

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique
Département de Génie Civil



المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات
Ecole Nationale Polytechnique

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de
MASTER en Génie Civil

Thème

Etanchéité des ouvrages souterrains
Calcul d'un cuvelage

Dirigé par :

^{me}
M. A. CHIKH

M.R. BOUTEMEUR

Présenté par :

M. GASMI Salah

Soutenu publiquement le **15 / 10 / 2014** devant le jury composé de :

Présidente
Examineur
Examineur

Mme.R.KETTAB.
Mr.M.DEMIDAM.
Mr.S.LEKHAL.

Professeur ENP
M.A.A ENP
M.A.A ENP

Promotion Juin 2014

E.N.P- 10, Avenue Hassen Badi, 16200 El Harrach, Alger

ملخص

إن الهدف من هذا العمل هو دراسة كيفية حماية المنشآت التحت ارضية بالاستعمال نظام التغليف المعروف باسم cuvelage .

هذا العمل يخلص في الأخير الى تطبيق مباشر على عمارة سكنية من الخرسانة المسلحة ذات طابق أرضي بالإضافة الى تسعة طوابق، تمت بنائها في ولاية الجزائر المصنفة ذات نشاط زلزالي قوي.

اعتمدنا في هذا العمل على مجموعة من لقوانين و المعايير أهمها.

DTU14.1 ; EUROCODE 2 ; DTR ; RPA99 version 2003 ; BAEL91.

كلمات مفاتيح

المنشآت التحت ارضية- الخرسانة المسلحة-cuvelage- التغليف

Résumé

Le but de ce travail est d'étudier la façon de protéger les ouvrages souterrains des effets de l'humidité et de l'eau par l'utilisation de systèmes d'étanchéité un exemple d'application est traité à savoir un **cuvelage**.

Sous un bâtiment (R+9) à usage d'habitation en béton armé implanté à Alger qui est classée comme une zone à forte sismicité

Ce mémoire a été élaboré en respectant la réglementation en vigueur soit

DTU14.1 - EUROCODE 2 - DTR - RPA99version2003 - BAEL91

Mots clés

Cuvelage - étanchéité - ouvrages souterrains – imperméabilité.

Abstract

The aim of this work is to study how to protect underground structures from the effects of humidity and water through the use of sealing systems an example application is processed if cuvelage.

.Under a building (R -9) for residential use reinforced concrete located in Algiers which is classified as an area of high seismicity.

This brief has been prepared in accordance with the rules in force.

DTU14.1 ; EUROCODE 2 ; DTR ; RPA99version2003 ; BAEL91

Key words

Cuvelage - sealing - underground structures - waterproofing.

Remerciements

Je tiens à remercier avant tout ALLAH le tout puissant de m'avoir donné la force, la volonté et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Mes sincères remerciements aux membres du jury d'avoir pris le temps et le soin d'examiner ce travail.

Mes remerciements vont aussi à Mme A. Chikh et M.R. Boutemeur pour les orientations et les conseils qu'elle m'a prodigué tout au long de la préparation de ce mémoire.

Mes remerciements vont également à tous les enseignants qui ont participé à ma formation et l'aide qu'ils m'ont fournie pendant la période d'étude.

Je tiens à remercier enfin tous mes amis ainsi que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

TABLE DES MATIERS

Introduction.....	1
CHAPITRE.I. Recommandations réglementaires	
1. Introduction.....	2
2. Définition.....	2
3. Types de cuvelage.....	2
3.1. Cuvelages avec revêtement d'imperméabilisation.....	2
3.1.1. Revêtement mince à base de mortier.....	2
3.1.2. Revêtement épais à base de mortier.....	3
3.1.3. Revêtement à base de résine.....	4
3.2. Cuvelages à structure relativement étanche.....	4
3.3. Cuvelages avec revêtement d'étanchéité.....	4
3.3.1 Revêtement type multicouche en partie courante.....	5
3.3.2. Revêtement type asphalte en partie courante.....	5
3.3.3 Revêtement d'étanchéités traditionnelles.....	6
3.4 Limites d'emploi.....	6
3.5. Protection.....	6
4. Critères de choix.....	6
5. Niveaux de l'eau.....	7
5.1 Cas d'une nappe d'eau.....	7
5.2 Cas des eaux de ruissellement et d'infiltration.....	9
6. Action des eaux souterraines.....	11
6.1. Etat-limite d'équilibre statique.....	11
6.2. Etat-limite ultimes de résistance.....	12
6.3. Etat-limite d'ouverture des fissures.....	12
7. Etat limite de service par limitation des contraintes.....	14

7.1. Limitation de la contrainte de traction des aciers.....	14
7.1.1. Cuvelage avec revêtement d'imperméabilisation.....	14
7.1.1.1. Sections droites tendues du coté recevant le revêtement d'imperméabilisation.....	14
7.1.1.2 Sections droites tendues du coté en contact avec l'eau.....	15
7.1.1.3. Tableau récapitulatif.....	16
7.1.2. Cuvelage à structure relativement étanche.....	17
7.1.3 – Cuvelage avec revêtement d'étanchéité.....	17
7.2. Limitation de la contrainte de traction de la fibre de béton la plus tendue.....	18
7.2.1. Cuvelage avec revêtement d'imperméabilisation.....	18
7.2.2. Cuvelage à structure relativement étanche.....	18
7.2.3. Cuvelage avec revêtement d'étanchéité.....	18
7.3. Dispositions constructives.....	18

CHAPITRE II : Applications sur le bâtiment

1. Présentation de l'ouvrage.....	19
1.1. Caractéristiques géométriques du bâtiment.....	19
1.2. Caractéristique des matériaux.....	21
1.3. Type de fondation utilisé.....	21
2. Contexte hydrogéologique du site.....	21
3. Analyse des risques.....	22
3.1. Remontée de nappe.....	22
3.2. Eaux de ruissellement.....	22
4. Préventions.....	22
4.1 Remontée de nappe.....	22
4.2 Eaux de ruissellement.....	23
5. Etude du cuvelage.....	24

5.1 Choix du type de cuvelage.....	24
5.2. Étude du contre-cuvelage (voile périphérique).....	25

CONCLUSION

Conclusion.....	29
-----------------	----

BIBLIOGRAPHIE.....	30
---------------------------	-----------

Liste des tableaux

CHPITRE I : Règlements

Tab.I.1. Niveaux des eaux souterraines.....	8
Tab.I.2. Pondérations d'actions en ELS d'équilibre statique.....	11
Tab.I.3. Combinaisons d'actions à l'ELU.....	12
Tab.I.4. Combinaisons d'actions à l'ELS.....	13
Tab.I.5. Contraintes maximales de traction dans les aciers pour un béton $f_{c28}=25$ [MPa].....	16

Liste des figures

CHPITRE I : Règlements

FigI.1. Revêtement mince à base de mortier.....	3
FigI.2. revêtement épais à base de mortier.....	3
FigI.3. Revêtement à base de résine.....	4
FigI.4. Exemple de cas de locaux inondables.....	8
FigI.5. Exemple de cas de locaux inondables.....	9
FigI.6. Exemple de cas d'eaux de ruissellement ou d'infiltration avec drainage avec revêtement.....	10
FigI.7. Exemple de cas d'eaux de ruissellement ou d'infiltration avec drainage avec revêtement.....	10
FigI.8. Exemple de cas d'eaux de ruissellement ou d'infiltration sans drainage.....	11
FigI.9. contrainte de traction limite des treillis soudés en fonction de la résistance caractéristique du béton et de la valeur α	15

CHPITRE II : Application sur le bâtiment

FigII.1. Modèle 3-D de la structure.....	20
FigII.2. Vue en plan de la structure.....	20
FigII.3. Coupe du radier.....	21
FigII.4. Nature de cuvelage ou du revêtement d'étanchéité	22
FigII.5. Solution traditionnelle de tranchée et canalisation drainante.....	23
FigII.6. Modèle 3-D du cuvelage.....	24
FigII.7. Schéma statique d'un panneau du voile périphérique.....	25
FigII.8. Ferrailage du voile périphérique.....	28

Introduction

Introduction

Le cuvelage est l'ensemble des matériaux et des opérations pour garnir les parois d'un puits de mine, c'est aussi l'introduction d'un tube métallique dans le forage d'un puits artésien. On appelle également cuvelage la protection des constructions situées en sous-sol contre les pressions hydrostatiques horizontales (terrains fluides, gorgés d'eau ou fortement humides).

Le cuvelage désigne à la fois les matériaux et les techniques utilisés pour consolider une construction souterraine et créer une protection hermétique contre les eaux et les infiltrations. Pour les bâtiments, on cherche à créer un caisson étanche qui protège les fondations contre la nappe phréatique. Lorsqu'on parle de cuvelage, on peut faire appel à différents matériaux comme le bois ou le ciment, mais aussi à des revêtements spécifiques comme des peintures ou des enduits.

Le cuvelage est un caisson étanche installé dans le sous-sol. Il est destiné à empêcher les remontées capillaires (infiltrations verticales venant du sol sous la maison) et les infiltrations d'eau par pression hydrostatique (infiltrations latérales).

Le cuvelage est un ouvrage très dur en béton armé qui augmente la pression sur vos murs et peut les déstabiliser.

Le terme cuvelage est employé dans le domaine de la construction mais également lorsqu'on parle des puits de pétrole

Chapitre I
Recommandations
réglementaires

1. Introduction

Les travaux de cuvelage, et notamment les principes de justifications vis-à-vis du calcul, sont décrits dans le « DTU 14.1 - Travaux de cuvelage »

Ce règlement s'applique lorsqu'une partie du bâtiment est immergée. Les éléments sont alors soumis à des charges de soulèvement : les sous-pressions d'eau.

Dans l'état actuel de la normalisation, le cuvelage n'est pas abordé dans les Eurocodes et on applique donc ce DTU.

2. Définition

Le cuvelage désigne à la fois les matériaux et les techniques utilisés pour consolider une construction souterraine et créer une protection hermétique contre les eaux et les infiltrations. Pour les bâtiments, on cherche à créer un caisson étanche qui protège les fondations contre la nappe phréatique. Lorsqu'on parle de cuvelage, on peut faire appel à différents matériaux comme le bois ou le ciment, mais aussi à des revêtements spécifiques comme des peintures ou des enduits.

3. Types de cuvelage [1].

On distingue 3 types de cuvelages :

- cuvelages avec revêtement d'imperméabilisation
- cuvelages à structure relativement étanche
- cuvelages avec revêtement d'étanchéité

3.1. Cuvelages avec revêtement d'imperméabilisation

Le revêtement d'imperméabilisation constitue un écran intérieur, adhérent à son support, pouvant assurer l'étanchéité en association avec celui-ci mais ne résistant pas à une fissuration appréciable de ce support.

On distingue trois types principaux :

- revêtement mince à base de mortier.
- revêtement épais à base de mortier.
- revêtement à base de résine.

3.1.1. Revêtement mince à base de mortier

Ce type de revêtement est constitué par un mortier hydrofuge, et apte à être appliqué en couches minces.

L'épaisseur minimale totale du revêtement doit être supérieure ou égale à trois fois le diamètre du plus gros granulats avec un minimum de 4 mm.



FigI.1. Revêtement mince à base de mortier.

3.1.2. Revêtement épais à base de mortier

Ce type de revêtement est constitué par un mortier hydrofuge, préparé in-situ en vue de son application immédiate en couches épaisses.

Le dosage en ciment est d'au moins 500kg/m^3 de sable sec. L'épaisseur minimale totale du revêtement doit être de 30 mm pour les parties horizontales et 25 mm pour les parties verticales.



FigI.2. Revêtement épais à base de mortier.

3.1.3. Revêtement à base de résine [2].

Ce type de revêtement est constitué par des résines polymérisables avec ou sans solvant et mélangées in-situ, en vue de leur application immédiate en couches minces.



FigI.3. Revêtement à base de résine.

3.2. Cuvelages à structure relativement étanche

Ce cuvelage ne comporte pas de revêtement de cuvelage et il est, de ce fait, admis un léger passage d'eau éventuellement récupérée

Ce cuvelage n'est constitué que de l'enveloppe structurelle en béton armé. Même si les contraintes de traction dans les aciers sont limitées, un léger passage d'eau est admis. Ces fuites sont en général constatées aux reprises de bétonnage.

Ce type s'applique exclusivement à des locaux peu nobles (parking...).

Les entrées d'eau sont limitées de la façon suivante :

- Pour la structure résistante dans son ensemble : - moyenne annuelle : $0,5 \text{ l/m}^2/\text{jour}$ - moyenne hebdomadaire : $1 \text{ l/m}^2/\text{jour}$.
- Pour toute portion de structure résistante de 10 m^2 constituant un rectangle dont le rapport des côtés est compris entre 0,4 et 2,5 : - moyenne hebdomadaire : $2 \text{ l/m}^2/\text{jour}$

3.3. Cuvelages avec revêtement d'étanchéité

Le cuvelage doit être complété par un contre-cuvelage interne ou externe au revêtement d'étanchéité.

Le contre-cuvelage externe comporte un pré-radier et soit des voiles périphériques réalisés avant le cuvelage, soit des ouvrages de protection réalisés après le cuvelage.

L'étanchéité est réalisée par un revêtement plastique, élasto-plastique ou élastique appliqué à l'extérieur de la structure résistant aux poussées de l'eau.

Ce revêtement n'est pas nécessairement adhérent à la structure résistante et c'est alors la pression de l'eau qui l'applique sur celle-ci.

Le revêtement d'étanchéité du cuvelage et le contre-cuvelage doivent exister jusqu'au niveau d'eau fixé pour le projet.

On distingue trois types principaux :

- Revêtement type multicouche en partie courante
- Revêtement type asphalte en partie courante
- Revêtement d'étanchéités traditionnelles

3.3.1 Revêtement type multicouche en partie courante

Le complexe doit comporter au minimum

- Une couche d'EAC (enduit d'application à chaud).
- Un bitume armé type 40 armature toile.
- Une couche d'EAC.
- Un bitume armé type 50 à double armature.
- Tissu de verre et voile de verre à haute résistance
- Une couche d'EAC.
- La largeur de recouvrement doit être de 10 cm minimum.

3.3.2. Revêtement type asphalte en partie courante

Le complexe doit comporter au minimum :

a) en partie horizontale

- Une feuille de papier kraft
- Une couche d'asphalte coulé pur de 8 mm d'épaisseur
- Une couche d'asphalte coulé sablé de 20 mm d'épaisseur

b) en partie verticale

- Une couche de 8 mm d'asphalte pur.
- Un bitume armé type 50 à double armature
- Tissu de verre et voile de verre à haute résistance
- La largeur de recouvrement doit être de 10 cm minimum.

3.3.3 Revêtement d'étanchéités traditionnelles [2].

Les matériaux et leurs conditions de mise en œuvre doivent être conformes aux dispositions prévues pour les travaux d'étanchéité des toitures terrasses. La contrainte normale de compression de ces revêtements calculée sous sollicitations de service doit être inférieure à :

- 0.6 MPa dans le cas de fondations par radier général
- 0.4 MPa dans le cas de fondations par pieux ou puits

3.4 Limites d'emploi

Ces procédés s'appliquent essentiellement aux ouvrages immergés en béton armé fondés soit par radier général, soit par des fondations profondes.

3.5. Protection

La protection du revêtement d'étanchéité doit être assurée par un procédé ou un produit réputé durable :

- Les parties horizontales du revêtement sont protégées immédiatement après exécution à l'aide d'une chape de mortier de ciment de 3 cm d'épaisseur.
- Les parties verticales peuvent être protégées par un enduit grillagé d'au moins 3 cm d'épaisseur dans le cas d'un contre-cuvelage en béton coulé sur place ou par un voile en béton projeté d'au moins 4 cm d'épaisseur en procédant au remblaiement de terrain à l'avancement ou à l'aide de maçonnerie d'au moins 10 cm d'épaisseur avec mortier de bourrage.

4. Critères de choix

Les trois types de cuvelage n'ont pas exactement le même domaine d'application et les critères de choix doivent porter entre autres sur les points suivants :

- destination des locaux ainsi que leur aménagement ;
- conditions d'exploitation de ces locaux (ventilation, climatisation) ;
- conditions d'accessibilité et d'entretien du revêtement de cuvelage ;
- possibilité de modification ultérieure et/ou de réparation du revêtement de cuvelage
- action de l'eau (action permanente, cyclique et accidentelle, agressivité, inondation éventuelle), nature et agressivité des sols.
- action de la vapeur d'eau provenant du support.
- comportement de l'ouvrage et de ses fondations (tassements).
- adaptation au site (mitoyens, phases de travaux).
- limites d'emploi des divers procédés de revêtement de cuvelage.
- risques engendrés par la phase de construction (éboulements lors des fouilles, venues d'eau, intoxications et incendie avec.
- l'utilisation de certaines résines ou solvants.

5. Niveaux de l'eau [1].

5.1 Cas d'une nappe d'eau

Le bâtiment est soumis aux variations saisonnières du niveau de la nappe.

Il peut s'agir soit d'une nappe phréatique, soit d'une nappe alimentée par une rivière proche au travers de couches perméables, soit d'une nappe captive entre deux couches imperméables de sol.

Dans ce dernier cas la nappe peut également être sous pression.

La connaissance et la prévision des variations des niveaux d'eau sont fondamentales pour la conception structurelle du projet et l'impact économique est souvent déterminant.

Les niveaux d'eau sont fixés dans les Documents Particuliers du Marché après une étude hydrogéologique à la charge du Maître d'Ouvrage et pilotée par la Maîtrise d'œuvre.

Les différents niveaux d'eau de la nappe devant figurer dans les pièces écrites sont notés :

- le niveau des plus basses eaux « EB » qui donne les actions permanentes.
- le niveau des hautes eaux « EH » qui correspond à la crue pouvant se produire au moins une fois tous les 10 ans. La différence avec le niveau EB donne les actions variables ;
- le niveau exceptionnel et conventionnel de l'eau « EE » qui correspond au niveau des plus hautes eaux connues et/ou prévisibles. La différence avec le niveau « EB » donne les actions accidentelles.

Le niveau EE correspond :

- soit au niveau des plus hautes eaux connues ou estimées de la nappe, basé sur le niveau de la crue centennale,
- soit au niveau des dispositifs physiques limitant l'effet de la sous-pression extérieure via remplissage de la structure du bâtiment. Dans ce cas, par sécurité, le niveau EE est pris 50cm au-dessus du niveau des dispositifs de remplissage.

Suivant son niveau, l'eau pourra donner lieu à une charge :

- permanente
- d'exploitation
- accidentelle

Tab.I.1. Niveaux des eaux souterraines [1].

Niveau de l'eau	niveau EB	Entre EB et EH	Entre EB et EE
Types de charges	permanentes	variables	Action accidentelle physiquement bornée
Action	(EB)	(EH-EB)	(EE-EB)
Notation DTU 14.1	Gw	Qw	Fw

La documentation relative au projet est censée décrire les 3 niveaux d'eau suivants :

- le niveau des basses eaux EB, qui donne lieu à une charge permanente.

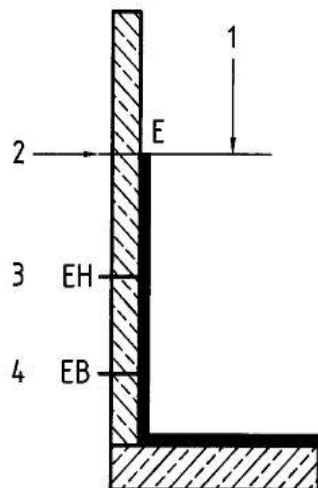
EB. Charge permanente Gw

- le niveau des hautes eaux EH. La différence avec EB donne lieu à une charge d'exploitation.

EH – EB. Charge d'exploitation Qw

- le niveau exceptionnel de l'eau EE. La différence avec EB donne lieu à une charge accidentelle.

EE – EB. Charge accidentelle Fw

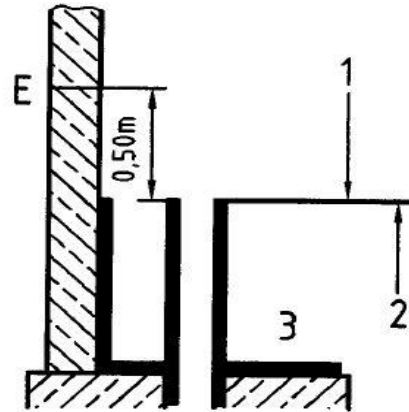


Légende

- 1 Arase cuvelage
- 2 Niveau des plus hautes eaux connues et/ou prévisibles
- 3 Hautes eaux
- 4 Basses eaux

FigI.4. Exemple de cas de locaux inondables.

Dans le cas où l'inondation des locaux est admise et est réalisée par des orifices (ou partout autre dispositif équivalent), ceux-ci doivent être convenablement dimensionnés de façon que le niveau « EE », et éventuellement le niveau « EH », puisse être pris égal à celui situé à 50 cm au-dessus du niveau du fil d'eau de ces orifices.



Légende

- 1 Arase cuvelage
- 2 Arase des orifices
- 3 Cuvelage

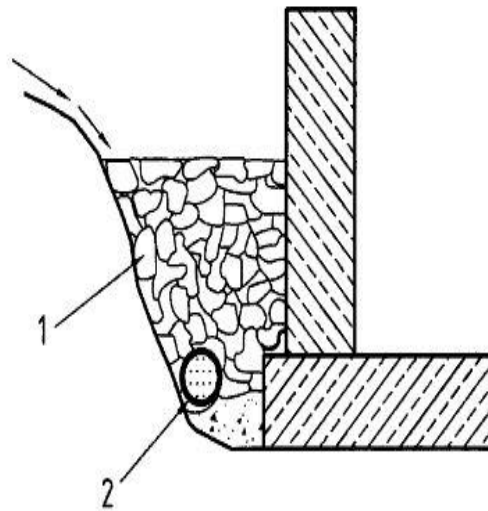
FigI.5. Exemple de cas de locaux inondables.

5.2 Cas des eaux de ruissellement et d'infiltration

Les eaux de ruissellement et d'infiltration correspondent à des actions permanentes (niveau EB).

Ce niveau EB correspond :

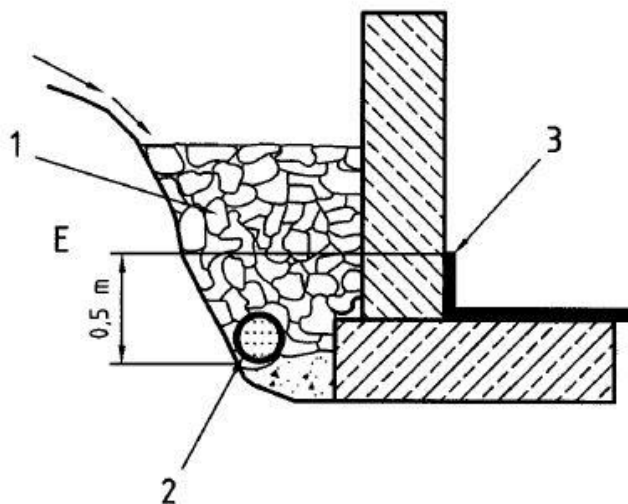
- au fil d'eau du réseau de drainage extérieur ou sous-jacent lorsqu'il existe.
- au fil d'eau des barbacanes ou du réseau de drainage extérieur ou sous-jacent lorsqu'il existe et à chaque fois qu'il n'y a pas d'imposition de revêtement d'imperméabilisation ou d'étanchéité plus 50 cm à chaque fois que les DPM formulent l'exigence d'un cuvelage avec revêtement d'imperméabilisation ou d'étanchéité.
- au niveau de l'exutoire naturel des couches perméables environnant l'ouvrage plus 50 cm lorsqu'il n'existe pas de drainage ou de barbacanes à chaque fois que les DPM formulent l'exigence d'un cuvelage avec revêtement d'imperméabilisation ou d'étanchéité ; ce niveau ne saurait dépasser le niveau de sol fini extérieur.



Légende

- 1 Matériau drainant
- 2 EB = Fil d'eau du réseau drainant

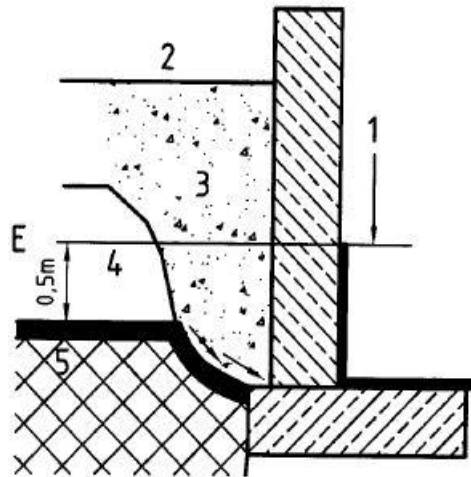
FigI.6. Exemple de cas d'eaux de ruissellement ou d'infiltration avec drainage avec revêtement.



Légende

- 1 Matériau drainant
- 2 EB = Fil d'eau du réseau drainant
- 3 Arase cuvelage

FigI.7. Exemple de cas d'eaux de ruissellement ou d'infiltration avec drainage avec revêtement.



Légende

- 1 Arase cuvelage
- 2 Niveau fini extérieur
- 3 Remblai
- 4 Terrain perméable
- 5 Terrain non perméable

FigI.8. Exemple de cas d'eaux de ruissellement ou d'infiltration sans drainage.

6. Action des eaux souterraines

L'action de l'eau dépend de son niveau

6.1. Etat-limite d'équilibre statique

Pour chaque point porteur, les charges verticales descendantes nominales aux actions permanentes doivent être au moins égales à 1.05 fois les charges ascendantes résultant de l'action de l'eau supposée au niveau E.

Tab.I.2. Pondérations d'actions en ELS d'équilibre statique.

Combinaison	Actions permanentes		Actions variables		Eau
	Défavorables	Favorables	Principale	Autres	
Niveau EE	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	0	0	1,05 Fw

6.2. Etat-limite ultimes de résistance [2].

- En combinaison fondamentale, lorsque l'eau est l'action variable de base, les coefficients de pondération sont de :
 - **1.5** pour sa partie variable.
 - **1.35** pour sa partie permanente.

Lorsque l'eau est l'une des actions d'accompagnement, le coefficient Ψ_0 associé est pris égal à **0.77**

- En combinaison accidentelle, lorsque l'eau est l'action accidentelle, on se réfère au niveau EE lorsque l'eau n'est pas l'action accidentelle, on retient comme valeur fréquente et comme valeur quasi permanente la différence des niveaux EE-EB.

Tab.I.3. Combinaisons d'actions en ELU [3].

Combinaisons fondamentales	Actions permanentes			Action variable dominante	Action variable d'accompagnement	
	défavorables	Favorables	eau		Principale	Autres
Action variable dominante = eau	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	γ_{Gw}	γ_{Qw}	$\gamma_{Q,1} \Psi_{0,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$
	1,35 $G_{kj,sup}$	1,0 $G_{kj,inf}$	1,35 G_w	1,5 Q_w	1,3 $\Psi_{0,1} Q_{k,1}$ (ou 0 si favorable)	1,3 $\Psi_{0,i} Q_{k,i}$ (ou 0 si favorable)
Action variable dominante = autre	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_{Gw} G_w$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Qw} \Psi_{0,w} Q_w$	$\gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$
	1,35 $G_{kj,sup}$	1,0 $G_{kj,inf}$	1,35 G_w	1,5 $Q_{k,1}$	Q_w (ou 0 si favorable)	1,3 $\Psi_{0,i} Q_{k,i}$ (ou 0 si favorable)

G_{kj} : Valeur caractéristique de l'action permanente j

$G_{kj,sup}/G_{kj,inf}$: Valeurs caractéristiques supérieure/inférieure de l'action permanente j

6.3. Etat-limite d'ouverture des fissures [2].

Les sollicitations de calcul résultent des combinaisons d'actions suivantes

- Charges permanentes
 - Action de l'eau
 - Action latérale des terres
 - Autres actions variables, affectée du coefficient $\Psi_0=0.77$
- } affectées du coefficient **1**

CHAPITRE I : Recommandations réglementaires

Pour l'enveloppe située sous le niveau de l'eau envisagé, il convient de vérifier que les contraintes limites de traction de l'acier et du béton ne sont pas dépassées.

Pour les cuvelages avec revêtement d'imperméabilisation, cette double vérification n'est à effectuer que pour les sections droites tendues du côté recevant le revêtement d'imperméabilisation, l'eau étant définie par son niveau E.

Pour les cuvelages à structure relativement étanche, la vérification de la contrainte de traction de l'acier est à faire pour les deux faces de la paroi.

La vérification de la contrainte de traction du béton doit être faite pour les sections droites tendues sur la face opposée à celle en contact avec l'eau, et uniquement dans les cas de traction simple ou de flexion composée avec traction, lorsque $e_0 \leq 0.5h_0$.

Tab.I.4. Combinaisons d'actions en ELS [3].

combinaison	Actions permanentes			Actions variables	
	défavorables	favorables	eau	Principale	Autres
Niveau EB	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	G_w	$Q_{k,i}$ (ou 0 si favorable)	$\Psi_{0,i} Q_{k,i}$ (ou 0 si favorable)
Niveau EH	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	G_w	Q_w	$\Psi_{0,i} Q_{k,i}$ (ou 0 si favorable)
Niveau EE	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	G_w	F_w	$\Psi_{0,i} Q_{k,i}$ (ou 0 si favorable)

7. Etat limite de service par limitation des contraintes [1].

L'ouverture des fissures est limitée par les conditions de limitation de la contrainte de l'acier tendu et de limitation de la contrainte de traction du béton en section homogène.

Ces conditions sont utilisées pour :

- Les cuvelages avec revêtement d'imperméabilisation,
- Les cuvelages à structure relativement étanche

Elles varient légèrement pour ces deux types de cuvelages.

7.1. Limitation de la contrainte de traction des aciers.

7.1.1. Cuvelage avec revêtement d'imperméabilisation

7.1.1.1. Sections droites tendues du coté recevant le revêtement d'imperméabilisation

L'action de l'eau est prise en compte à son niveau EE.

La contrainte de traction de l'acier tendu sur la face destinée à recevoir le revêtement d'imperméabilisation est limitée en fonction du type de béton et du diamètre des aciers.

$$\bar{\sigma}_s \leq \min\left(\frac{2}{3} f_e, \alpha \left(\sqrt{\frac{\eta x f_{t28}}{\Phi}} + 30\eta \right)\right) \quad (\text{Art 7.3.1.1. DTU14.1})$$

Avec :

$$f_e = f_{yk}$$

$$\alpha = 320$$

$\eta = 1,0$ pour les aciers ronds lisses et $1,6$ pour les aciers HA

Φ : diamètre de la barre en [mm]

$$f_{t28} = 0,6 + 0,06.f_{c28}$$

$$f_{c28} = f_{ck}$$

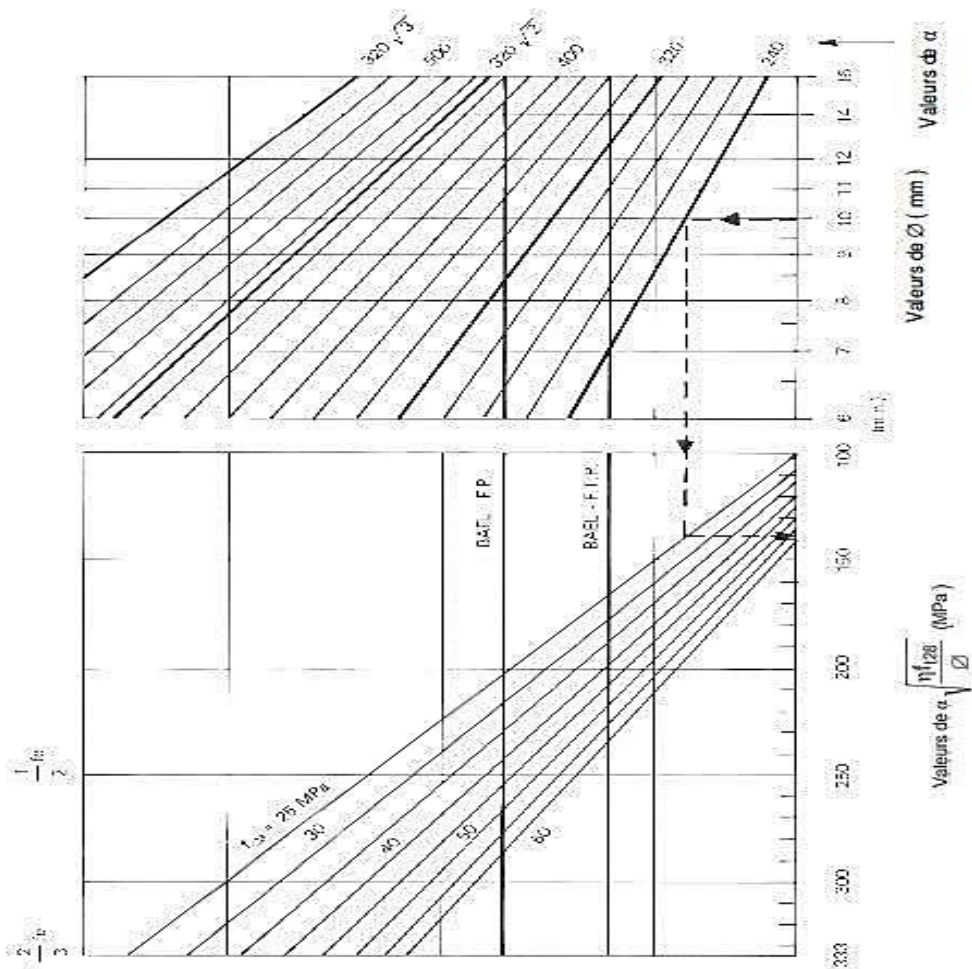
La majoration de $30.\eta$ ne peut être appliquée dans le cas d'eaux saumâtres ou agressives.

Le calcul est donc systématiquement effectué avec le niveau EE qui est le plus défavorable pour le calcul des armatures sur cette face.

7.1.1.2 Sections droites tendues du côté en contact avec l'eau

On distingue 3 cas pour appliquer la formule précédente :

- Lorsque l'eau est au niveau EB : la contrainte de l'acier est calculée avec la valeur $\alpha = 320$
- Lorsque l'eau est au niveau EH : la contrainte de l'acier est calculée avec la valeur $\sqrt{2}\alpha = 453$
- Lorsque l'eau est au niveau EE : la contrainte de l'acier est calculée avec la valeur $\sqrt{3}\alpha = 554$



FigI.9. contrainte de traction limite des treillis soudés en fonction de la résistance caractéristique du béton et de la valeur α .

(Les droites en trait fin correspondent à un pas de 20 dans les valeurs de α).[2]

7.1.1.3. Tableau récapitulatif

Les contraintes limites de traction des aciers exprimées selon les règles précédentes sont données dans le tableau suivant.

Tab.I.5. Contraintes maximales de traction dans les aciers pour un béton $f_{c28}=25$ [MPa].

béton		aci ers	face recevant le revêtement		face en contact avec l'eau					
					niveau EB		niveau EH		niveau EE	
fck [MPa]	25	\varnothing_{HA} [mm]	eau agressive	eau non agressive	eau agressive	eau non agressive	eau agressive	eau non agressive	eau agressive	eau non agressive
ft28 [MPa]	2.1		σ_s [MPa]	σ_s [MPa]	σ_s [MPa]	σ_s [MPa]	σ_s [MPa]	σ_s [MPa]	σ_s [MPa]	σ_s [MPa]
σ_{ct} [MPa]	3.85	6	239	287	239	287	333	333	333	333
		7	222	270	222	270	314	333	333	333
		8	207	255	207	255	293	333	333	333
		9	196	244	196	244	277	325	333	333
		10	185	233	185	233	262	310	321	333
		12	169	217	169	217	239	287	293	333
		14	157	205	157	205	222	270	272	320
		16	147	195	147	195	207	255	254	302
		20	131	179	131	179	185	233	227	275
		25	117	165	117	165	166	214	203	251
		32	104	152	104	152	147	195	180	228
40	93	141	93	141	131	179	161	209		

7.1.2. Cuvelage à structure relativement étanche

Les armatures sont calculées pour les deux faces avec les prescriptions du paragraphe 7.1.1.1.

$$\bar{\sigma}_s \leq \min\left(\frac{2}{3}f_e, \alpha \left(\sqrt{\frac{\eta x f_{t28}}{\Phi}} + 30\eta\right)\right) \quad (\text{Art 7.3.1.1. DTU14.1})$$

Avec :

$$f_e = f_{yk}$$

$$\alpha = 320$$

$\eta = 1,0$ pour les aciers ronds lisses et $1,6$ pour les aciers HA

Φ : diamètre de la barre en [mm]

$$f_{t28} = 0,6 + 0,06.f_{c28}$$

$$f_{c28} = f_{ck}$$

La limitation de la contrainte de traction des aciers est donc la même pour les deux faces et dépend du niveau d'eau (EB, EH ou EE).

- Lorsque l'eau est au niveau EB : la contrainte de l'acier est calculée avec la valeur $\alpha = 320$
- Lorsque l'eau est au niveau EH : la contrainte de l'acier est calculée avec la valeur $\sqrt{2}\alpha = 453$
- Lorsque l'eau est au niveau EE : la contrainte de l'acier est calculée avec la valeur $\sqrt{3}\alpha = 554$

7.1.3 – Cuvelage avec revêtement d'étanchéité [4].

Suivant le DTU 14.1, les calculs doivent être effectués en suivant les prescriptions du BAEL en supposant la fissuration préjudiciable ou très préjudiciable dans le cas d'un milieu agressif.

Le taux de travail dépend de la classe mais est constant quel que soit le diamètre des aciers utilisés :

- Fissuration préjudiciable : $\bar{\sigma}_s = \min\left(\frac{2}{3}f_e, \max\left(\frac{1}{2}f_e, 110\sqrt{\eta \cdot f_{t28}}\right)\right) = \xi$
- Fissuration très préjudiciable : $\bar{\sigma}_s = 0.8\xi$

7.2. Limitation de la contrainte de traction de la fibre de béton la plus tendue [1].

7.2.1. Cuvelage avec revêtement d'imperméabilisation

La vérification doit être effectuée pour les zones tendues de la face recevant le revêtement d'imperméabilisation.

Avec :

- $\sigma_{ct} = 1,10 \cdot \theta \cdot f_{t28}$.
- $\theta = 1$ en traction simple.
- $\theta = 1 + \frac{4 \cdot e_0}{3 \cdot h_0}$ en flexion composée avec traction si l'excentricité de l'effort de traction (e_0) ne dépasse pas la demi-épaisseur de la paroi ($\frac{h_0}{2}$).
- $\theta = \frac{5}{3}$ dans les autres cas.

7.2.2. Cuvelage à structure relativement étanche

La contrainte de traction de la fibre de béton la plus tendue doit être vérifiée pour les sections droites tendues sur la face opposée à celle en contact avec l'eau et uniquement dans le cas de traction simple ou de flexion composée avec traction, quand l'excentricité est au plus égale à la demi-épaisseur de la paroi.

7.2.3. Cuvelage avec revêtement d'étanchéité

La contrainte de traction de la fibre de béton la plus tendue n'est pas à vérifier dans ce cas.

7.3. Dispositions constructives [5].

- Le diamètre des fils de treillis soudé doit être au moins égal à 6 mm (HA) et 8 mm (ronds lisses)
- L'enrobage de chaque armature est au moins égal à :
 - Son diamètre si elle est isolée
 - La largeur du paquet dont elle fait partie dans le cas contraire
- Espacement des aciers
 - Dans le sens principal porteur $S_{\max} = \min(33 \text{ cm}, 1,5h_0)$, h_0 épaisseur de la paroi
 - Dans le sens de la répartition $S_{\max} = \min(45 \text{ cm}, 1,5h_0)$, h_0 épaisseur de la paroi
- Pourcentage minimal
 - Radiers ou murs coulés avec des zones de clavetage $\rho_{\min} = 0,5\% \leq 2 \text{ cm}^2/\text{m}$
 - Autres radiers ou murs $\rho_{\min} = 1\% \leq 4 \text{ cm}^2/\text{m}$

Chapitre II
Application sur
le bâtiment

1. Présentation de l'ouvrage

L'ouvrage objet de la présente étude est un bâtiment R+9 à usage d'habitation, implanté à Ouled-Fayet wilaya d'Alger, la région d'Alger est classé zone III par le Règlement Parasismique Algérien (RPA 99 version 2003).

L'ouvrage est classé en groupe d'usage 2, c'est un ouvrage d'importance moyenne (ouvrage courant) et il est implanté dans un site meuble (S3) selon le règlement parasismique algérien (RPA 99 versions 2003).

Le bâtiment est de forme U avec décrochements en plan qui restent dans les limites admissibles du RPA 99 version 2003, il a une surface d'impact totale à la base de **806.48 m²**.

Ce bâtiment se compose de 10 niveaux (RDC plus 9 étages) réservés aux logements, chaque niveau comporte quatre logements (2F4 et 2F3) avec une communication verticale par un escalier et un ascenseur, la terrasse est de type inaccessible (sauf pour l'entretien) avec un système d'étanchéité multicouches, forme de pente en béton et une isolation thermique en liège.

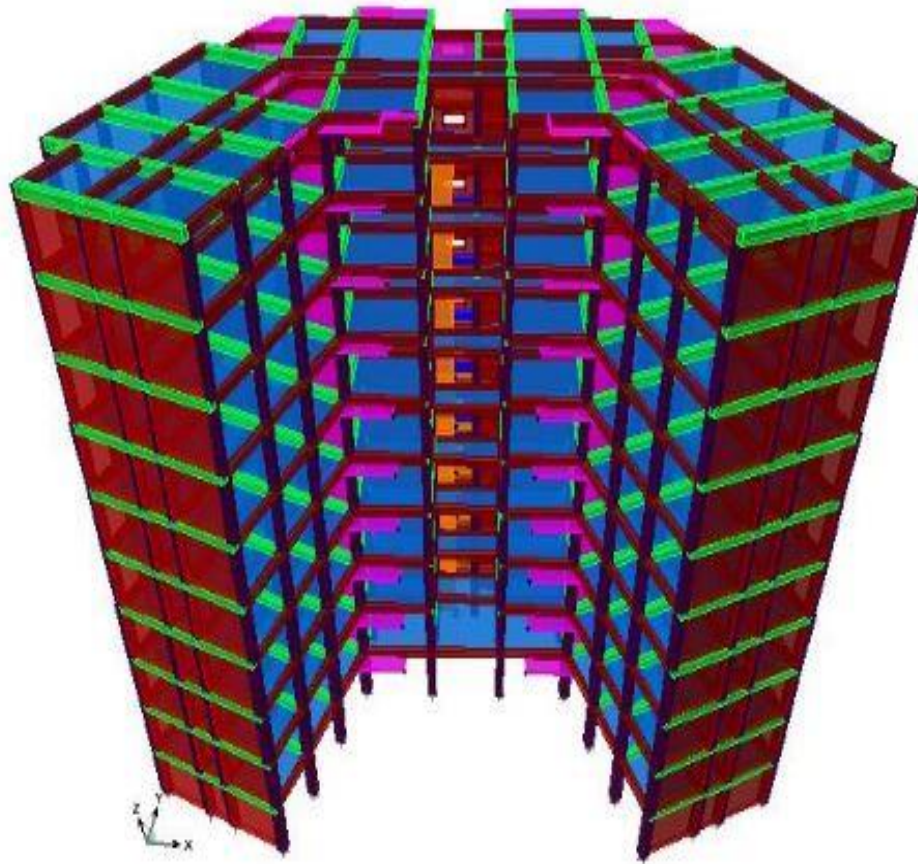
1.1. Caractéristiques géométriques du bâtiment :

A. Dimensions en plan :

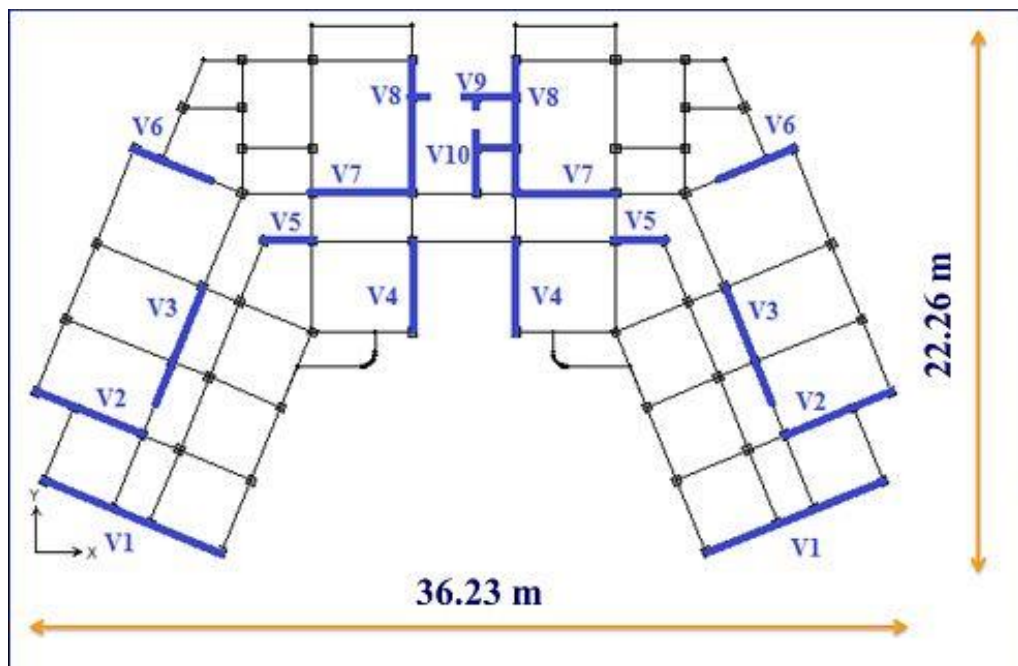
- Longueur : **36.23 m**
- Largeur : **22.26 m**

B. Dimensions en élévation :

- La hauteur totale est de **31.20** mètres (y compris l'acrotère).
- la hauteur d'étage est de **3.06** mètres pour tous les niveaux (10 niveau).
- la hauteur d'acrotère est de **0.60** mètre.



FigII.1. Modèle 3-D de la structure



FigII.2. Vue en plan de la structure

1.2. Caractéristiques des matériaux

Les matériaux choisis sont conformes aux règles techniques de conception et de calcul des structures en béton armé CBA 93.

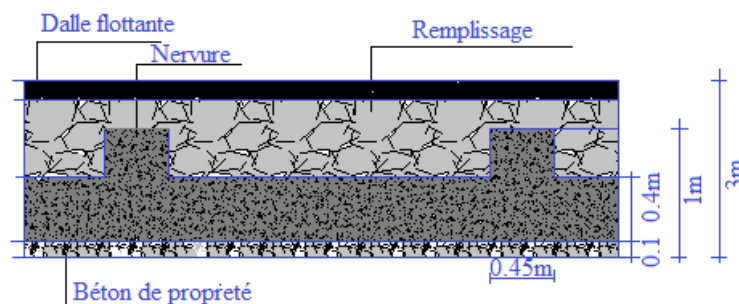
- Béton Armé ordinaire $\rho = 2500\text{Kg/m}^3$
- Résistances caractéristiques du béton : $f_{c28} = 25\text{ MPa}$.
- Acier HA FeE400 $\longrightarrow f_e = 400\text{ MPa}$.

1.3. Type de fondation utilisé

Les fondations ont pour objet de transmettre au sol les efforts apportés par les éléments de la structure (poteaux, murs, voiles ...).

La détermination de type de fondation est fonction des conditions de résistance et de tassement liées aux caractéristiques physiques et mécaniques des sols.

Pour le cas de la structure étudiée, nous avons utilisé un radier général comme fondation.



FigII.3. Coupe du radier

2. Contexte hydrogéologique du site [6].

La région du Oulad-fayet est formée des sols d'âges ASTIEN, reposant sur un substratum marneux épais et renfermant une nappe aquifère, avec une épaisseur variable qui s'alimente principalement par l'infiltration des eaux de pluies, et les apports de la nappe alluviale sus-jacente dans le piémont de L'ATLAS.

Dans le terrain d'étude la présence d'eau a été signalée à la profondeur de 6.00 m (rapport de sols essais de pénétration dynamique N°24, 25, ainsi par sondages N°4,8et 19)

3. Analyse des risques

3.1. Remontée de nappe

En présence d'un risque de remontée de nappe phréatique ou de crue de rivière, il convient, avant de mettre en place une solution technique efficace, de connaître le niveau des eaux et ses variations possibles.

- **Comment évaluer le risque ?**

En se renseignant auprès des services publics, mairie, Agences de l'eauEtc.

3.2. Eaux de ruissellement

Toute paroi enterrée est susceptible d'être confrontée aux eaux de ruissellement. Mais le risque d'infiltration est fonction de la quantité d'eau en contact avec le cuvelage.

- **Comment évaluer le risque ?**

La quantité d'eau qui risque de stagner en présence d'un mur de paroi dépend essentiellement de deux facteurs.

- ✓ La topographie du lieu : un bâtiment en bas de pente est évidemment plus exposé.
- ✓ La nature du sol : plus le sol est perméable (et bien sûr non inondable et non daigné par une nappe), plus le risque diminue.

4. Préventions

4.1 Remontée de nappe

En présence d'un risque de remontée de nappe, seul un cuvelage peut être efficace.

Vérifier alors les points suivants :

- la structure (radier et parois) doit être capable de résister sans désordre aux sous pressions et aux risque de tassements différentiels .elle ne peut être en béton armé.
- les ouvrages à étancher doivent être de forme aussi simple que possible .il faut limiter au maximum le nombre de points singuliers (joints, passages et fixations de canalisation.....).



FigII.4. Nature de cuvelage ou du revêtement d'étanchéité tous dépende de la Remontée de nappe

4.2 Eaux de ruissellement

En présence d'un risque important d'eaux de ruissellement, il faut prévoir un drainage.

Encore faut-il qu'il soit possible d'évacuer les eaux collectées vers un collecteur d'eau, exutoire nature ou égout.

Un drainage comporte obligatoirement.

- Une tranchée drainante remplie de matériaux perméables.
- Un drain installé au fond de la tranchée.
- Un dispositif de collecte et d'évacuation des eaux recueillies par les drains.

Veillez alors aux points suivants :

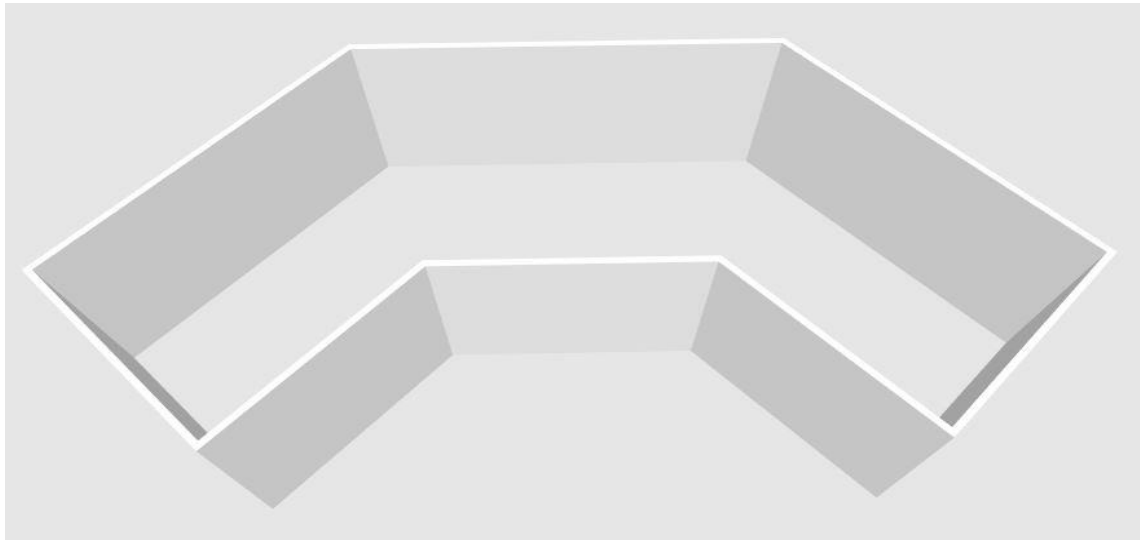
- Nature du remplissage de la tranchée, il faut des matériaux granuleux, il faut également respecter l'ordre de superposition des couches. Les matériaux les plus perméable doivent être au fond de la tranchée et superposés dans les sensdécroissant de perméabilité. Lorsque le terrain est à grains fins, il faut enrober la couche de graviers d'un textile non tissé pour éviter que la terre ne bouche les espaces entre les cailloux.
- Exécution des regards de visite, il faut les réaliser à chaque changement de direction du drain et en son point haut.
- Evacuation des eaux collectées. Certaines dispositions sont à éviter (puisard absorbant) ou à déconseiller dans les cas courants (pompes de relevage).



FigII.5. Solution traditionnelle de tranchée et canalisation drainante

5. Etude du cuvelage

Le cuvelage est un caisson étanche installé dans le sous-sol. Il est destiné à empêcher les remontées capillaires (infiltrations verticales venant du sol sous le bâtiment) et les infiltrations d'eau par pression hydrostatique (infiltrations latérales).



FigII.6. Modèle 3-D du cuvelage

5.1 Choix du type de cuvelage.

Suivant le contexte hydrogéologique du site, et le type des fondations utilisées pour notre projet, et à partir aussi des critères de choix du type de cuvelage donné par les règlements, on a conclu que le meilleur choix c'est le cuvelage avec revêtement d'étanchéité.

Ce type de cuvelage s'applique essentiellement aux ouvrages immergés en béton armé fondés soit par radier général, soit par des fondations profondes.

Le cuvelage doit être complété par un contre-cuvelage interne ou externe au revêtement d'étanchéité.

Le contre-cuvelage externe comporte un pré-radier et soit des voiles périphériques réalisés avant le cuvelage, soit des ouvrages de protection réalisés après le cuvelage.

5.2. Étude du contre-cuvelage (voile périphérique).

La voile périphérique sera calculée comme une dalle pleine qui s'appuie sur 4 cotés et sollicitée en flexion simple sous l'action de poussée de la terre.

La voile périphérique doit avoir les caractéristiques minimales suivantes RPA :

- Epaisseur ≥ 15 cm.
- Les armatures sont constituées de deux nappes.
- Le pourcentage minimum des armatures est de 0,10 % dans les deux sens (horizontal et vertical)

➤ **Détermination de la poussée des terres**

On supposera que la poussée des terres exerce sur le voile périphérique une charge répartie sur une bande d'un mètre et de valeur égal à :

$$Q = (K \cdot \gamma \cdot h) - \frac{c}{\operatorname{tg} \varphi} (1 - K) \text{ avec } K = \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)$$

Avec :

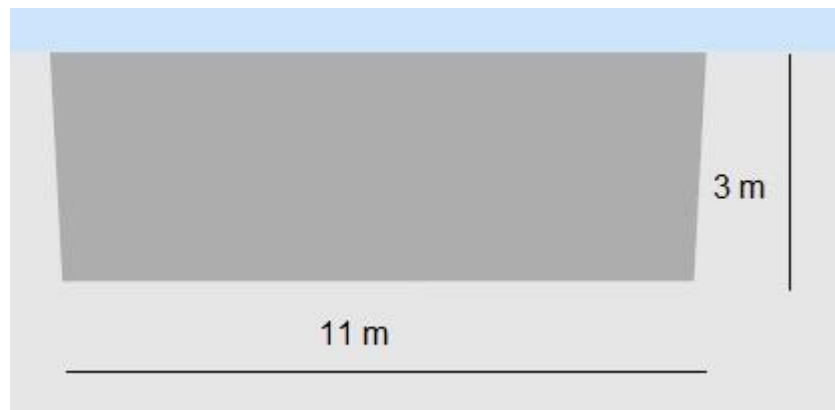
- K : Coefficient numérique fonction de l'angle de frottement φ du talus naturel des terres, de l'inclinaison du mur et de l'inclinaison du remblai au-dessus du plan horizontal passant par le sommet du mur.
- γ : poids spécifique des terres.
- h : hauteur du mur (3m).
- C : terme de cohésion.
- φ : angle de frottement.
- Les caractéristiques du sol sont celles d'une argile

$$\text{Avec } \begin{cases} \varphi=30^\circ \\ \gamma=18 \text{ kN/m}^3 \\ C=0 \end{cases} \longrightarrow Q=17,82 \text{ kN/m}^2$$

➤ **Calcul du ferrailage**

Le ferrailage sera déterminé pour une bande de 1 m de voile. Pour ce faire on calculera le panneau selon le règlement BAEL.

On prendra un panneau de hauteur de 3 m et longueur 11 m.



FigII.7. Schéma statique d'un panneau du voile périphérique

On a :

$$\rho = \frac{l_x}{l_y}$$

$$\text{Avec : } \begin{cases} l_x=3 \text{ m} \\ l_y=11 \text{ m} \end{cases} \longrightarrow \rho = 0.27$$

$\rho \leq 0,4$ D'après le BAEL on calculera le panneau comme une poutre sollicitée en flexion simple.

$$\left[\begin{array}{l} M_x = Q \cdot \frac{l_x^2}{8} \\ M_y = 0 \end{array} \right. \text{ d'où } M_x = 20,05 \text{ kN.m} \longrightarrow \left[\begin{array}{l} \text{moment sur appuis } M_{ax} = 10,025 \text{ kN.m} \\ \text{moment à mi travée } M_{tx} = 17,024 \text{ kN.m} \end{array} \right.$$

Ainsi pour chaque bande de 1m ($b = 1\text{m}$), nous avons déterminé les moments de service correspondant.

Le dimensionnement se faisant à l'ELS (M_{ser} connu), nous cherchons le moment résistant du béton M_{rb} tel que l'état limite de compression du béton ($\sigma_{bc} = \overline{\sigma_{bc}}$) et l'état limite d'ouverture de fissures ($\sigma_s = \overline{\sigma_s}$) soient atteint simultanément.

La fissuration étant considérée très préjudiciable:

Nous utilisons un diagramme linéaire car nous restons dans le domaine élastique, la contrainte admissible du béton vaut:

$$\overline{\sigma_{bc}} = 0,6f_{c28} = 0,6 \times 25 = 15 \text{ MPa}$$

Nous limitons la contrainte de traction des aciers pour tenir compte des risques de fissuration.

Le voile périphérique devra assurer l'étanchéité de la structure

$$\overline{\sigma_s} = 0,8\xi$$

$$\xi = \min\left(\frac{2}{3}f_e, \max\left(\frac{1}{2}f_e, 110\sqrt{\eta \cdot f_{t28}}\right)\right)$$

$$\frac{2}{3}f_e = \frac{2}{3}400 = 266,66 \text{ MPa}$$

$$\frac{1}{2}f_e = 0,5 \cdot 400 = 200 \text{ MPa}$$

$\eta = 1,6$ pour des armatures HA de diamètre supérieur à 6 mm

La résistance à la rupture par traction est:

$$f_{t28} = 0,6 + 0,06f_{c28} = 0,6 + 0,06 \cdot 25 = 2,1 \text{ MPa}$$

$$110\sqrt{\eta \cdot f_{t28}} = 695,70 \text{ MPa}$$

Ainsi

$$\overline{\sigma_s} = 0,8\xi = 0,8 \cdot 200 = 160 \text{ MPa}$$

➤ **Ferraillage sur appuis**

Le panneau présente les caractéristiques suivantes :

$b = 100 \text{ cm}$; $h = 20 \text{ cm}$; $d = 18 \text{ cm}$; $d' = 2,5 \text{ cm}$; $f_{bc} = 14,17 \text{ MPa}$; $M_{ax} = 10,025 \text{ kN.m}$

$$\bar{\alpha}_1 = \frac{15\bar{\sigma}_{bc}}{15\bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_s} \quad \text{donc } \bar{\alpha}_1 = 0,58$$

$$M_{rb} = \frac{\bar{\alpha}_1}{2} \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_1}{3}\right) * b_0 \cdot d^2 \cdot \bar{\sigma}_{bc} \quad \text{donc } M_{rb} = 0,11 \text{ MN.m}$$

Soit

$$M_{ser} = 0,010 \leq M_{rb} = 0,11 \text{ MN.m}$$

$$Z = d * \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_1}{3}\right) \quad \text{donc } Z = 0,145 \text{ m}$$

$$A_u = \frac{M_{ser}}{Z * \bar{\sigma}_s} \quad \text{donc } A_u = 4,47 \text{ cm}^2$$

✓ **Vérification de la condition de non fragilité [7].**

$$A_u \geq A_{min} = 0,23 A b_0 \cdot d \cdot \frac{f_{t28}}{f_e} \quad \Longrightarrow \quad A_u = 4,47 \text{ cm}^2/\text{ml} \geq A_{min} = 2,17 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

Donc : condition vérifiée

La section d'acier à apprendre pour une bande de 1m et par face est $A_{s/face} = 5\text{HA}12$ avec un espacement de 20 cm

Pour les armatures de répartition on prendra $\Longrightarrow A_t = 4\text{HA}8$ avec un espacement de 25 cm.

➤ **Ferraillage à mi travée**

$$\bar{\alpha}_1 = \frac{15\bar{\sigma}_{bc}}{15\bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_s} \quad \text{donc } \bar{\alpha}_1 = 0,58$$

$$M_{rb} = \frac{\bar{\alpha}_1}{2} \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_1}{3}\right) * b_0 \cdot d^2 \cdot \bar{\sigma}_{bc} \quad \text{donc } M_{rb} = 0,11 \text{ MN.m}$$

Soit

$$M_{ser} = 0,017 \leq M_{rb} = 0,11 \text{ MN.m}$$

$$Z = d * \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_1}{3}\right) \quad \text{donc } Z = 0,145 \text{ m}$$

$$A_u = \frac{M_{ser}}{Z * \bar{\sigma}_s} \quad \text{donc } A_u = 7,33 \text{ cm}^2$$

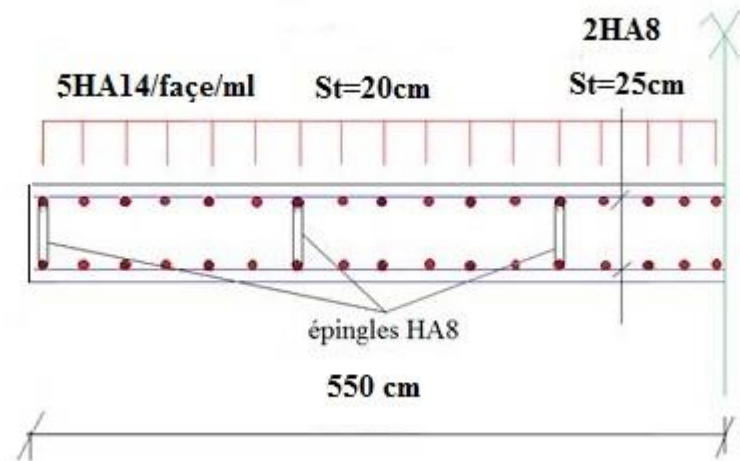
✓ **Vérification de la condition de non fragilité [7].**

$$A_u \geq A_{min} = 0,23 A b_0 \cdot d \cdot \frac{f_{t28}}{f_e} \quad \Longrightarrow \quad A_u = 7,33 \text{ cm}^2/\text{ml} \geq A_{min} = 2,17 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

Donc : condition vérifiée

La section d'acier à apprendre pour une bande de 1m et par face est $A_{s/face}=5HA14$ avec un espacement de 20 cm

Pour les armatures de répartition on prendra $\implies A_t = 4HA8$ avec un espacement de 25 cm.



FigII.8. Ferrailage du voile périphérique

Conclusion

Conclusion

Les dégâts dus à l'eau peuvent être très importants. Ils sont inquiétants et redoutés du fait de leur caractère évolutif. D'autre part les inondations qui se généralisent un peu partout dans le monde incitent à une vigilance encore plus accrue pour la conception et la réalisation de l'étanchéité des ouvrages.

L'Algérie doit se doter d'une réglementation adéquate et veiller à son application pour éviter les pertes humaines et matérielles.

Les difficultés d'intervention dans les ouvrages souterrains et les coûts des réparations doivent amener à une conception plus adaptée et à une réalisation soignée.

De nombreux points et paramètres n'ont pas été abordés dans ce mémoire, néanmoins ce modeste travail a été effectué dans le but de susciter l'intérêt et de modifier les comportements des professionnels de la construction qui doivent placer la réalisation de l'étanchéité, et plus particulièrement de l'étanchéité des ouvrages souterrains au premier plan de leurs préoccupations.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] **Norme NF P 11-221-1 (DTU 14.1)** Travaux de cuvelage – AFNOR, mai 2000. PARIS- Mars 1992.
- [2] **D.T.R-BC.2.34.** Règles de conception des cuvelages. Ministère de l’habitat et de l’urbanisme.
- [3] **EUROCODE 2** : calcul des structures en béton – Partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments (décembre 2004),
- [4] **BAEL91** : Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites. (Centre scientifique et technique du bâtiment)
- [5] **C.B.A .93:** Règles de conception et de calcul des structures en béton arme. (Centre national de recherche appliquée en Génie Parasismique), ALGER 1994.
- [6] **RAPOPRT DE SOL** .bureau d’études BEREG (BAB Ezzouar - Alger).
- [7] **RPA99-2003** : Règles parasismique algériennes 1999 version 2003. (Centre national de recherche appliquée en Génie Parasismique), ALGER 2ème trimestre 2004.
- [8] Cours de bâtiment, Béton armé et MDS (Ecole Nationale Polytechniques-d'Alger).