

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Master

Présenté à l'Université 08 Mai 1945 de Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : Génie Civil & Hydraulique

Spécialité : Génie Civil

Option : GEOTECHNIQUE

Présenté par : KONE ICHAKA NOUMOUKE

**Thème : AUTOMATISATION DU CALCUL DES MURS
DE SOUTÈNEMENT CANTILEVER**

Sous la direction de : HIMEUR MOHAMMED

Juin 2019



DEDICACE

J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail à ceux que j'aime jusqu'à la frontière de l'imagination de mes parents.

Comme je tiens à le dédier aussi avec beaucoup d'amour et du bon cœur à mon oncle **Seydou Traoré** et ma tante **Halimatou Koné** qui ont été pour moi un père et une mère durant ma vie et m'ont soutenu depuis l'enfance jusqu'à maintenant. Je leur serai éternellement reconnaissant.

REMERCIEMENTS

Je remercie dieu le tout puissant qui m'a donné le courage et la volonté afin de poursuivre mes études.

Je tiens à remercier ma **mère** et mon **père** qui m'ont soutenu tout au long de ce travail

Je tiens à remercier **Dr. Mr HIMEUR MOHAMMED** mon encadreur non pas par simple courtoise mais pour ses précieux conseils, gentillesse et son orientation qui m'a permis de bien réaliser ce travail.

Je remercie également mon ami **Abdrhamane sanagré** qui m'a beaucoup aidé durant ces cinq ans

Et mon ami **Hamadoun cissé**.

ملخص

تتم عملية تثبيت كتلة التربة بشكل عام إما عن طريق بناء هيكل مستديم أو عن طريق إضافة عناصر تسليح على الأرض في مكانها. على العديد من الهياكل المحتجزة المستخدمة، فقد تقرر تركيز هذا العمل على الجدران الإسنادية للخرسانة المسلحة من نوع «Cantilever». يتعلق النهج المطبق بالتحليل الثابت لاستقرار جدران الاحتفاظ. نظرًا لأن هذا النوع من الجدران الإسنادية موجود بشكل متكرر في الواقع، فإن الهدف من هذا العمل هو أتمتة تحليل استقراره الخارجي. يتمثل النهج المتبع في ذلك، بدءًا من بيانات الأرض المحتجزة، والتربة الأساسية والارتفاع اللازم للجدار، في مسألة تحديد أبعاد العناصر الهيكلية للجدار: سماكة الحجاب، والأساسات وربما المجرف. إذا لزم الأمر - عرض الأساسات وارتفاع المرساة للمجرفة. يتم ذلك فيما يتعلق بعامل السلامة المختار سابقًا. للقيام بذلك، يتم تنفيذ هذه الأتمتة باستخدام لغة البرمجة FORTRAN، والتي تستخدم بشكل أساسي في الحوسبة العلمية. وقد أدى التحقق من صحة هذه البرمجة، التي أجريت على حالات ملموسة والتحليل الحدودي الذي أجري على بعض المتغيرات (ارتفاع الجدار، وزاوية احتكاك التربة، وميل المنحدر)، إلى نتائج مقنعة. في المنظور، سيسمح هذا البرنامج بإنشاء عداد يعطي بيانات الأبعاد الهندسية للعناصر الهيكلية للجدران من نوع «Cantilever» وفقا لأي وضعية.

الكلمات المفتاحية: الاحتفاظ بالجدار، جدار «Cantilever»، البرمجة، FORTRAN، الخرسانة المسلحة، المجرف.

ABSTRACT

The stabilization of the soil mass is generally done either by the construction of a retaining structure or by the addition of reinforcing elements on the ground in place. On the multitude of retaining structures used, it was decided to focus this work on retaining walls of reinforced cantilever type concrete. The applied approach relates to the static analysis of the stability of cantilever retaining walls in reinforced concrete. As this type of retaining wall is frequently encountered in practice, the purpose of this work is to automate the analysis of its external stability. The approach being that, starting from the data of the ground retained, the foundation soil and the necessary height of the wall, it is a question of dimensioning the structural elements of the wall: Thicknesses of the veil, the sole and possibly the spade if necessary - sole width and anchor height of the spade. This is done with respect to a previously chosen factor of security. To do this, this automation is carried out using the FORTRAN programming language, used mainly for scientific computing. The validation of this programming, carried out on concrete cases and the parametric analysis carried out on certain variables (wall height, angle of friction of the soil, inclination of the slope), have led to convincing results. In perspective, this program will allow the creation of abacuses giving graphically the geometric dimensions of the structural elements of the walls of the type "Cantilever" according to any situation encountered

Key words : retaining wall, cantilever wall, programming, fortran, reinforced concrete, spade

RESUME

La stabilisation des massifs de sol se fait généralement, soit par la construction d'un ouvrage de soutènement, soit par l'ajout d'éléments de renforcement au sol en place. Sur la multitude d'ouvrages de soutènement utilisés, on a choisi d'axer ce travail sur les murs de soutènement en béton armé de type « cantilever ». L'approche appliquée est relative à l'analyse statique de la stabilité des murs de soutènement cantilever en BA. Comme ce type de mur de soutènement est fréquemment rencontré en pratique, l'objectif de ce travail est orienté vers l'automatisation de l'analyse de sa stabilité externe. La démarche étant, qu'à partir des données du sol retenu, du sol de fondation et de la hauteur nécessaire du mur, il s'agit de dimensionner les éléments structuraux du mur : Epaisseurs du voile, de la semelle et éventuellement de la bêche si elle est nécessaire – largeur de la semelle et hauteur d'ancrage de la bêche. Ceci est effectué par rapport à un coefficient de sécurité choisi préalablement. Pour ce faire, cette automatisation est réalisée à l'aide du langage de programmation FORTRAN, utilisé principalement pour le calcul scientifique. La validation, de cette programmation, effectuée sur des cas de figures concrets et l'analyse paramétrique réalisée sur certaines variables (Hauteur du mur, angle de frottement du sol, inclinaison du talus), ont permis d'aboutir à des résultats probants. En perspectives, ce programme permettra la confection d'abaques donnant graphiquement les dimensions géométriques des éléments structuraux des murs de type « Cantilever » en fonction de n'importe quelle situation rencontrée

Mots clés : mur de soutènement, mur cantilever, programmation, fortran, béton armé, bêche

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES	1
LISTE DES TABLEAUX	3
INTRODUCTION GENERALE	4
Chapitre 1 NOTIONS GENERALES DE LA MECANIQUE DES SOLS	5
1.1. Introduction.....	5
1. 2. Définitions du sol.....	5
1. 3. Eléments constitutifs d'un sol.....	6
1. 4. Les types des sols.	6
1. 5. Disciplines de la mécanique des sols.....	7
1. 6. Caractéristique physique des sols.....	7
1. 7. Caractéristiques chimiques des sols.....	8
1. 8. Etude hydraulique.....	9
1. 9. Propriétés hydrauliques des sols.....	11
1. 10. Caractéristiques mécaniques.....	12
1. 11. Stabilité des terres.....	14
1. 12. Sols renforcés.....	16
Chapitre 2 NOTIONS GENERALES SUR LES MURS DE SOUTÈNEMENT	22
2. 1. Introduction.....	22
2. 2. Classes d'ouvrages de soutènement.....	22
2.3. Différents types d'ouvrages de soutènement.....	23
2.4. Fonctionnement et justification.....	28
Chapitre 3 ANALYSE DE LA STABILISATION DES MURS CANTILEVER EN BETON ARME.	30
3. 1. Introduction.....	30
3. 2. Les murs en béton armé.....	30
3. 3. Approche	32
3. 4. Pré-dimensionnement	33
3. 5. Calcul des poussées sur un mur de soutènement :.....	34
3. 6. Stabilité au renversement :.....	40
3. 7. Stabilité du sol de fondation :	40
3. 8. Stabilité au glissement :.....	42
Chapitre 4 AUTOMATISATION DU CALCUL DES MURS DE SOUTÈNEMENT CANTILEVER EN BETON ARMEE	43
4. 1. Introduction.....	43
4. 2. Présentation du langage Fortran.....	44

4. 3. Algorithme de l'approche théorique.....	45
4. 4. Contenu et structure du programme.....	48
Chapitre 5 VALIDATION.....	53
5. 1. Introduction.....	53
5. 2. Modèles testés.....	53
5. 3. Résultats des modèles.....	55
5. 4. Simulation du modèle.....	56
5. 5. Commentaires.....	59
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	61
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	62
BLOC DES ANNEXES.....	63
ANNEXE A	63
ANNEXE B.....	74
ANNEXE C.....	83
ANNEXE D	92
ANNEXE E.....	102
ANNEXE F.....	109

LISTE DES FIGURES

Figure 01	Types de problèmes de mécanique des sols	5
Figure 02	Constituants du sol	6
Figure 03	Représentation conventionnelle d'un volume de sol	7
Figure 04	Relations entre les paramètres	8
Figure 05	Classification des sols selon LPC/USCS	9
Figure 06	Différents états de l'eau dans le sol	11
Figure 07	Echantillon de sol soumis à un gradient hydraulique $i=h/L$	11
Figure 08	L'expérience de DARCY	12
Figure 09	Déformations d'un massif de sol	13
Figure 10	Technique Pneu sol	16
Figure 11	Renforcement par ancrage	17
Figure 12	Bande en polymère	17
Figure 13	Le cloutage	18
Figure 14	Exemple de géo grille uni axial	18
Figure 15	Principe d'un massif en terre armé	19
Figure 16	Parement en écailles de béton	20
Figure 17	Parement Terratrel	20
Figure 18	Les différents éléments d'un mur de soutènement	22
Figure 19	Dimensionnement d'un mur Poids	23
Figure 20	Mur en gabions	23
Figure 21	Mur en éléments préfabriqués en béton empilés	24
Figure 22	Mur en « T renversé » classique	24
Figure 23	Mur à contreforts	25
Figure 24	Mur en parois moulés	25
Figure 25	Type de renforcement	26
Figure 26	Les rideaux de palplanches	26
Figure 27	Exemple de mur cloué	27
Figure 28	Exemple de mur cloué	27
Figure 29	Domaines d'utilisation de la terre armée	28
Figure 30	Eléments d'un mur en Terre Armée	28
Figure 31	Modes de rupture des ouvrages de soutènement	29
Figure 32	Mur en T renversé	30
Figure 33	Mur en T renversé avec bêche	31
Figure 34	Mur en T renversé à contreforts	31
Figure 35	Mur en T avec des conceptions spéciales	31
Figure 36	Mur en T – Les données du problème	32
Figure 37	Démarche d'analyse de la stabilité d'un mur de soutènement	33
Figure 38	Pré-dimensionnement d'un mur de soutènement	33
Figure 39	Bilan des forces agissantes sur le mur	34
Figure 40	Pression du sol sur l'écran de poussée	35
Figure 41	Mur T avec talus incliné infini	36
Figure 42	Modèle de glissement	36
Figure 43	Modèle de rupture – cas 1	37
Figure 44	Modèle de rupture – cas 2	37

Figure 45 Modèle de rupture – cas 3	38
Figure 46 Diagramme des poussées des terres	38
Figure 47 Diagramme des poussées avec charge uniforme sur terre-plein	39
Figure 48 Diagramme des poussées avec charge uniforme sur remblai	39
Figure 49 Diagramme des poussées avec effet de la nappe aquifère	40
Figure 50 Stabilité du mur au renversement	40
Figure 51 Stabilité du sol de fondation	41
Figure 52 Stabilité au glissement	42
Figure 53 Talus incliné Fini	43
Figure 54 Talus incliné Infini	44
Figure 55 Fichier de données pour le cas des Talus incliné Fini	48
Figure 56 Fichier de données pour le cas des Talus incliné Infini	49
Figure 57 Talus incliné fini	53
Figure 58 Talus incliné infini	54
Figure 59 Modèle de simulation sur la hauteur du mur	56
Figure 60 Abaque donnant le dimensionnement de la semelle selon la hauteur du mur	57
Figure 61 Modèle de simulation sur l'angle de frottement du sol derrière le mur	57
Figure 62 Abaque donnant le dimensionnement de la semelle selon l'angle de frottement du sol	58
Figure 63 Modèle de simulation sur l'inclinaison du Talus	58
Figure 64 Abaque donnant le dimensionnement de la semelle selon l'inclinaison du Talus	59

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01 La mécanique des sols à travers ces différentes théories.	14
Tableau 02 Classification des techniques de renforcement suivant les éléments de renforcement utilisés.	16
Tableau 3 Données des valeurs considérées dans le modèle A.	54
Tableau 4 Données des valeurs considérées dans le modèle B.	55
Tableau 5 Résultats obtenus des modèles A et B pour un type de sol de fondation normal.	55
Tableau 6 Résultats obtenus des modèles A et B pour un type de sol de fondation rocheux.	56
Tableau 7 Dimensionnement de la semelle selon la hauteur du mur	57
Tableau 8 Dimensionnement de la semelle selon l'angle de frottement du sol derrière le mur	58
Tableau 9 Dimensionnement de la semelle selon l'inclinaison du Talus	59

INTRODUCTION GENERALE

Le développement des infrastructures et la modernisation des bâtiments ont nécessité des recherches approfondies pour le contrôle des terrains afin d'assurer leurs usages.

Le sol étant considéré comme un matériau hétérogène, à la fois homogène dépendant du milieu, sa stabilité a eu une évolution majeure dans le monde du génie civil plus précisément en géotechnique. Plusieurs méthodes ont été mises en place pour répondre à ce besoin, parmi lesquelles les murs de soutènements.

Un ouvrage qui permet de retenir les massifs des terres, sert également de servir de butée pour la stabilité des pentes naturelles ; les ingénieurs du dernier siècle ont contribué massivement à des recherches pour cette stabilité, dont le résultat a été de concevoir des logiciels qui permettent de calculer les stabilités des murs de soutènement comme le: GEO5; PLAXIS; MUR STABLE, etc...

L'objectif de ce mémoire est d'automatiser le calcul de la stabilité d'un mur de soutènement plus précisément en béton armé de type cantilever afin d'assurer une bonne réalisation de ce travail nous avons jugé nécessaire de diviser en deux grandes parties :

La première partie sera une étude bibliographique :

- La notion générale de la mécanique des sols, cette partie nous permettra de connaître les différents paramètres que peut contenir un sol, qui a pour utilité dans le calcul des poussées des terres.
- La stabilité des terres, considérant beaucoup de manières de stabilisation la partie explique ces méthodes.
- Les murs de soutènement, vu une multitude de murs cette partie va se focaliser sur l'explication de ces différents types.

Une deuxième partie consacrée au calcul du mur de soutènement.

- Analyse de la stabilité des murs cantilever en béton armé, cette partie a pour but de décrire les différentes stabilités qui est à faire pour un mur de soutènement ainsi que les cas de murs qui seront traités dans le travail.
- Programmation du calcul d'un mur de soutènement cantilever en béton armé, cette partie a pour rôle de définir la structure des cas de mur laquelle le programme aura à exécuter.
- Validation et simulation, on va tester le programme avec des cas de murs tout en faisant des variations, à la fin de voir les résultats obtenus munis des commentaires.

1.1. Introduction.

La mécanique des sols est l'application des lois mécaniques et hydrauliques au matériau sol. Comparé aux nombreux autres matériaux étudiés en mécanique, les bétons, les aciers, les plastiques, le bois..., le sol présente deux originalités. C'est tout d'abord un milieu discontinu qu'il faudra donc étudié à la fois dans sa globalité et dans sa composition élémentaire.

Les ouvrages utilisent le sol en tant qu'un élément de l'infrastructure qui transmet la charge globale de l'ouvrage vers une couche du sol suffisamment stable et résistante. De ce fait, la réussite de l'ouvrage relève de la réussite du projet de fondation. Selon le type de l'ouvrage et son mode de conception, le sol peut constituer une base d'appuis pour l'ensemble de l'ouvrage tel que route, tunnel, barrage poids, mur de soutènement, aérodrome, ou un point d'appuis pour quelques éléments seulement tel que bâtiment, pont, barrage en arc .etc.

La mécanique des sols est la science qui regroupe l'ensemble des connaissances et des techniques qui permettent :

- D'identifier les caractéristiques qui régissent le comportement mécanique du sol.
- L'analyse de l'interaction sol-structure.
- La réalisation correcte des ouvrages enterrés.

A titre indicatif, la mécanique des sols traite les problèmes relatifs aux fondations diverses, ouvrages de soutènement, remblais et structures en terre, stabilité des pentes et talus, route, piste d'atterrissage, tunnels, mines.

Figure 01 Types de problèmes de mécanique des sols



a - Fondation

b - Route

c - Mur en béton armé Cantilever

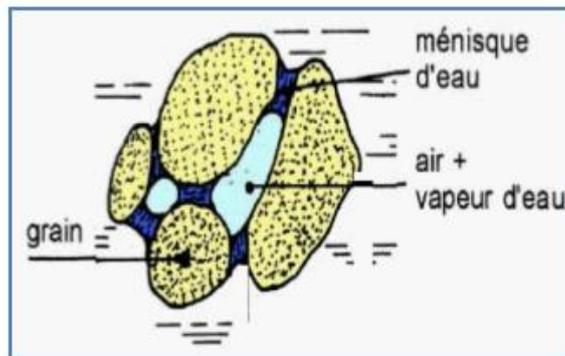
1. 2. Définitions du sol.

Le sol est défini par opposition au mot roche, dans sa définition géotechnique. C'est un agrégat naturel de grains minéraux, séparables par une action mécanique légère. Le sol est le résultat d'une altération naturelle physique ou chimique des roches. On conçoit donc que la limite entre un sol et une roche altérée ne soit pas définie nettement. Le sol est un matériau meuble, ce caractère étant fondamental. Il ne suffit cependant pas à définir un sol naturel car certains matériaux produits par l'homme présentent aussi ce caractère. Par exemple les sous-produits miniers et les granulats concassés (sable, gravier, ballast...) sont aussi des matériaux. Le mécanicien des sols étudie donc aussi bien des sols naturels que des matériaux fabriqués artificiellement à partir de sols ou de roches et présentant un caractère meuble.

1. 3. Eléments constitutifs d'un sol.

Un sol est un mélange d'éléments solides constituant le squelette solide, d'eau pouvant circuler ou non entre les particules et d'air ou de gaz. Il est donc, en général, constitué de trois phases : solide + liquide + gazeuse. Entre les grains du squelette, les vides peuvent être remplis par de l'eau, par un gaz ou les deux à la fois. Le gaz contenu dans les vides entre les particules est généralement de l'air lorsque le sol est sec ou un mélange d'air et de vapeur d'eau lorsque le sol est humide (cas le plus fréquent). L'eau peut remplir plus ou moins tous les vides entre les grains et être mobile (écoulement plus ou moins rapide). Lorsque l'eau remplit tous les vides, le sol est dit saturé. Dans les régions tempérées, la plupart des sols en place, à quelques mètres de profondeur sont saturés. Lorsqu'il n'y a pas d'eau, le sol est dit sec.

Figure 02 Constituants du sol



1. 4. Les types des sols.

On identifie habituellement les différents types de sols selon la dimension de leurs particules. En mécanique des sols, la division la plus simple consiste à regrouper les sols en deux grandes classes :

- Les sols à gros grains ;
- Les sols à grains fins.

Les sols à gros grains : Les cailloux et les blocs, ou enrochements, ont un diamètre équivalent supérieur à 80mm. Ils se caractérisent par une très grande perméabilité.

Le gravier et le sable sont constitués de particules de roc dont le diamètre équivalent varie de 0.08mm à 80mm. De façon générale, ils présentent une bonne perméabilité.

Les sols à grains fins : Le silt est composé de fines particules de roc dont le diamètre équivalent varie de 0.002mm à 0.08mm, et dont on peut observer la forme à la loupe ou au microscope optique. L'argile est constituée de particules cristallines qui proviennent de la décomposition chimique des constituants de roc. Ce sont, pour la plupart des silicates d'aluminium, de magnésium ou de fer dont les atomes sont disposés de façon à former des figures géométriques très régulières. Leur diamètre équivalent varie approximativement de 1nm à 0.002mm ; il faut utiliser des techniques plus sophistiquées (comme le MEB) pour observer ces particules. Les sols organiques : Ils contiennent un pourcentage élevé de matières organiques.

- $MO < 3\%$: sol inorganique
- $3\% < MO < 10\%$: sol faiblement organique
- $10\% < MO < 30\%$: sol moyennement organique.

1. 5. Disciplines de la mécanique des sols.

* Géologie du terrain

L'étude de la géologie du terrain est d'une grande importance. En effet, elle permet d'identifier les différentes couches du sol, leurs épaisseurs et leurs pendages ainsi que la présence éventuelle de nappe d'eau souterraine. D'autre part, l'étude géologique des couches présentes donne des descriptions qualitatives du sol, répond sur quelques questions relatives à l'histoire du dépôt et permet d'orienter les recherches préliminaires.

* Caractérisation physico-chimique :

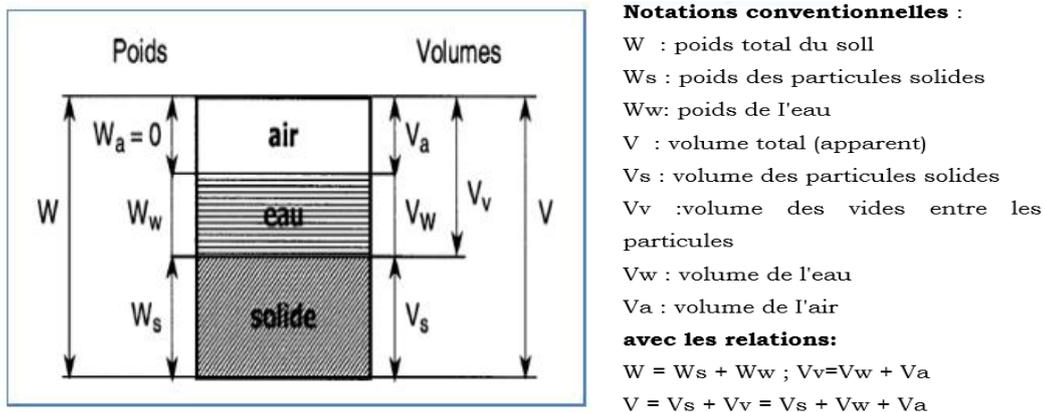
L'étude des caractéristiques physiques et chimiques des sols a montré sa grande utilité pour la prédiction ou l'interprétation du comportement du sol. La majorité de ces propriétés sont déterminées par des essais au laboratoire ou sur site.

1. 6. Caractéristique physique des sols.

* Modèle élémentaire d'un sol :

Un sol étant composé de grains solides, d'eau et d'air, on peut rassembler chaque phase en un volume partiel unique de section unité. Les notations suivantes sont utilisées.

Figure 03 Représentation conventionnelle d'un volume de sol



* Paramètres dimensionnels

On définit également les paramètres dimensionnels basé sur les variables : poids et volumes.

- le poids volumique des particules solides ;
- le poids volumique de l'eau ;
- le poids volumique du sol ;
- le poids volumique du sol sec ;
- le poids volumique du sol saturé ;
- le poids volumique du sol déjaugé ;

* Paramètres adimensionnels

Les paramètres sans dimensions (paramètres d'état) : au nombre de quatre, indiquent dans quelles proportions sont les différentes phases d'un sol. Ils sont très importants et essentiellement variables. On définit :

- La porosité ;
- l'indice des vides ;
- La teneur en eau ;
- Le degré de saturation ;

* Relations entre les paramètres

Tous les paramètres précédemment définis ne sont pas indépendants. Les relations les plus importantes existant entre ces différents paramètres sont données comme suit :

Figure 04 Relations entre les paramètres

Capture rectangulaire

$n = \frac{V_v}{V}$	$e = \frac{V_v}{V_s}$	$w = \frac{W_w}{W_s}$
$n = \frac{e}{1+e}$	$e = \frac{n}{1-n}$	$w = e \cdot Sr \cdot \frac{Y_w}{Y_s}$
$n = 1 - \frac{Y_d}{Y_s}$	$e = \frac{Y_s}{Y_d} - 1$	$w = \frac{Y}{Y_d} - 1$
$n = \frac{Y_s - Y_{sat}}{Y_s - Y_w}$	$e = \frac{Y_s - Y_{sat}}{Y_{sat} - Y_w}$	$w = Sr \cdot Y_w \left(\frac{1}{Y_d} - \frac{1}{Y_s} \right)$
$Sr = \frac{V_w}{V_v}$	$Sr = \frac{Y_s}{Y_w} \cdot \frac{w}{e}$	$Sr = \frac{w}{w_{sat}} \quad (Y_d \text{ constant})$
$\gamma = (1 + w)(1 - n) \cdot \gamma_s$	$\gamma = \frac{1+w}{1+e} \cdot \gamma_s$	$\gamma = (1 + w) \gamma_d$
$\gamma = \gamma_d + n \cdot Sr \cdot \gamma_w$	$\gamma = \frac{Y_s + e \cdot Sr \cdot Y_w}{1+e}$	$\gamma = (1 - n) \cdot \gamma_s + n \cdot Sr \cdot \gamma_w$
$\gamma_d = (1 - n) \gamma_s$	$\gamma_d = \frac{Y_s}{1+e}$	$\gamma' = Y_{sat} - \gamma_w$
$\gamma' = (1 - n)(\gamma_s - \gamma_w)$	$\gamma' = \frac{Y_s - Y_w}{1+e}$	$\gamma' = \frac{Y_s - Y_w}{Y_s} \cdot \gamma_d$

1. 7. Caractéristiques chimiques des sols.

Certains sols, issus de dépôts géologiquement récents, peuvent contenir de la matière organique. On les identifie in situ à leur couleur grise à noire, à la présence de débris végétaux et à leur odeur. Au laboratoire, la teneur globale en matière organique se mesure sur le résidu passant à 0,4 mm, préalablement séché à 65°, que l'on fait réagir à l'eau oxygénée. Un deuxième étuvage permet par différence de connaître le poids et donc la teneur en matière organique. Au-delà de 2 à 3 % de matière organique, l'utilisation des sols en remblai peut engendrer des problèmes de tassements à long terme. Les sols contenant plus de 5 % de matière organique sont à proscrire. La classification des sols selon LPC/USCS nous a permis de classer les sols dans leurs compositions chimiques.

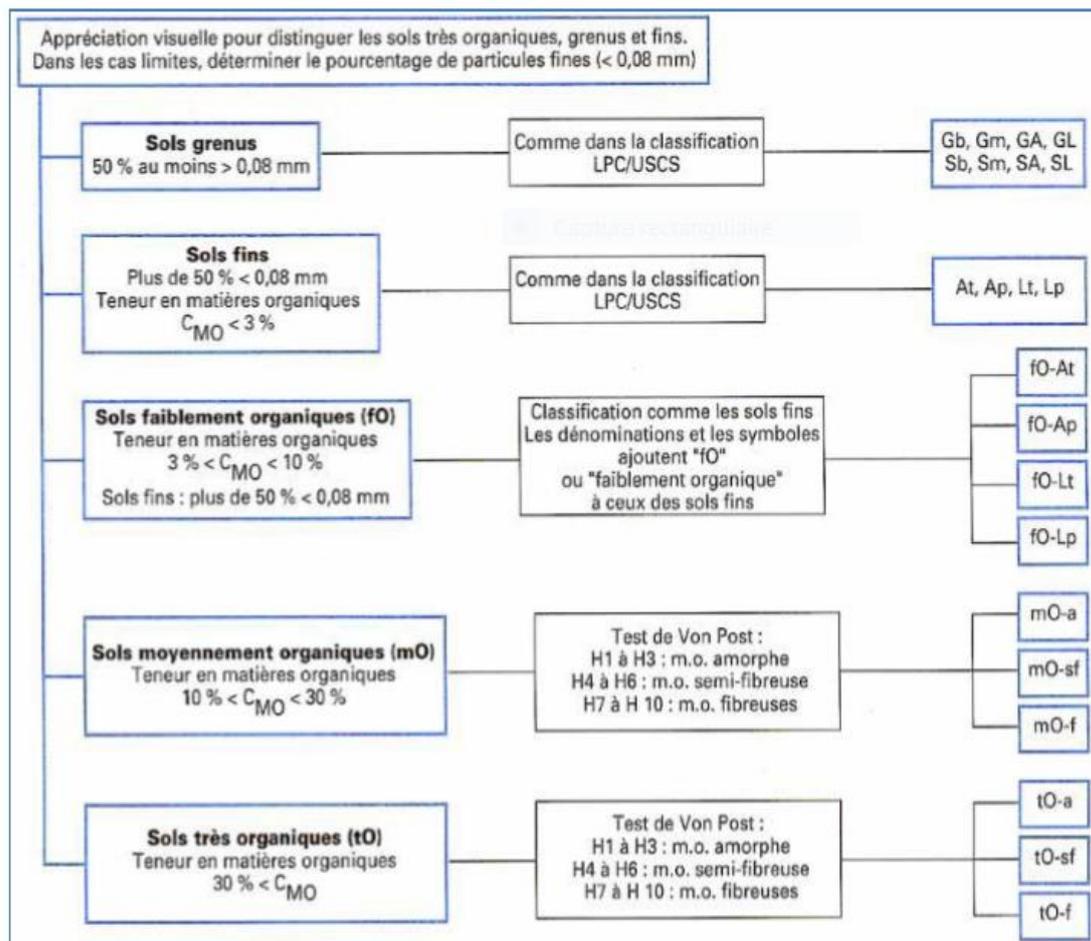
* Classification LPC modifiée

Les modifications apportées à la classification LPC/USCS portent exclusivement sur la description des sols organiques (teneur en matières organiques supérieure à 3 %). Seuls les sols comportant moins de 10 % de matières organiques continuent d'être classés comme les sols fins. Pour les teneurs en matières organiques plus fortes, l'accent est mis sur le degré de décomposition (d'humification) des fibres organiques, évalué au moyen du test de Von Post. La classification débouche sur vingt-deux types de sols, qui sont :

- des sols grenus : Gb, Gm, GA, GL, Sb, Sm, SA, SL
- des sols fins : At, Ap, Lt, Lp
- des sols faiblement organiques : fO-At, fO-Ap, fO-Lt, fO-Lp
- des sols moyennement organiques : mO-a, mO-sf, mO-f
- des sols très organiques : tO-a, tO-sf, tO-f.

Les symboles des sols grenus et des sols fins sont les mêmes que dans la classification LPC/USCS. Pour les sols organiques, les symboles : a, sf et f signifient « à matière organique amorphe », « à matière organique semi fibreuse » et « à matière organique fibreuse ».

Figure 05 Classification des sols selon LPC/USCS



1. 8. Etude hydraulique.

La présence d'eau dans les différentes couches joue un rôle prépondérant dans le comportement des sols. La détermination du niveau de stabilisation et l'étude du régime d'écoulement permet de choisir le matériel de pompage et d'épuisement, comme il permet de parer aux phénomènes des sables bouillants. La détermination de la nature chimique de l'eau souterraine permet de prévoir le mode d'étanchéité des structures enterrées. L'eau qui se trouve dans les sols est soumise à plusieurs forces. Les molécules d'eau subissent d'abord une attraction réciproque constituant la cohésion de l'eau, et leur permettant de rester groupées entre elles. Mais elles subissent aussi une attraction moléculaire de la part des substances étrangères au contact desquelles elles se trouvent, cette cohésion fixe la molécule d'eau aux parois. De plus, l'eau dans le sol est soumise à l'influence de la pesanteur qui, suivant la grandeur des forces qui lui sont opposées par les attractions moléculaires, permettra ou ne

permettra pas à l'eau de se mouvoir. En fin, la tension de vapeur d'eau de l'atmosphère surmontant l'eau, provoquera des mouvements d'eau soit par évaporation, soit par condensation. Ainsi il y a lieu de distinguer différentes catégories d'eau dans un sol. (LAREAL.1975).

L'eau de constitution : Qui fait partie de la constitution chimique des masses minérales présentes dans la phase solide du sol.

L'eau en phase vapeur : D'une manière générale un sol non saturé a l'atmosphère de ses pores saturés en vapeur sauf si une circulation importante d'air est possible.

L'eau hygroscopique : C'est de l'eau adhérant fortement par adsorption à la surface des particules du sol, elle est maintenue à la surface des particules par des forces d'attraction moléculaire. Elle provient de l'humidité de l'atmosphère en contact avec les particules et forme autour d'elles une pellicule adhésive dont l'épaisseur varie suivant la nature et la surface spécifique du minéral d'une part, la tension de vapeur d'autre part.

L'eau pelliculaire : Entoure les particules de sol et leur eau hygroscopique. Elle est soumise à des forces d'attraction moléculaires de la part de la couche d'eau hygroscopique qui diminuent rapidement quand on s'éloigne de la particule. Le jeu des forces moléculaires entre particules voisines peut permettre à cette eau de se déplacer sous forme liquide.

Les eaux hygroscopique et pelliculaire sont en quelque sorte une eau liée dont les propriétés physiques sont bien différentes de celles de l'eau libre à la même température.

Elle a une forte viscosité, ne transmet pas les pressions hydrostatiques et ne se déplace pas sous l'effet de la pesanteur. Ses propriétés sont, de plus, fortement influencées par les cations présents dans l'eau libre et qui, attirés par l'eau liée, pénètrent en elle, et forment le complexe d'adsorption dont l'étude est fort instructive pour expliquer le comportement des sols argileux. On estime souvent à 0.13 la distance à la surface de la particule à partir de laquelle les forces d'attraction moléculaire deviennent négligeables, la fraction hygroscopique ne peut être extraite que par un vide poussé ou par dessiccation. La fraction pelliculaire peut être extraite par centrifugation poussée.

Alors que la teneur en eau hygroscopique est très faible (de l'ordre de 0.2 à 0.5 %) pour des sables, elle peut atteindre pour les argiles, ayant une forte surface spécifique (montmorillonite), 15 à 20 %. De même la teneur en eau pelliculaire des sables ne sera que de quelques pourcents, alors que celle des argiles peut atteindre 40 à 45 %.

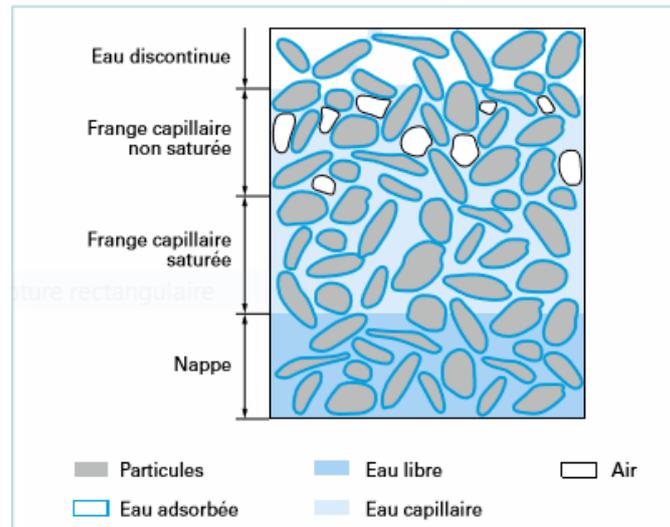
L'eau de constitution, qui entre dans la composition chimique des minéraux dont les particules de sol sont formées ;

L'eau liée ou absorbé, à la surface des grains très fins, qui est orientée par les forces d'attraction moléculaire et les forces électrostatiques ; elle a une viscosité élevée et ne transmet pas les pressions ;

L'eau libre, qui circule librement dans les pores du sol sous l'effet des forces de pesanteur ;

L'eau capillaire, qui, dans les sols non saturés, en présence d'air ou d'autres gaz, est retenue dans les canaux les plus fins du sol par les forces capillaires.

Figure 06 Différents états de l'eau dans le sol

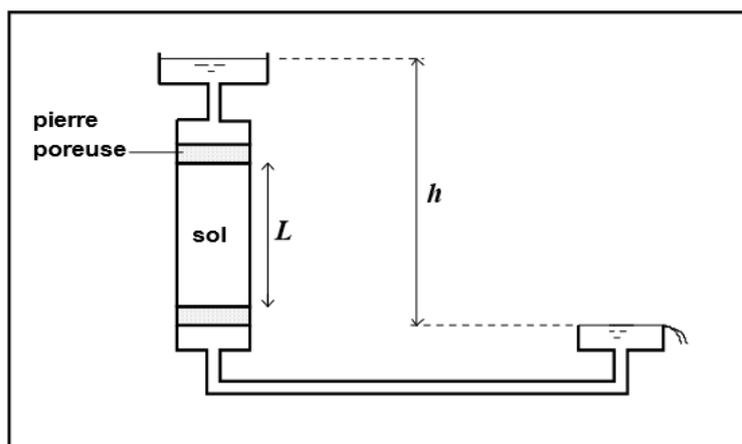


Vitesse de l'eau dans le sol : Par définition, la vitesse apparente est la valeur $v = Q/S$, rapport du débit de l'eau écoulée à la section de l'échantillon de sol. En fait, la vitesse réelle (entre les grains) moyenne est v/n où n est la porosité, mais il est plus simple de raisonner sur la vitesse apparente. Dans ce qui suit, v représentera toujours la vitesse apparente.

Charge hydraulique en un point : Considérons un point situé dans un massif saturé siège d'un écoulement permanent. Soit u la pression de l'eau en ce point et z sa cote par rapport à un repère quelconque. La charge hydraulique en ce point, est par définition : $h = \frac{u}{\gamma_w} + z + \frac{v^2}{2.g}$ or les vitesses dans les sols sont toujours faibles rendant négligeable le terme en $\frac{v^2}{2.g}$ d'où : $h \approx \frac{u}{\gamma_w} + z$.

Gradient hydraulique : Dans un écoulement uniforme et unidirectionnel, le gradient i est par définition le rapport de la différence de charge h à la longueur L du trajet de l'eau dans le sol.

Figure 07 Echantillon de sol soumis à un gradient hydraulique $i=h/L$



1. 9. Propriétés hydrauliques des sols.

Loi de Darcy : Cette relation fondamentale s'écrit : $v = k.i$ où k est le coefficient de perméabilité du sol. Il vaut de l'ordre de 10^{-8} à 10^{-10} m/s pour une argile et 10^{-4} à 10^{-6} m/s pour un sable.

DARCY (1856) a proposé, pour décrire les écoulements unidirectionnels, la relation suivante : $\frac{Q}{S} = k \frac{H_1 - H_2}{l}$ Où H_1 et H_2 sont les hauteurs piézométriques mesurées aux deux extrémités de l'échantillon. Il constate que le débit par unité d'aire Q est proportionnel à $(H_1 - H_2)$ et inversement proportionnel à la longueur l de l'écoulement, tant que $(H_1 - H_2)/l$ n'est pas trop fort. C'est cette relation qui a permis d'exprimer la loi de DARCY : $v = -ki$

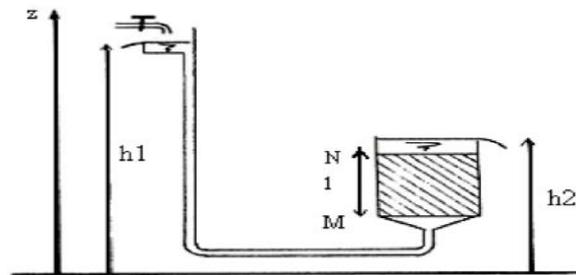
Avec v : Vitesse de décharge (c'est le débit traversant une section unité) ;

i : Gradient hydraulique ou perte de charge par unité de longueur dans le sens de l'écoulement ;

k : Coefficient de perméabilité du sol qui a la dimension d'une vitesse. Il caractérise à la fois le sol et le liquide filtrant.

Considérons un cylindre de sol de section S et supposons qu'il se produise un écoulement de M vers N . Soit Q le débit à travers la section S . Par définition, la vitesse de l'eau est $V = Q/S$

Figure 08 L'expérience de DARCY



1. 10. Caractéristiques mécaniques.

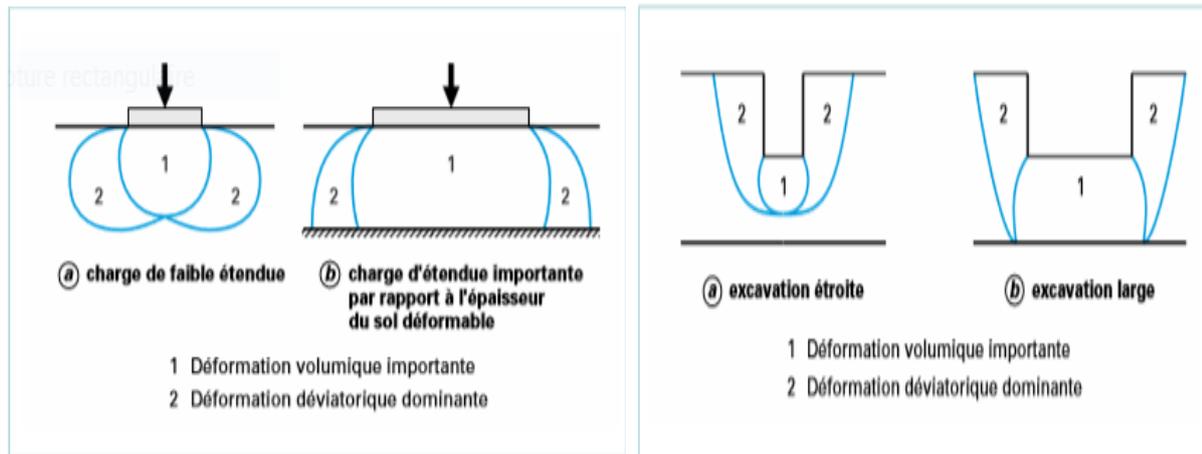
L'analyse du comportement mécanique des sols repose sur les conclusions des disciplines précédentes ainsi que sur des essais de laboratoire ou sur site. Cette discipline permet de déterminer la résistance du sol et sa capacité portante, et par conséquent le choix du mode de fondation et les dimensions des éléments enterrés. Enfin, elle permet de prévoir de façon quantitative la déformation ou tassement du sol sous la charge de l'ouvrage.

* Déformabilité des sols :

La déformabilité prend des formes différentes selon la nature des sols et le type des ouvrages, comme le montrent les quelques exemples suivants.

Sous une charge superficielle, on peut distinguer, comme le faisait L. Ménéard pour les calculs pressiométriques, une zone située sous la charge où la déformation volumique domine et une zone externe où la déformation est plutôt déviatorique (distorsion du sol sans changement significatif de volume). Les fondations superficielles des murs et des poteaux correspondent généralement à la situation de la figure.

Figure 09 Déformations d'un massif de sol



* Compressibilité :

Essais œdométriques : L'essai œdométrique reproduit les conditions de déformation des sols dans le cas d'un massif à surface horizontale chargé par une pression uniforme et où le sol ne peut se déplacer que verticalement. Le principe de l'œdomètre a été inventé au début du XXe siècle et cet appareil fait partie de l'équipement de tous les laboratoires de mécanique des sols.

Tassement et consolidation : Le tassement est par définition la variation de hauteur d'une couche de sol sous l'effet d'une charge. La consolidation est l'évolution du tassement dans le temps.

Principes généraux : Par hypothèse, nous nous limiterons aux contraintes verticales et aux problèmes à deux dimensions ou axisymétriques. Le calcul du tassement d'un sol soumis à un chargement vertical se fait en deux étapes.

Première étape : calcul de l'état de contraintes dans le sol avant et après le changement

Pour cette étape, il est en général fait appel à la théorie de l'élasticité, cette approximation étant valable au moins pour les contraintes verticales.

Deuxième étape : calcul des déformations

Deux méthodes sont utilisées pour cette seconde étape, la méthode du chemin de contraintes (basée sur l'essai œdométrique, et la méthode dérivée de la théorie de l'élasticité (basée le plus souvent sur l'essai pressiométrique) .

Recherche théorique et modélisation numérique

Dans le but de la compréhension des phénomènes physiques complexes, plusieurs théories ont été développées. Elles décrivent les problèmes posés par des modèles mathématiques rigoureux dont la résolution fait recours aux techniques informatiques et numériques de plus en plus avancées et occupe une large partie de la recherche actuelle dans ce domaine.

Conception et mise en œuvre

Ce sont les techniques acquises pour la conception et la réalisation des ouvrages enterrés. Elle prend en compte l'étude des coûts des différentes solutions possibles. Autre que le savoir-faire, la

réglementation en vigueur doit être suivie pas à pas pour garantir les conditions de sécurité que ce soit pendant la réalisation ou au cours de l'exploitation de l'ouvrage.

Histoire de la mécanique des sols

On peut suivre l'évolution de la mécanique des sols à travers son apparition autant qu'une science à part entière et le développement de ses grandes théories (voir le tableau ci-dessous).

Tableau 01 *La mécanique des sols à travers ces différentes théories.*

Siècle	Auteur	Théorie
18 ^{ème}	Coulomb	Résistance au cisaillement
19 ^{ème}	Collin	Rupture dans les talus d'argile
	Darcy	Ecoulement de l'eau à l'intérieur du sable
	Rankine	Pression des terres sur les murs de soutènement
	Gregory	Drainage horizontal, remblai compacte avec contrefort pour stabiliser la pente des tranchées de voies ferrées
20 ^{ème}	Atterberg	Limites de consistance de l'argile
	Terzaghi	Premier manuel moderne de mécanique des sols
	Casagrande	Essais sur la limite de liquidité

1. 11. Stabilité des terres.

1. 11.1 Sols stabilisés.

Le traitement des sols est souvent exécuté pour augmenter leur résistance, pour réduire ou augmenter leur perméabilité ainsi que pour diminuer leur compressibilité. Il est, aussi utilisé pour minimiser la sensibilité du sol aux variations de la teneur en eau comme dans le cas des sols expansifs. Les techniques de stabilisation les plus utilisées sont :

- la stabilisation mécanique ;
- la stabilisation chimique ;
- la stabilisation thermique.

Le choix de l'une de ces méthodes dépend de plusieurs paramètres tels que ; les considérations économiques, la nature du sol à traiter, la durée de l'opération, la disponibilité des matériaux à utiliser ainsi que les conditions d'environnement.

1. 11.2 Type de stabilisation.

* Stabilisation chimique :

Les additifs permettant d'améliorer les caractéristiques des sols sont classés en deux grandes familles : les sels et les liants.

LES SELS : Plusieurs sels minéraux à différentes concentrations (Chlorure de potassium KCL, Chlorure de sodium NACL, Chlorure de calcium CACL₂, Sulfate d'ammonium (NH₄, SO₄ sont utilisés dans la stabilisation chimique des sols surtout pour les sols gonflants dont il augmente la concentration ionique de l'eau libre.

LA CHAUX : La stabilisation par ajout de chaux est la technique de traitement des sols la plus répandue. L'utilisation de cette technique permet :

- D'éviter des volumes de terrassement importants dans le cas de substitution des sols médiocres.
- De diminuer la plasticité et la densité sèche ainsi d'augmenter la résistance du sol et W_{opt} .
- De donner aux sols argileux d'une manière assez rapide une consistance pour des dosages compris entre 1% et 2%. Ceci montre aussi l'intérêt économique de ce procédé.

LE CIMENT : Le ciment est un additif qui peut être utilisé pour la stabilisation du sol dont il augmente la résistance, la limite de retrait, il diminue la plasticité et réduit le potentiel de variation de volume.

* Stabilisation thermique :

LE COMPACTAGE : Le compactage est une méthode la plus simple et économique, il est employé typiquement pour augmenter la densité du sol et réduit le potentiel expansif. Les conducteurs des machines doivent faire attention lors du compactage du sol, parce que trop de pression peut écraser les agrégats et le sol perde leur propriété de résistance.

ADDITION DES MATERIAUX : C'est une méthode économique, elle améliore les caractéristiques du sol, il s'agit d'augmenter la résistance du sol ou diminuer son plasticité en ajoutant des agrégats ou des fibres.

REMEDEIASSIONS MECANIQUE : Généralement, le remédiassions mécanique a été la méthode la plus admise pour traiter la contamination du sol. Au lieu de transporter le sol contaminé à la décharge public et le remplacé par un autre bon sol, la technique bio remédiassions s'avère la meilleure solution pour ce cas.

1. 11.3 Domaine d'application.

La stabilisation du sol est utilisée dans beaucoup de secteurs de la construction :

- Routes ;
- Les parkings d'avions et pistes d'envol ;
- Les chantiers ;
- Décharges d'ordures ;
- Voie navigable ;
- Miner.

1. 11.4 Avantages de la stabilisation des sols.

- Améliore la résistance du sol
- La durabilité
- Réduit le potentiel de variation de volume
- Imperméabilise le sol
- Diminuer la teneur en eau
- Solution économique

1. 12. Sols renforcés.

Le renforcement des sols consiste, dans son principe, à associer un sol à des éléments résistants de manière à former un matériau composite. Les sols renforcés (terres armées) sont fréquemment utilisés à présent pour différentes structures tel les talus, les murs de soutènement et les fondations réalisées sur des sols de très faible portance. Il existe une très grande variété d'éléments de renforcement utilisés dans la pratique et que l'on classe généralement suivant leur forme géométrique ; unidimensionnelle (linéaire), bidimensionnelle ou tridimensionnelle. En outre, un grand nombre de matériaux constitutifs sont possibles : acier, fibres de verre, géotextiles et produits apparentés (matières plastiques), etc. Le tableau 1.1 donne une classification des principales techniques de sol renforcé en fonction de la géométrie des renforcements et du type de sol (sol rapporté ou en place).

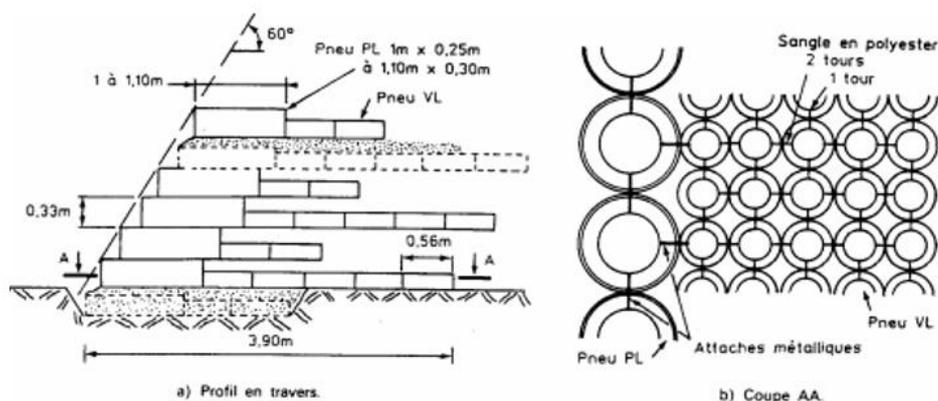
Tableau 02 Classification des techniques de renforcement suivant les éléments de renforcement utilisés.

Type de sol	Techniques de renforcement des sols		
	Renforcements unidimensionnels (linéaires)	Renforcements bidimensionnels	Renforcements tridimensionnels
Sols rapportés	Terre Armée (armatures métalliques)	Treillis métalliques horizontaux	Micro renforcements (disquettes, plaquettes)
	Procédé Freyssisol (armatures en matière synthétique : Paraweb)	Mur Tervoile (treillis verticaux)	Fibres (métalliques, géosynthétiques)
	Murs VSL (bandes de treillis métalliques)	Nappes en géosynthétiques (géotextiles, géogrilles, géocomposites)	Texsol (fil continu)
	/	Procédés utilisant des Pneusol, Arma-Pneusol, Pneu-TEX)	/
Sols en place	Micropieux (groupes ou réseaux)	/	/
	Clouage en soutènement et en pente	/	/

1. 12.1 La technique pneu sol.

Cette technique est assurée par des niveaux pneumatiques usagés de véhicules légers, reliés entre eux par sangles polyester ou attaches métalliques et dont les flancs sont entièrement découpés comme le montre la figure 1.12

Figure 10 Technique Pneu sol



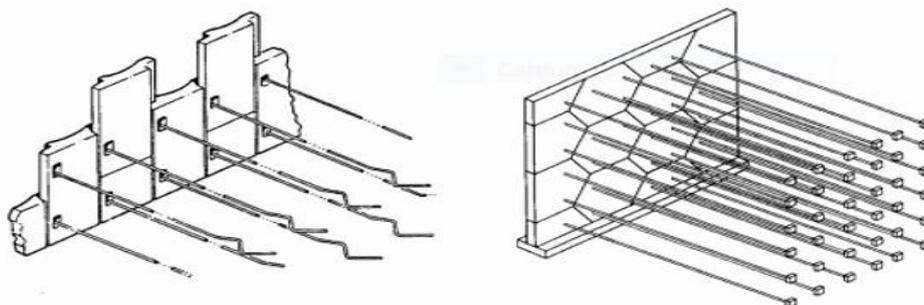
1. 12.2 le renforcement par grillages ou par treillis métalliques.

Le renforcement par treillis métalliques s'apparente à la technique Pneu tex, les géotextiles étant remplacés par des treillis. Cette technique est appelée Arma pneu sol et a l'avantage d'être utilisable avec des sols contenant de très gros éléments. Une autre technique consiste à mettre en œuvre des grillages sur lesquels le sol est compacté. C'est le système Terramesh dont le parement est en gabions. Une technique dérivée (Terramesh Vert) permet une végétalisation du parement grillagé. On peut noter que pour le remplissage des gabions, les gros éléments issus de l'écrêtage des matériaux de torrent pourraient être utilisés, à condition qu'ils soient eux-mêmes écrêtés pour supprimer les très gros éléments.

1. 12.3 le renforcement par ancrage.

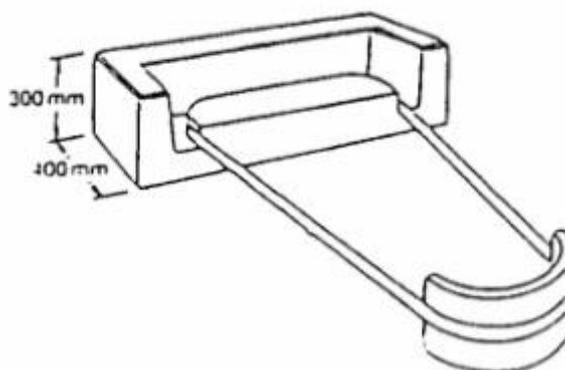
Il s'agit de renforcer le sol par des barres métalliques au bout desquelles sont placés des blocs d'ancrage. Le renforcement est ainsi assuré par frottement ainsi que par contre butée. Les barres ont une section ronde pour réduire la surface soumise à la corrosion et sont liées au parement composé d'écailles en béton. La figure suivante montre le principe de renforcement par ancrages

Figure 11 Renforcement par ancrage



Une autre technique consiste à lier chaque élément préfabriqué en béton à une butée d'ancrage par l'intermédiaire d'une bande en polymère comme indiqué dans la figure 1.14

Figure 12 Bande en polymère

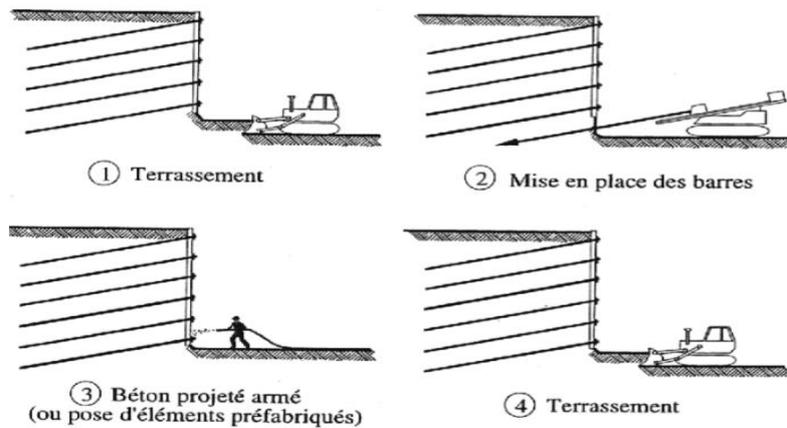


1. 12.4 le renforcement par cloutage.

Le cloutage de sol est un principe d'amélioration du sol à l'aide d'armatures métalliques mises en place à l'intérieur de forages réalisés dans le massif à stabiliser. L'intérêt d'un tel procédé est de réaliser le raidissage des pentes de talus avant de procéder au déblai. Le parement est réalisé à l'aide d'un

béton projeté et les armatures sont courantes car il s'agit d'armatures de béton armé sans autre prescription complémentaire.

Figure 13 Le cloutage



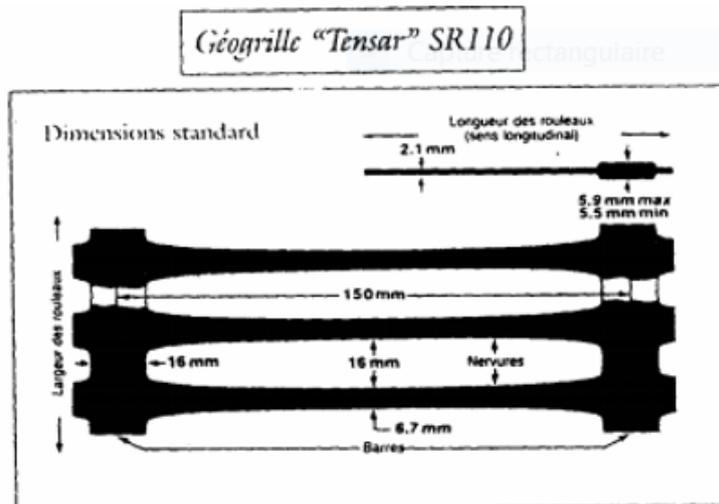
1. 12.5 le renforcement par géotextiles.

Les géotextiles sont des produits textiles à bases de fibres polymères utilisés au contact du sol dans le cadre d'applications dans le domaine de la géotechnique et du génie civil. Leurs domaines d'utilisations sont très vastes et concernent aussi bien la géotechnique routière, les centres de stockage de déchets, les aménagements hydrauliques, la stabilisation des sols et le renforcement des fondations.

1. 12.6 le renforcement par géo grille.

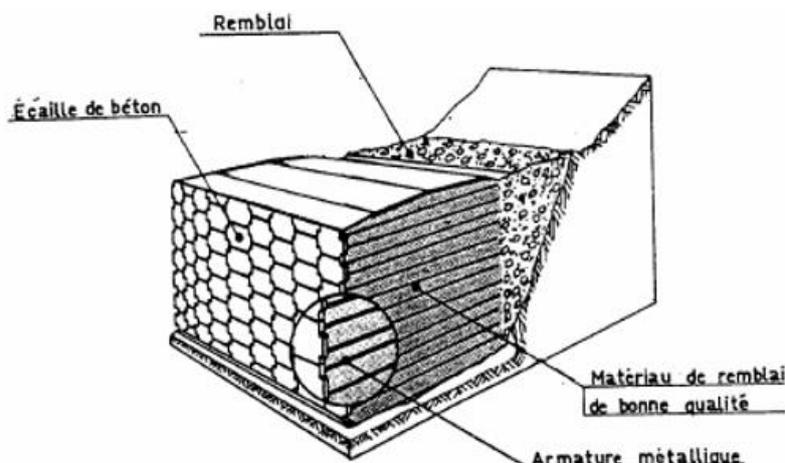
Les géo grilles sont classées parmi les produits géo synthétiques. Elles se présentent sous la forme de grilles monolithiques, tissées ou à fils soudés dont la maille peut avoir des formes diverses. En particulier, on peut distinguer les géo grilles uni axiales ayant une résistance à la traction plus élevée dans une direction que dans la direction perpendiculaire et dont la maille est allongée, et les géo grilles bi axiales ayant la même résistance dans les deux directions du maillage qui, dans ce cas, est carré. La figure 15 présente le détail d'un géo grille uni axial.

Figure 14 Exemple de géo grille uni axial



1. 12.7 La terre armée.

Figure 15 Principe d'un massif en terre armé



1. 12.8 Assise du premier rang.

C'est une assise réalisée sous le pied du massif pour faciliter la pose du premier rang de panneaux et assurer le bon alignement, elle est généralement constituée de grave correctement compactée ou en béton maigre.

1. 12.9 Terres pour remblai.

En général les terres utilisées pour le remblai sont déterminantes pour la stabilité des structures de sol renforcé. En effet, il est possible d'utiliser n'importe quel type de terre mais il faut le traiter de telle sorte que l'angle de frottement interne soit élevé, par conséquent les sols granulaires (sable, graviers ou fragments de pierres) qui ont un angle de frottement interne élevé s'avèrent être la meilleure solution.

1. 12.10 Le parement.

Le parement est la face apparente du remblai renforcé. Ses fonctions sont les suivantes :

- Protéger le massif de toute agression extérieure et en particulier de l'érosion superficielle ;
- Éviter les ruptures locales affectées le remblai.
- D'un point de vue purement esthétique améliorer l'apparence extérieure de l'ouvrage (surtout pour les parements en écailles).

Il y a trois types de parements :

Le parement métallique, qui aujourd'hui n'est plus employé. Il s'agissait d'éléments cylindriques à section semi-elliptique.

Le parement en écailles de béton, qui est très largement répandu. Les écailles sont des plaques de béton cruciformes, non ferrillées. Le lien entre les écailles constituant le parement est assuré par des goujons et des joints compressibles entre écailles superposées autorisent la déformabilité du parement dans un plan vertical. De plus, les écailles possèdent un certain jeu entre elles ce qui donne au parement une certaine souplesse. Ceci permet en particulier la construction de parements courbes.

Le parement Terratrel en treillis métallique auquel sont attachées les armatures de renforcement et qui permet la végétalisation du parement. Une géo grille ou un géotextile non tissé peut lui être associé.

Figure 16 Parement en écailles de béton

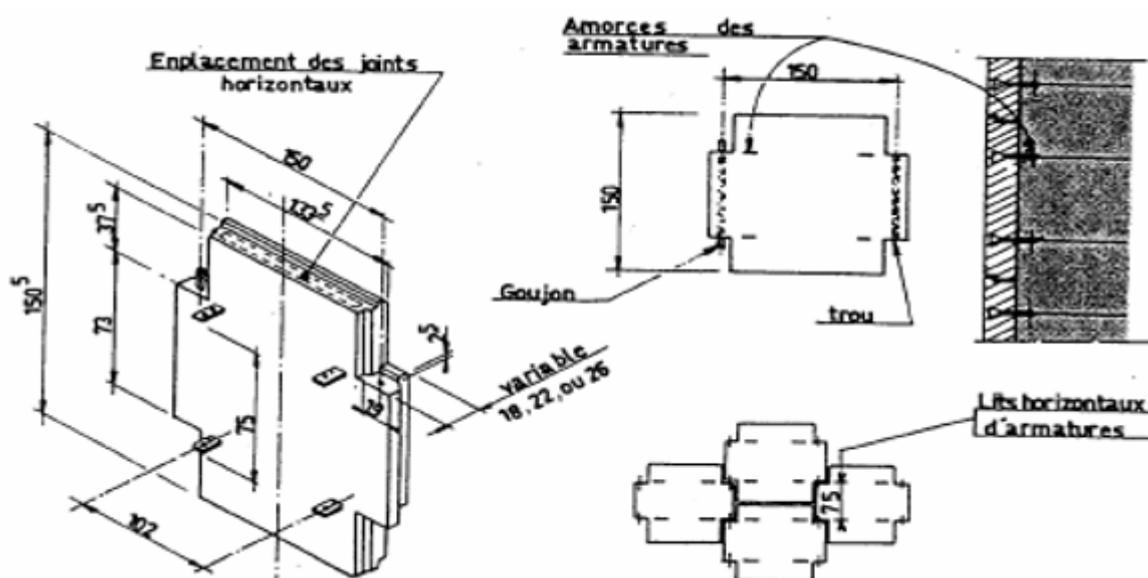
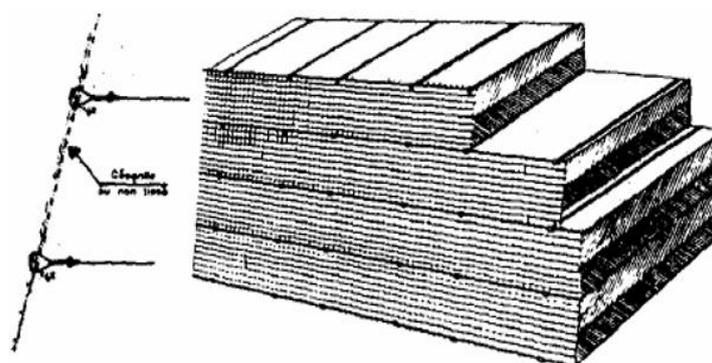


Figure 17 Parement Terratrel



1. 12.11 Les armatures.

Les armatures se présentent sous la forme de bandes plus ou moins larges (5 à 10 cm), de faible épaisseur (quelques millimètres), souvent crénelées pour assurer un frottement plus important avec le sol à renforcer. Suivant les cas d'application, elles peuvent être constituées en :

- Acier inoxydable ou acier doux galvanisé ;
- Fibres de verre ;
- Géo synthétiques ;

Dans la plupart des cas, on utilise un acier doux galvanisé. La technique mettant en œuvre des bandes en polymère est nommée « Freyssisol ». Les armatures sont alors composées de fibres en polyester gainées d'une couverture de polyéthylène. Il existe deux types d'armatures métalliques :

1. 12.12 Géo synthétique.

Les géo synthétiques sont des produits dont le principale constituant est à base de polymère synthétique ou naturel, se présentant sous forme de nappe, de bande ou de structure tridimensionnelle, utilisé en contact avec le sol ou avec d'autres matériaux dans les domaines de la géotechnique et du génie civil. Ces produits sont utilisés dans les domaines tels que la construction routière, les travaux hydrauliques, les chemins de fer, les terrains d'aviation, etc. Les rôles principaux des géo synthétiques sont les suivants,

Séparation : Prévention contre le mélange des deux matériaux de natures différentes par l'emploi d'un géotextile.

Renforcement : Utilisation de la capacité de résistance d'un géotextile ou d'un produit apparenté aux géotextiles afin d'améliorer les propriétés mécaniques des sols.

Protection : Fonction consistant à empêcher les endommagements localisés concernant un matériau donné en utilisant le géotextile, en général une géo membrane.

Etanchéité : Contrôle de la migration de gaz ou de liquide.

Filtration : Maintien du sol ou d'autres particules soumis à des forces hydrauliques en permettant le passage de fluides à travers ou dans un géotextile.

Drainage : Collecte et transport des eaux pluviales, souterraines ou d'autres liquides dans le plan d'un géotextile ou d'un produit apparenté aux géotextiles.

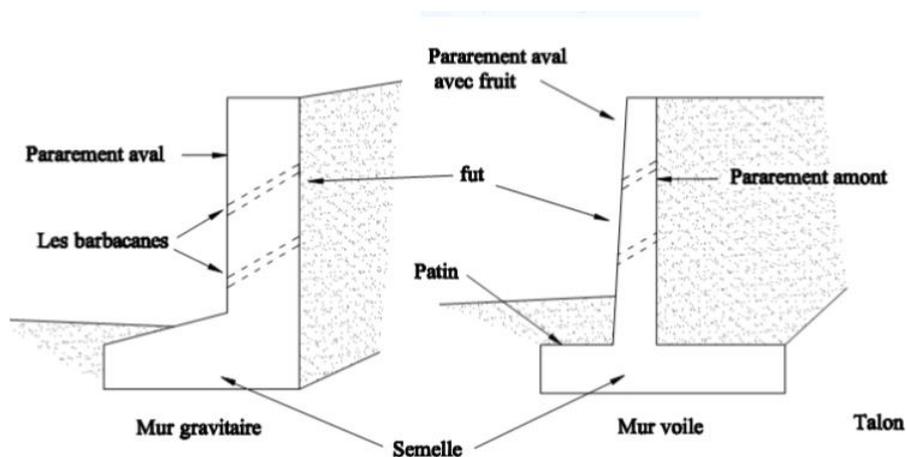
- Les géo synthétiques les plus utilisés sont :
- Les géotextiles ;
- Les géo grilles ;
- Les géo composites ;

Chapitre 2 NOTIONS GÉNÉRALES SUR LES MURS DE SOUTÈNEMENT

2. 1. Introduction.

Le mur de soutènement est un ouvrage vertical ou sub-vertical qui permet de soutenir des terres (ou tout autre matériau granulaire ou pulvérulent) sur une surface réduite. La retenue des terres par un mur de soutènement répond à des besoins multiples : préserver les routes et chemins des éboulements et glissements de terrain, structurer une berge naturelle en un quai (ports maritimes et voies navigables), parer en soubassement les fondations d'édifices de grande hauteur (murs d'escarpe et glacis dans les fortifications), soutenir des fouilles et tranchées de chantier pour travailler à l'abri de l'eau (batardeau), établir des fondations ou créer des parkings souterrains, etc. On trouve des murs de soutènement en pierres sèches, en moellons, en pierres de taille, en briques, en béton armé, en acier, voire en même bois ou en polymère.

Figure 18 Les différents éléments d'un mur de soutènement



Les ouvrages de soutènement sont essentiellement employés :

- Soit en sites montagneux pour protéger les chaussées routières contre le risque d'éboulement ou d'avalanches ;
- Soit, en site urbain pour réduire l'emprise d'un talus naturel, en vue de la construction d'une route, d'un bâtiment ou d'un ouvrage d'art.

2. 2. Classes d'ouvrages de soutènement.

Il existe deux grandes classes d'ouvrages de soutènement.

- Les murs qui sont composés d'une paroi résistante et d'une semelle de fondation. C'est le cas des murs en T renversé ou des murs-poids en béton armé ou encore en maçonnerie (briques, pierres,...) ou formés d'éléments spéciaux (murs végétalisés, gabions métalliques, ...).
- Les écrans qui sont composés seulement d'une paroi résistante.

Le présent travail se limite à traiter des murs de soutènement en béton armé, en L ou en T renversé, avec ou sans contrefort, avec ou sans console, coulés en place, partiellement ou totalement préfabriqués.

2.3. Différents types d'ouvrages de soutènement.

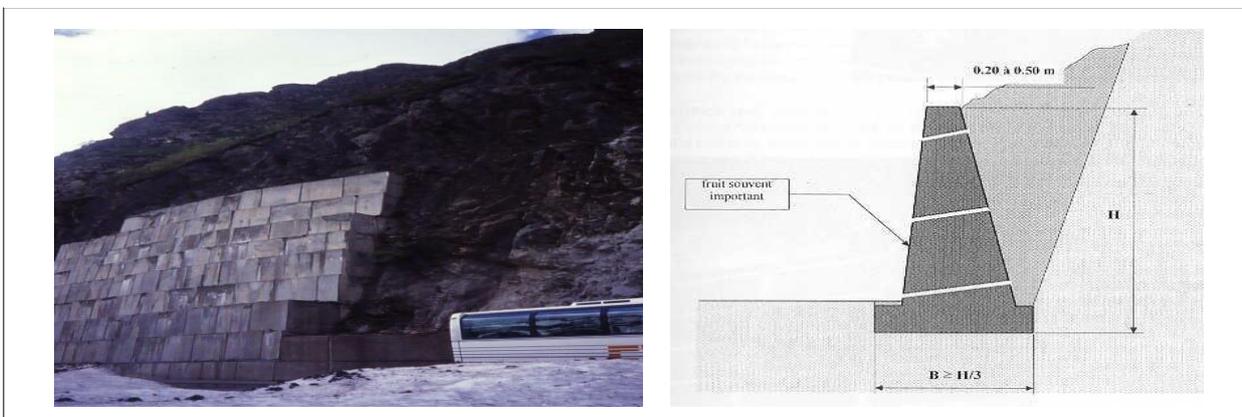
L'effort de poussée exercé par le massif de terre retenu peut être repris de diverses manières. Trois modes principaux peuvent être distingués :

- La poussée est reprise par le poids de l'ouvrage de soutènement (Les murs poids).
- La poussée est reprise par encastrement de l'ouvrage de soutènement (Les écrans plans).
- La poussée est reprise par des ancrages (Les murs composés).

2.3.1 Les Murs poids.

Le type d'ouvrage le plus classique et le plus ancien est le mur poids en béton ou en maçonnerie. Ce sont des ouvrages rigides qui ne peuvent supporter sans dommages des tassements différentiels, C'est le genre de murs qui convient le mieux pour résister par son propre poids sur des hauteurs de 2 à 3 m de remblais.

Figure 19 Dimensionnement d'un mur Poids



2.3.2 Les Murs en gabions.

Mur formé de gabions c'est-à-dire de cubes grillagés remplis de blocs de carrière ou de blocs d'alluvions. Ils réalisent un massif de butée auto drainant, en pied de glissement (de même que les massifs de butée en enrochements). A l'origine, le gabion est un cylindre en tressage de branches que l'on remplissait de terre et utilisait dans les fortifications.

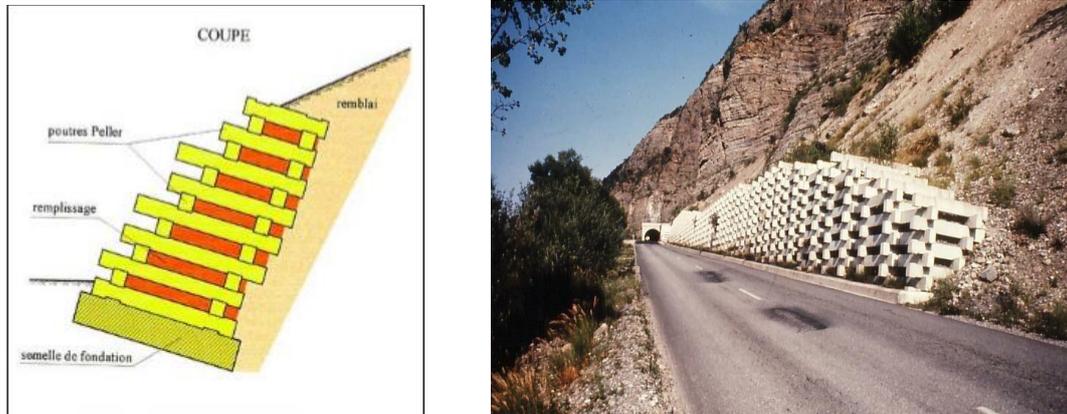
Figure 20 Mur en gabions



2.3.3 Les Murs en éléments préfabriqués.

Ce sont des murs en béton armé préfabriqué ou en métal constitués d'éléments superposés. Ce dispositif offre un aspect architectural très intéressant, la face visible n'est pas forcément plane et uniforme certains éléments étant avancés ou reculés les uns par rapport aux autres.

Figure 21 Mur en éléments préfabriqués en béton empilés

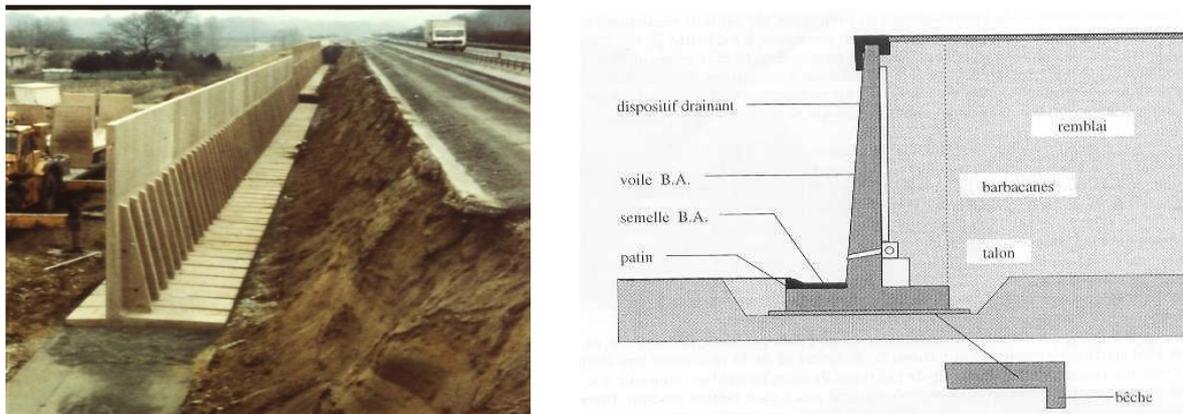


2.3.4 Les Murs en béton armé.

a- Mur en « T renversé » classique.

Le mur en « T renversé » est la forme classique pour un mur en béton armé de treillis soudé. Il est économique sans contreforts, tant que sa hauteur n'excède pas 5 à 6 mètres, et peut-être réalisé sur un sol de qualités mécaniques peu élevées. En effet, par rapport à un mur-poids de même hauteur, il engendre des contraintes sur le sol plus faible pour une même largeur de semelle.

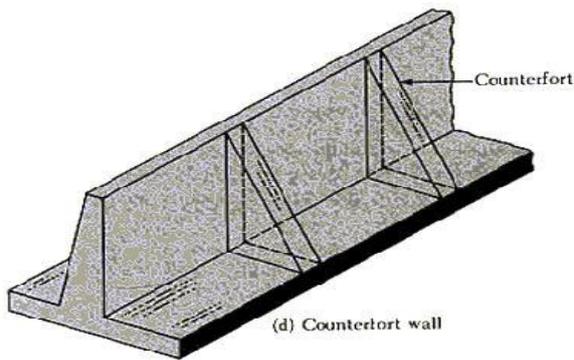
Figure 22 Mur en « T renversé » classique



b- Mur à contreforts.

Lorsque la hauteur du mur devient importante ou que les coefficients de poussée sont élevés, le moment d'encastrement du voile sur la semelle devient grand. Une première solution consiste à disposer des contreforts dont le but est de raidir le voile.

Figure 23 Mur à contreforts



2.3.5 Les écrans plans de soutènement.

Une paroi moulée est un écran en béton armé moulé dans le sol. La stabilité de la tranchée pendant les opérations de forage, de ferrailage et de bétonnage est obtenue avec un fluide de perforation appelé boue. La boue est fabriquée avec de la bentonite. Elle forme sur les parois de l'excavation un dépôt étanche appelé cake qui lui permet de ne pas percoler dans le terrain et d'assurer la pression hydrostatique qui s'oppose à l'éboulement des parois. Une boue fabriquée avec des polymères peut être aussi utilisée.

Figure 24 Mur en parois moulés



2.3.6 Les murs en parois berlinoises.

Dans son originalité, qui s'est développée lors de la construction du métro de Berlin, au début du 20ème siècle, il s'agit de profils en acier battus dans le sol et la surface entre axes est couverte par des madriers en bois généralement horizontaux. Les murs à la berlinoise se caractérisent par une grande facilité d'adaptation aux différentes situations géologiques rencontrées (canalisation, ou conduite d'eau,...etc.) parce que les distances entre les étais (profilées) peuvent être adoptées aux obstacles rencontrés pendant l'excavation et la méthode de remplissage (revêtement) de l'espace entre les étais peut être variée. C'est pour cela, les murs à la berlinoise sont utilisées de nos jours de plus en plus. Les parois sont généralement fixées contre le sol avec des cales ou d'autres moyens identiques. L'utilisation des parois berlinoises est nécessaire lors des constructions dans des emplacements restreints. En effet, elles démontrent toute leur efficacité lorsque des fouilles sont irréalisables en raison de talus à proximité immédiate d'ouvrages existants ou de terrains privés. Elles sont le plus souvent utilisées en milieu urbain où la surface du chantier coïncide souvent à la surface de l'ouvrage à réaliser. La paroi berlinoise est généralement un ouvrage provisoire, mais peut devenir définitif selon l'utilité. Les avantages principaux sont la rapidité d'exécution et son retour sur investissement.

Figure 25 Type de renforcement



a- Renforcement par butons



b- Renforcement par tirants

2.3.7 Les rideaux de palplanches.

Une palplanche (composé de pal et planche) est une pièce en bois, acier, béton, etc., de section spéciale, permettant de l'emboîter à une autre et généralement utilisée à la constitution de parois étanches en terrains meubles, aquifères ou immergés. Dans le langage courant, la palplanche est souvent définie comme un « profilé métallique » mais la palplanche ne désigne pas seulement le profilé acier mais bien un profilé de section spécifique fait dans divers matériaux tels que le béton, le bois, ou le PVC. De plus, il ne faut pas confondre « palplanche » et « rideau de palplanche » qui désigne l'ensemble structural formé par les palplanches assemblées entre elles. Cette partie vise à faire la distinction entre les différents types de palplanches afin qu'aucune possibilité ne soit écartée de notre synthèse. Les palplanches permettent de constituer un mur de soutènement, un batardeau, une palée ou un écran imperméable.

Figure 26 Les rideaux de palplanches



2.3.8 Les murs cloués.

a- Les murs cloués en béton.

La technologie de construction des murs cloués consiste à renforcer un sol en déblai, au fur et à mesure de son excavation, par la mise en place de barres passives, peu inclinées sur l'horizontale, travaillant essentiellement à la traction. Ces barres peuvent également travailler partiellement à la flexion et au cisaillement. C'est par le biais du frottement qui s'exerce entre le sol et les barres que ces dernières peuvent se mettre en traction et tenir la structure. On construit ainsi progressivement et de haut en bas un massif de sol renforcé. Pour éviter que la terre ne s'écroule entre les barres, on doit placer un parement généralement constitué d'un treillis soudé et d'un béton projeté. Ce parement peut être

vertical, incliné à des angles très variables ou constitué de redans. Le béton n'a ici aucun rôle de soutien de la structure. Il permet de protéger la terre de l'érosion et empêche des morceaux de terres de tomber. De nos jours c'est une technique extrêmement répandue car le comportement des ouvrages est satisfaisant et le coût de la mise en œuvre est inférieur à celui des murs en L pour la même hauteur de mur.

Figure 27 Exemple de mur cloué



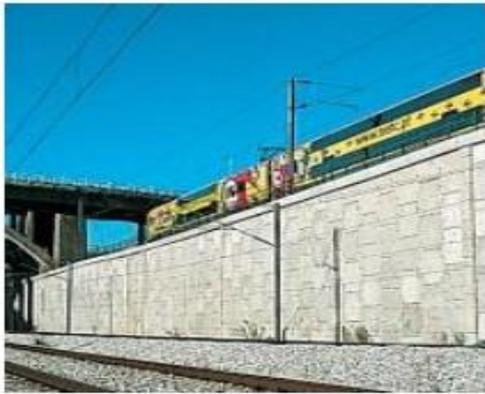
b- Les murs en terre armée.

La terre Armée est une méthode de construction basée sur l'association d'un remblai compacté et d'armatures (métalliques ou synthétiques) liées à un parement, Le principe consiste à associer à un sol pulvérulent et un renforcement (armatures) résistant à la traction. L'ouvrage est terminé sur sa face vue par un parement destiné à retenir les grains de sol entre les lits d'armatures. Les principaux avantages de la terre armée résident dans son économie, son intégration aux ouvrages en terre et surtout dans sa grande déformabilité qui lui permet de s'adapter sans risques à des mouvements de terre importants.

Figure 28 Exemple de mur cloué



Figure 29 Domaines d'utilisation de la terre armée

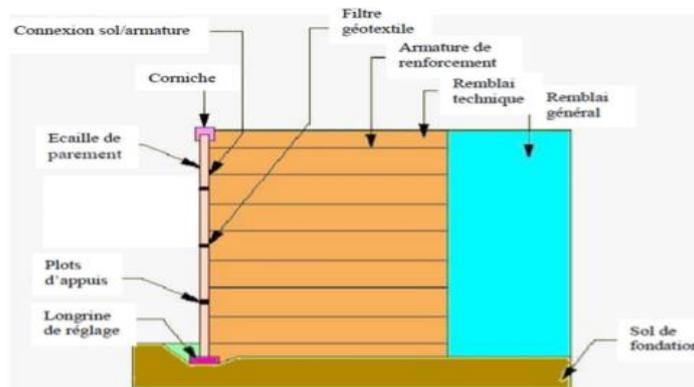


a - ouvrages ferroviaires



b - ouvrages routiers

Figure 30 Eléments d'un mur en Terre Armée



2.4. Fonctionnement et justification.

Pour la conception des murs de soutènement, il est nécessaire de définir «le mode de rupture» et de savoir comment les murs peuvent s'effondrer.

Dans des conditions statiques, les murs de soutènement sont soumis à des forces liées à la masse de la paroi, aux pressions du sol et aux forces extérieures telles que celles transmises par les butons.

Un mur de soutènement bien conçu permettra d'atteindre l'équilibre de ces forces sans induire de contraintes de cisaillement qui s'approchent de la résistance au cisaillement du sol. La plupart des méthodes de dimensionnement reposent sur des calculs à la rupture avec la prise en compte de coefficients de sécurité.

Pendant un tremblement de terre, cependant, les forces d'inertie et les variations de résistance du sol peuvent constituer une perte de l'équilibre et de provoquer une déformation permanente de la paroi.

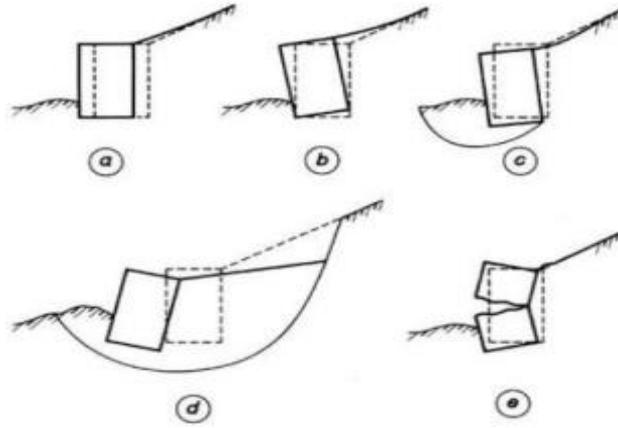
En principe cinq modes de rupture peuvent être rencontrés dans les ouvrages de soutènement :

Les quatre premiers types de rupture sont relatifs à l'instabilité externe de l'ouvrage (Ruptures géotechniques), la rupture des éléments structuraux constituant l'instabilité interne (Ruptures structurelles).

- Le glissement de l'ouvrage sur sa base (Figure 2.16.a).

- Le renversement de l'ouvrage (Figure 2.16.b).
- Le poinçonnement du sol de fondation (Figure 2.16.c).
- Le grand glissement englobant l'ouvrage (Figure 2.16.d).
- La rupture des éléments structuraux de l'ouvrage (Figure 2.16.e).

Figure 31 Modes de rupture des ouvrages de soutènement



Chapitre 3 ANALYSE DE LA STABILISATION DES MURS CANTILEVER EN BETON ARME.

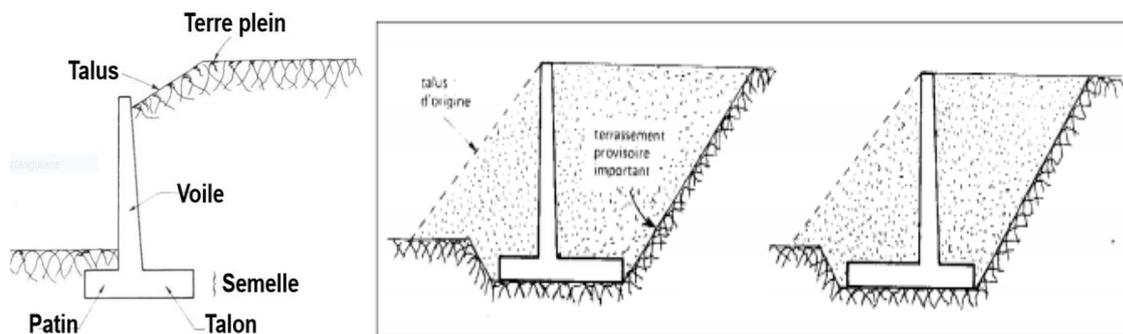
3. 1. Introduction.

Les murs de soutènement en béton armé, dont le type le plus classique est le mur en L ou en T renversé, comportent une paroi résistante verticale (ou très proche de la verticale) et une semelle de fondation. Parmi ces murs on peut citer le mur cantilever en béton armé, objet de ce travail. Celui-ci est doté d'une base élargie et encastrée à la partie supérieure du sol de fondation. Il associe dans son fonctionnement l'action de soutènement d'une partie du poids du remblai. En fait, il peut être considéré comme un ouvrage poids si l'on y inclut le poids du remblai compris entre le mur et la verticale passant par l'extrémité arrière de la semelle. Les murs cantilevers en béton armé sont également des ouvrages rigides.

3. 2. Les murs en béton armé.

Ces ouvrages peuvent être de formes diverses et réalisés de multiples façons.

Figure 32 Mur en T^e renversé



C'est la forme fréquente pour un mur en béton armé, dite encore cantilever du fait du voile encastré dans la semelle. Sans contreforts, il est économique pour des hauteurs jusqu'à 5 à 6 mètres. Dans le cas de murs en déblai, c'est-à-dire réalisés en terrassant un talus, les limitations de volume de terrassement et les difficultés de tenue provisoire des fouilles obligent à réduire la longueur du talon et à augmenter celle du patin. Parfois, la stabilité au glissement du mur nécessite de disposer sous la semelle une bêche. Celle-ci, comme le montre la figure 3.2. Peut être mise soit, à l'avant ou à l'arrière de la semelle, ou parfois encore en prolongement du voile. Le troisième cas peu usité, est néanmoins intéressant car il permet de réaliser facilement le ferrailage de l'encastrement du voile sur la semelle en prolongeant dans la bêche les treillis soudés formant aciers en attente. Lorsque la hauteur du mur devient importante ou que les coefficients de poussée sont élevés, le moment d'encastrement du voile sur la semelle devient grand. Une première solution consiste à disposer des contreforts (Figure 3.3) ayant pour but de raidir le voile. Pour limiter les poussées des terres sur le voile des murs, on peut encore adopter les solutions de figure 3.4., mais d'emploi peu fréquent. Ces solutions, certes

astucieuses et séduisantes, ont l'inconvénient d'être d'exécution difficile et de grever le coût du mur, même si l'on peut économiser par ailleurs sur la matière.

Figure 33 Mur en Té renversé avec bêche

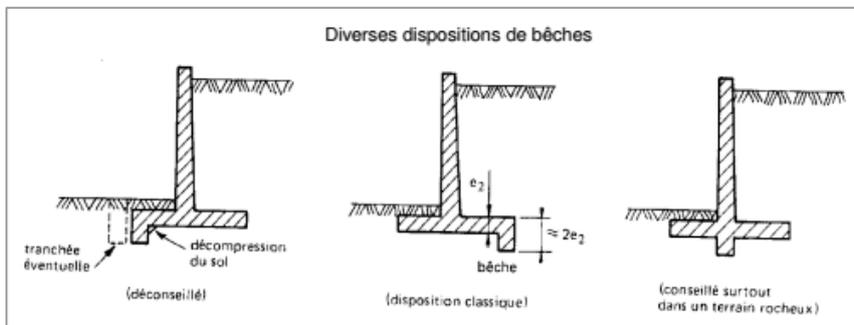


Figure 34 Mur en Té renversé à contreforts

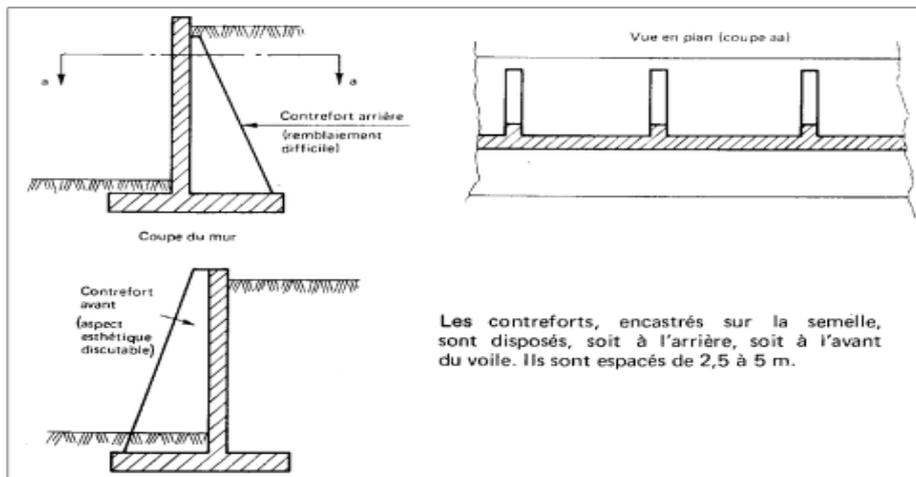
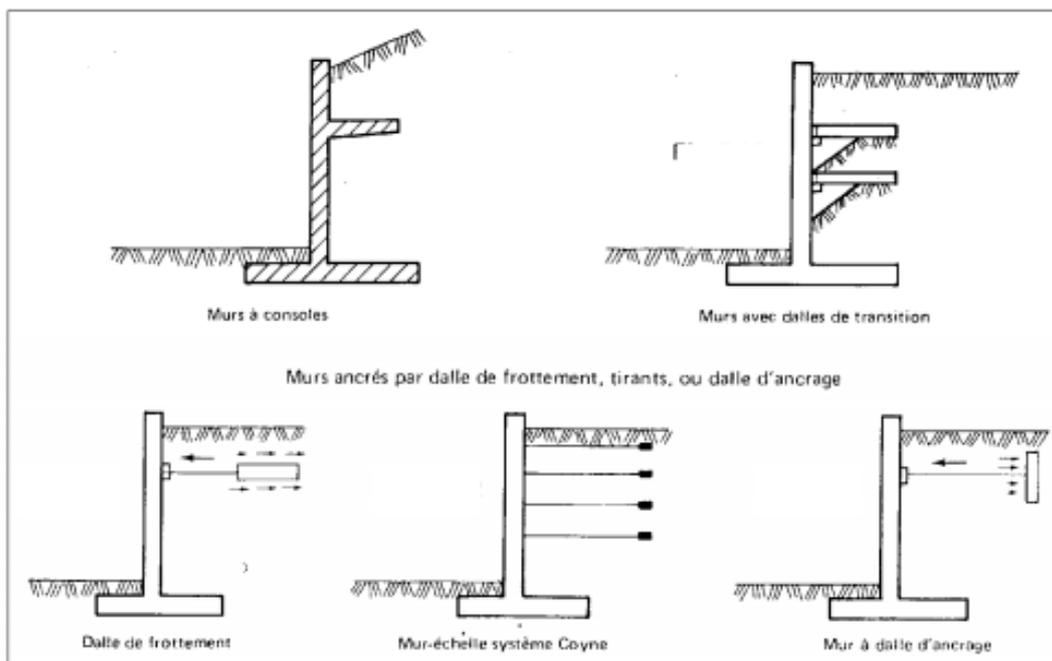


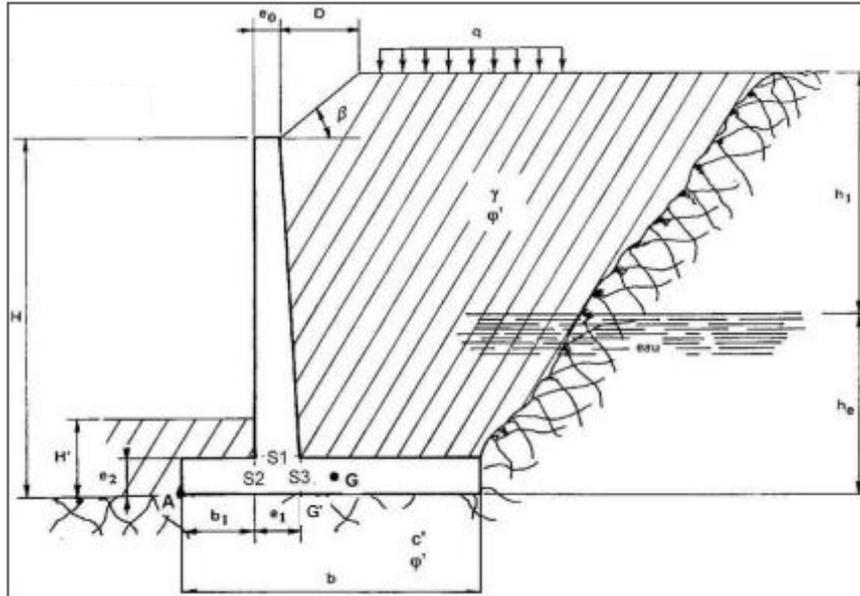
Figure 35 Mur en Té avec des conceptions spéciales



3. 3. Approche

La problématique consiste, à partir des données, de dimensionner le voile et la semelle du mur de soutènement.

Figure 36 Mur en Té – Les données du problème



Les données du problème sont :

- Les propriétés géométriques du mur et du terrain (H , H' , D , β et h_e , le cas échéant),
- Les propriétés mécaniques et physiques du terrain (γ : poids volumique et ϕ : angle de frottement interne),
- Les propriétés mécaniques et physiques des sols de fondation du mur : la cohésion du sol non drainé c_u , la cohésion des sols c et l'angle de frottement interne ϕ ,
- La densité des charges d'exploitation : q ,
- La résistance caractéristique du béton : f_{ck} .

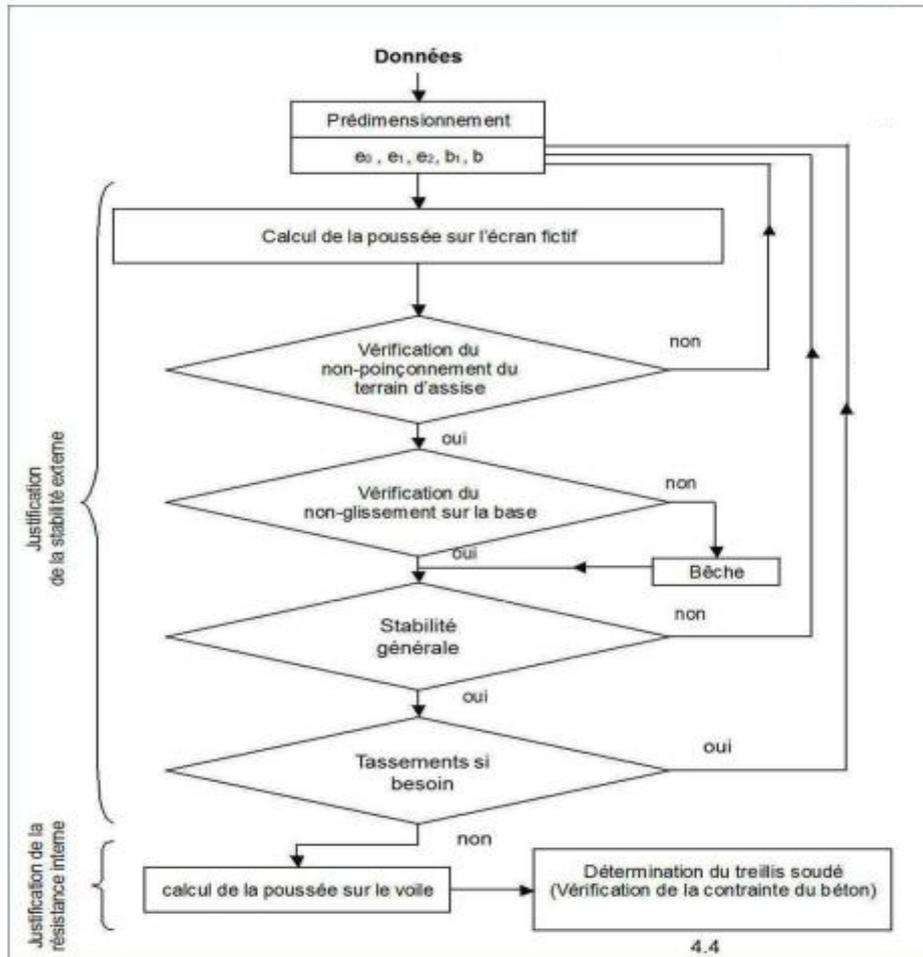
Les paramètres inconnus à déterminer, sont :

- Les dimensions du voile et de la semelle (e_0 ; e_1 ; e_2 ; b_1 et b)
- Et le ferrailage du voile et de la semelle.

Approche de justification de la stabilité du mur :

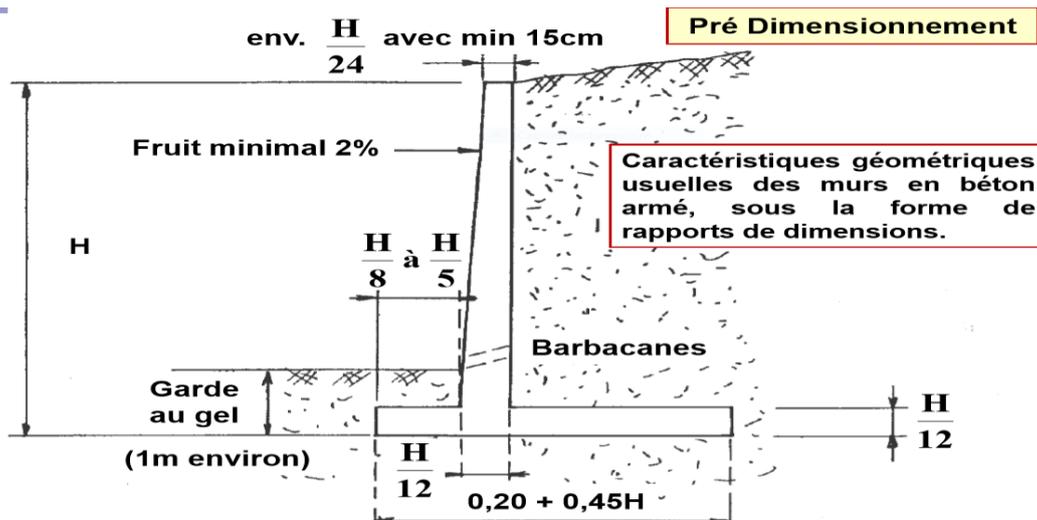
La démarche de justification de la stabilité du mur et le dimensionnement de ses composantes sont illustrés par le schéma de la figure 37 suivante.

Figure 37 Démarche d'analyse de la stabilité d'un mur de soutènement



3. 4. Pré-dimensionnement

Figure 38 Pré-dimensionnement d'un mur de soutènement



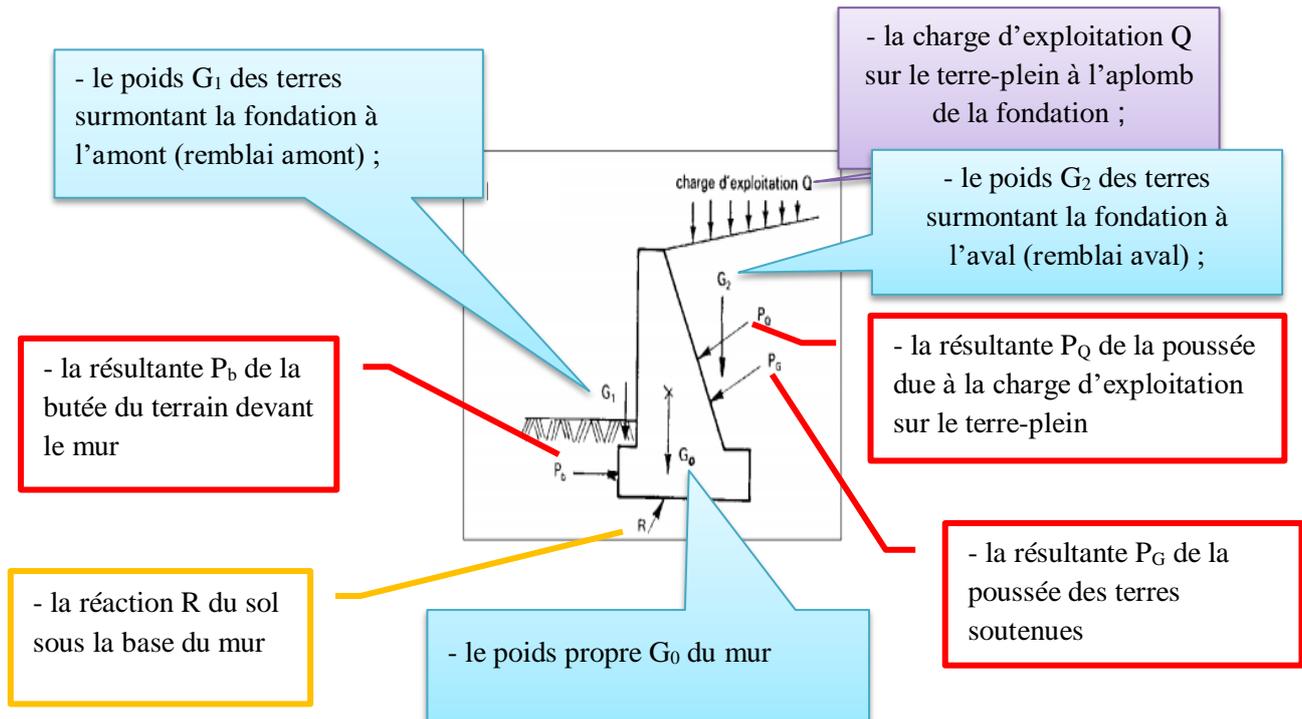
3. 5. Calcul des poussées sur un mur de soutènement :

3.5.1 Théorie :

Trois approches différentes existent en pratique : la théorie de Rankine ; la théorie de Boussinesq et la théorie de Coulomb. Dans ce mémoire, il sera utilisé l'approche de Boussinesq.

3.5.2 Bilan des forces agissantes :

Figure 39 Bilan des forces agissantes sur le mur



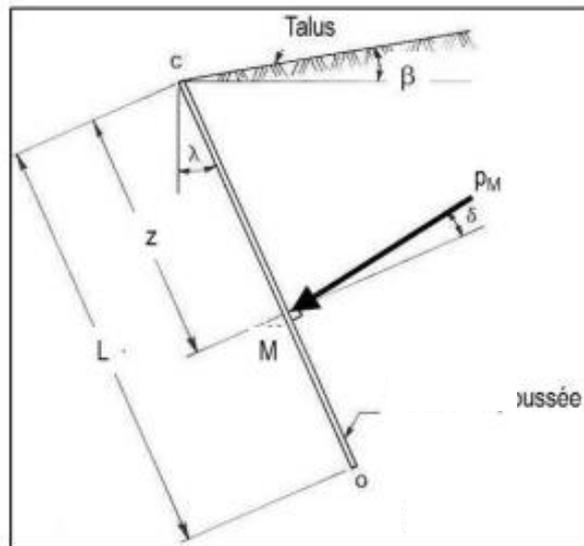
Par sécurité, il est d'usage de négliger l'action de la butée (P_b) à l'avant d'un mur de soutènement

3.5.3 Hypothèses de calcul :

- Les méthodes d'évaluation de la poussée abordent des massifs de sols pulvérulents, car la plupart des théories ont été établies pour ce type de sol.
- Pour un sol cohérent (de cohésion c et d'angle de frottement interne ϕ), le théorème des états correspondants permet de ramener l'étude de ce type de sol à celui d'un milieu pulvérulent soumis sur son contour à une pression hydrostatique de valeur : $c.\cotg \phi$.
- Par ailleurs, l'expérience montre que le rôle de la cohésion, qui varie dans le temps, est mal connu et difficilement mesurable. Le négliger va dans le sens de la sécurité, aussi les calculs relatifs aux ouvrages de soutènement, sont menés généralement en considérant un sol sans cohésion.

3.5.4 Modèle de calcul :

Figure 40 Pression du sol sur l'écran de poussée



* La poussée du sol (dimension d'une pression ou contrainte) exercée par les terres en arrière de l'écran sur ce dernier, en un point M situé à une distance z de l'arrêt supérieure de l'écran (fictif ou réel), est exprimée par l'expression :

$$p(M) = k_a \cdot \gamma \cdot z$$

- γ est le poids volumique des sols ;

- k_a , le coefficient de pression active des terres au repos (coefficient de poussée). C'est le ratio des contraintes effectives (rapport de la contrainte horizontale sur la contrainte verticale). Celui-ci dépend de :

- l'angle β que le talus fait avec l'horizontale ;
- l'angle λ d'inclinaison de l'écran sur la verticale ;
- l'angle de frottement interne ϕ du terrain situé en arrière de l'écran ;
- l'angle δ d'inclinaison de la poussée unitaire sur la normale à l'écran. L'angle δ dépend de l'état de rugosité du parement,

La contrainte $p(M)$ se décompose en :

- une composante horizontale : $p_H(M) = p(M) \cdot \cos(\lambda + \delta) = k_{aH} \cdot \gamma \cdot z$,

avec $k_{aH} = k_a \cdot \cos(\lambda + \delta)$

- et une composante verticale : $p_V(M) = p(M) \cdot \sin(\lambda + \delta) = k_{aV} \cdot \gamma \cdot z$,

avec $k_{aV} = k_a \cdot \sin(\lambda + \delta)$

* L'effort résultant P_G des poussées, sur la hauteur L de l'écran, est appliqué au tiers inférieur du parement (distribution triangulaire) avec une inclinaison δ . L'intensité est donnée par :

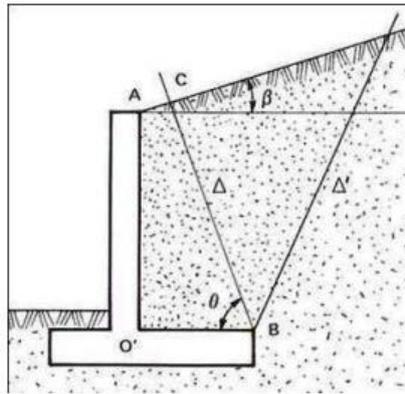
$$P_G = K_a \cdot \gamma \cdot L^2 / 2$$

3.5.5 Modèles de comportement :

* Mur en T avec talus incliné infini :

Soit un mur en T en béton armé, représenté par la figure 41, qui retient un remblai ayant un angle de frottement interne ϕ et limité par un talus infini incliné (de pente d'angle β sur l'horizontale).

Figure 41 Mur T avec talus incliné infini

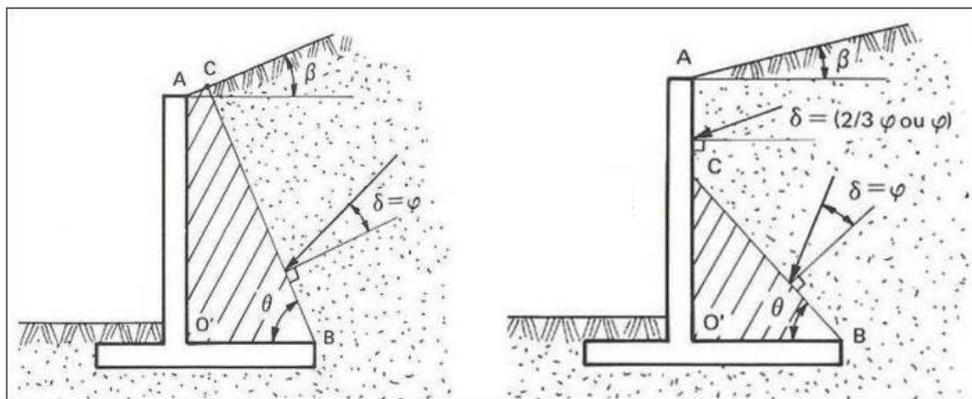


Un déplacement important dans le sens de l'expansion du remblai (vers la gauche), fait apparaître deux surfaces de glissement passant par l'arrête B du talon. Pour simplifier, il est admis que ces surfaces de glissement, sont planes. Leurs traces dans le plan de la figure 41, sont les deux droites Δ et Δ' . La théorie du cercle de Mohr montre que la droite Δ est inclinée sur l'horizontale d'un angle égal à :

$$\theta = \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} + \left(\frac{i - \beta}{2} \right), \quad \text{avec } \sin i = \frac{\sin \beta}{\sin \phi}$$

Deux cas de plan de glissement (figure 42) sont possibles dans ce modèle de rupture :

Figure 42 Modèle de glissement



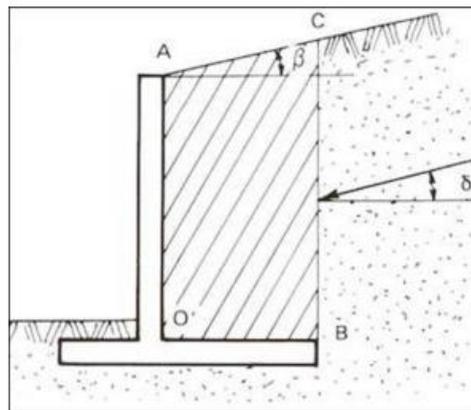
- La droite Δ coupe le talus en un point C, dans ce cas, le massif AO'BC est considéré comme solidaire du mur. La méthode rigoureuse consiste à calculer la poussée sur un écran fictif BC en considérant des valeurs du coefficient de poussée, en fonction des paramètres β , δ et ϕ et pour $\lambda = 0^\circ$ ou 10° . L'angle δ d'inclinaison de la poussée par rapport à la normale à BC, est égal à ϕ .

- La droite Δ coupe la face interne du voile. Sur la partie inférieure BC, les considérations précédentes s'appliquent. Quant à la partie CA, l'angle δ est égal à $2\phi/3$.

Dans ces deux cas, le calcul par les méthodes exposées se révèle fastidieux.

Aussi, est-il d'usage de simplifier ces schémas en considérant un écran fictif vertical passant par l'arête du talon.

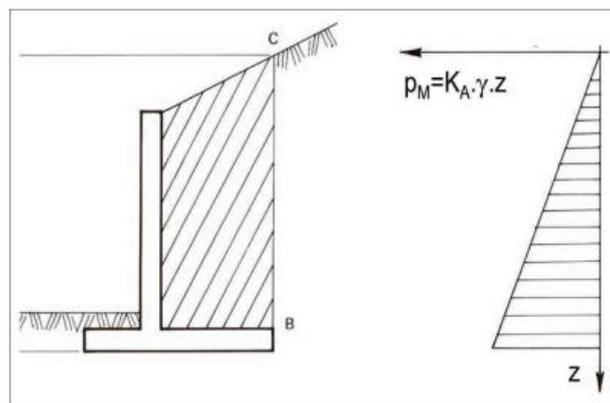
Figure 43 *Modèle de rupture – cas 1*



La masse de terre AO'BC, comprise entre le parement du voile et ce plan, agit uniquement par son poids. Il est d'usage général, pour les murs en T et les murs à redans en béton, d'écran vertical ($\lambda = 0$) et dans le cas du modèle d'un écran fictif vertical, de prendre pour l'inclinaison poussée δ égale à : - $\delta\gamma = \beta$, pour les effets du poids du remblai; - et $\delta q = \text{Max}(\beta ; \phi/3)$, pour les effets du chargement q au-dessus du remblai. Dans ce modèle, le coefficient de poussée k_a des tables de Caquot-Kérisel, s'applique encore. La distribution de la poussée étant du type triangulaire, la valeur de la poussée p , au point M à une distance z à partir du sommet (point C) de l'écran a pour équation :

$$p(M) = k_a \cdot \gamma \cdot z .$$

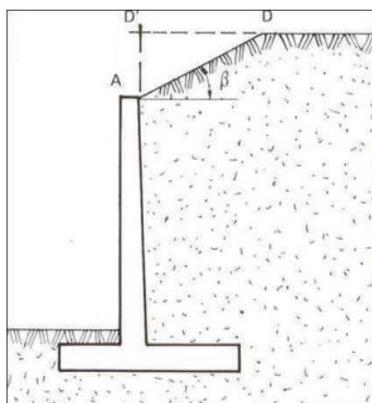
Figure 44 *Modèle de rupture – cas 2*



* Mur en T avec talus incliné fini :

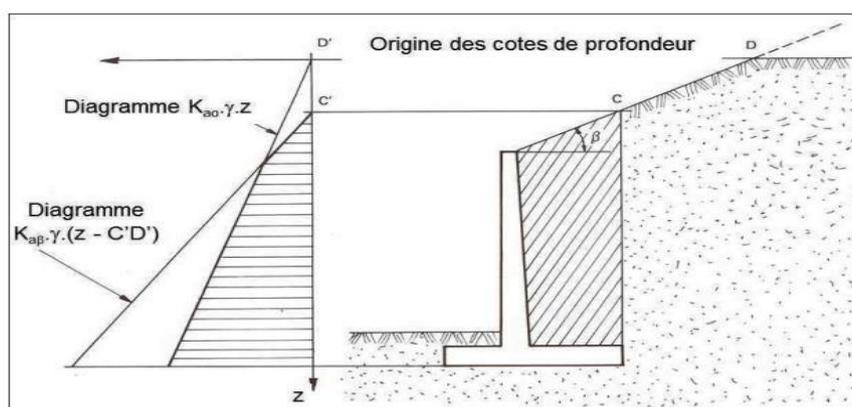
Le cas d'un talus incliné à un angle β sur l'horizontale et limité par un terre-plein horizontal infini, est fréquent en pratique.

Figure 45 *Modèle de rupture – cas 3*



La poussée finale résulte de deux diagrammes de poussée.

Figure 46 *Diagramme des poussées des terres*



- Pour la poussée due à un remblai horizontal infini passant par le point D', le coefficient de poussée est désigné k_{a0} (pour $\beta = 0$).

- La poussée due à un massif limité par un talus infini d'angle $\beta (\neq 0)$ sur l'horizontale, le coefficient de poussée est $K_{a\beta}$.

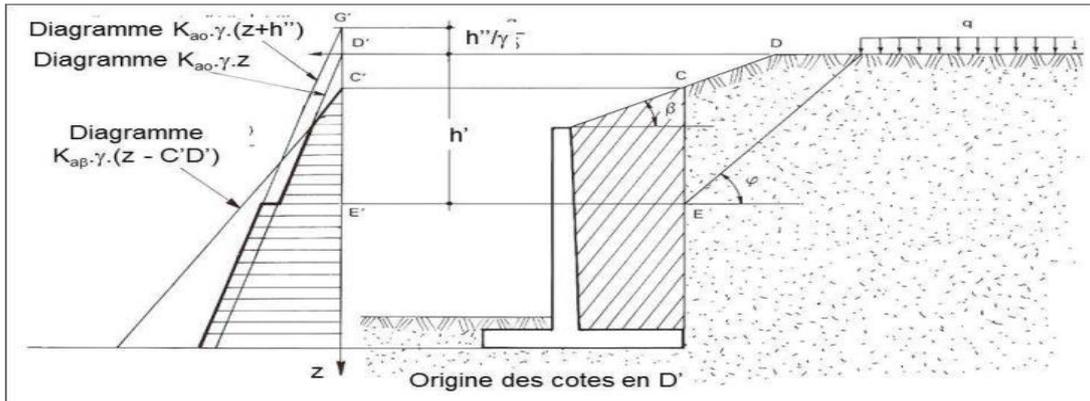
Le diagramme des contraintes (horizontale ou verticale) correspondant au cas du mur avec talus incliné fini, est le diagramme de poussée correspond au minimum des deux diagrammes représentés sur la figure. La cote du terre-plein est prise comme origine des cotes de profondeur z.

* Effet du chargement uniforme infini sur le terre-plein :

La théorie de Coulomb montre que l'effet d'une charge uniforme infinie q est semblable à celui d'une épaisseur h'' de sol supplémentaire. Si γ désigne le poids volumique du remblai, on a : $h'' = q/\gamma$

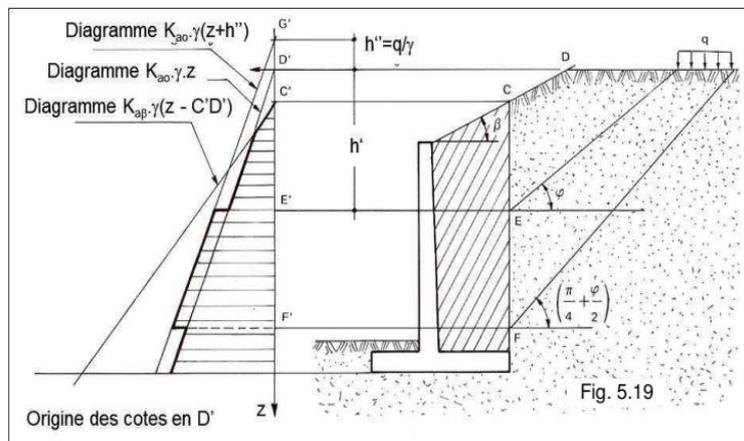
On admet que la charge se diffuse dans le terrain suivant des directions faisant un angle ϕ avec l'horizontale. Pour un mur avec talus fini, la construction du diagramme de poussée est montrée sur la figure.

Figure 47 Diagramme des poussées avec charge uniforme sur terre-plein



* Effet du chargement uniforme infini sur remblai :

Figure 48 Diagramme des poussées avec charge uniforme sur remblai

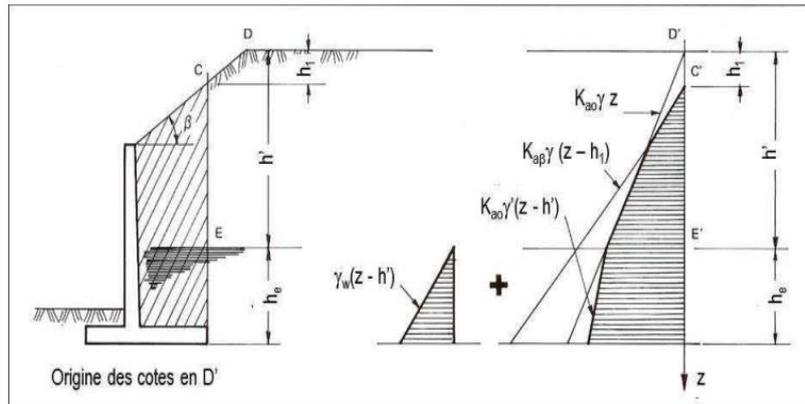


* Effet de la nappe aquifère :

Dans le cas d'une nappe aquifère de niveau constant, le diagramme des poussées unitaires à partir du niveau supérieur de la nappe est la somme de :

- la poussée hydrostatique : $ph = \gamma_w h_e$ avec γ_w désignant le poids volumique de l'eau et de la poussée unitaire du sol de poids volumique apparent égal au poids volumique déjaugé γ' ;
- la poussée unitaire du sol de poids volumique apparent égal au poids volumique déjaugé γ' .

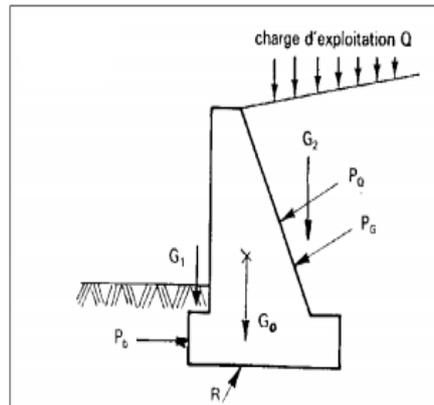
Figure 49 Diagramme des poussées avec effet de la nappe aquifère



3. 6. Stabilité au renversement :

Cette justification doit se faire par rapport à l'arrête extérieure de la fondation en comparant les moments des forces appliquées autour de l'axe passant par cette arête.

Figure 50 Stabilité du mur au renversement



Pour cela, on doit vérifier que :

$$\frac{\sum \text{des moments des forces verticales} / A}{\sum \text{des moments des forces horizontales} / A} = \frac{M_s}{M_r} > F_{sr}$$

F_{sr} est le coefficient de sécurité égal à 1,5

3. 7. Stabilité du sol de fondation :

Il s'agit de vérifier :

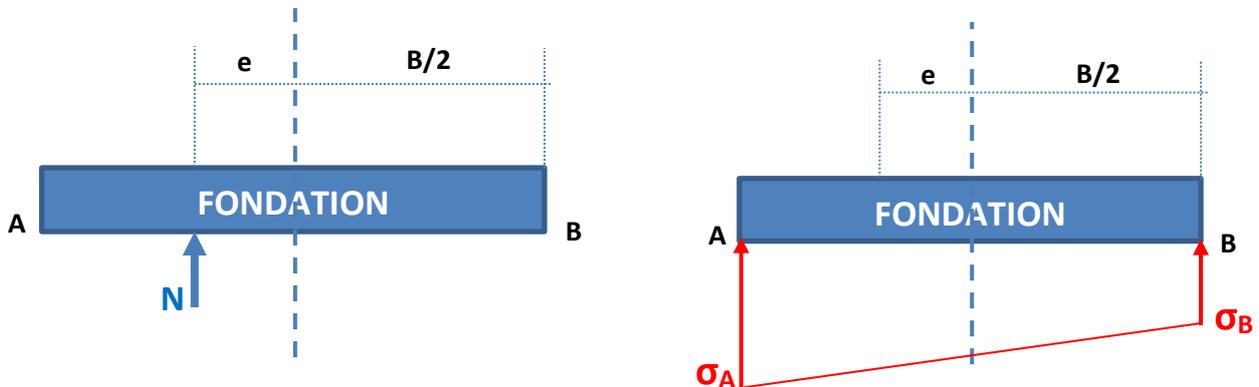
- d'une part, la condition de non – poinçonnement c'est à dire d'éviter des tassements différentiels sous la fondation.
- et d'une part, la résistance du sol de fondation à la pression exercée par la fondation,

Hypothèses :

- On admet une méthode faisant appel à la notion de la pression admissible.

- On admet une distribution linéaire des contraintes normales sous la fondation dont la résultante N est la composante verticale de la réaction R.

Figure 51 Stabilité du sol de fondation



* Non – poinçonnement :

L'excentricité de la résultante des forces verticales est donnée comme suit :

$$e = \frac{B}{2} - \frac{M_s - M_r}{N}$$

La problématique qui se pose est de craindre que le tassement de l'arrête extérieure soit très important de celui de l'arête intérieure. Cela pourrait se traduire par des tassements différentiels très importants pouvant provoquer une rotation du mur ; d'où un risque de basculement, voire même de renversement de l'ouvrage.

De ce fait, la condition de non poinçonnement impose à ce que :

* Si le mur repose sur un terrain de fondation normal, on doit avoir $e \leq \frac{B}{6}$

* Si le mur repose sur un terrain rocheux, l'excentricité pouvant être tolérée est $e \leq \frac{B}{4}$

* Si le mur repose sur un terrain compressible il y a lieu de limiter l'excentricité à une valeur négligeable de telle manière qu'il n'y ait pas une différence importante entre les contraintes extrêmes σ_A et σ_B .

* Résistance du sol :

Les contraintes extrêmes sont données comme suit :

$$\sigma_A = \frac{N}{B} \left(1 + \frac{6e}{B}\right) \qquad \sigma_B = \frac{N}{B} \left(1 - \frac{6e}{B}\right)$$

La condition de résistance du sol de fondation impose à ce que la capacité portante du sol q_{ad} doit être supérieure à la pression maximale exercée par la fondation sur le sol :

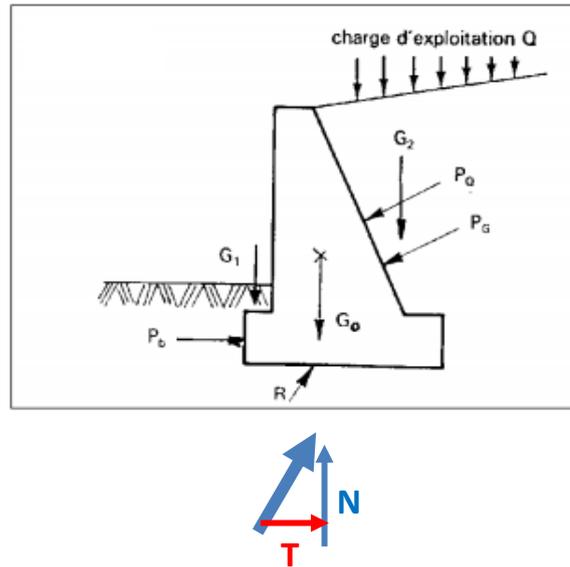
$$\text{Si } 0 < e < \frac{B}{6} \qquad \text{=====> } \frac{(3\sigma_A + \sigma_B)}{4} < q_{ad}$$

$$\text{Si } \frac{B}{6} < e < \frac{B}{2} \qquad \text{=====> } \frac{3\sigma_A}{4} < q_{ad}$$

3. 8. Stabilité au glissement :

Elle est définie comme le rapport entre les forces qui tendent à s'opposer au glissement et les forces horizontales qui tendent à le provoquer.

Figure 52 Stabilité au glissement



Comme le coefficient de sécurité est F_{sg} la condition de glissement est satisfaite lorsque nous avons :

$$F_{sg} = \frac{c' B + N \tan \varphi'}{T} > 1,5$$

Avec :

c' et φ' respectivement la cohésion et l'angle de frottement interne du sol de fondation ;

N et T respectivement les composantes verticale et horizontale de la réaction ;

B la largeur de la base de la semelle.

Chapitre 4 AUTOMATISATION DU CALCUL DES MURS DE SOUTÈNEMENT CANTILEVER EN BETON ARMEE

4. 1. Introduction.

L'automatisation du calcul des murs de soutènement cantilever en béton armé est réalisée à l'aide du Langage Fortran. Les hypothèses d'analyse considérées dans l'approche théorique sont les suivantes :

- Sol soutenu pulvérulent cohérent, car généralement, ce sol se trouve dans un état remanié, après achèvement des travaux. La négligence de la cohérence rentre aussi dans la sécurité, puisque les forces de poussées sont maximales sans cohésion.
- non prise en compte des poussées induites par les poussées hydrauliques, puisque nous considérons que le mur est équipé d'un système de drainage : Drains et barbacanes.
- Sols retenus et sols de fondation peuvent présenter des caractéristiques mécaniques différentes.
- La méthode d'analyse considérée concerne uniquement la stabilité externe du mur de soutènement. La stabilité d'ensemble et la stabilité interne ne font pas l'objet de cette automatisation. Elles peuvent faire l'objet d'un travail en perspective.
- La détermination des pressions de terres exercées derrière le mur de soutènement est basée sur les théories de Coulomb et de Boussinesq.
- Les cas de figures considérés sont illustrés par les schémas des figures 4.1 et 4.2. Pour chacun des deux cas on traite deux cas de figures : murs reposant sur un sol de fondation normal et murs reposant sur un sol de fondation rocheux.

Figure 53 Talus incliné Fini

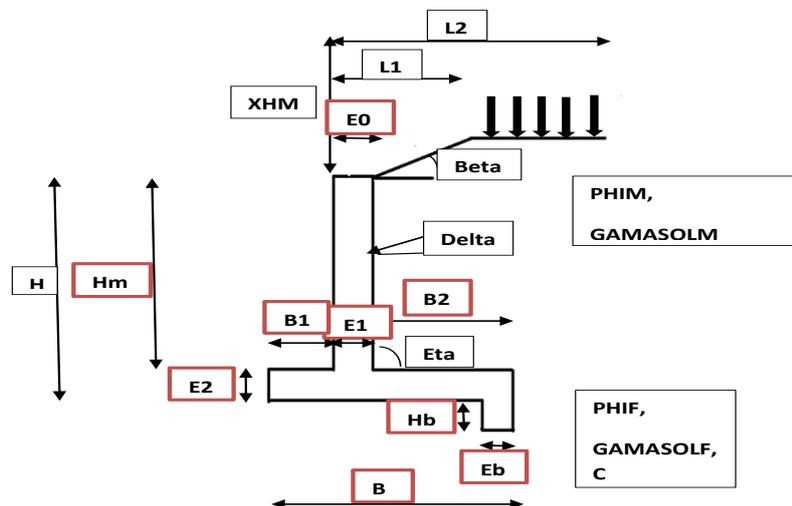
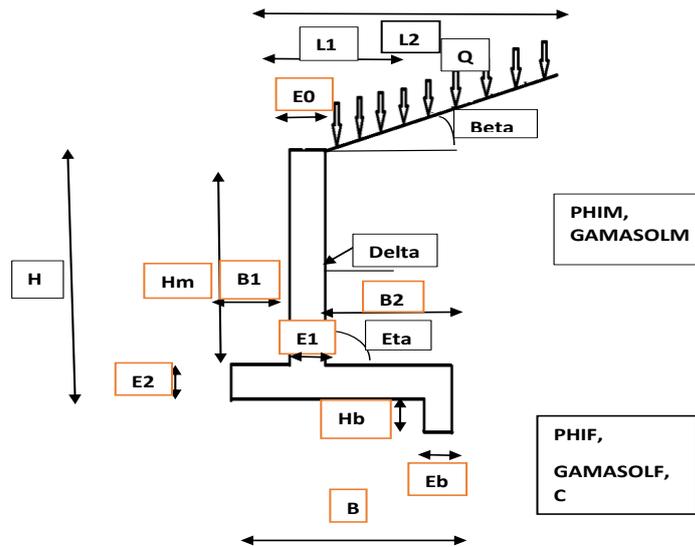


Figure 54 Talus incliné Infini



4. 2. Présentation du langage Fortran.

Le fortran est le plus ancien (1954) langage de programmation mais qui a évolué dans le temps.

Il utilise un Langage scientifique très usité pour les applications requérant des calculs numériques intensifs et répétitifs, domaine où on ne lui connaît pas de concurrent sérieux. Un programme en Langage Fortran nécessite trois types de fichiers pour sa conception :

- Le fichier (*.FOR),

C'est le fichier « source » qui utilise les instructions composant le Langage pour décrire à travers une écriture logique la démarche théorique du problème traité. Cette description obéit à un algorithme logique du chemin défini par l'approche du problème. Ce fichier est écrit à l'aide d'un éditeur de texte (bloc-note, notepad..) ou d'un environnement de développement intégré (msdev,..),

- Le fichier objet (*.OBJ)

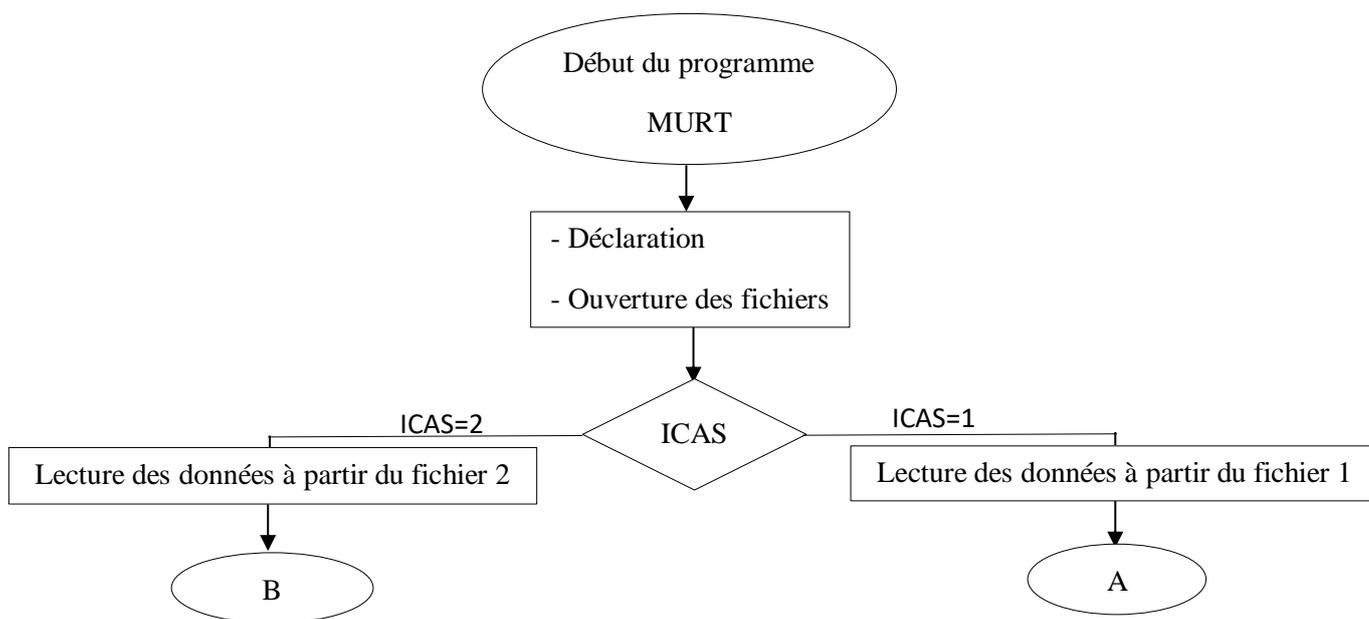
Est celui généré par le Fortran après compilation du fichier « *.FOR ». C'est-à-dire après vérification et recherche des erreurs de syntaxe, qu'il y a lieu de corriger. C'est, en fait, la traduction du fichier « *.FOR » en langage machine par le compilateur.

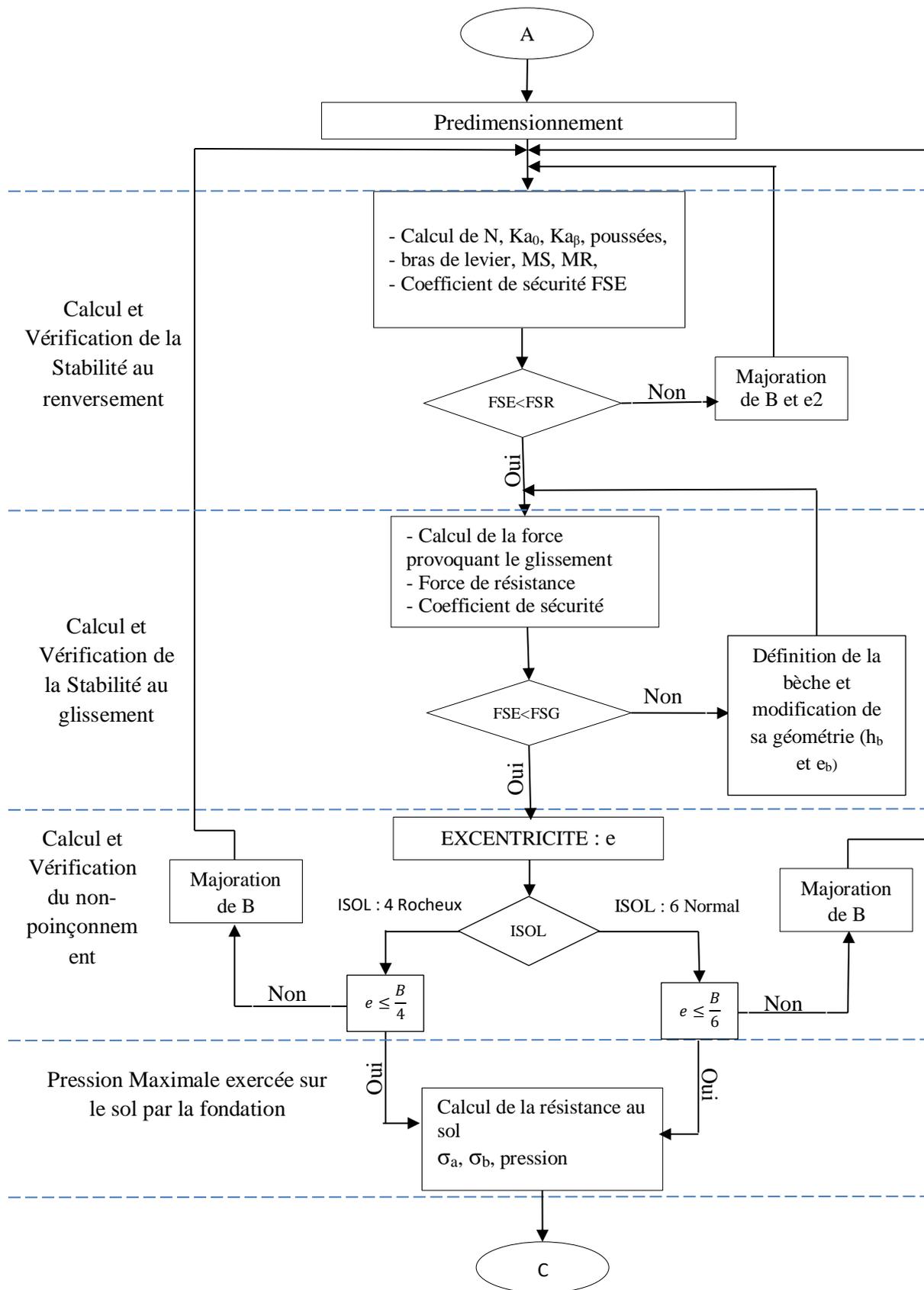
- Le fichier exécutable (*.EXE)

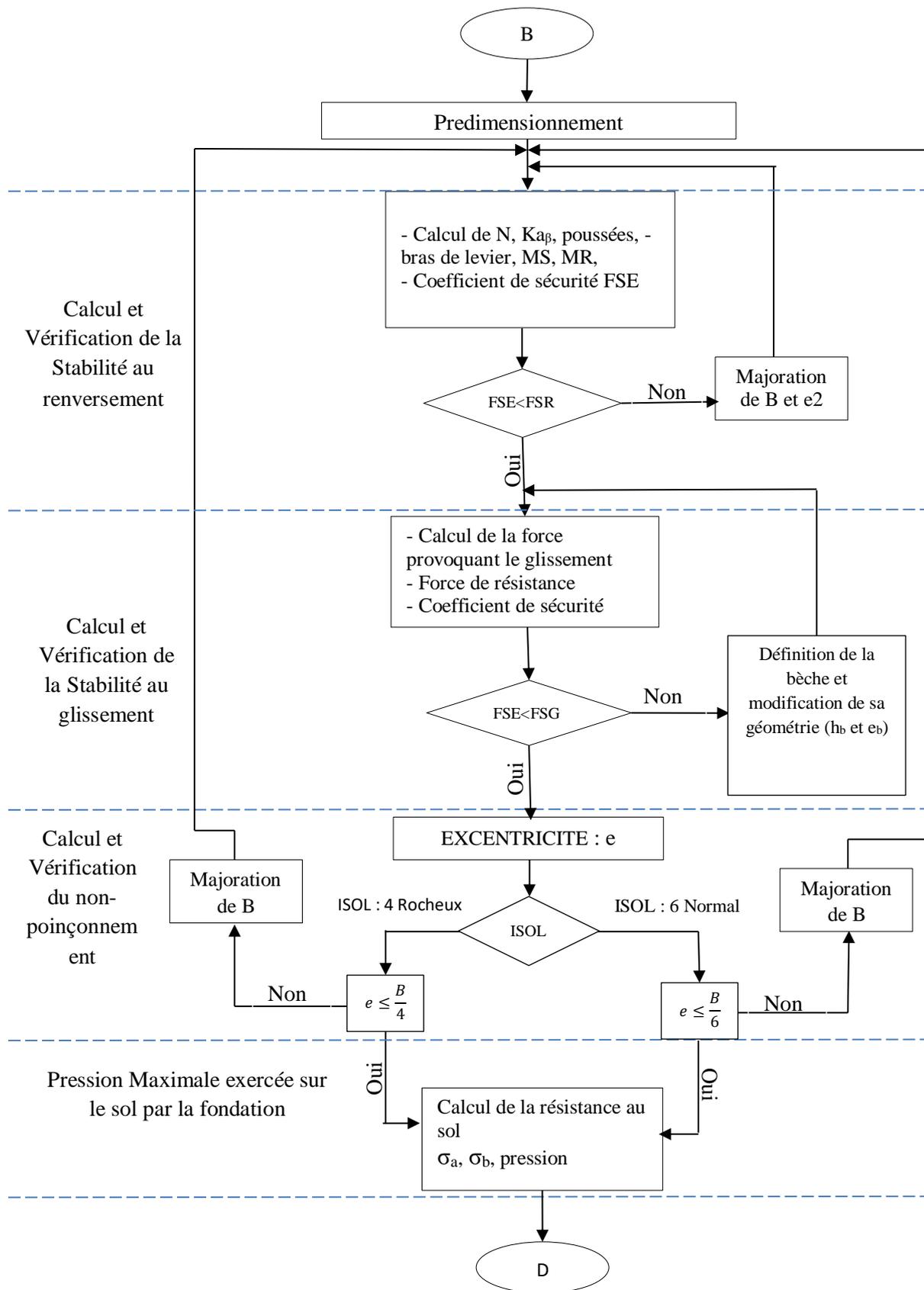
Est l'application générée par le Fortran après compilation et construction du système de programmation (Programme principal, Subroutines, Fonction, etc.). C'est cette application qui est utilisée pour les analyses de calcul.

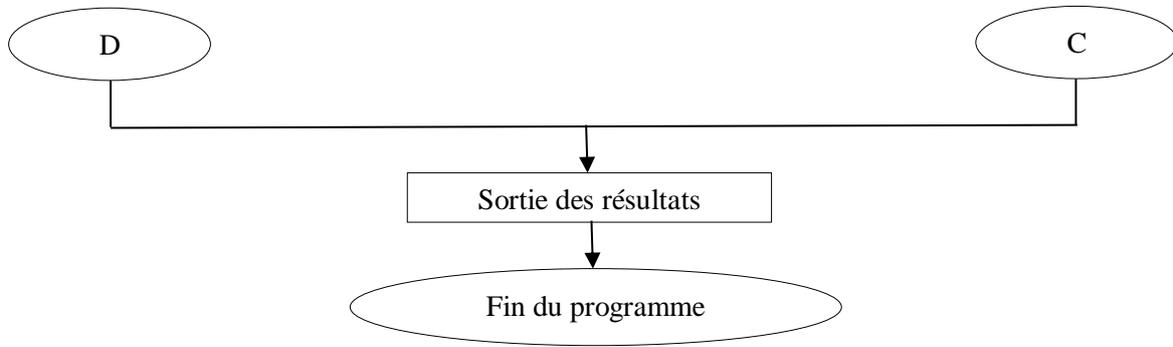
La structure de ce programme est faite de façons modulaire. Les différents blocs qui structurent le programme sont :

4. 3. Algorithme de l'approche théorique.









4. 4. Contenu et structure du programme.

Le programme de calcul des murs de soutènement développé, dont le listing est présenté dans l'annexe A, est articulé autour de l'algorithme ci-dessus et structuré autour des blocs de programmation suivants :

- Bloc « Lecture des données ».
- Bloc « Pré-dimensionnement »
- Bloc « Calcul et vérification de la stabilité au renversement ».
- Bloc « Calcul et vérification de la stabilité au glissement ».
- Bloc « Calcul et vérification de la stabilité au non poinçonnement»
- Bloc « Calcul de la pression maximale exercée sur le sol par la fondation »
- Bloc « Impression de données et des résultats »

4. 4.1 Bloc « Lecture des données ».

Cette partie débute par l'appellation du programme et la déclaration des variables. La lecture des données est faite à partir d'un fichier texte nommé « donnees.dat », relié au programme. Ce fichier contient toutes les données nécessaires au calcul, organisées selon la hiérarchie de la programmation. Selon le cas de figure, ces fichiers de données se présentent comme suit :

Figure 55 Fichier de données pour le cas des Talus incliné Fini

```

FICHE DES DONNEES DU CAS N 1
*****
TITRE DU PROJET
MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE FINI CAS :
1 xxx
C----- DONNEES DE L'OUVRAGE -----
C DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR
C HM (m), DELTA (°), ETA (°), PVM (Kn/m3)
xxx xxx xxx xxx
C DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR
C XHM (m), BETA (°), GAMMASOLM (Kn/m3), PHIM (°)
xxx xxx xxx xxx
C DONNEES DU SOL DE FONDATION
C GAMMASOLF (Kn/m3), PHIF (°), C (Kn/m2)
xxx xxx xxx
C DONNEES RELATIVES A LA SURCHAGE
C XLONG (m), YLONG (m), XQ (Kn/m2)
xxx xxx xxx
C COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE
Xxx
*****
  
```

Figure 56 Fichier de données pour le cas des Talus incliné Infini

```

FICHE DES DONNEES DU CAS N 2
*****
TITRE DU PROJET
MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE INFINI CAS :
2 xxx
C----- DONNEES DE L'OUVRAGE -----
C DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR
C H (m),DELTA (°),ETA (°),PVM (Kn/m3)
xxx xxx xxx xxx
C DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR
C BETA (°), GAMMASOLM (Kn/m3), PHIM (°)
xxx xxx xxx
C DONNEES DU SOL DE FONDATION
C GAMMASOLF (Kn/m3), PHIF (°), C (Kn/m2)
xxx xxx xxx
C DONNEES RELATIVES A LA SURCHAGE
C XLONG(m), YLONG (m), XQ (Kn/m2)
xxx xxx xxx
C COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE
Xxx
    
```

4. 4.2 Bloc «Pré-dimensionnement ».

Dans cette partie il est procédé au pré-dimensionnement des éléments structuraux du mur de soutènement (Voile et semelle) en utilisant les formules annoncées dans le chapitre III. Les données géométriques concernées sont : h, e₀, e₁, e₂, b, b₁

4. 4.3 Bloc «Calcul et vérification de la stabilité au renversement ».

Dans cette partie il est procédé au calcul :

- De forces verticales, ramenées par le poids du mur et des terres situés sur le talon de la semelle, ainsi que des bras de leviers des points d'application de ces forces par rapport au point extérieur de la semelle (coté extérieur du pied de la semelle).
- Des coefficients de poussée (ka₀ ; ka_β) et des forces de poussées ainsi que des bras de leviers des points d'application de ces forces par rapport au point extérieur de la semelle (coté extérieur du pied de la semelle).
- Des moments stabilisateurs (M_s) et de renversement (M_r).
- Du coefficient de sécurité au renversement (F_{sc}) et sa comparaison au coefficient de sécurité exigé (F_{se}).
- Si la condition de sécurité au renversement est vérifiée l'exécution passe au bloc de« Calcul et vérification de la stabilité au glissement », dans le cas contraire on effectue une majoration de la largeur de la semelle et de son épaisseur et on revient au bloc de « Calcul et vérification de la stabilité au renversement».

4. 4.4 Bloc «Calcul et vérification de la stabilité au glissement ».

Tenant compte des forces normales verticales et des forces horizontales calculées précédemment, il est procédé à la détermination du coefficient de sécurité au glissement. Si la condition de sécurité au glissement est vérifiée l'exécution passe au bloc de« Calcul et vérification de la stabilité au non

poinçonnement », dans le cas contraire on conçoit une bèche et/ou on modifie la géométrie de la bèche (h et b) et on revient vers le bloc « Calcul et vérification de la stabilité au glissement».

4. 4.5 Bloc «Calcul et vérification de la stabilité au non – poinçonnement ».

Dans cette partie il est procédé au calcul :

- De l'excentricité de la composante verticale de la réaction au sol.
- De la vérification de cette excentricité par rapport aux conditions de non-poinçonnement : B/6 pour le cas d'un sol de fondation normal et B/4 pour le cas d'un sol de fondation rocheux.
- Si la condition de non-poinçonnement est vérifiée l'exécution passe au bloc de « calcul de la pression maximale exercée sur le sol par la fondation », dans le cas contraire on effectue une majoration de la largeur de la semelle et on revient au bloc de « Calcul et vérification de la stabilité au renversement».

4. 4.6 Bloc «Calcul de la pression maximale exercée sur le sol par la fondation».

Dans cette partie il est procédé au calcul :

- des pressions exercées par la semelle sur le sol à ses deux extrémités σ_A et σ_B .
- La pression maximale exercée par la fondation sur le sol.

4. 4.7 Bloc «Impression de données et des résultats».

Cette dernière partie consiste a l'impression des données du problème et de tous les resultats obtenus (finaux et intermédiaires) sur un fichier texte nommé <<resultat.dat>>. Ce fichier texte est ouvert au préalable au début du programme dans le bloc « Lecture de données ». Le modèle de ce fichier se présente comme suit.

=====> Nécessite d'une bêche

Profondeur d'ancrage de la bêche (m) hb = xxx
Epaisseur de la bêche (m) eb = xxx

3/ - Stabilité au Non Poinçonnement

Excent. De la result.des forces verticales (m) e = xxx

Condition de non poinçonnement VERIFIEE

4/ - Pression exercée par la fondation sur le sol

Contrainte SigmaA(bars) SigmaA = xxx
Contrainte SigmaB (bars) SigmaB = xxx
Pres. Exercée par le fond. Sur le sol (bars) Sigma = xxx

GEOMETRIE DU MUR EN TE

-----A/-Dimensions du Mur -----

Hauteur du Mur (m) Hm = xxx
Epaisseur en tête du Mur (m) e0 = xxx
Epaisseur du pied du Mur (m) e1 = xxx

-----B/ - Dimensions de la semelle -----

Epaisseur de la semelle (m) e2 = xxx
Largeur de la semelle (m) B = xxx
Largeur du pied de la semelle (m) b1 = xxx
Largeur du talon de la semelle (m) b2 = xxx

=====> Nécessite d'une beche

Profondeur d'ancrage de la beche (m) hb = xxx
Epaisseur de la beche (m) eb = xxx

5. 1. Introduction.

Les tests de validation visent un double objectif :

- Vérification de l'aspect logique de la programmation ;
- Traitement d'exemples concrets d'analyse et calcul des murs de soutènement « Cantilever » en béton armé.

Ces tests sont réalisés, en premier lieu, pour les cas des situations suivantes :

- Terrain incliné fini.
 - ✓ Sans surcharge.
 - ✓ Avec surcharge.
- Terrain incliné infini.
 - ✓ Sans surcharge.
 - ✓ Avec surcharge.

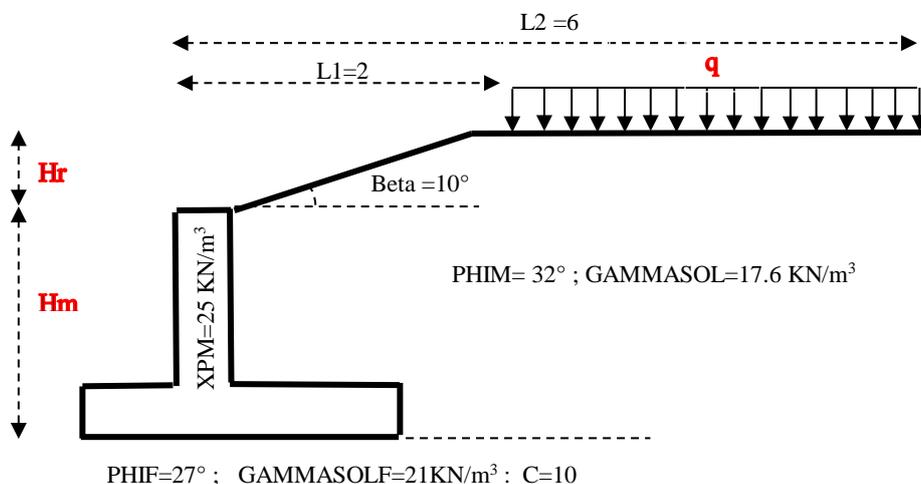
En second lieu, une analyse paramétrique est effectuée sur certaines variables, dont la finalité est d'aboutir à la confection de quelques abaques donnant le dimensionnement de la semelle du mur de soutènement en fonction de certaines variables. On s'est limité dans ce travail à étudier uniquement trois cas de situation, mais ce programme permet de réaliser une bibliothèque d'abaques traitant une multitude de cas. La simulation concernant ces trois abaques porte sur les paramètres suivants :

- le paramétrage sur la hauteur.
- le paramétrage sur l'angle de frottement du sol derrière le mur.
- le paramétrage sur l'angle d'inclinaison béta.

5. 2. Modèles testés

5. 2. 1 Modèle A : Terrain incliné fini

Figure 57 Talus incliné fini

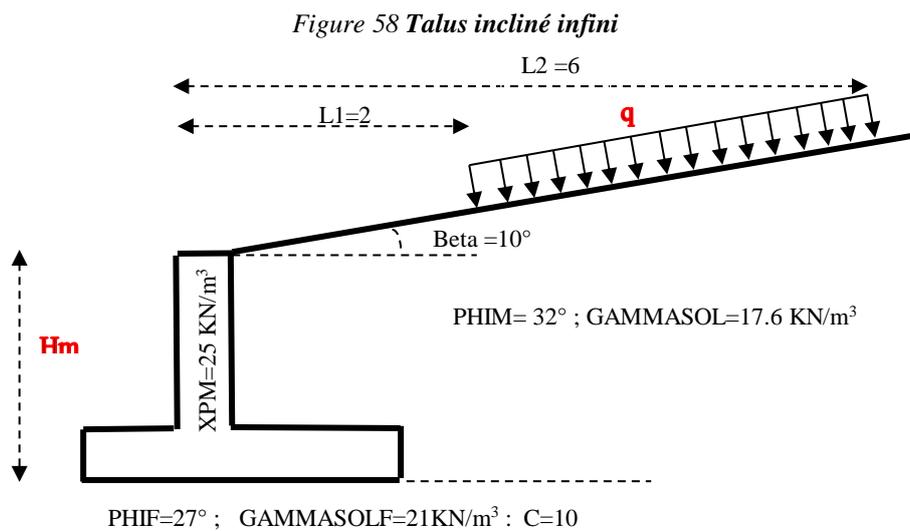


Ce modèle est traité selon 4 cas de figures nuancés selon la hauteur du mur, la hauteur du terrain incliné et le cas de surcharge. Les variables concernées sont portées en rouge gras sur le schéma de la figure 57 Les valeurs considérées dans l'analyse sont données dans le tableau 3 Suivant. Il est à noter que le coefficient de Sécurité admis est $F_s = 1,5$.

Tableau 3 Données des valeurs considérées dans le modèle A.

Modèle	Hauteur du mur : Hm (en mètre)	Hauteur de la partie incliné du Talus : Hr (en mètre)	Surcharge : q en KN/m ²
A1	4.00	2.00	0.00
A2	6.00	3.00	0.00
A3	4.00	2.00	20.00
A4	6.00	3.00	20.00

5. 2. 2 Modèle B : Terrain incliné infini



Ce modèle est traité selon 4 cas de figures nuancés selon la hauteur du mur, la hauteur du terrain incliné et le cas de surcharge. Les variables concernées sont portées en rouge gras sur le schéma de la figure 58 Les valeurs considérées dans l'analyse sont données dans le tableau 4 Suivant. Il est à noter que le coefficient de Sécurité admis est $F_s = 1,5$.

Tableau 4 Données des valeurs considérées dans le modèle B.

Modèle	Hauteur du mur : Hm (en mètre)	Surcharge : q en KN/m ²
B1	4.00	0.00
B2	6.00	0.00
B3	4.00	20.00
B4	6.00	20.00

5. 3. Résultats des modèles.

5. 3. 1 Résultat pour un sol de fondation normal.

Tableau 5 Résultats obtenus des modèles A et B pour un type de sol de fondation normal.

Modèles	Variables		Largeur de la semelle : b (en mètre)	Epaisseur de la semelle : e ₂ (en mètre)	Bèche	
	Hauteur du mur : Hm (en mètre)	Surcharge : q en KN/m ²			Hauteur de la bèche : h _b (en mètre)	Epaisseur de la bèche : e _b (en mètre)
A1	4.00	0.00	3.41	0.44	0.00	0.00
A2	6.00	0.00	5.11	0.67	0.00	0.00
A3	4.00	20.00	5.39	0.67	0.41	0.67
A4	6.00	20.00	7.55	0.97	0.50	0.97
B1	4.00	0.00	2.00	0.33	0.00	0.00
B2	6.00	0.00	2.98	0.50	0.00	0.00
B3	4.00	20.00	2.00	0.33	0.99	0.33
B4	6.00	20.00	2.98	0.50	1.33	0.50

Les fichiers de résultats de ces modèles sont détaillés dans l'annexe B

5. 3. 2 Résultat pour un sol de fondation rocheux.

Tableau 6 Résultats obtenus des modèles A et B pour un type de sol de fondation rocheux.

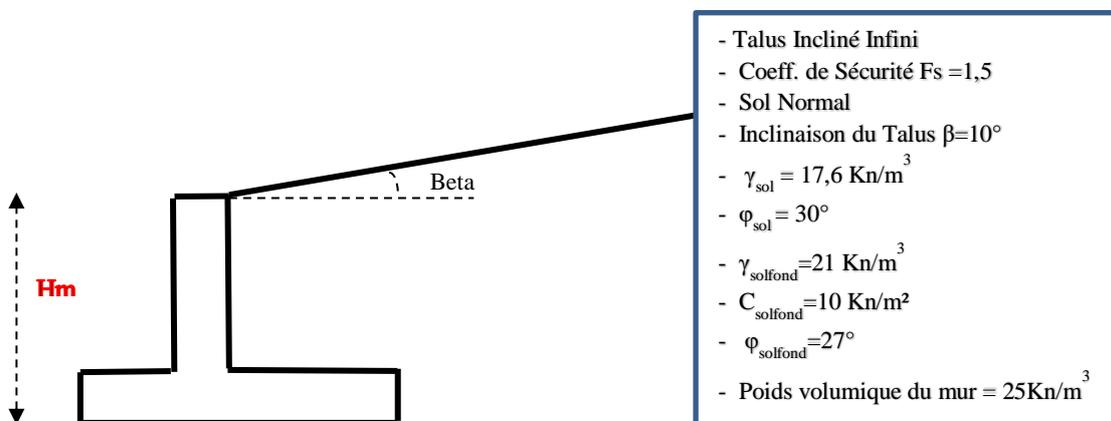
Modèles	Variables		Largeur de la semelle : b (en mètre)	Epaisseur de la semelle : e ₂ (en mètre)	Bèche	
	Hauteur du mur : H _m (en mètre)	Surcharge : q en KN/m ²			Hauteur de la bèche : h _b (en mètre)	Epaisseur de la bèche : e _b (en mètre)
A1	4.00	0.00	2.86	0.44	0.1	0.44
A2	6.00	0.00	4.29	0.67	0.30	0.63
A3	4.00	20.00	4.48	0.67	0.74	0.67
A4	6.00	20.00	6.29	0.97	0.99	0.97
B1	4.00	0.00	2.00	0.33	0	0
B2	6.00	0.00	2.90	0.50	0	0
B3	4.00	20.00	2.00	0.33	0.99	0.33
B4	6.00	20.00	2.90	0.50	1.33	0.50

Les fichiers de résultats de ces modèles sont détaillés dans l'annexe C

5. 4. Simulation du modèle

5. 4. 1 paramétrage sur la hauteur du mur.

Figure 59 Modèle de simulation sur la hauteur du mur

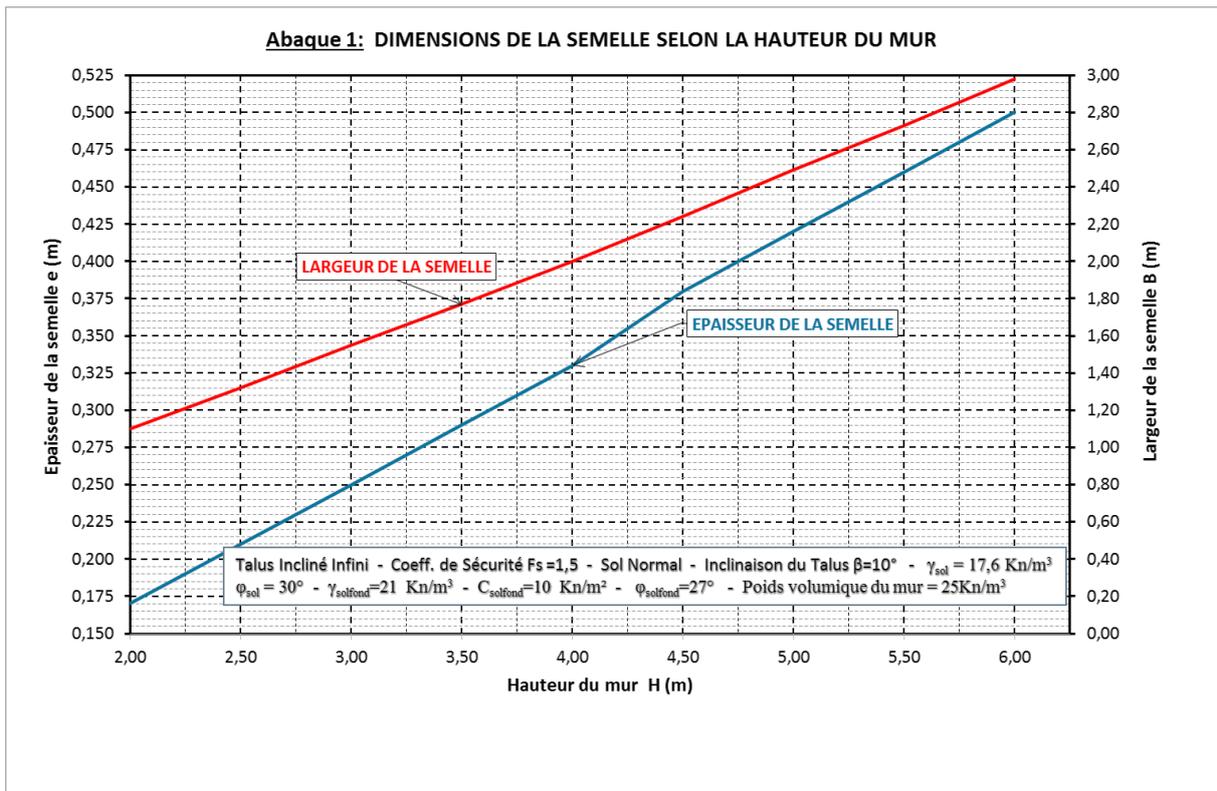


Les résultats obtenus de cette analyse, détaillés dans les fichiers de résultats de l'annexe D, sont présentés dans le tableau 7. Ce sont ces résultats qui ont servi à la confection de l'abaque I de la figure 60.

Tableau 7 Dimensionnement de la semelle selon la hauteur du mur

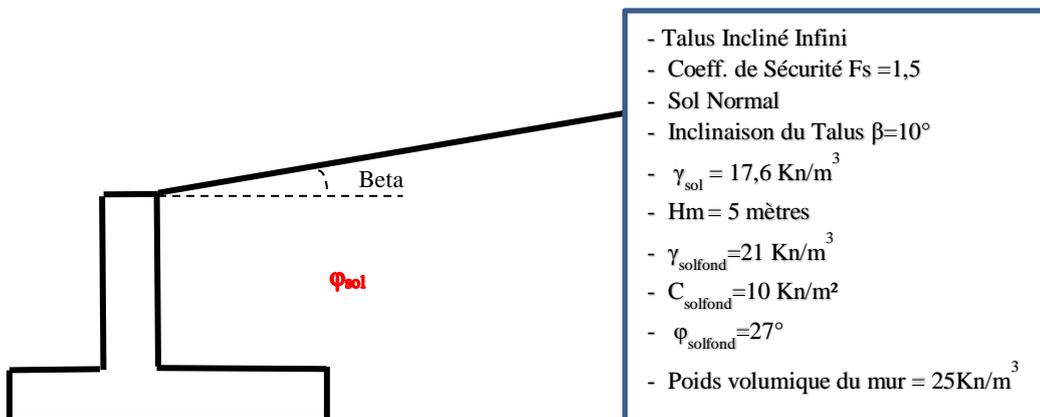
H	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
B	1.10	1.32	1.55	1.77	2.00	2.24	2.49	2.73	2.98
e ₂	0.17	0.21	0.25	0.29	0.33	0.38	0.42	0.46	0.50

Figure 60 Abaque donnant le dimensionnement de la semelle selon la hauteur du mur



5. 4. 2 paramétrages sur l'angle de frottement du sol derrière le mur.

Figure 61 Modèle de simulation sur l'angle de frottement du sol derrière le mur

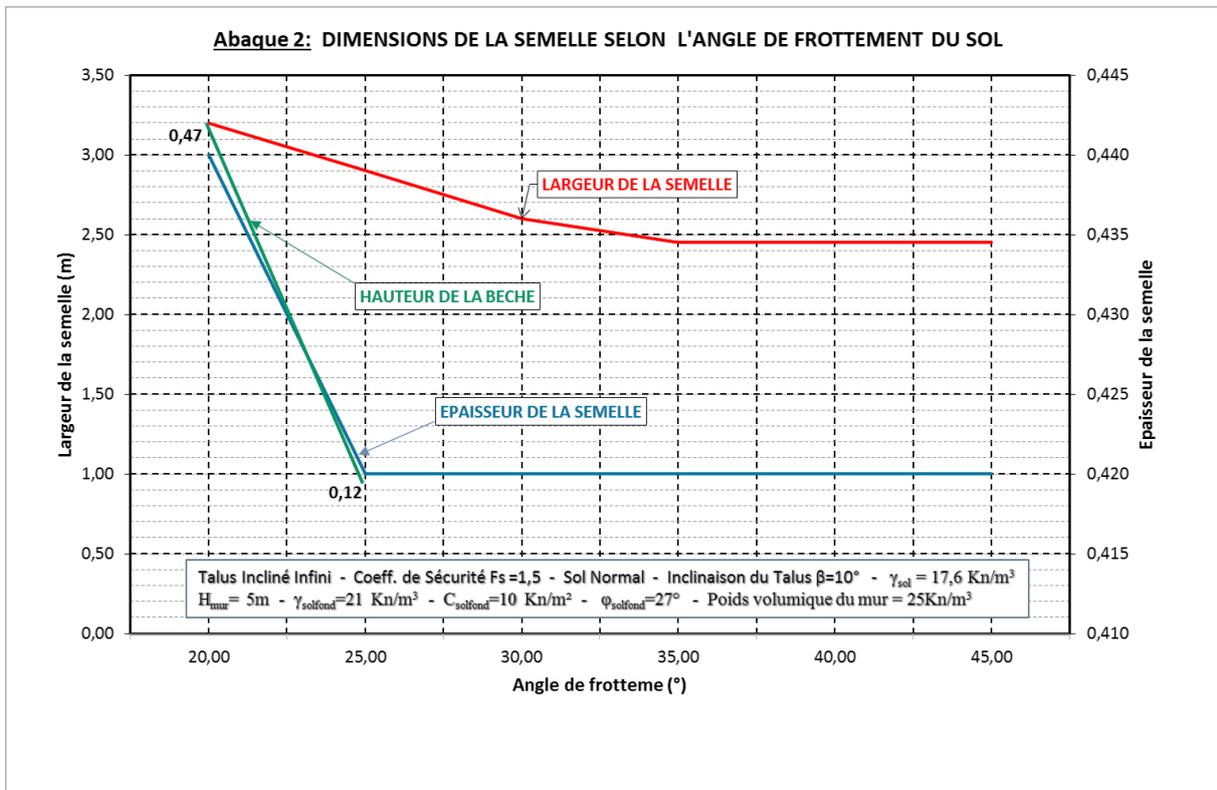


Les résultats obtenus de cette analyse, détaillés dans les fichiers de résultats de l'annexe E, sont présentés dans le tableau 8. Ce sont ces résultats qui ont servi à la confection de l'abaque II de la figure 62

Tableau 8 Dimensionnement de la semelle selon l'angle de frottement du sol derrière le mur

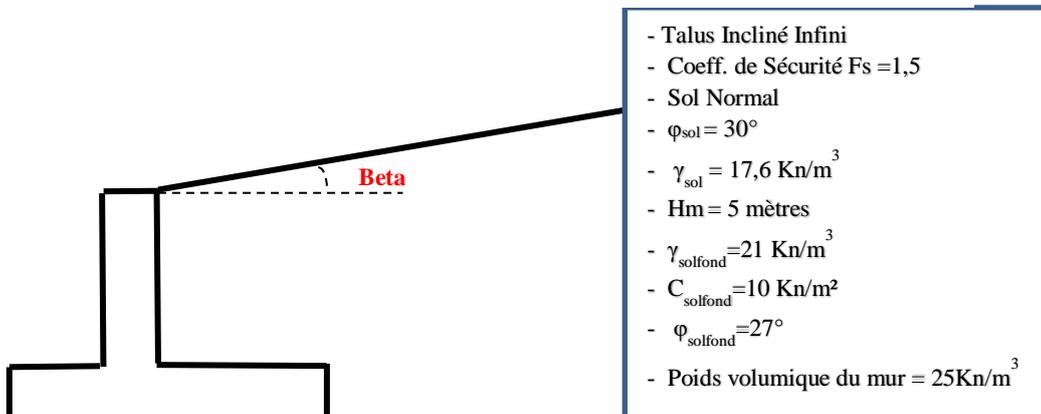
ϕ (°)	20	25	30	35	40	45
B	3.23	2.90	2.60	2.45	2.45	2.45
e₂	0.44	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
h_b	0.47	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00

Figure 62 Abaque donnant le dimensionnement de la semelle selon l'angle de frottement du sol



5. 4. 3 paramétrages sur l'inclinaison du Talus.

Figure 63 Modèle de simulation sur l'inclinaison du Talus

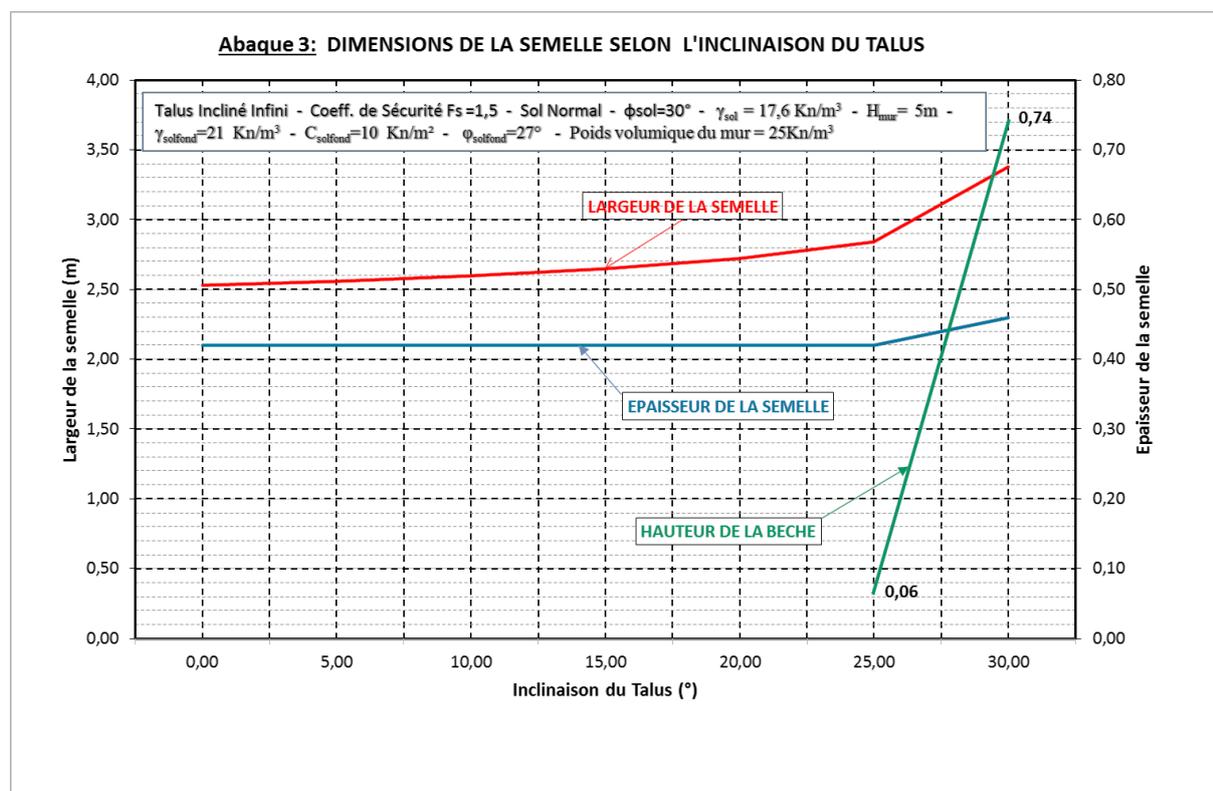


Les résultats obtenus de cette analyse, détaillés dans les fichiers de résultats de l'annexe F, sont présentés dans le tableau 9. Ce sont ces résultats qui ont servi à la confection de l'abaque III de la figure 64.

Tableau 9 Dimensionnement de la semelle selon l'inclinaison du Talus

BETA (°)	0	5	10	15	20	25	30
B	2.53	2.56	2.60	2.65	2.72	2.84	3.38
e₂	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.46
h_b	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.74

Figure 64 Abaque donnant le dimensionnement de la semelle selon l'inclinaison du Talus



5. 5. Commentaires.

Les résultats obtenus sont donnés pour un coefficient de sécurité égal à 1,5 ($F_s = 1,5$). De ces résultats on observe que :

En général,

- La largeur de la semelle ainsi que son épaisseur varie proportionnellement à la hauteur du mur.
- La présence d'une surcharge induit la nécessité de concevoir des bèches pour augmenter les forces résistantes au glissement, particulièrement pour les murs de hauteur importante.

Sur les résultats du modèle A, pour un sol de fondation normal et une hauteur de 4 m,

- Sans surcharge la poussée des terres exerce peu d'effet sur le mur ce qui induit une largeur de semelle de fondation minimale et des conditions de bêche non nécessaire ;
- Avec surcharge on aura une petite majoration des dimensions de la semelle et une application de bêche obligatoire enfin de réduire l'effet de la poussée des terres sous le sol de fondation.

Sur les résultats du modèle A, pour un sol de fondation normal et une hauteur de 6 m,

- Sans surcharge nous avons une largeur de semelle de fondation plus importante que celle observée pour une hauteur de 4 m. Mais la bêche reste non nécessaire vue que la hauteur est considérable du coup ça donne au mur une capacité relative de retenir les terres ;
- Avec surcharge on a une semelle de fondation et une épaisseur très considérable par rapport aux autres vue que la force horizontale exercée sur le mur est amplifiée du fait de la surcharge.

Sur les résultats du modèle B, pour un sol de fondation normal et une hauteur de 4 m,

- Sans surcharge on aura une largeur de la semelle de fondation et une épaisseur minimales sans l'obligation d'une conception de bêche ;
- Avec surcharge c'est presque les mêmes dimensions de semelle, d'épaisseur majoré à cause de la surcharge.

Sur les résultats du modèle B, pour un sol de fondation normal et une hauteur de 6 m,

- Sans surcharge on a une semelle de fondation majoré à cause de l'augmentation du mur de 2 m et sans nécessité de bêche.
- Avec surcharge la semelle est la même que celle non chargée, mais avec la nécessité d'une bêche avec une hauteur remarquable.

Sur les résultats du modèle A, pour un sol de fondation rocheux et une hauteur de 4 m et plus,

- Avec ou sans surcharge la stabilité au glissement oblige la conception de bêche, particulièrement pour les cas de Talus inclinés finis.

Sur les résultats du modèle B, pour un sol de fondation rocheux et une hauteur de 4 m,

- Sans surcharge, la semelle de la fondation peut être conçue sans nécessité de la bêche.
- Par contre, avec surcharge, il y a nécessité d'une bêche en raison de l'intensité de la force de poussée entraînant le glissement de la fondation.

Sur les résultats du modèle B, pour un sol de fondation rocheux et une hauteur de 6 m,

- Sans surcharge on a une semelle de fondation majoré à cause de l'augmentation du mur de 2 m et sans nécessité de bêche.
- Avec surcharge la semelle est la même que celle non chargée, mais avec la nécessité d'une bêche avec une hauteur remarquable.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

On peut conclure que la conception durable et efficace d'un ouvrage de soutènement nécessite une large connaissance dans le génie civil particulièrement la géotechnique.

Pour la préparation de notre projet de fin de fin d'étude - cycle master, nous avons essayé de mettre en pratique les connaissances acquises durant nos études universitaires et la réalisation d'un programme écrit en Langage Fortran visant l'analyse de la stabilité externe des murs de soutènement de type « Cantilever » : renversement, glissement, poinçonnement et résistance du sol de fondation d'un mur de soutènement cantilever en béton armé.

Pour atteindre l'objectif visé on a commencé ce travail par une première partie bibliographique qui nous a permis de connaître les différents paramètres physiques d'un sol et leurs utilisations. Comme on s'est intéressé, également, aux types d'ouvrages de soutènement et à leur mode de rupture.

Dans une deuxième partie nous avons résumé la théorie d'analyse de la stabilité d'un mur de soutènement cantilever en béton armé. C'est cette théorie qui est à la base du travail de programmation réalisé par la suite.

La démarche étant, qu'à partir des données du sol retenu, du sol de fondation et de la hauteur nécessaire du mur, il s'agit de dimensionner les éléments structuraux du mur : Epaisseurs du voile, de la semelle et éventuellement de la bêche si elle est nécessaire – largeur de la semelle et hauteur d'ancrage de la bêche. Ceci est effectué par rapport à un coefficient de sécurité choisi préalablement. Pour ce faire, cette automatisation est réalisée à l'aide du langage de programmation FORTRAN, utilisé principalement pour le calcul scientifique. La validation, de cette programmation, effectuée sur des cas de figures concrets et l'analyse paramétrique réalisée sur certaines variables (Hauteur du mur, angle de frottement du sol, inclinaison du talus), ont permis d'aboutir à des résultats probants.

Perspectives

* Ce programme permettra la confection d'abaques donnant graphiquement les dimensions géométriques des éléments structuraux des murs de type « Cantilever » en fonction de n'importe quelle situation rencontrée.

* Elargissement de ce travail aux aspects dynamiques.

* Elargissement de ce travail à l'analyse interne et au ferrailage des éléments structuraux des murs en béton armé : Voile, Semelle, bêche

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bouguera Amar et Magroud Brahm, Conception du calcul d'un mur de soutènement en zone sismique, Mémoire de fin d'études, Université 08 mai 1945 – Guelma – Algérie

Callaud.M, cour des mecanique de sol, Tome 1, décembre 2004.

DIAS. D, Mécanique des sols et géotechnique, Technique de l'ingénieur, 3e édition, Réf. Internet : 42238, extrait gratuit.

Gérard Degoutte (CGAAER), Paul Royet(Cemagref) AIDE MÉMOIRE DE MÉCANIQUE DES SOLS, Réédition 2009

Guettouche Amar, Mécanique des sols I Cours et exercices, Université Ferhat Abbas- Sétif-1, Faculté de Technologie, Département de Génie Civil, Algérie 2015/2016.

HAOUAM. H, étude numérique d'un mur de soutènement en sol stabilise et renforce avec fibre et géo grille, Mémoire de magistère, Université BADJI MOKHTAR-ANNABA, Algérie 2010

NIANDOU.H, Fondation et ouvrages de soutènement 4TGV801U, Université de bordeaux, France 2018/2019

Saliba.J, Rocher-Lacoste.F, (Cerema), Ouvrages de soutènement, colloque le pont, Edition Sétra (service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements). France (toulouse) le 09 octobre 2013.

Netgraphie

[www. L'eau dans le sol. com](http://www.L'eau dans le sol. com)

ANNEXE A

PROGRAMME DE CALCUL DES MURS DE SOUTÈNEMENT EN BETON ARME - MURS
CANTILEVER

```

PROGRAM Projet
  CHARACTER*70 TEXTE,TEXTE1,TEXTE2
C *****
  md=2
  mr=3
  OPEN(md, file='donnees.dat')
  OPEN(mr, file='resultat.dat')
  rewind md
  rewind mr
C -----
  READ(md,*)TEXTE2
  READ(md,*)texte
  READ(MD,*)ICAS,ISOL
  WRITE(mr,*)
  WRITE(mr,*)TEXTE2
  WRITE(mr,*)'*****'
  WRITE(mr,*)
  IF(ICAS-1)80,50,80

C *****
C          CAS 1 : MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE FINI
C *****
C *****LECTURE DES DONNEES
50 WRITE(mr,110)ICAS
  WRITE(mr,*)'*****'
  WRITE(mr,*)
  WRITE(mr,*)'----- DONNEES DE L OUVRAGE -----'
  WRITE(mr,102)
  WRITE(mr,*)'-----'
  WRITE(mr,102)
  WRITE(mr,102)
  Read(md,*)TEXTE
  Read(md,*)TEXTE
  Read(md,*)TEXTE

C *****DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR
  Read(md,*)HM,DELTA,ETA,XPM
  WRITE(mr,100)
  WRITE(mr,101)
  WRITE(mr,102)
  WRITE(mr,103)HM
  WRITE(mr,104)DELTA
  WRITE(mr,105)ETA
  WRITE(mr,106)XPM
  WRITE(mr,102)

C *****
100 FORMAT('          DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR')
101 FORMAT('          -----')
102 FORMAT('          ')
103 FORMAT('Hauteur du mur      (metres)           H ='F8.2)
104 FORMAT('Angle de frottement Sol/Mur (°)         Delta ='F8.2)
105 FORMAT('Inclinaison du mur (°)                   Eta ='F8.2)
106 FORMAT('Poids volumique du materiau du mur (KN/m3) ='F8.2)
110 FORMAT('          MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE FINI CAS : 'I2)
  Read(md,*)TEXTE
  Read(md,*)TEXTE

C *****DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR
  Read(md,*)XHM,BETA,GAMMASOLM,PHIM

```

```

WRITE (mr, 200)
WRITE (mr, 201)
WRITE (mr, 202)
WRITE (mr, 203) BETA
WRITE (mr, 204) XHM
WRITE (mr, 205) GAMMASOLM
WRITE (mr, 206) PHIM
WRITE (mr, 102)

C *****
200 FORMAT ('          DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR')
201 FORMAT ('          -----')
202 FORMAT ('          ')
203 FORMAT ('Inclinaison du Talus (°)          Beta ='F8.2)
204 FORMAT ('Hauteur du remblai Incline (metre)      Hr ='F8.2)
205 FORMAT ('Poids volumique du sol retenu (KN/m3)    ='F8.2)
206 FORMAT ('Angle de frottement du sol retenu (°) Phis ='F8.2)
Read (md, *) TEXTE
Read (md, *) TEXTE

C *****DONNEES DU SOL DE FONDATION
Read (md, *) GAMMASOLF, PHIF, C
XC=C
WRITE (mr, 300)
WRITE (mr, 301)
WRITE (mr, 302)
WRITE (mr, 303) GAMMASOLF
WRITE (mr, 304) PHIF
WRITE (mr, 305) C
WRITE (mr, 102)

C *****
300 FORMAT ('          DONNEES DU SOL DE FONDATION')
301 FORMAT ('          -----')
302 FORMAT ('          ')
303 FORMAT ('Poids volumique du sol de fondation(KN/m3) ='F8.2)
304 FORMAT ('Angle de frottement du sol de fondation(°) ='F8.2)
305 FORMAT ('Cohesion du sol de fondation (KN/m2)      C ='F8.2)
Read (md, *) TEXTE
Read (md, *) TEXTE

C *****DONNEES RELATIVES A LA SURCHARGE
Read (md, *) XLONG, YLONG, XQ
WRITE (mr, *) '          DONNEES RELATIVES A LA SURCHARGE'
WRITE (mr, *) '          -----'
WRITE (mr, *)
WRITE (mr, 310) XLONG
WRITE (mr, 320) YLONG
WRITE (mr, 330) XQ
WRITE (mr, 102)

C *****
310 FORMAT ('Distance(m) du debut par rapport au mur L1 ='F8.2)
320 FORMAT ('Distance(m) de la fin par rapport au murL2 ='F8.2)
330 FORMAT ('Intensite de la surcharge (KN/m2)          q ='F8.2)
Read (md, *) TEXTE

C *****COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE
Read (md, *) FS
WRITE (mr, *) '          COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE'

```

```

WRITE (mr, *) ' ----- '
WRITE (mr, *)
WRITE (mr, 770) FS

C *****PREDIMENSIONNEMENT DU MUR
  XI=1
  E0=HM/24
  E1=HM/12
  B1=HM/8
20  E2= (HM/12) *XI
  EE2=E2
25  B= (0.20+0.45*HM) *XI
  BB=B

C *****CALCUL DES MOMENTS STABILISANTS
  P1=E0* (HM-E2) *XPM
  BLP1=B1+E0/2
C *****
  P2= (E1-E0) * (HM-E2) *XPM/2
  BLP2=B1+E0+ (E1-E0) /3
C *****
  P3=E2*B*XPM
  BLP3=B/2
C *****
  P4= (HM-E2) * (B-E1-B1) *GAMMASOLM
  BLP4= ( (B-E1-B1) /2) + (B1+E1)

C *****MOMENT STABILISATEUR
  XMS=P1*BLP1+P2*BLP2+P3*BLP3+P4*BLP4

C *****CALCUL DES COEFFICIENTS DE POUSSEE DES TERRES
C *****POUR UN TALUS HORIZONTAL (BETA=0)
  XKao= (TAND (45-PHIM/2) ) **2

C *****POUR UN TALUS INCLINE (BETA non nul)
  A= (SIND (ETA-PHIM) ) **2
  B=SIND (PHIM+DELTA) *SIND (PHIM-BETA)
  C=SIND (ETA+DELTA) *SIND (ETA-BETA)
  D= (1+SQRT (B/C) ) **2
  ED=D*SIND (ETA+DELTA) * (SIND (ETA) ) **2
  XKab=A/ED

C *****
C *****CALCUL DE POUSSEE DES TERRES CAS DU TALUS INCLINE (BETA non nul)
  B2=B-B1-E1
  HMR=B2*tand (BETA)
  SIGMABETA=GAMMASOLM*XKab* (HMR+HM)

C *****CALCUL DE POUSSEE DES TERRES CAS DU TALUS HORIZONTAL (BETA=0)
  SIGMAZERO=GAMMASOLM*XKao* (XHM+HM)

C *****CALCUL DE POUSSEE DES TERRES A L INTERSECTION DES DIAGRAMMES
  CD=XHM-HMR
  Z=XKab*CD/ (XKab-XKao)
  SIGMAINTERSECTION=XKab*GAMMASOLM*Z

C *****CALCUL DES FORCES DE POUSSEE DES TERRES
C *****TRIANGLE 1
  PTRIANGLE1=0.5*SIGMAINTERSECTION* (Z-CD)
  BLPTRI1=HM+XHM-Z+ (Z-CD) /3

```

```

T1=PTRIANGLE1

C *****RECTANGLE
PRECTANGLE=SIGMAINTERSECTION* (HM+XHM-Z)
BLPREC= (HM+XHM-Z) /2
T2=PRECTANGLE

C *****TRIANGLE 2
SIGMAMIN=MIN (SIGMABETA, SIGMAZERO)
PTRIANGLE2=0.5* (SIGMAMIN-SIGMAINTERSECTION) * (HM+XHM-Z)
BLPTRI2= (HM+XHM-Z) /3
T3=PTRIANGLE2

C *****CALCUL DE POUSSEE RAPPORTEE AUX SURCHARGES
XA= (XLONG-B2) *TAND (PHIM)
XB= (YLONG-B2) *TAND (45+PHIM)
XDL=XA-XB
PCHARGE=XDL*XQ
BLPCHARGE= (HM+XHM) - (XA+XB) /2
T4=PCHARGE

C *****CALCUL DES MOMENTS DE RENVERSEMENTS
XMR1=PTRIANGLE1*BLPTRI1
XMR2=PRECTANGLE*BLPREC
XMR3=PTRIANGLE2*BLPTRI2
XMQ=PCHARGE*BLPCHARGE
XMR=XMR1+XMR2+XMR3+XMQ
CSECURITE=XMS/XMR
IF (ABS (CSECURITE) > FS) THEN
GOTO 30
ELSE
XI=XI*1.001
GOTO 20
END IF

C *****
C FIN DU CAS 1 : MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE FINI
C *****

C *****
C CAS 2 : MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE INFINI
C *****LECTURE DES DONNEES
80 WRITE (mr, 610) ICAS
WRITE (mr, *) ' ***** '
WRITE (mr, *)
WRITE (mr, *) '----- DONNEES DE L OUVRAGE -----'
WRITE (mr, 302)
WRITE (mr, *) '-----'
WRITE (mr, 302)
WRITE (mr, 302)
Read (md, *) TEXTE
Read (md, *) TEXTE
Read (md, *) TEXTE

C *****DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR
Read (md, *) HM, DELTA, ETA, XPM
WRITE (mr, 600)
WRITE (mr, 601)
WRITE (mr, 602)
WRITE (mr, 603) HM

```

```

WRITE (mr, 604) DELTA
WRITE (mr, 605) ETA
WRITE (mr, 606) XPM
WRITE (mr, 602)

C *****
600 FORMAT ('          DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR')
601 FORMAT ('          -----')
602 FORMAT ('          ')
603 FORMAT ('Hauteur du mur      (metres)                H ='F8.2)
604 FORMAT ('Angle de frottement Sol/Mur (°)           Delta ='F8.2)
605 FORMAT ('Inclinaison du mur (°)                   ETA ='F8.2)
606 FORMAT ('Poids volumique du materiau du mur (KN/m3) ='F8.2)
610 FORMAT (' MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE INFINI CAS  :'I2)
Read (md, *) TEXTE
Read (md, *) TEXTE

C *****DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR
Read (md, *) BETA, GAMMASOLM, PHIM
WRITE (mr, 400)
WRITE (mr, 401)
WRITE (mr, 402)
WRITE (mr, 403) BETA
WRITE (mr, 405) GAMMASOLM
WRITE (mr, 406) PHIM
WRITE (mr, 402)

C *****
400 FORMAT ('          DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR')
401 FORMAT ('          -----')
402 FORMAT ('          ')
403 FORMAT ('Inclinaison du Talus (°)                   Beta ='F8.2)
405 FORMAT ('Poids volumique du sol retenu (KN/m3)      :'F8.2)
406 FORMAT ('Angle de frottement du sol retenu (°) Phis ='F8.2)
Read (md, *) TEXTE
Read (md, *) TEXTE

C *****DONNEES DU SOL DE FONDATION
Read (md, *) GAMMASOLF, PHIF, C
XC=C
WRITE (mr, 500)
WRITE (mr, 501)
WRITE (mr, 502)
WRITE (mr, 503) GAMMASOLF
WRITE (mr, 504) PHIF
WRITE (mr, 505) C
WRITE (mr, 402)

C *****
500 FORMAT ('          DONNEES DU SOL DE FONDATION')
501 FORMAT ('          -----')
502 FORMAT ('          ')
503 FORMAT ('Poids volumique du sol de fondation(KN/m3) ='F8.2)
504 FORMAT ('Angle de frottement du sol de fondation(°) ='F8.2)
505 FORMAT ('Cohesion du sol de fondation (KN/m2)      C ='F8.2)
Read (md, *) TEXTE
Read (md, *) TEXTE

C *****DONNEES RELATIVES A LA SURCHARGE
Read (md, *) XLONG, YLONG, XQ

```

```

WRITE (mr, *) '          DONNEES RELATIVES A LA SURCHARGE '
WRITE (mr, *) '          -----'
WRITE (mr, *)
WRITE (mr, 510) XLONG
WRITE (mr, 520) YLONG
WRITE (mr, 530) XQ
WRITE (mr, 102)
510  FORMAT('Distance(m) du debut par rapport au mur L1 =',F8.2)
520  FORMAT('Distance(m) de la fin par rapport au murL2 =',F8.2)
530  FORMAT('Intensite de la surcharge (KN/m2)      q =',F8.2)
Read (md, *) TEXTE

C  *****COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE
Read (md, *) FS
WRITE (mr, *) '          COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE '
WRITE (mr, *) '          -----'
WRITE (mr, *)
WRITE (mr, 770) FS

C  *****PREDIMENSIONNEMENT DU MUR
XI=1
E0=HM/24
E1=HM/12
B1=HM/8
90  E2=(HM/12)*XI
    EE2=E2
35  B=(0.20+0.45*HM)*XI
    BB=B

C  *****CALCUL DES MOMENTS STABILISANTS
P1=E0*(HM-E2)*XPM
BLP1=B1+E0/2
C  *****
P2=(E1-E0)*(HM-E2)*XPM/2
BLP2=B1+E0+(E1-E0)/3
C  *****
P3=E2*B*XPM
BLP3=B/2
C  *****
P4=(HM-E2)*(B-E1-B1)*GAMMASOLM
BLP4=((B-E1-B1)/2)+(B1+E1)

C  *****MOMENT STABILISATEUR
XMS=P1*BLP1+P2*BLP2+P3*BLP3+P4*BLP4

C  *****CALCUL DES COEFFICIENTS DE POUSSEE DES TERRES
C  *****POUR UN TALUS INCLINE (BETA non nul)
A=(SIND(ETA-PHIM))**2
B=SIND(PHIM+DELTA)*SIND(PHIM-BETA)
C=SIND(ETA+DELTA)*SIND(ETA-BETA)
D=(1+SQRT(B/C))**2
ED=D*SIND(ETA+DELTA)*(SIND(ETA))**2
XKab=A/ED
XKao=(TAND(45-PHIM/2))**2

C  CALCUL DE POUSSEE DES TERRES CAS DU TALUS INCLINE (BETA non nul)
B2=B-B1-E1
HMR=B2*tand(BETA)
SIGMABETA=GAMMASOLM*XKab*(HMR+HM)

```

```

C      *****CALCUL DES FORCES DE POUSSEE DES TERRES
C      *****TRIANGLE
PTRIANGLE=0.5*SIGMABETA*(HMR+HM)
BLPTRI=(HM+XHM)/3
T1=PTRIANGLE
T2=0.00
T3=0.00

C      *****CALCUL DE POUSSEE RAPPORTEE AUX SURCHARGES
XA=(XLONG-B2)*TAND(PHIM)
XB=(YLONG-B2)*TAND(45+PHIM)
XDL=XA-XB
PCHARGE=XDL*XQ
BLPCHARGE=(HM+XHM)-(XA+XB)/2
T4=PCHARGE

C      *****CALCUL DES MOMENTS DE RENVERSEMENTS
XMR1=PTRIANGLE*BLPTRI
XMR=XMR1+XMQ
CSECURITE=XMS/XMR
IF (ABS(CSECURITE) > FS) THEN
GOTO 30
ELSE
XI=XI*1.001
GOTO 90
END IF
30  CONTINUE

C      *****STABILITE AU GLISSEMENT
XHB=0.00
HB=0.00
75  CONTINUE
SIG1=EE2*GAMMASOLF/XKab
SIG2=(EE2+HB)*GAMMASOLF/XKab
TB=(SIG1+SIG2)*HB/2
XN=P1+P2+P3+P4
T=T1+T2+T3+T4-TB
XFG=BB*XC+XN*TAND(PHIF)
CSECURITEG=XFG/T
IF (ABS(CSECURITEG) > FS) THEN
GOTO 85
ELSE
XHB=XHB+0.001
HB=HB+XHB
GOTO 75
END IF
85  CONTINUE

C      *****STABILITE AU NON POICONNEMENT
EXCENTRICITE=(BB/2)-(XMS-XMR)/XN
IF (EXCENTRICITE > (BB/ISOL)) then
XI=XI+0.001
IF (ICAS-1) 35, 25, 35
ELSE
END IF

C      *****PRESSION EXERCEE SUR LE SOL PAR A FONDATION
SIGMAA=XN*(1+(6*EXCENTRICITE/BB))/BB
SIGMAB=XN*(1-(6*EXCENTRICITE/BB))/BB
C      *****SORTIE DES RESULTATS

```

```

WRITE (mr, 302)
WRITE (mr, *) '----- RESULTATS -----'
WRITE (mr, 302)
WRITE (mr, *) '-----'
WRITE (mr, 302)
WRITE (mr, 700)
WRITE (mr, 710)
WRITE (mr, *)
WRITE (mr, *) ' 1/ - Stabilite au Renversement'
WRITE (mr, *)
WRITE (mr, 720) XKao
WRITE (mr, 730) XKab
WRITE (mr, 740) XMS
WRITE (mr, 750) XMR
WRITE (mr, 760) CSECURITE
WRITE (mr, 770) FS

C *****
WRITE (mr, *)
WRITE (mr, *) ' 2/ - Stabilite au Glissement'
WRITE (mr, *)
WRITE (mr, 800) XFG
WRITE (mr, 810) T
WRITE (mr, 820) CSECURITEG
WRITE (mr, 830) FS
IF (HB .EQ. 0) then
WRITE (mr, *)
WRITE (mr, 860)
GOTO 1000
ELSE
WRITE (mr, *)
WRITE (mr, 870)
WRITE (mr, *)
WRITE (mr, 840) HB
WRITE (mr, 850) EE2
end if
1000 CONTINUE

C *****
WRITE (mr, *)
WRITE (mr, *) ' 3/ - Stabilite au Non Poiconnement'
WRITE (mr, *)
WRITE (mr, 805) EXCENTRICITE
WRITE (mr, 815)

C *****
WRITE (mr, *)
WRITE (mr, *) ' 4/ - Pression excercee par la fondation sur le sol'
WRITE (mr, *)
WRITE (mr, 1200) SIGMAA/100
WRITE (mr, 1300) SIGMAB/100
IF (ISOL-6) 13, 14, 14
13 PES=3*SIGMAA/400
WRITE (mr, 1400) PES
GOTO 17
14 PES=(3*SIGMAA+SIGMAB)/400
WRITE (mr, 1400) PES
17 CONTINUE

C *****

```

```

WRITE (mr, *)
WRITE (mr, 900)
WRITE (mr, 910)
WRITE (mr, *)
WRITE (mr, 920)
WRITE (mr, 925)
HHM=HM-E2
WRITE (mr, 930) HHM
WRITE (mr, 940) E0
WRITE (mr, 950) E1
WRITE (mr, *)
WRITE (mr, 960)
WRITE (mr, 965)
WRITE (mr, 970) EE2
WRITE (mr, 980) BB
WRITE (mr, 990) B1
BT=BB-B1-E1
WRITE (mr, 1100) BT

```

```

C *****
IF (HB .EQ. 0) then
WRITE (mr, *)
WRITE (mr, 860)
ELSE
WRITE (mr, *)
WRITE (mr, 870)
WRITE (mr, *)
WRITE (mr, 840) HB
WRITE (mr, 850) EE2
end if

```

```

C *****
700 FORMAT(' RESULTATS INTERMEDIAIRES')
710 FORMAT(' *****')
720 FORMAT('Coefficient de Poussee                Kao =', F8.3)
730 FORMAT('Coefficient de Poussee                Kab =', F8.3)
740 FORMAT('Moments Stabilisateurs (KN.m)         Ms =', F8.3)
750 FORMAT('Moments de Renversement (KN.m)        Mr =', F8.3)
760 FORMAT('Securite au Renversement             Fsc =', F8.3)
770 FORMAT('Securite Exigee                       Fse =', F8.3)
800 FORMAT('Forces provoquant le glissement (KN)   G =', F8.2)
810 FORMAT('Forces resistant au glissement (KN)    T =', F8.2)
820 FORMAT('Securite au Glissement               Fsc =', F8.2)
830 FORMAT('Securite Exigee                       Fse =', F8.2)
840 FORMAT('Profondeur d ancrage de la beche (m)   hb =', F8.2)
850 FORMAT('Epaisseur de la beche (m)             eb =', F8.2)
860 FORMAT('====> Conception d une beche non necessaire')
870 FORMAT('=====> Necessite d une beche')
900 FORMAT(' GEOMETRIE DU MUR EN TE')
910 FORMAT(' *****')
920 FORMAT('          A/-Dimensions du Mur')
925 FORMAT('          -----')
930 FORMAT('Hauteur du Mur (m)                            Hm =', F8.2)
940 FORMAT('Epaisseur en tete du Mur (m)                  e0 =', F8.2)
950 FORMAT('Epaisseur du pied du Mur (m)                  e1 =', F8.2)
960 FORMAT('          B/ - Dimensions de la semelle')
965 FORMAT('          -----')
970 FORMAT('Epaisseur de la semelle (m)                    e2 =', F8.2)
980 FORMAT('Largeur de la semelle (m)                      B =', F8.2)
990 FORMAT('Largeur du pied de la semelle (m)              b1 =', F8.2)

```

```
1100 FORMAT('Largeur du talon de la semelle (m)      b2 =',F8.2)
805  FORMAT('Excent. de la result.des forces verticales (m)  e =',F5.2)
815  FORMAT('Condition de non poiçonnement VERIFIEE')
1200 FORMAT('Contrainte SigmaA (bars)                SigmaA =',F5.2)
1300 FORMAT('Contrainte SigmaB (bars)                SigmaB =',F5.2)
1400 FORMAT('Pres. exercée par la fond.sur le sol(bars)Sigma =',F5.2)
c    *****
      END PROGRAM
```

ANNEXE B

CALCUL DE MURS DE SOUTÈNEMENT EN BETON ARME FONDES SUR UN SOL NORMAL

Talus Incliné Fini

Exemple 1.1 : Mur de Hauteur $H = 4.00$ mètres sans surcharges

Exemple 1.2 : Mur de Hauteur $H = 6.00$ mètres sans surcharges

Talus Incliné Infini

Exemple 2.1 : Mur de Hauteur $H = 4.00$ mètres avec surcharges

Exemple 2.2 : Mur de Hauteur $H = 6.00$ mètres avec surcharges

Exemple 1.1 : Mur de Hauteur H = 4.00 mètres sans surcharges

```

PROJET :_MUR_CANTELIVER_-EXEMPLE :_1.1
*****
MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE FINI CAS : 1
*****
----- DONNEES DE L'OUVRAGE -----
-----
DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR
-----
Hauteur du mur (mètres) H = 4.00
Angle de frottement Sol/Mur (°) Delta = .00
Inclinaison du mur (°) Eta = 90.00
Poids volumique du matériau du mur (KN/m3) = 25.00
DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR
-----
Inclinaison du Talus (°) Beta = 10.00
Hauteur du remblai Incline (metre) Hr = 2.00
Poids volumique du sol retenu (KN/m3) = 17.60
Angle de frottement du sol retenu (°) Phis = 32.00
DONNEES DU SOL DE FONDATION
-----
Poids volumique du sol de fondation(KN/m3) = 21.00
Angle de frottement du sol de fondation(°) = 27.00
Cohesion du sol de fondation (KN/m2) C = 10.00
DONNEES RELATIVES A LA SURCHARGE
-----
Distance(m) du debut par rapport au mur L1 = 2.00
Distance(m) de la fin par rapport au mur L2 = 6.00
Intensite de la surcharge (KN/m2) q = .00
COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE
-----
Securite Exigee Fse = 1.500
----- RESULTATS -----
-----
RESULTATS INTERMEDIAIRES
*****
1/ - Stabilite au Renversement

```

```

Coefficient de Poussee Kao = .307
Coefficient de Poussee Kab = .343
Moments Stabilisateurs (KN.m) Ms = 419.729
Moments de Renversement (KN.m) Mr = 168.653
Securite au Renversement Fsc = 2.489
Securite Exigee Fse = 1.500
2/ - Stabilite au Glissement
Forces provoquant le glissement (KN) G = 146.62
Forces resistant au glissement (KN) T = 82.84
Securite au Glissement Fsc = 1.77
Securite Exigee Fse = 1.50
====> Conception d une beche non necessaire

3/ - Stabilité au Non Poinçonnement
Excent. de la result.des forces verticales (m) e =
.57
Condition de non poinçonnement VERIFIEE
4/ - Pression exercée par la fondation sur le sol
Contrainte SigmaA (bars) SigmaA = 1.30
Contrainte SigmaB (bars) SigmaB = .00
Pres. exercée par la fond.sur le sol(bars) Sigma = .97
GEOMETRIE DU MUR EN TE
*****
A/-Dimensions du Mur
-----
Hauteur du Mur (m) Hm = 3.56
Epaisseur en tete du Mur (m) e0 = .17
Epaisseur du pied du Mur (m) e1 = .33
B/ - Dimensions de la semelle
-----
Epaisseur de la semelle (m) e2 = .44
Largeur de la semelle (m) B = 3.41
Largeur du pied de la semelle (m) b1 = .50
Largeur du talon de la semelle (m) b2 = 2.57
====> Conception d une beche non necessaire

```

Exemple 1.2 : Mur de Hauteur H = 6.00 mètres sans surcharges

```

PROJET :_MUR_CANTELIVER_-EXEMPLE_:1.2
*****
MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE FINI CAS : 1
*****
----- DONNEES DE L OUVRAGE -----
-----
DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR
-----
Hauteur du mur (metres) H = 6.00
Angle de frottement Sol/Mur (°) Delta = .00
Inclinaison du mur (°) Eta = 90.00
Poids volumique du materiau du mur (KN/m3) = 25.00
DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR
-----
Inclinaison du Talus (°) Beta = 10.00
Hauteur du remblai Incline (metre) Hr = 3.00
Poids volumique du sol retenu (KN/m3) = 17.60
Angle de frottement du sol retenu (°) Phis = 32.00
DONNEES DU SOL DE FONDATION
-----
Poids volumique du sol de fondation(KN/m3) = 21.00
Angle de frottement du sol de fondation(°) = 27.00
Cohesion du sol de fondation (KN/m2) C = 10.00
DONNEES RELATIVES A LA SURCHAGE
-----
Distance(m) du debut par rapport au mur L1 = 2.00
Distance(m) de la fin par rapport au mur L2 = 6.00
Intensite de la surcharge (KN/m2) q = .00
COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE
-----
Securite Exigee Fse = 1.500
----- RESULTATS -----
RESULTATS INTERMEDIAIRES

```

```

*****
1/ - Stabilite au Renversement
Coefficient de Poussee Kao = .307
Coefficient de Poussee Kab = .343
Moments Stabilisateurs (KN.m) Ms =1417.233
Moments de Renversement (KN.m) Mr = 569.155
Securite au Renversement Fsc = 2.490
Securite Exigee Fse = 1.500
2/ - Stabilite au Glissement
Forces provoquant le glissement (KN) G = 304.72
Forces resistant au glissement (KN) T = 186.36
Securite au Glissement Fsc = 1.64
Securite Exigee Fse = 1.50
====> Conception d une beche non necessaire
3/ - Stabilite au Non Poiconnement
Excent. de la result.des forces verticales (m) e =.85
Condition de non poiçonnement VERIFIEE
4/ - Pression excercée par la fondation sur le sol
Contrainte SigmaA (bars) SigmaA = 1.95
Contrainte SigmaB (bars) SigmaB = .00
Pres. exercée par la fond.sur le sol(bars) Sigma = 1.46
GEOMETRIE DU MUR EN TE
*****
A/-Dimensions du Mur
-----
Hauteur du Mur (m) Hm = 5.33
Epaisseur en tete du Mur (m) e0 = .25
Epaisseur du pied du Mur (m) e1 = .50
B/ - Dimensions de la semelle
-----
Epaisseur de la semelle (m) e2 = .67
Largeur de la semelle (m) B = 5.11
Largeur du pied de la semelle (m) b1 = .75
Largeur du talon de la semelle (m) b2 = 3.86
====> Conception d une beche non necessaire

```

Exemple 1.3 : Mur de Hauteur H = 4.00 mètres avec surcharges

```

PROJET : _MUR_CANTELIVER_-EXEMPLE :_1.3
*****
MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE FINI CAS : 1
*****
----- DONNEES DE L OUVRAGE -----
DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR
-----
Hauteur du mur (metres) H = 4.00
Angle de frottement Sol/Mur (°) Delta = .00
Inclinaison du mur (°) Eta = 90.00
Poids volumique du materiau du mur (KN/m3) = 25.00
DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR
-----
Inclinaison du Talus (°) Beta = 10.00
Hauteur du remblai Incline (metre) Hr = 2.00
Poids volumique du sol retenu (KN/m3) = 17.60
Angle de frottement du sol retenu (°) Phis = 32.00
DONNEES DU SOL DE FONDATION
-----
Poids volumique du sol de fondation(KN/m3) = 21.00
Angle de frottement du sol de fondation(°) = 27.00
Cohesion du sol de fondation (KN/m2) C = 10.00
DONNEES RELATIVES A LA SURCHARGE
-----
Distance(m) du debut par rapport au mur L1 = 2.00
Distance(m) de la fin par rapport au mur L2 = 6.00
Intensite de la surcharge (KN/m2) q = 20.00
COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE
-----
Securite Exigee Fse = 1.500
----- RESULTATS -----
RESULTATS INTERMEDIAIRES
*****
1/ - Stabilite au Renversement
Coefficient de Poussee Kao = .307
Coefficient de Poussee Kab = .343

```

```

Moments Stabilisateurs (KN.m) Ms = 1086.442
Moments de Renversement (KN.m) Mr = 407.545
Securite au Renversement Fsc = 2.666
Securite Exigee Fse = 1.500
2/ - Stabilite au Glissement
Forces provoquant le glissement (KN) G = 246.44
Forces resistant au glissement (KN) T = 163.17
Securite au Glissement Fsc = 1.51
Securite Exigee Fse = 1.50
=====> Necessite d une beche
Profondeur d ancrage de la beche (m) hb = .41
Epaisseur de la beche (m) eb = .67
3/ - Stabilite au Non Poiconnement
Excent. de la result.des forces verticales (m) e = .90
Condition de non poiçonnement VERIFIEE
4/ - Pression excercée par la fondation sur le sol
Contrainte SigmaA (bars) SigmaA = 1.40
Contrainte SigmaB (bars) SigmaB = .00
Pres. exercée par la fond.sur le sol(bars) Sigma = 1.05
GEOMETRIE DU MUR EN TE
*****
A/-Dimensions du Mur
-----
Hauteur du Mur (m) Hm = 3.33
Epaisseur en tete du Mur (m) e0 = .17
Epaisseur du pied du Mur (m) e1 = .33
B/ - Dimensions de la semelle
-----
Epaisseur de la semelle (m) e2 = .67
Largeur de la semelle (m) B = 5.39
Largeur du pied de la semelle (m) b1 = .50
Largeur du talon de la semelle (m) b2 = 4.55
=====> Necessite d une beche
Profondeur d ancrage de la beche (m) hb = .41
Epaisseur de la beche (m) eb = .67

```

Exemple 1.4 : Mur de Hauteur H = 6.00 mètres avec surcharges

```

PROJET : _MUR_CANTELIVER_-EXEMPLE : 1.4
*****
MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE FINI CAS : 1
*****
----- DONNEES DE L OUVRAGE -----
-----
DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR
-----
Hauteur du mur (metres) H = 6.00
Angle de frottement Sol/Mur (°) Delta = .00
Inclinaison du mur (°) Eta = 90.00
Poids volumique du materiau du mur (KN/m3) = 25.00
DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR
-----
Inclinaison du Talus (°) Beta = 10.00
Hauteur du remblai Incline (metre) Hr = 3.00
Poids volumique du sol retenu (KN/m3) = 17.60
Angle de frottement du sol retenu (°) Phis = 32.00
DONNEES DU SOL DE FONDATION
-----
Poids volumique du sol de fondation(KN/m3) = 21.00
Angle de frottement du sol de fondation(°) = 27.00
Cohesion du sol de fondation (KN/m2) C = 10.00
DONNEES RELATIVES A LA SURCHARGE
-----
Distance(m) du debut par rapport au mur L1 = 2.00
Distance(m) de la fin par rapport au mur L2 = 6.00
Intensite de la surcharge (KN/m2) q = 20.00
COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE
-----
Securite Exigee Fse = 1.500
----- RESULTATS -----
RESULTATS INTERMEDIAIRES
*****
1/ - Stabilite au Renversement
Coefficient de Poussee Kao = .307
Coefficient de Poussee Kab = .343

```

```

Moments Stabilisateurs (KN.m) Ms = 3193.675
Moments de Renversement (KN.m) Mr = 1207.498
Securite au Renversement Fsc = 2.645
Securite Exigee Fse = 1.500
2/ - Stabilite au Glissement
Forces provoquant le glissement (KN) G = 477.36
Forces resistant au glissement (KN) T = 317.39
Securite au Glissement Fsc = 1.50
Securite Exigee Fse = 1.50
=====> Necessite d une beche
Profondeur d ancrage de la beche (m) hb = .50
Epaisseur de la beche (m) eb = .97
3/ - Stabilite au Non Poiconnement
Excent. de la result.des forces verticales m) e = 1.26
Condition de non poiçonnement VERIFIEE
4/ - Pression excercée par la fondation sur le sol
Contrainte SigmaA (bars) SigmaA = 2.09
Contrainte SigmaB (bars) SigmaB = .00
Pres. exercée par la fond.sur le sol(bars)Sigma = 1.57

GEOMETRIE DU MUR EN TE
*****
A/-Dimensions du Mur
-----
Hauteur du Mur (m) Hm = 5.03
Epaisseur en tete du Mur (m) e0 = .25
Epaisseur du pied du Mur (m) e1 = .50

B/ - Dimensions de la semelle
-----
Epaisseur de la semelle (m) e2 = .97
Largeur de la semelle (m) B = 7.55
Largeur du pied de la semelle (m) b1 = .75
Largeur du talon de la semelle (m) b2 = 6.30
=====> Necessite d une beche
Profondeur d ancrage de la beche (m) hb = .50
Epaisseur de la beche (m) eb = .97

```

Exemple 2.1 : Mur de Hauteur H = 4.00 mètres sans surcharges

```

PROJET :_MUR_CANTELIVER_-EXEMPLE :_2.1
*****
MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE INFINI CAS : 2
*****
----- DONNEES DE L OUVRAGE -----
-----
DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR
-----
Hauteur du mur (metres) H = 4.00
Angle de frottement Sol/Mur (°) Delta = .00
Inclinaison du mur (°) ETA = 90.00
Poids volumique du materiau du mur (KN/m3) = 25.00
DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR
-----
Inclinaison du Talus (°) Beta = 10.00
Poids volumique du sol retenu (KN/m3) : 17.60
Angle de frottement du sol retenu (°) Phis = 32.00
DONNEES DU SOL DE FONDATION
-----
Poids volumique du sol de fondation(KN/m3) = 21.00
Angle de frottement du sol de fondation(°) = 27.00
Cohesion du sol de fondation (KN/m2) C = 10.00
DONNEES RELATIVES A LA SURCHAGE
-----
Distance(m) du debut par rapport au mur L1 = 2.00
Distance(m) de la fin par rapport au mur L2 = 6.00
Intensite de la surcharge (KN/m2) q = .00
COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE
-----
Securite Exigee Fse = 1.500
----- RESULTATS -----
-----
RESULTATS INTERMEDIAIRES
*****
1/ - Stabilite au Renversement
Coefficient de Poussee Kao = .307
Coefficient de Poussee Kab = .343

```

```

Moments Stabilisateurs (KN.m) Ms = 137.755
Moments de Renversement (KN.m) Mr = 60.759
Securite au Renversement Fsc = 2.267
Securite Exigee Fse = 1.500
2/ - Stabilite au Glissement
Forces provoquant le glissement (KN) G = 78.53
Forces resistant au glissement (KN) T = 45.57
Securite au Glissement Fsc = 1.72
Securite Exigee Fse = 1.50
====> Conception d une beche non necessaire

3/ - Stabilite au Non Poiconnement

Excent. de la result.des forces verticales m) e = .33
Condition de non poiçonnement VERIFIEE

4/ - Pression excercée par la fondation sur le sol

Contrainte SigmaA (bars) SigmaA = 1.14
Contrainte SigmaB (bars) SigmaB = .01
Pres. exercée par la fond.sur le sol(bars) Sigma = .86

GEOMETRIE DU MUR EN TE
*****
A/-Dimensions du Mur
-----
Hauteur du Mur (m) Hm = 3.67
Epaisseur en tete du Mur (m) e0 = .17
Epaisseur du pied du Mur (m) e1 = .33

B/ - Dimensions de la semelle
-----
Epaisseur de la semelle (m) e2 = .33
Largeur de la semelle (m) B = 2.00
Largeur du pied de la semelle (m) b1 = .50
Largeur du talon de la semelle (m) b2 = 1.17
====> Conception d une beche non necessaire

```

Exemple 2.2 : Mur de Hauteur H = 6.00 mètres sans surcharges

```

PROJET : MUR CANTELIVER - EXEMPLE : 2.2
*****
MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE INFINI CAS : 2
*****
----- DONNEES DE L OUVRAGE -----
-----
DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR
-----
Hauteur du mur (metres) H = 6.00
Angle de frottement Sol/Mur (°) Delta = .00
Inclinaison du mur (°) ETA = 90.00
Poids volumique du materiau du mur (KN/m3) = 25.00
DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR
-----
Inclinaison du Talus (°) Beta = 10.00
Poids volumique du sol retenu (KN/m3) : 17.60
Angle de frottement du sol retenu (°) Phis = 32.00
DONNEES DU SOL DE FONDATION
-----
Poids volumique du sol de fondation (KN/m3) = 21.00
Angle de frottement du sol de fondation (°) = 27.00
Cohesion du sol de fondation (KN/m2) C = 10.00
DONNEES RELATIVES A LA SURCHAGE
-----
Distance(m) du debut par rapport au mur L1 = 2.00
Distance(m) de la fin par rapport au mur L2 = 6.00
Intensite de la surcharge (KN/m2) q = .00
COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE
-----
Securite Exigee Fse = 1.500
----- RESULTATS -----
-----
RESULTATS INTERMEDIAIRES
*****
1/ - Stabilite au Renversement
Coefficient de Poussee Kao = .307

```

```

Coefficient de Poussee Kab = .343
Moments Stabilisateurs (KN.m) Ms = 458.779
Moments de Renversement (KN.m) Mr = 203.833
Securite au Renversement Fsc = 2.251
Securite Exigee Fse = 1.500
2/ - Stabilite au Glissement
Forces provoquant le glissement (KN) G = 160.46
Forces resistant au glissement (KN) T = 101.92
Securite au Glissement Fsc = 1.57
Securite Exigee Fse = 1.50
====> Conception d une beche non necessaire
3/ - Stabilite au Non Poiconnement
Excent. de la result.des forces verticales (m) e =
.50
Condition de non poiçonnement VERIFIEE
4/ - Pression excercée par la fondation sur le sol
Contrainte SigmaA (bars) SigmaA = 1.72
Contrainte SigmaB (bars) SigmaB = .00
Pres. exercée par la fond.sur le sol(bars)Sigma = 1.29

GEOMETRIE DU MUR EN TE
*****
A/-Dimensions du Mur
-----
Hauteur du Mur (m) Hm = 5.50
Epaisseur en tete du Mur (m) e0 = .25
Epaisseur du pied du Mur (m) e1 = .50

B/ - Dimensions de la semelle
-----
Epaisseur de la semelle (m) e2 = .50
Largeur de la semelle (m) B = 2.98
Largeur du pied de la semelle (m) b1 = .75
Largeur du talon de la semelle (m) b2 = 1.73

====> Conception d'une bêche non nécessaire

```

Exemple 2.3 : Mur de Hauteur H = 4.00 mètres avec surcharges

```

PROJET :_MUR_CANTELIVER_-EXEMPLE :_2.3
*****
MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE INFINI CAS : 2
*****
----- DONNEES DE L OUVRAGE -----
-----
DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR
-----
Hauteur du mur (metres) H = 4.00
Angle de frottement Sol/Mur (°) Delta = .00
Inclinaison du mur (°) ETA = 90.00
Poids volumique du materiau du mur (KN/m3) = 25.00
DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR
-----
Inclinaison du Talus (°) Beta = 10.00
Poids volumique du sol retenu (KN/m3) : 17.60
Angle de frottement du sol retenu (°) Phis = 32.00
DONNEES DU SOL DE FONDATION
-----
Poids volumique du sol de fondation(KN/m3) = 21.00
Angle de frottement du sol de fondation(°) = 27.00
Cohesion du sol de fondation (KN/m2) C = 10.00
DONNEES RELATIVES A LA SURCHARGE
-----
Distance(m) du debut par rapport au mur L1 = 2.00
Distance(m) de la fin par rapport au mur L2 = 6.00
Intensite de la surcharge (KN/m2) q = 20.00
COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE
-----
Securite Exigee Fse = 1.500
----- RESULTATS -----
-----
RESULTATS INTERMEDIAIRES
*****
1/ - Stabilite au Renversement
Coefficient de Poussee Kao = .307
Coefficient de Poussee Kab = .343

```

```

Moments Stabilisateurs (KN.m) Ms = 137.755
Moments de Renversement (KN.m) Mr = 60.759
Securite au Renversement Fsc = 2.267
Securite Exigee Fse = 1.500
2/ - Stabilite au Glissement
Forces provoquant le glissement (KN) G = 78.53
Forces resistant au glissement (KN) T = 50.30
Securite au Glissement Fsc = 1.56
Securite Exigee Fse = 1.50
=====> Necessite d une beche
Profondeur d ancrage de la beche (m) hb = .99
Epaisseur de la beche (m) eb = .33
3/ - Stabilite au Non Poiconnement
Excent. de la result.des forces verticales (m) e = .33
Condition de non poiçonnement VERIFIEE
4/ - Pression excercée par la fondation sur le sol
Contrainte SigmaA (bars) SigmaA = 1.14
Contrainte SigmaB (bars) SigmaB = .01
Pres. exercée par la fond.sur le sol(bars) Sigma = .86
GEOMETRIE DU MUR EN TE
*****
A/-Dimensions du Mur
-----
Hauteur du Mur (m) Hm = 3.67
Epaisseur en tete du Mur (m) e0 = .17
Epaisseur du pied du Mur (m) e1 = .33
B/ - Dimensions de la semelle
-----
Epaisseur de la semelle (m) e2 = .33
Largeur de la semelle (m) B = 2.00
Largeur du pied de la semelle (m) b1 = .50
Largeur du talon de la semelle (m) b2 = 1.17
=====> Necessite d une beche
Profondeur d ancrage de la beche (m) hb = .99
Epaisseur de la beche (m) eb = .33

```

Exemple 2.4 : Mur de Hauteur H = 6.00 mètres avec surcharges

```

PROJET :_MUR_CANTELIVER_-EXEMPLE :_2.4
*****
MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE INFINI CAS : 2
*****
----- DONNEES DE L OUVRAGE -----
-----
DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR
-----
Hauteur du mur (metres) H = 6.00
Angle de frottement Sol/Mur (°) Delta = .00
Inclinaison du mur (°) ETA = 90.00
Poids volumique du materiau du mur (KN/m3) = 25.00
DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR
-----
Inclinaison du Talus (°) Beta = 10.00
Poids volumique du sol retenu (KN/m3) : 17.60
Angle de frottement du sol retenu (°) Phis = 32.00
DONNEES DU SOL DE FONDATION
-----
Poids volumique du sol de fondation(KN/m3) = 21.00
Angle de frottement du sol de fondation(°) = 27.00
Cohesion du sol de fondation (KN/m2) C = 10.00
DONNEES RELATIVES A LA SURCHARGE
-----
Distance(m) du debut par rapport au mur L1 = 2.00
Distance(m) de la fin par rapport au mur L2 = 6.00
Intensite de la surcharge (KN/m2) q = 20.00
COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE
-----
Securite Exigee Fse = 1.500
----- RESULTATS -----
-----
RESULTATS INTERMEDIAIRES
*****
1/ - Stabilite au Renversement
Coefficient de Poussee Kao = .307
Coefficient de Poussee Kab = .343

```

```

Moments Stabilisateurs (KN.m) Ms = 458.779
Moments de Renversement (KN.m) Mr = 203.833
Securite au Renversement Fsc = 2.251
Securite Exigee Fse = 1.500
2/ - Stabilite au Glissement
Forces provoquant le glissement (KN) G = 160.46
Forces resistant au glissement (KN) T = 102.38
Securite au Glissement Fsc = 1.57
Securite Exigee Fse = 1.50
=====> Necessite d une beche

Profondeur d ancrage de la beche (m) hb = 1.33
Epaisseur de la beche (m) eb = .50
3/ - Stabilite au Non Poiconnement
Excent. de la result.des forces verticales (m) e = .50
Condition de non poiçonnement VERIFIEE
4/ - Pression excercée par la fondation sur le sol
Contrainte SigmaA (bars) SigmaA = 1.72
Contrainte SigmaB (bars) SigmaB = .00
Pres. exercée par la fond.sur le sol(bars) Sigma = 1.29
GEOMETRIE DU MUR EN TE
*****
A/-Dimensions du Mur
-----
Hauteur du Mur (m) Hm = 5.50
Epaisseur en tete du Mur (m) e0 = .25
Epaisseur du pied du Mur (m) e1 = .50
B/ - Dimensions de la semelle
-----
Epaisseur de la semelle (m) e2 = .50
Largeur de la semelle (m) B = 2.98
Largeur du pied de la semelle (m) b1 = .75
Largeur du talon de la semelle (m) b2 = 1.73
=====> Necessite d une beche
Profondeur d ancrage de la beche (m) hb = 1.33
Epaisseur de la beche (m) eb = .50

```

ANNEXE C

CALCUL DE MURS DE SOUTÈNEMENT EN BETON ARME FONDES SUR UN SOL ROCHEUX

Talus Incliné Fini

Exemple 1.1 : Mur de Hauteur $H = 4.00$ mètres sans surcharges

Exemple 1.2 : Mur de Hauteur $H = 6.00$ mètres sans surcharges

Talus Incliné Infini

Exemple 2.1 : Mur de Hauteur $H = 4.00$ mètres avec surcharges

Exemple 2.2 : Mur de Hauteur $H = 6.00$ mètres avec surcharges

Exemple 1.1 : Mur de Hauteur H = 4.00 mètres sans surcharges

```

PROJET : MUR CANTELIVER - EXEMPLE : 1.1
*****
MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE FINI CAS : 1
*****
----- DONNEES DE L OUVRAGE -----
-----
--
DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR
-----
Hauteur du mur (metres) H = 4.00
Angle de frottement Sol/Mur (°) Delta = .00
Inclinaison du mur (°) Eta = 90.00
Poids volumique du materiau du mur (KN/m3) = 25.00
DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR
-----
Inclinaison du Talus (°) Beta = 10.00
Hauteur du remblai Incline (metre) Hr = 2.00
Poids volumique du sol retenu (KN/m3) = 17.60
Angle de frottement du sol retenu (°) Phis = 32.00
DONNEES DU SOL DE FONDATION
-----
Poids volumique du sol de fondation(KN/m3) = 21.00
Angle de frottement du sol de fondation(°) = 27.00
Cohesion du sol de fondation (KN/m2) C = 10.00
DONNEES RELATIVES A LA SURCHAGE
-----
Distance(m) du debut par rapport au mur L1 = 2.00
Distance(m) de la fin par rapport au mur L2 = 6.00
Intensite de la surcharge (KN/m2) q = .00
COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE
-----
Securite Exigee Fse = 1.50
----- RESULTATS -----
-----
RESULTATS INTERMEDIAIRES
*****
1/ - Stabilite au Renversement

```

```

Coefficient de Poussee Kao = .307
Coefficient de Poussee Kab = .343
Moments Stabilisateurs (KN.m) Ms = 293.714
Moments de Renversement (KN.m) Mr = 164.287
Securite au Renversement Fsc = 1.788
Securite Exigee Fse = 1.500
2/ - Stabilite au Glissement
Forces provoquant le glissement (KN) G = 120.68
Forces resistant au glissement (KN) T = 80.33
Securite au Glissement Fsc = 1.50
Securite Exigee Fse = 1.50
=====> Necessite d une beche
Profondeur d ancrage de la beche (m) hb = .01
Epaisseur de la beche (m) eb = .44
3/ - Stabilite au Non Poiconnement
Excent. de la result.des forces verticales (m)e =.71
Condition de non poiçonnement VERIFIEE
4/ - Pression excercée par la fondation sur le sol
Contrainte SigmaA (bars) SigmaA = 1.58
Contrainte SigmaB (bars) SigmaB = -.31
Pres. exercée par la fond.sur le sol(bars)Sigma = 1.18
GEOMETRIE DU MUR EN TE
*****
A/-Dimensions du Mur
-----
Hauteur du Mur (m) Hm = 3.56
Epaisseur en tete du Mur (m) e0 = .17
Epaisseur du pied du Mur (m) e1 = .33
B/ - Dimensions de la semelle
-----
Epaisseur de la semelle (m) e2 = .44
Largeur de la semelle (m) B = 2.86
Largeur du pied de la semelle (m) b1 = .50
Largeur du talon de la semelle (m) b2 = 2.00
=====> Necessite d une beche
Profondeur d ancrage de la beche (m) hb = .01
Epaisseur de la beche (m) eb = .44

```

Exemple 1.2 : Mur de Hauteur H = 6.00 mètres sans surcharges

```

PROJET : _MUR_CANTELIVER_-EXEMPLE : 1.2
*****
MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE FINI CAS : 1
*****
----- DONNEES DE L OUVRAGE -----
-----
DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR
-----
Hauteur du mur (metres) H = 6.00
Angle de frottement Sol/Mur (°) Delta = .00
Inclinaison du mur (°) Eta = 90.00
Poids volumique du materiau du mur (KN/m3) = 25.00
DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR
-----
Inclinaison du Talus (°) Beta = 10.00
Hauteur du remblai Incline (metre) Hr = 3.00
Poids volumique du sol retenu (KN/m3) = 17.60
Angle de frottement du sol retenu (°) Phis = 32.00
DONNEES DU SOL DE FONDATION
-----
Poids volumique du sol de fondation(KN/m3) = 21.00
Angle de frottement du sol de fondation(°) = 27.00
Cohesion du sol de fondation (KN/m2) C = 10.00
DONNEES RELATIVES A LA SURCHAGE
-----
Distance(m) du debut par rapport au mur L1 = 2.00
Distance(m) de la fin par rapport au mur L2 = 6.00
Intensite de la surcharge (KN/m2) q = .00
COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE
-----
Securite Exigee Fse = 1.500
----- RESULTATS -----
-----
RESULTATS INTERMEDIAIRES
*****
1/ - Stabilite au Renversement
Coefficient de Poussee Kao = .307

```

```

Coefficient de Poussee Kab = .343
Moments Stabilisateurs (KN.m) Ms = 990.753
Moments de Renversement (KN.m) Mr = 554.385
Securite au Renversement Fsc = 1.787
Securite Exigee Fse = 1.500
2/ - Stabilite au Glissement
Forces provoquant le glissement (KN) G = 250.27
Forces resistant au glissement (KN) T = 166.47
Securite au Glissement Fsc = 1.50
Securite Exigee Fse = 1.50
=====> Necessite d une beche

Profondeur d ancrage de la beche (m) hb = .30
Epaisseur de la beche (m) eb = .67
3/ - Stabilite au Non Poiconnement
Excent. de la result.des forces verticales (m)e = 1.07
Condition de non poiçonnement VERIFIEE
4/ - Pression excercée par la fondation sur le sol
Contrainte SigmaA (bars) SigmaA = 2.37
Contrainte SigmaB (bars) SigmaB = -.47
Pres. exercée par la fond.sur le sol(bars)Sigma = 1.78
GEOMETRIE DU MUR EN TE
*****
A/-Dimensions du Mur
-----
Hauteur du Mur (m) Hm = 5.33
Epaisseur en tete du Mur (m) e0 = .25
Epaisseur du pied du Mur (m) e1 = .50
B/ - Dimensions de la semelle
-----
Epaisseur de la semelle (m) e2 = .67
Largeur de la semelle (m) B = 4.29
Largeur du pied de la semelle (m) b1 = .75
Largeur du talon de la semelle (m) b2 = 3.04
=====> Necessite d une beche
Profondeur d ancrage de la beche (m) hb = .30
Epaisseur de la beche (m) eb = .67

```

Exemple 1.3 : Mur de Hauteur H = 4.00 mètres avec surcharges

```

PROJET : _MUR_CANTELIVER_-EXEMPLE : 1.3
*****
MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE FINI CAS : 1
*****
----- DONNEES DE L OUVRAGE -----
-----
DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR
-----
Hauteur du mur (metres) H = 4.00
Angle de frottement Sol/Mur (°) Delta = .00
Inclinaison du mur (°) Eta = 90.00
Poids volumique du materiau du mur (KN/m3) = 25.00
DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR
-----
Inclinaison du Talus (°) Beta = 10.00
Hauteur du remblai Incline (metre) Hr = 2.00
Poids volumique du sol retenu (KN/m3) = 17.60
Angle de frottement du sol retenu (°) Phis = 32.00
DONNEES DU SOL DE FONDATION
-----
Poids volumique du sol de fondation(KN/m3) = 21.00
Angle de frottement du sol de fondation(°) = 27.00
Cohesion du sol de fondation (KN/m2) C = 10.00
DONNEES RELATIVES A LA SURCHAGE
-----
Distance(m) du debut par rapport au mur L1 = 2.00
Distance(m) de la fin par rapport au mur L2 = 6.00
Intensite de la surcharge (KN/m2) q = 20.00
COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE
-----
Securite Exigee Fse = 1.500
----- RESULTATS -----
-----
RESULTATS INTERMEDIAIRES
*****
1/ - Stabilite au Renversement
Coefficient de Poussee Kao = .307

```

```

Coefficient de Poussee Kab = .343
Moments Stabilisateurs (KN.m) Ms = 748.905
Moments de Renversement (KN.m) Mr = 401.933
Securite au Renversement Fsc = 1.863
Securite Exigee Fse = 1.500
2/ - Stabilite au Glissement
Forces provoquant le glissement (KN) G = 202.51
Forces resistant au glissement (KN) T = 134.56
Securite au Glissement Fsc = 1.50
Securite Exigee Fse = 1.50
=====> Necessite d une beche
Profondeur d ancrage de la beche (m) hb = .74
Epaisseur de la beche (m) eb = .67
3/ - Stabilite au Non Poiconnement
Excent. de la result.des forces verticales (m)e = 1.12
Condition de non poiçonnement VERIFIEE
4/ - Pression excercée par la fondation sur le sol
Contrainte SigmaA (bars) SigmaA = 1.73
Contrainte SigmaB (bars) SigmaB = -.34
Pres. exercée par la fond.sur le sol(bars)Sigma = 1.29
GEOMETRIE DU MUR EN TE
*****
A/-Dimensions du Mur
-----
Hauteur du Mur (m) Hm = 3.33
Epaisseur en tete du Mur (m) e0 = .17
Epaisseur du pied du Mur (m) e1 = .33
B/ - Dimensions de la semelle
-----
Epaisseur de la semelle (m) e2 = .67
Largeur de la semelle (m) B = 4.48
Largeur du pied de la semelle (m) b1 = .50
Largeur du talon de la semelle (m) b2 = 3.65
=====> Necessite d une beche
Profondeur d ancrage de la beche (m) hb = .74
Epaisseur de la beche (m) eb = .67

```

Exemple 1.4 : Mur de Hauteur H = 6.00 mètres avec surcharges

```

PROJET :_MUR_CANTELIVER_-EXEMPLE :_1.4
*****
MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE FINI CAS : 1
*****
----- DONNEES DE L OUVRAGE -----
-----
DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR
-----
Hauteur du mur (metres) H = 6.00
Angle de frottement Sol/Mur (°) Delta = .00
Inclinaison du mur (°) Eta = 90.00
Poids volumique du materiau du mur (KN/m3) = 25.00
DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR
-----
Inclinaison du Talus (°) Beta = 10.00
Hauteur du remblai Incline (metre) Hr = 3.00
Poids volumique du sol retenu (KN/m3) = 17.60
Angle de frottement du sol retenu (°) Phis = 32.00
DONNEES DU SOL DE FONDATION
-----
Poids volumique du sol de fondation(KN/m3) = 21.00
Angle de frottement du sol de fondation(°) = 27.00
Cohesion du sol de fondation (KN/m2) C = 10.00
DONNEES RELATIVES A LA SURCHAGE
-----
Distance(m) du debut par rapport au mur L1 = 2.00
Distance(m) de la fin par rapport au mur L2 = 6.00
Intensite de la surcharge (KN/m2) q = 20.00
COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE
-----
Securite Exigee Fse = 1.500
----- RESULTATS -----
-----
RESULTATS INTERMEDIAIRES
*****
1/ - Stabilite au Renversement
Coefficient de Poussee Kao = .307

```

```

Coefficient de Poussee Kab = .343
Moments Stabilisateurs (KN.m) Ms =2204.478
Moments de Renversement (KN.m) Mr =1189.068
Securite au Renversement Fsc = 1.854
Securite Exigee Fse = 1.500
2/ - Stabilite au Glissement
Forces provoquant le glissement (KN) G = 391.85
Forces resistant au glissement (KN) T = 258.79
Securite au Glissement Fsc = 1.51
Securite Exigee Fse = 1.50
=====> Necessite d une beche
Profondeur d ancrage de la beche (m) hb = .99
Epaisseur de la beche (m) eb = .97
3/ - Stabilite au Non Poiconnement
Excent. de la result.des forces verticales (m)e = 1.57
Condition de non poiçonnement VERIFIEE
4/ - Pression excercée par la fondation sur le sol
Contrainte SigmaA (bars) SigmaA = 2.57
Contrainte SigmaB (bars) SigmaB = -.51
Pres. exercée par la fond.sur le sol(bars)Sigma = 1.93
GEOMETRIE DU MUR EN TE
*****
A/-Dimensions du Mur
-----
Hauteur du Mur (m) Hm = 5.03
Epaisseur en tete du Mur (m) e0 = .25
Epaisseur du pied du Mur (m) e1 = .50
B/ - Dimensions de la semelle
-----
Epaisseur de la semelle (m) e2 = .97
Largeur de la semelle (m) B = 6.29
Largeur du pied de la semelle (m) b1 = .75
Largeur du talon de la semelle (m) b2 = 5.04
=====> Necessite d une beche
Profondeur d ancrage de la beche (m) hb = .99
Epaisseur de la beche (m) eb = .97

```

Exemple 2.1 : Mur de Hauteur H = 4.00 mètres sans surcharges

```

PROJET :_MUR_CANTELIVER_-EXEMPLE :_2.1
*****
MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE INFINI CAS : 2
*****
----- DONNEES DE L OUVRAGE -----
-----
DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR
-----
Hauteur du mur (metres) H = 4.00
Angle de frottement Sol/Mur (°) Delta = .00
Inclinaison du mur (°) ETA = 90.00
Poids volumique du materiau du mur (KN/m3) = 25.00
DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR
-----
Inclinaison du Talus (°) Beta = 10.00
Poids volumique du sol retenu (KN/m3) : 17.60
Angle de frottement du sol retenu (°) Phis = 32.00
DONNEES DU SOL DE FONDATION
-----
Poids volumique du sol de fondation(KN/m3) = 21.00
Angle de frottement du sol de fondation(°) = 27.00
Cohesion du sol de fondation (KN/m2) C = 10.00
DONNEES RELATIVES A LA SURCHARGE
-----
Distance(m) du debut par rapport au mur L1 = 2.00
Distance(m) de la fin par rapport au mur L2 = 6.00
Intensite de la surcharge (KN/m2) q = .00
COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE
-----
Securite Exigee Fse = 1.500
----- RESULTATS -----
-----
RESULTATS INTERMEDIAIRES
*****
1/ - Stabilite au Renversement
Coefficient de Poussee Kao = .307

```

```

Coefficient de Poussee Kab = .343
Moments Stabilisateurs (KN.m) Ms = 137.755
Moments de Renversement (KN.m) Mr = 60.759
Securite au Renversement Fsc = 2.267
Securite Exigee Fse = 1.500
2/ - Stabilite au Glissement
Forces provoquant le glissement (KN) G = 78.53
Forces resistant au glissement (KN) T = 45.57
Securite au Glissement Fsc = 1.72
Securite Exigee Fse = 1.50
====> Conception d une beche non necessaire

3/ - Stabilite au Non Poiconnement
Excent. de la result.des forces verticales (m) e =
.33
Condition de non poiçonnement VERIFIEE
4/ - Pression excercée par la fondation sur le sol
Contrainte SigmaA (bars) SigmaA = 1.14
Contrainte SigmaB (bars) SigmaB = .01
Pres. exercée par la fond.sur le sol(bars) Sigma = .86
GEOMETRIE DU MUR EN TE
*****
A/-Dimensions du Mur
-----
Hauteur du Mur (m) Hm = 3.67
Epaisseur en tete du Mur (m) e0 = .17
Epaisseur du pied du Mur (m) e1 = .33
B/ - Dimensions de la semelle
-----
Epaisseur de la semelle (m) e2 = .33
Largeur de la semelle (m) B = 2.00
Largeur du pied de la semelle (m) b1 = .50
Largeur du talon de la semelle (m) b2 = 1.17
====> Conception d une beche non necessaire

```

Exemple 2.2 : Mur de Hauteur H = 6.00 mètres sans surcharges

```

PROJET : MUR CANTELIVER - EXEMPLE : 2.2
*****
MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE INFINI CAS : 2
*****
----- DONNEES DE L OUVRAGE -----
-----
DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR
-----
Hauteur du mur (metres) H = 6.00
Angle de frottement Sol/Mur (°) Delta = .00
Inclinaison du mur (°) ETA = 90.00
Poids volumique du materiau du mur (KN/m3) = 25.00
DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR
-----
Inclinaison du Talus (°) Beta = 10.00
Poids volumique du sol retenu (KN/m3) : 17.60
Angle de frottement du sol retenu (°) Phis = 32.00
DONNEES DU SOL DE FONDATION
-----
Poids volumique du sol de fondation(KN/m3) = 21.00
Angle de frottement du sol de fondation(°) = 27.00
Cohesion du sol de fondation (KN/m2) C = 10.00
DONNEES RELATIVES A LA SURCHAGE
-----
Distance(m) du debut par rapport au mur L1 = 2.00
Distance(m) de la fin par rapport au mur L2 = 6.00
Intensite de la surcharge (KN/m2) q = .00
COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE
-----
Securite Exigee Fse = 1.500
----- RESULTATS -----
-----
RESULTATS INTERMEDIAIRES
*****
1/ - Stabilite au Renversement

```

```

Coefficient de Poussee Kao = .307
Coefficient de Poussee Kab = .343
Moments Stabilisateurs (KN.m) Ms = 432.679
Moments de Renversement (KN.m) Mr = 203.833
Securite au Renversement Fsc = 2.123
Securite Exigee Fse = 1.500
2/ - Stabilite au Glissement
Forces provoquant le glissement (KN) G = 155.12
Forces resistant au glissement (KN) T = 101.92
Securite au Glissement Fsc = 1.52
Securite Exigee Fse = 1.50
====> Conception d une beche non necessaire
3/ - Stabilite au Non Poiconnement
Excent. de la result.des forces verticales (m) e =
.53
Condition de non poiçonnement VERIFIEE
4/ - Pression excercée par la fondation sur le sol
Contrainte SigmaA (bars) SigmaA = 1.78
Contrainte SigmaB (bars) SigmaB = -.07
Pres. exercée par la fond.sur le sol(bars)Sigma = 1.34
GEOMETRIE DU MUR EN TE
*****
A/-Dimensions du Mur
-----
Hauteur du Mur (m) Hm = 5.50
Epaisseur en tete du Mur (m) e0 = .25
Epaisseur du pied du Mur (m) e1 = .50
B/ - Dimensions de la semelle
-----
Epaisseur de la semelle (m) e2 = .50
Largeur de la semelle (m) B = 2.90
Largeur du pied de la semelle (m) b1 = .75
Largeur du talon de la semelle (m) b2 = 1.65
====> Conception d une beche non necessaire

```

Exemple 2.3 : Mur de Hauteur H = 4.00 mètres avec surcharges

```

PROJET : _MUR_CANTELIVER_-EXEMPLE : 2.3
*****
MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE INFINI CAS : 2
*****
----- DONNEES DE L OUVRAGE -----
-----
DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR
-----
Hauteur du mur (metres) H = 4.00
Angle de frottement Sol/Mur (°) Delta = .00
Inclinaison du mur (°) ETA = 90.00
Poids volumique du materiau du mur (KN/m3) = 25.00
DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR
-----
Inclinaison du Talus (°) Beta = 10.00
Poids volumique du sol retenu (KN/m3) : 17.60
Angle de frottement du sol retenu (°) Phis = 32.00
DONNEES DU SOL DE FONDATION
-----
Poids volumique du sol de fondation(KN/m3) = 21.00
Angle de frottement du sol de fondation(°) = 27.00
Cohesion du sol de fondation (KN/m2) C = 10.00
DONNEES RELATIVES A LA SURCHARGE
-----
Distance(m) du debut par rapport au mur L1 = 2.00
Distance(m) de la fin par rapport au mur L2 = 6.00
Intensite de la surcharge (KN/m2) q = 20.00
COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE
-----
Securite Exigee Fse = 1.500
----- RESULTATS -----
-----
RESULTATS INTERMEDIAIRES
*****
1/ - Stabilite au Renversement
Coefficient de Poussee Kao = .307
Coefficient de Poussee Kab = .343

```

```

Moments Stabilisateurs (KN.m) Ms = 137.755
Moments de Renversement (KN.m) Mr = 60.759
Securite au Renversement Fsc = 2.267
Securite Exigee Fse = 1.500
2/ - Stabilite au Glissement
Forces provoquant le glissement (KN) G = 78.53
Forces resistant au glissement (KN) T = 50.30
Securite au Glissement Fsc = 1.56
Securite Exigee Fse = 1.50
=====> Necessite d une beche
Profondeur d ancrage de la beche (m) hb = .99
Epaisseur de la beche (m) eb = .33

3/ - Stabilite au Non Poiconnement
Excent. de la result.des forces verticales (m) e = .33
Condition de non poiçonnement VERIFIEE
4/ - Pression excercée par la fondation sur le sol
Contrainte SigmaA (bars) SigmaA = 1.14
Contrainte SigmaB (bars) SigmaB = .01
Pres. exercée par la fond.sur le sol(bars) Sigma = .86
GEOMETRIE DU MUR EN TE
*****
A/-Dimensions du Mur
-----
Hauteur du Mur (m) Hm = 3.67
Epaisseur en tete du Mur (m) e0 = .17
Epaisseur du pied du Mur (m) e1 = .33
B/ - Dimensions de la semelle
-----
Epaisseur de la semelle (m) e2 = .33
Largeur de la semelle (m) B = 2.00
Largeur du pied de la semelle (m) b1 = .50
Largeur du talon de la semelle (m) b2 = 1.17
=====> Necessite d une beche
Profondeur d ancrage de la beche (m) hb = .99
Epaisseur de la beche (m) eb = .33

```

Exemple 2.4 : Mur de Hauteur H = 6.00 mètres avec surcharges

```

PROJET : _MUR_CANTELIVER_-EXEMPLE : 2.4
*****
MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE INFINI CAS : 2
*****
----- DONNEES DE L OUVRAGE -----
-----
DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR
-----
Hauteur du mur (metres) H = 6.00
Angle de frottement Sol/Mur (°) Delta = .00
Inclinaison du mur (°) ETA = 90.00
Poids volumique du materiau du mur (KN/m3) = 25.00
DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR
-----
Inclinaison du Talus (°) Beta = 10.00
Poids volumique du sol retenu (KN/m3) : 17.60
Angle de frottement du sol retenu (°) Phis = 32.00
DONNEES DU SOL DE FONDATION
-----
Poids volumique du sol de fondation(KN/m3) = 21.00
Angle de frottement du sol de fondation(°) = 27.00
Cohesion du sol de fondation (KN/m2) C = 10.00
DONNEES RELATIVES A LA SURCHARGE
-----
Distance(m) du debut par rapport au mur L1 = 2.00
Distance(m) de la fin par rapport au mur L2 = 6.00
Intensite de la surcharge (KN/m2) q = 20.00
COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE
-----
Securite Exigee Fse = 1.500
----- RESULTATS -----
-----
RESULTATS INTERMEDIAIRES
*****
1/ - Stabilite au Renversement
Coefficient de Poussee Kao = .307
Coefficient de Poussee Kab = .343

```

```

Moments Stabilisateurs (KN.m) Ms = 432.679
Moments de Renversement (KN.m) Mr = 203.833
Securite au Renversement Fsc = 2.123
Securite Exigee Fse = 1.500
2/ - Stabilite au Glissement
Forces provoquant le glissement (KN) G = 155.12
Forces resistant au glissement (KN) T = 102.38
Securite au Glissement Fsc = 1.52
Securite Exigee Fse = 1.50
=====> Necessite d une beche

Profondeur d ancrage de la beche (m) hb = 1.33
Epaisseur de la beche (m) eb = .50
3/ - Stabilite au Non Poiconnement
Excent. de la result.des forces verticales (m) e = .53
Condition de non poiçonnement VERIFIEE
4/ - Pression excercée par la fondation sur le sol
Contrainte SigmaA (bars) SigmaA = 1.78
Contrainte SigmaB (bars) SigmaB = -.07
Pres. exercée par la fond.sur le sol(bars) Sigma = 1.34
GEOMETRIE DU MUR EN TE
*****
A/-Dimensions du Mur
-----
Hauteur du Mur (m) Hm = 5.50
Epaisseur en tete du Mur (m) e0 = .25
Epaisseur du pied du Mur (m) e1 = .50
B/ - Dimensions de la semelle
-----
Epaisseur de la semelle (m) e2 = .50
Largeur de la semelle (m) B = 2.90
Largeur du pied de la semelle (m) b1 = .75
Largeur du talon de la semelle (m) b2 = 1.65
=====> Necessite d une beche
Profondeur d ancrage de la beche (m) hb = 1.33
Epaisseur de la beche (m) eb = .50

```

ANNEXE D

TALUS INCLINE INFINI – SOL DE FONDATION NORMAL

SIMULATION DU DIMENSIONNEMENT DE LA SEMELLE D'UN MUR DE SOUTÈNEMENT EN BETON
ARME

selon la hauteur du mur : H = (2.00m – 2.50 m– 3.00m – 3.50m – 4.00m – 4.50m – 5.00m – 5.50m
– 6.00m)

PROJET : MUR CANTELIVER - EXEMPLE : 2.1

 MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE INFINI CAS : 2

 ----- DONNEES DE L OUVRAGE -----

 DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR

 Hauteur du mur (metres) H = 2.00
 Angle de frottement Sol/Mur (°) Delta = .00
 Inclinaison du mur (°) ETA = 90.00
 Poids volumique du materiau du mur (KN/m3) = 25.00
 DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR

 Inclinaison du Talus (°) Beta = 10.00
 Poids volumique du sol retenu (KN/m3) : 17.60
 Angle de frottement du sol retenu (°) Phis = 32.00
 DONNEES DU SOL DE FONDATION

 Poids volumique du sol de fondation(KN/m3) = 21.00
 Angle de frottement du sol de fondation(°) = 27.00
 Cohesion du sol de fondation (KN/m2) C = 10.00
 DONNEES RELATIVES A LA SURCHARGE

 Distance(m) du debut par rapport au mur L1 = 2.00
 Distance(m) de la fin par rapport au mur L2 = 6.00
 Intensite de la surcharge (KN/m2) q = .00
 COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE

 Securite Exigee Fse = 1.500
 ----- RESULTATS -----

 RESULTATS INTERMEDIAIRES

 1/ - Stabilite au Renversement

Coefficient de Poussee Kao = .307
 Coefficient de Poussee Kab = .343
 Moments Stabilisateurs (KN.m) Ms = 21.045
 Moments de Renversement (KN.m) Mr = 7.732
 Securite au Renversement Fsc = 2.722
 Securite Exigee Fse = 1.500
 2/ - Stabilite au Glissement
 Forces provoquant le glissement (KN) G = 27.49
 Forces resistant au glissement (KN) T = 11.60
 Securite au Glissement Fsc = 2.37
 Securite Exigee Fse = 1.50
 ==> Conception d une beche non necessaire
 3/ - Stabilite au Non Poiconnement
 Excent. de la result.des forces verticales (m) e = .14
 Condition de non poiçonnement VERIFIEE
 4/ - Pression excercée par la fondation sur le sol
 Contrainte SigmaA (bars) SigmaA = .52
 Contrainte SigmaB (bars) SigmaB = .07
 Pres. exercée par la fond.sur le sol(bars) Sigma = .41
 GEOMETRIE DU MUR EN TE

 A/-Dimensions du Mur

 Hauteur du Mur (m) Hm = 1.83
 Epaisseur en tete du Mur (m) e0 = .08
 Epaisseur du pied du Mur (m) e1 = .17
 B/ - Dimensions de la semelle

 Epaisseur de la semelle (m) e2 = .17
 Largeur de la semelle (m) B = 1.10
 Largeur du pied de la semelle (m) b1 = .25
 Largeur du talon de la semelle (m) b2 = .68
 ==> Conception d une beche **non necessaire**

```

PROJET :_MUR_CANTELIVER_-EXEMPLE :_2.1
*****
MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE INFINI CAS : 2
*****
----- DONNEES DE L OUVRAGE -----
-----
DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR
-----
Hauteur du mur (metres) H = 2.50
Angle de frottement Sol/Mur (°) Delta = .00
Inclinaison du mur (°) ETA = 90.00
Poids volumique du materiau du mur (KN/m3) = 25.00
DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR
-----
Inclinaison du Talus (°) Beta = 10.00
Poids volumique du sol retenu (KN/m3) : 17.60
Angle de frottement du sol retenu (°) Phis = 32.00
DONNEES DU SOL DE FONDATION
-----
Poids volumique du sol de fondation(KN/m3) = 21.00
Angle de frottement du sol de fondation(°) = 27.00
Cohesion du sol de fondation (KN/m2) C = 10.00
DONNEES RELATIVES A LA SURCHARGE
-----
Distance(m) du debut par rapport au mur L1 = 2.00
Distance(m) de la fin par rapport au mur L2 = 6.00
Intensite de la surcharge (KN/m2) q = .00
COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE
-----
Securite Exigee Fse = 1.500
----- RESULTATS -----
-----
RESULTATS INTERMEDIAIRES
*****
1/ - Stabilite au Renversement
Coefficient de Poussee Kao = .307
Coefficient de Poussee Kab = .343
Moments Stabilisateurs (KN.m) Ms = 38.029
Moments de Renversement (KN.m) Mr = 14.994

```

```

Securite au Renversement Fsc = 2.536
Securite Exigee Fse = 1.500
2/ - Stabilite au Glissement
Forces provoquant le glissement (KN) G = 37.85
Forces resistant au glissement (KN) T = 17.99
Securite au Glissement Fsc = 2.10
Securite Exigee Fse = 1.50
====> Conception d une beche non necessaire
3/ - Stabilite au Non Poiconnement
Excent. de la result.des forces verticales (m) e =
.19
Condition de non poiçonnement VERIFIEE
4/ - Pression excercée par la fondation sur le sol
Contrainte SigmaA (bars) SigmaA = .67
Contrainte SigmaB (bars) SigmaB = .06
Pres. exercée par la fond.sur le sol(bars) Sigma = .52
GEOMETRIE DU MUR EN TE
*****
A/-Dimensions du Mur
-----
Hauteur du Mur (m) Hm = 2.29
Epaisseur en tete du Mur (m) e0 = .10
Epaisseur du pied du Mur (m) e1 = .21
B/ - Dimensions de la semelle
-----
Epaisseur de la semelle (m) e2 = .21
Largeur de la semelle (m) B = 1.32
Largeur du pied de la semelle (m) b1 = .31
Largeur du talon de la semelle (m) b2 = .80
====> Conception d une beche non necessaire

```

PROJET : MUR CANTELIVER - EXEMPLE : 2.1

MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE INFINI CAS : 2

----- DONNEES DE L OUVRAGE -----

DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR

Hauteur du mur (metres) H = 3.00
Angle de frottement Sol/Mur (°) Delta = .00
Inclinaison du mur (°) ETA = 90.00
Poids volumique du materiau du mur (KN/m3) = 25.00

DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR

Inclinaison du Talus (°) Beta = 10.00
Poids volumique du sol retenu (KN/m3) : 17.60
Angle de frottement du sol retenu (°) Phis = 32.00

DONNEES DU SOL DE FONDATION

Poids volumique du sol de fondation(KN/m3) = 21.00
Angle de frottement du sol de fondation(°) = 27.00
Cohesion du sol de fondation (KN/m2) C = 10.00

DONNEES RELATIVES A LA SURCHARGE

Distance(m) du debut par rapport au mur L1 = 2.00
Distance(m) de la fin par rapport au mur L2 = 6.00
Intensite de la surcharge (KN/m2) q = .00

COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE

Securite Exigee Fse = 1.500

----- RESULTATS -----

RESULTATS INTERMEDIAIRES

1/ - Stabilite au Renversement

Coefficient de Poussee Kao = .307
Coefficient de Poussee Kab = .343
Moments Stabilisateurs (KN.m) Ms = 62.282
Moments de Renversement (KN.m) Mr = 25.787

Securite au Renversement Fsc = 2.415

Securite Exigee Fse = 1.500

2/ - Stabilite au Glissement

Forces provoquant le glissement (KN) G = 49.82

Forces resistant au glissement (KN) T = 25.79

Securite au Glissement Fsc = 1.93

Securite Exigee Fse = 1.50

====> Conception d une beche non necessaire

3/ - Stabilite au Non Poiconnement

Excent. de la result.des forces verticales (m) e = .23

Condition de non poiçonnement VERIFIEE

4/ - Pression excercée par la fondation sur le sol

Contrainte SigmaA (bars) SigmaA = .83

Contrainte SigmaB (bars) SigmaB = .04

Pres. exercée par la fond.sur le sol(bars) Sigma = .63

GEOMETRIE DU MUR EN TE

A/-Dimensions du Mur

Hauteur du Mur (m) Hm = 2.75

Epaisseur en tete du Mur (m) e0 = .13

Epaisseur du pied du Mur (m) e1 = .25

B/ - Dimensions de la semelle

Epaisseur de la semelle (m) e2 = .25

Largeur de la semelle (m) B = 1.55

Largeur du pied de la semelle (m) b1 = .38

Largeur du talon de la semelle (m) b2 = .92

====> Conception d une beche **non necessaire**

PROJET : MUR CANTELIVER - EXEMPLE : 2.1

 MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE INFINI CAS : 2

----- DONNEES DE L OUVRAGE -----

DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR

 Hauteur du mur (metres) **H = 3.50**
 Angle de frottement Sol/Mur (°) Delta = .00
 Inclinaison du mur (°) ETA = 90.00
 Poids volumique du materiau du mur (KN/m3) = 25.00

DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR

 Inclinaison du Talus (°) Beta = 10.00
 Poids volumique du sol retenu (KN/m3) : 17.60
 Angle de frottement du sol retenu (°) Phis = 32.00

DONNEES DU SOL DE FONDATION

 Poids volumique du sol de fondation(KN/m3) = 21.00
 Angle de frottement du sol de fondation(°) = 27.00
 Cohesion du sol de fondation (KN/m2) C = 10.00

DONNEES RELATIVES A LA SURCHARGE

 Distance(m) du debut par rapport au mur L1 = 2.00
 Distance(m) de la fin par rapport au mur L2 = 6.00
 Intensite de la surcharge (KN/m2) q = .00

COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE

 Securite Exigee Fse = 1.500

----- RESULTATS -----

RESULTATS INTERMEDIAIRES

1/ - Stabilite au Renversement

Coefficient de Poussee Kao = .307
 Coefficient de Poussee Kab = .343
 Moments Stabilisateurs (KN.m) Ms = 95.094
 Moments de Renversement (KN.m) Mr = 40.809

Securite au Renversement Fsc = 2.330
 Securite Exigee Fse = 1.500

2/ - Stabilite au Glissement

Forces provoquant le glissement (KN) G = 63.37
 Forces resistant au glissement (KN) T = 34.98
 Securite au Glissement Fsc = 1.81
 Securite Exigee Fse = 1.50

====> Conception d une beche non necessaire

3/ - Stabilite au Non Poiconnement

Excent. de la result.des forces verticales (m) e = .28

Condition de non poiçonnement VERIFIEE

4/ - Pression excercée par la fondation sur le sol
 Contrainte SigmaA (bars) SigmaA = .98
 Contrainte SigmaB (bars) SigmaB = .02
 Pres. exercée par la fond.sur le sol(bars) Sigma = .74

GEOMETRIE DU MUR EN TE

A/-Dimensions du Mur

 Hauteur du Mur (m) Hm = 3.21
 Epaisseur en tete du Mur (m) e0 = .15
 Epaisseur du pied du Mur (m) e1 = .29

B/ - Dimensions de la semelle

 Epaisseur de la semelle (m) **e2 = .29**
 Largeur de la semelle (m) **B = 1.77**
 Largeur du pied de la semelle (m) b1 = .44
 Largeur du talon de la semelle (m) b2 = 1.05

====> Conception d une beche **non necessaire**

PROJET : MUR CANTELIVER - EXEMPLE : 2.1

MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE INFINI CAS : 2

----- DONNEES DE L OUVRAGE -----

DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR

 Hauteur du mur (metres) H = 4.00
 Angle de frottement Sol/Mur (°) Delta = .00
 Inclinaison du mur (°) ETA = 90.00
 Poids volumique du materiau du mur (KN/m3) = 25.00

DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR

 Inclinaison du Talus (°) Beta = 10.00
 Poids volumique du sol retenu (KN/m3) : 17.60
 Angle de frottement du sol retenu (°) Phis = 32.00

DONNEES DU SOL DE FONDATION

 Poids volumique du sol de fondation(KN/m3) = 21.00
 Angle de frottement du sol de fondation(°) = 27.00
 Cohesion du sol de fondation (KN/m2) C = 10.00

DONNEES RELATIVES A LA SURCHARGE

 Distance(m) du debut par rapport au mur L1 = 2.00
 Distance(m) de la fin par rapport au mur L2 = 6.00
 Intensite de la surcharge (KN/m2) q = .00

COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE

 Securite Exigee Fse = 1.500

----- RESULTATS -----

RESULTATS INTERMEDIAIRES

1/ - Stabilite au Renversement

Coefficient de Poussee Kao = .307
 Coefficient de Poussee Kab = .343
 Moments Stabilisateurs (KN.m) Ms = 137.755
 Moments de Renversement (KN.m) Mr = 60.759

Securite au Renversement Fsc = 2.267
 Securite Exigee Fse = 1.500

2/ - Stabilite au Glissement

Forces provoquant le glissement (KN) G = 78.53
 Forces resistant au glissement (KN) T = 45.57
 Securite au Glissement Fsc = 1.72
 Securite Exigee Fse = 1.50

====> Conception d une beche non necessaire

3/ - Stabilite au Non Poissonnement

Excent. de la result.des forces verticales (m) e = .33

Condition de non poissonnement VERIFIEE

4/ - Pression excercée par la fondation sur le sol
 Contrainte SigmaA (bars) SigmaA = 1.14
 Contrainte SigmaB (bars) SigmaB = .01
 Pres. exercée par la fond.sur le sol(bars) Sigma = .86

GEOMETRIE DU MUR EN TE

A/-Dimensions du Mur

 Hauteur du Mur (m) Hm = 3.67
 Epaisseur en tete du Mur (m) e0 = .17
 Epaisseur du pied du Mur (m) e1 = .33

B/ - Dimensions de la semelle

 Epaisseur de la semelle (m) e2 = .33
 Largeur de la semelle (m) B = 2.00
 Largeur du pied de la semelle (m) b1 = .50
 Largeur du talon de la semelle (m) b2 = 1.17

====> Conception d une beche **non necessaire**

```

PROJET :_MUR_CANTELIVER_-EXEMPLE :_2.1
*****
MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE INFINI CAS : 2
*****
----- DONNEES DE L OUVRAGE -----
-----
DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR
-----
Hauteur du mur (metres) H = 4.50
Angle de frottement Sol/Mur (°) Delta = .00
Inclinaison du mur (°) ETA = 90.00
Poids volumique du materiau du mur (KN/m3) = 25.00
DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR
-----
Inclinaison du Talus (°) Beta = 10.00
Poids volumique du sol retenu (KN/m3) : 17.60
Angle de frottement du sol retenu (°) Phis = 32.00
DONNEES DU SOL DE FONDATION
-----
Poids volumique du sol de fondation(KN/m3) = 21.00
Angle de frottement du sol de fondation(°) = 27.00
Cohesion du sol de fondation (KN/m2) C = 10.00
DONNEES RELATIVES A LA SURCHARGE
-----
Distance(m) du debut par rapport au mur L1 = 2.00
Distance(m) de la fin par rapport au mur L2 = 6.00
Intensite de la surcharge (KN/m2) q = .00
COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE
-----
Securite Exigee Fse = 1.500
----- RESULTATS -----
-----
RESULTATS INTERMEDIAIRES
*****
1/ - Stabilite au Renversement
Coefficient de Poussee Kao = .307
Coefficient de Poussee Kab = .343
Moments Stabilisateurs (KN.m) Ms = 194.405
Moments de Renversement (KN.m) Mr = 86.337

```

```

Securite au Renversement Fsc = 2.252
Securite Exigee Fse = 1.500
2/ - Stabilite au Glissement
Forces provoquant le glissement (KN) G = 96.09
Forces resistant au glissement (KN) T = 57.56
Securite au Glissement Fsc = 1.67
Securite Exigee Fse = 1.50
====> Conception d une beche non necessaire
3/ - Stabilite au Non Poiconnement

Excent. de la result.des forces verticales (m) e =
.37
Condition de non poiçonnement VERIFIEE
4/ - Pression excercée par la fondation sur le sol
Contrainte SigmaA (bars) SigmaA = 1.29
Contrainte SigmaB (bars) SigmaB = .00
Pres. exercée par la fond.sur le sol(bars) Sigma = .97
GEOMETRIE DU MUR EN TE
*****
A/-Dimensions du Mur
-----
Hauteur du Mur (m) Hm = 4.13
Epaisseur en tete du Mur (m) e0 = .19
Epaisseur du pied du Mur (m) e1 = .38
B/ - Dimensions de la semelle
-----
Epaisseur de la semelle (m) e2 = .38
Largeur de la semelle (m) B = 2.24
Largeur du pied de la semelle (m) b1 = .56
Largeur du talon de la semelle (m) b2 = 1.30

====> Conception d une beche non necessaire

```

PROJET : MUR CANTELIVER - EXEMPLE : 2.1

 MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE INFINI CAS : 2

 ----- DONNEES DE L OUVRAGE -----

 DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR

 Hauteur du mur (metres) H = 5.00
 Angle de frottement Sol/Mur (°) Delta = .00
 Inclinaison du mur (°) ETA = 90.00
 Poids volumique du materiau du mur (KN/m3) = 25.00
 DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR

 Inclinaison du Talus (°) Beta = 10.00
 Poids volumique du sol retenu (KN/m3) : 17.60
 Angle de frottement du sol retenu (°) Phis = 32.00
 DONNEES DU SOL DE FONDATION

 Poids volumique du sol de fondation(KN/m3) = 21.00
 Angle de frottement du sol de fondation(°) = 27.00
 Cohesion du sol de fondation (KN/m2) C = 10.00
 DONNEES RELATIVES A LA SURCHARGE

 Distance(m) du debut par rapport au mur L1 = 2.00
 Distance(m) de la fin par rapport au mur L2 = 6.00
 Intensite de la surcharge (KN/m2) q = .00
 COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE

 Securite Exigee Fse = 1.500
 ----- RESULTATS -----

 RESULTATS INTERMEDIAIRES

 1/ - Stabilite au Renversement
 Coefficient de Poussee Kao = .307
 Coefficient de Poussee Kab = .343
 Moments Stabilisateurs (KN.m) Ms = 266.044
 Moments de Renversement (KN.m) Mr = 118.243

Securite au Renversement Fsc = 2.250
 Securite Exigee Fse = 1.500
 2/ - Stabilite au Glissement
 Forces provoquant le glissement (KN) G = 115.71
 Forces resistant au glissement (KN) T = 70.95
 Securite au Glissement Fsc = 1.63
 Securite Exigee Fse = 1.50
 ==> Conception d une beche non necessaire
 3/ - Stabilite au Non Poiconnement
 Excent. de la result.des forces verticales (m) e = .41
 Condition de non poiçonnement VERIFIEE
 4/ - Pression excercée par la fondation sur le sol
 Contrainte SigmaA (bars) SigmaA = 1.43
 Contrainte SigmaB (bars) SigmaB = .00
 Pres. exercée par la fond.sur le sol(bars) Sigma = 1.08
 GEOMETRIE DU MUR EN TE

 A/-Dimensions du Mur

 Hauteur du Mur (m) Hm = 4.58
 Epaisseur en tete du Mur (m) e0 = .21
 Epaisseur du pied du Mur (m) e1 = .42
 B/ - Dimensions de la semelle

 Epaisseur de la semelle (m) e2 = .42
 Largeur de la semelle (m) B = 2.49
 Largeur du pied de la semelle (m) b1 = .63
 Largeur du talon de la semelle (m) b2 = 1.45
 ==> Conception d une beche **non necessaire**

```

PROJET : MUR CANTELIVER - EXEMPLE : 2.1
*****
MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE INFINI CAS : 2
*****
----- DONNEES DE L OUVRAGE -----
-----
DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR
-----
Hauteur du mur (metres) H = 5.50
Angle de frottement Sol/Mur (°) Delta = .00
Inclinaison du mur (°) ETA = 90.00
Poids volumique du materiau du mur (KN/m3) = 25.00
DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR
-----
Inclinaison du Talus (°) Beta = 10.00
Poids volumique du sol retenu (KN/m3) : 17.60
Angle de frottement du sol retenu (°) Phis = 32.00
DONNEES DU SOL DE FONDATION
-----
Poids volumique du sol de fondation(KN/m3) = 21.00
Angle de frottement du sol de fondation(°) = 27.00
Cohesion du sol de fondation (KN/m2) C = 10.00
DONNEES RELATIVES A LA SURCHARGE
-----
Distance(m) du debut par rapport au mur L1 = 2.00
Distance(m) de la fin par rapport au mur L2 = 6.00
Intensite de la surcharge (KN/m2) q = .00
COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE
-----
Securite Exigee Fse = 1.50
----- RESULTATS -----
-----
RESULTATS INTERMEDIAIRES
*****
1/ - Stabilite au Renversement
Coefficient de Poussee Kao = .307
Coefficient de Poussee Kab = .343
Moments Stabilisateurs (KN.m) Ms = 353.673
Moments de Renversement (KN.m) Mr = 157.175

```

```

Securite au Renversement Fsc = 2.250
Securite Exigee Fse = 1.500
2/ - Stabilite au Glissement
Forces provoquant le glissement (KN) G = 137.17
Forces resistant au glissement (KN) T = 85.73
Securite au Glissement Fsc = 1.60
Securite Exigee Fse = 1.50
====> Conception d une beche non necessaire

3/ - Stabilite au Non Poiconnement
Excent. de la result.des forces verticales (m) e = .46
Condition de non poiçonnement VERIFIEE
4/ - Pression excercée par la fondation sur le sol
Contrainte SigmaA (bars) SigmaA = 1.58
Contrainte SigmaB (bars) SigmaB = .00
Pres. exercée par la fond.sur le sol(bars) Sigma = 1.18
GEOMETRIE DU MUR EN TE
*****
A/-Dimensions du Mur
-----
Hauteur du Mur (m) Hm = 5.04
Epaisseur en tete du Mur (m) e0 = .23
Epaisseur du pied du Mur (m) e1 = .46
B/ - Dimensions de la semelle
-----
Epaisseur de la semelle (m) e2 = .46
Largeur de la semelle (m) B = 2.73
Largeur du pied de la semelle (m) b1 = .69
Largeur du talon de la semelle (m) b2 = 1.59
====> Conception d une beche non necessaire

```

PROJET : MUR CANTELIVER - EXEMPLE : 2.1

 MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE INFINI CAS : 2

 ----- DONNEES DE L OUVRAGE -----

 DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR

 Hauteur du mur (metres) **H = 6.00**
 Angle de frottement Sol/Mur (°) Delta = .00
 Inclinaison du mur (°) ETA = 90.00
 Poids volumique du materiau du mur (KN/m3) = 25.00
 DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR

 Inclinaison du Talus (°) Beta = 10.00
 Poids volumique du sol retenu (KN/m3) : 17.60
 Angle de frottement du sol retenu (°) Phis = 32.00
 DONNEES DU SOL DE FONDATION

 Poids volumique du sol de fondation(KN/m3) = 21.00
 Angle de frottement du sol de fondation(°) = 27.00
 Cohesion du sol de fondation (KN/m2) C = 10.00
 DONNEES RELATIVES A LA SURCHARGE

 Distance(m) du debut par rapport au mur L1 = 2.00
 Distance(m) de la fin par rapport au mur L2 = 6.00
 Intensite de la surcharge (KN/m2) q = .00
 COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE

 Securite Exigee Fse = 1.500
 ----- RESULTATS -----

 RESULTATS INTERMEDIAIRES

 1/ - Stabilite au Renversement
 Coefficient de Poussee Kao = .307

Coefficient de Poussee Kab = .343
 Moments Stabilisateurs (KN.m) Ms = 458.779
 Moments de Renversement (KN.m) Mr = 203.833
 Securite au Renversement Fsc = 2.251
 Securite Exigee Fse = 1.500
 2/ - Stabilite au Glissement
 Forces provoquant le glissement (KN) G = 160.46
 Forces resistant au glissement (KN) T = 101.92
 Securite au Glissement Fsc = 1.57
 Securite Exigee Fse = 1.50
 =====> Conception d une beche non necessaire

 3/ - Stabilite au Non Poiconnement
 Excent. de la result.des forces verticales (m) e = .50
 Condition de non poiçonnement VERIFIEE
 4/ - Pression excercée par la fondation sur le sol
 Contrainte SigmaA (bars) SigmaA = 1.72
 Contrainte SigmaB (bars) SigmaB = .00
 Pres. exercée par la fond.sur le sol(bars) Sigma = 1.29
 GEOMETRIE DU MUR EN TE

 A/-Dimensions du Mur

 Hauteur du Mur (m) Hm = 5.50
 Epaisseur en tete du Mur (m) e0 = .25
 Epaisseur du pied du Mur (m) e1 = .50
 B/ - Dimensions de la semelle

 Epaisseur de la semelle (m) **e2 = .50**
 Largeur de la semelle (m) **B = 2.98**
 Largeur du pied de la semelle (m) b1 = .75
 Largeur du talon de la semelle (m) b2 = 1.73
 =====> Conception d une beche **non necessaire**

ANNEXE E

TALUS INCLINE INFINI – SOL DE FONDATION NORMAL

SIMULATION DU DIMENSIONNEMENT DE LA SEMELLE D'UN MUR DE SOUTÈNEMENT EN BETON
ARME

Simulation selon l'angle de frottement du sol: $\varphi = (20^\circ - 25^\circ - 30^\circ - 35^\circ - 40^\circ - 45^\circ)$

PROJET : MUR CANTELIVER - EXEMPLE : 2.1

 MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE INFINI CAS : 2

 ----- DONNEES DE L OUVRAGE -----

 DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR

 Hauteur du mur (metres) H = 5.00
 Angle de frottement Sol/Mur (°) Delta = .00
 Inclinaison du mur (°) ETA = 90.00
 Poids volumique du materiau du mur (KN/m3) = 25.00
 DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR

 Inclinaison du Talus (°) Beta = 10.00
 Poids volumique du sol retenu (KN/m3) : 17.60
 Angle de frottement du sol retenu (°) **Phis = 20.00**
 DONNEES DU SOL DE FONDATION

 Poids volumique du sol de fondation(KN/m3) = 21.00
 Angle de frottement du sol de fondation(°) = 27.00
 Cohesion du sol de fondation (KN/m2) C = 10.00
 DONNEES RELATIVES A LA SURCHARGE

 Distance(m) du debut par rapport au mur L1 = 2.00
 Distance(m) de la fin par rapport au mur L2 = 6.00
 Intensite de la surcharge (KN/m2) q = .00
 COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE

 Securite Exigee Fse = 1.50
 ----- RESULTATS -----

 RESULTATS INTERMEDIAIRES

 1/ - Stabilite au Renversement
 Coefficient de Poussee Kao = .490
 Coefficient de Poussee Kab = .569
 Moments Stabilisateurs (KN.m) Ms = 460.111

Moments de Renversement (KN.m) Mr = 194.483
 Securite au Renversement Fsc = 2.366
 Securite Exigee Fse = 1.500
 2/ - Stabilite au Glissement
 Forces provoquant le glissement (KN) G = 157.98
 Forces resistant au glissement (KN) T = 105.13
 Securite au Glissement Fsc = 1.50
 Securite Exigee Fse = 1.50
 =====> Necessite d une beche
 Profondeur d ancrage de la beche (m) hb = .47
 Epaisseur de la beche (m) eb = .44
 3/ - Stabilite au Non Poissonnement
 Excent. de la result.des forces verticales (m) e = .54
 Condition de non poissonnement VERIFIEE
 4/ - Pression excercée par la fondation sur le sol
 Contrainte SigmaA (bars) SigmaA = 1.53
 Contrainte SigmaB (bars) SigmaB = .00
 Pres. exercée par la fond.sur le sol(bars) Sigma = 1.15
 GEOMETRIE DU MUR EN TE

 A/-Dimensions du Mur

 Hauteur du Mur (m) Hm = 4.56
 Epaisseur en tete du Mur (m) e0 = .21
 Epaisseur du pied du Mur (m) e1 = .42
 B/ - Dimensions de la semelle

 Epaisseur de la semelle (m) **e2 = .44**
 Largeur de la semelle (m) **B = 3.23**
 Largeur du pied de la semelle (m) b1 = .63
 Largeur du talon de la semelle (m) b2 = 2.19
 =====> **Necessite** d une beche
 Profondeur d ancrage de la beche (m) **hb = .47**
 Epaisseur de la beche (m) eb = .44

PROJET : MUR CANTELIVER - EXEMPLE : 2.1

 MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE INFINI CAS : 2

 ----- DONNEES DE L OUVRAGE -----

 DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR

 Hauteur du mur (metres) H = 5.00
 Angle de frottement Sol/Mur (°) Delta = .00
 Inclinaison du mur (°) ETA = 90.00
 Poids volumique du materiau du mur (KN/m3) = 25.00
 DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR

 Inclinaison du Talus (°) Beta = 10.00
 Poids volumique du sol retenu (KN/m3) : 17.60
 Angle de frottement du sol retenu (°) **Phis = 25.00**
 DONNEES DU SOL DE FONDATION

 Poids volumique du sol de fondation(KN/m3) = 21.00
 Angle de frottement du sol de fondation(°) = 27.00
 Cohesion du sol de fondation (KN/m2) C = 10.00
 DONNEES RELATIVES A LA SURCHARGE

 Distance(m) du debut par rapport au mur L1 = 2.00
 Distance(m) de la fin par rapport au mur L2 = 6.00
 Intensite de la surcharge (KN/m2) q = .00
 COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE

 Securite Exigee Fse = 1.500
 ----- RESULTATS -----

 RESULTATS INTERMEDIAIRES

 1/ - Stabilite au Renversement
 Coefficient de Poussee Kao = .406
 Coefficient de Poussee Kab = .462
 Moments Stabilisateurs (KN.m) Ms = 366.992
 Moments de Renversement (KN.m) Mr = 158.471

Securite au Renversement Fsc = 2.316
 Securite Exigee Fse = 1.500
 2/ - Stabilite au Glissement
 Forces provoquant le glissement (KN) G = 138.93
 Forces resistant au glissement (KN) T = 92.48
 Securite au Glissement Fsc = 1.50
 Securite Exigee Fse = 1.50
 =====> Necessite d une beche
 Profondeur d ancrage de la beche (m) hb = .12
 Epaisseur de la beche (m) eb = .42
 3/ - Stabilite au Non Poiconnement
 Excent. de la result.des forces verticales (m) e = .48
 Condition de non poiçonnement VERIFIEE
 4/ - Pression excercée par la fondation sur le sol
 Contrainte SigmaA (bars) SigmaA = 1.49
 Contrainte SigmaB (bars) SigmaB = .00
 Pres. exercée par la fond.sur le sol(bars) Sigma = 1.12
 GEOMETRIE DU MUR EN TE

 A/-Dimensions du Mur

 Hauteur du Mur (m) Hm = 4.58
 Epaisseur en tete du Mur (m) e0 = .21
 Epaisseur du pied du Mur (m) e1 = .42
 B/ - Dimensions de la semelle

 Epaisseur de la semelle (m) **e2 = .42**
 Largeur de la semelle (m) **B = 2.90**
 Largeur du pied de la semelle (m) b1 = .63
 Largeur du talon de la semelle (m) b2 = 1.86
 =====> **Necessite** d une beche
 Profondeur d ancrage de la beche (m) **hb = .12**
 Epaisseur de la beche (m) eb = .42

PROJET : MUR CANTELIVER - EXEMPLE : 2.1

 MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE INFINI CAS : 2

 ----- DONNEES DE L OUVRAGE -----

 DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR

 Hauteur du mur (metres) H = 5.00
 Angle de frottement Sol/Mur (°) Delta = .00
 Inclinaison du mur (°) ETA = 90.00
 Poids volumique du materiau du mur (KN/m3) = 25.00
 DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR

 Inclinaison du Talus (°) Beta = 10.00
 Poids volumique du sol retenu (KN/m3) : 17.60
 Angle de frottement du sol retenu (°) **Phis = 30.00**
 DONNEES DU SOL DE FONDATION

 Poids volumique du sol de fondation(KN/m3) = 21.00
 Angle de frottement du sol de fondation(°) = 27.00
 Cohesion du sol de fondation (KN/m2) C = 10.00
 DONNEES RELATIVES A LA SURCHARGE

 Distance(m) du debut par rapport au mur L1 = 2.00
 Distance(m) de la fin par rapport au mur L2 = 6.00
 Intensite de la surcharge (KN/m2) q = .00
 COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE

 Securite Exigee Fse = 1.500
 ----- RESULTATS -----

 RESULTATS INTERMEDIAIRES

 1/ - Stabilite au Renversement
 Coefficient de Poussee Kao = .333
 Coefficient de Poussee Kab = .374
 Moments Stabilisateurs (KN.m) Ms = 292.150
 Moments de Renversement (KN.m) Mr = 128.731

Securite au Renversement Fsc = 2.269
 Securite Exigee Fse = 1.500
 2/ - Stabilite au Glissement
 Forces provoquant le glissement (KN) G = 122.06
 Forces resistant au glissement (KN) T = 77.24
 Securite au Glissement Fsc = 1.58
 Securite Exigee Fse = 1.50
 ==> Conception d une beche non necessaire
 3/ - Stabilite au Non Poiconnement
 Excent. de la result.des forces verticales (m) e = .43
 Condition de non poiçonnement VERIFIEE
 4/ - Pression excercée par la fondation sur le sol
 Contrainte SigmaA (bars) SigmaA = 1.45
 Contrainte SigmaB (bars) SigmaB = .00
 Pres. exercée par la fond.sur le sol(bars) Sigma = 1.09
 GEOMETRIE DU MUR EN TE

 A/-Dimensions du Mur

 Hauteur du Mur (m) Hm = 4.58
 Epaisseur en tete du Mur (m) e0 = .21
 Epaisseur du pied du Mur (m) e1 = .42
 B/ - Dimensions de la semelle

 Epaisseur de la semelle (m) **e2 = .42**
 Largeur de la semelle (m) **B = 2.60**
 Largeur du pied de la semelle (m) b1 = .63
 Largeur du talon de la semelle (m) b2 = 1.56
 ==> Conception d une beche **non necessaire**

PROJET : MUR CANTELIVER - EXEMPLE : 2.1

 MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE INFINI CAS : 2

 ----- DONNEES DE L OUVRAGE -----

 DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR

 Hauteur du mur (metres) H = 5.00
 Angle de frottement Sol/Mur (°) Delta = .00
 Inclinaison du mur (°) ETA = 90.00
 Poids volumique du materiau du mur (KN/m3) = 25.00
 DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR

 Inclinaison du Talus (°) Beta = 10.00
 Poids volumique du sol retenu (KN/m3) : 17.60
 Angle de frottement du sol retenu (°) **Phis = 35.00**
 DONNEES DU SOL DE FONDATION

 Poids volumique du sol de fondation(KN/m3) = 21.00
 Angle de frottement du sol de fondation(°) = 27.00
 Cohesion du sol de fondation (KN/m2) C = 10.00
 DONNEES RELATIVES A LA SURCHARGE

 Distance(m) du debut par rapport au mur L1 = 2.00
 Distance(m) de la fin par rapport au mur L2 = 6.00
 Intensite de la surcharge (KN/m2) q = .00
 COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE

 Securite Exigee Fse = 1.500
 ----- RESULTATS -----

 RESULTATS INTERMEDIAIRES

 1/ - Stabilite au Renversement
 Coefficient de Poussee Kao = .271
 Coefficient de Poussee Kab = .300
 Moments Stabilisateurs (KN.m) Ms = 257.781
 Moments de Renversement (KN.m) Mr = 103.808

Securite au Renversement Fsc = 2.483
 Securite Exigee Fse = 1.500
 2/ - Stabilite au Glissement
 Forces provoquant le glissement (KN) G = 113.63
 Forces resistant au glissement (KN) T = 62.28
 Securite au Glissement Fsc = 1.82
 Securite Exigee Fse = 1.50
 ==> Conception d une beche non necessaire

3/ - Stabilite au Non Poiconnement
 Excent. de la result.des forces verticales (m) e = .34
 Condition de non poiçonnement VERIFIEE
 4/ - Pression excercée par la fondation sur le sol
 Contrainte SigmaA (bars) SigmaA = 1.32
 Contrainte SigmaB (bars) SigmaB = .11
 Pres. exercée par la fond.sur le sol(bars) Sigma = 1.02
 GEOMETRIE DU MUR EN TE

A/-Dimensions du Mur

 Hauteur du Mur (m) Hm = 4.58
 Epaisseur en tete du Mur (m) e0 = .21
 Epaisseur du pied du Mur (m) e1 = .42

B/ - Dimensions de la semelle

 Epaisseur de la semelle (m) **e2 = .42**
 Largeur de la semelle (m) **B = 2.45**
 Largeur du pied de la semelle (m) b1 = .63
 Largeur du talon de la semelle (m) b2 = 1.41

==> Conception d une beche **non necessaire**

PROJET : MUR CANTELIVER - EXEMPLE : 2.1

 MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE INFINI CAS : 2

 ----- DONNEES DE L OUVRAGE -----

 DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR

 Hauteur du mur (metres) H = 5.00
 Angle de frottement Sol/Mur (°) Delta = .00
 Inclinaison du mur (°) ETA = 90.00
 Poids volumique du materiau du mur (KN/m3) = 25.00
 DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR

 Inclinaison du Talus (°) Beta = 10.00
 Poids volumique du sol retenu (KN/m3) : 17.60
 Angle de frottement du sol retenu (°) **Phis = 40.00**
 DONNEES DU SOL DE FONDATION

 Poids volumique du sol de fondation(KN/m3) = 21.00
 Angle de frottement du sol de fondation(°) = 27.00
 Cohesion du sol de fondation (KN/m2) C = 10.00
 DONNEES RELATIVES A LA SURCHARGE

 Distance(m) du debut par rapport au mur L1 = 2.00
 Distance(m) de la fin par rapport au mur L2 = 6.00
 Intensite de la surcharge (KN/m2) q = .00
 COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE

 Securite Exigee Fse = 1.500
 ----- RESULTATS -----

 RESULTATS INTERMEDIAIRES

 1/ - Stabilite au Renversement
 Coefficient de Poussee Kao = .217
 Coefficient de Poussee Kab = .238
 Moments Stabilisateurs (KN.m) Ms = 257.781
 Moments de Renversement (KN.m) Mr = 82.781

Securite au Renversement Fsc = 3.114
 Securite Exigee Fse = 1.500
 2/ - Stabilite au Glissement
 Forces provoquant le glissement (KN) G = 113.63
 Forces resistant au glissement (KN) T = 49.67
 Securite au Glissement Fsc = 2.29
 Securite Exigee Fse = 1.50
 ====> Conception d une beche non necessaire
 3/ - Stabilite au Non Poissonnement
 Excent. de la result.des forces verticales (m) e = .22
 Condition de non poissonnement VERIFIEE
 4/ - Pression excercée par la fondation sur le sol
 Contrainte SigmaA (bars) SigmaA = 1.11
 Contrainte SigmaB (bars) SigmaB = .32
 Pres. exercée par la fond.sur le sol(bars) Sigma = .91
 GEOMETRIE DU MUR EN TE

 A/-Dimensions du Mur

 Hauteur du Mur (m) Hm = 4.58
 Epaisseur en tete du Mur (m) e0 = .21
 Epaisseur du pied du Mur (m) e1 = .42
 B/ - Dimensions de la semelle

 Epaisseur de la semelle (m) **e2 = .42**
 Largeur de la semelle (m) **B = 2.45**
 Largeur du pied de la semelle (m) b1 = .63
 Largeur du talon de la semelle (m) b2 = 1.41
 ====> Conception d une beche **non necessaire**

```

PROJET :_MUR_CANTELIVER_-EXEMPLE :_2.1
*****
MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE INFINI CAS : 2
*****
----- DONNEES DE L OUVRAGE -----
-----
DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR
-----
Hauteur du mur (metres) H = 5.00
Angle de frottement Sol/Mur (°) Delta = .00
Inclinaison du mur (°) ETA = 90.00
Poids volumique du materiau du mur (KN/m3) = 25.00
DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR
-----
Inclinaison du Talus (°) Beta = 10.00
Poids volumique du sol retenu (KN/m3) : 17.60
Angle de frottement du sol retenu (°) Phis = 45.00
DONNEES DU SOL DE FONDATION
-----
Poids volumique du sol de fondation(KN/m3) = 21.00
Angle de frottement du sol de fondation(°) = 27.00
Cohesion du sol de fondation (KN/m2) C = 10.00
DONNEES RELATIVES A LA SURCHARGE
-----
Distance(m) du debut par rapport au mur L1 = 2.00
Distance(m) de la fin par rapport au mur L2 = 6.00
Intensite de la surcharge (KN/m2) q = .00
COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE
-----
Securite Exigee Fse = 1.500
----- RESULTATS -----
-----
RESULTATS INTERMEDIAIRES
*****
1/ - Stabilite au Renversement
Coefficient de Poussee Kao = .172
Coefficient de Poussee Kab = .186
Moments Stabilisateurs (KN.m) Ms = 257.781
Moments de Renversement (KN.m) Mr = 65.002

```

```

Securite au Renversement Fsc = 3.966
Securite Exigee Fse = 1.500
2/ - Stabilite au Glissement
Forces provoquant le glissement (KN) G = 113.63
Forces resistant au glissement (KN) T = 39.00
Securite au Glissement Fsc = 2.91
Securite Exigee Fse = 1.50
====> Conception d une beche non necessaire
3/ - Stabilite au Non Poissonnement
Excent. de la result.des forces verticales (m) e = .12
Condition de non poissonnement VERIFIEE
4/ - Pression exercee par la fondation sur le sol
Contrainte SigmaA (bars) SigmaA = .93
Contrainte SigmaB (bars) SigmaB = .50
Pres. exercee par la fond.sur le sol(bars) Sigma = .82
GEOMETRIE DU MUR EN TE
*****
A/-Dimensions du Mur
-----
Hauteur du Mur (m) Hm = 4.58
Epaisseur en tete du Mur (m) e0 = .21
Epaisseur du pied du Mur (m) e1 = .42
B/ - Dimensions de la semelle
-----
Epaisseur de la semelle (m) e2 = .42
Largeur de la semelle (m) B = 2.45
Largeur du pied de la semelle (m) b1 = .63
Largeur du talon de la semelle (m) b2 = 1.41
====> Conception d une beche non necessaire

```

ANNEXE F

TALUS INCLINE INFINI – SOL DE FONDATION NORMAL

SIMULATION DU DIMENSIONNEMENT DE LA SEMELLE D'UN MUR DE SOUTÈNEMENT EN BETON
ARME

Simulation selon l'inclinaison du talus: $\beta = (0^\circ - 5^\circ - 10^\circ - 15^\circ - 20^\circ - 25^\circ - 30^\circ)$

```

PROJET_: MUR_CANTELIVER_-EXEMPLE_: 2.1
*****
MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE INFINI CAS : 2
*****
----- DONNEES DE L OUVRAGE -----
-----
DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR
-----
Hauteur du mur (metres) H = 5.00
Angle de frottement Sol/Mur (°) Delta = .00
Inclinaison du mur (°) ETA = 90.00
Poids volumique du materiau du mur (KN/m3) = 25.00
DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR
-----
Inclinaison du Talus (°) Beta = .00
Poids volumique du sol retenu (KN/m3) : 17.60
Angle de frottement du sol retenu (°) Phis = 30.00
DONNEES DU SOL DE FONDATION
-----
Poids volumique du sol de fondation(KN/m3) = 21.00
Angle de frottement du sol de fondation(°) = 27.00
Cohesion du sol de fondation (KN/m2) C = 10.00
DONNEES RELATIVES A LA SURCHARGE
-----
Distance(m) du debut par rapport au mur L1 = 2.00
Distance(m) de la fin par rapport au mur L2 = 6.00
Intensite de la surcharge (KN/m2) q = .00
COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE
-----
Securite Exigee Fse = 1.500
----- RESULTATS -----
-----
RESULTATS INTERMEDIAIRES
*****
1/ - Stabilite au Renversement
Coefficient de Poussee Kao = .333
Coefficient de Poussee Kab = .333
Moments Stabilisateurs (KN.m) Ms = 276.122

```

```

Moments de Renversement (KN.m) Mr = 122.222
Securite au Renversement Fsc = 2.259
Securite Exigee Fse = 1.500
2/ - Stabilite au Glissement
Forces provoquant le glissement (KN) G = 118.19
Forces resistant au glissement (KN) T = 73.33
Securite au Glissement Fsc = 1.61
Securite Exigee Fse = 1.50
====> Conception d une beche non necessaire

3/ - Stabilite au Non Poiconnement
Excent. de la result.des forces verticales (m) e = .42
Condition de non poiçonnement VERIFIEE
4/ - Pression excercée par la fondation sur le sol
Contrainte SigmaA (bars) SigmaA = 1.44
Contrainte SigmaB (bars) SigmaB = .00
Pres. exercée par la fond.sur le sol(bars)Sigma = 1.08
GEOMETRIE DU MUR EN TE
*****
A/-Dimensions du Mur
-----
Hauteur du Mur (m) Hm = 4.58
Epaisseur en tete du Mur (m) e0 = .21
Epaisseur du pied du Mur (m) e1 = .42

B/ - Dimensions de la semelle
-----
Epaisseur de la semelle (m) e2 = .42
Largeur de la semelle (m) B = 2.53
Largeur du pied de la semelle (m) b1 = .63
Largeur du talon de la semelle (m) b2 = 1.49
====> Conception d une beche non necessaire

```

```

PROJET_ : MUR_CANTELIVER_-EXEMPLE_ : 2.1
*****
MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE INFINI CAS : 2
*****
----- DONNEES DE L OUVRAGE -----
-----
DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR
-----
Hauteur du mur (metres) H = 5.00
Angle de frottement Sol/Mur (°) Delta = .00
Inclinaison du mur (°) ETA = 90.00
Poids volumique du materiau du mur (KN/m3) = 25.00
DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR
-----
Inclinaison du Talus (°) Beta = 5.00
Poids volumique du sol retenu (KN/m3) : 17.60
Angle de frottement du sol retenu (°) Phis = 30.00
DONNEES DU SOL DE FONDATION
-----
Poids volumique du sol de fondation(KN/m3) = 21.00
Angle de frottement du sol de fondation(°) = 27.00
Cohesion du sol de fondation (KN/m2) C = 10.00
DONNEES RELATIVES A LA SURCHARGE
-----
Distance(m) du debut par rapport au mur L1 = 2.00
Distance(m) de la fin par rapport au mur L2 = 6.00
Intensite de la surcharge (KN/m2) q = .00
COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE
-----
Securite Exigee Fse = 1.500
----- RESULTATS -----
-----
RESULTATS INTERMEDIAIRES
*****
1/ - Stabilite au Renversement
Coefficient de Poussee Kao = .333
Coefficient de Poussee Kab = .352
Moments Stabilisateurs (KN.m) Ms = 283.510

```

```

Moments de Renversement (KN.m) Mr = 125.193
Securite au Renversement Fsc = 2.265
Securite Exigee Fse = 1.500
2/ - Stabilite au Glissement
Forces provoquant le glissement (KN) G = 119.99
Forces resistant au glissement (KN) T = 75.12
Securite au Glissement Fsc = 1.60
Securite Exigee Fse = 1.50
====> Conception d une beche non necessaire

3/ - Stabilite au Non Poiconnement
Excent. de la result.des forces verticales (m) e = .43
Condition de non poiçonnement VERIFIEE
4/ - Pression excercée par la fondation sur le sol
Contrainte SigmaA (bars) SigmaA = 1.44
Contrainte SigmaB (bars) SigmaB = .00
Pres. exercée par la fond.sur le sol(bars)Sigma = 1.08
GEOMETRIE DU MUR EN TE
*****
A/-Dimensions du Mur
-----
Hauteur du Mur (m) Hm = 4.58
Epaisseur en tete du Mur (m) e0 = .21
Epaisseur du pied du Mur (m) e1 = .42

B/ - Dimensions de la semelle
-----
Epaisseur de la semelle (m) e2 = .42
Largeur de la semelle (m) B = 2.56
Largeur du pied de la semelle (m) b1 = .63
Largeur du talon de la semelle (m) b2 = 1.52
====> Conception d une beche non necessaire

```

```

PROJET_ : MUR_CANTELIVER_-EXEMPLE_ : 2.1
*****
MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE INFINI CAS : 2
*****
----- DONNEES DE L OUVRAGE -----
-----
DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR
-----
Hauteur du mur (metres) H = 5.00
Angle de frottement Sol/Mur (°) Delta = .00
Inclinaison du mur (°) ETA = 90.00
Poids volumique du materiau du mur (KN/m3) = 25.00
DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR
-----
Inclinaison du Talus (°) Beta = 10.00
Poids volumique du sol retenu (KN/m3) : 17.60
Angle de frottement du sol retenu (°) Phis = 30.00
DONNEES DU SOL DE FONDATION
-----
Poids volumique du sol de fondation(KN/m3) = 21.00
Angle de frottement du sol de fondation(°) = 27.00
Cohesion du sol de fondation (KN/m2) C = 10.00
DONNEES RELATIVES A LA SURCHARGE
-----
Distance(m) du debut par rapport au mur L1 = 2.00
Distance(m) de la fin par rapport au mur L2 = 6.00
Intensite de la surcharge (KN/m2) q = .00
COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE
-----
Securite Exigee Fse = 1.500
----- RESULTATS -----
-----
RESULTATS INTERMEDIAIRES
*****
1/ - Stabilite au Renversement
Coefficient de Poussee Kao = .333
Coefficient de Poussee Kab = .374
Moments Stabilisateurs (KN.m) Ms = 292.150

```

```

Moments de Renversement (KN.m) Mr = 128.731
Securite au Renversement Fsc = 2.269
Securite Exigee Fse = 1.500
2/ - Stabilite au Glissement
Forces provoquant le glissement (KN) G = 122.06
Forces resistant au glissement (KN) T = 77.24
Securite au Glissement Fsc = 1.58
Securite Exigee Fse = 1.50
====> Conception d une beche non necessaire

3/ - Stabilite au Non Poiconnement
Excent. de la result.des forces verticales (m) e = .43
Condition de non poiçonnement VERIFIEE
4/ - Pression excercée par la fondation sur le sol
Contrainte SigmaA (bars) SigmaA = 1.45
Contrainte SigmaB (bars) SigmaB = .00
Pres. exercée par la fond.sur le sol(bars)Sigma = 1.09
GEOMETRIE DU MUR EN TE
*****
A/-Dimensions du Mur
-----
Hauteur du Mur (m) Hm = 4.58
Epaisseur en tete du Mur (m) e0 = .21
Epaisseur du pied du Mur (m) e1 = .42

B/ - Dimensions de la semelle
-----
Epaisseur de la semelle (m) e2 = .42
Largeur de la semelle (m) B = 2.60
Largeur du pied de la semelle (m) b1 = .63
Largeur du talon de la semelle (m) b2 = 1.56
====> Conception d une beche non necessaire

```

PROJET_: MUR_CANTELIVER_-EXEMPLE_: 2.1

 MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE INFINI CAS : 2

 ----- DONNEES DE L OUVRAGE -----

 DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR

 Hauteur du mur (metres) H = 5.00
 Angle de frottement Sol/Mur (°) Delta = .00
 Inclinaison du mur (°) ETA = 90.00
 Poids volumique du materiau du mur (KN/m3) = 25.00
 DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR

 Inclinaison du Talus (°) **Beta = 15.00**
 Poids volumique du sol retenu (KN/m3) : 17.60
 Angle de frottement du sol retenu (°) Phis = 30.00
 DONNEES DU SOL DE FONDATION

 Poids volumique du sol de fondation(KN/m3) = 21.00
 Angle de frottement du sol de fondation(°) = 27.00
 Cohesion du sol de fondation (KN/m2) C = 10.00
 DONNEES RELATIVES A LA SURCHARGE

 Distance(m) du debut par rapport au mur L1 = 2.00
 Distance(m) de la fin par rapport au mur L2 = 6.00
 Intensite de la surcharge (KN/m2) q = .00
 COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE

 Securite Exigee Fse = 1.500
 ----- RESULTATS -----

 RESULTATS INTERMEDIAIRES

 1/ - Stabilite au Renversement
 Coefficient de Poussee Kao = .333
 Coefficient de Poussee Kab = .402
 Moments Stabilisateurs (KN.m) Ms = 303.862

Moments de Renversement (KN.m) Mr = 133.315
 Securite au Renversement Fsc = 2.279
 Securite Exigee Fse = 1.500
 2/ - Stabilite au Glissement
 Forces provoquant le glissement (KN) G = 124.83
 Forces resistant au glissement (KN) T = 79.99
 Securite au Glissement Fsc = 1.56
 Securite Exigee Fse = 1.50
 =====> Conception d une beche non necessaire
 3/ - Stabilite au Non Poiconnement
 Excent. de la result.des forces verticales (m) e = .44
 Condition de non poiçonnement VERIFIEE
 4/ - Pression excercée par la fondation sur le sol
 Contrainte SigmaA (bars) SigmaA = 1.46
 Contrainte SigmaB (bars) SigmaB = .00
 Pres. exercée par la fond.sur le sol(bars)Sigma = 1.09
 GEOMETRIE DU MUR EN TE

 A/-Dimensions du Mur

 Hauteur du Mur (m) Hm = 4.58
 Epaisseur en tete du Mur (m) e0 = .21
 Epaisseur du pied du Mur (m) e1 = .42
 B/ - Dimensions de la semelle

 Epaisseur de la semelle (m) **e2 = .42**
 Largeur de la semelle (m) **B = 2.65**
 Largeur du pied de la semelle (m) b1 = .63
 Largeur du talon de la semelle (m) b2 = 1.61
 =====> Conception d une beche **non necessaire**

```

PROJET_: MUR_CANTELIVER_-EXEMPLE_: 2.1
*****
MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE INFINI CAS : 2
*****
----- DONNEES DE L OUVRAGE -----
-----
DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR
-----
Hauteur du mur (metres) H = 5.00
Angle de frottement Sol/Mur (°) Delta = .00
Inclinaison du mur (°) ETA = 90.00
Poids volumique du materiau du mur (KN/m3) = 25.00
DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR
-----
Inclinaison du Talus (°) Beta = 20.00
Poids volumique du sol retenu (KN/m3) : 17.60
Angle de frottement du sol retenu (°) Phis = 30.00
DONNEES DU SOL DE FONDATION
-----
Poids volumique du sol de fondation(KN/m3) = 21.00
Angle de frottement du sol de fondation(°) = 27.00
Cohesion du sol de fondation (KN/m2) C = 10.00
DONNEES RELATIVES A LA SURCHARGE
-----
Distance(m) du debut par rapport au mur L1 = 2.00
Distance(m) de la fin par rapport au mur L2 = 6.00
Intensite de la surcharge (KN/m2) q = .00
COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE
-----
Securite Exigee Fse = 1.500
----- RESULTATS -----
-----
RESULTATS INTERMEDIAIRES
*****
1/ - Stabilite au Renversement
Coefficient de Poussee Kao = .333
Coefficient de Poussee Kab = .441
Moments Stabilisateurs (KN.m) Ms = 320.625

```

```

Moments de Renversement (KN.m) Mr = 140.031
Securite au Renversement Fsc = 2.290
Securite Exigee Fse = 1.500
2/ - Stabilite au Glissement
Forces provoquant le glissement (KN) G = 128.70
Forces resistant au glissement (KN) T = 84.02
Securite au Glissement Fsc = 1.53
Securite Exigee Fse = 1.50
====> Conception d une beche non necessaire
3/ - Stabilite au Non Poiconnement
Excent. de la result.des forces verticales (m) e = .45
Condition de non poiçonnement VERIFIEE
4/ - Pression excercée par la fondation sur le sol
Contrainte SigmaA (bars) SigmaA = 1.47
Contrainte SigmaB (bars) SigmaB = .00
Pres. exercée par la fond.sur le sol(bars)Sigma = 1.10
GEOMETRIE DU MUR EN TE
*****
A/-Dimensions du Mur
-----
Hauteur du Mur (m) Hm = 4.58
Epaisseur en tete du Mur (m) e0 = .21
Epaisseur du pied du Mur (m) e1 = .42
B/ - Dimensions de la semelle
-----
Epaisseur de la semelle (m) e2 = .42
Largeur de la semelle (m) B = 2.72
Largeur du pied de la semelle (m) b1 = .63
Largeur du talon de la semelle (m) b2 = 1.68
====> Conception d une beche non necessaire

```

PROJET : MUR CANTELIVER - EXEMPLE : 2.1

 MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE INFINI CAS : 2

 ----- DONNEES DE L OUVRAGE -----

 DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR

 Hauteur du mur (metres) H = 5.00
 Angle de frottement Sol/Mur (°) Delta = .00
 Inclinaison du mur (°) ETA = 90.00
 Poids volumique du materiau du mur (KN/m3) = 25.00
 DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR

 Inclinaison du Talus (°) **Beta = 25.00**
 Poids volumique du sol retenu (KN/m3) : 17.60
 Angle de frottement du sol retenu (°) Phis = 30.00
 DONNEES DU SOL DE FONDATION

 Poids volumique du sol de fondation(KN/m3) = 21.00
 Angle de frottement du sol de fondation(°) = 27.00
 Cohesion du sol de fondation (KN/m2) C = 10.00
 DONNEES RELATIVES A LA SURCHARGE

 Distance(m) du debut par rapport au mur L1 = 2.00
 Distance(m) de la fin par rapport au mur L2 = 6.00
 Intensite de la surcharge (KN/m2) q = .00
 COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE

 Securite Exigee Fse = 1.500
 ----- RESULTATS -----

 RESULTATS INTERMEDIAIRES

 1/ - Stabilite au Renversement
 Coefficient de Poussee Kao = .333
 Coefficient de Poussee Kab = .504
 Moments Stabilisateurs (KN.m) Ms = 350.993

Moments de Renversement (KN.m) Mr = 152.147
 Securite au Renversement Fsc = 2.307
 Securite Exigee Fse = 1.500
 2/ - Stabilite au Glissement
 Forces provoquant le glissement (KN) G = 135.47
 Forces resistant au glissement (KN) T = 90.27
 Securite au Glissement Fsc = 1.50
 Securite Exigee Fse = 1.50
 =====> Necessite d une beche
 Profondeur d ancrage de la beche (m) hb = .06
 Epaisseur de la beche (m) eb = .42
 3/ - Stabilite au Non Poiconnement
 Excent. de la result.des forces verticales (m)e=.47
 Condition de non poiçonnement VERIFIEE
 4/ - Pression excercée par la fondation sur le sol
 Contrainte SigmaA (bars) SigmaA = 1.48
 Contrainte SigmaB (bars) SigmaB = .00
 Pres. exercée par la fond.sur le sol(bars)Sigma = 1.11
 GEOMETRIE DU MUR EN TE

 A/-Dimensions du Mur

 Hauteur du Mur (m) Hm = 4.58
 Epaisseur en tete du Mur (m) e0 = .21
 Epaisseur du pied du Mur (m) e1 = .42
 B/ - Dimensions de la semelle

 Epaisseur de la semelle (m) **e2 = .42**
 Largeur de la semelle (m) **B = 2.84**
 Largeur du pied de la semelle (m) b1 = .63
 Largeur du talon de la semelle (m) b2 = 1.80
 =====> Necessite d une beche
 Profondeur d ancrage de la beche (m) **hb = .06**
 Epaisseur de la beche (m) eb = .42

PROJET : MUR CANTELIVER - EXEMPLE : 2.1

 MUR EN TE AVEC TALUS INCLINE INFINI CAS : 2

 ----- DONNEES DE L OUVRAGE -----

 DONNEES GEOMETRIQUES DU MUR

 Hauteur du mur (metres) H = 5.00
 Angle de frottement Sol/Mur (°) Delta = .00
 Inclinaison du mur (°) ETA = 90.00
 Poids volumique du materiau du mur (KN/m3) = 25.00
 DONNEES DU SOL DERRIERE LE MUR

 Inclinaison du Talus (°) **Beta = 30.00**
 Poids volumique du sol retenu (KN/m3) : 17.60
 Angle de frottement du sol retenu (°) Phis = 30.00
 DONNEES DU SOL DE FONDATION

 Poids volumique du sol de fondation(KN/m3) = 21.00
 Angle de frottement du sol de fondation(°) = 27.00
 Cohesion du sol de fondation (KN/m2) C = 10.00
 DONNEES RELATIVES A LA SURCHARGE

 Distance(m) du debut par rapport au mur L1 = 2.00
 Distance(m) de la fin par rapport au mur L2 = 6.00
 Intensite de la surcharge (KN/m2) q = .00
 COEFFICIENT DE SECURITE CONSIDERE

 Securite Exigee Fse = 1.500
 ----- RESULTATS -----

 RESULTATS INTERMEDIAIRES

 1/ - Stabilite au Renversement
 Coefficient de Poussee Kao = .333
 Coefficient de Poussee Kab = .750
 Moments Stabilisateurs (KN.m) Ms = 507.871

Moments de Renversement (KN.m) Mr = 212.824
 Securite au Renversement Fsc = 2.386
 Securite Exigee Fse = 1.500
 2/ - Stabilite au Glissement
 Forces provoquant le glissement (KN) G = 167.10
 Forces resistant au glissement (KN) T = 110.45
 Securite au Glissement Fsc = 1.51
 Securite Exigee Fse = 1.50
 =====> Necessite d une beche
 Profondeur d ancrage de la beche (m) hb = .74
 Epaisseur de la beche (m) eb = .46
 3/ - Stabilite au Non Poiconnement
 Excent. de la result.des forces verticales (m)e =.56
 Condition de non poiçonnement VERIFIEE
 4/ - Pression excercée par la fondation sur le
 sol
 Contrainte SigmaA (bars) SigmaA = 1.55
 Contrainte SigmaB (bars) SigmaB = .00
 Pres. exercée par la fond.sur le sol(bars)Sigma 1.16
 GEOMETRIE DU MUR EN TE

 A/-Dimensions du Mur

 Hauteur du Mur (m) Hm = 4.54
 Epaisseur en tete du Mur (m) e0 = .21
 Epaisseur du pied du Mur (m) e1 = .42
 B/ - Dimensions de la semelle

 Epaisseur de la semelle (m) **e2 = .46**
 Largeur de la semelle (m) **B = 3.38**
 Largeur du pied de la semelle (m) b1 = .63
 Largeur du talon de la semelle (m) b2 = 2.34
 =====> Necessite d une beche
 Profondeur d ancrage de la beche (m) **hb = .74**
 Epaisseur de la beche (m) eb = .46