

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA
BADJI MOKHTAR- ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار - عنابة

Faculté : TECHNOLOGIE

Département : Génie Civil

Domaine : SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Filière : Génie Civil

Spécialité : Géotechnique

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

ETUDE DE L'EFFET DE LA POSITION D'UNE SURCHARGE SUR UNE
EXCAVATION à L'ABRI D'UNE PAROI MOULEE AVEC TIRANTS
D'ANCRAGE SANS NAPPE PHREATIQUE

Présenté par :

Bouaziz Anfel

Bouhaouli Chaima

Encadrant : Pr. A .HACENE CHAOUCHE, Génie Civil B M ANNABA

Jury de Soutenance :

Kebaili Bachir	Dr	Université	Président
Hacene Chaouch Abdelmadjid	Pr	Université	Encadrant
Zemouli Samira	Dr	Université	Co-encadrant
Keffaf Tarek	Mr	Université	Examineur

Année Universitaire : 2022/2023

Remerciement

Nous remercions notre Dieu d'abord, qui nous donné la force et nous à aidés à terminer cette recherche et à vous présenter ainsi.

Nous tenons à adressons non sincères remerciements et le plus grand respect à notre Professeur Abdelmadjid Hacene Chaouche qui nous a beaucoup aidé dans notre cheminement pour compléter et écrire cette recherche, et son un grand rôle à travers ses instructions et son grand soutien pour nous et ses conseils qui nous ont guidés dans notre travail.

Sincères remerciements à nos professeurs des études primaires aux études supérieure set notre gratitude à tous les enseignants du département de génie civil de l'Université Badji Mokhtar.

Nous remercions le jury d'avoir accepté de revoir notre mémoire et nous somme honorés de sa présence Dr .KBAILI. BACHIR, Dr .ZEMOULI SAMIRA et Mr .KEFAF TAREK.

Nos remerciements à nos collègues pour avoir passé un temps précieux ensemble, et aussi à tous nos amis avec qui nous avons partagé des moments inoubliables pendant nos études.

Nous n'oublions pas ceux qui ont souffert et on été patients pour nous amener ici, tous nos remerciements et notre appréciation à nos parents et le plus grande respect pour eux :

Bouhaouli Larbi, Bouhaouli Khadidja, Bouaziz Ahmed, Attoui Dalila

Et nos frères et sœurs

Merci beaucoup

Dédicace 01 :

**Je dédie cet humble travail spécialement à mes chers
Parents Larbi ; Khadidja qui ont tout sacrifié pour moi.
A mon frère Fayçal que Dieu lui fasse miséricorde, et mon frère
Lyes, la femme de mon frère Marwa, grande père
Et grande mère.**

**Sans oublier mon binôme Anfel et mes chers amis
et tous ceux qui ont soutenu moi je te dis**

Merci beaucoup

Bouhaouli Chaima ☺

Dédicace 02 :

**C'est avec profonde gratitude et sincères mots,
Que nous dédions ce modeste travail de fin d'étude**

A ma chère Mère Dalila

A mon Père Ahmed

Dont le mérite, les sacrifices et les qualités humaines

M'ont permis de vivre ce jour

Amon Frères et ma sœur

Abderrahmen, Chouaib, Asma

Bouaziz Anfel ☺

RESUME

Le but de ce de ce mémoire est l'étude de l'effet des différentes positions d'une construction sur une excavation à l'abri d'une paroi moulées avec tirant d'ancrage.

Pour appréhender l'utilisation et l'influence des tirants pour l'équilibre du mur et pour protéger les bâtisses environnantes et leurs mise en précontrainte, deux lits de tirants sont préconisés tels que :

- Un lit supérieur avec des tirants de longueur fixée au préalable (14,5 m) et un angle d'inclinaison de (35°) par rapport à l'horizontale
- un lit inférieur avec des tirants de longueur fixée au préalable (10 m) et un angle d'inclinaison de (43°) par rapport à l'horizontale

Il s'agit donc d'étudier l'influence de la position d'un bâtiment sans et en présence des tirants d'ancrage et leur inclinaison sur l'équilibre du mur. Par ailleurs, le sol à excaver est hétérogène constitué de trois couches, en l'occurrence, un remblai, sable et limon sans nappe phréatique. Pour concrétiser ce travail une approche numérique est préconisée, basée sur la méthode des éléments selon le code de calcul Plaxis 2D

En outre, une étude comparative entre la méthode analytique développée et la méthode numérique basée sur **MEF** illustrée par le logiciel de calcul **PLAXIS**.

On remarque que l'existence et la proximité de la surcharge entraîne une augmentation de tous les paramètres étudiés (déplacements horizontaux, force d'ancrage 35° et 43° , moment fléchissant et efforts tranchant) par rapport aux cas sans surcharge. Aussi, la présence du lit supérieur d'ancrage (à 35°) a une influence significative par rapport aux cas sans ancrage, ou l'on a constaté que son absence à partir d'un certain niveau d'excavation entraîne la ruine de l'ouvrage.

Par contre, le lieu de l'ancrage inférieur (43°) L'ancrage 43° il n'a eu l'influence escomptée ou pas influence significatif sur les paramètres étudiés

Toutefois, la recherche d'un emplacement optimum des deux lits supérieur et inférieur, pourrait faire l'objet d'une étude qui considérerait leurs effets.

Enfin, on conclue, que l'introduction des ancrages à un effet favorable par rapport stabilité et l'équilibre des parois dans des emplacements optimums



ABSTRACT

The purpose of this thesis is to study the effect of the different positions of a construction on an excavation sheltered by a diaphragm wall with anchoring rod.

To understand the use and influence of tie rods for the balance of the wall and to protect the surrounding buildings and their prestressing, two sets of tie rods are recommended such as:

- An upper bed with tie rods of a previously fixed length (14.5 m) and an angle of inclination of (35°) with respect to the horizontal
- a lower bed with tie rods of a previously fixed length (10 m) and an angle of inclination of (43°) with respect to the horizontal

It is therefore a question of studying the influence of the position of a building without and in the presence of the anchoring rods and their inclination on the equilibrium of the wall. In addition, the soil to be excavated is heterogeneous consisting of three layers, in this case, an embankment, sand and silt without water table. To concretize this work, a numerical approach is recommended, based on the method of elements according to the Plaxis 2D calculation code.

In addition, a comparative study between the analytical method developed and the numerical method based on FEM illustrated by the PLAXIS calculation software.

It is noted that the existence and proximity of the overload leads to an increase in all the parameters studied (horizontal displacements, anchoring force 35° and 43° , bending moment and shear forces) compared to the cases without overload. Also, the presence of the upper anchoring bed (at 35°) has a significant influence compared to the cases without anchoring, where it was found that its absence from a certain level of excavation leads to the ruin of the 'work.

On the other hand, the location of the lower anchorage (43°) The 43° anchorage did not have the expected influence or no significant influence on the parameters studied

However, the search for an optimum location of the two upper and lower beds could be the subject of a study which would consider their effects.

Finally, we conclude that the introduction of anchors has a favorable effect on the stability and balance of the walls in optimum locations.

المخلص

الغرض من هذه الأطروحة هو دراسة تأثير المواضع المختلفة للبناء على حفر محمي بجدار حاجز بقضيب تثبيت لفهماستخدام وتأثير قضبان الربط لتوازن الجدار ولحماية المباني المحيطة والإجهاد المسبق لها، يوصى بمجموعتين من قضبان الربط مثل:

-سريير علوي بقضبان ربط بطول ثابت مقدماً (14.5 مترًا) وزاوية ميل (35 درجة) بالنسبة إلى الأفقي

-سريير سفلي بقضبان ربط بطول ثابت سابقاً (10 م) وزاوية ميلا (43 درجة) بالنسبة إلى الأفقي

وبالتالي، فإن الأمر يتعلق بدراسة تأثير موقع المبنى بدون وجود قضبان التثبيت وميلها على توازن الجدار. بالإضافة إلى ذلك، فإن التربة المراد حفرها غير متجانسة وتتكون من ثلاث طبقات، في هذه الحالة، جسر ورمل وطمي بدون منسوب مائي. لتجسيد هذا العمل، يوصى Plaxis 2D باتباع نهج رقمي، بناءً على طريقة العناصر وفقاً لكود حساب

الموضحة بواسطة برنامج حساب FEM بالإضافة إلى دراسة مقارنة بين الطريقة التحليلية المطورة والطريقة العددية القائمة على PLAXIS.

ويلاحظ أن وجود الحمل الزائد وقربه يؤدي إلى زيادة في جميع المعلمات المدروسة (النزوح الأفقي ، وقوة التثبيت 35 درجة و 43 ، وقوة الانحناء وقوى القص) مقارنة بالحالات التي لا تحتوي على حمل زائد. كما أن وجود قاعدة التثبيت العلوية (عند 35 درجة) له تأثير كبير مقارنة بالحالات التي لا يوجد بها إرساء ، حيث وجد أن غيابه عن مستوى معين من الحفر يؤدي إلى خراب العمل

من ناحية أخرى ، لم يكن لموقع المرسي السفلي (43 درجة) لمرسى 43 درجة التأثير المتوقع أو لم يكن له تأثير كبير على المعلمات المدروسة

ومع ذلك ، فإن البحث عن الموقع الأمثل للسرييرين العلوي والسفلي يمكن أن يكون موضوع دراسة تأخذ في الاعتبار آثارهما

أخيراً ، نستنتج أن إدخال المراسي له تأثير إيجابي على استقرار وتوازن الجدران في المواقع المثلى

SOMMAIRE

- Dédicace
- Résumé
- Sommaire
- Liste des figures
- Liste des tableaux
- Liste des symboles
- Introduction générales

CHAPITRE I

Recherches bibliographiques

I-INTRODUCTION GENERAL	1
OBJECTIF	2
I.1.HISTORIQUE	3
I.1.1.Introduction.....	3
I.1.2. Les Parois moulées.....	3
I.1.3. Domaine d'application de paroi moulée.....	6
I.1.4. Les avantages et les inconvénients.....	8
I.2. Notion sur les ancrages.....	8
I.2.1.Composants d'ancrage.....	9
I.2.2. Classification des ancrages.....	9
I.2.3. La mise en œuvre.....	9
I.3. La boue de bentonite.....	10
I.3.1. Thixotropie de la boue à la bentonite (rhéologie).....	10
I.3.2. La boue présente deux phénomènes.....	12
I.3.2.1. Stabilité d'une tranchée remplie de boue a la bentonite.....	13
I.3.2.2. Coin de Nash et Jones.....	13
I.4. Méthode d'exécution de la paroi moulée.....	14
I.4.1. Perforation.....	14
I.4.2. Les cages d'armatures.....	16
I.4.3. Le béton et le bétonnage.....	17
I.4.4. Les joints entre panneaux.....	18
I.5. Divers type des palplanches.....	20
I.5.1. Introduction.....	20
I.5.2. Définition.....	20
I.5.3. Une idée simple.....	20
I.5.4. Les palplanches plates.....	22
I.5.5. Type de palplanche.....	22
I.5.5.1 Selon la géométrie et la forme.....	22
I.6. Palplanches métalliques.....	24
I.6.1. Définition.....	24
I.6.2. Caractéristiques.....	24

I.6.3. Type des palplanches métallique.....	25
I.6.4. Application des profilés.....	25
I.6.5. Domaine d'utilisation et d'application palplanches en acier.....	25
I.7 Mise en œuvre des palplanches.....	26
I.7.1. Battage.....	26
I.7.1.1. Principe du marteau hydraulique.....	26
I.7.1.2. Matériel.....	27
I.7.1.3. Systèmes de guidage.....	27
I.7.1.4. Mat de battage.....	27
I.7.1.5. Guide de battage.....	27
I.7.1.6. Le choix du système de battage.....	27
I.7.2. Vibrofonçage.....	27
I.7.2.1. Principe.....	27
I.7.2.2. Type de mise en fiche.....	28
I.7.2.3. Enclenchement d'un rideau de palplanches.....	28
I.7.2.4. Réaliser l'étanchéité du rideau.....	28
I.7.2.5. Les avantages et les inconvénients.....	28
I.8. Notion sur les ancrages.....	29
I.8.1. Les composants d'ancrages	29
I.8.1.1. Matériel.....	30
I.8.1.2. Type de mise en fiche.....	30
I.8.1.3. Enclenchement d'un rideau de palplanche.....	30
I.8.1.4. Réaliser l'étanchéité du rideau.....	30
I.8.1.5. Les avantages et les inconvénients	31
I.9. Tirant d'ancrage.....	31
I.10. Conclusion.....	32

CHAPITRE II

Méthodes du dimensionnement des parois moulées

II.1. INTRODUCTION	34
II.1.1. Les avantages de l'analyse géotechnique.....	34
II.1.2. Les inconvénients.....	34
II.2. Type de problèmes en géotechnique traite par élément fini.....	34
II.3. La méthode des éléments finis.....	35
II.3.1. Domaine d'application la MEF	36
II.3.2. Les principes fondamentaux de la méthode la plus courante.....	37
II.3.3. Le principe des travaux virtuels.....	38
II.3.4. Fonction de base.....	38
II.3.5. Choix du maillage.....	39
II.3.6. Modélisation de système en éléments finis.....	40
II.3.7. Application aux calculs des ouvrages souterrains.....	40
II.3.7.1. Programme généraux.....	40
II.3.7.2. Fonction d'interpolation pour les éléments triangulaires.....	40
II.3.7.3. Intégration numérique des éléments linéaires.....	41

II.3.7.4. Intégration numérique des éléments triangulaires.....	42
II.3.7.5. Calcul matrice de rigidité d'élément	44
II.4. Méthode de Rowe.....	44
II.4.1. La méthode de Rowe ou des moments réduits.....	45
II.5. Présentation de l'outil de simulation numérique.....	48
II.5.1. Définition.....	49
II.5.2. Les sous programme du Plaxis.....	49
II.5.2.1. Input.....	49
II.5.2.2. Calculs.....	50
II.5.2.3. Résultats.....	50
II.5.2.4. Courbes.....	50
II.5.4. Les modèle de comportements intègres dans Plaxis.....	51
II.5.4.1. Modèle élastique linéaire.....	51
II.5.4.2. Modèle de MOHR-Coulomb.....	51

CHAPITRE III

Etude paramétrique

III.1. INTRODUCTION.....	54
III.2. Saisie des données.....	54
III.3. Propriétés des matériaux.....	56
III.4. Génération du maillage.....	58
III.5. Condition initiales.....	58
III.6. Procédure de calculs	59
III .6.1) Déformation de Moments fléchissant et Effort tranchant	64
III.7. Résultats et analyses.....	66
III.7.1. Déplacements horizontaux de la paroi en béton armé.....	66
III.7.2. Force d'ancrage 35°.....	68
III.7.3. Force d'ancrage 43°.....	69
III.7.4. Moment fléchissant extrêmes.....	70
III.7.5. Effort tranchant extrêmes.....	71
CONCLUSION GENERALE.....	72

Liste des symboles

L = longueur totale de la paroi

E = module d'élasticité

I = module d'inertie de la paroi exprimé en cm^4

Ka : coefficient de poussée

K_p : coefficient de buté

F : La fiche paroi (m)

F_a : La force de poussée (Kn)

T : L'effort d'ancrage (Kn)

M_{max} : Moment de flexion maximum (kN.m)

σ_{max} : La contrainte maximum de paroi (kN/m²)

ϕ : l'angle de frottement (deg)

ν : Coefficient de Poisson

Ψ : coefficient de dilatation

δ : l'angle d'interaction sol

K_X : Perméabilité horizontale (m/day)

K_Y : Perméabilité verticale (m/day)

τ : Contraintes tangentiel (kN/m²)

L : opérateur différentiel

N : fonction de forme

v : valeur nodale du déplacement

B : matrice d'interpolation des déformations

f : Fiche de l'écran (m)*

F_s : Coefficient de sécurité

σ admissible acier : Contrainte admissible de l'acier (MPa)

MR : Moment réduit de Rowe (kN.m)

α : Angle d'ancrage (deg)

C_{ref} : La cohésion du sol (kN/m²)

γ_{unsat} : Le poids volumique du sol non saturé (kN/m³)

γ_{sat} : Le poids volumique du sol sature (kN/m³)

W: Poids (kN/m/m)

EA : Rigidité normale (kN/m)

EI : Produit d'inertie (kN m²/m)

Ls : Espacement dans le plan Z (m)

***R*_{inter}**: Résistance d'interface

PLAXIS 2D : PLAXIS 2 Dimensions

MEF : Méthode des éléments finis

Liste des figures

CHAPITRE I

Figure I.1. L'écoulement de la boue de bentonite.....	12
Figure I.2. La tranchée du coin de Nash et Jones.....	14
Figure I.3. Vue schématique d'un atelier hydro fraise.....	16
Figure I.4. Ferrailage.....	18
Figure I .5. a) Schéma de principe du mur de palplanche.....	22
b) Assemblage des éléments	
Figure I.6. a) Détail d'une serrure.....	22
b) Exemples de serrures	
Figure I .7. Les palplanches à module.....	23
Figure I.8. Les palplanches plates.....	23
Figure I.9. Palplanche en bois.....	24
Figure I.10. Principe de fonctionnement du marteau hydraulique.....	27
Figure I. 11. Principe mécanique du vibreur.....	30
Figure I.12. Tirant d'ancrage	33

CHAPITRE II

Figure II.1 Exemple de maillage.....	39
Figure II.2 Organigramme des programmes généraux.....	40
Figure II.3 Calcul d'un rideau ancré simplement buté en pied dans un sol pulvérulent homogène (C=0,φ = 0).....	45
Figure II.4. Courbe intrinsèque du modèle de MOHR-Coulomb.....	51
Figure II.5. Définition du module à 50° de la rupture.....	52

CHAPITRE III

Figure III.1. Excavation soutenue par des parois ancrées.....	54
Figure III.2.Modèle géométrique de calcul.....	55
Figure III.3. Modèle de maillage.....	58
Figure III.4. Phases du calcul.....	59
Figure III.5. Moment fléchissant.....	65
Figure III.6.Effort tranchant	65

Liste des tableaux

CHAPITRE II

Tableau II. 1. Les problèmes géotechnique traités par la méthode des éléments finis.....	35
Tableau II. 2. résumé des types d'application.....	37
Tableau II. 3. La méthode d'intégration de Newton-Cote.....	42
Tableau II. 4. La méthode d'intégration de gauss.....	42

CHAPITRE III

Tableau III.1. Propriétés des couches de sols et des interfaces.....	57
Tableau III.2. Propriétés mécanique de la paroi moulée.....	57
Tableau III.3. Propriétés des éléments node-to-node.....	57

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE :-

Il est généralement connu que lorsqu'on envisage des excavations profondes soutenues par des parois moulées, les structures de soutènement sont utilisées dans un environnement urbain pour protéger les structures existantes dans la zone environnante.

Ces structures sont souvent utilisées en génie civil, leur calcul et leur taille sont complexes en raison des interactions cruciales entre le sol, le mur et les bâtiments voisins.

La paroi moulée est une des techniques les plus communes dans la construction traditionnelle, la maçonnerie qui dérive d'un procédé de soutènement longtemps le plus utilisé.

Une paroi moulée est un mur en béton armé coulé dans le sol. Le principe est de creuser une tranchée, constamment tenue pleine de boue durant l'excavation, puis de couler du béton dedans.

La paroi moulée en béton armé consiste en un voile coulé dans les terres, comme une sorte de pieu continu, ceinturant l'emprise des sous-sols futurs (parking souterrain à plusieurs niveaux par exemple).

Le terrassement se fait ensuite à l'intérieur de l'enceinte ainsi délimitée, pratiquement sans interruption, sauf le temps d'exécution des tirants d'ancrage à différents niveaux.

Aucun étaieement n'encombre le volume de l'excavation pendant les travaux (à part des dans les angles).

La paroi moulée sert :

- De fondation : lorsqu'elle est descendue jusqu'aux couches porteuses profondes
- De soutènement : en maintenant les terres et les surcharges sur la périphérie
- De paroi étanche : en protégeant de l'eau extérieure le volume enclos ; sa base est ancrée dans les couches imperméables assez profondément pour isoler de la nappe phréatique la plate-forme inférieure du terrassement. De ce fait il y a différents types de parois moulées.

INTRODUCTION GENERALE

OBJECTIFS :

Les objectifs de ce mémoire est de montrer les problèmes rencontrés lors de la réalisation des excavations à proximité d'une construction multi-étagée se trouvant à différentes distances celle-ci, ce qui nous incite à la protéger, par la conception d'une paroi moulée en béton armé associée à un ancrage par tirant précontraint en deux points de la paroi. Pour appréhender l'utilisation et l'influence des tirants pour l'équilibre du mur et leurs mise en précontrainte, deux lits de tirants sont alors préconisés tels que :

- Un lit supérieur avec des tirants de longueur fixée au préalable (14,5 m) et un angle d'inclinaison de (35°) par rapport à l'horizontale
- un lit inférieur avec des tirants de longueur fixée au préalable (10 m) et un angle d'inclinaison de (43°) par rapport à l'horizontale

Il s'agit donc d'étudier l'influence de la position d'un bâtiment par rapport à la paroi moulée, sans présence et en présence des tirants d'ancrage ainsi que leur inclinaison sur l'équilibre du mur. Par ailleurs, le sol considéré est hétérogène constitué de trois couches, en l'occurrence, un remblai, sable et limon. Pour concrétiser ce travail une approche numérique est préconisée, basée sur la méthode des éléments selon le code de calcul Plaxis 2D

Les problèmes rencontrés lors de la réalisation des excavations à proximité d'une surcharge due à construction multi-étagée se trouvant à différentes distances celle-ci, nous incite à la protéger, par la conception d'une paroi moulée en béton armé associée à un ancrage par tirant précontraint en un point ou plusieurs points de la paroi.



CHAPITRE I :
RECHERCHE
BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUE

I.1) HISTORIQUE :

I.1.1) Introduction :

C'est de la technique la plus commune dans la construction traditionnelle, la maçonnerie que dérive le procédé de soutènement longtemps le plus utilisé

Une paroi moulée est un mur en béton armé coulé dans le sol Le principe est de creuser une tranchée, constamment tenue pleine de boue durant l'excavation, puis de couler du béton dedans

Les parois moulées du [World Trade Center](#), faite en 1966, dégagée en 2022 après la destruction des tours le 11 Septembre 2001

Après les premiers travaux théorique en 1913 sur l'effet positif de la boue pour stabiliser les forages, et l'utilisation ponctuelle de boue dans les forages miniers des 1920, la bentonite est utilisée dans des forages pour la premiers fois en 1927 Un ingénieur autrichien, [Christian Veder](#) en 1938 le concept de mur coulé dans une tranchée emplie de boue, puis en 1948 a lieu la première réalisation similaire Sur [Terminal Island](#) à long Beach

La première réalisation en France est faite à Paris par [Sol étanche](#) à l'impasse d'Antin ; la première paroi moulée des [Etats-Unis](#) est faite en 1962, et en 1966 c'est avec cette technique qu'est faite la « baignoire » étanche des fondations du [World Trade Center](#)

La paroi moulée en béton armé consiste en un voile coulé dans les terres, comme une sorte de pieu continu, ceinturant l'emprise des sous- sols futurs (parking souterrain à plusieurs niveaux par exemple)

Le terrassement se fait ensuite à l'intérieur de l'enceinte ainsi délimitée, pratiquement sans interruption, sauf le temps d'exécution des tirants d'ancrage à différents niveaux

Aucun étaieement n'encombre le volume de l'excavation pendant les travaux (à part des butons dans les angles[1])

I.1.2) Les parois moulées :

- **De la fondation** : lorsqu'il s'est installé dans des couches portantes profondes
- **De Soutènement**: entretien du site et charges supplémentaires en périphérie
- **De paroi étanche** : protège l'espace clos de l'eau extérieure ; son fond est ancré dans des couches imperméables suffisamment profondes pour isoler le sol des eaux souterraines dans le substrat sous-jacent, de sorte qu'il existe différents types de parois moulées. [2]

CHAPITRE I : RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUE

1.1.3 Différents types de paroi moulée :

a) Paroi d'étanchéité :

Les parois d'étanchéité à base d'un liant spécial offrent une solution idéale pour maîtriser les fluctuations de la nappe phréatique

Les parois peuvent être placées à la verticale et à l'horizontale, elles assurent une résistance durable à l'eau

Les applications possibles sont :

- ✚ Excavation
- ✚ Dogues, tunnels et parking souterrains
- ✚ Chemins creux
- ✚ Site pollués

• Procédé d'exécution :

Creuser une tranchée entre les murs guides, remplir la tranchée avec du mortier de ciment bentonite et creuser le sol entre les deux premiers panneaux.

Progression de la formation des parois en répétant la procédure

• Domaine d'application :

- ✚ Voile de retenue d'eau pour isolation de pollution, telles que site de décharges de déchets, empêchant la propagation de la pollution via des courants d'eau souterrains horizontaux
- ✚ Limitation du rabattement, c à d quantités et zone d'influence dans des grands projets d'infrastructure tels qu'aqueducs, mur de quai et accès des tunnels

b) Paroi de soutènement simple :

Cas où la construction n'est pas prévue pour l'excavation après terrassement

Le mur en béton armé est ensuite soutenu à l'intérieur ou à l'extérieur par des tiges d'ancrage permanentes ou des poutres de support.

Les supports du haut de l'écran sont en place immédiatement après la hauteur libre

La répartition des subventions à chaque niveau varie selon la nature des subventions et l'intensité de l'effort en cours

Domaine d'emplois :

- ✚ Support pour creuser extra profond (usine, centre)
- ✚ Ouvrages hydrauliques tels que piles

CHAPITRE I : RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUE

- ✚ Une fondation profonde qui porte des charges constantes et d'entretien au sol en dessous

- ✚ Protégez les structures avoisinantes des excavations dans les zones urbaines

c) Les parois caissons :

Une autre façon d'utiliser la technologie des murs membranaires est le mur en caisson, qui consiste en une coque en béton armé qui est remplie de béton de recyclé après l'enlèvement du sol.

Les extrémités inférieure et supérieure des boîtes surélevées (ouvertes) sont ouvertes.

Cela vous permet de créer des charges ou d'ancrer des forces de traction importantes.

d) Les parois préfabriquées :

L'extrémité du mur à membrane présente toujours une certaine rugosité due au fait qu'elle coule dans le sol : irrégularités de surface visibles après terrassement, joints incomplets entre panneaux, mauvais placement des armatures, etc.

La paroi élémentaire est une amélioration de la paroi membranaire ; le béton n'est plus coulé sous la couche de bentonite avec un tuyau submersible, mais est amené sous forme de dalles de béton armé entières qui ont été pré-préparées dans l'atelier d'usinage.

Le forage se fait comme un mur de membrane, mais légèrement plus large que le futur mur de boue de bentonite

Des éléments en béton armé sont placés côte à côte dans le forage et calés dans les parois

Les extrémités des panneaux pliants sont formées comme des joints de sorte que la connexion des panneaux avec du mortier de ciment assure la fermeté.

e) Les parois mixtes ou (composites) :

Techniques dites qui combinent les procédés de mur membrane et de mur préfabriqué, tels que : mur préfabriqué armé en tête, nivellement des sous-sols et niveaux d'eau souterrains

Domaine d'emploi :

- ✚ Ouvrages de déblai
- ✚ En site terrestre
- ✚ Hors d'eau
- ✚ Dans pratiquement tous les terrains

f) Paroi moulée (ou mur emboué) :

CHAPITRE I : RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUE

Une paroi moulée est un écran formé par le sol réalisé en plaçant du béton et une armature en acier dans une tranchée creusée par une excavatrice sous un fluide de support (par exemple, une boue thixotrope, telle que la bentonite).

- **Procédé d'exécution :**

Suivant les prescriptions de la norme NBNEN1538 :1999

- ✚ Réalisation des murs de soutènement et creusement du (premier) panneau avec une clôture, remplissage continu de la tranchée avec du fluide de support
- ✚ Creusement du "merlon" ou assise intermédiaire entre les deux assises précédentes
- ✚ Bétonnage de chaque panneau avec des tubes plongeurs noyés dans le béton (un ou plusieurs selon taille ou adhérence et régénération des boues de bentonite [3])

I.1.4) Domaine d'application de paroi moulée :

La paroi moulée remplis soit la fonction de paroi étanche et /ou de mur de soutènement elle peut aussi faire fonction d'élément porteur vertical et des panneaux de paroi moulée peuvent être réalisés en paroi continue ou en éléments porteurs isolés (barrette)

Reprise de charges verticales élevées et le soutènement d'excavation profonde à proximité immédiate de construction existante

Mise en œuvre de paroi moulée :

La paroi moulée consiste en la réalisation d'une tranchée pouvant atteindre plus de 90m de profondeur, réalisée à l'aide d'une benne mécanique ou hydraulique, ou d'une hydrofraise (technologie développée par Sol étanche Bachy) selon le type de sol rencontrés

Etape1 :

Le premier ouvrage exécuté est la murette-guide : elle est constituée de deux murets provisoires en béton armé permettant :

- De matérialiser l'ouvrage à exécuter et d'en définir avec précision le tracé
- De guider l'outil de forage
- D'assurer une réserve de boue de forage
- De caler les cages d'armatures avant la mise en place du béton et pendant son durcissement

Les murettes-guides peuvent être construites au contact de structures ou de fondation existantes

On peut ainsi par exemple construire une paroi moulée au plus près de bâtiments mitoyens

CHAPITRE I : RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUE

Etape 1, 5 :

La phase de perforation est réalisée en une ou plusieurs passes, avec l'aide d'un fluide support, de manière à excaver des panneaux. La formulation de ce fluide et la longueur de chaque panneau excavé sont ajustées en fonction du type de sol et des structures mitoyennes environnantes, de manière à garantir à tout moment une bonne stabilité de la tranchée pendant les travaux. Lors de l'excavation, le terrain est progressivement remplacé par ce fluide support, appelé boue de forage. On emploie généralement une forme particulière d'argile, la bentonite, qui forme sur les parois de l'excavation s'opposant à la poussée des terres tendant à provoquer l'éboulement des parois. Une boue de forage fabriquée avec des polymères peut aussi être utilisée selon les conditions géologiques.

D'autres options sont possibles.

Durant la phase d'excavation, les propriétés de la boue de forage sont régulièrement contrôlées, et corrigées lorsque nécessaire.

Etape 2 :

Une fois l'excavation d'un panneau achevée, la boue de forage est recyclée de manière à limiter fortement la quantité de particules de terrain en suspension.

Le bétonnage du panneau est réalisé depuis la surface, les colonnes de bétonnage permettent de couler le béton depuis le fond du panneau, et de remonter progressivement jusqu'à la surface.

Etape 3 :

En fonction des projets, une poutre de couronnement en béton peut être construite en tête de paroi pour lier les panneaux entre eux ou pour préparer l'interface avec le reste du projet.

La phase de terrassement peut ensuite être réalisée à l'abri de la paroi moulée pendant ce terrassement, et en fonction du niveau de finition demandé, le béton de la paroi pourra alors être raboté.

L'excavation est souvent réalisée en plusieurs étapes suivant la conception de l'ouvrage. Des opérations complémentaires peuvent être réalisées comme l'installation de liernes, la mise en place d'un bétonnage, la réalisation et mise en tension de tirants d'ancrage, la construction de planchers intermédiaires, etc.

Les épaisseurs de paroi moulée sont généralement de 0,5m ; 0,60m ; 0,80m ; 1,00m ; 1,20m ; 1,50m ; et 1,80m.

Chaque étape de la réalisation d'une paroi moulée est délicate et conditionne la qualité de l'ouvrage fini [4].

CHAPITRE I : RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUE

I.1.5) Les avantages et les inconvénients :

Les avantages :

- ✚ Les parois moulées permettant de créer une enceinte relativement étanche (possibilité de réaliser une partie du bâtiment sous la nappe phréatique- on creusera néanmoins hors d'eau sans nécessairement avoir recours à un rabattement de nappe)
- ✚ Elle permet de réaliser des bâtiments très profonds (plusieurs niveaux de sous-sol)
- ✚ Les voiles courbes sont possibles (très utilisés pour les bassins car cette forme particulière est auto stables)
- ✚ La paroi est très rigide, ce qui limite grandement les déplacements en tête ce point est très important lorsqu'il existe des bâtiments à proximité
- ✚ La durabilité de la paroi est importante si l'on respecte l'enrobage*
- ✚ Il est possible de passer au travers n'importe quelle couche de sol

Inconvénients :

- ✚ Cette technique est très coûteuse
- ✚ Une grande quantité de matériaux est employée
- ✚ La technicité de l'entreprise doit être très pointue
- ✚ La qualité de parement reste assez médiocre (paroi coulée en pleine fouille)
- ✚ Les caractéristique mécanique et de durabilité du béton sont moindres (car le béton est colée au contact du sol) [5]

I.2) NOTION SUR LES ANCRAGES :

I.2.1) Composants d'ancrages :

Un tirant d'ancrage est un dispositif capable de transmettre les forces de traction qui lui sont appliquées à une couche de terrain résistance, il est composé :

1. D'une tête d'ancrage qui transmet les forces de traction de l'armature à la structure à ancrer par l'intermédiaire d'une plaque d'appui
2. D'une partie libre, qui est la longueur d'armature comprise entre la tête d'ancrage et le début du scellement
3. D'une partie scellée qui est la longueur d'armature sur laquelle la force de traction est transmise au terrain environnant par l'intermédiaire du coulis de scellement

La capacité d'un tirant peut varier de quelques tonnes à plus de 1500 tonnes

La gamme courante va de 20 à 200 tonnes

Les longueurs totales dépendant des caractéristiques du projet et vont de 10 à plus de 60 mètres les longueurs moyennes sont de 15 à 25 mètres, les armatures utilisées sont

CHAPITRE I : RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUE

généralement identiques ou analogues à celles utilisées pour la précontrainte d'ouvrages d'art [6]

I.2.2) Classification des ancrages :

A) Selon leur fonction :

- **Passif** : Ce type de tirant n'a généralement pas de partie libre, l'armature est le plus souvent une barre en acier, voir en matériau composite
Il n'est généralement pas précontraint et n'est sollicité que lorsque l'ouvrage se déforme
- **Actif** : Ce type de tirant présente toujours une partie libre et une partie scellée
L'armature la plus courante est un faisceau de câbles en acier, ce faisceau de câbles est mis en tension (précontrainte) avant sa mise en service
Cette précontrainte permet de limiter les déformations de l'ouvrage
Chaque tirant est équipé d'une protection anti corrosion afin que le dispositif et son usage ne soient pas altérés
Celle –ci est définie selon deux critères principaux qui sont la durée de vie du tirant et l'agressivité du milieu

B) Selon la durée d'utilisation :

- **Les Ancrages Temporaires** :

Ce sont des points d'attache temporaires utilisés lorsqu'il n'y a pas de système de protection antichute permanent en place et qu'il est essentiel de créer un environnement de travail sûr.

- **Les Ancrages permanents** :

Les ancrages permanents sont des ancrages à injection qui sont "conçus" pour une utilisation continue (plus de deux ans) et font donc partie des travaux permanents, différentes ancrages permanents se distinguent par leur type d'ouverture et de construction, une utilisation optimale au niveau technique et économique. Ces trois types dépendent des conditions énoncées

I. 2 .3) La mise en œuvre :

La mise en œuvre d'un tirant se déroule en plusieurs phases :

- ✚ Forer un forage d'un diamètre de 100 - 200 mm avec des outils et du fluide de forage adaptés au terrain (généralement) toutes les pentes sont possibles.
- ✚ Après nettoyage du forage, le fluide de forage est remplacé par une forte dose de coulis de ciment.
- ✚ La tige de montage du forage est installée avec une grue et un dérouleur hydraulique.

CHAPITRE I : RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUE

- ✚ Après solidification du mortier compact, la longueur compacte doit être projetée, cette projection se fait sous pression avec du mortier de ciment, différents systèmes et méthodes sont utilisés selon le terrain et la capacité d'ancrage souhaitée.

La méthode la plus courante consiste à utiliser un tube de brassard.

La méthode la plus courante consiste à utiliser un tube de brassard.

- ✚ Soit une voie d'injection depuis l'extrémité du manchon appelée IGU (Injection Globale Unitaire).
- ✚ Faire plusieurs étapes d'injection avec une étape successive, aussi appelée IRS (injection répétitive et sélective).
- ✚ Suivant le type de terrain et le produit de scellement utilisé, un délai de 2 à 5 jours est observé entre la dernière phase d'injection et la mise en tension du tirant
- ✚ La protection de la tête du tirant est réalisée après validation de la mise en tension [7]

I.3) LA BOUE DE BENTONITE :

La bentonite est une argile de type montmorillonite, le produit utile est finement broyé et alcalinisé avec l'ajout de carbonate de soude, fourni sous forme de poudre comme liant hydraulique, la limite de liquidité mensuelle de cette bentonite sodique doit être de 500. Contrairement aux autres argiles, il a deux caractéristiques particulières. Il peut absorber une quantité considérable d'eau et l'échange de cations y est très facile. Les pétroliers ont découvert depuis longtemps que les puits remplis de boue de fond résistent mieux que les autres et provoquent beaucoup moins de glissements de terrain. La résistance d'une cavité circulaire de petit diamètre s'explique aisément par la formation d'une voûte de pression annulaire. D'autre part : la résistance au creusement uniforme ne peut bénéficier de la même explication. Le fait qu'une tranchée profonde remplie de boue de bentonite soit vue chaque jour sans s'effondrer ne semble pas encore avoir une explication scientifique complète.[8]

I. 3.1) Thixotropie de la boue à la bentonite (rhéologie) :

Dans de nombreux domaines, le scientifique est donc amené à utiliser la rhéologie soit pour déterminer la structure du verre et des hauts polymères pour expliquer le chant ou l'écoulement du jus, soit pour comprendre les plis des montagnes aux temps géologiques et les glissements de terrain. Sur les pentes, la rhéologie permet d'expliquer de nombreux phénomènes de mécanique des sols et des roches. Les diagrammes de la figure suivante montrent l'écoulement de divers corps, s'il s'agit d'un fluide "newtonien", comme l'eau, une augmentation de la vitesse s'accompagne d'une augmentation proportionnelle de la perte de charge (la droite OA passe par l'origine, la pente qui dépend de la viscosité du fluide) au-dessus d'une vitesse critique, qui est fonction du nombre de Reynolds, les changements d'écoulement deviennent turbulents et la perte de charge augmente plus vite que la perte de charge augmente plus vite que la vitesse.

CHAPITRE I : RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUE

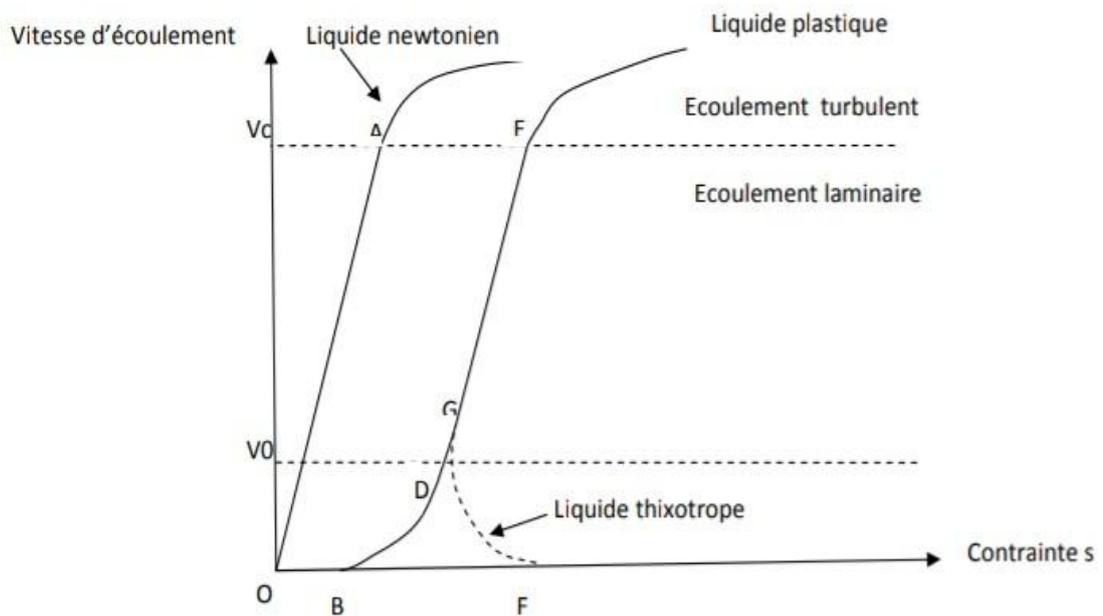


Figure I.1 : l'écoulement de la boue de bentonite

Si l'on tente une expérience semblable avec une boue de bentonite qui vient d'être agitée, un autre diagramme est obtenu (courbe OBDE) de O à B la valeur de la pression est incapable de mettre la boue en mouvement, à partir de B une mise en vitesse fort lente commence : le fluide se déplace comme un bouchant solide

Des ruptures de cisaillement apparaissent à une certaine distance de la paroi puis le cisaillement se propage graduellement vers l'axe du conduit ou les vitesses relatives augmentent

À partir de D les variations de pressions sont proportionnelles à la variation de vitesse au-delà de E l'écoulement devient turbulent comme précédemment ce fluide est dit « binghamien » ou « plastique »

La pente de la droite DE est dite viscosité plastique, la pente de la droite qui joint un point figuratif quelconque à l'origine est dite « viscosité apparente »

La viscosité d'un fluide ordinaire est donc constante alors que la viscosité apparente des fluides plastique est variable en fonction de la vitesse, en écoulement laminaire

Lorsque la boue de bentonite au repos depuis certain temps elle présente un aspect de gel et requiert un gradient de pression élevé (point f) pour être mise en mouvement décroît

Une fois un gèle cisailé, l'effort nécessaire pour entretenir le mouvement décroît (arc FG) et la boue devient semblable à un fluide Binghamien un fluide thixotrope diffère donc des liquides

CHAPITRE I : RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUE

Newtoniens puisque sa viscosité n'est pas constante, mais aussi des liquides de Bingham car il présente une forte inertie aux faibles vitesses lorsqu'un gel a pu se former ce phénomène est indéfiniment réversible, c'est-à-dire qu'une boue laissée au repos après agitation présente à nouveau les caractères d'un gel, tant qu'elle n'a pas été polluée par des impuretés provenant soit du sol environnant, soit du béton. Par ailleurs, la bentonite possède un grand pouvoir gonflant (de l'ordre de 10 à 15 fois son volume, exceptionnellement 25 à 30 fois) lié à la capacité d'hydratation par rétention d'eau des particules d'une part et par adsorption à la surface des feuilles, d'autre part. Des recherches récentes ont conduit à une meilleure connaissance de la microstructure des coulis on a pu établir une corrélation très intéressante entre la géométrie de cette microstructure et les caractéristiques de la boue (résistance à la compression, perméabilité, déformabilité) on a aussi mis au point des matériaux qui possèdent des propriétés nouvelles, en particulier des coulis plus résistants aux eaux agressives, dotés de propriétés mécaniques et hydrauliques améliorées et fixant les cations dangereux pour l'environnement (cations lourds et ions radio-actifs) [9]

I.3.2) Le comportement de la boue au repos dans la tranchée :

I.3.2.1) La boue présente deux phénomènes :

- ✚ En se déplaçant entre les grains, la boue pénètre dans le sol, sature le milieu de la tranchée à une épaisseur directement liée à la perméabilité du sol, après quoi la vitesse de déplacement diminue, la viscosité augmente et la boue devient un sol semblable à un gel. Avec une certaine épaisseur. De ce fait, les caractéristiques de la tranchée changent et surtout sa cohésion augmente
- ✚ L'eau libre s'évapore à travers le sol, et les bords du mur sont recouverts d'une couche de bentonite compactée appelée cake. Des expériences menées montrent que la formation du cake est directement liée à la polarisation spontanée qui se produit entre deux milieux saturés. Sable d'un côté et bentonite de l'autre, séparés par un gâteau

Cette galette, dont l'épaisseur peut varier de quelques millimètres à quelques centimètres, est totalement étanche, évitant ainsi la perte de boue. [10]

CHAPITRE I : RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUE

I. 3.2.2) Stabilité d'une tranchée remplie de boue a la bentonite :

On a tenté d'expliquer la stabilité de tranchée remplie de boue, a partir de plusieurs théories conçus par des chercheurs en géotechniques :

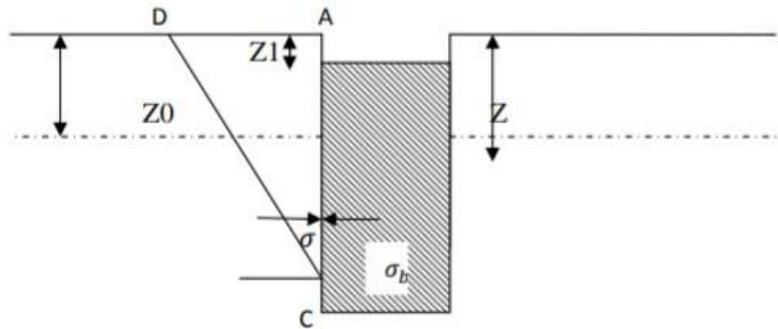


Figure I.2 : la tranchée du coin de Nash et Jones

La figure suivante représente une tranchée. On connaît en fonction de la profondeur Z la distribution des contraintes dues à la boue σ_b - ainsi que la pression hydraulique de l'eau u , si la tranchée est en équilibre on doit avoir à chaque profondeur

$$\sigma' = \sigma_b - u$$

Le problème à résoudre est le suivant :

On applique à une paroi AB une pression connue $\sigma_b - u$ de contrainte effective, le massif est-il en équilibre [11]

I. 3.2.3) Coin de Nash et Jones :

Une façon simple de résoudre cela : ils supposent que lors d'un glissement de terrain en tranchée, la partie coulante de la table est de forme triangulaire ACD (.....) où le biseau DC fait un angle avec l'horizontale.

Dans la section de mur AC, la force P' connue de la densité de la boue (c'est la résultante de la boue et de l'eau) et la pression des terres qui les équilibrent ne peuvent pas dépasser une certaine valeur maximale. Valeur déterminée par meulage variable (épenthèse ou effondrement de l'angle de Nash et Jones vers la tranchée). Cette maxime n'est rien d'autre que la poussée de la terre calculée par la méthode de Coulomb.

Par conséquent, si l'on considère un glissement de terrain à la profondeur du point C, la densité de boue à une valeur inférieure ou égale à celle qui assure un équilibre étroit entre la poussée classique de la terre P et le résultat de ses efforts. L'eau et la boue. L'équation de

CHAPITRE I : RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUE

cette méthode est évidente. Ensuite, nous recherchons la valeur minimale que la densité de boue doit avoir, de sorte que les glissements de terrain ne se produisent à aucune profondeur. Cette méthode attire diverses critiques.

- Le mode de défaillance linéaire derrière le mur AC est complètement différent du mode de défaillance réel observé in situ

- Il n'explique pas le comportement de certaines tranchées profondes, qui d'après ce calcul pourraient ne pas être stables

- La théorie ne tient pas compte du phénomène expérimental : à une certaine profondeur, la stabilité de la tranchée augmente en raccourcissant la longueur du panneau excavé. Cependant, dans la théorie de Nash et Jones, la sécheresse des tranchées n'est jamais importante, mais elle semble être l'un des facteurs de stabilité les plus importants dans les tranchées profondes [12]

I.4) METHODE D'EXECUTION DE LA PAROI MOULEE :

Les méthodes d'exécution nécessitent d'être rappelées, car elles sont la cause de nombreux défauts. [13]

I.4.1) Perforation :

Outre la boue qui supporte les parois de la tranchée, les plus gros problèmes liés à l'exécution de la tranchée sont liés à sa verticalité et à la transition des horizons durs. La préservation de la verticalité est obtenue en réalisant des parois de guidage en béton armé qui guident la cage et s'emboîtent entre elles à leur manière. En sol meuble, le creusement se fait traditionnellement à l'aide d'un impacteur rotatif ou rotatif associé à une circulation inverse de la boue, qui permet la remontée des sédiments ; Si nécessaire, un trépan peut être attaché à cet appareil. Le couteau à eau (ou couteau à eau), technologie de 1975 sans cesse améliorée, permet une plus grande précision et un passage à travers des horizons épais et durs. Cependant, cette technique est sensible à certaines impuretés et aux gros blocs qui bloquent les tambours de la machine. La taille des outils varie de 0,52 à 1,52 m ; dans la construction de routes et d'eau, des épaisseurs normales comprises entre 0,52 m et 0,80 m sont généralement atteintes profondeur de 35 à 50 m, et avec un coupe-eau, elles peuvent exceptionnellement atteindre 100 m. [14]

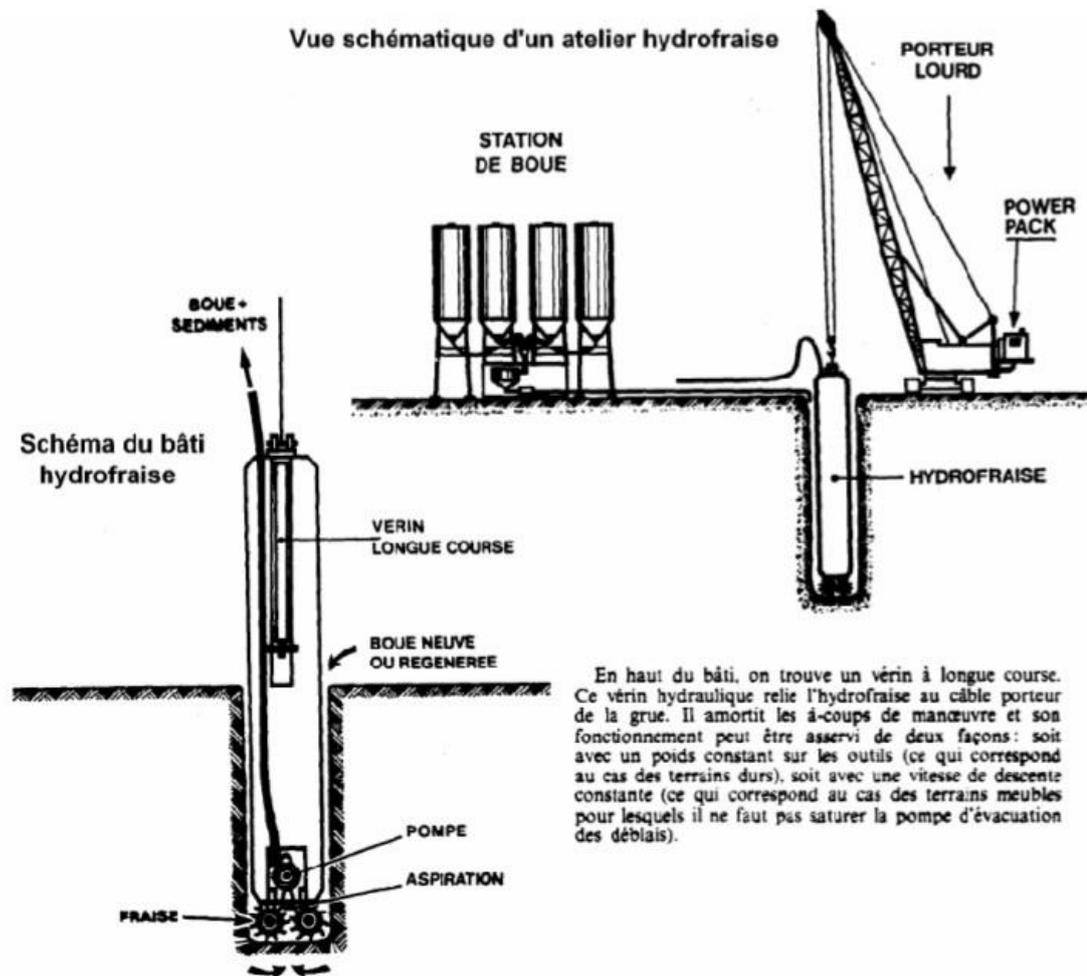


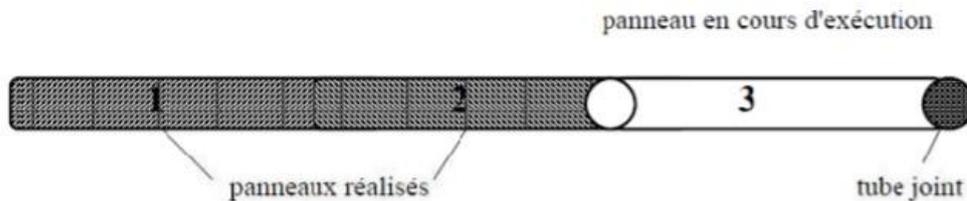
Figure I.3 : vue schématique d'un atelier hydro fraise

- **Méthodes de forage:**

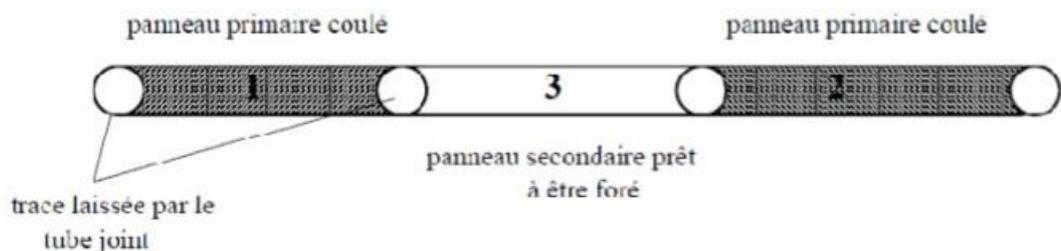
Le forage est réalisé par panneaux de longueur limitée, en tenant compte de la cohésion du terrain en place et des contraintes extérieures au voisinage de la paroi (mur mitoyen, surcharges, ...). Il se fait soit en continu ou soit par panneaux alternés (méthode des panneaux primaires et secondaires).

CHAPITRE I : RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUE

a) Forage en continu:



b) Forage par panneaux alternés :



Dans la méthode continue, un seul tuyau collé à l'extrémité de chaque panneau percé est suffisant, tandis que dans la méthode alternative, deux tuyaux collés sont nécessaires dans chaque panneau percé primaire. Le tuyau de raccordement peut être remplacé par un profil spécial qui comprend un dispositif pour maintenir une connexion étanche.[15]

I.4.2) Les cages d'armatures :

Les cages d'armatures des parois membranaires sont placées dans une tranchée remplie de boue avant bétonnage. Ils doivent être suffisamment rigides pour éviter qu'ils ne se plient pendant les étapes de traitement. La distance entre les barres d'acier doit être suffisante pour que le futur béton soit correctement placé (recommandation 20 cm). D'autre part, les forets sont exposés à une pression considérable lors de la phase de bétonnage du béton et doivent donc contenir beaucoup d'acier horizontal. En raison de la présence du gâteau de bentonite et de l'incertitude de la disposition des cages (avec cales), le toit du projet en acier est plus élevé que les autres structures en béton. Toutes les dispositions diverses pour les dispositifs de surveillance sur les murs ou traversant les rails doivent être établies au préalable dans les éléments de la cage d'armature. Ainsi, dans le cas de murs ancrés, l'armature de la cage est placée au niveau des tirants pour assurer la répartition des efforts d'ancrage. Si la cage est

CHAPITRE I : RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUE

constituée de plusieurs éléments verticaux, la continuité de l'armature est le plus souvent assurée par le recouvrement des éléments et dans certains cas particuliers également par le manchon.[16]

- **Ferraillage :**

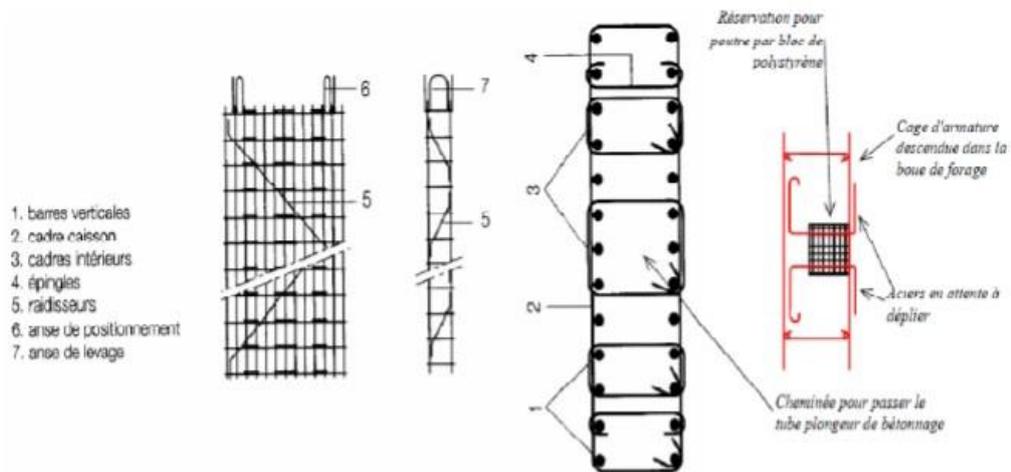


Figure I.4 : ferraillage

I. 4.3) Le béton et le bétonnage :

Le béton de paroi moulée n'est jamais vibré. Le bétonnage s'effectue au tube plongeur, depuis le bas de la fouille jusqu'en haut. C'est une opération délicate :

-le bétonnage doit être réalisé régulièrement afin que la boue et les éléments engendrés par celle-ci soient correctement soustraits à l'influence du béton.

- Le tube de plongée doit rester fixé dans le béton frais sur plusieurs mètres, au moins trois mètres.

- Des substances retardatrices de durcissement sont incorporées dans le béton de manière à ce que le durcissement du premier béton ne se produise qu'une fois le bétonnage de l'ensemble du panneau terminé.

- le béton doit être suffisamment liquide et non séparant pour remplir tout le volume de la tranchée ; cependant, il doit être suffisamment compact en raison de la simple gravité. La composition et la maniabilité du béton doivent être vérifiées. Le béton doit répondre aux exigences réglementaires, mais ses propriétés sont légèrement inférieures à celles des immeubles de grande hauteur. La composition du ciment stocké doit être en accord avec le niveau d'agressivité de l'environnement. La protection des armatures contre la corrosion est assurée à la fois par la qualité du béton et par l'épaisseur d'enrobage appropriée.[17]

I.4.4) Les joints entre panneaux :

Les joints sont des joints sensibles entre panneaux qui, bien qu'ils n'aient généralement pas de fonction structurelle en tant que telle, sont très souvent nécessaires pour assurer la continuité des aspects hydrauliques. La technologie des moules à couder a été continuellement améliorée; le temps de construction de la structure et les connaissances de l'entreprise qui l'a construit peuvent fournir des informations utiles sur le type de joint. Nous citons ci-dessous les types les plus importants utilisés ou encore utilisés, les technologies actuelles se limitant à deux ou trois procédés.[18]

- **Utilisation de tubes joints :**

C'est la première technique utilisée. Avant bétonnage, chaque extrémité libre des panneaux est équipée d'un tube rond de diamètre égal à l'épaisseur du mur. Ce tuyau sert de coffrage et forme une surface d'arrêt semi-circulaire pour le bétonnage, ce qui assure un bon recouvrement avec le panneau suivant. Les tuyaux sont retirés dès que le béton a atteint une rigidité suffisante. L'avantage de mettre en œuvre des panneaux séquentiels est qu'un seul tuyau est nécessaire par panneau ; d'autre part, il existe un risque que le panneau soit creusé avant que le panneau précédent n'ait suffisamment durci et ne fragilise l'extrémité de ce dernier. Le panneau alternatif nécessite deux tubes par panneau principal, mais évite le risque ci-dessus.

- **Joints en polystyrène :**

Pour créer un profil en V, on a utilisé du polystyrène pour le joint qui, s'il avait l'avantage général d'être démontable, entraînait plus d'inconvénients liés à la fragilité du matériau, sa faible densité et la difficulté de démontage. Après avoir percé le panneau adjacent, retirez-le correctement de la bande de support. Il n'est plus utilisé.

- **Tubes à ailettes :**

Le but de ce processus est d'empêcher le béton de tourner hors du tuyau. La conduite de raccordement a alors un diamètre inférieur à l'épaisseur de la paroi, et deux nervures soudées dans des directions diamétralement opposées forment une barrière au béton. Il n'est plus utilisé.

- **Joints à clavettes :**

Ce système, qui s'utilise en complément du raccord de tuyauterie, consiste à réserver un espace vide au niveau du joint entre deux panneaux à bétonner et à « durcir » le joint en injectant du mortier dans cette ouverture pour renforcer l'étanchéité. Un vide est créé avec un tube de secours ou un tube en plastique qui sert de guide pour le forage ultérieur.

CHAPITRE I : RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUE

Il existe plusieurs variantes :

- Une clé simple constituée d'un tuyau placé à la jonction du premier panneau coulé,
- Une double clavette constituée de la tangente du tuyau fixée au joint de tuyau et du tuyau avant, qui est mise en place avant de couler le deuxième panneau en parallèle,
- Clé simple ou double avec joint étanche.

- **Systèmes de joints sans tube :**

Les systèmes de connexion tubeless sont apparus momentanément, mais ne se sont pas développés en France.

- **Coffrage joint :**

Il se compose d'une poutre caisson en acier très solide qui est mise en place une fois l'excavation terminée. Il ne s'enlève pas comme la moisissure glissant avant que le béton ne soit complètement durci mais laissé en place jusqu'à ce que le panneau suivant soit creusé. Après cela, il est pelé sur le côté avec une pelle spécialement équipée. Le scellement restant en place lors de l'excavation du panneau suivant, il peut servir de guide à l'outil d'excavation, assurant la continuité géométrique de la paroi. Le décollement latéral du moule permet également d'installer en routine des éléments d'étanchéité supplémentaires, tels que des cordons (ou des bandes) de joint d'eau, dans le joint. Les coffrages fixes comprennent à cet effet un caisson auxiliaire rainuré pouvant être poussé en demi-largeur avec un léger frottement, jouant avec la souplesse de leur tube central, une ou plusieurs palettes water-stop en élastomère ou en PVC. La demi-largeur libre de ces lames est recouverte de béton lors du bétonnage du panneau. Le décoffrage latéral laisse apparaître la partie des voliges protégée par le caisson, qui peut ensuite être recouverte de béton pour le panneau suivant. Un dispositif à double lame est une configuration couramment utilisée.

- **Joints à l'hydro fraise :**

Il ne s'agit pas à proprement parler d'une technique de réalisation de joints, mais d'un procédé de réalisation de parois membranaires, qui assure à la fois le perçage, l'enlèvement de matière et la réalisation de joints entre panneaux. Le joint est réalisé en meulant le béton déjà durci à l'extrémité du panneau, ce qui donne une surface de retour dentelée qui assure essentiellement un excellent contact avec le béton du panneau adjacent. Cette technologie a été améliorée, ce qui augmente les performances obtenues dans les articulations

CHAPITRE I : RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUE

I.5) DIVERS TYPE DES PALPLANCHES :

I.5.1) Introduction:

La nécessité de rechercher de nouvelles techniques de construction et l'augmentation des dommages structuraux dus à de multiples paramètres ont conduit les ingénieurs et les chercheurs à utiliser des méthodes de construction efficaces, utiles et économiques telles que les tôles, qui se sont largement répandues dans l'industrie. pour la construction et les travaux utiles.

I.5. 2) Définition:

Une palplanche (constituée d'une panne et d'une planche) est une pile conçue pour être enfoncée dans le sol par emboîtement avec des piles adjacentes appelées écluses. Les pieux de terre permettent de former un mur de soutènement, un barrage, une protection coudée ou impénétrable. Les rideaux qu'ils forment ressemblent à des murs ou des cloisons qui supportent la pression de la terre, ou à des remblais et des chutes d'eau. Une distinction est faite entre les ancrs à plaques modulaires et inertes.

I. 5. 3) une idée simple:

Imaginons que nous voulions diviser une masse terrestre en deux parties, par exemple pour séparer un lit de rivière d'une berge (Figure I.5) : le processus intuitif consiste à pousser un rideau vertical de la surface vers le sol. Comme le mur ne peut pas être enfoncé simultanément sur toute sa longueur, il est découpé en éléments verticaux étroits, comme des touches de piano, qui sont placés en série, comme le montre la figure I.5



Figure I.5 : a):schéma de principe du mur de palplanches ; b) Assemblage des éléments

CHAPITRE I : RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUE

Pour assurer la solidité du mur, un dispositif a été conçu pour relier chacun à ses voisins. Il s'agit d'une rainure appelée "serrure" qui s'étend sur toute la longueur de la pile de disques et dans laquelle glisser la "serrure" suivante, comme illustré à la figure I.5.[19]

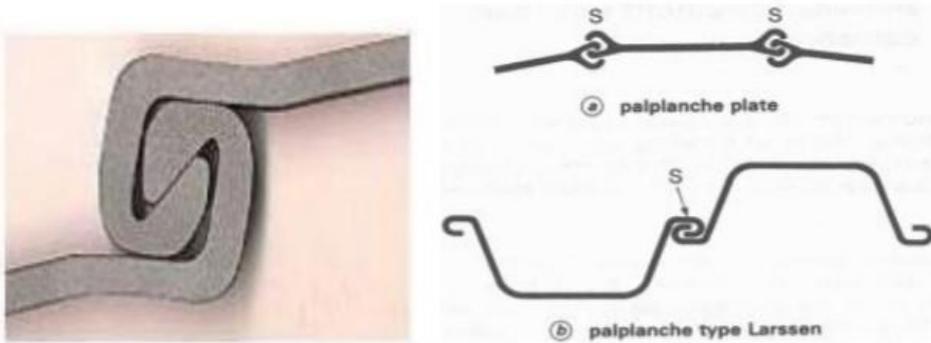


Figure I.6 :a)Détail d'une serrure

b) Exemples de serrures

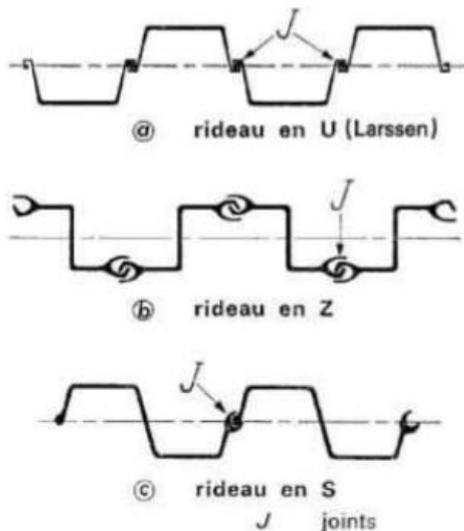


Figure I.7 : les palplanches à module

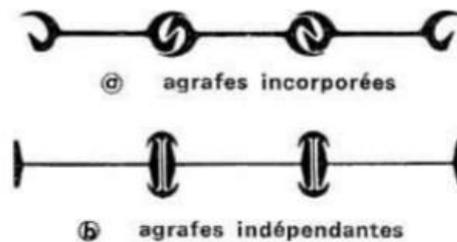


Figure I. 8:les palplanches plates

CHAPITRE I : RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUE

I.5.4) Les palplanches plates:

Les premiers se comportent comme des poutres verticales qui mobilisent les appuis au niveau de leur fixation au sol et supportent la poussée des dénivelés du sol et de l'eau (palplanches de Larssen). La seconde permet la réalisation de coques cylindriques fermées contenant des matériaux dont les efforts de poussée créent des efforts de traction importants au niveau des joints, de sorte que ces derniers sont dimensionnés pour résister aux contraintes.[20]

I .5.5) Types de palplanche :

I.5.5.1) selon la géométrie et la forme :

On trouve : Palplanches en porte à faux Palplanches avec étais ou ancrage

A : Palplanches en porte à faux :

Les palplanches peut être composé de plusieurs matériaux différents (acier, aluminium, bois, béton armé, fibre de verre, vinyle, PVC, etc.).

Le choix des matériaux dépend des conditions extérieures et d'autres facteurs.

La hauteur des tables extérieures est limitée à 3-4 mètres.

B : Les palplanches en bois :

Les masques en étain étaient à l'origine en bois, c'étaient des tas de planches enfoncées dans le sol pour former une étendue d'eau (palplanches). La technologie d'ancrage d'écran, qui résiste à la pression et à la flexion avec des éléments structurels enfoncés dans le sol, utilisait à l'origine des piquets en bois placés côte à côte pour former une protection continue.

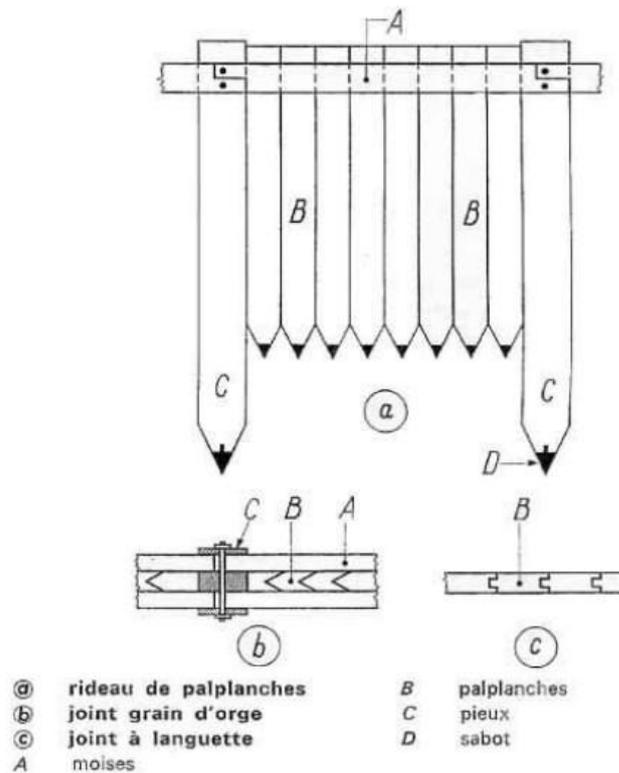


Figure I.9: palplanches en bois

L'évolution naturelle de cette technique a donc été de complexifier les liaisons entre les parties successives du support. Les pieux en dalles, qui s'emboîtent comme des "grains d'orge" ou à l'aide d'un dispositif à rainure et languette, ou encore en "graines d'orge", remplacent ainsi les pieux utilisés à l'origine.

c. Les palplanches en béton armé :

Ainsi les pagaies en béton armé ou en acier s'inspirent des pagaies en bois depuis le début du XX^e siècle. L'utilisation des palplanches en béton armé n'a pas connu d'évolution réelle en raison du poids, de la fragilité de ces ouvrages, des difficultés de battage qu'ils occasionnent et de la difficulté à sceller les joints entre les palplanches

d. Palplanches PVC :

Les palplanches de PVC diffèrent des autres matériaux et des problèmes d'utilisation, le matériau est inerte, il ne se dissout donc pas lorsqu'il est exposé à des produits chimiques courants. De plus, les substances toxiques ne se propagent pas à travers le sol ou l'eau. L'utilisation du bois dur est encore impopulaire car elle menace la forêt tropicale. En raison de conservateurs nocifs, ce bois usagé devient dangereux pour l'environnement. Ainsi, des plantations adaptées sont de plus en plus utilisées pour installer des protections naturelles des berges sur les faibles pentes. Si cette solution n'est pas possible, une feuille de PVC est utilisée. Ces cas sont : pentes raides, courant fort et grande profondeur d'eau [21]

CHAPITRE I : RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUE

I.6) PALPLANCHES METALLIQUE :

Les premiers tas d'étain sont apparus au début du XX^e siècle grâce au développement de la sidérurgie.

I.6.1) Définition:

Une palplanche métallique est une tige en acier, généralement avec une section en forme de U. Il est planté dans le sol et s'adapte aux lattes adjacentes grâce aux bords latéraux. A partir des cloisons étanches ainsi formées, on construit des barrages ou encore des murs de soutènement pour renforcer la rive naturelle ou la jetée.

I.6.2) Caractéristiques :

Le poids du mètre linéaire varie selon le profil de 20 à plus de 120 kg et l'épaisseur de 5 à plus de 20 mm (chiffres indicatifs). La longueur de l'alimentation varie de 1 mètre à plus de 30 mètres. Les principaux types sont les masques modulaires en tôle d'acier en forme de U, de Z, de boîte et de boîte, et les empilements de plaques avec rivets intégrés ou séparés. Toutes les feuilles de ce type, à l'exception de quelques décalages de taille, sont fabriquées par des fabricants mondiaux, mais la forme et les performances uniformes restent l'une de leurs caractéristiques distinctives les plus importantes.

Les palplanches profilées à froid présentent quelques avantages:

- Epaisseur constante sur tout le pourtour du profil, 3 à 9mm
- Grande largeur utile et manutention et le temps d'installation réduit
- Pliage pour réalisation d'angle.
- Application dans les serrures de produits d'étanchéité
- Transmission des efforts tranchants dans l'axe neutre

Palplanches plates AS500 :

Ils sont conçus pour produire des alvéoles cylindriques qui conservent le remplissage. La stabilité des gabions ainsi formés est assurée par leur propre poids. Le pieu d'équilibre est principalement utilisé là où l'horizon rocheux est très proche du sol et dans les bâtiments où l'ancrage est difficile voire impossible. Selon les caractéristiques du projet et les spécificités du site, ils sont assemblés avec des gabions ronds ou des gabions à cuissardes.

Les forces générées dans les tôles sont essentiellement des forces de traction horizontales, nécessitant des blocs de résistance suffisante pour absorber la force horizontale de la lame.

CHAPITRE I : RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUE

I.6.3) Types de palplanches métalliques :

Les palplanches métalliques sont obtenues par laminage à chaud ou profilage à froid : (en U, Z, caisson) ;

- **Palplanches Laminées à Chaud :**

Suivant Norme EN 10248, nuances S240GP à S430GP – longueurs jusqu'à 24 mètres.

Profils U :

Type : VL601 à VL 606 – L600 à L607.N – L703 à L755 – L22 à L25 – SP-2W et SP-3W. Type : AU14 à AU26 – PU6 à PU32 – GU6N à GU18-400.

Profils Z :

Type : AZ12 à AZ50 – H122 à H3806

I.6.4) Application des profilés:

Les profilés Z et U sont conçus pour supporter les charges de flexion. Les profils plans sont utilisés pour supporter les charges de tension. Les profilés Z et U peuvent être utilisés séparément ou en combinaison avec des pieux tubulaires ou des pieux HP pour murs mixtes. Mais aussi : des pieux tubulaires (utilisés avec des profilés Z ou U dans une cloison mixte. Et des pieux HP ou pieux de fondation. C'est aussi possible avec des profilés Z ou U.

I.6.5) Domaine d'utilisation et d'application Palplanches en acier :

La durée de vie est liée à leur conception d'une part et à leurs dimensions et propriétés mécaniques d'autre part. Les palplanches métalliques sont particulièrement bien adaptées aux milieux aquatiques et aux terrains accidentés. Sinon, ils étaient utilisés pour creuser des fondations (protection des excavations) à la fois sur terre ferme et dans l'eau, dans des barrages de protection et généralement des bâtiments souterrains, voire pour renforcer des barrages existants et dans des zones portuaires ou des zones urbaines. Les palplanches sont utilisées pour la construction de murs de soutènement, notamment pour la protection des quais maritimes ou fluviaux, des ouvrages portuaires, des écluses, des brise-lames et des berges fluviales et navigables, des quais. Ils sont également utilisés comme formes perdues dans la construction de ponts, la construction de barrages et les orbites routières. Les barrages peuvent être des structures temporaires ou permanentes. [22]

CHAPITRE I : RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUE

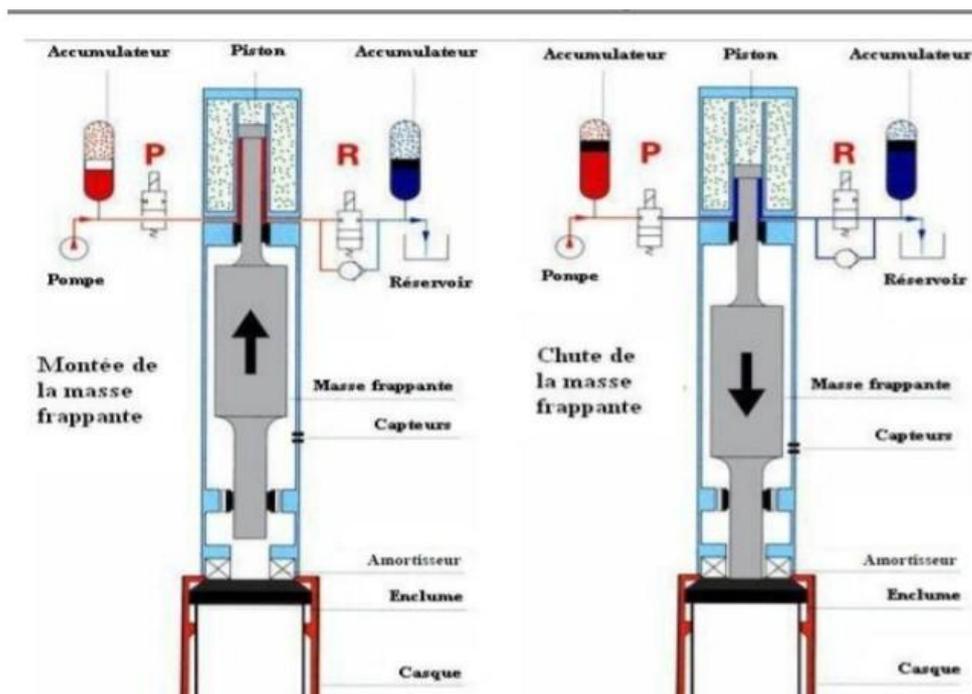
I.7) MISE EN ŒUVRE DES PALPLANCHES :

L'installation de pieux de dalles verticalement dans le sol se fait généralement par enfoncement, vibration ou à l'aide d'une presse hydraulique

I.7.1) BATTAGE :

I.7.1.1) Principe du marteau hydraulique :

Dans les concasseurs hydrauliques, le cycle de travail commence par la levée du poids d'impact en une seule pièce. La soupape P placée dans le circuit de pression est ouverte et la vanne R placée dans le circuit de retour est fermée. Lorsque la portance prédéterminée est atteinte, en fonction de l'énergie souhaitée, les vannes basculent dans l'autre sens. La masse est alors libérée. Après l'effet, le cycle se répète automatiquement. La masse d'impact est guidée de haut en bas. Grâce au gaz comprimé, le marteau peut travailler sous n'importe quel angle, même horizontalement. A chaque impacte, la masse de collision heurte l'enclume. C'est la partie centrale de la couverture en duvet destinée à la transmission d'énergie, dont la forme est différente selon le type de pack de foils à installer.



I.10 : Principe de fonctionnement du marteau hydraulique

Figure

CHAPITRE I : RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUE

I.7.1.2) Matériels :

L'enfoncement d'un élément rigide dans le sol nécessite l'utilisation d'un marteau et d'un Système de commande

I.7.1.3) Systèmes de guidage :

Si le mouton repose sur l'élément noirci, il est nécessaire d'utiliser un système de contrôle. En règle générale, cela se fait à l'aide de deux méthodes (le mât de battage ou le guide de battage)

I.7.1.4) Mât de battage :

En mode mât, le porteur hydraulique (engin de chantier) est équipé d'un mât de guidage, avec lequel le piston coulisse dans un système de rails : le vérin est fixé au mât. Localiser et contrôler la verticale ou l'inclinaison devient beaucoup plus facile. Ce mode est le mieux adapté pour appliquer des éléments obliques.

I.7.1.5) Guide de battage :

En mode pendulaire, le mouton est suspendu à la corde de la grue de chantier. Avant d'appuyer sur l'élément à utiliser, contrairement à la méthode précédente, il doit être maintenu à l'intérieur du guide de lavage.

I.7.1.6) Le choix du système de battage :

Le choix d'un système d'entraînement adapté est essentiel pour enfoncer correctement les pieux de dalles et atteindre la hauteur souhaitée en toute sécurité.

Différents types de vérins peuvent être utilisés pour les travaux sur pieux :

- les moutons à chute libre.
- Les moutons diesel.
- Les moutons hydrauliques à double effet.
- Les moutons à double effet à l'air comprimé et à frappes rapides.

I.7.2) Vibrofonçage :

I.7.2.1) Principe :

La vibration générée par le vibreur, qui est ensuite transmise à travers le profil au sol, permet de le presser si l'énergie est suffisante pour vaincre la résistance du sol. Après cela, le profilé s'enfonce sous son propre poids et sous le poids du vibreur avec une vitesse de pénétration pouvant atteindre plusieurs mètres par minute. La vibration est causée par des masses déséquilibrées ou excentriques qui sont uniformes et tournent à la même vitesse mais dans

CHAPITRE I : RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUE

des directions opposées de sorte que les composantes horizontales (F_h) de la force centrifuge (F_c) s'annulent. Le résultat est une force verticale (F_v) d'intensité sinusoïdale.

Actuellement, les masses excentriques sont entraînées par des moteurs hydrauliques fonctionnant avec un dispositif de débit réglable. Le moteur hydraulique présente de nombreux avantages, tels qu'un bon rapport poids-puissance, une grande souplesse de fonctionnement avec des performances élevées, et la possibilité de contrôler la vitesse de rotation et donc la fréquence des masses excentriques. Les masses excentriques tournent à des vitesses de 1200-3000 tr/min, c'est-à-dire à des fréquences de 20-50 Hz, selon le vibreur hydraulique.

- guides : permet de caler les tôles avant roulage et pendant le roulage.

I.7.2.2) Types de Mise en Fiche :

- Pelle mécanique pour sols sableux, marécageux ou vaseux.
- Forage à vibration pour sol moyen tel que argile, sable, gravier.
- Un marteau qui permet de pénétrer les sols durs type Marne.
- Brise-roche avec guide ou double pieu métallique sur sols lourds.

I.7.2.3) Enclenchement d'un rideau de palplanches :

Cette procédure consiste à lier une pile de feuilles à remplir avec un verrou déjà fichée. L'emboîtement a un triple but :

Donner des indications pendant la conduite.

Fixez des piles de feuilles pour créer un rideau de protection pour une meilleure résistance à la flexion.

I.7.2.4) Réaliser l'étanchéité du rideau :

Pour les profils de verrouillage présentant des risques importants, notamment les chutes et les collisions, il est recommandé d'utiliser un système de verrouillage simple qui peut être adapté aux différents profils en changeant le drapeau. Cela permet de verrouiller les masses d'étain à distance

I.7.2.5) Les avantages et les inconvénients :

D'utilisation des palplanches Les aciers présentent des avantages exceptionnels qui en font l'un des matériaux de construction les plus importants, à savoir la durabilité, la résistance, l'élasticité, la durabilité, la facilité d'exécution et la rapidité. Contrairement aux rideaux métalliques, la défaillance est la corrosion, notamment en milieu marin, sol agressif, voire environnement. De plus, les défauts résultant d'une mauvaise planification et conception, d'une mauvaise mise en œuvre, d'une mauvaise utilisation, d'agressions environnementales et autres physico-chimiques, de difficultés d'entretien. [23]

CHAPITRE I : RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUE

I.8) NOTION SUR LES ANCRAGES :

I.8.1) Les composants d'ancrages :

Une ancre est un dispositif capable de transférer la force de traction qui lui est appliquée à une couche de sol résistante. Cela consiste en:

1. Ancrage de tête, qui transfère la force de traction de l'armature à la structure à ancrer à travers la plaque d'appui.
2. La partie libre, qui est la longueur de l'armature entre la fin de l'ancre et le début de la garde.
3. La section compactée, qui est la longueur de renforcement sur laquelle la force de traction est transmise à travers le mortier compacté au sol environnant

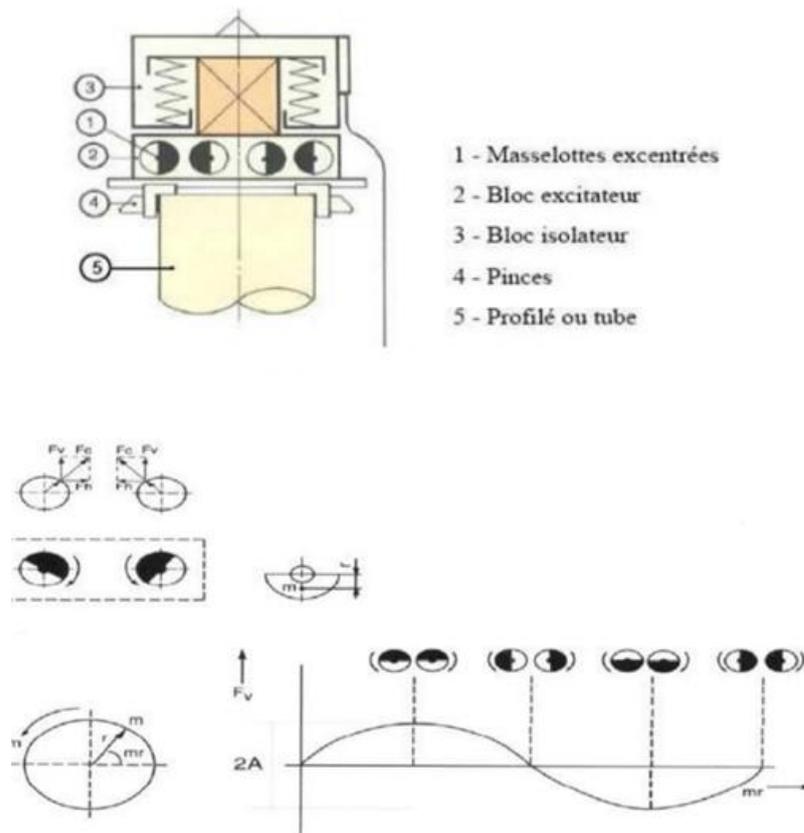


Figure I.11 : Principe mécanique du vibreur

CHAPITRE I : RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUE

I.8.1.1) Matériels:

-1 ou 2 grues de poche avec les tâches suivantes : manutention de tôles, de guides, installation de vibreurs sur les palplanches, installation de guides et de supports sur les palplanches.

- 1 vibreur hydraulique : les vibrateurs fonctionnent avec un ensemble hydraulique, il se compose d'un caisson vibrant, d'un support de suspension, d'un casque et d'une masse statique.

Il existe deux types de vibrateurs :

Le vibreur à couple fixe convient à l'empilage de dalles et de grandes pièces dans des conditions difficiles. L'oscillateur de couple excentrique, qui fonctionne en déphasant les masses excentriques dans les phases de démarrage et d'arrêt, peut être commandé par un ordinateur pour contrôler l'excentricité. Les vibrateurs et les marteaux hydrauliques peuvent être utilisés à la fois sur terre, à l'extérieur et dans les zones sous-marines.

-guides : ils permettent de caler les palplanches avant et pendant leur enfoncement.

I.8.1.2) Types de Mise en Fiche :

- Pelle mécanique pour sols sablonneux, marécageux ou vaseux.

- Forage à vibration pour sol moyen tel qu'argile, sable, gravier.

- Un marteau qui permet de pénétrer les sols durs type Marne.

- Brise-roche avec guide ou double pieu métallique sur sols lourds.

I.8.1.3) Enclenchement d'un rideau de palplanches :

Cette procédure consiste à lier une pile de feuilles à remplir avec un verrou déjà fixé. Le nid a trois objectifs.

Donner des indications pendant la conduite.

Fixez des piles de feuilles pour créer un rideau de protection pour une meilleure résistance à la flexion

I.8.1.4) Réaliser l'étanchéité du rideau :

Pour les profils de verrouillage présentant des risques importants, notamment les chutes et les collisions, il est recommandé d'utiliser le verrouillage, un système simple qui peut être adapté aux différents profils en changeant le drapeau. Cela permet de verrouiller les masses d'étain à distance.

I.8.1.5) Les avantages et les inconvénients :

D'utilisation des palplanches Les aciers présentent des avantages exceptionnels qui en font l'un des matériaux de construction les plus importants, à savoir la durabilité, la résistance, l'élasticité, la durabilité, la facilité d'exécution et la rapidité. Contrairement aux rideaux métalliques, la défaillance est la corrosion, notamment en milieu marin, sol agressif, voire environnement. De plus, les défauts résultant d'une mauvaise planification et conception, d'une mauvaise mise en œuvre, d'une mauvaise utilisation, d'agressions environnementales et autres physico-chimiques, de difficultés d'entretien.[24]

I.9) Tirant d'ancrage :

Une ancre est un dispositif capable de transférer l'effort de traction qui lui est appliqué à Une couche de sol résistante en prenant appui sur la structure à ancrer. Très souvent un lève-pince est utilisé pour limiter la déformation de la pince après creusement. Dans ce cas, les tiges d'ancrage sont appliquées lors du creusement de l'écran, après quoi elles sont resserrées avant de poursuivre les travaux de terrassement. Par conséquent, l'ancrage est toujours considéré Avec soin car il contribue à la stabilité des structures. Une bande de piste se compose généralement de : La tête d'ancrage, qui transmet l'effort de traction de l'armature à travers le système de support à la structure à ancrer, la partie libre, qui est. La longueur de l'armature entre la fin de l'ancre et le début du scellement, La section compactée, qui est.la longueur d'armature sur laquelle la force de traction est transférée à travers le mortier compacté au sol environnant. Une traverse est considérée comme temporaire si sa durée de vie est. Limitée, généralement pendant la phase de construction de l'ouvrage. Une barre permanente est une barre d'ancrage compacté qui dure plus de 2 ans ou, plus souvent, un élément tendu pour toute la durée de vie de l'ouvrage.

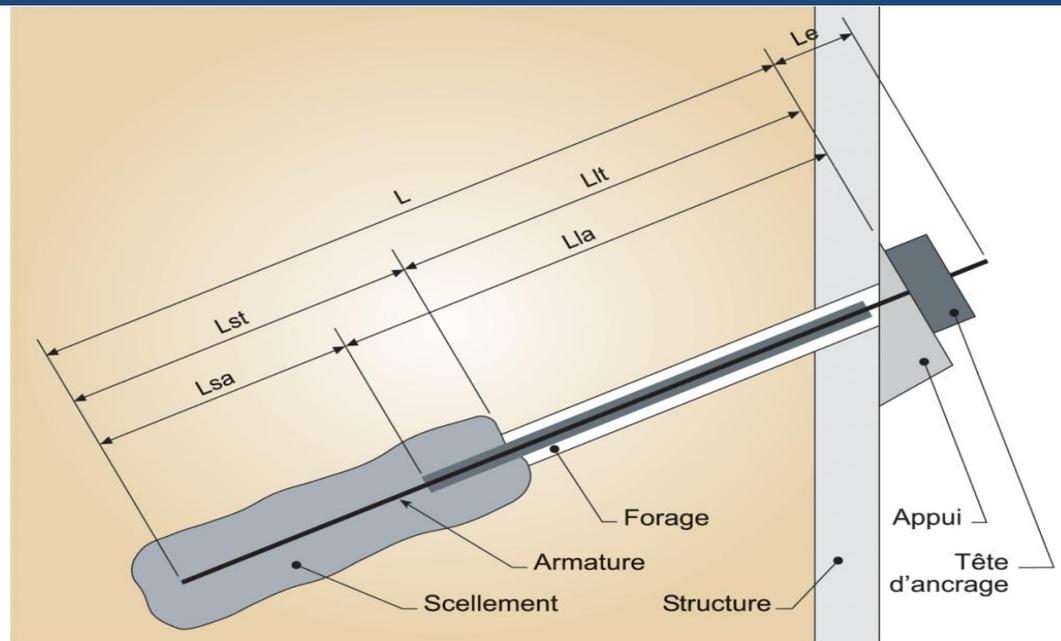


Figure I.12 : Tirant d'ancrage

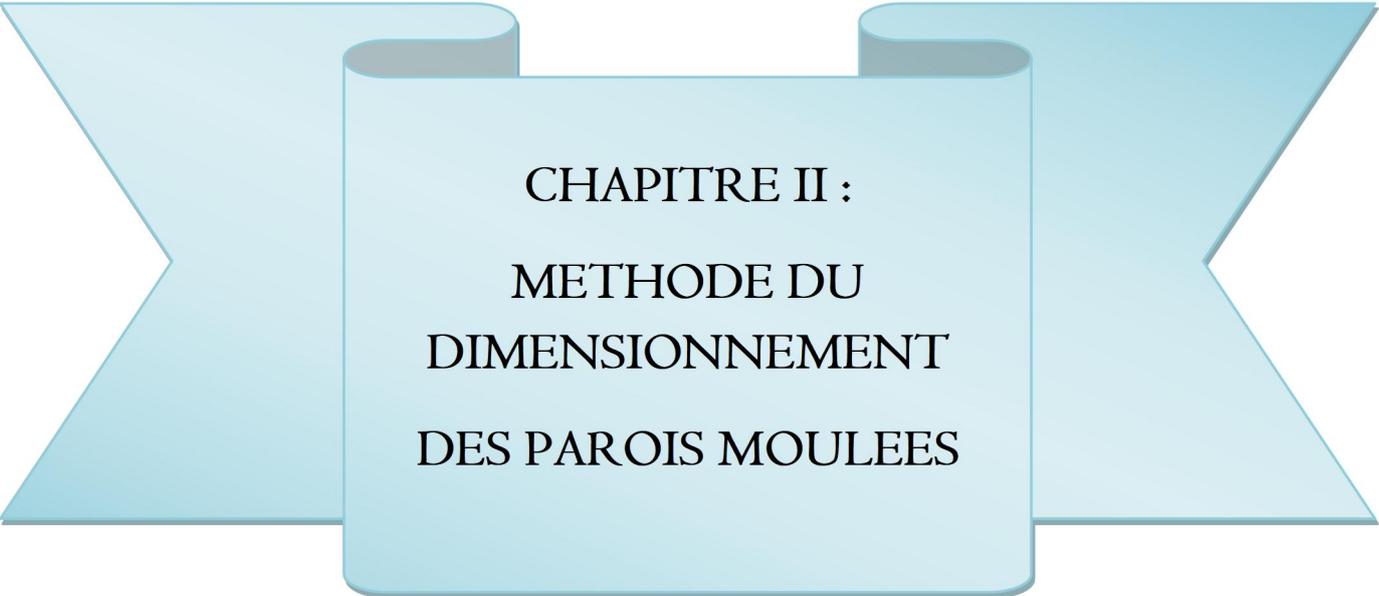
Il existe deux familles de tringles à rails, arbres à rails actifs ou passifs :

- Passif ,ce type de lien n'a généralement pas de partie libre. Le renfort est. généralement Une barre d'acier ou même un matériau composite. Il n'est généralement pas précontraint et n'est sollicité que lorsque la structure est. déformée.
- Actif : Ce type de corde a toujours Une partie libre et Une partie comprimée. Le renforcement le plus courant est. un faisceau de câbles en acier. Ce câblage est. tendu (pré-tendu) avant utilisation. Cette précontrainte permet de limiter les déformations de la structure.

Chaque Track Bar est équipé d'une protection contre la corrosion pour garantir que l'appareil et son Utilisation ne changent pas. Elle est déterminée en fonction de deux critères principaux, qui sont la durée de vie du volant et l'agressivité de l'environnement.[25]

1.10) Conclusion :

Après avoir passé en revue tous les types de paroi et les technologies concernant les matériaux et les modes et moyens d'exécution y affaissant. Pour cette étude, on a opté pour des parois moulées en béton armé de 35 cm d'épaisseur, associé à des tirants d'ancrage sans scellement pour mettre en évidence l'effet de leur absence sur l'équilibre des parois ainsi que leur stabilité, et ce, sous l'action du terrain encaissant et des surcharges à différentes distance de cette paroi.



CHAPITRE II :
METHODE DU
DIMENSIONNEMENT
DES PAROIS MOULEES

CHAPITRE II : METHODE DU DIMENSIONNEMENT DES PAROIS MOULEES

II.1) INTRODUCTION:

De nombreux outils de calcul numérique sont utilisés depuis longtemps dans le domaine de l'ingénierie. L'outil numérique le plus utilisé en ingénierie est la méthode des éléments finis. C'est la méthode la plus polyvalente pour analyser les problèmes aux limites en géotechnique.[25]

II.1.1) Les avantages de l'analyse géotechnique:

- Systèmes d'équation est symétrique.
- La formule du déplacement conventionnel est utilisée dans la plupart des analyses de trajectoire de charge.
- Cette méthode à été largement utilisée pour résoudre des problèmes pratiques.

II.1.2) Les inconvénients:

- Cette méthode ne convient pas aux sols très fissurés.
- Les algorithmes sophistiqués sont nécessaires pour écrouissage et adoucissement de modèles constitutifs.
- La totalité du volume du domaine analysé doit être discrétisé, c'est à dire, les grands prés-et post-traitement des efforts sont nécessaires.[26]

II.2) TYPES DE PROBLEMES EN GEOTECHNIQUE TRAITE PAR ELEMENT FINI :

Les problèmes géotechniques sont classés en trois catégories:

- Problèmes statiques (équilibres)
- Problèmes transitoires
- Problèmes aux valeurs propres

Dans le tableau suivant, il y a quelques problèmes élémentaires et leurs équations différentielles :

CHAPITRE II : METHODE DU DIMENSIONNEMENT DES PAROIS MOULEES

Problèmes	Catégorie	Equation
débit constant ou infiltration dans les milieux poreux rigides	Stable, équilibres	$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \dots \dots \dots (1)$
Consolidation unidimensionnelle	Transitoire	$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{\partial u}{\partial t} \dots \dots \dots (2)$
Propagation d'onde unidimensionnelle	Transitoire	$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \dots \dots \dots (3)$
Fréquence naturelle de pied	Valeur propres	$m \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + KU = \dots \dots (4)$

Tableau II.1 : Les problèmes géotechniques traités par la méthode des éléments finis

Dans la littérature mathématique les équations 1, 2,3 sont classifiés elliptiques, Paraboliques est hyperboliques respectivement. Ces équations sont des cas particuliers d'une de l'équation générale suivante :

$$A + \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + B \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} + C \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + D \frac{\partial u}{\partial x} + E \frac{\partial u}{\partial y} + Fu = 0 \dots \dots (5)$$

Dans laquelle les coefficients de A à F sont fonction de x et y et g est Fonction x, y $\frac{\partial u}{\partial x}$; $\frac{\partial u}{\partial y}$
 À partir de l'équation 5 on distingue trois cas :[27]

$$B^2 - 4AC \begin{cases} < 0 \text{ élliptiques} \\ = 0 \text{ parabolique} \\ > 0 \text{ hyperbolique} \end{cases}$$

II. 3) LA METHODE DES ELEMENTS FINIS :

Des problèmes, qui dans passé récent ont été considérés comme insolubles par les méthodes analytiques classiques, sont maintenant aisément résolus par les méthodes numériques dont la plus utilisée est la **Méthode des Eléments finis** ou 'MEF'.

La méthode des éléments finis est un des outils mathématiques largement appliqués. Elle a connu une croissance phénoménale au cours des dernières années, tant dans le développement théorique que dans l'ingénierie d'application, qui à son tour était responsable de l'utilisation actuelle de la méthode. Récemment, des travaux ont été effectués pour jeter les bases mathématiques de la méthode car elle n'a pas été complète

CHAPITRE II : METHODE DU DIMENSIONNEMENT DES PAROIS MOULEES

antérieurement. Les ingénieurs en géotechniques ont démontré l'utilité de la méthode des éléments finis dans la résolution de problèmes complexes. [28]

II. 3.1) Domaines d'application de la MEF :

- Problèmes d'équilibre et statique : dans lequel le comportement du système ne varie pas avec le temps.
 - Problèmes de dynamiques et de stabilité (valeurs propre) : ce sont des extensions des problèmes d'équilibre pour les quelles des valeurs spécifiques ou critiques de certains paramètres sont déterminés.
 - Problème de propagation : ils concernent les problèmes où les phénomènes dont le comportement est dépendant du facteur temps.
- [29]

Spécialité	Problèmes d'équilibre	Problèmes de valeurs propres	Problèmes de propagation
Génie civil - Structure	Analyse statique de structures : treillis, portiques, plaques, coques, voiles, ponts, béton précontraint	Fréquences et modes propres et stabilité des structures	Réponse des structures à des charges accidentelles (séisme, incendie)
Géotechnique	Analyse des excavations, Stabilité des talus, murs de soutènement, interaction sol-structure, analyse des contraintes dans les sols.	Fréquence et modes propres des ouvrages enterrés et semi-enterrés, et problèmes d'interaction sol-structure	Problèmes de sol-structure dépendant du temps, Propagation de contraintes dans les sols et les roches
Hydraulique	Analyse d'écoulements potentiels, d'écoulements à surfaces libres, écoulement visqueux. Analyse de structures	Périodes et modes propres de bassins superficiels, digues, mouvement des liquides dans des bacs (conteneurs) rigides ou flexibles.	Analyse de problèmes d'écoulements turbulents et propagation d'ondes. Ecoulements hydrodynamiques
Génie mécanique	Problèmes de concentration de	Fréquence propres de	Problèmes de fissures et de

CHAPITRE II : METHODE DU DIMENSIONNEMENT DES PAROIS MOULEES

	contraintes. Analyse de contrainte de pistons, de matériaux composites, etc.	vibration et stabilité des machines	fractures sous charges dynamiques
Biomédical	Analyse de contrainte dans les OS, les dents. implants et prothèses.	- ---- _____ --- -	Analyse d'impact sur le crane. Dynamiques de structures anatomiques.

Tableau II.2 : Suivant résume ces types d'applications [29]

II. 3.2) Les principes fondamentaux de la méthode la plus courante sont les suivants :

- Le milieu est considéré bidimensionnel.
- le milieu contenu est divisé par des lignes imaginaires, qui forment à leur tour les limites des éléments finis, où ces éléments doivent être reliés entre eux par un nombre limité de points nodaux situés sur leurs frontières, le rôle des points nodaux étant de transférer les efforts d'un élément un autre.
 - Une fonction de forme permet de définir d'une manière unique le champ des Déplacements à l'intérieur de chaque élément fini en fonction des déplacements de ces points nodaux.
 - Les fonctions de déplacements définissent donc sans ambiguïté l'état de déformation à l'intérieur d'un élément en fonction de déplacements nodaux, et par suite, compte tenu des Propriétés rhéologiques du matériau, l'état de contrainte (état de contrainte de l'élément Est défini en un ou plusieurs points de l'élément appelés des «points d'intégration »
 - A partir de ces fonctions de déplacements et des lois rhéologiques adoptées, on détermine Une relation de raideur qui à tout champ de déplacement sur le solide (défini par les Composantes du vecteur déplacement $\{U\}$ au niveau des nœuds de la structure ou solide) fait Correspondre un champ de sollicitation défini par les composantes du vecteur force $\{F\}$ au Niveau des nœuds. Cette relation s'écrit :

$$\{F\} = [K']\{U\}$$

Où :

$[K']$: Matrice carrée de la rigidité qui, une fois déterminée permet de résoudre le système linéaire $\{F\} = [K']\{U\}$ où les inconnues sont les composantes de $\{U\}$ des déplacements nodaux (si l'une des composantes est imposée par les conditions aux limites, elle sera remplacée par la réaction qui en résulte).

CHAPITRE II : METHODE DU DIMENSIONNEMENT DES PAROIS MOULEES

Tout chargement se traduit par des vecteurs de forces nodales $\{F\}$ lorsqu'il s'agit d'incrément de charges, les déplacements sont des incréments qui s'ajoutent aux

déplacements obtenus lors de l'incrément précédent, il en est de même pour les contraintes. [30]

II. 3.3) Le principe des travaux virtuels :

$$W = - \int \{\delta \varepsilon\}^t [H] \{\varepsilon\} dv + \int \{\delta u\}^t \{f_s\} ds + \int \{\delta u\}^t \{f_v\} dv = 0$$

Pour résoudre un problème par la méthode des éléments finis, il existe deux modèles :

Model force ou les forces sont les inconnues

Model déplacement ou les déplacements sont les inconnues c'est le model le plus utilisés, on peut voir ces étapes par la suite :

- **Etape 1** : le remplacement de la géométrie réelle (initiale) de domaine de volume V par ensemble de sous domaines (prédéfini) à condition de recouvrir au mieux la géométrie initial de sorte qu'il n'y ait pas de faille, pas de recouvrement (défaut de maillage).
- **Etape 2**: la présentation de la géométrie dans chaque sous domaine :

$$\vec{X}\{x,y,z\} = [N] \cdot \{x_i\}$$

Où:

X, y, z : la position réelle de domaine initial de volume V .

x, y et z : pour la détermination de la direction de déplacement selon les axes.

$[N]$: fonction d'interpolation (fonction de forme).

x_i : Position de volume V_e de chaque élément.

- **Etape 3** : le remplacement de déplacement réel par le déplacement de chaque élément :

$$\{U\} = [N] \cdot \{U_e\}$$

Où:

$\{U\}$: déplacement réel.

$[N]$: fonction de forme.

$\{U_e\}$: déplacement de l'élément. [31]

II. 3.4) Fonction de base :

La M.E.F consiste à restreindre la connaissance de déplacement U, V et W en chaque point du volume à seulement la connaissance de ces valeur en nœuds en suite a interpolé entre ces point pour avoir le déplacement en tout point.

La méthode la plus simple est l'emploi des polynômes de Lagrange. Dans cette méthode, les Fonctions de base valent 1 à un nœud et 0 à tous les autres. La fonction de forme N est

CHAPITRE II : METHODE DU DIMENSIONNEMENT DES PAROIS MOULEES

alors la Fonction valant 1 au nœud i et 0 sur les autres nœuds et elle est polynomiale sur chaque élément.

On appelle élément, la donnée d'une géométrie (souvent polygonale en **2D**, polyédrique en **3D**) et des fonctions de base associées à cette géométrie c'est - à - dire pour minimiser l'erreur on doit augmenter le degré de liberté **DDL** en chaque nœud ou bien augmenter le nombre de nœud.

D'autres solutions peuvent exister pour les fonctions de forme. On cite ici un seul exemple des éléments finis d'Hermite qui ont la particularité d'avoir deux fonctions de base associées à chaque nœud. Dans cette version, la valeur de la solution est ajustée avec la première fonction alors que la deuxième permet d'ajuster la valeur de la dérivée. Ce type de fonctions de base peu t avoir un intérêt pour la résolution de certaines équations aux dérivées partielles (par exemple l'équation des plaques en mécanique des milieux continus), même si elle nécessite d'avoir deux fois plus de fonctions pour un maillage donné. [32]

II .3.5) Choix du maillage :

La méthode des éléments finis repose sur un découpage de l'espace selon un maillage. D'habitude, l'on choisit un maillage carré ou triangulaire mais rien n'interdit de choisir des Maillages plus complexes. Il n'est pas non plus nécessaire que le maillage soit régulier et l'on a tendance à resserrer le maillage près des endroits d'intérêt (par exemple aux endroits où l'on pense que la solution va beaucoup varier). Cependant, il faut veiller à avoir des éléments faiblement distordus (se rapprocher d'un polygone régulier).

Plus ce maillage est resserré, plus la solution que l'on obtient par la méthode des éléments finis sera précise et proche de la « vraie » solution de l'équation aux dérivés partielles.

Dans le cas de notre étude on utilisé le logiciel Plais qui s'articule sur deux types d'éléments,

Tout deux triangulaire à 6 nœud et 15 nœuds un élément triangulaire. L'élément à 15 nœud est celui qu'on adopté pour notre étude, et ce, pour sa haute performance.

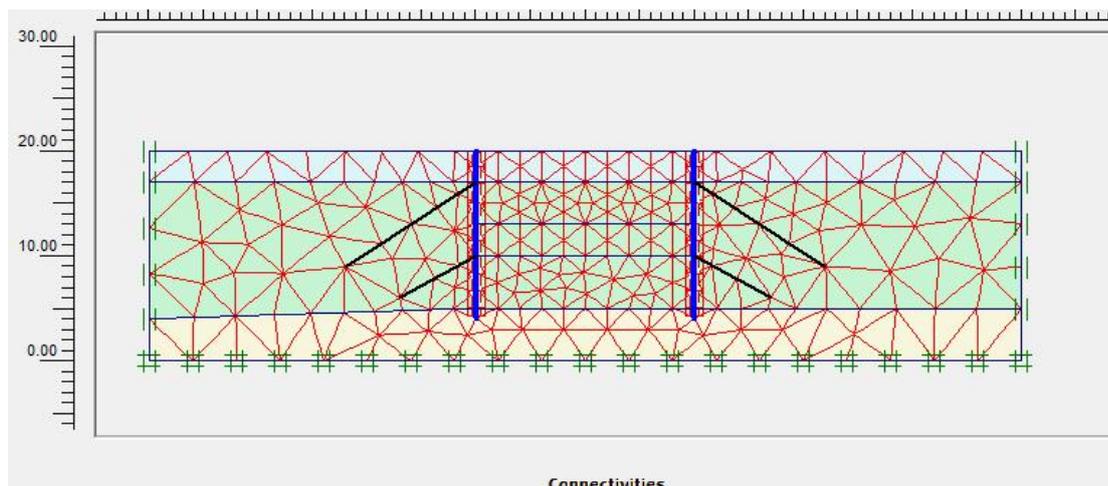


Figure II.1: Exemple de maillage

CHAPITRE II : METHODE DU DIMENSIONNEMENT DES PAROIS MOULEES

II .3 .6) Modélisation de système en élément fini :

La variation du module de Young avec la profondeur est relativement facile à prendre en compte avec la méthode des éléments finis. Il suffit en pratique de découper le sol en couches

Horizontales de modules constants et d'épaisseurs croissantes. (La figure I.1) montre le dessin du maillage utilisé qui représente la moitié du milieu semi-infini.[33]

II .3 .7) Application aux calculs des ouvrages souterrains :

II .3.7 .1) Programmes généraux :

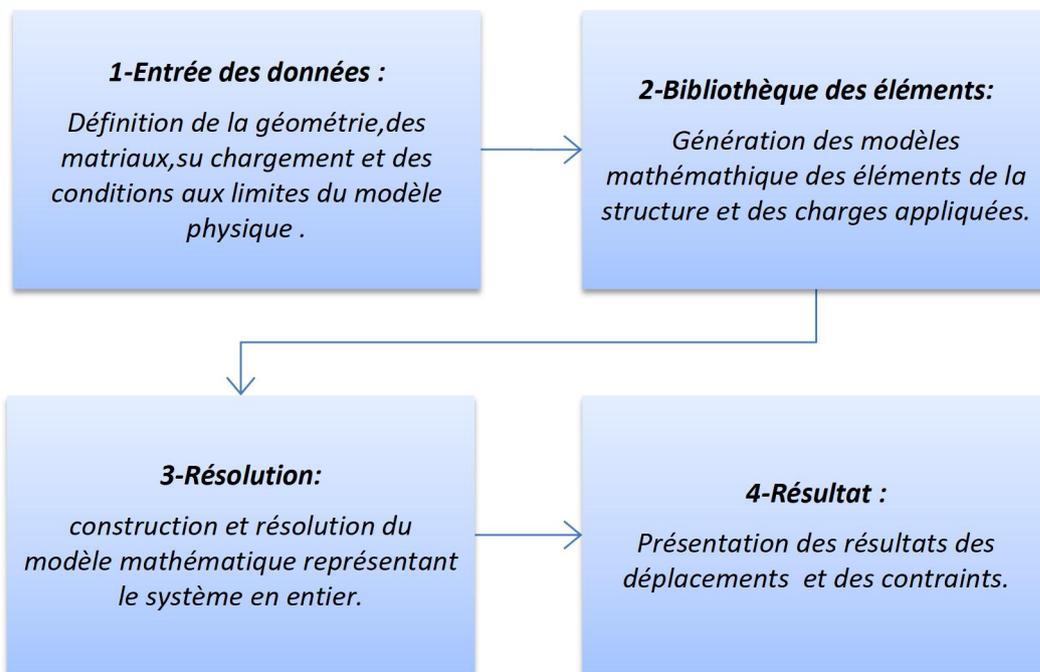


Figure II.2: Organigramme des programmes généraux

II .3 .7.2) Fonction d'interpolation pour les éléments triangulaires :

Pour les éléments triangulaires, il y a deux coordonnées locales (ξ et η). Dans l'addition nous employons la coordonnée auxiliaire $\zeta=1-\xi-\eta$. Pour les triangles de 15 Nœuds, les fonctions de forme peuvent être écrites comme suit:

$$N1 = \zeta (4\zeta - 1) (4\zeta - 2) (4\zeta - 3) / 6$$

$$N2 = \xi (4\xi - 1) (4\xi - 2) (4\xi - 3) / 6$$

CHAPITRE II : METHODE DU DIMENSIONNEMENT DES PAROIS MOULEES

$$N3 = \eta (4\eta - 1) (4\eta - 2) (4\eta - 3) / 6$$

$$N4 = 4 \zeta \xi (4\zeta - 1) (4\xi - 1)$$

$$N5 = 4 \xi \eta (4 \xi - 1) (4\eta - 1)$$

$$N6 = 4 \eta \zeta (4 \eta - 1) (4\zeta - 1)$$

$$N7 = \zeta \xi (4\zeta - 1) (4\zeta - 2) * 8/3$$

$$N8 = \xi \zeta (4\xi - 1) (4\xi - 2) * 8/3$$

$$N9 = 4 \eta \xi (4\xi - 1) (4 \xi - 2) * 8/3$$

$$N10 = \xi \eta (4 \eta - 1) (4\eta - 2) * 8/3$$

$$N11 = \zeta \eta (4 \eta - 1) (4\eta - 2) * 8/3$$

$$N12 = \eta \zeta (4\zeta - 1) (4 \zeta - 2) * 8/3$$

$$N13 = 32 \eta \xi \zeta (4 \eta \zeta - 1)$$

$$N14 = 32 \eta \xi \zeta (4 \xi - 1)$$

$$N15 = 32 \eta \zeta \xi (4 \eta - 1)$$

II .3 .7.3) Intégration numérique des éléments linéaires :

Afin d'obtenir l'intégrale au dessus d'une certaine ligne ou secteur l'intégrale est Numériquement estimée comme:

$$\int F(\xi_i) d\xi \approx \sum F(\xi_i) W_i \quad (4.5)$$

Ou : $F(i)$ est la valeur de fonction F de forme au point i et W_i représente le facteur de poids Pour le point i , un nombre total k de point d'intégration sont considérés.

Ou : $F(i)$ est la valeur de fonction F de forme au point i et W_i représente le facteur de poids Pour le point i , un nombre total k de point d'intégration sont considérés.

- Ces méthodes sont fréquemment employées par le logiciel PLAXIS, à savoir :

La méthode d'intégration de Newton-cotes, ou les points ξ_i sont choisis aux nœuds

La méthode d'intégration de gauss qui considère cinq points d'intégration à l'intérieure de l'élément triangulaire ce qui permet une meilleure précision et une exactitude élevée

Les facteurs de position et de poids pour les deux types d'intégration sont donnés par les

CHAPITRE II : METHODE DU DIMENSIONNEMENT DES PAROIS MOULEES

Tableaux suivantes :

Nombre des Nœuds	i	W _i
1	±1	1
2	±1,0	1/3,4/3
3	±1, ±1/3	1/4,3/4
4	±1, ±1/2,0	7/45,32/45,12/45

Tableau. II. 3). La méthode d'intégration de Newton-cotes

Nombre des points	ξ _i	W _i
1	0.00000	2
2	±0,577350... (±√3)	1
3	±0,774596... (±√0,6) 0,00000	0,55555... (5/9) 0,88888... (8/9)
4	±0,861136.... ±0,339981....	0,347854... 0,652145
5	±0,906179 ±0,538469 0,000000	0,236956... 0,478628... 0,56888...

Tableau .II.4. La méthode d'intégration de Gauss

L'intégration de Newton-Cotes peut intégrer exactement des fonctions de polynomial D'un ordre au –dessous du nombre de points considérés. En ce qui concerne, l'intégration de Gauss, la fonction polynomial de degré **2k-1**, peut être intégrée exactement en supposant k Points.

II. 3. 7.4) Intégration numérique des éléments triangulaires :

Comme pour les éléments linéaires l'intégration pour élément triangulaire est donnée par :

$$\iint F(\xi, \eta) d\xi d\eta \approx \sum \xi_{i, \eta i} W_i$$

PLAXIS utilise l'intégration gaussienne pour les éléments triangulaires .en ce qui concerne L'élément triangulaire à 15 nœuds, il comporte 12 point d'intégration.

Afin de calculer les composants cartésiens des déformations à partir déplacements, tels que Formulé dans l'équation ($\epsilon = LNv = Bv$), sachant que ces dérivés doivent être considérées dans le système globale des axes (x, y, z)

$$\zeta = B_i V_i$$

CHAPITRE II : METHODE DU DIMENSIONNEMENT DES PAROIS MOULEES

Où :

L : opérateur différentiel

N : fonction de forme

v : valeur nodale du déplacement

B : matrice d'interpolation des déformations

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_i}{\partial y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial N_i}{\partial z} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} & \frac{\partial N_i}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_i}{\partial z} & \frac{\partial N_i}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial z} & 0 & \frac{\partial N_i}{\partial x} \end{bmatrix}$$

Dans les éléments, les dérivées sont calculées dans le système de coordonnées locales (ξ, ζ, η).

La relation entre les dérivées locales et globales introduit le jacobin:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial \xi} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \eta} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \zeta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial \xi} & \frac{\partial y}{\partial \xi} & \frac{\partial z}{\partial \xi} \\ \frac{\partial x}{\partial \eta} & \frac{\partial y}{\partial \eta} & \frac{\partial z}{\partial \eta} \\ \frac{\partial x}{\partial \zeta} & \frac{\partial y}{\partial \zeta} & \frac{\partial z}{\partial \zeta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial \xi} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \eta} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \zeta} \end{bmatrix} = \mathbf{J} \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial \xi} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \eta} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \zeta} \end{bmatrix}$$

Ou inversement :

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial z} \end{bmatrix} = \mathbf{J}^{-1} \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial \xi} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \eta} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \zeta} \end{bmatrix}$$

Les dérivés locaux $\partial N_i / \partial \xi$, etc...., peuvent facilement être dérivés des fonctions de forme de l'élément, puisque les fonctions de forme sont formulées dans des coordonnées locales. Les composants du Jacobin sont obtenus à partir des différences dans des coordonnées nodales.

L'inverse du Jacobin \mathbf{J}^{-1} est obtenu en inversant numériquement **J**.

CHAPITRE II : METHODE DU DIMENSIONNEMENT DES PAROIS MOULEES

Les composantes cartésiennes des déformations peuvent être calculées par sommation de toutes les contributions nodales.

$$\begin{bmatrix} \xi_{xx} \\ \xi_{yy} \\ \xi_{zz} \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \end{bmatrix} = \sum B_i \begin{bmatrix} v_{x,i} \\ v_{y,i} \\ v_{z,i} \end{bmatrix}$$

Où :

v_i : sont les composants des déplacements dans le $I^{ème}$ noeud.

Pour une analyse en état plan de déformation, la composante de la déformation dans la direction

De l'axe Z est nulle, c'est-à-dire :

$$\xi_{zz} = \gamma_{yz} = \gamma_{zx} = 0$$

Pour une analyse axisymétrique, les conditions suivantes s'appliquent :

$$\xi_{zz} = U_x/r \text{ et } \gamma_{yz} = \gamma_{zx} = 0 \text{ (r = rayon).}$$

II.3. 7.5) Calcul de matrice de rigidité d'élément :

La matrice de rigidité élémentaire K^e calculée par intégration :

$$K^e = \int B^T D^e B \, dv$$

L'intégrale est estimée par l'intégration numérique comme décrite dans la section 5.5.3. En fait, la matrice de rigidité d'élément se compose de sous matrices K_{ij} , où : i et j sont les nœuds locaux.

Le processus de calcul la matrice de rigidité élémentaire d'élément peut être exprimé par :

$$K_{ij} = \sum B_i^t D^e B_j W_k \text{ [34]}$$

II.4) METHODE DE ROWE :

On utilise fréquemment les parois moulé pour réaliser des rideaux ou butonnés servant de murs de quai maritimes ou fluviaux, de défenses de berge, de batardeaux en rivière permettant l'exécution à sec d'une écluse ou d'une fondation d'un pont.

Les méthodes classiques de calcul font toutes l'hypothèse d'un comportement plastique du sol. Elles admettent que les deux faces du rideau sont soumises à des poussées et butées correspondant aux équilibres limites du sol. Elles se divisent en deux classes :

-Les unes supposent que le rideau des parois est simplement buté en pied, ce qui signifie que les parois sont faiblement fichées et qu'il n'y pas l'encastrement

CHAPITRE II : METHODE DU DIMENSIONNEMENT DES PAROIS MOULEES

-Les autres font l'hypothèse d'un encastrement vertical en pied et sont valables pour les sols Pulvérulents.

L'objet de cette notice est limité à l'exposé de deux méthodes théoriques de calcul:

-La méthode de ROWE appartient à la première classe

-

La méthode de BLUM appartient à la deuxième classe

II-4-1) La méthode de ROWE ou des moments réduits :

La méthode utilise dans un premier temps le calcul très classique de rideau ancré simplement buté de pied.

On détermine la fiche de la paroi en écrivant l'équation d'équilibre des moments par rapport du point d'ancrage à des pressions des terres exercées sur le rideau.

Cas d'un sol pulvérulent homogène :

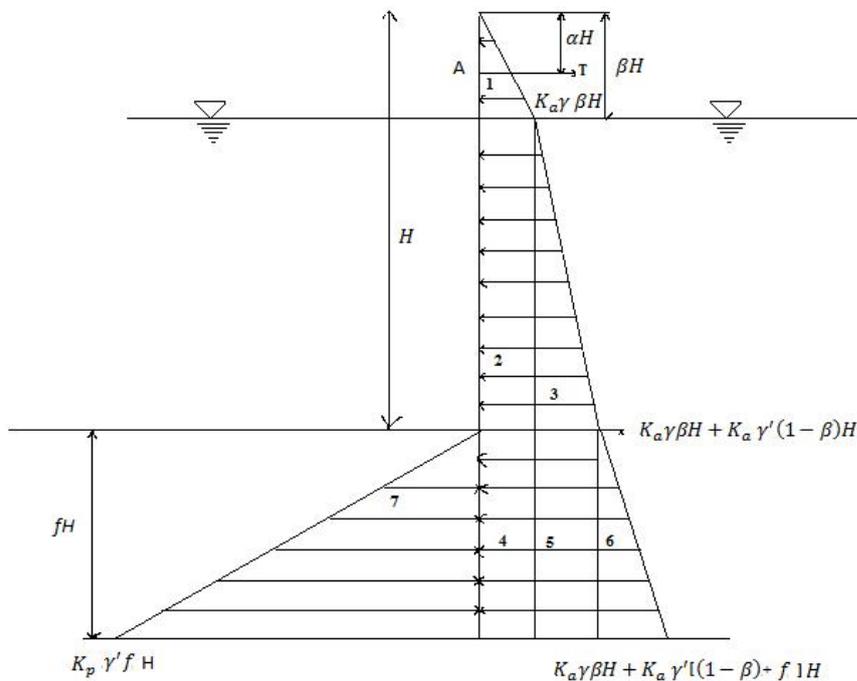


Figure II -3: Calcul d'un rideau ancré simplement buté en pied dans un sol pulvérulent homogène ($C=0$, $\phi=0$)

-La figure 1 donne les forces à considérer. Le tableau ci-dessous examine pour chacune d'entre elles les bras de levier par rapport à A et les moments résultants.

CHAPITRE II : METHODE DU DIMENSIONNEMENT DES PAROIS MOULEES

La poussée et la butée s'exerçant sur le rideau sont déterminées à partir des coefficients K_a relatif à la poussée, K_p relatif à la butée, lus dans les tables de CAQUOT-KERISEL, en prenant en compte un angle de frottement sol-rideau égal à $\delta = \frac{2}{3}$ pour la poussée, et un angle $\delta = 0$ pour la butée. Par ailleurs, on adopte pour coefficient de sécurité sur la butée F , $F = 1,5$.

$\frac{\text{force}}{H^2}$	$\frac{\text{Bras de levier}}{H}$	$\frac{\text{Moment par rapport à A}}{H^3}$	Surface n°
$\frac{1}{2}K_a \gamma B^2$	$\frac{2}{3}B - 6$	$\frac{1}{6}K_a B^2 (2B - 3\alpha)$	1
$K_a \gamma B (1 - B)$	$\frac{1 - B}{2} + B - 6$	$\frac{1}{2}K_a \gamma B (1 - B)(1 + B - 2B)$	2
$\frac{1}{2}K_a \gamma' (1 - B)^2$	$\frac{2}{3}(1 - B) + B - \alpha$	$\frac{1}{6}K_a \gamma' (1 - B)^2 (2 + B - 3\alpha)$	3
$K_a \gamma B f$	$\frac{F}{2} + 1 - \alpha$	$\frac{1}{2}K_a \gamma B (2 - 2\alpha + F)F$	4
$K_a \gamma (1 - B) f$	$\frac{F}{2} + 1 - \alpha$	$\frac{1}{2}K_a \gamma' (1 - B)(2 - 2\alpha + F)F$	5
$+\frac{1}{2}K_a \gamma' f^2$	$\frac{2}{3}F + 1 - \alpha$	$\frac{K_a \gamma' F^2}{6} (2f + 3 - 3\alpha)$	6
$-\frac{1}{2} \frac{K_a}{f} \gamma' f^2$	$\frac{2}{3}F + 1 - \alpha$	$-\frac{1}{6} \frac{K_p}{F} \gamma' (3 - 3\alpha + 2F)F^2$	7

On en déduit l'équation d'équilibre traduisant que le moment ces forces par rapport au point A est nul:

$$-2 \left(\frac{K_p}{F} - K_a \right) \gamma' F^3 + 3 \left[K_a \gamma B + K_a \gamma' (2 - \alpha - B) - \frac{K_p}{F} \gamma' (1 - \alpha) \right] + 6K_a (1 - \alpha) \left[\gamma' (1 - B) + \gamma^B \right] F + K_a \gamma (3B - 6\alpha B + 3\alpha B^2 - B^3) + K_a \gamma' (1 - B^2) (2 + B - 3\alpha) = 0$$

La fiche est la racine positive F_0 de cette équation de 3^{ème} degré.

Connaissant f , l'équation d'équilibre statique des forces permet de déterminer la force d'ancrage. On obtient l'équation :

$$\frac{T_0}{H^2} = \frac{1}{2} K_a \gamma B (2 - B + 2 F_0) + \frac{1}{2} K_a \gamma' [(1 - B)^2 + 2 F_0 + F_0^2] - \frac{1}{2} \frac{K_p}{F} \gamma' F_0$$

On adopte alors pour effort d'ancrage T la valeur :

$$T = 1,3 T_0$$

Le dimensionnement du module de la palplanche se fait en recherchant le point d'effort tranchant nul, correspondant au maximum du moment fléchissant.

CHAPITRE II : METHODE DU DIMENSIONNEMENT DES PAROIS MOULEES

ROWE propose de dimensionner la paroi à partir d'un moment M_r inférieur à M_{max} , ceci afin de tenir compte de la flexibilité du rideau.

Il se réfère à des essais sur modèle qui lui ont permis d'établir l'abaque suivant donnant le facteur de réduction $\frac{M_r}{M_{max}}$ en fonction de la flexibilité définie par le coefficient:

$$P = \frac{L^4}{EI}$$

L = longueur totale de la paroi $L = (1+f) H$, exprimée en mètres

E = module d'élasticité de l'acier exprimé en kg/mm^2 ($21.000kg/mm^2$).

I = module d'inertie de la paroi exprimé en cm^4

On procède alors en essayant divers profils correspondant à des inerties I différentes. On adopte en général une contrainte admissible σ_{adm} égale au $2/3$ de la limite élastique de l'acier utilisé.

On obtient la relation entre le module n de la paroi et le moment réduit M_r :

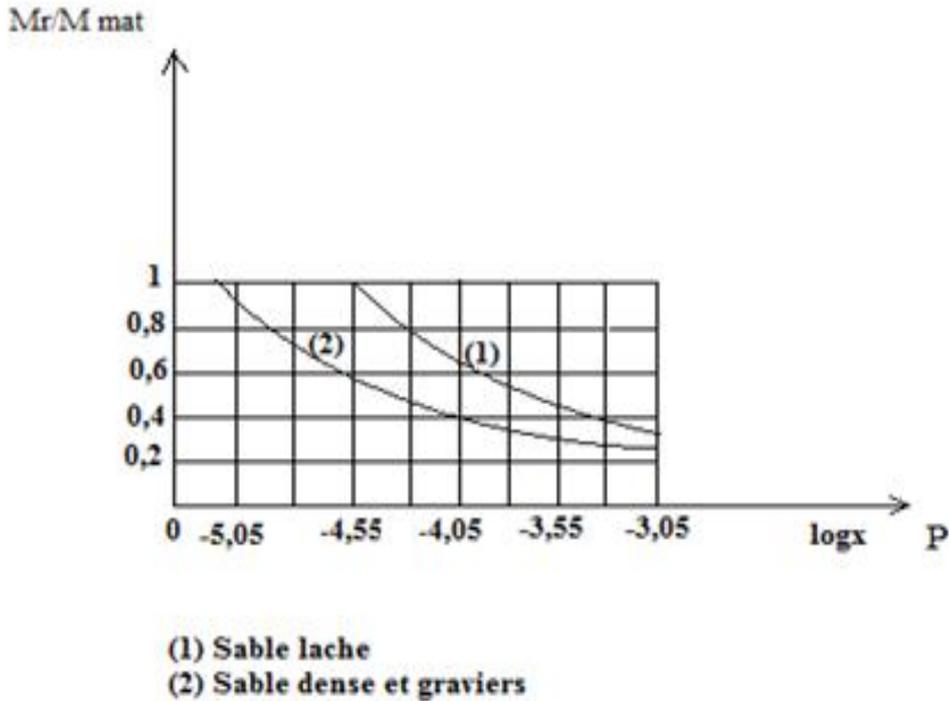
$$M = \frac{I}{V} = \frac{M_r}{\sigma_{adm}}$$

Abaque de ROWE pour la détermination du Moment réduit M_r

$$P = \frac{L^4}{EI}$$

- **L** en mètres
- **E** en hectobar
- **I** en cm^4

CHAPITRE II : METHODE DU DIMENSIONNEMENT DES PAROIS MOULEES



II .5) PRESENTATION DE L'OUTIL DE SIMULATION NUMERIQUE:

Le code géotechnique bidimensionnel PLAXIS a d'abord été développé à l'université

La technique de Delft en 1987 pour l'analyse des barrages en sols mous (argileux). À

Au fil des ans, PLAXIS s'est étendu à la plupart des autres domaines technologiques

Géotechnique, PLAXIS b.v. a été fondée en 1993. En 1998, le premier La version PLAXIS est publiée pour Windows, elle peut résoudre divers problèmes comme les fondations peu profondes, les murs de soutènement, les remblais et les excavations.

Dans le même temps, la version 3D a été traitée en informatique atomique. Après plusieurs

Après des années de développement, le programme PLAXIS 3D Tunnel est sorti en 2001.

CHAPITRE II : METHODE DU DIMENSIONNEMENT DES PAROIS MOULEES

II.5.1) Définition :

PLAXIS est un programme d'éléments finis bidimensionnel spécialement conçu

Effectuer des analyses de déformation et de stabilité pour différents types d'applications

Géotechnique Il peut être utilisé pour analyser des problèmes élastiques, élastoplastiques, élastoviscoplastiques.

L'algorithme général du code PLAXIS consiste à résoudre un système d'équations algébriques un processus itératif non linéaire pour déterminer les champs de déplacement

Différents nœuds, champs de contraintes et états du réseau novateur.

PLAXIS se compose de **quatre sous-programmes** (entrée, calculs, sortie et courbes).

II.5.2) Les sous programme du Plaxis :



II.5.2.1) Input :

Pour effectuer une analyse par éléments finis avec PLAXIS, l'utilisateur doit faire ceci

Créer un modèle numérique et définissez les propriétés des matériaux et les conditions aux limites.

Cela se fait via le programme d'entrée (Input).

Pour créer un modèle d'éléments finis, l'utilisateur doit créer un modèle géométrique avec deux dimensions composées de points, de lignes et d'autres composants. Génération en ligne les propriétés et les conditions aux limites appropriées sont mises en œuvre élément

par élément automatiquement avec le mailleur PLAXIS du modèle géométrique entré auparavant. Les utilisateurs peuvent également modifier le maillage des éléments finis améliorer ses performances. La dernière partie de la saisie des données implique la génération

Des pressions interstitielles et les contraintes effectives pour déterminer l'état initial. Il est recommandé de sélectionner lors de la création d'un modèle géométrique dans le

CHAPITRE II : METHODE DU DIMENSIONNEMENT DES PAROIS MOULEES

programme d'entrée différents éléments dans l'ordre indiqué dans la deuxième barre d'outils (de gauche vers la droite). Fondamentalement, vous devez d'abord dessiner des contours géométriques, ajouter des calques sol, les éléments structure, les couches à construire,

Définition des conditions aux limites, et enfin les chargements. La barre d'outils suit cette logique. Elle est un véritable guide à travers le programme Input; il assure le traitement de toutes les données à traiter.



II.5.2.2) Calculs :

Une fois le modèle d'élément défini, les calculs réels peuvent être effectués effectués

Cependant, il est nécessaire de prédéfinir le type et les cas de calculs à effectuer étapes de chargement ou de construction applicables.

Nous travaillons grâce au programme de calcul (Calculation).

PLAXIS permet différents types de calculs par éléments finis. Programme de calcul n'est valable que pour l'analyse des déformations et permet le calcul plastique (Plastic Calculation), analyse de consolidation (Consolidation Analysis), calcul facteurs de sécurité (Phi-C Réduction) ou calcul dynamique (Dynamics Calculation).



II .5.2.3) Résultats :

Les principaux résultats du calcul par éléments finis sont les déplacements aux nœuds et stress aux points de tension. De plus, si le modèle d'élément contient éléments structuraux, les forces sont calculées dans ces éléments. Il existe un large choix d'outils.

PLAXIS fournit une analyse par éléments finis pour afficher les résultats.



II.5.2.4) Courbes :

Le programme Courbes peut être utilisé pour créer des courbes charge ou temps-déplacement, des courbes contrainte-déformation, des trajectoires de contrainte ou déformation des points géométriques sélectionnés. Ces courbes représentent le

CHAPITRE II : METHODE DU DIMENSIONNEMENT DES PAROIS MOULEES

Développement à différentes étapes du calcul et donne un aperçu du comportement général et celle du sous-sol

Les applications géotechniques nécessitent des lois de comportement complexes simulation du comportement du sol et/ou de la roche, non linéaire et dépendant du temps et anisotropique

II .5. 3) Les modèles de comportements intègres dans Plaxis :

II .5. 3. 1) Modèle élastique linéaire :

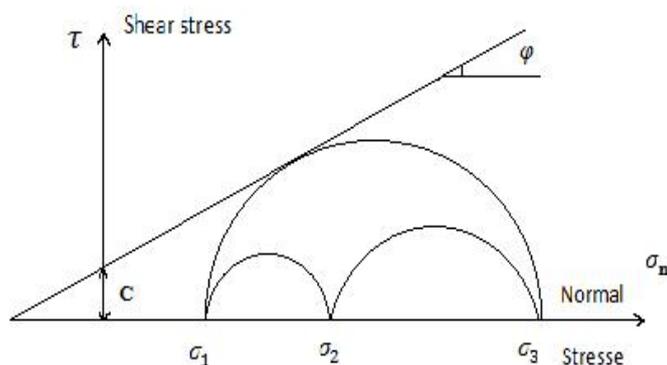
Le modèle élastique utilisé dans Plaxis est classique, il représente la loi de Hooke élasticité linéaire et isotrope. Il a deux paramètres de rigidité élastique, module Rapport de Young et Poisson Ce modèle est très limité dans la simulation du comportement du pays Il est principalement utilisé dans les structures posées au sol.

II .5. 3. 2) Modèle de MOHR-COULOMB :

Le modèle de Mohr-Coulomb demande la détermination de cinq paramètres

Les deux premiers sont E (module d'Young) et ν (rapport de Poisson) (paramètres élastiques). Les deux autres sont respectivement la cohésion C et l'angle de frottement ϕ . Ce sont des paramètres géotechniques classiques, certes souvent obtenus lors d'essais en laboratoire, mais qui sont nécessaires aux calculs de déformation ou de stabilité.

Figure II-4) : Courbe intrinsèque du modèle de Mohr-Coulomb



CHAPITRE II : METHODE DU DIMENSIONNEMENT DES PAROIS MOULEES

a) Le module de Young E:

Le choix d'un module de déformation est un des problèmes les plus difficiles en géotechnique. Le module de déformation varie en fonction de la déformation et en fonction de la contrainte moyenne.

Dans le modèle de Mohr-Coulomb, le module est constant. Il paraît peu réaliste de considérer un module tangent à l'origine (ce qui correspondait au G_{max} mesuré dans des essais

Dynamiques ou en très faibles déformations). Ce module nécessite des essais spéciaux. Il est

Conseillé de prendre un module « moyen », par exemple celui correspondant à un niveau de 50%

Du déviateur de rupture (**Figure II.4**).

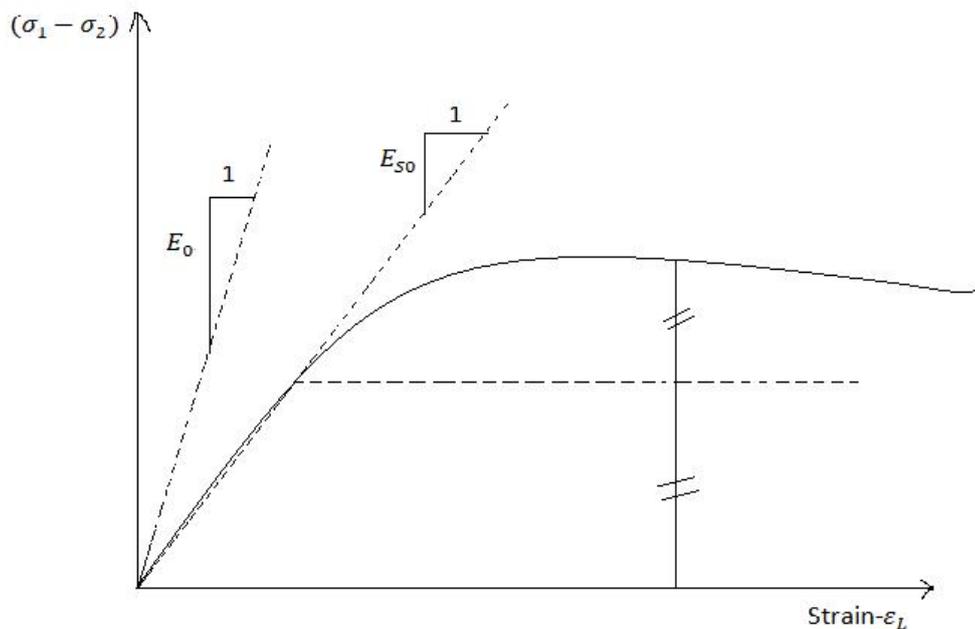


Figure II-5) :Définition du module à 50% de la rupture.

a) Le coefficient de poisson ν :

Nous recommandons un coefficient de Poisson entre 0,2 et 0,4. C'est réaliste application d'un poids mort (procédure K0 ou charge gravitaire). Pour certaines

52

CHAPITRE II : METHODE DU DIMENSIONNEMENT DES PAROIS MOULEES

personnes des valeurs inférieures peuvent être utilisées en cas de problème, notamment lors du déchargement. Aux étages incompressibles, le coefficient de Poisson tend vers 0,5 sans que cette valeur soit utile.

c) Angle de frottement ϕ :

Plaxis ne prend pas en compte le changement de l'angle de frottement avec la contrainte moyenne. L'angle de frottement à entrer est soit l'angle de frottement "de pic" soit l'angle de frottement des roulements. L'attention est attirée sur le fait que les angles de frottement sont supérieurs à 45° peut augmenter considérablement le temps de calcul. Il serait peut-être judicieux de commencer calculs avec des valeurs d'angle de frottement acceptables, quitte à les ajouter ultérieurement. Cette valeur de 45° est compatible avec les angles de frottement ϕ_{cv} (à volume constant, au palier)

b) Cohésion c :

Même la fixation d'un matériau purement frottant avec une cohésion très faible peut être utile. (0,2-1 KPa) pour les questions numériques. Pour les analyses non drainées où $\Phi_u = 0$, Plaxis offre la possibilité de faire varier la cohésion non drainée avec la profondeur : cela correspond à une augmentation linéaire de la cohésion en fonction la profondeur ou la traînée maximale observée dans les profils des profils aérodynamiques pénétromètre Cette option est obtenue avec le paramètre c-depth. Une valeur de zéro donne une cohésion durable. Les unités doivent être homogènes avec le produit sélectionné problèmes (typiquement en KPa/m).

e) Angle de dilatation Ψ :

Le dernier paramètre est étiqueté angle de dilatation (Ψ); c'est le paramètre le moins courant. Cependant, cela peut être facilement estimé en utilisant la règle empirique suivante (grossière) :

$$\begin{aligned} \Psi &= \phi - 30^\circ \\ \Psi &= \phi - 30^\circ && \text{pour } \phi > 30^\circ \\ \Psi &= 0^\circ && \text{pour } \phi < 30^\circ \end{aligned}$$

Cas correspondant à du sable très meuble (condition souvent qualifiée de métastable, c'est-à-dire de liquéfaction statique). La valeur correspond pleinement à un matériau élastique plastique, qui n'existe donc pas ne se dilate pas lorsque le matériau atteint la plasticité. Cela s'applique souvent à l'argile ou pour les sables de faible ou moyenne densité avec des contraintes assez fortes.[36]



CHAPITRE III :
ETUDE PARAMETRIQUE

CHAPITRE III : ETUDE PARAMETRIQUE

III.1) Introduction :

. Dans cet exemple, on se propose d'étudier la réalisation d'une excavation protégée par une paroi moulée en béton sous l'effet des surcharges à différentes distances de la paroi appliquées sur le remblai. La paroi est ancrée par 2 niveaux de tirants précontraints. Le logiciel PLAXIS (version 8.2) permet de modéliser de manière détaillée ce type de problème. Cet exemple permet d'appréhender l'utilisation des tirants d'ancrage et de leur mise en précontrainte ainsi que l'effet des surcharges sur le soutènement.

III.2) Saisie des données :

L'excavation est large de 20 m et profonde de 10 m. Une paroi moulée en béton de 15 m de hauteur et d'épaisseur 0,35 m, est utilisée pour maintenir le sol. Deux lits de tirants d'ancrage sont employés de chaque côté de l'excavation pour assurer l'équilibre du mur. Les tirants du lit supérieur ont une longueur totale de 14,5 m et une inclinaison de 35° par rapport à l'horizontale. Les tirants du lit inférieur sont longs de 10 m. Ils sont inclinés à 43° par rapport à l'horizontale.

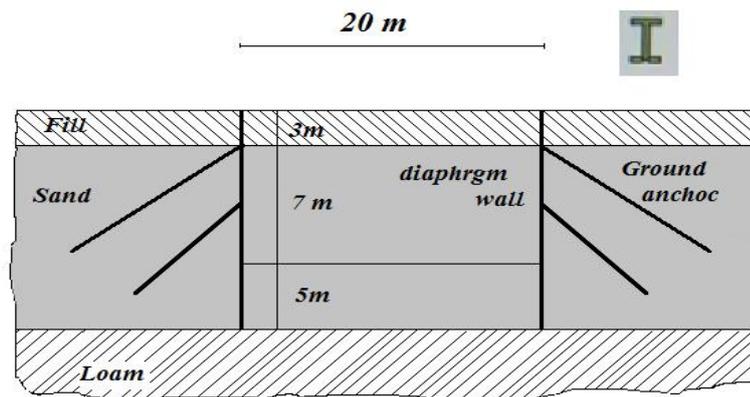


Figure III-1 : Excavation soutenue par des parois ancrées

Le sol est constitué de 3 couches :

- Trois mètres de remblai constitué de sable fin lâche (Fill),
- Douze mètres (de 3 m jusqu'à 15 m minimum, une couche plus ou moins homogène de sable dense (Sand). Cette couche est bien indiquée pour la mise en place des ancrages.

CHAPITRE III : ETUDE PARAMETRIQUE

- Sous la seconde couche de sable, une couche de limons (Loam) jusqu'à une forte profondeur. (Voir Modèle géométrique figure 1).

Le problème est modélisé par un modèle géométrique de 80 m de large sur 20 m de profondeur. Un exemple de modèle est proposé en Fig. 2. Un tirant d'ancrage peut être modélisé par l'intermédiaire d'un élément "node to node". L'élément "node to node" représente la partie libre en acier du tirant. Il faut donc considérer le comportement sol-Formation PLAXIS 101 - - ancrage de manière globale et garder à l'esprit que ce modèle ne permet probablement pas d'évaluer la force de traction limite de l'ancrage. La paroi moulée est modélisée par une poutre (plate). Des interfaces de part et d'autre de la poutre sont utilisées pour reproduire les effets d'interaction entre le sol et l'écran elles s'étendent jusqu'à 1m sous le mur.

A noter :

Il est recommandé de prolonger les interfaces dans les "angles" de structures de manière à assurer une "liberté" suffisante aux déformations et à obtenir une meilleure distribution de l'état de contrainte. Il est toutefois nécessaire de s'assurer que la raideur de la partie de l'interface 'étendue' est égale à celle du sol et que, la perméabilité de ce bout d'interface n'influence pas le champ d'écoulement (voir les propriétés de matériaux). L'excavation complète est réalisée en 3 étapes successives. Les 3 secteurs considérés sont définis par la mise en place de lignes géométriques (Geometry line). Sur cette base, créer le modèle géométrique tel qu'il est représenté sur la figure 2. Cliquer sur le bouton "Standard fixités" pour générer les conditions aux limites mécaniques appropriées.

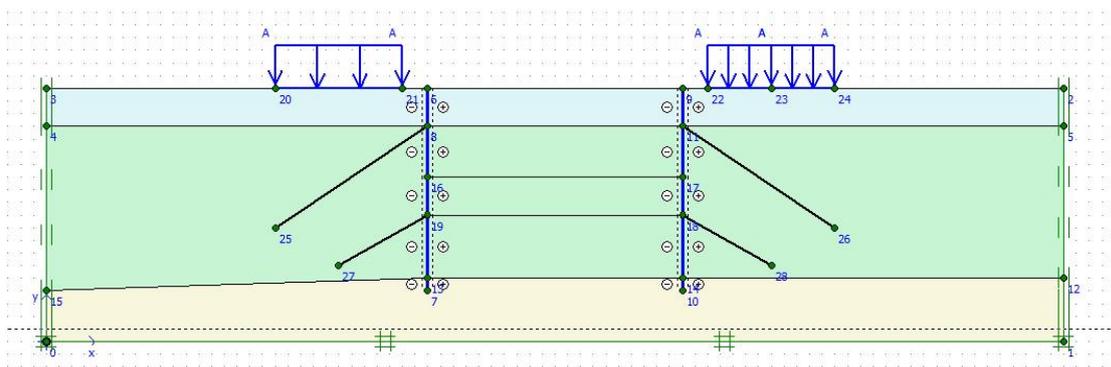


Figure III-2 : Modèle géométrique de calcul

CHAPITRE III : ETUDE PARAMETRIQUE

III.3) Propriétés des matériaux.

Le sol est constitué de 3 couches. Entrer les 3 jeux de données dans "Soil & Interfaces" avec les paramètres donnés dans le tableau 1. Notez que les valeurs de perméabilité ne correspondent pas aux valeurs par défaut. Les éléments poutres (Plate) utilisés pour modéliser la paroi moulée sont complètement perméables. Cependant, les interfaces autour de l'écran seront utilisées pour bloquer l'écoulement dans le mur lors des calculs d'écoulement (il faudra tenir compte du fait que "l'extension" de l'interface ne doit pas influencer sur le champ d'écoulement, voir la définition du phasage).

En ce qui concerne les portions d'interfaces situées sous la paroi, le "Strength réduction factor" doit être réglé sur "Rigide" (pas de réduction).

A noter :

'L'extension' de l'interface n'est pas utilisée pour l'interaction sol-structure et doit de ce fait, disposer des mêmes propriétés mécaniques que le sol environnant. Ceci est possible grâce à un "straight réduction factor" $R_{inter} = 1.0$ qui est automatiquement adopté lorsque "Rigide" est sélectionné. Si nécessaire, un jeu de données peut être créé spécialement pour l'extension d'interface, de manière à pouvoir affecter "Rigide".

paramètres	nom	Remblai Fill	Sable Sand	Limon Loam	unités
Modèle de comportement	Model	MC	MC	MC	-
Type de comportement	type	Draine	Draine	Draine	-
Poids volumique « non saturé »	γ_{usant}	16	17	17	KN/m ³
Poids volumique « saturé »	γ_{sat}	20	20	19	KN/m ³
Perméabilité horizontale	K_x	1	0,5	0,1	m/ Day
Perméabilité verticale	K_y	1	0,5	0,1	m/Day
Module d'Young	E_{ref}	8000	30000	20000	KN/m ²
Coefficient de poisson	ν	0,30	0,3	0,33	-
Cohésion	C_{ref}	1	1	8	KN/m ²

CHAPITRE III : ETUDE PARAMETRIQUE

Angle de dilataance	ψ	00	4	00	°
Facteur de raid de l'interface	R_{inter}	0,65	0,7	Rigide	-
Angle de frottement	φ	30	34	29	°

Tableau 1 : Propriétés des couches de sols et des interfaces

Les propriétés de la paroi moulée en béton sont introduites par le biais du type "Plate". Le module d'Young du béton est de 35 GPa. Le mur est épais de 35 cm (voir tableau 2).

Pour les tirants d'ancrage, il est nécessaire de définir à la fois les propriétés des éléments "node to node" (parties libres) et "Geogrille" (scellements). (Voir tableaux 3 et 4).

Il faut ensuite affecter les différents matériaux aux éléments géométriques correspondants (drag drop)

Paramètres	Nom	Valeurs	Unité
Type de comportement	Matériel type	Elastique	-
Raideur normale	EA	$12 \cdot 10^6$	KN/m
Produit D'inertie	EI	$0,1210^6$	KNm^2/m
Epaisseur équivalente	D	0,346	m
Poids	W	5,25	KN/m/m
Coefficient de poisson	ν	0,15	-

Tableau III-2 : Propriétés mécanique de la paroi moulée

Paramètres	Nom	Valeurs	Unités
Type de comportement	Matériel type	Elastique	-
Raideur normale	EA	$2 \cdot 10^5$	KN
Espacement	L_s	2,5	m
Force maximale	F_{max}	110^{15}	KN

Tableau III-3: Propriétés des éléments node-to-node

III.4) Génération du maillage :

Tout d'abord, réglez le paramètre "Global Coarseness" sur "Medium". Raffinez localement le maillage autour des 2 bulbes d'ancrage en sélectionnant les géotextiles (Shift + clic souris sur les éléments) et choisissez dans le menu "Mesh" la commande "Refine line". Il n'est pas forcément nécessaire d'effectuer la même opération autour de la paroi moulée : en effet, Plaxis v8 raffine automatiquement le maillage autour des poutres. Le processus de maillage aboutit à un maillage d'environ 370 éléments (figure3)

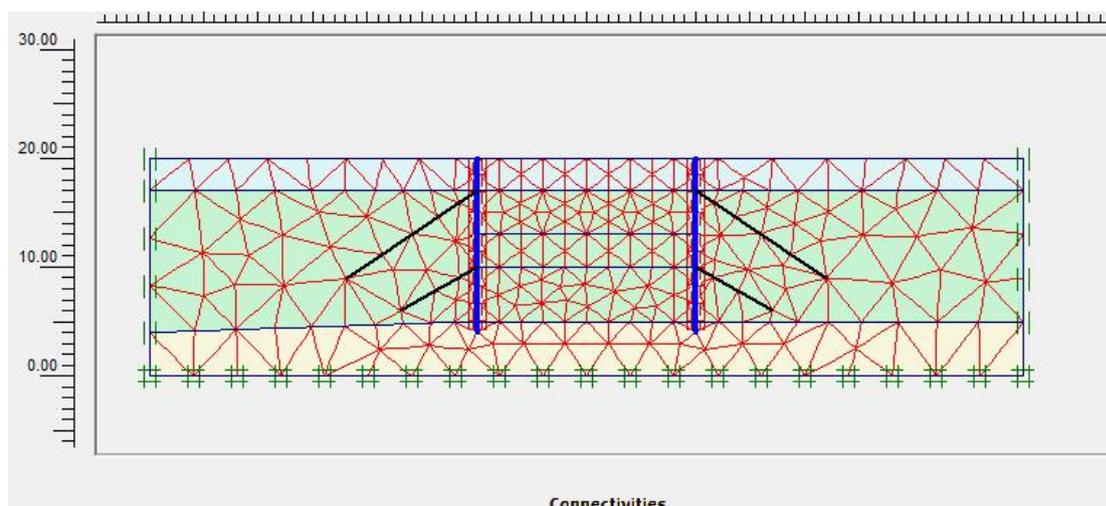


Figure III-3 : modèle de maillage

III.5) Conditions initiales :

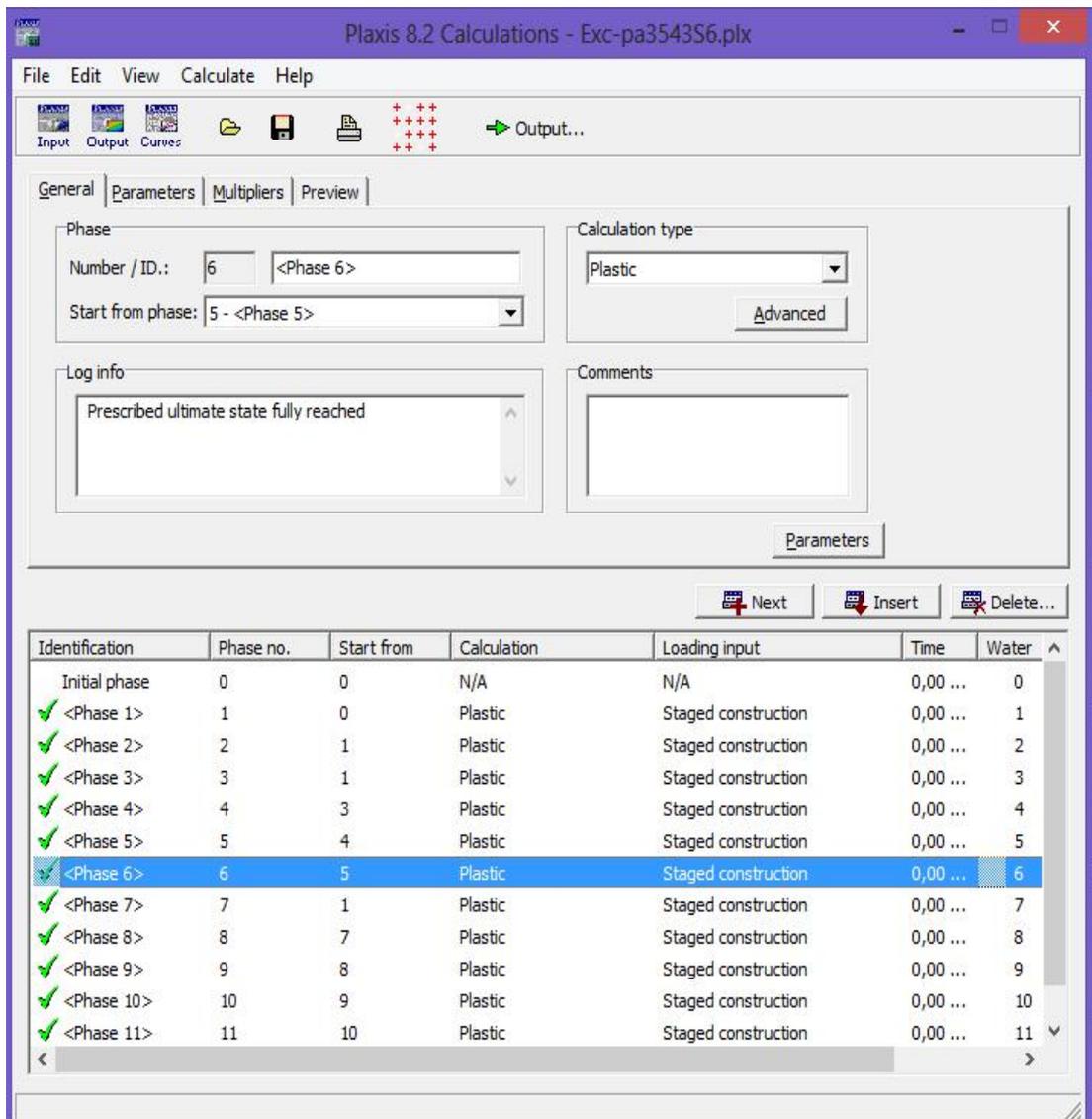
Confirmez la valeur de 10 Kn/m³ pour le poids volumique de l'eau. Les conditions hydrauliques initiales sont générées sur la base d'une nappe phréatique située à la base un niveau $y = 0$ m (définition de la nappe puis calcul avec option "phréatique level").

Au départ, tous les éléments de structures sont automatiquement désactivés (couleur grise) : la poutre, les deux « node to node » et les deux « Geogrid ». L'état de contrainte initial est généré au moyen de la procédure K_0 [37]

CHAPITRE III : ETUDE PARAMETRIQUE

III.6) Procédure de calculs :

Le calcul complet se décompose en 11 phases suivant :



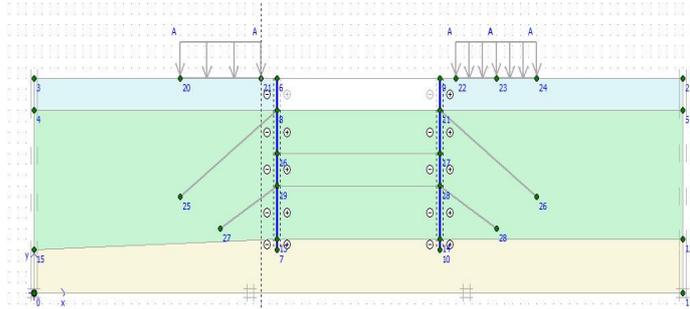
Identification	Phase no.	Start from	Calculation	Loading input	Time	Water
Initial phase	0	0	N/A	N/A	0,00 ...	0
✓ <Phase 1>	1	0	Plastic	Staged construction	0,00 ...	1
✓ <Phase 2>	2	1	Plastic	Staged construction	0,00 ...	2
✓ <Phase 3>	3	1	Plastic	Staged construction	0,00 ...	3
✓ <Phase 4>	4	3	Plastic	Staged construction	0,00 ...	4
✓ <Phase 5>	5	4	Plastic	Staged construction	0,00 ...	5
✓ <Phase 6>	6	5	Plastic	Staged construction	0,00 ...	6
✓ <Phase 7>	7	1	Plastic	Staged construction	0,00 ...	7
✓ <Phase 8>	8	7	Plastic	Staged construction	0,00 ...	8
✓ <Phase 9>	9	8	Plastic	Staged construction	0,00 ...	9
✓ <Phase 10>	10	9	Plastic	Staged construction	0,00 ...	10
✓ <Phase 11>	11	10	Plastic	Staged construction	0,00 ...	11

Figure III-4: Phases de calcul

CHAPITRE III : ETUDE PARAMETRIQUE

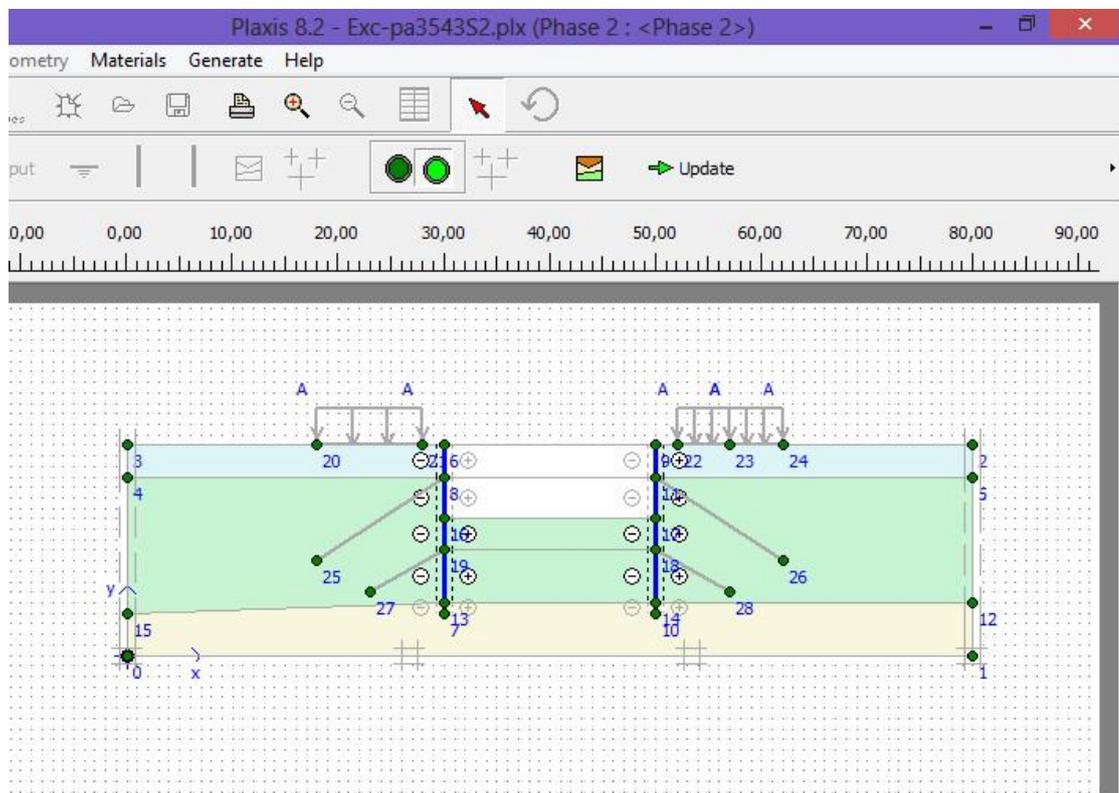
PHASE 1

- Dans la première phase, la paroi moulée est réalisée ainsi que la première excavation de 3 m de profondeur ou il n'y a pas d'ancrage



PHASE 2

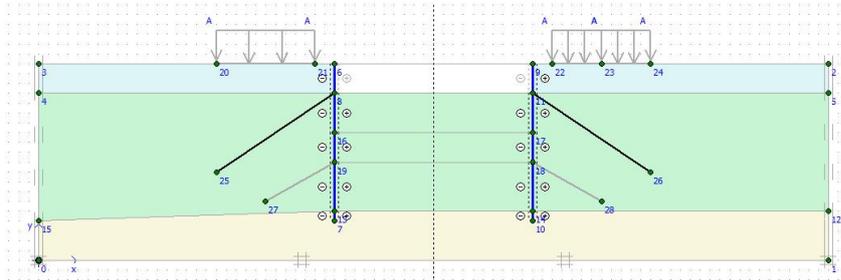
- Dans la seconde phase la paroi moulée est réalisée ainsi excavation couche remblai +couche sable 4 m sans ancrage



CHAPITRE III : ETUDE PARAMETRIQUE

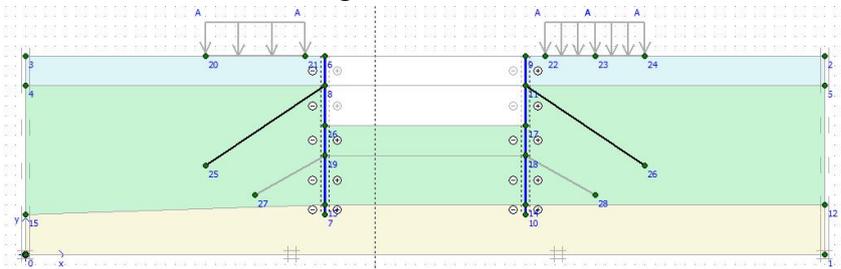
PHASE 3

- Dans la troisième phase la paroi moulée est réalisée excavation couche remblai 3 m+ ancrage 35° (A partie de la phase 1)



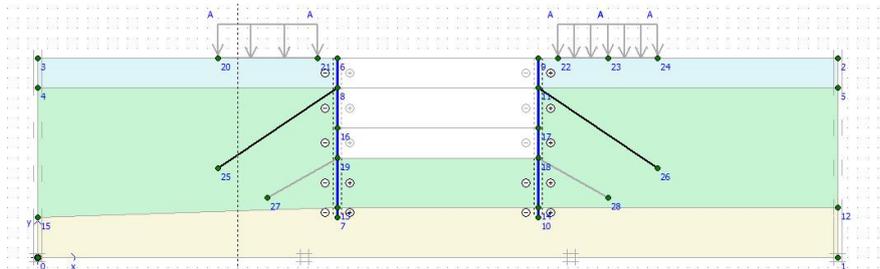
PHASE 4

- Dans la quatrième phase la paroi moulée est réalisée ainsi excavation couche remblai+couche sable 4 m + ancrage 35°



PHASE 5

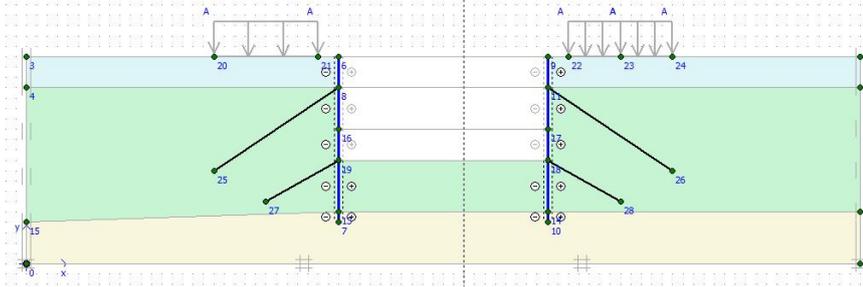
- Dans la cinquième phase la paroi moulée est réalisée ainsi excavation couche remblai+couche sable 7 m+ ancrage 35°



CHAPITRE III : ETUDE PARAMETRIQUE

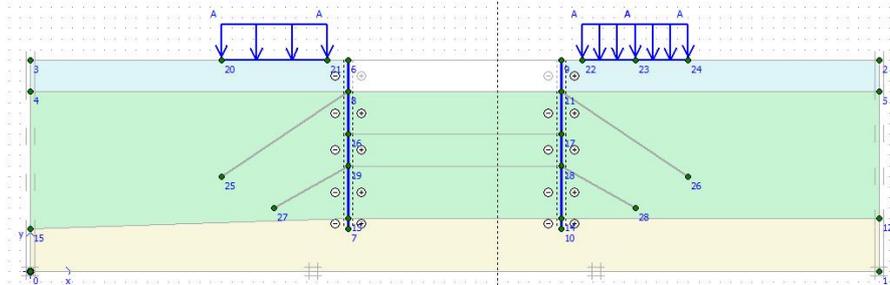
PHASE 6

- Dans la sixième phase la paroi moulée est réalisée ainsi, excavation couche remblai+couche sable 7 m +ancrage 35°+ancrage 43°



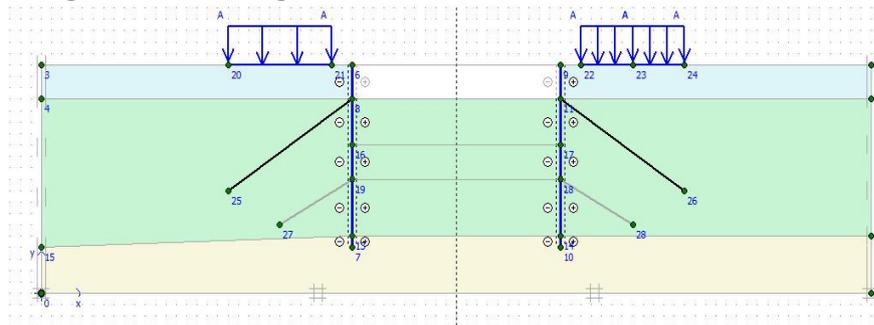
PHASE 7

- Dans la septième phase la paroi moulée est réalisée ainsi, excavation couche remblai 3 m sans ancrage +surcharge 10 Kn à 2 m (A partir de la phase 1)



PHASE 8

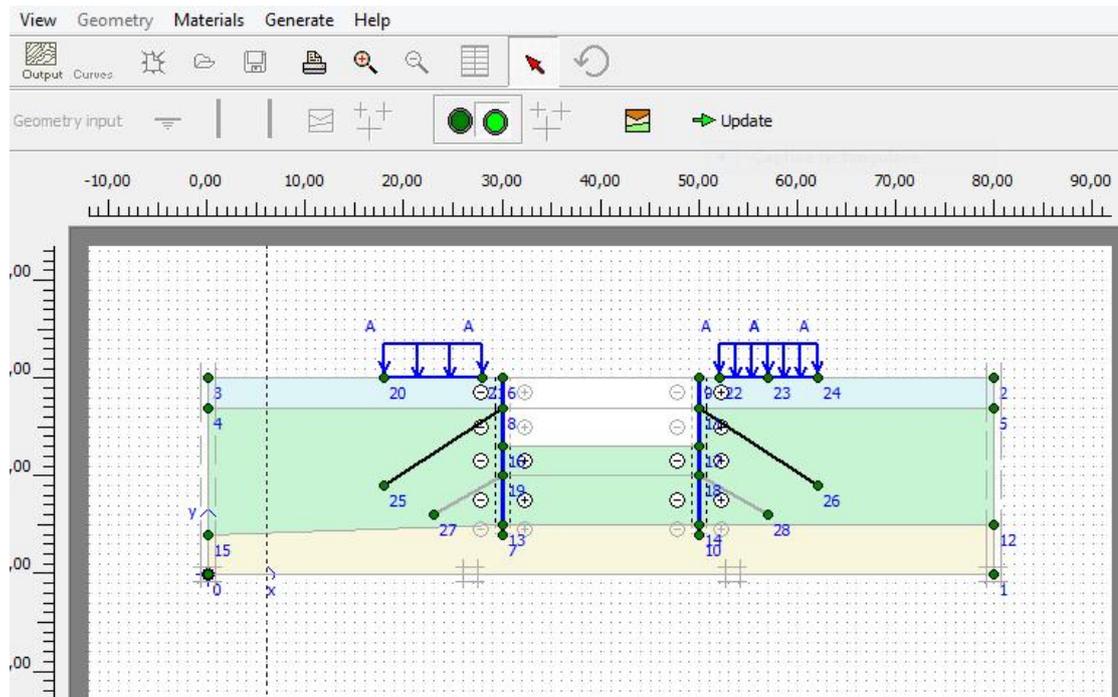
- Dans la huitième phase la paroi moulée est réalisée ainsi, excavation du remblai 3 m +ancrage 35° +Surcharge 10 Kn à 2 m



CHAPITRE III : ETUDE PARAMETRIQUE

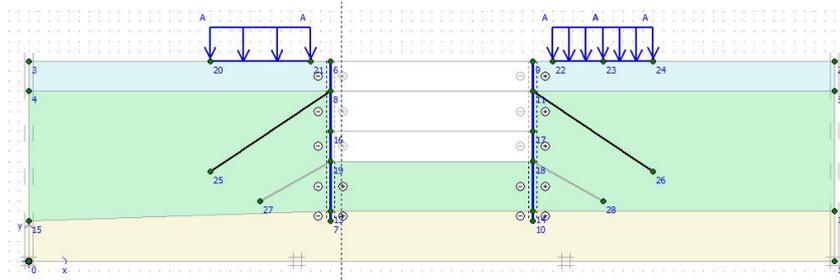
PHASE 9

- Dans la neuvième phase la paroi moulée est réalisée ainsi, excavation couche remblai+couche sable 4 m+ancrage 35°+Surcharge 10 Kn à 2 m



PHASE 10

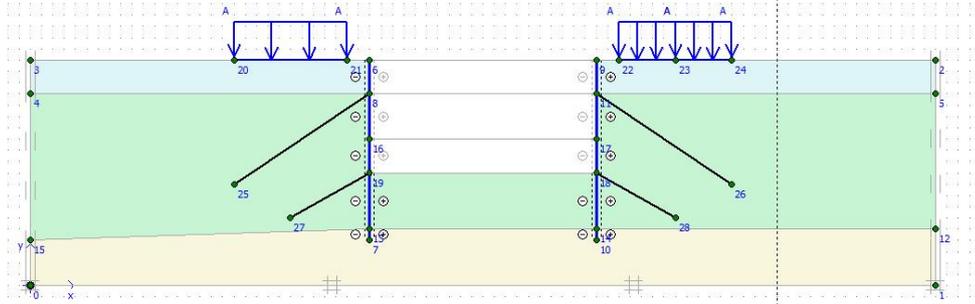
- Dans la dixième phase la paroi moulée réalisée ainsi, excavation couche remblai+couche sable 7 m+ ancrage 35°+Surcharge à 10 Kn à 2 m



CHAPITRE III : ETUDE PARAMETRIQUE

PHASE 11

- Dans la onzième phase la paroi moulée réalisée ainsi, excavation couche remblai +couche sable 7 m+ancrage 35°+ancrage 43° +surcharge à 10 Kn à 2m



- NB : Même procédure est adoptée pour les autres cas de distance de la surcharge par rapport à la paroi

III.6.1) Déformation de Moments fléchissant et Effort tranchant :

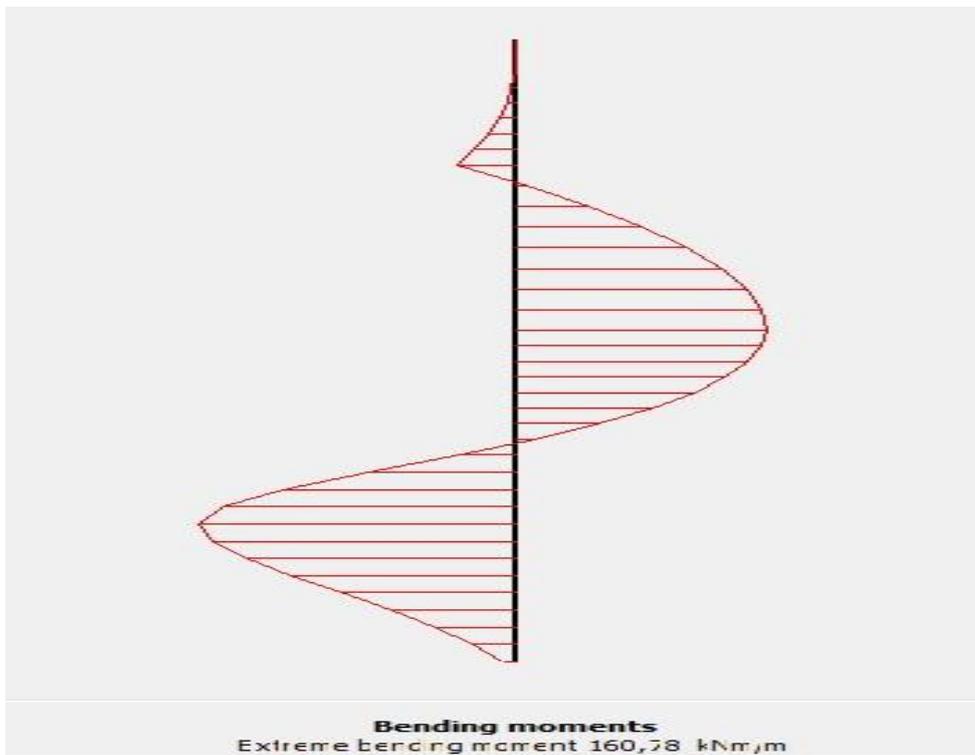


Figure III-5 : Moment fléchissant de la paroi

CHAPITRE III : ETUDE PARAMETRIQUE

La figure 5 montre le moment fléchissant dans la paroi à l'étape finale, les deux points particuliers dans la courbe de moments sont dus aux efforts dans les ancrages

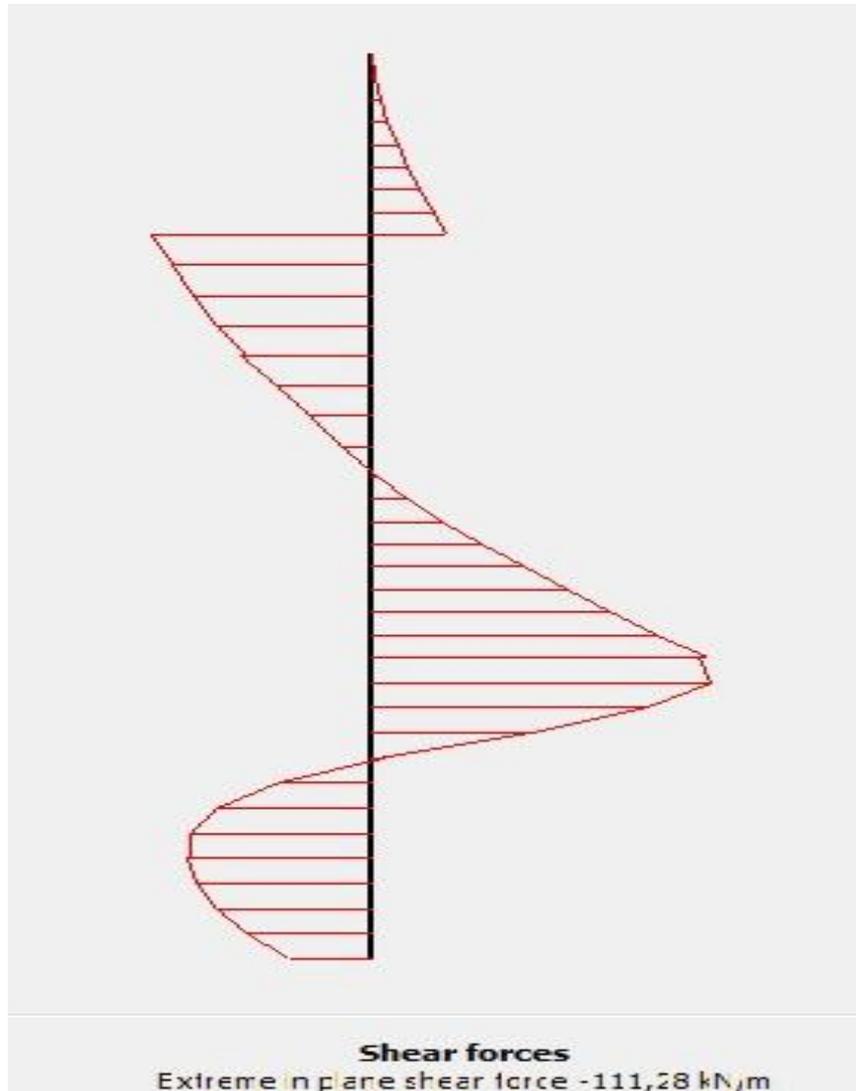
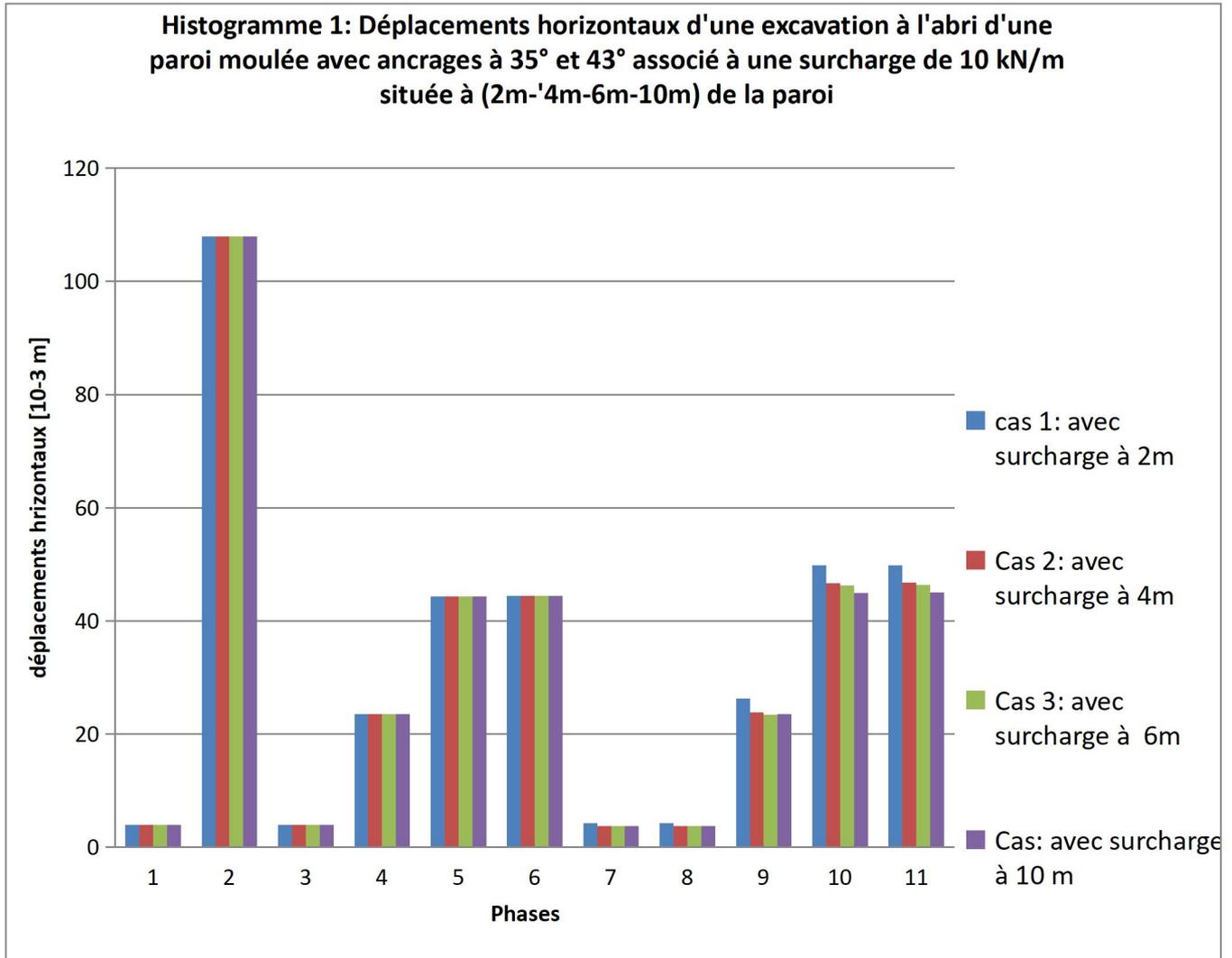


Figure III-6 : Effort tranchant

III.7) Résultats et analyses :

Dans ce paragraphe sont réunis tous les résultats et analyses de la problématique traitée

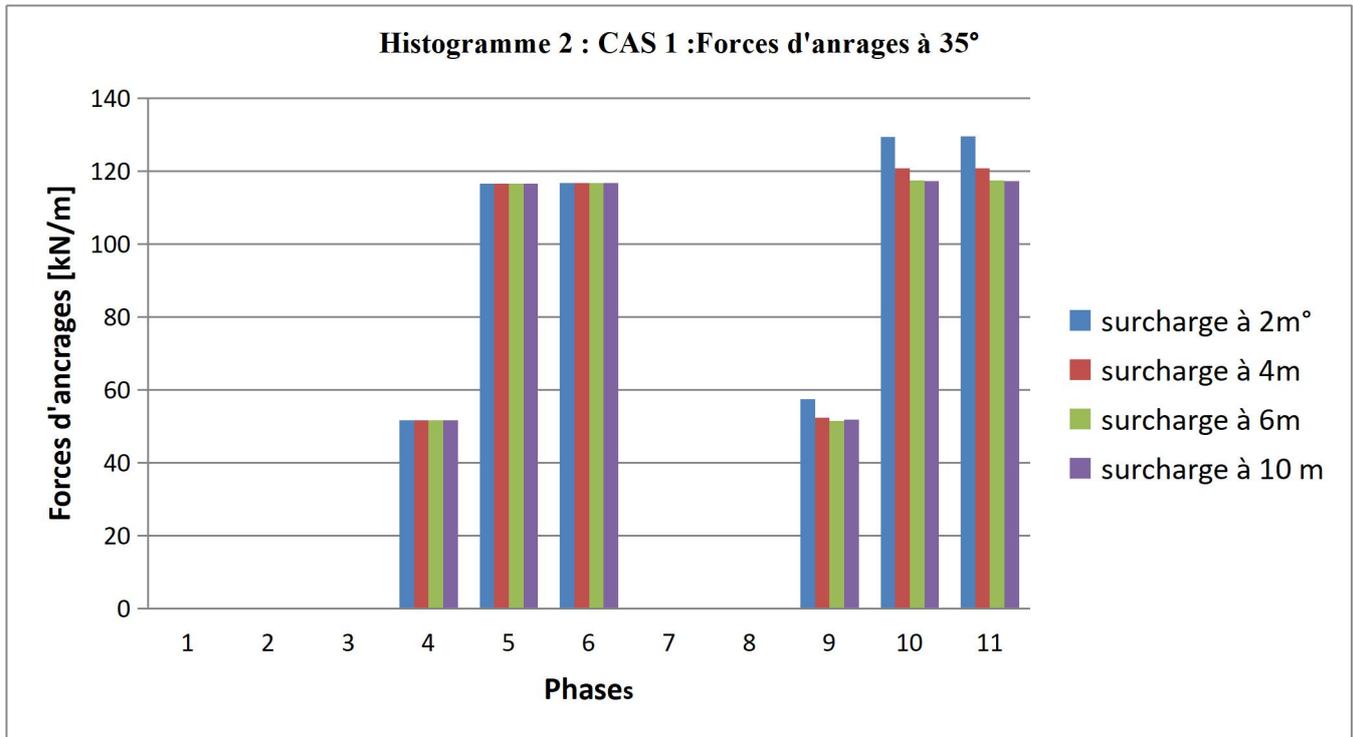
III.7.1) Déplacements horizontaux de la paroi en béton armé :



De la phase 1 à la phase 6 (Sans Surcharge) :

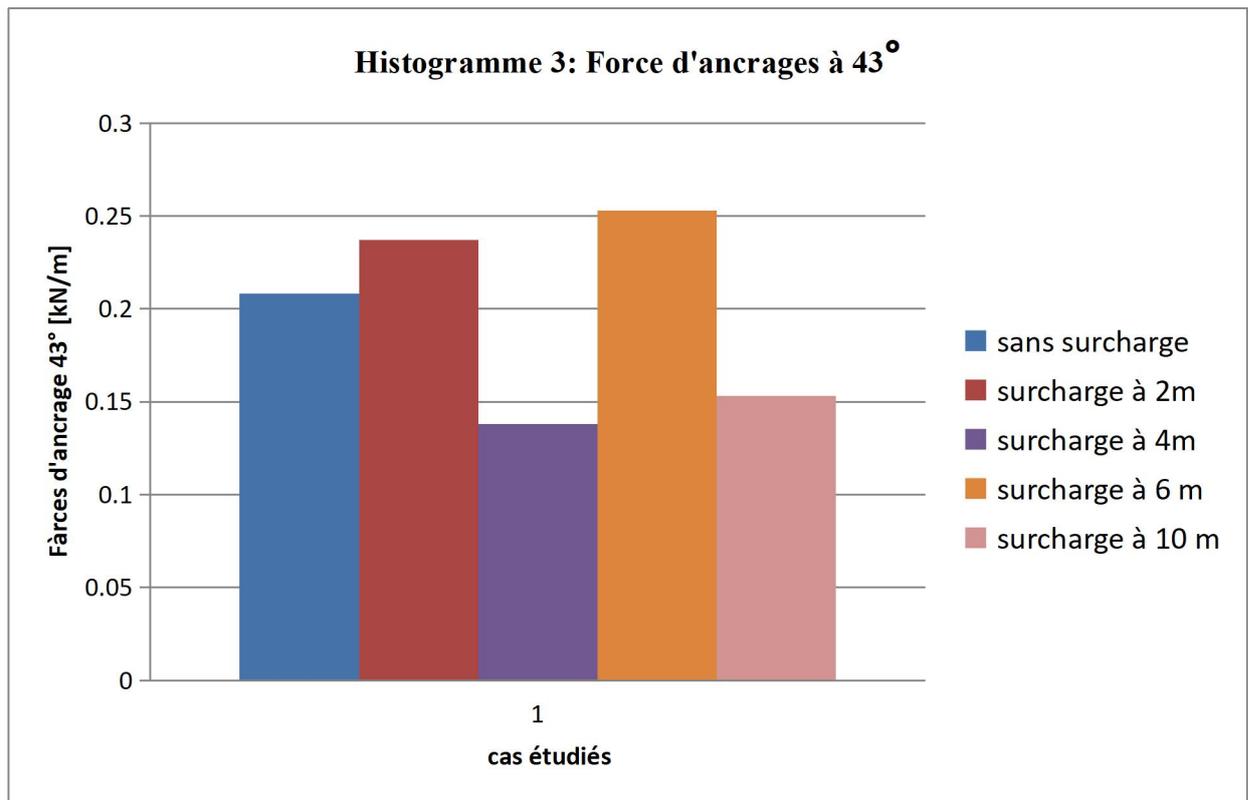
- Les déplacements horizontaux sans invariables respectivement au 4 cas étudiés (2m 4m 6m 10m), car à c'est stade il n'y a pas d'influence de la surcharge sur les déplacements horizontaux
- Toutefois, On remarque que les déplacements horizontaux relatifs à la 2^{ème} phase sont supérieurs à toutes les autres étapes, cela est du au fait que le mur n'est pas ancré et libre de tout mouvement
- En outre, la comparaison des déplacements horizontaux entre 1^{ère} phase et 3^{ème} phase implique une influence négligeable de l'ancrage de 35° après excavation du remblai de 3m
- Les déplacements horizontaux de la 4^{ème} phase sont supérieurs à ceux de la 1^{ère} et 3^{ème} phase car Il y a eu une excavation de 4m de sable en plus des 3m de remblai excavé avec un ancrage à 35°
- Même remarque pour la phase 5 par rapport aux phases 1 et 3 le déplacement horizontaux est supérieur, car Il y a eu une excavation de 7m de sable en plus des 3m de remblai excavé avec un ancrage à 35°
- Les déplacements horizontaux en phase 6 sont presque égal la phase 5, On conclue donc que la position de ancrage 43° n'induit aucune variation, cela est du au mauvais choix de l'emplacement de cet ancrage, il aurait été préférable de le placer au niveau de la base de la couche de 4m (plus haut ou plus bas cas à étudier)
- En général, on remarque que l'introduction des surcharges à différentes distances de la paroi induit une augmentation des déplacements horizontaux de celle-ci par rapport aux cas sans surcharges relativement aux étapes correspondantes
- Dans les **phases 7 et 8** : On remarque une légère de augmentation des déplacements horizontaux, à ce niveau l'ancrage de 35° n'a pas d'effets significatifs sur le mouvement horizontal du mur
- En ce qui concerne les **phases 9 et 10**: on remarque aussi par rapport à une phase donné les éloignements de la surcharge implique une diminution des déplacements horizontaux
- Il faut signaler qu'après la 7^{ème} phase, une autre que la phase 8, mais qui n'a pas été présentée ou l'on remarque que l'introduction des surcharges entraine la **ruine** de la paroi

III.7.2) Force d'ancrage 35° :



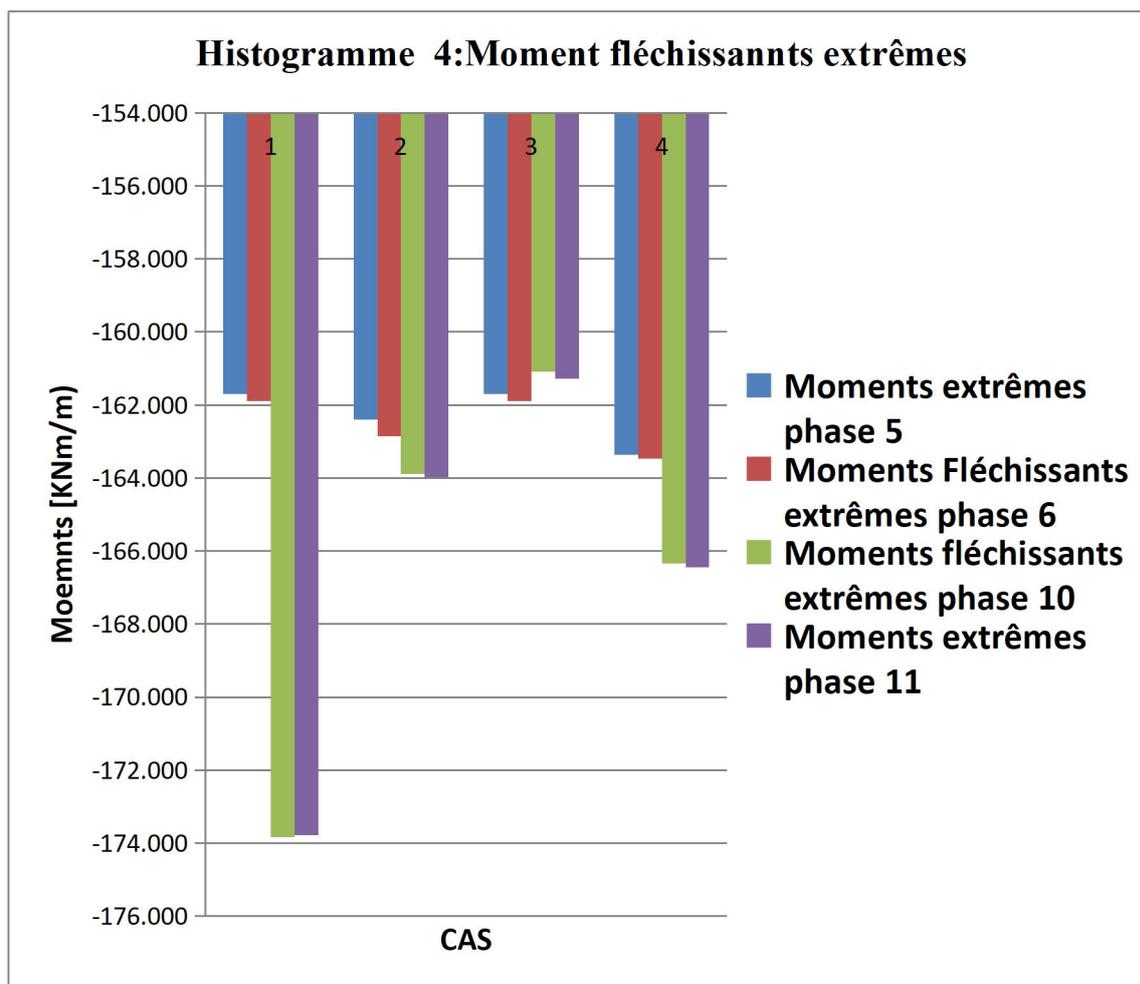
- Dans les phases (1, 2 et 3) Il n'y a pas aucune force d'ancrage 35°
- A partir de la 4^{ème} phase, jusqu'à la 6^{ème} phase, on introduit l'ancrage 35° par rapport à horizontale
- On remarque une augmentation significative de l'intensité de la force d'ancrage en fonction de profondeur de l'excavation
- Les phases 5 et 6 (ancrage à 43°), la force d'ancrage de 35° demeure pratiquement constante, donc aucune influence de l'ancrage à 43°
- En considérant la surcharge, les phases 9, 10 et 11, on remarque que la force d'ancrage augmente en fonction de l'introduction de la surcharge
- L'éloignement de surcharge à partir de 6 m n'a plus d'influence sur la paroi étant donné l'éloignement de celle-ci du mur

III.7.3) Force d'ancrage 43° :



- En générale, la force d'ancrage à 43° est négligeable, il faudrait changer effectivement l'emplacement de celle-ci et la placer un peu plus haut pour avoir un influence significative sur l'équilibre et la stabilité de la paroi moulée
- On constate aussi que la force d'ancrage 43° diminue en fonction de l'éloignement de la surcharge

III.7.4) Moment fléchissant extrêmes :

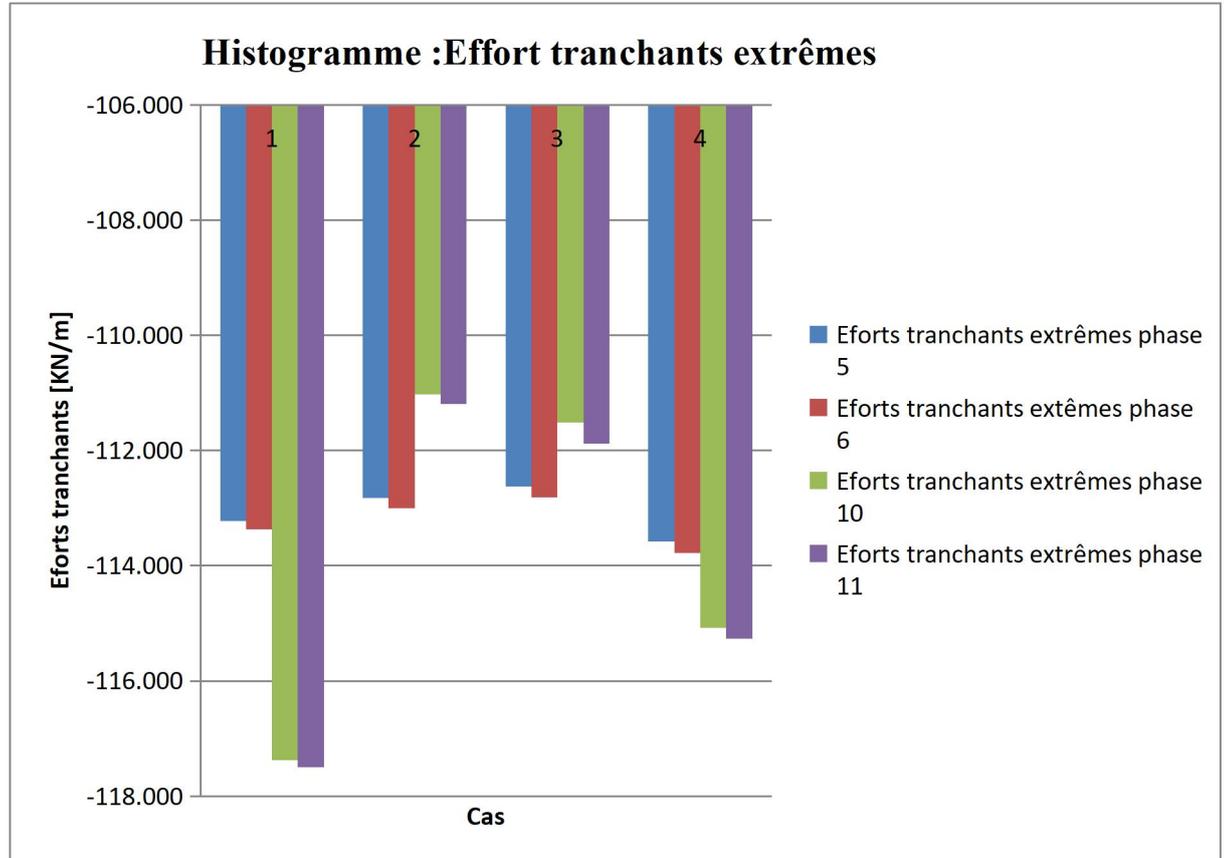


- **Les phases 5 et 6 :**
On remarque une variation qui n'est pas significative de moment fléchissant quelque soit le cas de surcharge étudié
- **Pour les phases 10 et 11 :**
On constate les mêmes remarques que pour les 5 et 6
- On remarque aussi, que le rapprochement des surcharges par rapport à la paroi implique l'augmentation des moments fléchissant
- Aussi, le moment fléchissant du 4^{ème} cas (10 m) augmente par rapport au 3^{ème} cas de surcharge (6m) mais d'une manière insignifiante
- On conclue, qu'à partir de la certaine distance d'éloignement la surcharge n'a plus d'effet sur la flexion de la paroi

CHAPITRE III : ETUDE PARAMETRIQUE

- En outre, la force d'ancrage inférieure n'a pas d'effet par rapport au moment fléchissant cela est dû au mauvais choix de l'emplacement de ce dernier (43°)

III.7.5) Effort tranchants extrêmes :



- Pour les Phases 5 et 6 on remarque qu'il n'y a pas d'influence de l'ancrage 43°
- Pour les Phases 10 et 11 on remarque qu'il n'y a pas d'influence de l'ancrage 43°
- L'introduction des surcharges entraîne en général, une augmentation de l'effort tranchant
- En général, l'éloignement des surcharges entraîne une diminution de l'effort tranchant
- La phase 10 et 11 même remarque se confirme la non influence de l'ancrage 43°

III.8) Conclusions Générales :

- On remarque que la proximité de la surcharge entraîne une augmentation de tous les paramètres étudiés (déplacements horizontaux, force d'ancrage 35° et 43, moment fléchissant et efforts tranchant)
 - L'éloignement des surcharges implique diminution des paramètres étudiés
 - Les paramètres étudiés ont des valeurs inférieures dans le cas sans surcharge par rapport cas avec surcharges
 - L'ancrage à 35° a une influence significative par rapport aux cas sans ancrage, ou l'on a constaté que son absence à partir d'un certain niveau d'excavation entraîne la ruine de l'ouvrage
 - Toutefois, son emplacement optimum pourrait faire l'objet d'une qui considérerait les effets de l'emplacement
 - L'ancrage 43° il n'y a pas influence significatif que paramètre étudiés
 - L'emplacement actuel de l'ancrage à 43° n'a pas influence significatives sur les pris en compte, donc il vaudrait mieux changer l'emplacement de cet ancrage pour optimiser les paramètres étudiés
- Enfin, on conclue, que l'introduction des ancrages à un effet favorable par rapport stabilité des parois dans des emplacements optimum
- l'association des scellements d'ancrages aux extrémités pourrait jouer un rôle plus important sur le comportement des parois moulées par rapport à leur équilibre et leur stabilité

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Proi-moul%C3%A9>
2. Saadi R .2012.Modélisation Numérique D'une paroi de soutènement en zone urbaines (Paramètres Caractéristiques D'interaction) .Mémoire de Magister- Université Hadj Lakhder Batna
3. Saadi R .2012.Modélisation Numérique D'une paroi de soutènement en zone urbaines (Paramètres Caractéristiques D'interaction) .Mémoire de Magister- Université Hadj Lakhder Batna
4. www.Soletanche-Bachy.Com
5. <https://public.iutenligne.net/genie-civil/geotechnique/fauqueux/paroi-moules/co/PariosMou>
6. Soltani A & Bordj Y & Benhachiche N .2019.Analyse de l'influence de la position des tirants d'ancrage sur le comportement des palplanches dans des sols sableux .Mémoire de master –université BADJI MOKHTAR-ANNABA.
7. Soltani A & Bordj Y & Benhachiche N .2019.Analyse de l'influence de la position des tirants d'ancrage sur le comportement des palplanches dans des sols sableux .Mémoire de master –université BADJI MOKHTAR-ANNABA.
8. Saadi R .2012.Modélisation Numérique D'une paroi de soutènement en zone urbaines (Paramètres Caractéristiques D'interaction) .Mémoire de Magister- Université Hadj Lakhder Batna.
9. Saadi R .2012.Modélisation Numérique D'une paroi de soutènement en zone urbaines (Paramètres Caractéristiques D'interaction) .Mémoire de Magister- Université Hadj Lakhder Batna.
10. Saadi R .2012.Modélisation Numérique D'une paroi de soutènement en zone urbaines (Paramètres Caractéristiques D'interaction) .Mémoire de Magister- Université Hadj Lakhder Batna.
11. Saadi R .2012.Modélisation Numérique D'une paroi de soutènement en zone urbaines (Paramètres Caractéristiques D'interaction) .Mémoire de Magister- Université Hadj Lakhder Batna.
12. Saadi R .2012.Modélisation Numérique D'une paroi de soutènement en zone urbaines (Paramètres Caractéristiques D'interaction) .Mémoire de Magister- Université Hadj Lakhder Batna.
13. Saadi R .2012.Modélisation Numérique D'une paroi de soutènement en zone urbaines (Paramètres Caractéristiques D'interaction) .Mémoire de Magister- Université Hadj Lakhder Batna.

14. Saadi R .2012.Modélisation Numérique D'une paroi de soutènement en zone urbaines (Paramètres Caractéristiques D'interaction) .Mémoire de Magister-Université Hadj Lakhder Batna.
15. Saadi R .2012.Modélisation Numérique D'une paroi de soutènement en zone urbaines (Paramètres Caractéristiques D'interaction) .Mémoire de Magister-Université Hadj Lakhder Batna.
16. Saadi R .2012.Modélisation Numérique D'une paroi de soutènement en zone urbaines (Paramètres Caractéristiques D'interaction) .Mémoire de Magister-Université Hadj Lakhder Batna.
17. Saadi R .2012.Modélisation Numérique D'une paroi de soutènement en zone urbaines (Paramètres Caractéristiques D'interaction) .Mémoire de Magister-Université Hadj Lakhder Batna.
18. Saadi R .2012.Modélisation Numérique D'une paroi de soutènement en zone urbaines (Paramètres Caractéristiques D'interaction) .Mémoire de Magister-Université Hadj Lakhder Batna.
19. Soltani A & Bordj Y & Benhachiche N .2019.Analyse de l'influence de la position des tirants d'ancrage sur le comportement des palplanches dans des sols sableux .Mémoire de master –université BADJI MOKHTAR-ANNABA.
20. Soltani A & Bordj Y & Benhachiche N .2019.Analyse de l'influence de la position des tirants d'ancrage sur le comportement des palplanches dans des sols sableux .Mémoire de master –université BADJI MOKHTAR-ANNABA.
21. Soltani A & Bordj Y & Benhachiche N .2019.Analyse de l'influence de la position des tirants d'ancrage sur le comportement des palplanches dans des sols sableux .Mémoire de master –université BADJI MOKHTAR-ANNABA.
22. Soltani A & Bordj Y & Benhachiche N .2019.Analyse de l'influence de la position des tirants d'ancrage sur le comportement des palplanches dans des sols sableux .Mémoire de master –université BADJI MOKHTAR-ANNABA.
23. Soltani A & Bordj Y & Benhachiche N .2019.Analyse de l'influence de la position des tirants d'ancrage sur le comportement des palplanches dans des sols sableux .Mémoire de master –université BADJI MOKHTAR-ANNABA.
24. Soltani A & Bordj Y & Benhachiche N .2019.Analyse de l'influence de la position des tirants d'ancrage sur le comportement des palplanches dans des sols sableux .Mémoire de master –université BADJI MOKHTAR-ANNABA.
25. <https://www.soletanche-bachy.com/fr/solutions/technique/soutenement/tirant-dancrage>
26. Saadi R .2012.Modélisation Numérique D'une paroi de soutènement en zone urbaines (Paramètres Caractéristiques D'interaction) .Mémoire de Magister-Université Hadj Lakhder Batna.

27. Saadi R .2012.Modélisation Numérique D'une paroi de soutènement en zone urbaines (Paramètres Caractéristiques D'interaction) .Mémoire de Magister- Université Hadj Lakhder Batna.
28. Saadi R .2012.Modélisation Numérique D'une paroi de soutènement en zone urbaines (Paramètres Caractéristiques D'interaction) .Mémoire de Magister- Université Hadj Lakhder Batna.
29. Kada .A .2017.Méthode des éléments finis .Master 1 ; Génie civil .Université Hasina Benbou li de Chleff.

30. Kada .A .2017.Méthode des éléments finis .Master 1 ; Génie civil .Université Hassiba Benbouali de Chleff.
31. Saadi R .2012.Modélisation Numérique D'une paroi de soutènement en zone urbaines (Paramètres Caractéristiques D'interaction) .Mémoire de Magister- Université Hadj Lakhder Batna.
32. Saadi R .2012.Modélisation Numérique D'une paroi de soutènement en zone urbaines (Paramètres Caractéristiques D'interaction) .Mémoire de Magister- Université Hadj Lakhder Batna.
33. Soltani A & Bordj Y & Benhachiche N .2019.Analyse de l'influence de la position des tirants d'ancrage sur le comportement des palplanches dans des sols sableux .Mémoire de master –université BADJI MOKHTAR-ANNABA.
34. Soltani A & Bordj Y & Benhachiche N .2019.Analyse de l'influence de la position des tirants d'ancrage sur le comportement des palplanches dans des sols sableux .Mémoire de master –université BADJI MOKHTAR-ANNABA.
35. Soltani A & Bordj Y & Benhachiche N .2019.Analyse de l'influence de la position des tirants d'ancrage sur le comportement des palplanches dans des sols sableux .Mémoire de master –université BADJI MOKHTAR-ANNABA.
36. VN 74.05.1974.Calcul des rideaux de palplanches ancrés par les méthodes de Rowe et de Blum. Centre D'études techniques Maritimes et Fluviales.
37. Soltani A & Bordj Y & Benhachiche N .2019.Analyse de l'influence de la position des tirants d'ancrage sur le comportement des palplanches dans des sols sableux .Mémoire de master –université BADJI MOKHTAR-ANNABA.
38. Pratique éclairée des éléments finis en géotechnique 17-19 novembre 2004.