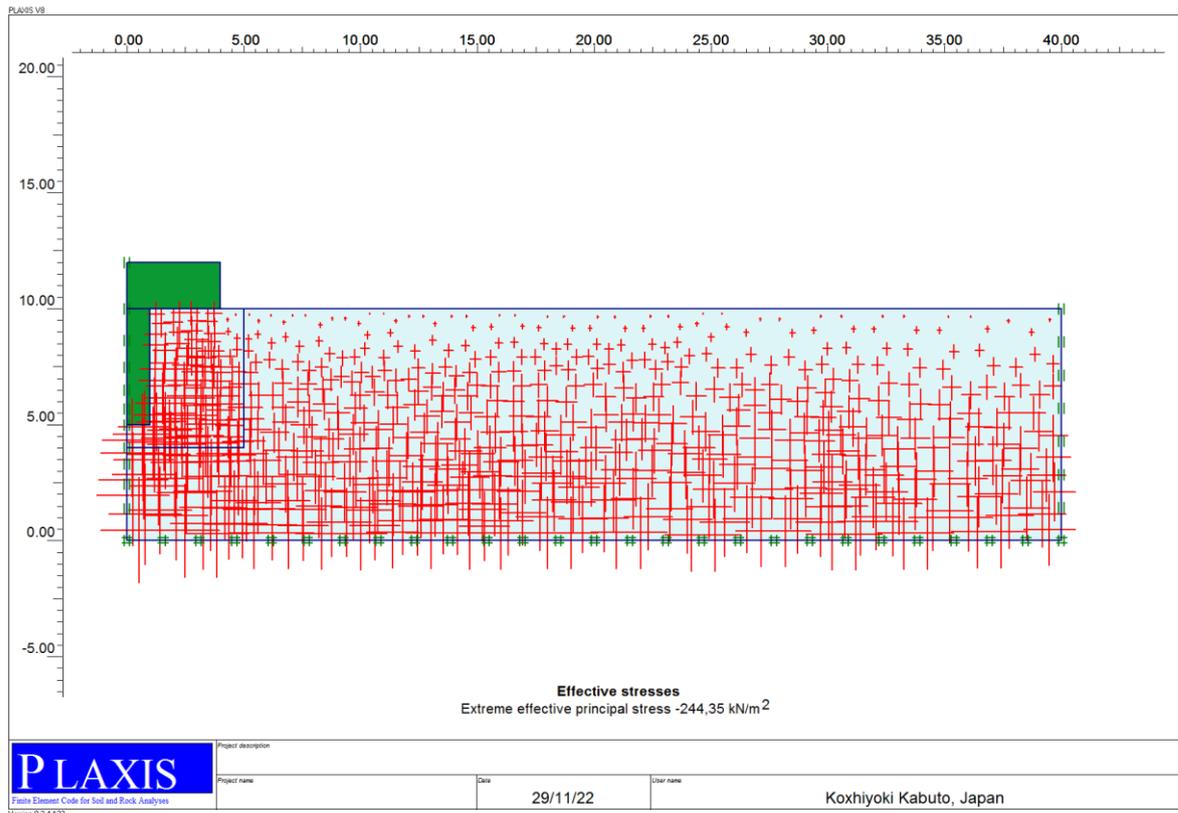


Figure 5. 53: Contrainte effective en cas d'une semelle avec pieu de L=5m et D=2m.

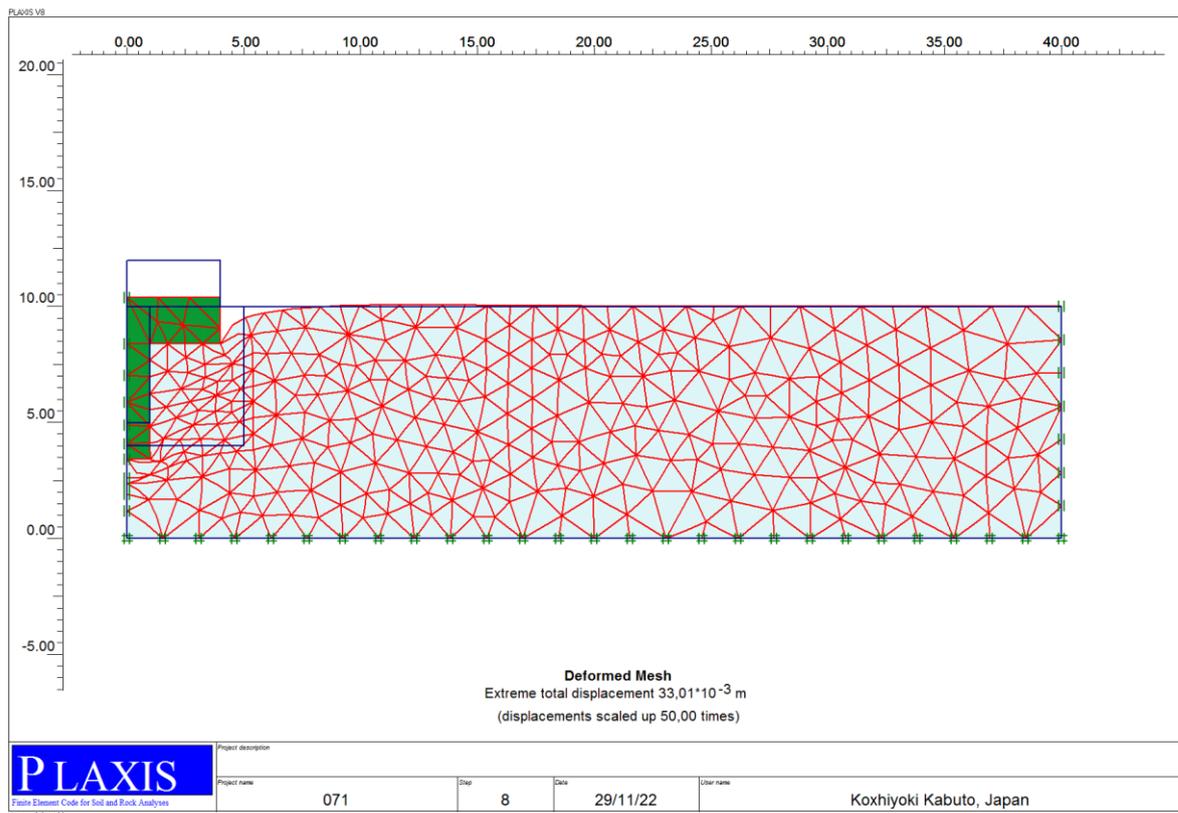


Figure 5. 54: Maillage déformé en cas d'une semelle avec pieu de L=5m et D=2m.

Chapitre 05 :Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

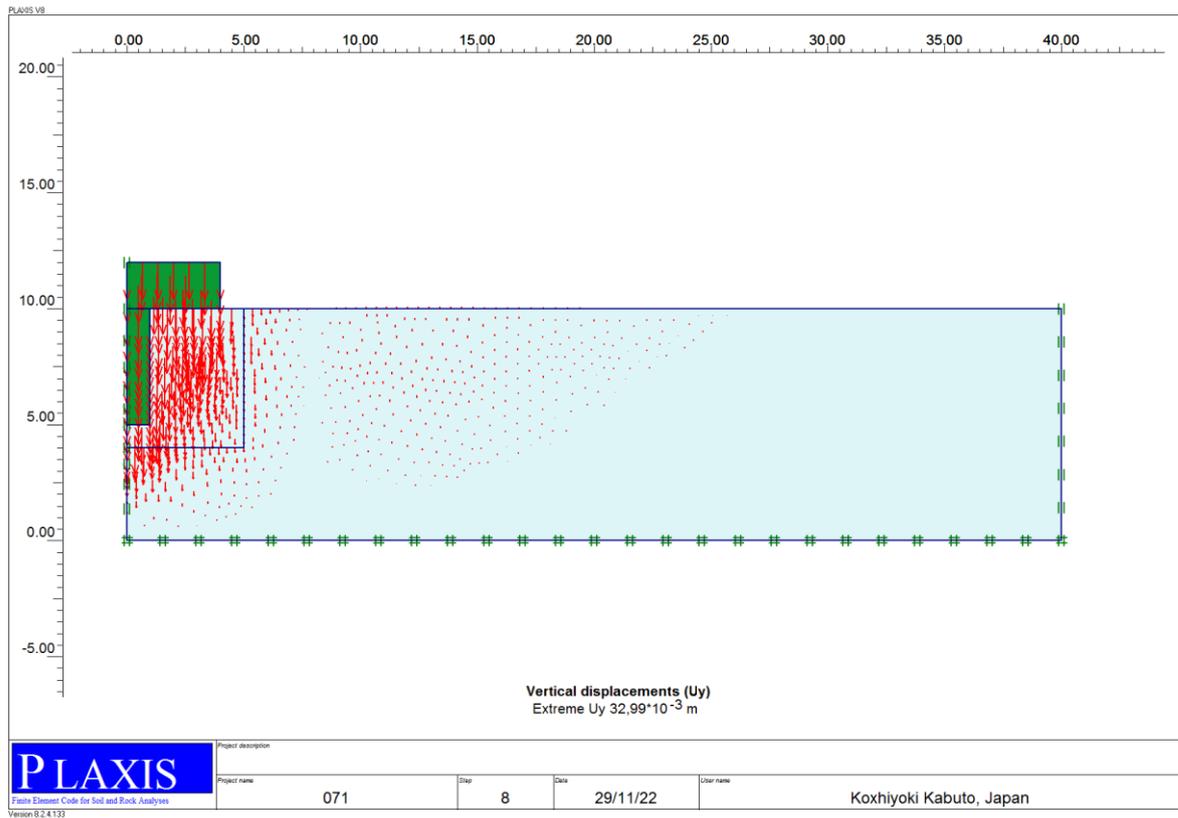


Figure 5. 55: Déplacement vertical en cas d'une semelle avec pieu de L=5m et D=2m.

Tableau 5. 17: Représenté la déformation verticale en fonction de longueur de semelle L=5m, D=2m.

Langueur de semelle(m)	0	0.4	0.8	1.2	1.6	2	2.4	2.8	3.2	3.6	4
Uy*10 ³ m	31.826	31.827	31.831	31.836	31.838	31.838	31.838	31.836	31.834	31.831	31.822

La moyenne de déplacement vertical sous la semelle est $U_y=31.832 \cdot 10^{-3} \text{m}$

5.7.3. Dimensionnement par plaxis en cas d'une semelle avec pieu de L=9m et D=2m :

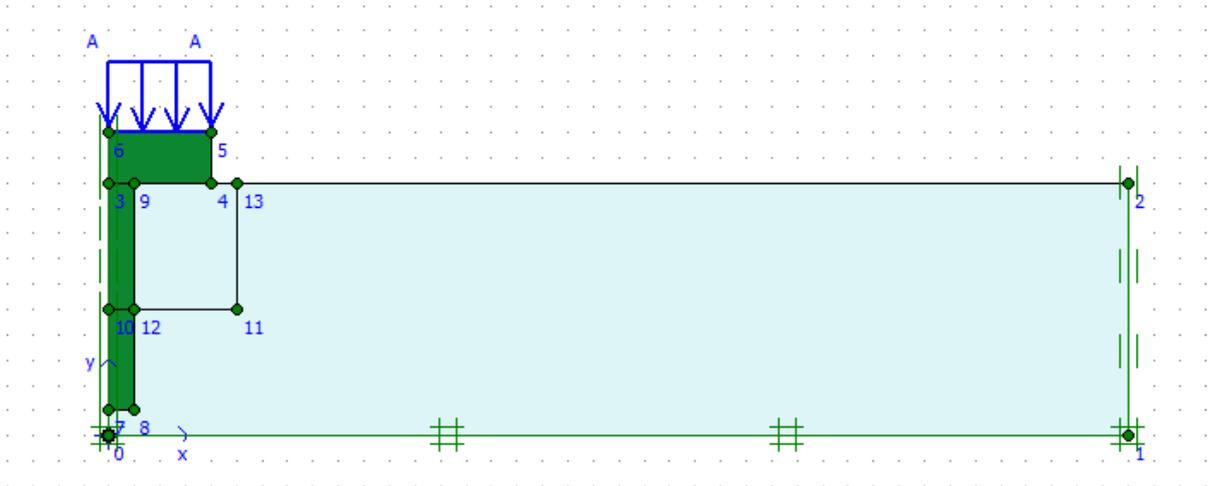


Figure 5.56: Dimensionnement en cas d'une semelle avec pieu de L=9m et D=2m.

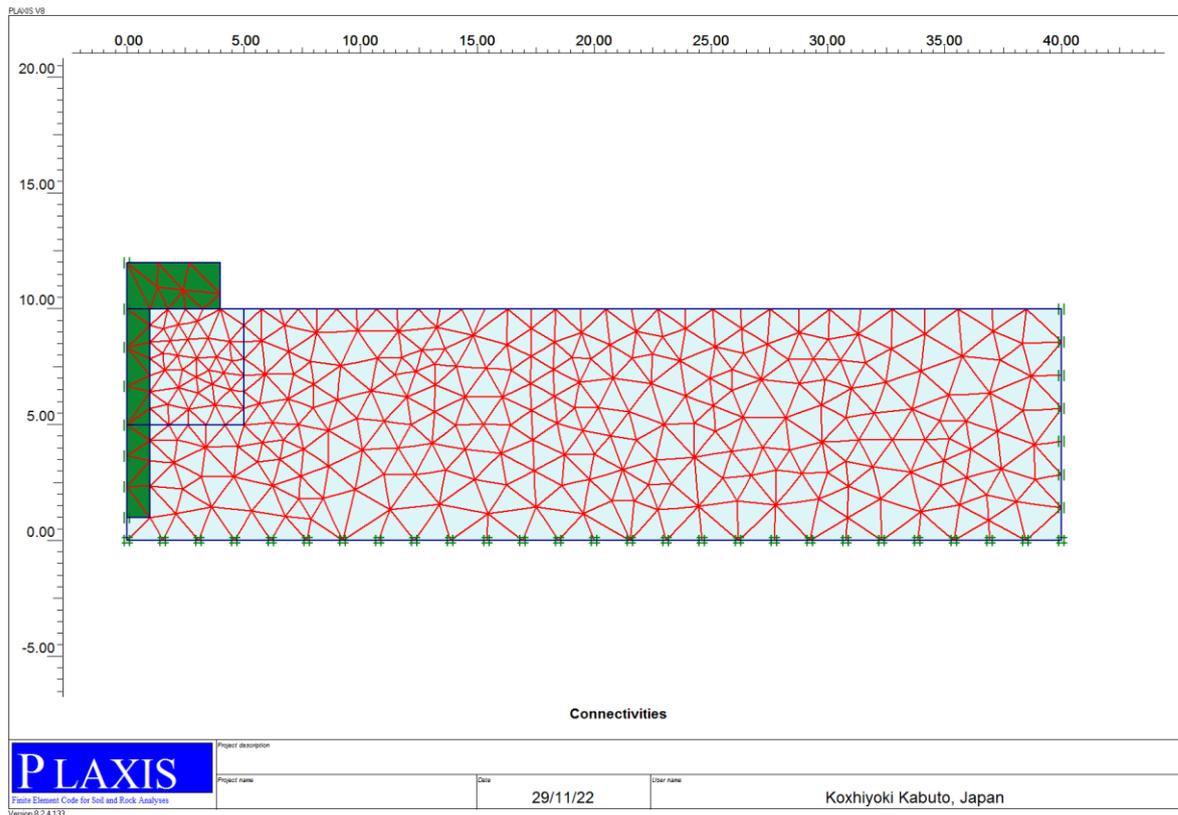


Figure 5.57: Maillage fine en cas d'une semelle avec pieu de L=9m et D=2m.

Chapitre 05 : Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

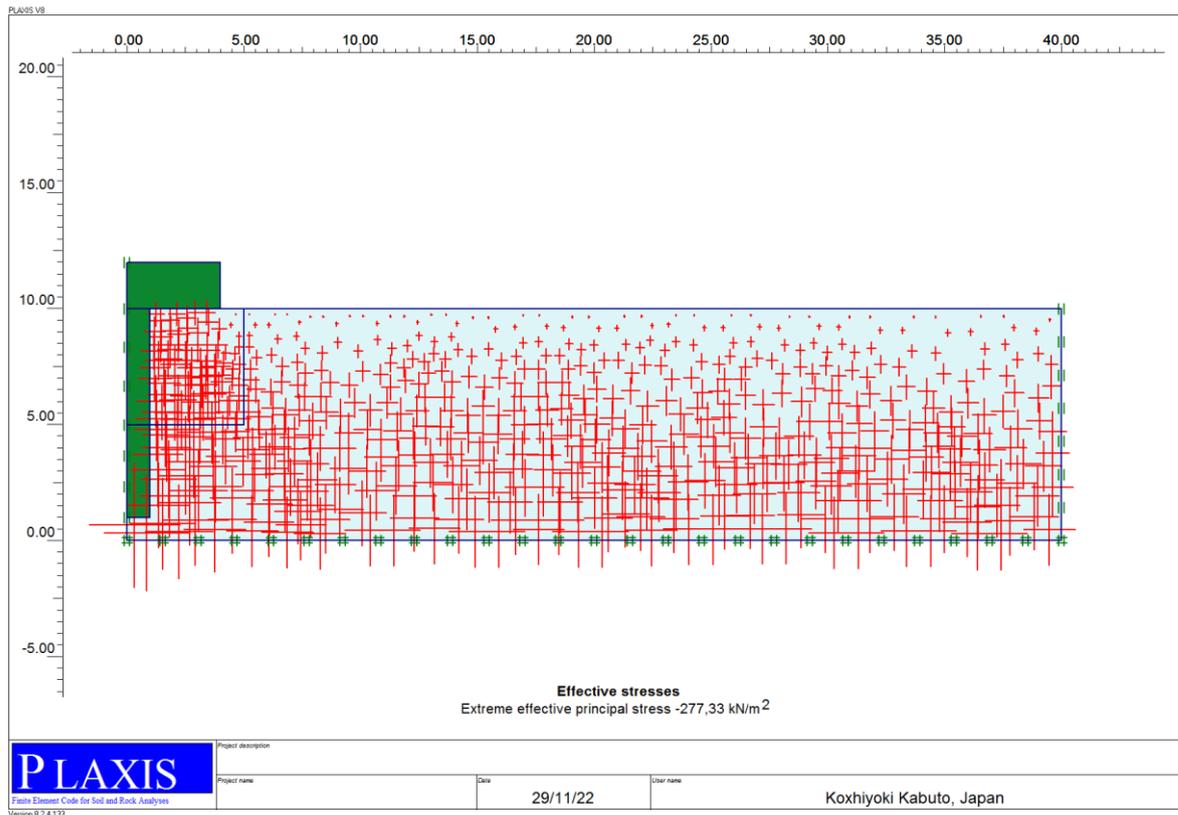


Figure 5. 58: Contrainte effective en cas d'une semelle avec pieu de L=9m et D=2m.

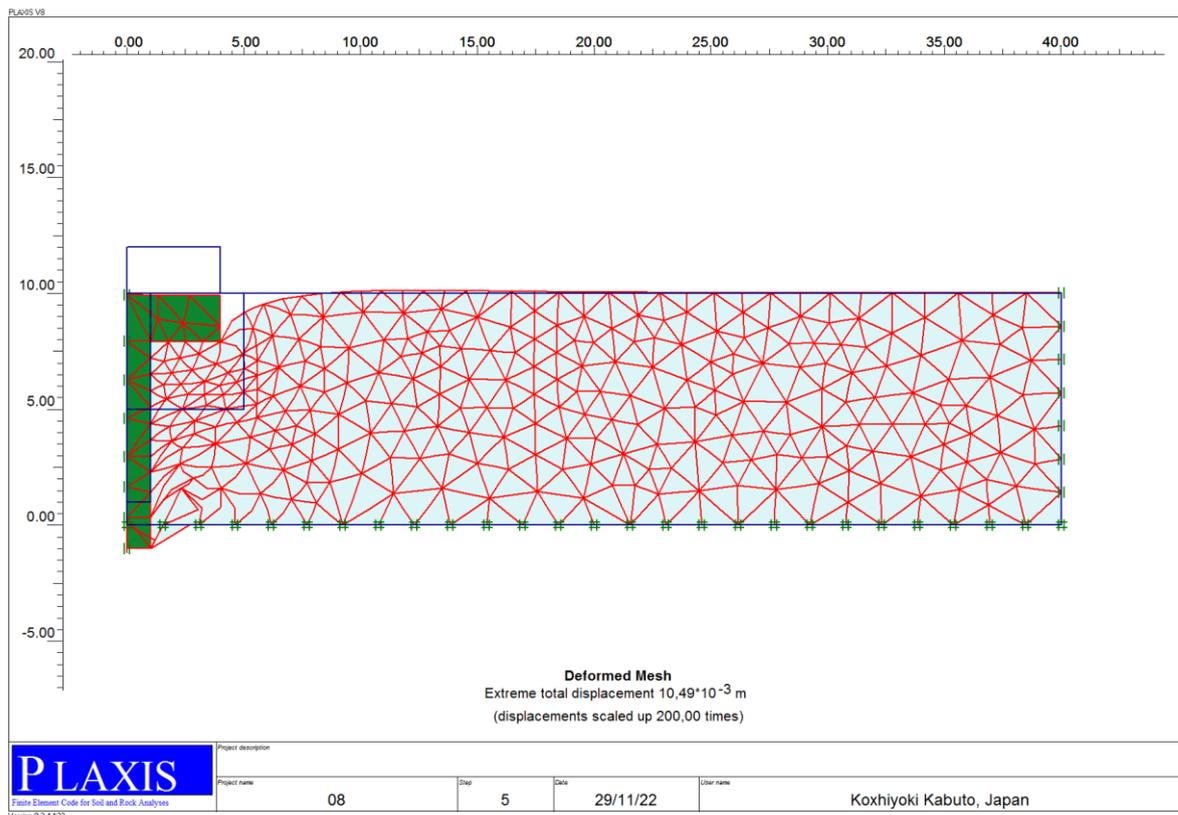


Figure 5. 59: Maillage déformé en cas d'une semelle avec pieu de L=9m et D=2m.

Chapitre 05 :Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

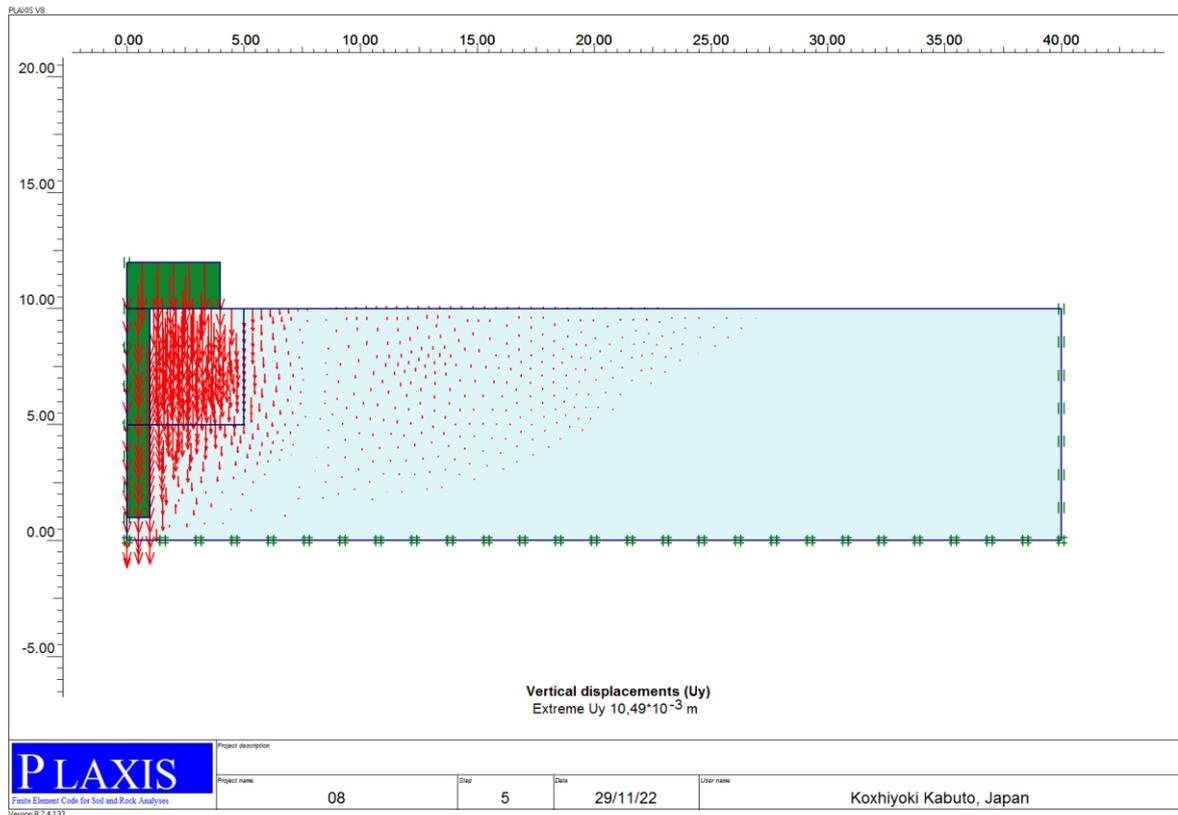


Figure 5. 60: Déplacement vertical en cas d'une semelle avec pieu de L=9m et D=2m.

Tableau 5. 18: Représenté la déformation verticale en fonction de longueur de semelle L=9m, D=2m.

Langueur de semelle(m)	0	0.4	0.8	1.2	1.6	2	2.4	2.8	3.2	3.6	4
Uy*10 ⁻³ m	10.348	10.351	10.361	10.388	10.396	10.406	10.414	10.421	10.427	10.432	10.434

La moyenne de déplacement vertical sous la semelle est $U_y = 10.398 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

Chapitre 05 :Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

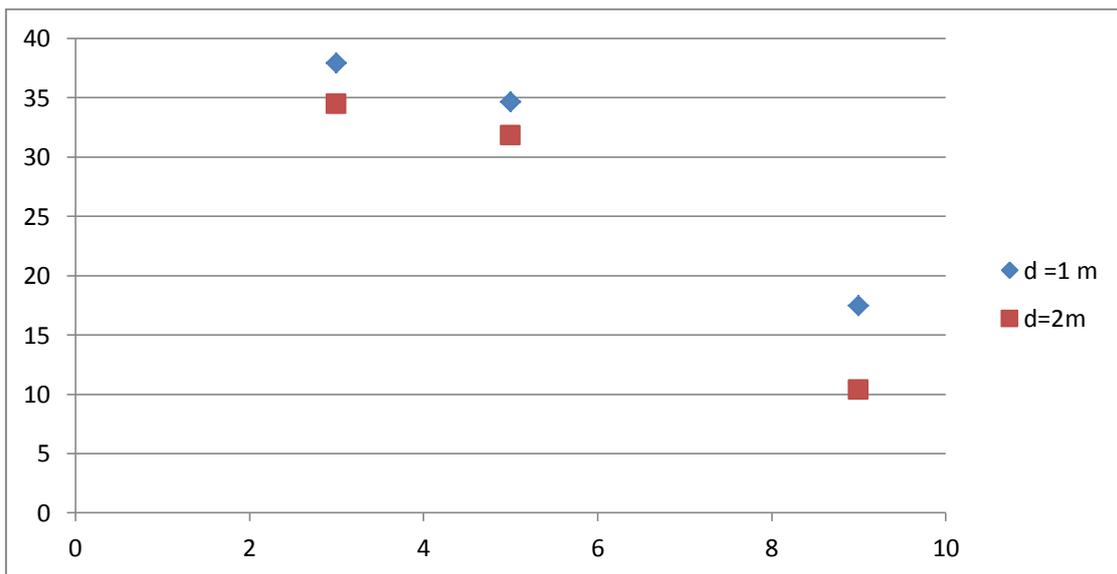


Figure 5. 61: Graphe représenté la déformation verticale en fonction de longueur de pieu.

Commentaire :

On constate que le tassement d'une semelle sans pieu atteint 39.1 mm

Le tassement de la semelle avec un pieu de diamètre 1m diminue lorsque la longueur de semelle augmente. Le tassement atteint la valeur minimale de 34.703mm pour une longueur de semelle égale = 5m.

Le tassement atteint sa plus basse valeur avec L=9m et D=2m. cette valeur est 10.348mm.

D'après cette étude en prend le cas d'une semelle renforcée avec pieu de longueur L=9m et diamètre D=2m

5.8. Conclusion :

A l'issue de la présente étude du sol du site « Etude géotechnique d'une parcelle de terrain à l'intérieur de l'usine de PETROFINA, Tessala El-Merdja, Alger », qui a contenu une investigation in-situ et des essais au laboratoire, nous pouvons conclure ce qui suit :

- Lithologie du site :

Le sol du site est constitué principalement par des argiles brunâtres en surface et grisâtres en Profondeur, d'une plasticité très élevée.

- Sismicité et classification :

Le site étudié se trouve sur la zone III de forte sismicité. Sur le plan résistance et d'après la

Chapitre 05 :Analyse d'un pieu coiffé d'une semelle supportant une unité de production d'oxygène

Classification du RPA 99 (version 2003), le site est classé comme un site très meuble de classe S4.

- Dispositions pour améliorer la capacité portante :

Compte tenu de la capacité portante trop faible (voir tableau ci-dessous), des dispositions spéciales sont à prendre en compte pour améliorer la portance du sol et reprendre en toute sécurité les charges importantes provenant de la structure de l'unité d'oxygène à mettre en place.

La profondeur à partir de la dalle existante(m)	4.00
capacité portante (bars)	0.784

Pour ce faire, les travaux à réaliser sont classés selon les étapes suivantes :

- Se débarrasser de la dalle existante,
- Réaliser une fouille d'environ 5m de diamètre et 4.60 m de profondeur à partir du niveau actuel de la dalle en béton existante,
- Pomper l'eau s'il y a lieu,
- Remplir la fouille avec du ballast,
- Compacter vigoureusement le ballast sur des couches de 30 cm d'épaisseur,
- Placer la dalle devant servir d'assise à l'unité d'oxygène sur le ballast compacté.

Étude par plaxis pour résolution de problème du grand déplacement vertical :

Dans cette partie nous avons fait une semelle uniquement, et une semelle renforcée avec un pieu et chaque fois changeait le largeur de pieu et le diamètre, nous l'avons trouvé en cas de la semelle uniquement il a une grande déplacement $U_y=39.17*10^{-3}m$ après le décaissement des pieux de longueurs (L=3, L=5, L=9) et diamètre (D=1, D=2) en prend le pieu de (L=9m D=2m) $U_y=10.398*10^{-3}m$.

Conclusion générale

Les ouvrages de Génie Civil sont souvent réalisés sur des sols de différentes qualités. Lorsque la résistance du sol en surface n'est pas suffisante pour utiliser des fondations superficielles on adopte la solution des fondations profondes.

Parmi les types fondations profondes on peut citer les PIEUX.

L'utilisation des Pieux comme fondations repose généralement sur la connaissance du comportement de ces derniers à partir des essais effectués in situ et plusieurs méthodes existent en littérature qui permettent un calcul manuel des Pieux tels que :

- -Méthode de transfert de charges (déformation le long du fût).
- -calcul Tassement élastique d'un pieu.
- -Méthode empiriques (cette méthode se base sur compilation d'un nombre de constatation sur les pieux).
- -Méthodes d'élasticité (c'est une méthode qui suppose que le sol un comportement élastique linéaire et se base sur la solution fondamentale).

Cependant il existe des méthodes numériques qui permettent de simuler le comportement des pieux en se basant sur la connaissance des caractéristiques mécaniques du sol.

Plaxis 2D est l'un des logiciels puissants qui permet d'étudier l'interaction sol-structure.

On a remarqué que les fondations superficielles seules ne peuvent pas être utilisées vu l'importance du poids de l'ouvrage, et cela nous a conduit à opter pour des fondations profondes qui peuvent assurer la stabilité de notre structure.

Un pieu sous sollicitations verticales se caractérise par des déplacements verticaux différents selon l'étendue du maillage en fonction de son diamètre D ($3D, 5D, 7D, 10D$).

On remarque que les tassements restent stables et approximativement une constants au-delà d'une distance de $10D$.

Le tassement du pieu diminue avec la longueur du pieu, des calculs ont été effectués avec les rapports suivants ($L/D=2m, L/D=5m, L/D=10m, L/D=12.5m$).

