

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Master en Génie Civil

THEME

**Calcul d'un mur de soutènement en béton armé
sous l'action statique**

Proposé et dirigé par:
M^{me} N. BAUCHE

Réalisé par :
M^{lle} ALOUI Mériem

Soutenu publiquement le 16 octobre 2016 devant le jury:

Président:	Mme R. Mitiche Kettab	Professeur	ENP
Rapporteur:	Mme N. Baouche	MAA	ENP
Examineurs:	Mme D. Cherid	MAA	ENP
	Mr S. Lakehal	MAA	ENP

ENP 2016

ملخص:

إن الهدف من هذا العمل هو دراسة جدران الاستناد من الخرسانة المسلحة وهي في طور الإنجاز بالجزائر العاصمة المصنفة كمنطقة ذات نشاط زلزالي قوي.

قد تم تصميم وفق لقوانين ومعايير البناء السرية المفعول بها في الجزائر (CBA93,BAEL91).

كلمات المفاتيح

جدران الاستناد، خرسانة مسلحة، الدراسة السكنوية.

ABSTRACT

The purpose of this work is the study of a reinforced concrete retaining wall located in Algiers, ranked as high seismicity zone it was maked in accordance with BAEL91, CBA93.

Key words:

Retaining walls, Reinforced concrete, static study.

Résumé

Le but de ce travail est l'étude d'un mur de soutènement en béton armé implanté à Alger, classée comme zone de forte sismicité.

la conception et le calcul sont conformes aux règlements de construction en vigueur (CBA 93, BAEL91)

Mots clés

Mur de soutènement, Béton armé, etude statique .

Remerciements

Au terme de ce modeste travail, je tiens à exprimer ma profonde et mes vifs remerciements, d'abord à ALLAH pour m'avoir donné la force et la patience pour mener à terme ce travail, et ensuite aux personnes suivantes :

Mon grand père et Mes parents, pour leurs encouragements et leur soutien durant toutes nos études.

Ma promotrice, Mme BAOUCHE, pour sa disponibilité et pour l'aide précieuse qu'elle m'a offert afin de mener à bien cette modeste étude.

Mr SAHRAOUI, pour avoir accepté de contribuer à la concrétisation de ce projet.

A tous les enseignants du département du génie civil.

Aux membres du jury, pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Meriem

Table des matières

Résumé

Remerciement

Table des matières

Liste des figures

Introduction générale

Introduction7

Chapitre 1 : Généralité sur les murs de soutènement

1.1 Introduction8
1.2 Mur Poids8
1.3 Mur en Béton Armé10
1.4 Le choix des murs de soutènement.....11

Chapitre 2 : Principe de Calcul d'un mur de soutènement en béton armée

2.1 Introduction14
2.2 Calcul de stabilité du mur14
2.3 Calcul du rideau.....16
2.4 Calcul du la semelle16

Chapitre 3 : application numérique

3.1 Données.....19
3.2 Calcul de mur19

Chapitre 4 : Conclusion générale

Conclusion générale26

Bibliographie27

Liste des figures

Chapitre 1 : Introduction générale

Figure 1.1. Mur poids en béton	8
Figure 1.2. Mur poids constitué d'éléments préfabriqués	8
Figure 1.3. Morphologie d'un mur en maçonnerie.....	10
Figure 1.4. Morphologie d'un mur en béton armé encastré sur semelle	11

Chapitre 2 : Principe de Calcul d'un mur de soutènement en béton armé

Figure 2.1. Mur de soutènement en béton armé	14
Figure 2.2. Détermination de la poussée Q	14
Figure 2.3. Forces agissantes sur un mur	16

Chapitre 3 : application numérique

Figure 3.1. Description du mur.....	19
Figure 3.2. Ferrailage du mur	24

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Introduction

Le rôle des ouvrages de soutènement est de retenir les massifs de terre. Ils sont conçus pour créer une dénivellée entre les terres situées à l'amont de l'ouvrage, c'est-à-dire soutenues par celui-ci, et les terres situées à l'aval. Cette dénivellée peut être réalisée en procédant à la mise en place de remblais derrière l'ouvrage ou par extraction des terres devant celui-ci. En pratique, il est assez fréquent que l'on ait à procéder à la fois à un apport de remblai derrière l'ouvrage et à une extraction de terre devant celui-ci. Il existe de nombreux types d'ouvrages de soutènement, qui ont été conçus pour répondre aux situations les plus diverses.

I. Généralités sur les murs de soutènement

1.1. Introduction

Il existe de nombreux types d'ouvrages de soutènement, conçus pour répondre aux situations les plus diverses, et qui peuvent être classés dans deux grandes familles, à savoir :

- les murs poids,
- et les murs en béton armé

Ces ouvrages se différencient les uns des autres essentiellement par :

- leur morphologie (ouvrages massifs, ouvrages en béton armé,...)
- leur mode de fonctionnement et les méthodes de dimensionnement dont ils relèvent
- les matériaux qui les constituent (maçonnerie, béton armé ou non, aciers ordinaires ou aciers pour précontrainte, ...)
- leur mode d'exécution, qui peut être très différent suivant le type d'ouvrage concerné
- leur domaine d'emploi privilégié, qui dépend naturellement de nombreux facteurs (ouvrage en remblai ou en déblai, conditions particulières de site : terrestre, urbain, aquatique, montagneux, instable, ..., conditions particulières de sol, d'environnement,...).

1.2. Murs poids

Ces murs peuvent être réalisés, soit :

- en béton,
- en pierre sèches ou maçonnerie,
- en éléments préfabriqués (caissons, cellules fleuries,...)
- etc.

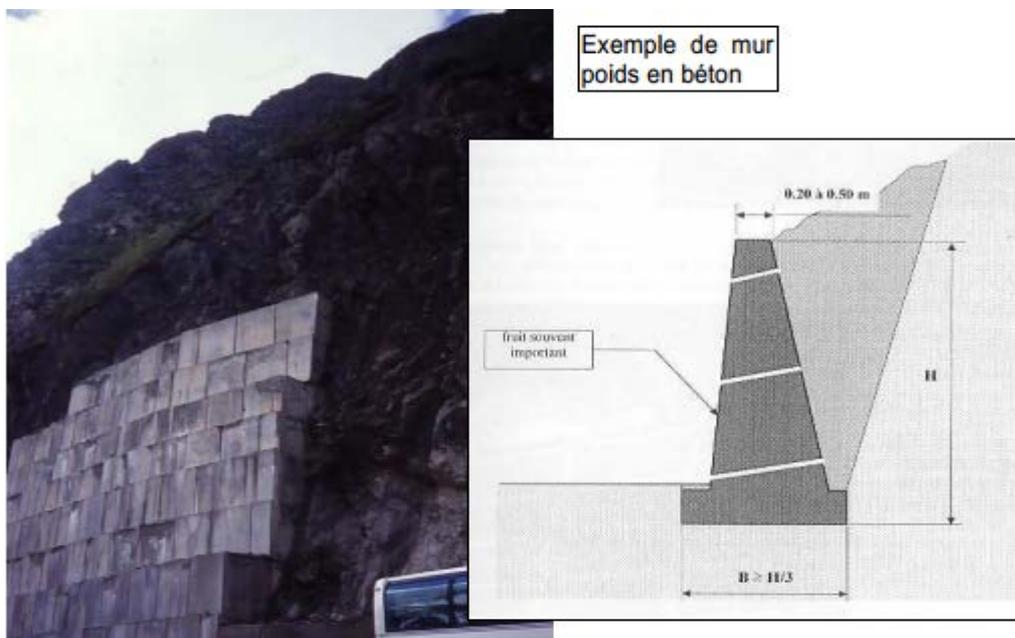


Figure 1.1. Mur poids en béton

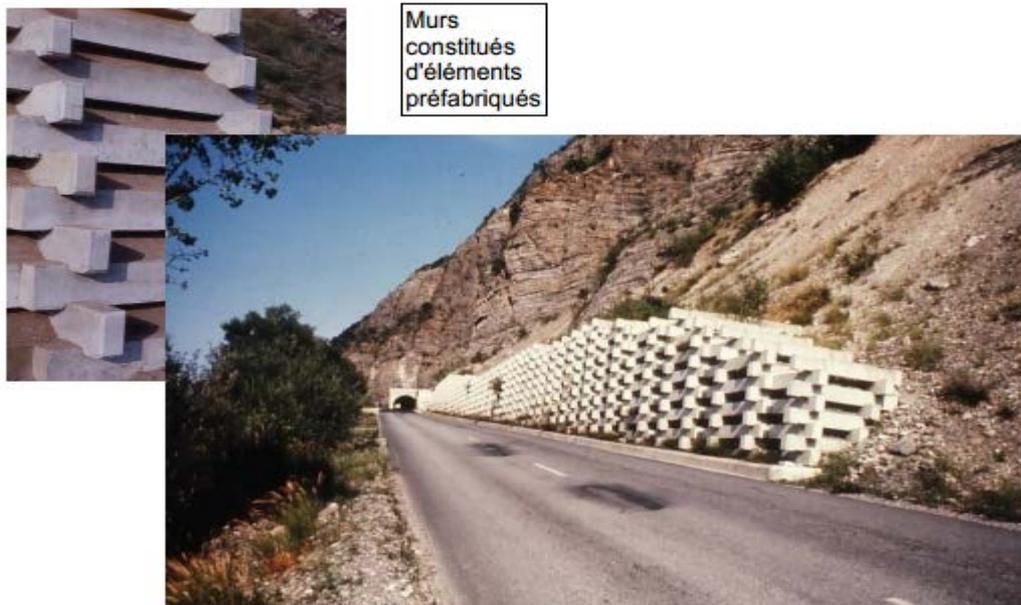


Figure 1.2. Mur poids constitué d'éléments préfabriqués

Les murs de soutènement de type « poids » peuvent être réalisés en place, auquel cas ils sont généralement rigides et constitués de maçonnerie de pierres jointoyées ou de béton non armé, voire éventuellement de béton cyclopéen (blocs de pierre ou moellons noyés dans du béton). Ces types de murs, relativement étanches, sont en principe pourvus d'un dispositif de drainage lorsqu'ils ne sont pas destinés à maintenir le niveau d'eau dans les terres soutenues (cas quasi général).

Les murs poids peuvent être aussi constitués d'un assemblage de pierres sèches, de gabions (gabions de treillage métallique ou même synthétique) ou d'éléments préfabriqués, en béton armé ou non (blocs, caissons ou «boîtes» remplis de terre, poutres, ...), auquel cas ils sont souvent moins rigides, voire relativement souples pour certains d'entre eux.

La maçonnerie est un assemblage de blocs rigides (pierres, moellons, briques.. .), parfois sans liaison (mur en maçonnerie de pierres sèches), mais souvent reliés par des joints de mortier en plus ou moins bon état de conservation (mur en maçonnerie jointoyée) . C'est un matériau composite qui a une bonne résistance à la compression mais une faible résistance à la traction. En outre, les appareillages en maçonnerie ont une assez bonne capacité à se déformer sans rompre

Les murs poids représentent un type de soutènement parmi les plus courants, les plus classiques et les plus anciens. La fonction de soutènement est assurée par le poids propre du mur qui équilibre la poussée des terres du massif soutenu, en imposant de fortes contraintes au massif d'assise de fondation.

En éléments préfabriqués (caissons, cellules fleuries,...), les ouvrages cellulaires sont très variés et le type le plus ancien est le mur caisson en éléments préfabriqués. Dans les travaux

maritimes, par exemple, on utilise pour la construction des quais de grands batardeaux cellulaires en palplanches métalliques ou de grands caissons en béton armé. Dans un ouvrage cellulaire, la cellule est remplie de sol et l'ensemble forme un ouvrage qui peut être, dans certains cas, très souple.

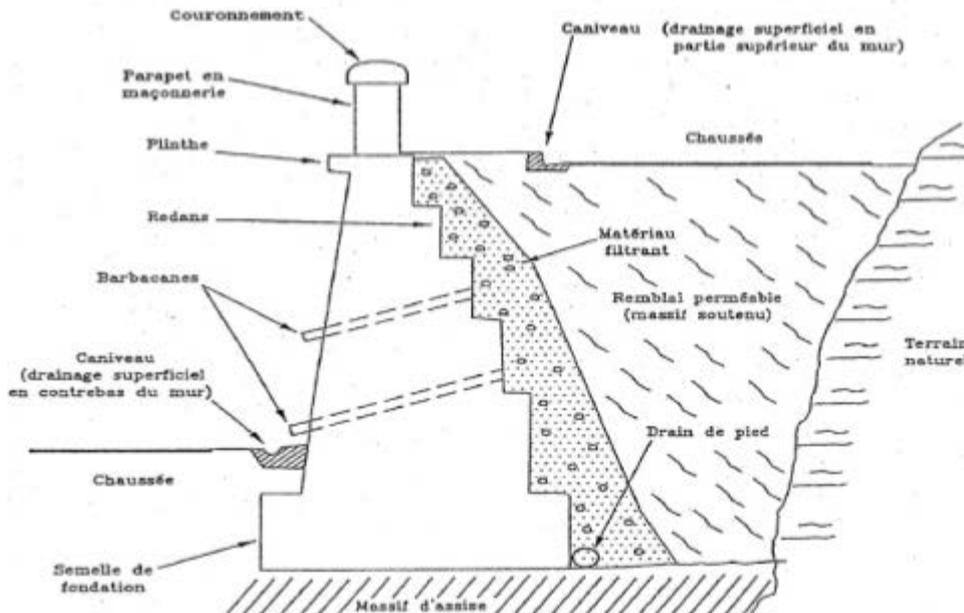


Figure 1.3. Morphologie d'un mur en maçonnerie

1. Domaine d'emploi

Les murs poids sont généralement employés comme ouvrage en déblai sur un site terrestre hors nappe.

2. Difficulté de réalisation

Les murs poids sont facilement réalisables, et présentent une bonne intégration dans le site.

3. Nature du sol

Ces murs peuvent être réalisés sur des sols moyens à bons.

1.3 Murs en béton armé

Les murs de soutènement en béton armé, également appelés murs cantilever, sont très couramment employés. Ils sont constitués d'un voile en béton armé encastré sur une semelle de fondation, en béton armé également et généralement horizontale. Celle-ci comprend le patin, situé à l'avant du voile, et le talon, situé à l'arrière.

La semelle peut être pourvue d'une bêche pour améliorer la stabilité de l'ouvrage au glissement. C'est le cas notamment lorsque la bonne résistance du sol de fondation et/ou des problèmes d'emprise permettent ou imposent une semelle de largeur plus faible.

Le mur en béton armé qui, doté d'une base élargie et encastrée à la partie supérieure du sol de fondation, fonctionne en faisant participer à l'action de soutènement une partie du poids

du remblai. Un mur cantilever peut d'ailleurs 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. La figure 1.4 représente la morphologie d'un mur de soutènement en béton armé.

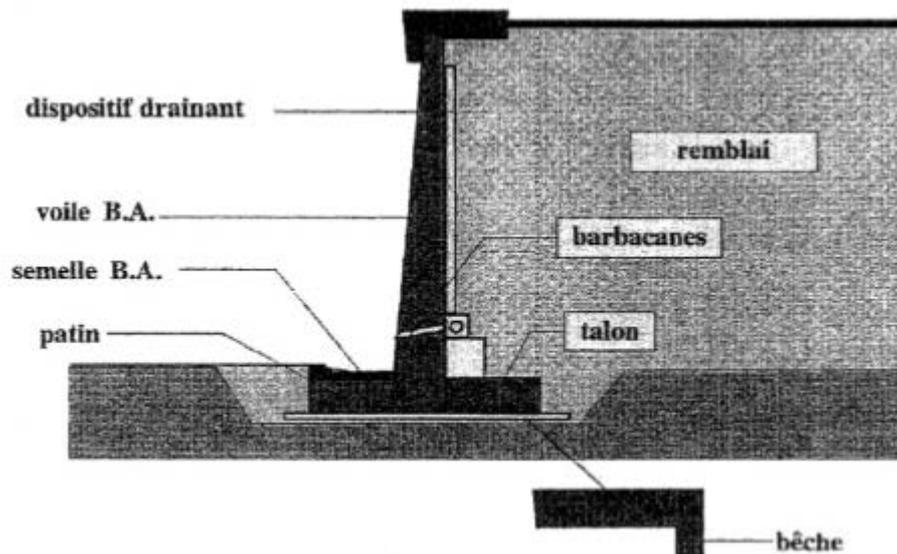


Figure 1.4. Morphologie d'un mur en béton armé encastré sur semelle

1. Domaine d'emploi

Les murs en béton armé sont très probablement les types d'ouvrages de soutènement les plus couramment employés.

Ils sont bien adaptés pour la réalisation d'ouvrages en remblai comme en déblai, en site terrestre hors d'eau. L'exécution d'ouvrages en déblai peut nécessiter toutefois des emprises importantes ou la réalisation d'ouvrages de soutènement provisoires.

2. Difficulté de réalisation

Les murs de soutènement en béton armé sont les plus couramment employés et réalisés par un grand nombre d'entreprises de bâtiments et de travaux publics.

3. Nature du sol

Ces murs peuvent être réalisés sur un sol moyen à bon, susceptible de faibles tassements (quelques centimètres au plus).

1.3. Choix d'un mur de soutènement

Le choix d'un ouvrage de soutènement dépend de plusieurs paramètres dont les plus importants sont :

- l'implantation (en remblai, en déblai),
- le site (aquatique ou terrestre), urbanisé ou non, relief,

- la nature du sol de fondation (caractéristiques mécaniques, hydrologie),
- les contraintes d'intégration dans l'environnement (nuisance, traitement architectural),
- le coût global,
- le mode de réalisation (entreprise locale, nationale, étrangère)
- les matériaux (disponibilité, prix, emplacement...)

PRINCIPE DE CALCUL DES MURS EN BETON ARME

II. PRINCIPE DE CALCUL DES MURS EN BETON ARME

2.1. Introduction

Dans la conception des murs de soutènement en béton armé, la terre est retenue par un voile vertical dont l'équilibre est assuré par une semelle qui se prolonge sous le remblai (Fig 2.1).

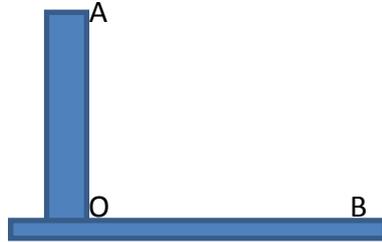


Figure 2.1. Mur de soutènement en béton armé

La part la plus sollicitée de l'ouvrage se situe à l'encastrement du voile dans la semelle, il se développe là des moments fléchissant importants.

Le calcul se fait pour une tranche comprise entre deux plans verticaux perpendiculaires au mur et distants de 1 mètre.

2.2. Calcul de la stabilité du mur

Pour calculer la stabilité d'un mur de soutènement en béton armé, on procède comme ce qui suit :

a) Calcul des forces agissantes

On commence par déterminer les forces agissantes, c'est-à-dire la poussée des terres et celle due à la surcharge sur le remblai, les charges verticales (poids du mur, du remblai et des surcharges) et les réactions du sol.

b) Calcul des poussées

La poussée des terres et celle due à la surcharge se calcule à l'aide des formules démontrées dans les cours de mécanique des sols.

Soit Q la résultante de ces poussées et r la distance de cette résultante à la partie inférieure de la semelle (Fig. 2.2).

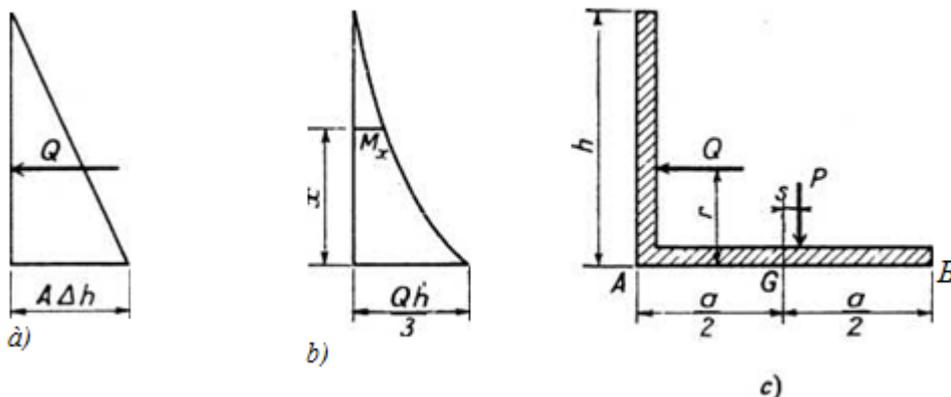


Figure 2.2. Détermination de la poussée Q

c) Calcul des charges verticales

Le calcul se fait en déterminant pour un mètre de longueur du mur :

- le poids du rideau,
- le poids de la semelle,
- le poids du remblai supporté par la semelle,
- le poids des surcharges sur le remblai.

Soit P la résultante des charges verticales et s la distance de P au milieu G de la semelle.

d) Calcul de la réaction du sol

Le moment par rapport au centre de gravité G de la semelle est égal, en valeur absolue, à :

$$M = Qr - Ps \quad (*)$$

(*) Si P était à gauche de G, alors $M = Qr + Ps$

Les contraintes en A et B sont données par la formule générale :

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{Mv}{I}$$

Où :

A = surface = ba

I = moment d'inertie = $ba^3/12$

v = a/2

En prenant pour unités le Newton et le millimètre, nous aurons :

$$\sigma = \frac{N}{1000a} \pm \frac{6M}{1000a^2}$$

Dans cette formule, σ est exprimée en MPa, N en Newtons, M en Newtons-millimètres et a en millimètres.

e) Vérification de la stabilité du mur

On vérifiera alors successivement :

1) Que le mur ne peut pas se renverser autour de l'arête A.

En prenant les moments par rapport à A, nous obtenons :

- Moment de renversement : $M_r = Qr$
- Moment stabilisateur : $M_s = P \left(\frac{a}{2} + s\right)$ ou bien $M_s = P \left(\frac{a}{2} - s\right)$ si P à gauche de G.

Nous devons avoir :

$$\frac{M_s}{M_r} > 2$$

2) Que la contrainte maximale sur le sol de fondation est admissible, c'est-à-dire que l'on a :

$$\sigma_A = \frac{N}{1000a} \pm \frac{6M}{1000a^2} < \text{Contrainte permise par la résistance du sol}$$

3) Que le mur ne peut pas glisser sur sa fondation, c'est-à-dire que l'on a :

$$\frac{Q}{P} < f \text{ (f Coefficient de frottement béton sur terre)}$$

2.3. Calcul du rideau

Le rideau est considéré comme une console encastrée sur la semelle et soumise à une charge triangulaire (Fig. 2.2a).

Le moment en un point quelconque est donné par :

$$M_x = \frac{Q(h-x)^2}{3h^2} x$$

Le diagramme des moments est représenté sur la figure 2.2b. Le moment maximal a pour valeur :

$$M_{\max} = \frac{Qh^2}{3}$$

Connaissant le moment dans une section quelconque, les armatures sont déterminées par les méthodes vues durant les cours de béton armé.

2.4. Calcul de la semelle

La semelle est soumise, pour une tranche de 1 m, à :

- son poids propre, aux poids du rideau, du remblai, des surcharges éventuelles sur le remblai. Soit P la résultante de ces forces (Fig. 2.3).

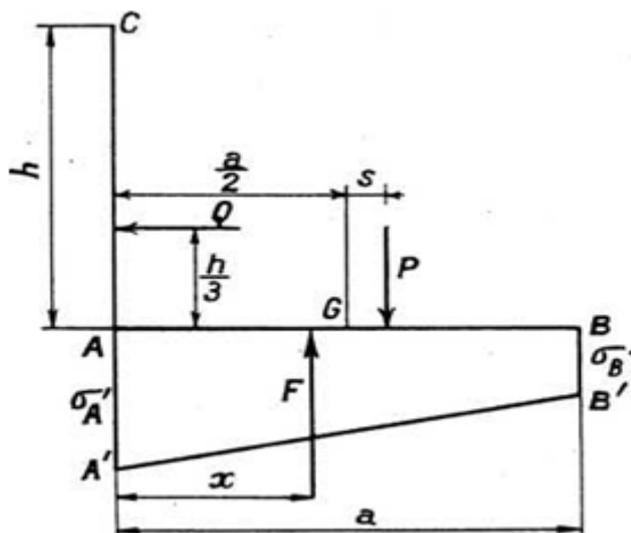


Figure 2.3. Forces agissantes sur un mur

- Aux réactions du sol. Soit F leur résultante appliquée à x de A.

Si nous exprimons les contraintes en MPa, les forces en Newtons, les moments en Newtons-millimètres et les distances en millimètres, nous avons :

$$F = \frac{\sigma_A + \sigma_B}{2} \times 1000a$$

F passe par le centre de gravité du trapèze ABA'B', donc à une distance x du point A donnée par :

$$x = \frac{\sigma_A + 2\sigma_B}{\sigma_A + \sigma_B} \times \frac{a}{3}$$

Le moment en A à pour valeur :

$$M_A = Fx - P\left(\frac{a}{2} + s\right)$$

En remplace F et x par leur valeurs respectives, il vient :

$$M_A = 1000 \frac{a^2}{6} (\sigma_A + 2\sigma_B) - P\left(\frac{a}{2} + s\right)$$

APPLICATION NUMERIQUE

III. APPLICATION NUMERIQUE

3.1. Données

Le mur de soutènement que nous allons étudier est représenté sur la figure 3.1. C'est un mur en béton armé. Les données le concernant sont :

- Résistance admissible du sol de fondation : 0,20 MPa
- Poids spécifique des terres : $\Delta = 16\ 000\ \text{N/m}^3$
- Angle du talus naturel : $\phi = 35^\circ$
- Coefficient de frottement : $f = 0,35$
- Surcharge éventuelle sur le remblai : $q = 5\ \text{kN}$

Les matériaux constituant le mur ont les caractéristiques suivantes :

- Béton : $f_{c25} = 25\ \text{MPa}$ $\bar{\sigma}_b = 14,2\ \text{MPa}$ $f_{t28} = 2,10\ \text{MPa}$
- Armatures : Aciers Fe E 400, $\gamma_s = 1,15$.
- La fissuration est considérée comme étant préjudiciable.

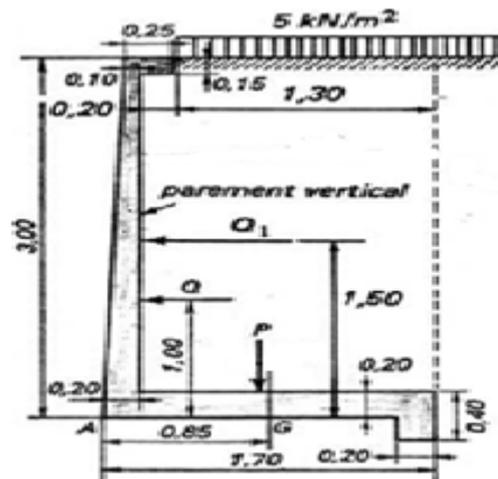


Figure 3.1. Description du mur

3.2. Calcul du mur

Le mur est calculé aux états limites ultimes

3.2.1. Etats limites ultimes

Le calcul se fait pour une tranche de 1 mètre. Les forces agissant sur cette tranche sont :

1) Poussée des terres

Le calcul de la force de poussée se fait par application de la méthode de Coulomb. Soit :

$$Q = 1/2 k_a A h^2$$

Avec :

k_a = coefficient de pression

$$k_a = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \varphi/2\right)$$

$$k_a = \tan^2\left(\frac{180}{4} - 35/2\right) = 0.270$$

Ce qui donne :

$$Q = \frac{0,270 \times 16\,000 \times 3^2}{2} = 19\,440 \text{ N}$$

La force Q est appliquée $h/3 = 3/3 = 1 \text{ m}$ au-dessus de A.

2) Poussée due à la surcharge

$$Q_1 = k_a h q = 0,270 \times 5\,000 \times 3 = 4\,050 \text{ N}$$

Cette force est appliquée à $h/2 = 1.5 \text{ m}$ au-dessus de A.

3) Charges verticales

Pour le calcul des charges verticales, nous négligeons le poids de la nervure de raidissement et celui de la bêche.

Nous obtenons donc :

- Poids du rideau : $P_r = \frac{0.1+0.2}{2} \times 2,80 \times 25\,000 = 10\,500 \text{ N}$
- Poids de la semelle : $P_s = 1,70 \times 0,20 \times 25\,000 = 8\,500 \text{ N}$
- Poids des terres sur la semelle : $P_t = 2,80 \times 1,50 \times 16\,000 = 67\,200 \text{ N}$
- Surcharge sur le remblai : $P_1 = 1,30 \times 5\,000 = 6\,500 \text{ N}$

La charge verticale totale est donc :

$$P = P_r + P_s + P_t + P_1 = \mathbf{92\,700 \text{ N}}$$

4) Moments des différentes forces par rapport à A

$$M_Q = \frac{Qh}{3} = 19440 \times 1 = 19440 \text{ kN}$$

$$M_{Q_1} = \frac{Q_1 h}{2} = 4050 \times 1.5 = 6075 \text{ kN}$$

$$M_P = P_r \times 0.12 + P_s \times \frac{a}{2} + P_t \times \left(\frac{a-0.2}{2} + 0.2\right) = 72325 \text{ kN}$$

(0.12 représente la distance du centre de gravité du trapèze, constitué par le rideau, au point A).

$$M_{P1} = P_1 \left(\frac{1.3}{2} + 0.4 \right) = 6825 \text{ kN}$$

Remarque

La poussée des terres est une action permanente. Elle doit donc être affectée du coefficient 1.35, tandis que la surcharge sur le remblai est une action variable à laquelle doit être appliquée le coefficient 1.50. Néanmoins ces coefficients ne sont pas à prendre en considération lorsqu'ils agissent dans un sens favorable pour l'effet étudié.

Si :

Moment de renversement = M_r

Moment stabilisateur = M_s

a) Nous avons lorsque la surcharge n'existe pas sur le remblai

$$\frac{M_s}{M_r} = \frac{M_p}{1.35M_Q} = \frac{72325}{1.35 \cdot 19440} = 2.75 > 2 \rightarrow \text{Condition vérifiée}$$

$$\frac{\text{Forces horizontales}}{\text{Forces verticales}} = \frac{1.35Q}{P} = \frac{1.35 \cdot 19440}{86200} = 0.30 < f = 0.35 \rightarrow \text{Vérifiée}$$

Calcul de s :

La résultante des forces verticales passe à x du point A

$$x = \frac{M_p}{P} = \frac{72325}{86200} = 0.84 \text{ m}$$

$$s = \frac{a}{2} - x = 0.85 - 0.84 = 0.01 \text{ m}$$

Cette résultante P passe donc à 0.01m du milieu G de la semelle. D'où :

$$M_g = 1,35 \times Q \times h/3 + 1,35 \times P \times s = 1,35 \times 19\,440 \times 1 + 1,35 \times 86\,200 \times 0.01 = 27408 \text{ Nm}$$

Remarque :

Si le point de passage de la résultante P s'était trouvé à droite de G, cette résultante aurait présenté un effet favorable pour le calcul de M.

Dans ce cas il n'y aurait pas eu lieu de considérer le coefficient 1,35.

Effort normal

$$N = 1.35 P = 1,35 \times 86\,200 = 116370 \text{ N}$$

Moment fléchissement

$$M_g = 27408 \text{ Nm et } a = 1,70 \text{ m}$$

Sachant que :

$$\sigma_A = \frac{N}{1000a} + \frac{6M}{1000a^2}$$

$$\sigma_B = \frac{N}{1000a} - \frac{6M}{1000a^2}$$

Soit :

$$\sigma_A = 0.124 \text{ MPa}$$

$$\sigma_B = 0.011 \text{ MPa}$$

b) Nous avons lorsque la surcharge existe sur le remblai :

$$\frac{M_s}{M_r} = \frac{M_P + M_{P_1}}{1.35M_Q + 1.5M_{Q_1}} = \frac{72325 + 6825}{1.35 \cdot 19440 + 1.5 \cdot 6075} = 2.23 > 2 \rightarrow \text{Condition vérifiée}$$

$$\frac{\text{Forces horizontales}}{\text{Forces verticales}} = \frac{1.35Q + 1.5Q_1}{P + P_1} = \frac{1.35 \cdot 19440 + 1.5 \cdot 4050}{92700} = 0.35 < f = 0.35 \rightarrow \text{Vérifiée}$$

Calcul de x :

La résultante des forces verticales passe à x du point A

$$x = \frac{M_P + M_{P_1}}{P + P_1} = \frac{72325 + 6825}{92700} = 0.85 \text{ m}$$

$$s = \frac{a}{2} - x = 0.85 - 0.85 = 0 \text{ m}$$

Cette résultante passe donc par le centre de gravité de la semelle. D'où :
 $M_g = 1.35M_Q + 1.5M_{Q_1} = 1,35 \times 19\,440 + 1,50 \times 6\,075 = 35\,356 \text{ Nm}$

(Pour la résultante des forces verticales le bras de levier est nul).

Effort normal

$$N = 1.35 P + 1.5 P_1 = 1,35 \times 86\,200 + 1,50 \times 6\,500 = 126\,120 \text{ N}$$

Moment fléchissement

$$M_g = 1.35 \times 19\,440 + 1.50 \times 6\,075 = 35\,356 \text{ Nm} \text{ et } a = 1,70 \text{ m}$$

Sachant que :

$$\sigma_A = \frac{N}{1000a} + \frac{6M}{1000a^2}$$

$$\sigma_B = \frac{N}{1000a} - \frac{6M}{1000a^2}$$

Soit :

$$\sigma_A = 0.148 \text{ MPa}$$

$$\sigma_B = 0.001 \text{ MPa}$$

5) Calcul du ferrailage

5.1) Rideau

Pour la détermination des armatures du rideau, nous étudierons la section d'encastrement du rideau sur la semelle, c'est-à-dire la section située à 2,80 m au-dessous du sommet du mur. Nous avons

$$Q = 1/2k_a Ah^2 = \frac{1}{2} * 0.270 * 2.8^2 = 16934 \text{ N}$$

$$Q_1 = k_a h q = 0.270 * 5\,000 * 2.8 = 3780 \text{ N}$$

$$M = \frac{Qh}{3} + \frac{Q_1 h}{2} = 1.35 * 16934 * \frac{2.8}{3} + 1.5 * 3780 * \frac{2.8}{2} = 29275 \text{ Nm}$$

Le calcul du ferrailage se fait conformément aux normes en vigueur en Algérie (BAEL91, CBA 93), soit :

$$\mu = \frac{M}{bd^2 f_{bu}} = \frac{29275}{100 * 17.5^2 * 14.2} = 0.067 < \mu_l = 0.187$$

$$\alpha = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2\mu})$$

$$A_s = \frac{0.8 * \alpha * d * b * f_{bu}}{f_{su}} = 4.98 \text{ cm}^2$$

Effort tranchant maximal :

$$V_{u \max} = 1.35 * 16\,934 + 1.50 * 3\,780 = 28\,531$$

$$\tau_u = \frac{V_{u \max}}{b * d} = 0.16 \text{ MPa} < 0.05 f_{c28} = 1.25 \text{ MPa}$$

Il n'est donc pas nécessaire de prévoir d'armatures transversales.

5.2) Semelle

Pour le ferrailage de la semelle, étant donné que dans la section située au droit du rideau le moment d'encastrement a également pour valeur $M = 29\,275 \text{ Nm}$, et que l'épaisseur de la semelle est la même que celle du rideau, les armatures longitudinales seront les mêmes que celles déterminées précédemment, c'est-à-dire, 4.98 cm^2 .

6) Ferrailage du mur

6.1) Choix des sections et dispositions constructives

Compte tenu des résultats précédents, les armatures du mur de soutènement seront réparties comme ce qui suit :

- Pour le rideau, 1 \emptyset 10 tous les 14 cm = 5.61 cm^2 . Une armature sur deux sera arrêtée à mi-hauteur du mur. Les armatures de répartition seront constituées par 3 \emptyset 8 par mètre sur la moitié inférieure du rideau et 3 \emptyset 6 sur la moitié supérieure.
- Pour la semelle, 1 \emptyset 10 tous les 14 cm = 5.61 cm^2 ; les armatures de répartition seront constituées par 3 \emptyset 8 par mètre.

- La bête qui, dans le cas envisagé, n'a pas à être étudiée sera armée de 2 ϕ 10 à la partie supérieure et de 2 ϕ 10 à la partie inférieure. Les cadres en ϕ 6, seront espacés de 25 cm.
- La nervure de raidissement, qui ne se calcule pas, sera armée de 4 ϕ 6 et de cadres en ϕ 6, espacés de 25 cm.

6.2) Ancrage des barres

La longueur de la partie ancrée, mesurée hors crochets, est égale à 16ϕ pour les aciers de nuance Fe E 400, soit dans le cas envisagé, avec $\phi = 10 \text{ mm} = 1 \text{ cm}$, une longueur d'ancrage de 16 cm.

6.3) Schéma du ferrailage

Le schéma du ferrailage est représenté sur la figure 3.2.

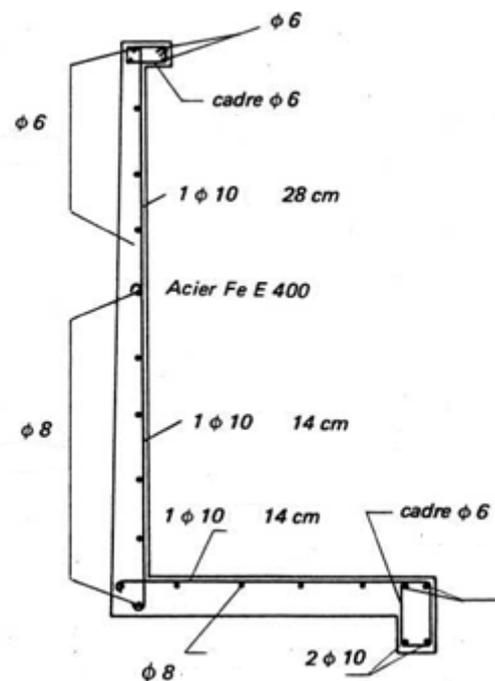


Figure 3.2. Ferrailage du mur

CONCLUSION GENERALE

IV. CONCLUSION GENERALE

Ce projet fût une expérience très enrichissante, puisqu'il m'a permis de mettre en application directe plusieurs cours enseignés au Département du Génie Civil de l'Ecole Nationale Polytechnique, dont notamment les cours de :

- béton armé.
- la mécanique des sols.

La recherche bibliographique effectuée tout au long de ce travail m'a apportée un nouvel enseignement très profitable et fructueux

Après les Généralités sur les murs de soutènement et les hypothèses de calcul d'un mur de soutènement en béton armée , j'ai calculé le ferrailage du mur . Durant l'étude de ce projet , l'utilisation, l'exploitation des normes en vigueur en Algérie (BAEL91, CBA 93) m'a permis comprendre beaucoup de phénomènes.

J'ai énormément appris durant cette étude. C'est une expérience qui va me permettre d'intégrer le monde professionnel avec beaucoup de confiance. Cet apprentissage et cette confiance ne sont que le fruit des connaissances théoriques et pratiques acquises durant mon cursus universitaire à l'Ecole Nationale Polytechnique.

Bibliographie

Règlements

- 📖 Règles de Calcul de Béton Armé Aux Etats Limites BAEL1991, BAEL2005
- 📖 Règles de Conception et de Calcul des Structures en Béton Armé CBA 93

Livres

- 📖 Cours de Mécanique des sols appliquée, M. BIETH Emmanuel ,STERA ,1998 ,51
- 📖 Calcul des ouvrages en béton armé , M. Belazougui, MODULO, 1997, 158

Cours

- 📖 Béton armé.....R. BOUTEMEUR
- 📖 Structures en bétonN.BAUCHE
- 📖 Mécanique des sols..... S. BELKACEMI