

République Algérienne Démocratique et Populaire

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique**

Ecole Nationale Polytechnique



Département de Génie Civil

Mémoire

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

Thème

Etanchéité des ouvrages souterrains

Application à un parking souterrain

Réalisé par :

KALLECHE Seif-Eddine

Soutenu publiquement le **14 / 10 / 2015** devant le jury composé de :

Présidente :	Mme. R.KETTAB.	Professeur ENP
Examineurs :	Mme. N.BAUCHE.	M.A.A ENP
	M. M.DEMIDEM.	M.A.A ENP
Rapporteur :	Mme. A.CHIKH.	M.A.A. ENP

Promotion 2015

Ecole Nationale Polytechnique 10, Avenue Hassen Badi BP182 El -Harrach16200 Alger « Algérie »

ملخص

إن الهدف من هذا العمل هو دراسة كيفية حماية المنشآت التحت أرضية وفي الأخير يخلص هذا العمل الى تطبيق مباشر على عمارة سكنية من الخرسانة المسلحة ذات طابق أرضي بالاستعمال نظام التغليف المعروف باسم Cuvelage اعتمدنا في هذا العمل على مجموعة من القوانين:

DTU14.1 ; DTR ; RPA99 version 2003 ; BAEL91

كلمات مفاتيح

المنشآت التحت ارضية، التغليف

Résumé

Le but de ce travail est d'étudier l'étanchéité des ouvrages souterrains avec une application pour un parking souterrain par l'application d'un cuvelage

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

DTU14.1 - - DTR - RPA99version2003 - BAEL91

Mots clés

Cuvelage - étanchéité - ouvrages souterrains

The aim of this work is to study the sealing system of the underground structures with an application to an underground parking using the process called "Cuvelage".

This brief has been prepared in accordance with the next rules:

DTU14.1 ; DTR ; RPA99version2003 ; BAEL91

Key words

Cuvelage - sealing system - underground structures

Remerciements

Tout d'abord je tiens à remercier et en premier lieu Dieu le tout puissant, qui m'a donné la force et le courage de finir ce travail.

Je remercie cordialement ma mère et ma sœur, qui m'ont aidé et soutenu pendant mes études, ainsi que toute ma famille et mes amis.

Je remercie ma promotrice M^{me} A. CHIKH de m' avoir aidé, suivi, et soutenu tout au long de ce travail.

Mes remerciements vont aussi aux membres de jury qui me feront l'honneur de juger mon travail.

Toute ma gratitude va à tous les enseignants qui ont contribué à ma formation.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

*A la mémoire de mon père que Dieu lui accorde sa miséricorde et lui réserve
une place dans son vaste paradis.*

A ma chère mère pour son précieux soutien durant toute ma vie.

A ma chère sœur.

A toute ma famille

A tous mes amis et ceux qui me sont chers.

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Les excavations souterraines sont parmi les premiers témoignages de l'activité humaine. Bien sûr, c'est la nature et non l'homme qui est à l'origine des premiers ouvrages souterrains. Ainsi, depuis l'aube de l'humanité de nombreuses raisons ont poussé l'homme à utiliser l'espace souterrain.

Aujourd'hui, vu le développement rapide de l'urbanisation, la surface du sol dans les villes est de plus en plus encombrée et cette surface sera de plus en plus souvent rendue aux activités ludiques. Les problèmes de circulation et d'équipement urbains peuvent être résolus par une solution souterraine : voirie souterraine, métro, réseaux divers, parking...

Ainsi, de nombreuses raisons ont poussé l'homme à l'exploitation du souterrain, parmi lesquelles on peut citer:

- Dans de nombreux cas, l'utilisation du sous-sol résulte d'un manque d'espace à la surface et fournit à la fois une protection contre les climats défavorables et de substantielles économies d'énergie.
- Les ouvrages souterrains sont naturellement protégés contre les intempéries (ouragans, tornades, orages et autres phénomènes naturels), de plus ils sont moins sensibles aux ondes sismiques de surface.
- Ils offrent des avantages en matière de protection des objets et produits qu'ils abritent dans des conditions de température modérée et constante et par la possibilité de créer un environnement étanche.
- Pour le bruit, le terrain offre une protection contre les explosions en absorbant les chocs et l'énergie dissipée.
- On peut stocker des déchets nucléaires et certaines installations comme les centrales nucléaires.
- En matière de sécurité, le principal avantage des ouvrages souterrains réside dans le nombre limité de leurs accès et la facilité de les sécuriser.
- Le sol fournit également des avantages en matière de protection de l'environnement.
- Les ouvrages souterrains permettent de préserver la végétation naturelle, il en résulte des dommages moins grands sur les cycles écologiques au niveau local et

Introduction générale

mondial. La végétation, les habitats, les passages pour animaux et la photosynthèse sont protégés dans une plus grande mesure qu'avec des constructions en surface.

Dans la plupart des cas, que ce soit pour l'exécution ou pour l'exploitation des ouvrages souterrains, l'eau agit sur ces ouvrages suivant des processus physiques et chimiques.

Rares sont les ouvrages souterrains où, lors de l'exécution ou de l'exploitation, l'on ne rencontre pas des venues d'eau.

Les venues d'eau non maîtrisées peuvent également conduire à une dégradation accélérée des ouvrages :

- L'écoulement de l'eau à travers le béton du revêtement provoque à la longue sa détérioration par attaque chimique ou, quand la pression hydrostatique extérieure est élevée, par érosion mécanique, ou encore par action du gel .
- Des ruissellements permanents finissent par dégrader la chaussée et par abîmer les équipements.
- Dans les conduits d'air frais, la présence d'eau en paroi peut entraîner en hiver une réduction importante, voire une obturation de la section des conduits par formation de glace et une surcharge des structures dans le cas d'un plafond.

L'étanchéité des ouvrages souterrains est une opération qui vise à réduire et contrôler le débit d'eau pénétrant à l'intérieur d'un ouvrage souterrain pendant et après son exécution

Souvent présente dans les terrains encaissants, l'eau endommage généralement les ouvrages souterrains qu'on y creuse ou perturbe leur réalisation ou leur exploitation. Il est donc nécessaire de prévoir des dispositifs pour contrôler son infiltration ou sa circulation dans les ouvrages. Plusieurs techniques sont utilisées dans ce but, dont les principales sont : la réalisation de barrières étanches (béton de revêtement, éventuellement traité, injections, couches d'étanchéité) et le

Introduction générale

drainage qui permettent de réduire la pression de l'eau et de la laisser circuler librement dans un système artificiel qui protège l'ouvrage de l'intérieur.

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE.....	1
----------------------------	---

CHAPITRE I : Reconnaissances hydrogéologiques des sols et Problèmes posés par l'eau

1 Objectifs.....	5
2 Moyens de reconnaissances hydrogéologiques.....	5
2.1 Inventaire des données existantes.....	5
2.2 Levé hydrogéologique de surface.....	5
2.3 Sondages.....	6
3 Problèmes posés par l'eau.....	6
3.1 Cas des sols.....	7
3.2 Cas des roches.....	7

CHAPITRE II : Cadre réglementaire

1 Le cahier des clauses techniques générales titre III du fascicule 67.....	10
1.1 Domaine d'application.....	10
1.2 Définitions.....	10
1.2.1 Étanchéité.....	10
1.2.2 Étanchement et système d'étanchéité.....	10
1.2.3 Localisation de l'étanchéité.....	10
1.2.4 Support d'étanchéité.....	11
1.3 Produits utilisés.....	11
1.4 Les différents types d'étanchéité.....	12
1.4.1 Drainage.....	12
1.4.2 Étanchéité propre du revêtement.....	14

Table des matières

1.4.3 Couches d'étanchéité.....	15
2 DTU 14.1 - Travaux de cuvelage.....	16
2.6 Niveaux de l'eau.....	17
2.6.2 Cas d'une nappe d'eau.....	17
2.6.3 Cas des eaux de ruissellement et d'infiltration.....	19
3 Types de cuvelage.....	21
3.4 Cuvelages avec revêtement d'imperméabilisation.....	21
3.4.2 Revêtement mince à base de mortier.....	22
3.4.3 Revêtement épais à base de mortier.....	22
3.4.4 Revêtement à base de résine.....	23
3.4.5 Revêtement de minéralisation de surface.....	23
3.5 Cuvelages à structure relativement étanche	23
3.6 Cuvelages avec revêtement d'étanchéité	24
3.6.2 Revêtement type asphalte en partie courante	24
3.6.3 Revêtement d'étanchéité traditionnelle	24
4 Critères de choix.....	25

CHAPITRE III : Application à un parking souterrain

1 Présentation de l'ouvrage.....	27
1.1 Dimensions en plan	27
1.2 Dimensions en élévation	27
1.3 Rapport hydrogéologique du site.....	29
2 Etude du cuvelage.....	29
2.2.1 Détermination de la poussée des terres.....	31

Table des matières

2.2.2 Calcul du ferrailage.....	32
---------------------------------	----

Liste des figures

Chapitre II : Cadre réglementaire

FIGURE II.1: PARTIE IMMERGÉE DU BATIMENT.....	ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.
FIGURE II.2: EXEMPLE DE CAS D'UNE NAPPE	18
FIGURE II.3: EXEMPLE DE CAS DE LOCAUX INONDABLES	19
FIGURE II.4: EXEMPLE DE CAS D'EAUX DE RUISSELLEMENT OU D'INFILTRATION AVEC DRAINAGE SANS REVETEMENT.....	20
FIGURE II.5: EXEMPLE DE CAS D'EAUX DE RUISSELLEMENT OU D'INFILTRATION AVEC DRAINAGE AVEC REVETEMENT	20
FIGURE II.6: EXEMPLE DE CAS D'EAUX DE RUISSELLEMENT OU D'INFILTRATION SANS DRAINAGE	21

Chapitre III : Application a un parking souterrain

FIGURE III.1 VUE EN PLAN DU SOUS-SOL	28
FIGURE III.2 EXEMPLES DE CUVELAGES	31
FIGURE III.3 SCHEMA STATIQUE DU VOILE PERIPHERIQUE	31
FIGURE III.4 SCHEMA DE FERRAILLAGE DU VOILE PERIPHERIQUE.....	33

Liste des tableaux

Chapitre III : Application a un parking souterrain

TABIII.1 DIMENSIONS EN PLAN	27
TABIII.2 DIMENSIONS EN ELEVATION	27
TABIII.3 CARACTERISTIQUES MECANIQUES DU BETON	28
TABIII.4 CARACTERISTIQUES MECANIQUES DE L'ACIER	29
TABVIII.5 SOLLICITATIONS DE CALCUL.....	33
TABVIII.5 FERRAILLAGE DU RADIER.....	33

CHAPITRE I

Reconnaissances hydrogéologiques des sols et Problèmes posés par l'eau

1 Objectifs

Les reconnaissances et études hydrogéologiques représentent une étape très importante dans le cadre de la réalisation d'un ouvrage souterrain.

En général, elle s'effectue en même temps que l'étude géologique qui a pour but de déterminer :

- Les formations aquifères et les terrains imperméables ;
- Le régime hydraulique (nappes, circulations souterraines...) ;
- La perméabilité des terrains ;
- Les réseaux karstiques éventuels ;

Ces renseignements permettent de définir ;

- La nature des venues d'eau possibles le long du tracé ;
- La charge, le débit, la composition chimique et minéralogique des eaux (choix des ciments...) ;
- Les traitements envisageables (rabattement, drainage, étanchement...).

2 Moyens de reconnaissances hydrogéologiques

2.1 Inventaire des données existantes

- Documents et études donnant des indications sur les nappes et les caractéristiques hydrauliques des terrains dans la zone concernée (sondages antérieurs, pompages...),
- Inventaire des circulations souterraines ,
- Documents climatiques et météorologiques ,
- Archives de construction d'ouvrages souterrains dans des conditions analogues ou situées à proximité, puits de pompage en site urbain...

2.2 Levé hydrogéologique de surface

Il est effectué en même temps que le levé géologique et peut comprendre :

Chapitre I : Reconnaissances hydrogéologiques des sols

- Le relevé des sources, puits,...
- Le relevé des zones d'infiltration.
- Les mesures de débit des sources et puits.

2.3 Sondages

Les sondages, quel que soit leur type, vont permettre d'effectuer des observations et des mesures in situ très utiles à la compréhension de l'environnement hydrogéologique de l'ouvrage projeté.

Il s'agit principalement :

- De poser des piézomètres dont le bon fonctionnement doit être vérifié périodiquement. Il convient d'agir ainsi de façon systématique dans les sols, la localisation des niveaux aquifères et la forme de la nappe devant impérativement être connues.
- De faire des essais in situ, pour quantifier les caractéristiques des terrains (perméabilité) et de la nappe (extension, coefficient d'emmagasinement, transmissibilité,...).

3 Problèmes posés par l'eau

Les problèmes posés par la présence d'eau ont en général des conséquences très importantes pour le maître d'œuvre. Les principaux problèmes posés par l'eau souterraine sont :

- l'irruption d'eau avec des débits importants susceptibles de créer des problèmes d'exhaure importants ou même de noyer le chantier,
- l'instabilité de l'excavation sous l'effet des gradients hydrauliques dirigés vers l'excavation, notamment lorsque l'excavation s'approche de zones aquifères de forte perméabilité,
- le rabattement des nappes pouvant entraîné d'une part l'assèchement des sources et des puits et d'autre part des tassements de surface.

3.1 Cas des sols

La présence d'une nappe au droit de l'ouvrage introduit des sujétions d'ordres divers :

- tassements de surface sur une largeur parfois importante à la suite d'un rabattement de la nappe :
 - tassements dus au dénoyage des sols,
 - consolidation des argiles,
- difficultés d'exécution causées par les tassements ou le défaut de portance sous les piédroits,
- modifications défavorables des caractéristiques mécaniques à court terme du sol,
- instabilité de l'excavation due au gradient hydraulique créé par le drainage au voisinage de la paroi, dans les sols faiblement cohérents : débousses, renards. Des valeurs élevées du coefficient d'uniformité (d_{60}/d_{10}) sont néfastes, Des méthodes d'exécution particulières (bouclier, travail à l'air comprimé) sont nécessaires, associées ou non à des traitements préalables longs et onéreux (rabattements, drainages, traitement des sols).

3.2 Cas des roches

Les venues d'eau abondantes en pluie dans une roche très fracturée peuvent constituer une gêne importante pour la bonne marche du chantier. Des phénomènes de débousses risquant de remblayer la galerie peuvent se produire dans les zones broyées qui accompagnent les grandes failles.

Des circulations de type karstique sont dangereuses par le risque de venues d'eau brutales à fort débit qu'elles comportent. Il en résulte un double problème de sécurité du chantier et d'exhaure qui peut conduire à ne retenir qu'une seule attaque montante.

Par ailleurs, la tenue du rocher peut en être affectée de la façon suivante :

- des roches de qualités mécaniques acceptables et de bonne tenue au moment de l'excavation peuvent être rapidement altérées au contact de l'eau (marnes, calcaires à joints marneux ou argileux) et nécessiter la pose rapide d'un revêtement protecteur pour assurer la stabilité de l'excavation, mais aussi éviter l'apparition de désordres (tassements) en surface.

Chapitre I : Reconnaissances hydrogéologiques des sols

- au contact de l'eau, certaines roches développent des pressions de gonflement non négligeables (anhydrite, certaines marnes et argiles), d'autres (sel, gypse) sont très solubles et doivent être mises hors d'eau.
- certaines roches qui peuvent être franchies par des moyens courants si elles sont sèches (cargneules, calcaires ou grès broyés...) nécessitent en présence d'eau des soutènements importants et même des traitements spéciaux avant creusement (drainage, injections). Enfin demeure très souvent le risque d'assécher des sources et (ou) puits existants et de devoir à posteriori réparer le préjudice causé aux riverains.

CHAPITRE II

Cadre réglementaire

1. Le cahier des clauses techniques générales titre III du fascicule 67 :

1.1 Domaine d'application:

Le cahier des clauses techniques générales titre III du fascicule 67 concerne l'exécution dans les tunnels et ouvrages souterrains des travaux d'étanchéité neufs par la mise en œuvre de produits d'étanchéité. Ces travaux ont pour but d'empêcher la pénétration de l'eau à partir du terrain à l'intérieur de l'ouvrage souterrain

1.2 Définitions:

1.2.1 Étanchéité:

C'est la fonction qui fait qu'un produit ou un ensemble de produits s'oppose au franchissement par un liquide tel que l'eau.

1.2.2 Étanchement et système d'étanchéité:

On peut rendre un ouvrage étanche en mettant en œuvre au contact ou à l'intérieur de sa structure un ensemble de produits d'étanchéité : cet ensemble est appelé système d'étanchéité. Il peut comprendre une étanchéité de surface que l'on appelle complexe d'étanchéité et une étanchéité des discontinuités que l'on appelle joints d'étanchéité.

Dans certains cas, les joints d'étanchéité sont suffisants pour assurer à eux seuls l'étanchéité de l'ouvrage.

1.2.3 Localisation de l'étanchéité:

Le système d'étanchéité peut être mise en œuvre :

- entre le terrain et le revêtement définitif de l'ouvrage. Sauf pour les ouvrages remblayés, il est alors appliqué sur le terrain et/ou son soutènement provisoire. Il est recouvert ultérieurement par le revêtement définitif de l'ouvrage. Il s'agit alors d'une étanchéité d'extrados .
- sur le revêtement définitif de l'ouvrage. Il s'agit alors d'une étanchéité d'intrados

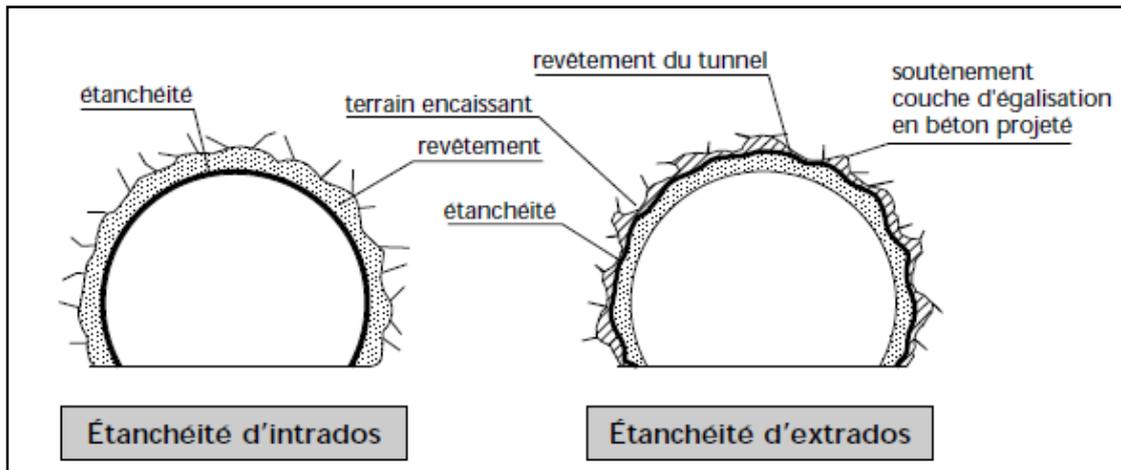


Figure I.1: principaux types d'étanchement (cas d'un tunnels)

1.2.4 Support d'étanchéité:

C'est la surface sur laquelle après traitement ou non, est appliqué le complexe d'étanchéité. Il peut être constitué, soit par le terrain lui-même, soit par le soutènement de l'excavation, soit par le béton du revêtement coffré.

1.3 Produits utilisés:

Quatre familles de produits sont principalement utilisées pour l'étanchéité des ouvrages souterrains. Ce sont :

- les produits coulés ou projetés, polymérisés ou polymérisables en place, en intrados,
- les membranes d'étanchéité à base de bitumes polymères en extrados sur structures à remblayer,
- les membranes synthétiques en étanchéité d'extrados,
- les enduits hydrofuges en intrados.

1.4 Les différents types d'étanchéité

1.4.1 Drainage

le drainage permet de réduire la pression de l'eau et de la laisser circuler librement dans un système artificiel qui protège l'ouvrage de l'intérieur.

❖ Pré drainage

Le pré drainage du terrain encaissant est une opération qui consiste après le creusement et avant l'exécution du revêtement, pour faciliter sa mise en place, à capter les venues d'eau ponctuelles importantes et à les recueillir dans un conduit longitudinal d'évacuation.

Ce système conservé après exécution du revêtement, participe s'il n'a pas été bouché par des injections, à l'étanchement permanent de l'ouvrage souterrain. Il peut être réalisé de diverses manières

- les venues d'eau localisées aux fissures du rocher sont recueillies dans des tuyaux, le captage à l'émergence étant réalisé à l'aide d'un mortier spécial,
- les suintements diffus sont plus difficile- les venues d'eau importantes (karsts, failles) sont iles à recueillir : on peut s'aider de plaques étanches,
- les venues d'eau importantes (karsts, failles) sont captées par un dispositif spécial pouvant nécessiter la construction d'un ouvrage en béton,
- on peut aussi mettre en œuvre entre le terrain (ou le soutènement) et le revêtement un complexe de drainage (matériau drainant avec une feuille de filtrage à

L'extrados et une feuille d'étanchéité à l'intrados). Dans tous les cas, le diamètre des tuyaux de collecte doit être dimensionné largement par rapport aux débits. Cela est particulièrement important dans les terrains karstiques où il faut également traiter de cette manière des conduits temporairement secs. Ce surdimensionnement a un double but :

- éviter la mise en charge de l'écoulement en périodes de venues d'eau plus abondantes que la moyenne,

Chapitre II : Cadre règlementaire

- limiter le risque de colmatage du dispositif par les matériaux entraînés ou les dépôts dus à la précipitation de sels dissous dans l'eau.

❖ **Drains forcés:**

Les drains forcés peuvent être réalisés avant ou après exécution du revêtement. Le but de ces drains est de créer au large un cheminement préférentiel pour recueillir l'eau.

En particulier, lorsque les venues d'eau se manifestent sous forme de suintements diffus, il est intéressant en complément du pré drainage, de réaliser de tels drains, en diamètre 50 mm environ.

Les forages sont généralement faits dans des plans perpendiculaires à l'axe de l'ouvrage pour des raisons d'économie et de commodité. Mais si la fracturation du massif rocheux comporte des discontinuités relativement plus ouvertes dans certains plans, il est préférable de chercher à les recouper par des forages obliques.

Le mode de forage est lié à la nature du terrain. Dans certains terrains, la foration en rotation-percussion est à déconseiller quand ce procédé colmate les fissures.

Du fait de la mauvaise tenue ou de l'érodabilité de certains terrains, on doit recourir parfois à un tubage filtrant, pour assurer la pérennité du fonctionnement du drain.

Dans les tunnels anciens qui présentent des suintements en intrados, la réalisation de drains forcés peut améliorer la situation en diminuant la charge d'eau sur le revêtement.

Les eaux provenant de ces drains sont collectées par branchement sur des tuyaux noyés (ou non) dans des saignées pratiquées dans le revêtement et débouchant dans le collecteur longitudinal.

❖ **Drainage par saignées dans le revêtement**

Des saignées sont réalisées dans le revêtement à l'intrados au droit des joints entre anneaux ou le long des fissures qui laissent passer l'eau.

Le système de collecte dans la saignée peut être réalisé par différents moyens (généralement utilisation de profilés spéciaux en demi-circonférence). Les eaux ainsi canalisées sont envoyées comme pour le pré drainage vers le collecteur principal situé en radier du tunnel.

Ce procédé est très utilisé mais comporte plus que les autres deux inconvénients :

- l'eau en circulant dans le béton provoque sa dégradation,

Chapitre II : Cadre réglementaire

- l'eau en circulant dans le béton peut se charger en chaux et en la redéposant provoquer une obturation du système de drainage.

❖ Drainage type parapluie

A l'intrados du terrain encaissant pour les tunnels non revêtus ou à l'intrados de la voûte pour les tunnels revêtus, un élément imperméable (en général tôle galvanisée, mais qui pourrait être constitué de tout autre matériau imperméable et non susceptible de corrosion est fixé à une certaine distance de la paroi (10 à 20 cm). Des dispositifs du même genre

en piédroit ont quelquefois été utilisés à l'étranger.

L'eau de ruissellement circulant dans cet espace libre est reprise pour être conduite dans les caniveaux ou collecteurs. Il faut faire attention au gel, qui risque de surcharger de glace l'élément imperméable et d'amener sa destruction. Une isolation en laine de verre a été utilisée à l'étranger pour éviter le gel.

1.4.2 Étanchéité propre du revêtement

Cette fonction est importante dans le cas des tunnels immergés (caissons préfabriqués). Il s'agit de structures soit en béton armé (avec traitement spécial des joints de construction et des joints entre caissons), soit en béton précontraint (traitement spécial de joints entre caissons). L'étanchéité est ainsi assurée par le béton et le traitement des joints.

Pour les revêtements en béton coulé en place, il est conseillé de rechercher par une composition bien étudiée du béton et par le soin dans la mise en place, la meilleure compacité possible. C'est une garantie de durée de l'ouvrage. Cela permet également d'obtenir un revêtement étanche dans toute son épaisseur. Néanmoins, il est difficile d'éviter tous les points faibles, en particulier les joints entre anneaux, les reprises de bétonnage (notamment en cas de bétonnage de la section en plusieurs phases),

la zone de la clé à cause de la mise en place plus difficile du béton, les points où le revêtement est aminci par suite de la présence de dispositifs divers : carneaux de ventilation, appuis de plafond, etc...

Il convient également d'éviter le plus possible la fissuration du béton par l'emploi judicieux de joints de construction étanches. Cependant, il existe toujours dans la pratique

Chapitre II : Cadre réglementaire

des fissures imprévisibles. Les joints entre anneaux peuvent être l'objet de dispositifs spéciaux d'étanchéité.

Les revêtements en voussoirs préfabriqués peuvent être rendus étanches par des dispositions spéciales au droit des joints (grande précision de l'assemblage, produit d'étanchéité qui s'écrase sur toute la surface du joint, boudins d'étanchéité, injections).

1.4.3 Couches d'étanchéité

Cette méthode d'étanchement consiste à mettre en œuvre au contact (intrados ou extrados) du revêtement un système d'étanchéité imperméable

❖ Catégories de produits

On distingue actuellement quatre familles principales de produit:

- les feuilles d'étanchéité à base de bitumes polymères en extrados sur structures à remblayer et en intrados sur radier dans le cas de chaussées circulées,
- les feuilles synthétiques en étanchéité extrados,
- les produits polymérisables en étanchéité intrados,
- les enduits hydrofuges en intrados.

❖ Etanchéité extrados

Ce système d'étanchéité ne nécessite pas le traitement des joints ou discontinuités du revêtement car le complexe utilisé (feuilles synthétiques en général en P.V.C. plastifié) est indépendant et souple. Il est appliqué sur le rocher ou le soutènement, généralement avec mise en œuvre d'une couche de béton projeté d'égalisation. Il comporte une feuille de protection extrados et/ou intrados.

Dans le cas d'une étanchéité complète mise en œuvre sur toute la section, le revêtement doit supporter non seulement la poussée éventuelle des terrains, mais aussi la pression hydrostatique totale.

Dans le cas d'une étanchéité partielle mise en œuvre en voûte uniquement, il est souhaitable de l'associer à un drainage (couche entre l'étanchéité et le support, conduit longitudinal en base d'étanchéité, renvois dans les caniveaux) pour éviter toute mise en charge. On n'aura en général, dans ce cas-là, aucune venue d'eau après mise en œuvre du

Chapitre II : Cadre réglementaire

revêtement car l'eau s'écoulera plus facilement par le drainage que par les défauts éventuels de l'étanchéité.

❖ **Etanchéité intrados**

Après réalisation du revêtement, un système d'étanchéité est mis en œuvre à l'intrados. Il y a lieu de vérifier que le film utilisé est apte à résister à la pression hydrostatique éventuelle. (Les prescriptions du fascicule n° 67 titre III prévoient un test en laboratoire à une pression de 1 MPa).

Mis en œuvre après le revêtement, il présente les avantages :

- de n'avoir aucune interaction avec la réalisation du gros œuvre,
- de pouvoir limiter son application aux zones strictement nécessaires compte tenu de l'objectif d'étanchement recherché et des autres procédés éventuellement déjà mis en œuvre.

Par contre, il nécessite que tous les scellements ultérieurs soient spécialement traités pour rétablir la continuité de l'étanchéité.

Il nécessite le traitement de toutes les discontinuités actives et joints du revêtement.

Généralement, il reste totalement apparent et doit donc accepter les sujétions d'exploitation (possibilité de lavage mécanique, couleur adaptée aux problèmes d'éclairage,...).

2 DTU 14.1 - Travaux de cuvelage

2.4 Domaine d'application

Le DTU 14.1 définit les conditions d'exécution des travaux de cuvelage de la partie immergée des bâtiments, la structure résistante, les retours de celle-ci et les ouvrages solidarisés étant réalisés en béton.

2.5 Définition

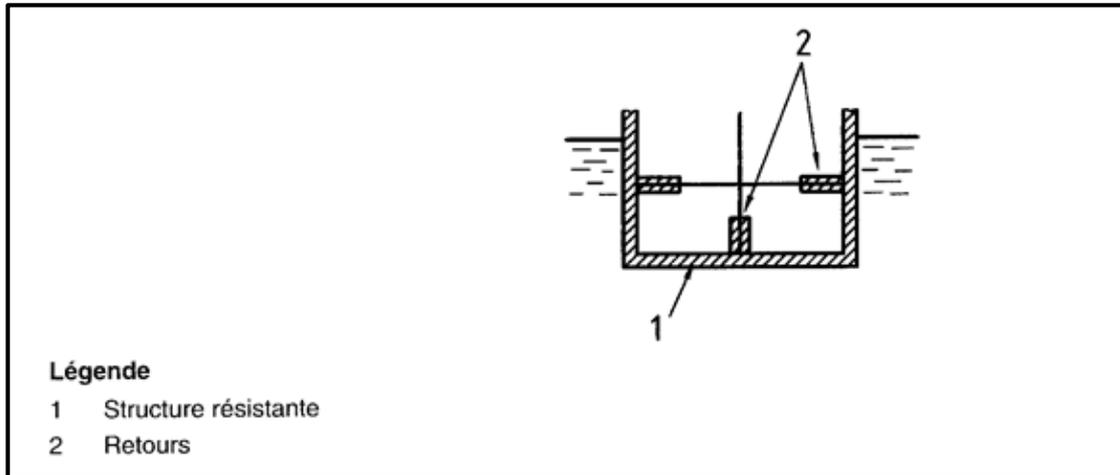
Le cuvelage désigne à la fois les matériaux et les techniques utilisés pour consolider une construction souterraine et créer une protection hermétique contre les eaux et les infiltrations.

Partie immergée du bâtiment c'est la partie réputée située sous le niveau de l'eau, celle-ci pouvant résulter d'une nappe phréatique, d'une crue, de ruissellement ou d'infiltration. Cette partie comprend la périphérie soumise directement à l'action de l'eau, dite structure résistante(1), les parties intérieures adjacentes à cette périphérie et liées avec elle, dites

Chapitre II : Cadre réglementaire

retours(2), pour lesquelles des dispositions particulières doivent être prises et, enfin, les autres parties intérieures

Support du revêtement : partie de l'ouvrage destinée à recevoir le revêtement.



FigureI.2: partie immergée du bâtiment

2.6 Niveaux de l'eau

2.6.2 Cas d'une nappe d'eau

On distingue:

- 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.

Dans le cas où l'inondation des locaux est admise et est réalisée par des orifices (ou par tout autre dispositif équivalent), ceux-ci doivent être convenablement dimensionnés de

Chapitre II : Cadre réglementaire

façon que le niveau «EE», et éventuellement le niveau «EH», puisse être pris égal à celui situé à 50cm au-dessus du niveau du fil d'eau de ces orifices

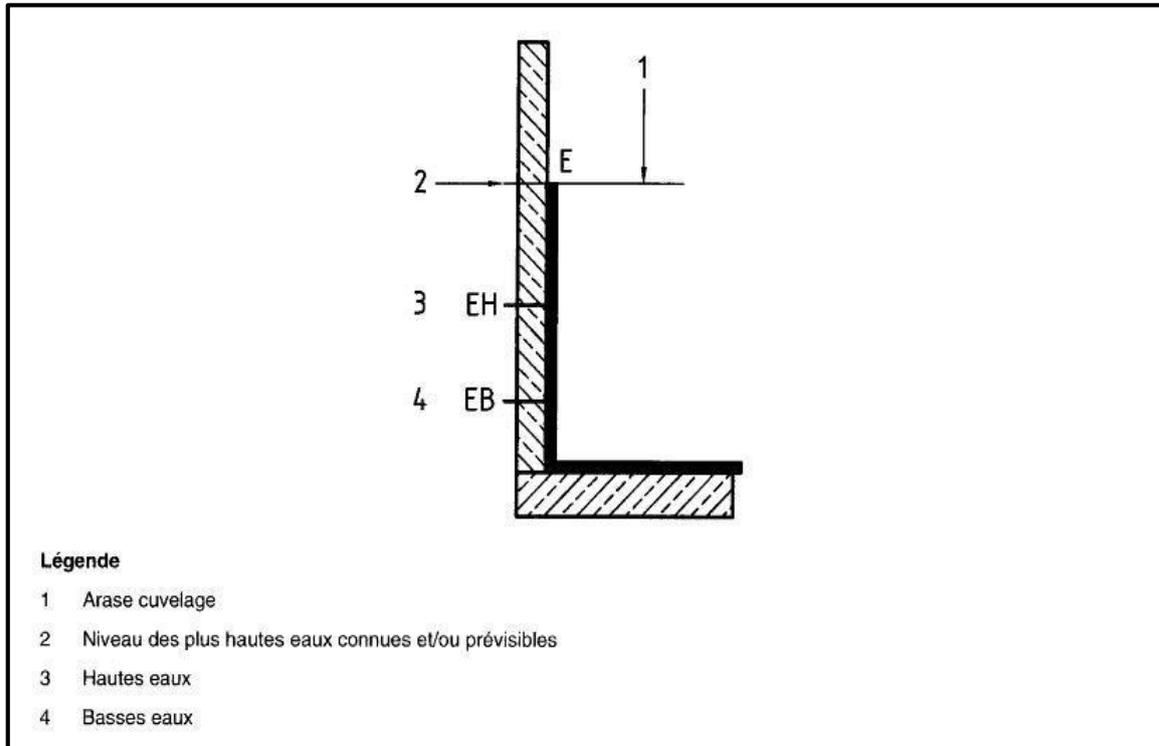


Figure II.2: Exemple de cas d'une nappe

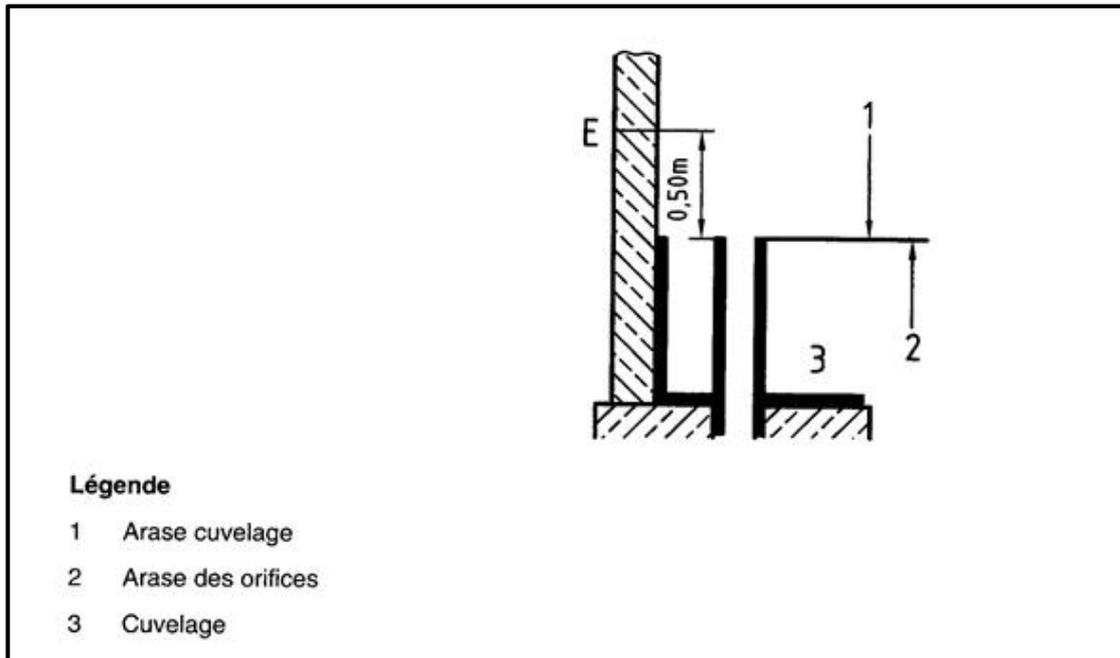


Figure II.3: Exemple de cas de locaux inondables

2.6.3 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 50cm à chaque fois que les DPM (documents particuliers du marché) 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 50cm 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

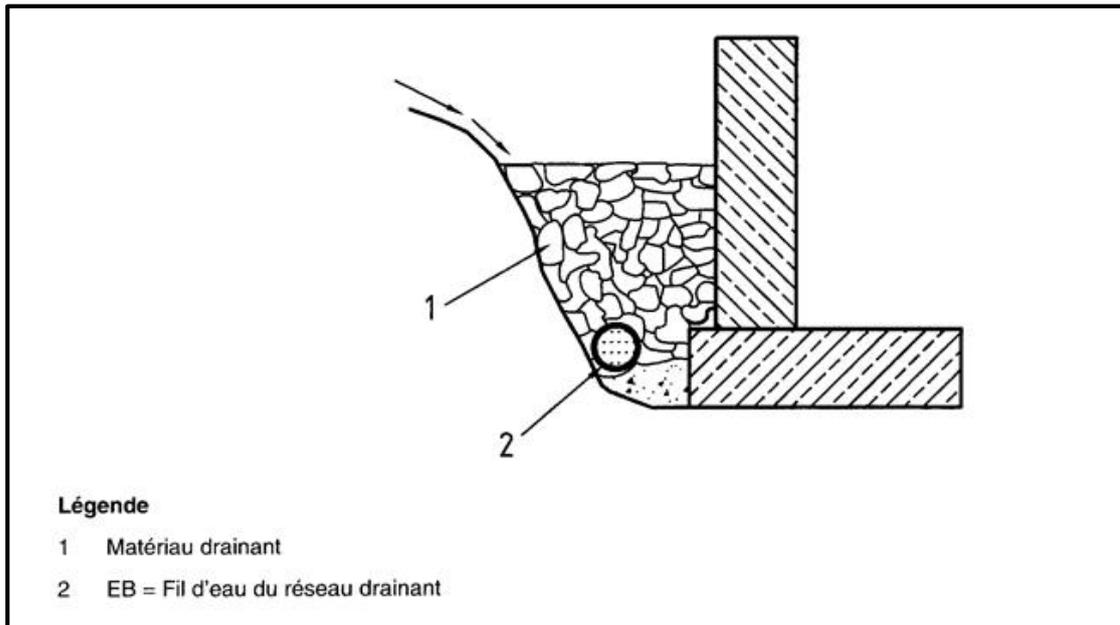


Figure II.4: Exemple de cas d'eaux de ruissellement ou d'infiltration avec drainage sans revêtement

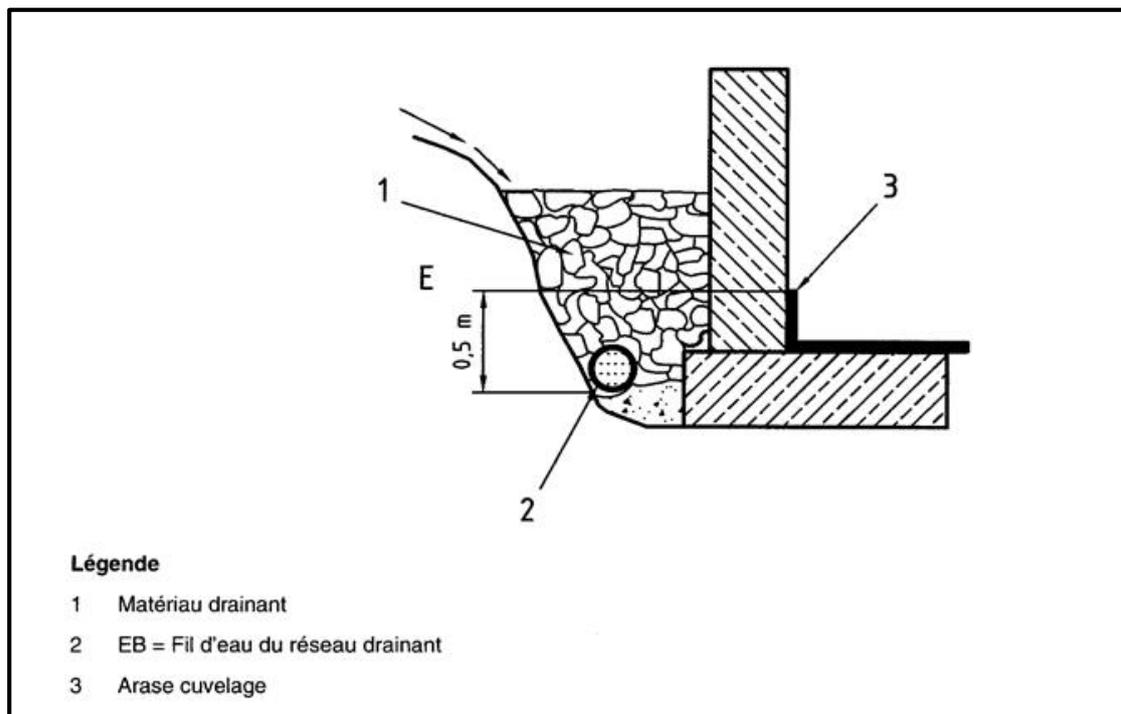


Figure II.5: Exemple de cas d'eaux de ruissellement ou d'infiltration avec drainage avec revêtement

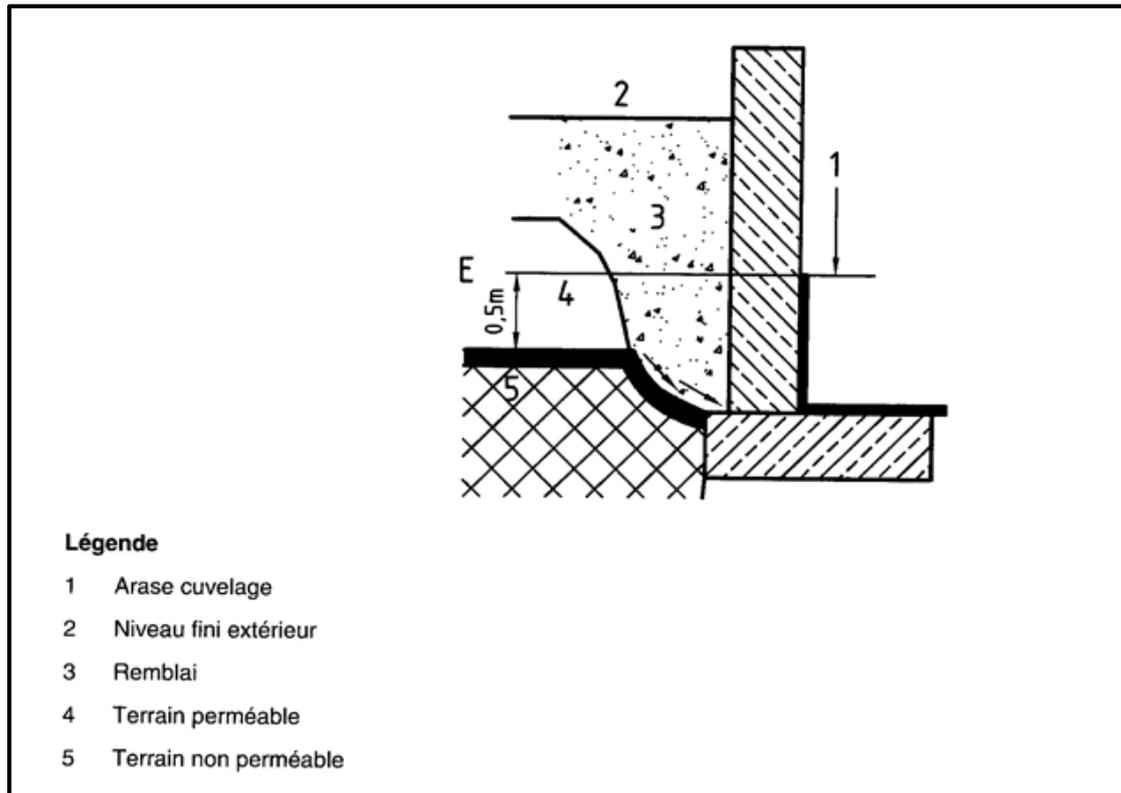


Figure II.6: Exemple de cas d'eaux de ruissellement ou d'infiltration sans drainage

3 Types de cuvelage

On distingue 3 types de cuvelages :

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

3.4 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. Ce revêtement est constitué d'enduits hydrofuges ou d'enduits pelliculaires à base de résine ou de revêtement de minéralisation de surface.

Le revêtement d'imperméabilisation est appliqué sur la structure résistante jusqu'au niveau E ou, lorsque l'inondation des locaux est admise et réalisée par des orifices, jusqu'au

niveau du fil d'eau des orifices.

On distingue quatre types principaux de revêtements d'imperméabilisation:

- revêtement mince à base de mortier ;
- revêtement épais à base de mortier ;
- revêtement à base de résine ;
- revêtement de minéralisation de surface.

3.4.2 Revêtement mince à base de mortier

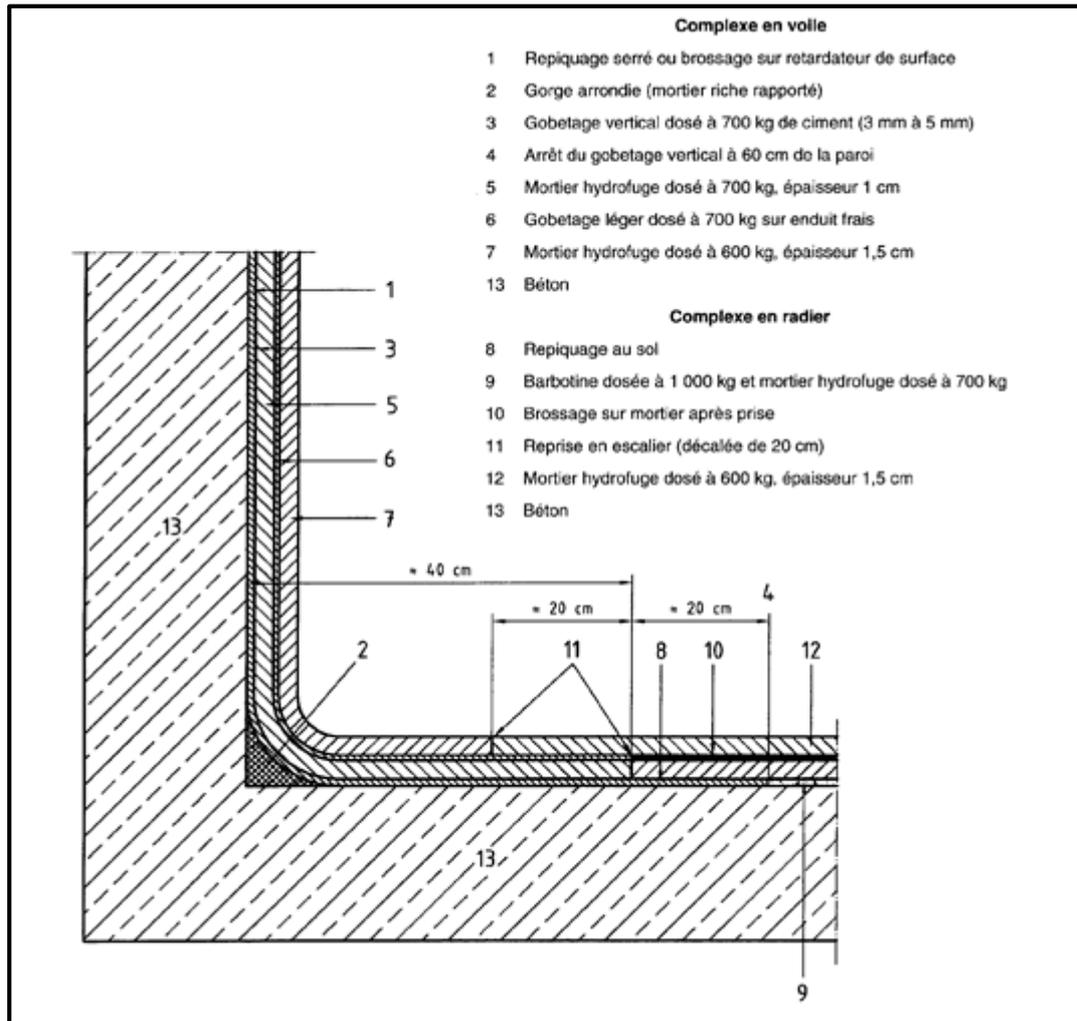
Ce type de revêtement est constitué par un mortier adjuvanté, conditionné en usine, dont les constituants le rendent apte à être appliqués en couches minces

L'épaisseur minimale totale du revêtement doit être supérieure ou égale à trois fois le diamètre du plus gros granulats avec un minimum de 4mm en horizontal et 3mm en vertical, y compris la couche d'accrochage.

3.4.3 Revêtement épais à base de mortier

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

L'épaisseur minimale est de 30mm pour les parties horizontales et de 24mm pour les parties verticales. Le revêtement doit comprendre une couche d'accrochage au dosage 700kg/m³ de sable sec et deux couches continues d'imperméabilisation: la première dosée à 700kg et la deuxième de finition à 600kg.



3.4.4 Revêtement à base de résine

Ce revêtement est constitué par des résines polymérisables à température ambiante, conditionnées en usine à plusieurs composants avec ou sans solvant et mélangées in situ, en vue de leur application immédiate en couches minces.

3.4.5 Revêtement de minéralisation de surface

Ce type de revêtement est constitué par une poudre ou une poudre prête à mouiller ou une pâte conditionnée en usine, composée de sels minéraux venant en addition à du ciment et à des matières inertes et mélangée à l'eau in situ en vue de son application immédiate en couches minces.

3.5 Cuvelages à structure relativement étanche

Chapitre II : Cadre réglementaire

Ce type de cuvelage ne comporte pas de revêtement de cuvelage et il est, de ce fait, admis un léger passage d'eau éventuellement récupérée, défini par les valeurs suivantes:

a) Pour la structure résistante dans son ensemble :

- moyenne annuelle: $0,5\text{l/m}^2/\text{jour}$;
- moyenne hebdomadaire: $1,0\text{l/m}^2/\text{jour}$.

b) pour toute portion de structure résistante de 10m^2 constituant un rectangle dont le rapport des côtés est compris entre 0,4 et 2,5:

- moyenne hebdomadaire: $2\text{l/m}^2/\text{jour}$.

3.6 Cuvelages 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.

On distingue trois types principaux :

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

3.6.2 Revêtement type asphalte en partie courante

On distingue les asphaltes suivants:

- asphalte pur, qualité «étanchéité type bâtiment», dénommée «qualité étanchéité»;
- asphalte sablé, qualité «étanchéité type bâtiment», dénommée «qualité étanchéité»

3.6.3 Revêtement d'étanchéité traditionnelle

La contrainte normale de compression de ces revêtements calculée sous sollicitation de service doit être inférieure aux limites suivantes :

- 0,6MPa dans le cas de fondations par radier général;
- 0,4MPa dans le cas de fondations par pieux ou puits

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, pollutions éventuelles, présence de racines perforantes;
- action de la vapeur d'eau provenant du support;
- comportement de l'ouvrage et de ses fondations (tassements);
- adaptation au site(mitoyens,phasesdetravaux);
- 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).

CHAPITRE III

Application à un parking souterrain

1. Présentation du l'ouvrage

Le parking faisant l'objet de notre étude appartient à un bâtiment tour de R+9 avec 2 sous-sol à usage multiple (habitations, commerces et bureaux), implanté à Birkhadem dans la wilaya d'Alger. Zone III (sismicité élevée), Le bâtiment est considéré comme un ouvrage courant ou d'importance moyenne (groupe 2)

1.1 Dimensions en plan

Les plus grandes dimensions en plan sont :

TabIII.1Dimensions en plan

Largeur [m]	Longueur [m]
27,26	29,10

1.2 Dimensions en élévation

TabIII.2Dimensions en élévation

La hauteur totale [m]	La hauteur du sous-sol [m]	La hauteur de rez-de chaussée [m]	La hauteur d'étages courants [m]
41,10	2,80	3,50	3,20

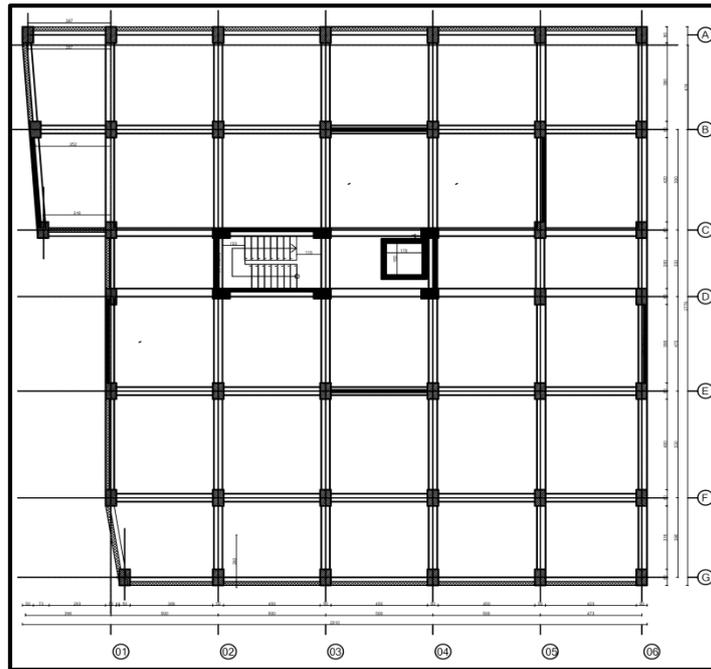


Figure III.1 Vue en plan du sous-sol

1.3 Caractéristiques des matériaux

a) Béton

TabIII.3 Caractéristiques mécaniques du béton

La résistance caractéristique du béton à la compression à 28 jours	$f_{c28} = 25 \text{ MPa}$
La résistance caractéristique du béton à la traction à 28 jours : $f_{t28} = 0,6 + 0,06 \cdot f_{c28}$	$f_{t28} = 2,1 \text{ MPa}$
Contrainte limite de compression à l'E.L.U : $f_{bu} = 0,85 \cdot \frac{f_{c28}}{\gamma_b}$	$f_{bu} = 14,20 \text{ MPa}$
La contrainte admissible en compression à l'E.L.S : $\sigma_b = 0,6 \cdot f_{c28}$	$\sigma_b = 15 \text{ MPa}$

b) Acier

TabIII.4 Caractéristiques mécaniques de l'acier

Limite élastique des aciers		$f_e = 500 \text{ MPa}$	
Contraint de calcul à L'E.L.U		$f_{Su} = 434.78 \text{ MPa}$	
Contrainte admissible à L'E.L.S	Fissuration non préjudiciable	Aucune vérification à faire	
	Fissuration préjudiciable	$\sigma_{st} \leq \min\left(\frac{2 \cdot f_e}{3}; 110 \sqrt{\eta \cdot f_{tj}}\right)$	où $\eta = \begin{cases} 1 \text{ pour RL} \\ 1,6 \text{ pour HA} \end{cases}$
	Fissuration très préjudiciable	$\sigma_{st} \leq \min\left(\frac{f_e}{2}; 90 \sqrt{\eta \cdot f_{tj}}\right)$	

1.2 Type de fondation utilisé

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

1.3 Rapport hydrogéologique du site

Dans le terrain d'étude la présence d'eau a été signalée à la profondeur de 8.00 m

2. Etude du cuvelage

2.1 Choix du type de cuvelage

D'après les critères de choix du type de cuvelage, et par rapport aux conditions hydrogéologiques du site et le type de fondation (radier général), on opte pour l'utilisation d'un cuvelage avec revêtement d'étanchéité comme type de cuvelage.

Soit le cuvelage est complété par des ouvrages externes, qui comprennent le plus souvent un préradier ainsi que :

- soit, des voiles périphériques réalisés avant le cuvelage
- soit, des ouvrages de protection qui sont réalisés après le cuvelage

c'est alors la structure résistante du cuvelage qui reprend la poussée de l'eau ; soit le cuvelage se compose d'une structure résistante externe (c'est-à-dire située à l'extérieur

Chapitre III : Application à un parking souterrain

du revêtement d'étanchéité) et d'une structure résistante interne qui a pour fonction principale de reprendre la poussée de l'eau.

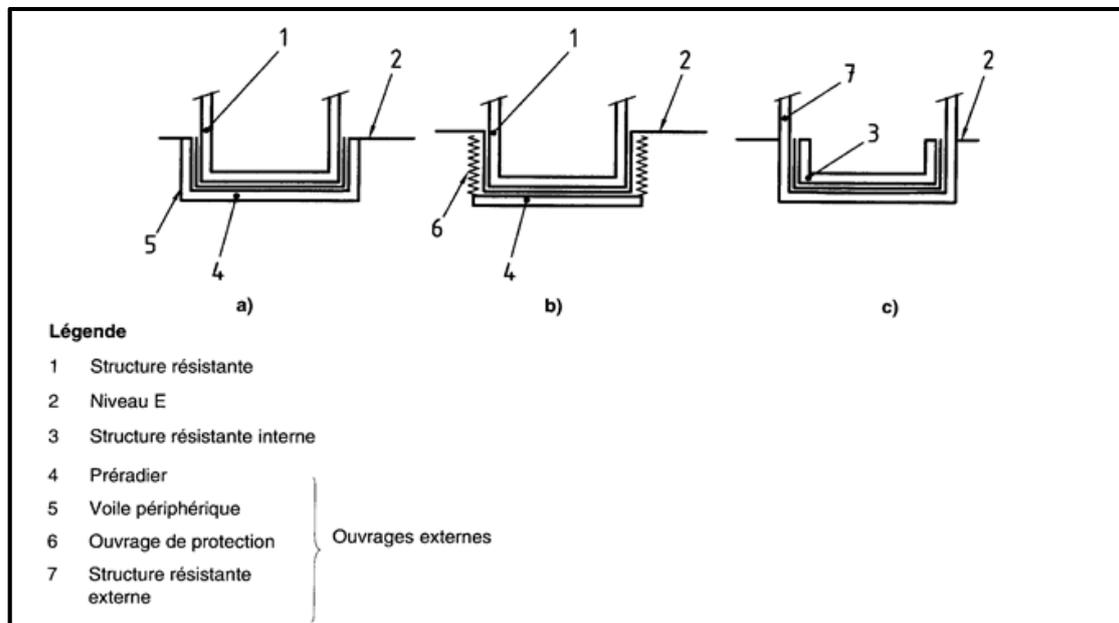


Figure III.2 Exemples de cuvelages

Le revêtement d'étanchéité, les ouvrages externes et/ou la structure résistante interne doivent exister jusqu'au niveau E, étant précisé que la solution de cuvelage avec revêtement d'étanchéité est exclue pour les cas où l'inondation des locaux est admise.

Les limites d'emploi des cuvelages avec revêtement d'étanchéité résultent principalement des risques de déchirement ou cisaillement de l'enveloppe du fait des déformations relatives des ouvrages.

2.2 Étude du contre-cuvelage

Le contre-cuvelage est un voile périphérique assimilé à une dalle appuyée sur quatre cotés soumise à la poussée des terres et sollicitée en flexion simple.

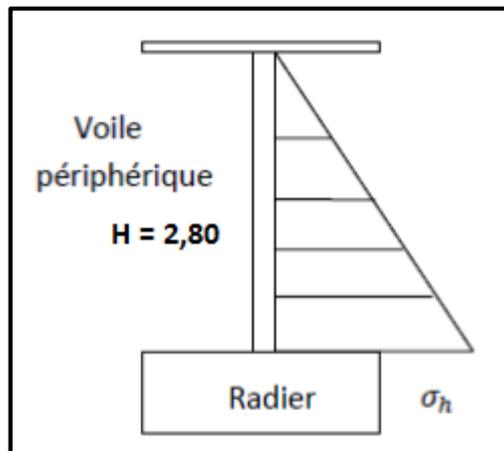


Figure III.3 Schéma statique du voile périphérique

Selon le RPA les conditions minimales que doivent satisfaire les voiles périphériques sont :

- 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).

4.4.2 2.2.1 Détermination de la poussée des terres

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

$$\sigma_h = \gamma_d \cdot h \cdot K_p$$

Avec :

- γ_d : poids spécifique des terres ($\gamma_d = 18$ kN);
- h : hauteur du mur ($h = 2,80$ m) ;
- φ : angle de frottement ($\varphi = 23$)
- K_p : coefficient de poussé du sol ($K_p = \tan\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)^2 = 0,44$)

$$\sigma_h = 18 \times 2,8 \times 0,44 = 22,18 \text{ kN/m}^2.$$

Le voile est donc soumis à une charge triangulaire qu'on assimilera en charge uniformément répartie égale à : $q = \frac{1}{2} \cdot \sigma_h = 11,09 \text{ kN/m}^2$.

2.2.2 Calcul du ferrailage

La fissuration étant considérée comme très préjudiciable, et les calculs seront menés selon les prescriptions du BAEL, dont le ferrailage est calculé à ELS.

Le voile périphérique le plus sollicité a comme largeur $l_y=5\text{m}$ et comme hauteur $l_x=2,80\text{m}$.

$\alpha = \frac{l_x}{l_y} = \frac{2,80}{5,00} = 0,56 \rightarrow$ Les panneaux travaillent dans les deux sens avec les moments de flexion suivants :

$$\begin{cases} M_{0X} = \mu_x \cdot q \cdot l_x^2 & \text{avec } \mu_x = 0,041 \\ M_{0Y} = \mu_y \cdot M_{0X} & \text{avec } \mu_y = 0,887 \end{cases}$$

- Pour un panneau intermédiaire $\begin{cases} M_{tx} = 0,75 \cdot M_{0x} \\ M_{ty} = 0,75 \cdot M_{0y} \\ M_{ay,x} = -0,50 \cdot M_{0x} \end{cases}$
- Pour un panneau de rive $\begin{cases} M_{tx} = 0,85 \cdot M_{0x} \\ M_{ty} = 0,85 \cdot M_{0y} \\ M_{ay,x} = -0,30 \cdot M_{0x} \end{cases}$

Les efforts tranchants maximaux au milieu des bords de la dalle sont donnés par :

$$T_{max} = \begin{cases} \frac{q \cdot l_x \cdot l_y}{2 \cdot l_y + l_x} & \text{Au milieu du } l_y \\ \frac{q \cdot l_x}{3} & \text{Au milieu du } l_x \end{cases}$$

Chapitre III : Application à un parking souterrain

TabVIII.5 Sollicitations de calcul

Sens	μ	q_u [kN/m ²]	M_0 [kN.m]	M en travée[kN.m]	M en appui[kN.m]	T[kN]	1,15.T[kN]
X	0,092	11,09	8	6	-4	12,13	13,94
Y	0,420		3,36	2,52	1,68	10,35	11,90

Les résultats du ferrailage sont donnés dans le tableau suivant pour :

TabVIII.5 Ferrailage du radier

	En travée		En appui	
	A_{st} [cm ²]	$A_{s,Adoptée}$	A_{sc} [cm ²]	$A_{s,Adoptée}$
Suivant X	3,53	5HA10	2,65	6HA8
Suivant Y	1,48	4HA8	1,11	4HA8

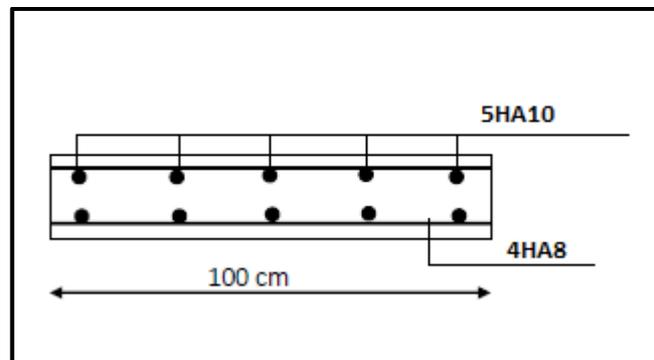


Figure III.4 Schéma de ferrailage du voile périphérique

CONCLUSION

CONCLUSION

Cette étude m'a permis de faire les constatations suivantes :

- Les dégâts dus à l'eau peuvent être très importants pour les ouvrages souterrains.
- Les reconnaissances et études hydrogéologiques représentent une étape très importante dans le cadre de la réalisation d'un ouvrage souterrain.
- L'étanchéité des ouvrages souterrains est une opération qui vise à réduire et contrôler le débit d'eau pénétrant à l'intérieur d'un ouvrage souterrain pendant et après son exécution
- 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.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] **Fascicule n° 67 – Titre III** Etanchéité des ouvrages souterrains
Document annexé à l'arrêté du 30 mai 2012.
- [2] **Norme NF P 11-221-1 (DTU 14.1)** Travaux de cuvelage – AFNOR, mai 2000.PARIS- Mars 1992.
- [3] **D.T.R-BC.2.34.** Règles de conception des cuvelages. Ministère de l'habitat et de l'urbanisme.
- [4] **EUROCODE 2** : calcul des structures en béton – Partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments (décembre 2004),
- [5] **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)
- [6] **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.
- [7] **RPA99-2003** : Règles parasismique algériennes 1999 version 2003. (Centre national de recherche appliquée en Génie Parasismique), ALGER 2éme trimestre 2004.