



Année Universitaire : 2016-2017



Licence Sciences et Techniques : Géoréources et Environnement

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

Synthese des travaux sur l'élaboration de la carte géotechnique de la ville de Fès

Présenté par:

**Hamza EL ACHCH
Ayoub EL BARAKA**

Encadré par:

**Pr. Abdel-Ali CHAOUNI, FST-Fès
Mr. Abdessamad JALOUNI, FST-Fès**

Soutenu Le 09 Juin 2017, devant le jury composé de:

**Pr. BENAABIDATE Lahcen, FST-Fès
Pr. GHFIR Younes, FST-Fès
Pr. LAHRACH Abderrahim, FST-Fès
Pr. CHAOUNI Abdel-Ali, FST-Fès**

Stage effectué à : FST, Fès



Résumé

La carte géotechnique permet de représenter et simplifier les caractéristiques (géologiques, géomorphologiques, hydrogéologiques, ...) du sous-sol pour une région donnée, ce qui est important pour éviter les risques liés à la construction. Notre objectif est de faire une étude et analyse de la carte du zonage géotechnique de la ville de Fès (2017). On a constaté que la zone de Fès se compose de dix zones (Jalouni & Al 2017), chaque zone a des caractéristiques spécifiques qui la caractérisent en propriétés physiques, mécaniques et rhéologiques :

- La zone des marnes bleues ;
- La zone des marnes sableuses ;
- la zone des limons et tufs ;
- La zone des conglomérats rocheux ;
- La zone des conglomérats meubles ;
- La zone des calcaires lacustres ;
- La zone des argiles ;
- La zone des travertins ;
- La zone des alluvions de Sebou et de l'Oued Fès aval ;
- La zone de Jbel Tghat ;

Mots-clés : Géotechnique, zonage, carte, SIG, Fès.

Remerciements

Au terme de ce projet de fin d'études, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude, et notre reconnaissance à toute personne ayant contribué de près ou de loin, à l'aboutissement de ce travail, en particulier :

Monsieur **CHAOUNI Abdel-Ali** Professeur au département de Géoressource et Environnement à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès, notre encadrant qui n'a épargné aucun effort, pour nous aider et nous orienter, en nous laissant la grande liberté, tout en restant à l'écoute.

Nous adressons aussi toutes nos gratitude à Monsieur **Jalouni Abdessamad**, pour son encadrement, ses conseils, et ses directives pertinentes et sa disponibilité durant toute la période de notre stage.

Nous aimerions que tous nos formateurs trouvent ici l'expression de notre profonde reconnaissance et de notre respect.

Merci aussi aux **membres de jury**, (...) pour le temps qu'ils ont consacré pour évaluer ce travail.

En fin merci à tous

Dédicaces

Nous dédions ce travail à :

Nos très chers parents ;

À nos familles ;

À nos amis ;

*À tous ceux qui ont une bonne impression dans
nos cœurs ;*

*Toute la promotion de la géoressource et
environnement 2017/2016*

Table des matières

Résumé.....	1
Remerciements.....	2
Dédicaces	3
Liste des figures	5
Liste des tables.....	5
Introduction.....	6
CHAPITRE 1 : GÉNÉRALITÉS SUR LA GÉOTECHNIQUE	7
I. APERÇUS SUR LA GÉOTECHNIQUE	7
II. L'ÉTUDE GÉOTECHNIQUE.....	7
1. La mécanique des sols.....	8
2. La mécanique des roches.....	8
3. Les Essais de la géotechnique	8
CHAPITRE 2 : PRÉSENTATION SUR LA CARTE GÉOTECHNIQUE.....	18
I. Contexte géographique	18
II. Contexte géologique	19
1. Paléozoïque	19
2. Mésozoïque	19
3. Cénozoïque.....	20
III. Contexte géomorphologie.....	21
IV. Contexte climatique	21
1. Température	22
2. Précipitations.....	22
V. Contexte hydrologique.....	24
1. Les Oueds.....	24
VI. Contexte hydrogéologique	25
VII. Contexte sismique au Maroc.....	26
CHAPITRE 3 : ÉTUDE DES ZONES GÉOTECHNIQUE DE LA VILLE DE FÈS.....	27
I. Carte géotechnique de Fès	27
Conclusion	31
Références.....	32
Web graphique	32

Liste des figures

Figure 1: les sondages mécaniques	9
Figure 2 : L'essai pénétrométrique.....	11
Figure 3 : l'appareil pressiometrique	11
Figure 4 : Un tamis.....	12
Figure 5 : Analyses granulométriques par Sédimentométrie.....	13
Figure 6 : Les différentes classes granulométriques (Plumelle).....	13
Figure 7 : 1-cas grande, 2- lavage de l'échantillon, 3- étalement de l'échantillon, 4-WL et WP prêtent à mesuré leur teneur en eau.	14
Figure 8 : résultat de l'essai de valeur de bleu de méthylène	14
Figure 9: Méthode de bleu de méthylène	14
Figure 10: Oedomètre (Desly1997).....	15
Figure 11: Les essais de perméabilité à l'œdomètre	16
Figure 12 : l'appareil de gonflement	16
Figure 13 : Schéma de la cellule triaxiale	17
Figure 14: situation de la ville de Fès extraite de l'atlas routier.....	18
Figure 15: Coupe géologique schématique du bassin Fès- Mèknes (Reynard et al., 2011)	20
Figure 16: : Coupe géologique schématique du bassin versant de l'oued FES, (Reynard et al 2011)	21
Figure 17 : température moyenne mensuelle du bassin du Saïs (1977-2008)	22
Figure 18 : Hauteurs des pluies moyennes annulées à l'échelle du bassin du Saïss (station Fès 1997-2008)	23
Figure 19 : précipitation moyenne mensuelle du bassin du Saïs (station Fès 1977-2008).....	23
Figure 20 : Zonage sismique du Maroc : à droite l'accélération des ondes sismiques et à gauche, les zones des vitesses, (D'après RPS 2011).....	26
Figure 21 : Carte géotechnique de la zone d'étude Fès (Jalouni & al 2017, modifiée).....	27

Liste des tables

Tableau 1 : Température moyenne mensuelle du Bassin du Saïs (station de Fès 1977 2008).....	21
Tableau 2 : pluie moyenne mensuelle et leurs contributions dans les pluies moyennes annuelles (station Fès 1977-2008).....	23

Introduction

L'un de nos caractères spécifiques est notre constante volonté d'adapter le milieu naturel à nos propres besoins, grâce au niveau de civilisation on trouve une évolution générale des sciences appliquées et des techniques qui nous permet de profiter des sources naturelles et de cerner tout ce qui concerne nos relations pratiques avec le géomatériau ressortit à la géotechnique.

Actuellement toute construction ou exploitation des substrats nécessite une étude profonde normalisée et précise pour éviter au moins les simples problèmes liés à la nature géomatériau. Ces études se font pour connaître les caractéristiques du géomatériau. Dans ce cadre, notre projet consiste à étudier la carte géotechnique de la ville de Fès.

Notre travail s'intéresse à la carte géotechnique de la ville de Fès, ce travail est importante pour tous les travaux de bâtiment et de génie civil en relation avec le sol, mais il est nécessaire de faire des mises à jour de ces cartes. Au niveau de notre zone d'étude qui est la ville de Fès, la première carte géotechnique était élaborée en 1966. Elle représentait un travail soigné et très important qui peut être considéré une base de la cartographie géotechniques de la région. Donc ce rapport sera divisé en trois grandes parties :

- Partie I : donne une aperçue sur la géotechnique qui permet de mieux comprendre les différents aspects d'application de la géotechnique.
- Partie II : consiste à présenter le contexte général de la ville de Fès, pour bien comprendre les caractéristiques de notre zone d'étude.
- Partie III : représente une analyse des principales zones de la carte géotechnique de la ville de Fès.

CHAPITRE 1 : GÉNÉRALITÉS SUR LA GÉOTECHNIQUE

I. APERÇUS SUR LA GÉOTECHNIQUE

La géotechnique est un mélange entre l'évolution scientifique et les observations géologiques qui nous aide de profiter et adapter les milieux naturels à nos propres besoins, c'est l'ensemble des activités liées à l'application mécanique des sols et des roches et la géologie appliquée pour étudier les caractéristiques géophysiques et géologiques de la zone étudiée à partir des sondages mécaniques et des essais in situ et des essais laboratoire.

À partir du terrain, la géologie étudie la morphologie et le comportement des géomatériaux réels, roches et sols constituant le sous-sol d'un site, qui sont tangibles, discontinus, variables, hétérogènes, anisotropes, contraints, pesants et bien plus que cela : la nature les a faits ainsi et on ne peut que le constater.

On trouve que la géotechnique est appliquée dans certains domaines, La Mécanique des Sols joue un rôle essentiel dans l'acte de construire pour tous les travaux de bâtiment et de génie civil en relation avec les sols ou les mettant en œuvre on cite par exemple :

- les fondations des bâtiments, des ouvrages d'art, des ensembles industriels ...
- les ouvrages de soutènement,
- les tunnels et travaux souterrains dans les sols,
- les barrages et digues en terre,
- la stabilité des pentes naturelles et des talus et les travaux de stabilisation,
- les ouvrages portuaires et maritimes (fondations de quais, comportement des brise-lames ...),
- les terrassements des routes, autoroutes, voies ferrées,
- l'amélioration et le renforcement des sols,
- la protection de l'environnement

II. L'ÉTUDE GÉOTECHNIQUE

Pour faire une étude géotechnique il faut étudier les caractéristiques des sols (roche ou sables) pour l'adaptation spécifique de l'ouvrage afin de limiter les risques « naturels », à l'état de grains ou de particule dont les formes et les dimensions sont variables, ces études

sont classés sur les grandes catégories suivent l'étude de mécanique de sol et mécanique de roche et les essais de la géotechnique.

1. La mécanique des sols

Où la mécanique des remblais est progressivement devenue la mécanique des sols c'est l'étude plus particulièrement le comportement des sols sous leurs aspects résistance et déformabilité, mais maintenant plutôt considérés comme une branche de la rhéologie que de la géotechnique ; chaque méthode de calcul a défini son propre module.

2. La mécanique des roches

C'est l'étudier le comportement du substratum rocheux sollicité par des implantations d'ouvrages (barrages, galeries, mines, carrières), il a été considéré comme un gage de stabilité et de longévité pour l'ouvrage, le rocher étant très résistant, pratiquement indéformable, cette conception de la sécurité à longterm dispensé les ouvrages fondés au rocher de toute étude approfondie des conditions géotechniques, à laquelle cependant on avait alors recours lorsqu'on construisait sur un terrain non rocheux.

3. Les Essais de la géotechnique

Sondages mécaniques et essais sont les mieux connues et les plus prisées de toutes les techniques de récolte de données géotechniques : pour la plupart des constructeurs et aussi hélas, pour de nombreux géotechniciens, une étude géotechnique se réduit à une campagne de sondages agrémentée de quelques essais *in situ* et/ou de laboratoire, et on distingue :

a) Essai in situ

On exécute des essais in situ ponctuellement sur le sol ou par l'intermédiaire de forages généralement rapides pour mesurer de nombreux paramètres et données géomécaniques, généralement spécifiques des problèmes que l'on se pose et des appareils utilisés.

✓ Les sondages mécaniques

Le sondage mécanique permet d'identifier les matériaux du site, de repérer leur position ; celui d'effectuer des mesures de paramètres en des points choisis du sous-sol du site ; certaines de ces mesures sont réalisées en cours de sondage, – diagraphies mécaniques, essais in situ, prélèvements d'échantillons pour essais de laboratoire... ; d'autres le sont dans des tubages mis en place à cet effet dans certains sondages, – diagraphies géophysiques, essais hydrauliques et/ou mécaniques, enregistrements de mouvements de terrain et autres paramètres variables dans le temps.



Figure 1: les sondages mécaniques

- Les sondages étalent carottés

Cette méthode consiste en la réalisation d'un ouvrage à l'aide d'un outil spécial, le carottier, destiné à récupérer la formation en place sans destruction. Couplé à un dispositif d'orientation de la carotte, l'échantillon recueilli en zones fracturées permet une analyse des directions de fracturation.

- Forage au marteau fond de trou (MFT)

Cette méthode de forage utilise la percussion assortie d'une poussée sur l'outil qui se trouve lui même en rotation. L'énergie utilisée pour actionner cet outillage est l'air comprimé à haute pression (10-25 bars). C'est un procédé très intéressant en recherche hydrogéologique et principalement en terrains durs.

- Les sondages rapides

Le sondage géotechnique évolue vers la rapidité d'exécution pour les raisons économiques, et on réalise que le sondage carotté de façon continue, lente et onéreuse, en général cette technique reconnaît la nature et précise l'épaisseur et la profondeur d'un niveau géotechnique déjà identifié et repéré.

✓ **Les essais mécaniques**

Les essais mécaniques fournissent des valeurs de paramètres directement utilisables dans certains calculs de géomécanique, mais qui sont généralement spécifiques de l'appareil et des procédures correspondants.

- *L'essai de plaque*

Consiste à charger progressivement une plaque posée à même le sol, sur une plateforme de remblais ou en fond de fouille, et à mesurer son enfoncement en fonction de la charge, éventuellement jusqu'à la rupture, dans un laps de temps ou jusqu'à un accroissement de déplacement fixés ; on limite l'usage de cet essai à l'étude du comportement des plates-formes et chaussées routières.

- *Le scissomètre*

Détermination la résistance au cisaillement du matériau à la pression qui règne naturellement à la profondeur de l'essai, seule une pression verticale est possible

✓ **Les essais hydrauliques**

De tous les essais géotechniques, les essais hydrauliques sont les seuls qui ne peuvent pas être réalisés convenablement au laboratoire, en dehors de matériaux très peu perméables comme les argiles ; cela tient à ce qu'il est pratiquement impossible de prélever des échantillons représentatifs de matériaux bouillants et perméables comme les sables et les graves, ou fragiles comme les roches fissurées, dont la détermination de la perméabilité est indispensable en hydraulique souterraine.

- *L'essai Lefranc ou de perméabilité*

Permet d'évaluer ponctuellement la perméabilité horizontale d'un terrain aquifère situé au-dessous de la nappe

- *L'essai Lugeon*

On injecte de l'eau à pressions et débits constants, dans des roches fissurées, peu perméables en utilisant un obturateur simple ou double ; cet essai a été mis au point pour les études d'étanchéité des assises de barrages et il mesure un paramètre spécifique (lugeon en m/s), en interprétant un essai Lugeon comme un essai de perméabilité.

- *L'essai de pompage*

On le fait en réalisant un essai de pompage à débits et niveaux constants croissants, par paliers si possible stabilisés, sur un puits filtrant entouré de piézomètres, si possible répartis régulièrement sur l'ensemble du secteur étudié ; on provoque ainsi des rabattements de nappe dont on peut tracer les cartes et coupes piézométriques.

✓ **L'essai pénétrométrique**

On enfonce dans le sol par battage, un train de tiges de faible diamètre muni à son extrémité d'une pointe, et on mesure le nombre de coups N nécessaires pour obtenir un enfoncement donné. C'est un moyen simple, rapide et économique d'investigation des sols in situ. (D'après C. Paillier), Il permet :

- D'apprécier de façon qualitative la résistance des terrains traversés, et de prévoir la réaction du sol à l'enfoncement de pieux.
- de déterminer l'épaisseur et la profondeur des différentes couches de sol.
- d'effectuer des contrôles de compactage



Figure 2 : L'essai pénétrométrique

✓ L'essai de pressiometrique

C'est un essai de chargement rapide du sol en place obtenue par expansion d'une cellule cylindrique. Cet appareillage comprend une sonde que l'on introduit dans le sol à une profondeur dans un forage dont les dimensions et les caractéristiques dépendent du matériel utilisé. La sonde est reliée à CPV (contrôleur pression-volume). Cette technique permet d'obtenir les informations sur la nature et la qualité des sols avec une grande précision (D'après C. Paillier).

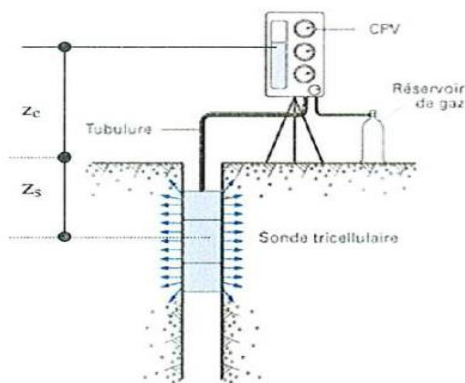


Figure 3 : l'appareil pressiometrique

b) Essais laboratoire

Pour paramétrer les multiples aspects physiques d'un géomatériau, on dispose d'un grand nombre d'essais de laboratoire et on en invente tous les jours ; on les réalise selon des procédures et au moyen d'appareils dûment normalisés, à partir d'échantillons remaniés ou « intacts ».

✓ Les essais d'identification

Les essais d'identification permettent de préciser la nature d'un géomatériau et ainsi d'une part de le rattacher à un type et d'autre part d'achever le modèle du site en précisant ses hétérogénéités.

- Granulométrie

L'analyse granulométrique permet de déterminer la distribution des tailles des éléments composant l'échantillon

=>Analyse granulométrique par tamisage

Cette méthode se fait par passage d'une quantité de sols au travers d'une série de tamis d'ouverture progressivement plus petite.

Cette opération peut se réaliser à sec ou avec l'eau, et en vibrant l'ensemble de la colonne de tamis, pour des grains de taille relativement importante.



Figure 4 : Un tamis

=>Analyses granulométrique par Sédimentométrie

La méthode consiste à mesurer le temps de sédimentation dans une colonne d'eau. La sédimentométrie permet alors de déterminer la taille des grains très fins ($< 0.08 \text{ mm}$) à l'aide de la loi de Stock qui donne une relation entre le diamètre des grains et la vitesse de sédimentation.

La mesure de la densité de suspension à des intervalles de temps variables permet de calculer la proportion des grains de chaque diamètre (Plumelle 2002)

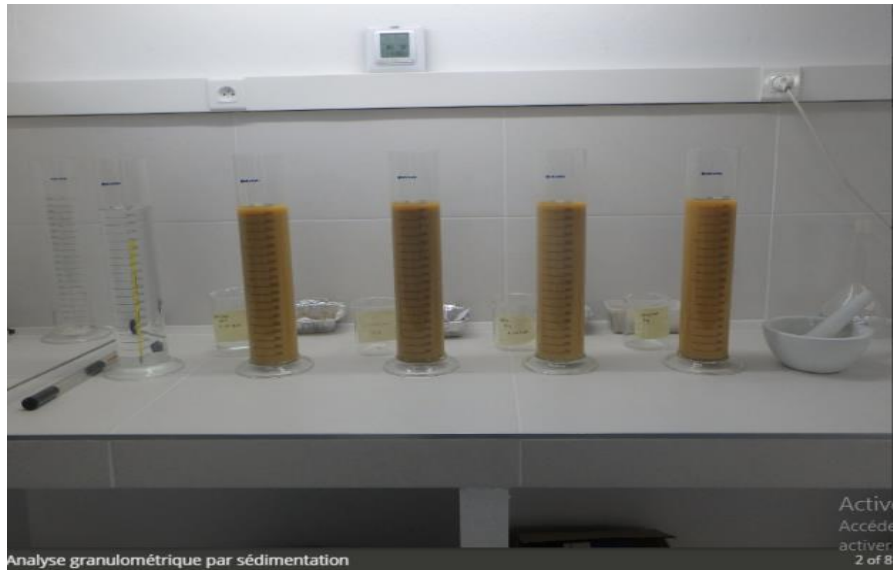


Figure 5 : Analyses granulométriques par Sédimentométrie

Figure 6 : Les différentes classes granulométriques (Plumelle).

- Limites d'Atterberg

Les sols argileux sont sensibles aux variations des teneurs en eau. En fonction de ces dernières, on passe de l'état solide à l'état plastique puis à l'état liquide. On définit alors des états de liquidité et de plasticité dite « limites d'Atterberg » WL et WP.

La limite de liquidité est déterminée à la coupelle. Pour la limite de plasticité, on enroule une boule de la prise d'essai jusqu'à ce que les premières fissures apparaissent. On évalue alors sa teneur en eau.



Figure 7 : 1-cas grande, 2- lavage de l'échantillon, 3- étalement de l'échantillon, 4-WL et WP prêtent à mesuré leur teneur en eau.

- L'Essai de valeur de bleu de méthylène

La détermination de la valeur au bleu de méthylène d'un sol (V.B.S.) a pour but de mesurer la quantité et l'activité argileuse d'un sol par dosage de la quantité de bleu de méthylène pouvant s'adsorber sur la prise d'essai. Cette valeur est rapportée par proportionnalité directe à la fraction 0/50 mm du sol.

Si le test est positif on voit sur le papier autour de l'échantillon une auréole bleu-clair, les particules argileuses du matériau alors saturées.



Figure 8 : résultat de l'essai de valeur de bleu de méthylène



Figure 9: Méthode de bleu de méthylène

✓ L'essai oedométrique

Cette technique est utilisée pour déterminer les caractères de compressibilité d'un sol qui permettent d'estimer le tassement d'un massif de sols, il faut d'abord déplacer le sol dans une enveloppe rigide, et on exerce sur sa partie supérieure une pression variable à l'aide d'un piston et on mesure les affaissements observés après stabilisation. On détermine ainsi la relation entre les contraintes effectives et les déformations verticales.

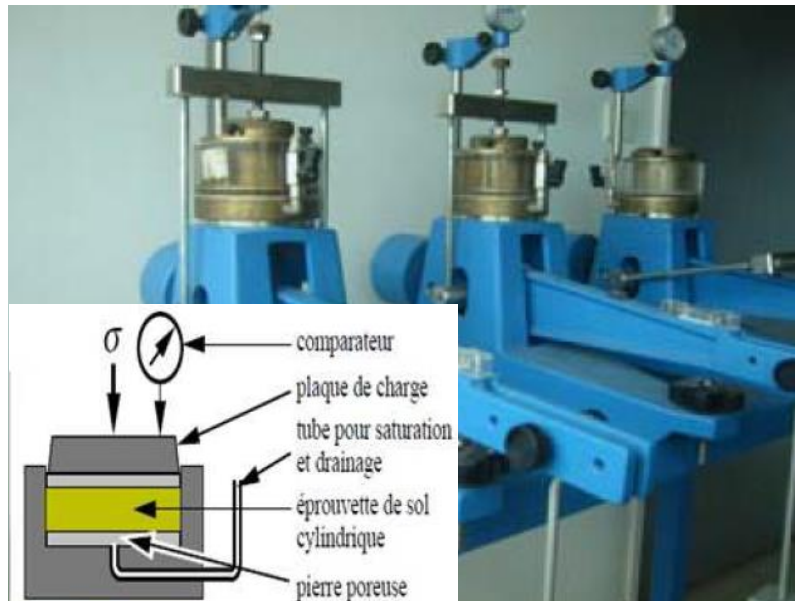


Figure 10: Oedomètre (Desly1997).

=>Les essais de perméabilité

Les essais de **perméabilité à l'oedomètre** sont limités à des matériaux fins (< 5mm) présentant une perméabilité inférieure à 10^{-5} m/s (perméabilité des pierres poreuses).

Pour des essais de perméabilité sur des matériaux plus perméables ou avec des éléments compris entre 5 et 20 mm, **nous possédons un perméamétrie à charge constante** avec sa moule de type CBR (D'après C. Paillier).



Figure 11: Les essais de perméabilité à l'œdomètre

=>les essais de gonflement

Cet essai permet de mesurer le potentiel de gonflement d'un matériau situé dans un état hydrique donné : quatre galettes de sol sont mises en eau sous quatre contraintes différentes.

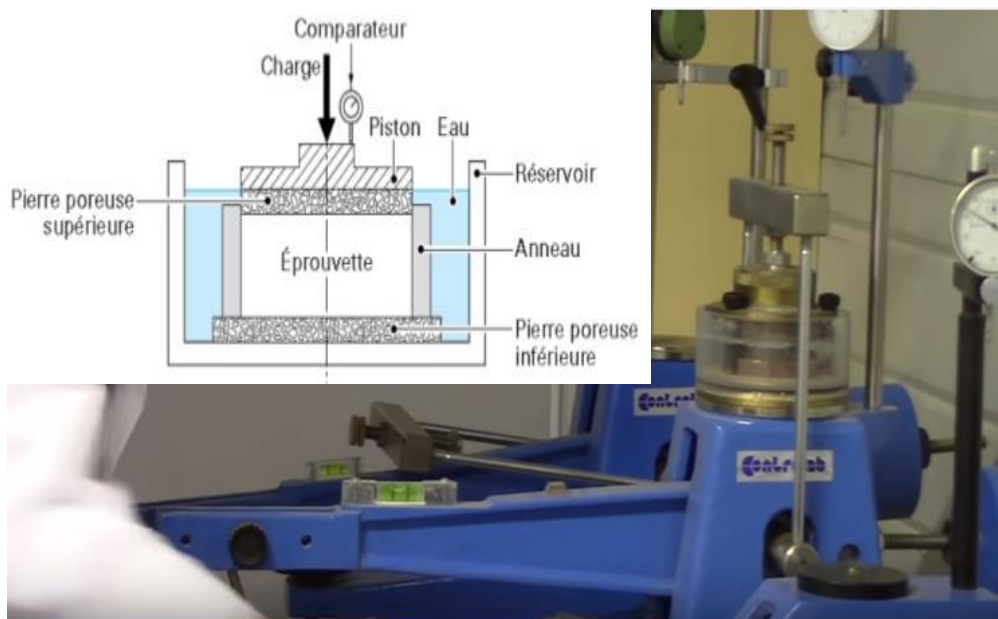


Figure 12 : l'appareil de gonflement

✓ L'essai de cisaillement à l'appareil triaxial

Cette technique est permet de détermine les caractéristiques mécaniques de cisaillement cohésion C et l'angle de frottement (D' après C. Paillier).

- Essai U.U (*unconsolidated undrained*)

=>Sol fin saturé

L'essai correspond au comportement à court terme d'un sol fin non saturé. Le résultat de l'essai est indépendant de la contrainte hydrostatique σ_3 , cet essai est effectué sous une vitesse de cisaillement rapide et sans consolidation préalable, drainages fermés.

=>sol fin non saturé

L'essai correspond au comportement à court terme d'un sol fin non saturé. Tant que le sol ne devient pas saturé par diminution de volume, la résistance au cisaillement augmente avec σ_3 , cet essai effectuée sous une vitesse de cisaillement rapide, sans consolidation préalable, drainages fermés.

- Essai C.D (*consolidated drained*) sur sols saturés

Cet essai correspond au comportement à long terme d'un sol fin et fournit l'angle de frottement effectif et la cohésion effective.

- Essai C.U (*consolidated undrained*) avec mesure de U sur sols saturés.

L'essai consiste d'abord, comme pour l'essai C.D, à consolider l'échantillon de sol sous une contrainte hydrostatique σ_3 , mais à cisailier ensuite le sol à vitesse plus rapide à drainages fermés et en enregistrant généralement pendant toute la durée du cisaillement la surpression interstitielle à l'intérieur du sol

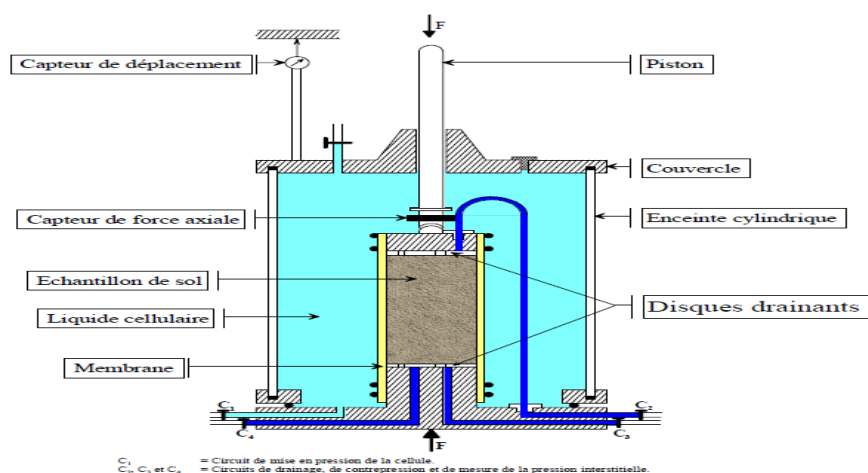


Figure 13 : Schéma de la cellule triaxiale

CHAPITRE 2 : PRÉSENTATION SUR LA CARTE GÉOTECHNIQUE

I. Contexte géographique

La ville de Fès se situe au centre du Royaume, de la moitié septentrionale du Maroc entre le 4°54'40" et 5°04'00" de longitude ouest, et le 33°59'00" et 34°05'00" de latitude nord et fait partie de la région de Fès Meknès.

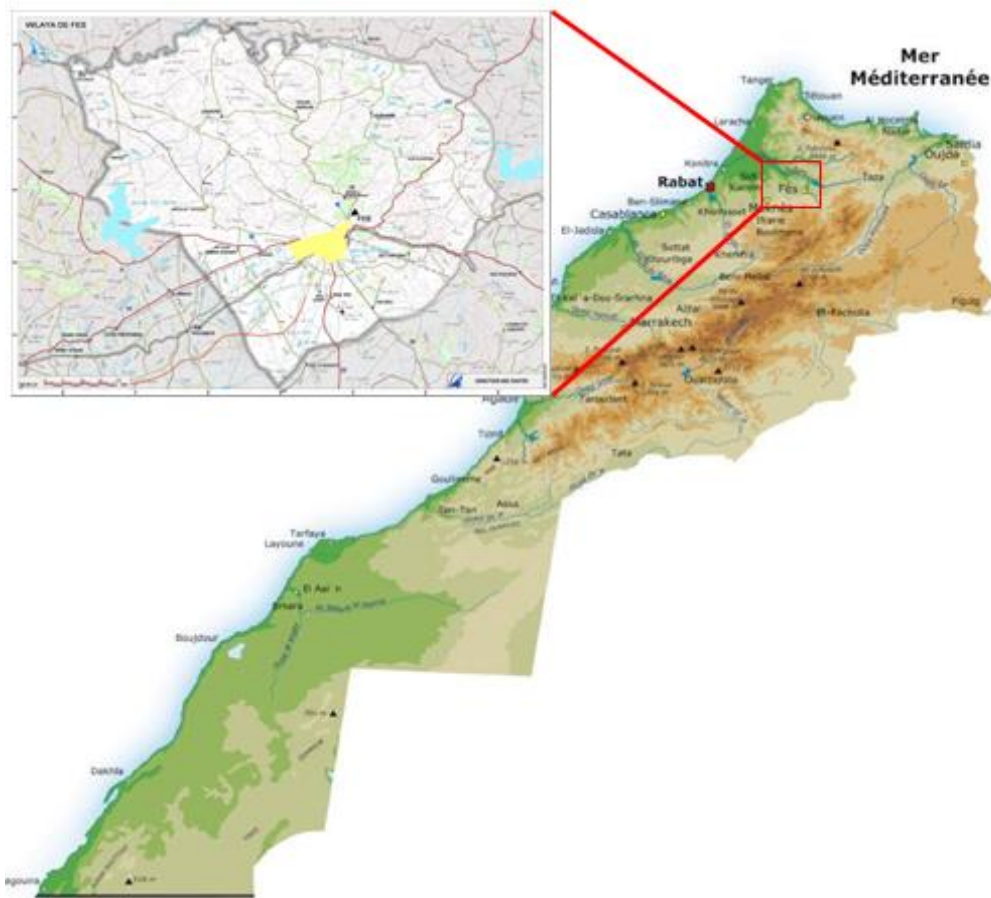


Figure 14: situation de la ville de Fès extraite de l'atlas routier

Au nord se trouvent les collines du prè-Rif hautes de 400 à 500m avec des pics culminants à 900m comme la montagne Zalagh qui a une vue sur le nord de la ville de Fès. La colline du Saïs se situe entre le début des collines du Rif et les montagnes du MoyenAtlas, et progresse du sud vers le nord à une hauteur de 400 jusqu'à 700m. Ce passage se rétrécit vers l'Est dans la direction de la ville de Taza qui est connue comme un axe de passage entre l'Est et l'ouest du Maroc.

II. Contexte géologique

Apartir de l'analyse de la coupe géologique ci-dessous on distingue :

1. Paléozoïque

Les formations géologiques paléozoïques sont formées principalement de schistes, de grès et de quartzites (fig :15).

2. Mésozoïque

Les formations mésozoïques n'affleurent que dans les extrémités de la plaine, soit au Moyen Atlas soit au niveau des rides sud rifaines.

a) Trias

Le Trias repose en discordance sur le socle paléozoïque fissuré, et dont la sédimentation mésozoïque commence par une série de rouge triasique. Cette série comporte deux cycles ; le premier comporte des argilites, siltites, avec parfois des lentilles conglomératiques à la base ; et le deuxième comporte une sédimentation argilo-évaporitique du Trias supérieur.

b) Lias

Les terrains liasiques recouvrent les formations triasiques en couches discordantes. Le Lias affleure très largement au niveau du causse moyen atlasique au Sud, ainsi qu'au niveau des rides pré rifaines, depuis le massif de Moulay Driss au Jbel Zalagh au nord de Fès. La série liasique du Causse Moyen Atlasique, comporte :

- **Un Lias inférieur** : composé de dolomies sableuses, dolomies massives et ruiniformes (faciès Sebkhah). Ces formations sont datées du Sinemurien au Lotharingien par les Brachiopodes.
- **Un Lias moyen** : il s'agit particulièrement de faciès à calcaires micritiques, calcaires à silex et calcaires marneux d'âge carixien à domérien. Les formations liasiques s'enfoncent progressivement vers le nord dans la plaine de Saïs à des profondeurs de plus en plus grandes, avant de se terminer brusquement au niveau du front de la nappe pré-rifaine. Ces formations sont affectées par un certain nombre de flexures à grande échelle, ces flexures sont orientées soit NE-SW, soit NW-SE. (fig15).

3. Cénozoïque

a) Miocène

Les dépôts miocènes surmontent de manière discordante le Lias. Cette discordance est marquée par l'absence de dépôts de l'âge jurassique moyen à Oligocène. L'épaisseur de la série miocène augmente progressivement vers le nord pour atteindre les 1000 m dans la bordure nord de la plaine de saïs. (fig15)

b) Pliocène

- Pliocène marin

Il est constitué par des grès jaunes et des sables, le contact de ces dernières avec les marnes bleues du Tortonien représente le contact entre les terrains aquifères contenant la nappe phréatique et les terrains imperméables formant le mur de cette nappe.

- Pliocène continental

Il est représenté par les dépôts suivants : les conglomérats et les calcaires lacustres,

c) Quaternaire

Le quaternaire est représenté par de divers dépôts : basaltes, éboulis, travertins, croules calcaires, dépôts marécageux et alluvions. L'épaisseur de ces dépôts est faible, mais variable .Il ne dépasse pas généralement les 100m, mais peut atteindre 120m dans des zones marécageuses de l'étang de Douyet.

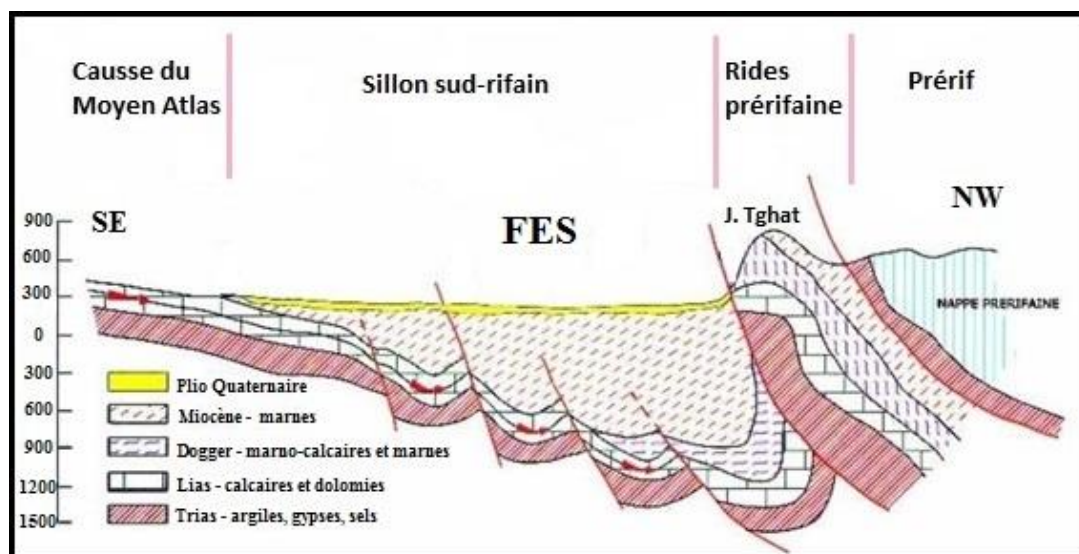


Figure 15: Coupe géologique schématique du bassin Fès- Mèknes (Reynard et al., 2011 ; modifiée)

III. Contexte géomorphologie

La ville de Fès fait partie du bassin du Saïs qui occupe le Couloir sud-rifain ou le Sillon sud rifain central. Ce bassin est considéré, du point de vue géomorphologique, comme une vaste gouttière synclinale dissymétrique.

Le fond de cette gouttière, qui correspond à une grande plaine fertile et intensément cultivée, se tient à une d'altitude moyenne d'environ 500 m. Cette plaine, appelée couramment la plaine du Saïs comporte une vraie plaine dans le Saïs de Fès et un plateau dans le Saïs de Meknès.

Ces deux entités topographiques et géomorphologiques, où les réseaux hydrographiques présentent des encaissements différents, qui sont plus importants au Saïs de Meknès que celui de Fès, sont séparées par une rupture de pente de dénivelé important, pouvant atteindre 50m. Cette rupture de pente est l'expression morphologique du passage d'une flexure importante, appelée la flexure de Taoujtat (Taltasse, 1953, Martin, 1981)

Figure 16: : Coupe géologique schématique du bassin versant de l'oued FES, (Reynard et al 2011)

IV. Contexte climatique

La région de Fès est soumise un climatscontinental dans la partie nord, très chaude et très sèche en été et froid et humide en hiver. La moyenne des précipitations y est de 480 à 800 mm et les vents y sont secs et froids ou bien froids et humides en hiver et chauds en été.

1. Température

La température est un facteur important qui contrôle l'intensité d'autres facteurs comme ceux du cycle de l'eau, notamment l'évaporation et la transpiration

Tableau 1 : Température moyenne mensuelle du bassin du Saïs (station de Fès 1977-2008)

	SEP	OCT	NOV	Déc	JAN	FéV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOû
Min (°C)	22,43	18,89	14,08	11,05	9,13	10,66	13,06	14,63	17,95	22,74	26,28	26,29
Max (°C)	22,40	18,81	14,07	10,99	9,19	10,65	13,06	14,73	17,95	22,76	26,23	26,25
Moyen (°C)	22,59	18,45	13,88	10,67	9,28	10,65	12,52	14,25	17,27	21,90	25,77	25,77

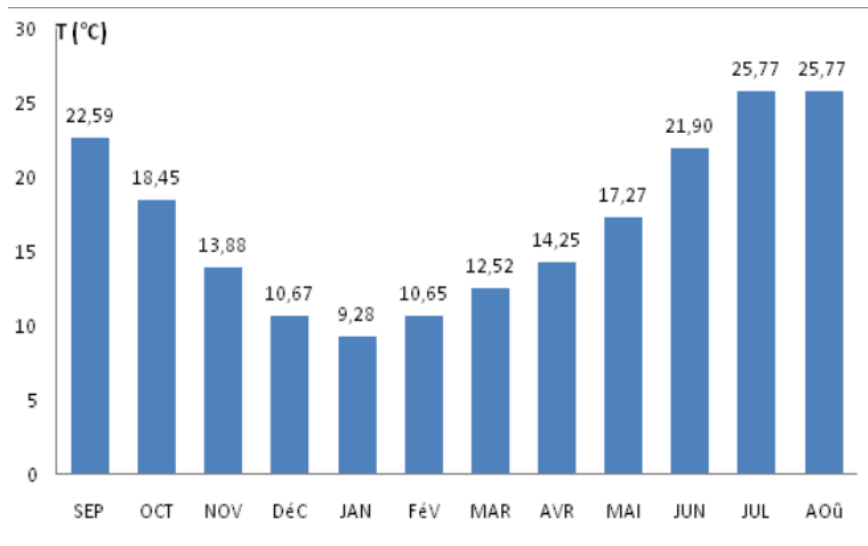


Figure 17 : température moyenne mensuelle du bassin du Saïs (1977-2008)

2. Précipitations

La connaissance de la répartition des précipitations permet en particulier de calculer la lame d'eau tombée sur la région, cette opération qui reste relativement délicate nécessite la Combinaison de différentes méthodes afin de prendre en considération les contraintes géographiques existantes telles l'altitude, topographie et l'exposition.

- *Précipitations annuelles*

Les précipitations moyennes annuelles du bassin sont en moyenne de 440 mm/an avec un maximum de 800 mm sur les zones de grandes hauteurs plus au nord dans le rif et un minimum de 210 mm et les vallées du Beht.

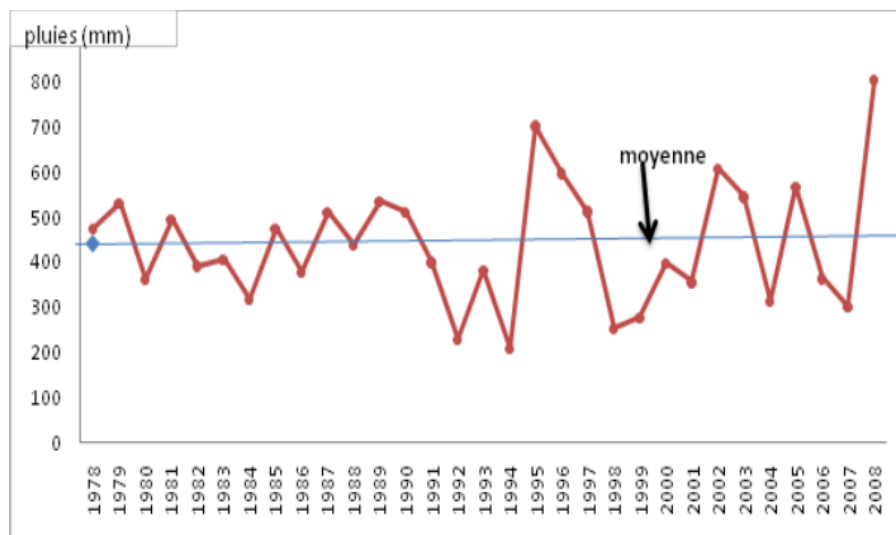


Figure 18 : Hauteurs des pluies moyennes annulées à l'échelle du bassin du Saïss (station Fès 1997-2008)

- Précipitations mensuelles

Les pluviomètres des stations enregistrent une variation mensuelle de la pluie qui précipite et donnée moyenne mensuelle de 38.5 mm. Le mois le plus arrosé est décembre (64.4 mm) alors que le mois le plus sec est juillet (1.85mm).

Tableau 2 : pluie moyenne mensuelle et leurs contributions dans les pluies moyenne annuelle (station Fès 1977-2008)

	Septemb re	Octobr e	Novembr e	Décembr e	Janvi er	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
Moyenne (mm)	15,85	45,05	60,95	64,4	61,55	60,65	50,65	52,9	31,5	13,1	1,85	3,3
contribution (%)	3,65	10,37	14,03	14,82	14,17	13,96	11,66	12,17	7,25	3,01	0,43	0,76

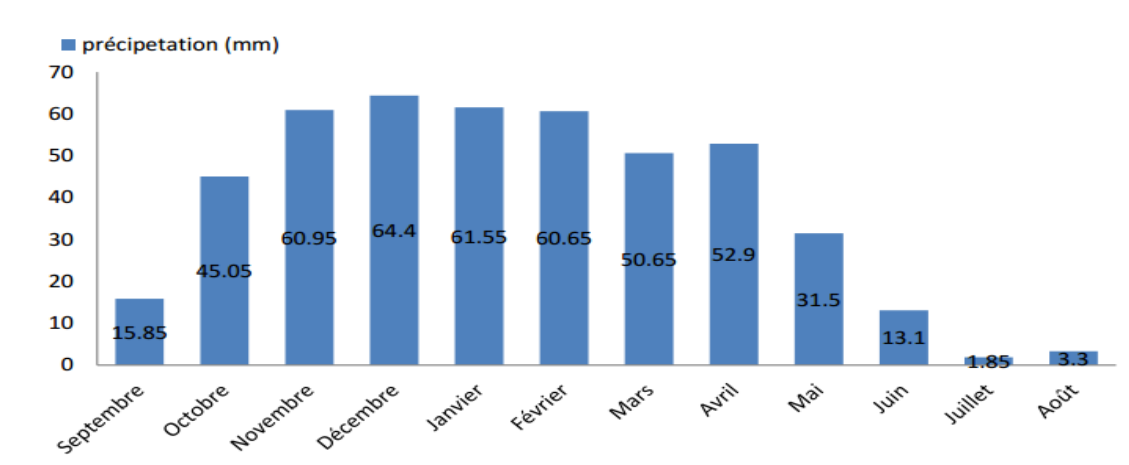


Figure 19 : précipitation moyenne mensuelle du bassin du Saïs (station Fès 1977-2008)

V. Contexte hydrologique

La plaine de Saïs est traversée par un réseau hydrographique varié. L'oued Fès constitue la principale artère qui traverse la plaine selon une direction NE-SW. La majorité des cours d'eau prennent naissance au pied du Causse Moyen atlasique et à partir des sources (D'après A. Mouaddine).

1. Les Oueds

Les principaux oueds qui traversent la zone de Fès sont :

a) Oued Sebou

Le Sebou prend sa source dans le Moyen Atlas, il prend naissance à la confluence Medez Zloul, il draine les versants sud de la chaîne montagneuse du Rif et ceux du Nord Ouest du moyen- Atlas, après un parcours de 500 Km, il se jette dans l'océan, après avoir reçu de nombreux affluents en provenance du :

- Moyen Atlas tabulaire et plissé: les oueds Zloul, Fès et Meknès;
- Moyen Atlas et du Rif: Inaouène;
- Rif: les oueds Lebène et Ouergha;
- Plateau central: les oueds Beht et Rdom.

b) Oued Fès

Il prend naissance à la source de Ras el ma, tout au long de son parcours, il reçoit les eaux de ses affluents et de plusieurs sources. Son bassin versant a une superficie de 400 Km² et une longueur de 28km.

- Oued Boufkrane

Il prend origine de la région de Bhalil, et suit une direction d'écoulement NW-SE, la superficie de son bassin versant est de l'ordre 49 km². Il reçoit l'eau de plusieurs sources.

- Oued El Mahrez

Il circule dans un bassin versant de superficie de 122 km² et ayant une longueur d'environ 10 km, il est presque sans débit notable en dehors des périodes pluvieuses.

- Oued Aïn Smene

Il prend son origine à partir de la source d'Aïn Smene, il traverse la plaine de Fès dans la partie ouest, cet oued est un affluent d'Oued Fès.

- Oued Aïn Chkef

Comme son nom l'indique, il prend son origine de la source d'Aïn Chkaf, généralement son écoulement à une direction N-S.

- Oued Ain Cheggag

Il prend naissance de la source d'Aïn Cheggag, son écoulement est de Sud vers le Nord. La pente des cours d'eau est nettement trop faible. De ce fait, ils sont peu encaissés à l'exception de certaines vallées surimposées (effet tectonique). Cette pente faible peut causer par endroit la stagnation de l'eau, c'est le cas de l'étang Douyet, qui représente une zone mal drainée et marécageuse située à l'ouest de la ville de Fès.

- Oued El Himmer

C'est une source située dans la plaine du Saïs et alimente l'Oued Ain Chkef. C'est une source d'émergence de la nappe phréatique soutenue par l'apport des eaux de la nappe profonde du Lias carbonaté à travers des failles. Cette source est utilisée pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation du complexe touristique.

VI. Contexte hydrogéologique

De point de vu hydrogéologique la zone de Fès est contient deux type de nappe :

✓ La nappe profonde (Lias)

La nappe profonde circule dans les calcaires et les calcaires dolomitiques du Lias. Ces formations constituent un aquifère à nappe libre sur les causses et en bordure, puis captive sous les formations marneuses imperméables du Tertiaire. Le Lias semble exister partout et forme un vaste sillon synclinal correspondant à une zone subsidence.

✓ La nappe phréatique (Plio-Quaternaire)

Cette nappe circule principalement dans les calcaires lacustres ayant une puissance assez élevée. Par contre à l'Est, les calcaires lacustres passent latéralement à des conglomérats, le principal niveau aquifère. Ce réservoir de faciès conglomératique repose directement sur les marnes du Tortonien. Dans la région de Douyet, l'aquifère est constitué par une épaisse série de calcaires lacustres, des micro-conglomérats et des dépôts quaternaires argilo-sableux.

VII. Contexte sismique au Maroc

Au Maroc, le Règlement de Construction parasismique RPS 2000 version 2011. La carte de zonage de la version RPS 2000 dépend seulement de l'accélération sismique du sol. La nouvelle version RPS 2011 dispose de deux cartes sismiques, introduisant en plus de l'accélération, la vitesse sismique du sol. Précision des paramètres sismiques de chaque commune et chaque province du Maroc. la ville de Fès est située dans les zones ZA2 et ZV2 correspondant à la zone d'accélération maximale et la zone de vitesse maximale. Le coefficient d'accélération $A_{max}/g = 0,1$ et une Vitesse des ondes de cisaillement V_s en (m/s) : $760 > V_s \geq 360$.

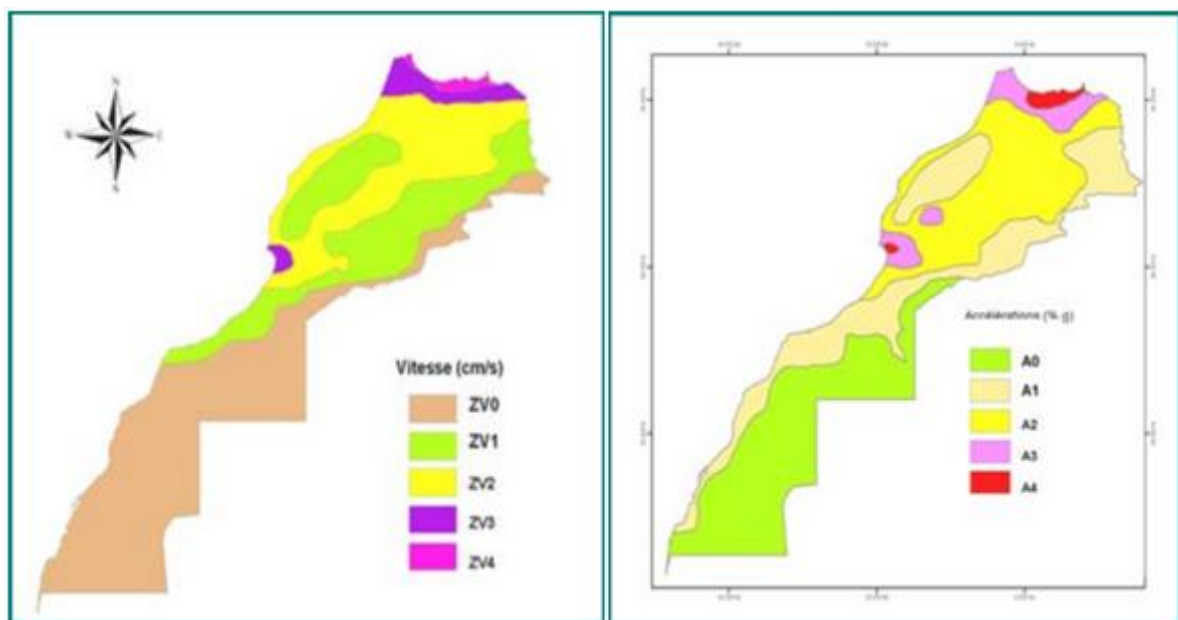


Figure 20 : Zonage sismique du Maroc : à droite l'accélération des ondes sismiques et à gauche, les zones des vitesses, (D'après RPS 2011).

CHAPITRE 3 : ÉTUDE DES ZONES GÉOTECHNIQUE DE LA VILLE DE FÈS

I. Carte géotechnique de Fès

La carte géotechnique ci-dessous a été réalisée à l'aide de la digitalisation des affleurements géologiques, à partir de la carte géotechnique de Fès (1966) (Chapron et Humbert).

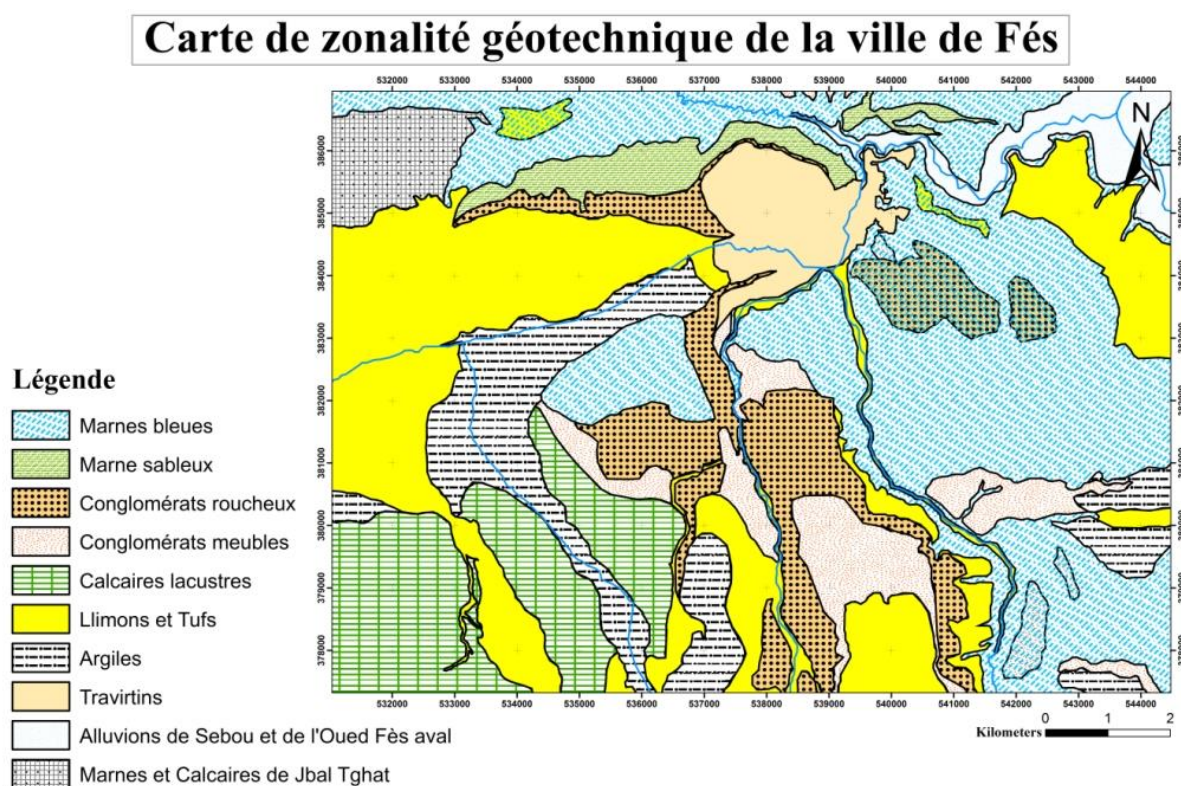


Figure 21 : Carte géotechnique de la zone d'étude Fès (Jalouni & al 2017, modifiée)

Cette carte montre la présence de plusieurs types de zones géotechniques (Marnes, limons et tufs, conglomérats, argiles, calcaire ...), Celles-ci sont définies également à partir de critères lithologiques. Elle s'oppose assez nettement par son modèle à l'unité du pays marneux, elle sert d'assise à la ville nouvelle, à la médina et à la banlieue sud. On distingue plusieurs zonings :

- **Zone marnes bleues :**

Cette zone est limitée à l'Ouest par l'Oued Boufekrane, elle se prolonge vers l'est

bien au-delà des limites de la carte (fig21), et couvrent une surface de 41,3 Km². Les affleurements miocènes nord-est sont masqués par les dépôts de l'oued Sebou. Les marnes s'étendent également sur la frange septentrionale du périmètre étudié. Exploitées depuis un âge reculé pour la céramique et la fabrication des briques et des tuiles. Par ce que ce sont des matériaux fins, très plastiques (indice de plasticité égale 39%), avec un indice de compression est de 0,17 et un indice de gonflement est de l'ordre de 0,04.

- **Zone des marnes sableuses**

Les marnes sableuses affleurent au nord de la ville (Oued Fès et Oued Mellah), et couvrent environ de 3,6 Km² de superficie (Fig. 21). Ce sont aussi exploitées pour la fabrication des céramiques et des briques et des tuiles. Par ce que ce sont des matériaux avec des caractéristiques similaires aux marnes bleues, notamment une grande vulnérabilité de glissement et de gonflement du sol.

- **Zone des conglomérats rocheux :**

Les conglomérats rocheux existent dans la zone de Sidi Brahim-Aouinat El Hajaj, le Borj Sud, la ville nouvelle et dans la région d'oued Fès (Fig. 21), avec une superficie de l'ordre de 13,3 Km². La composition granulaire des conglomérats étudiés dans le laboratoire est marquée par une dominance des éléments grossiers (plus de 43%). Les vides sont remplis par des matrices de sables fins, des limons et des argiles. Ce qui explique la faible plasticité du mortier. Ce sont des matériaux compacts incompressibles qui constituent donc un substratum rigide et fiable pour l'installation des fondations lorsque leur épaisseur est suffisante.

- **Zone des conglomérats meubles :**

Les conglomérats meubles existent dans le plateau de Dhar El Mahraz, dans la région de Narjis, l'Hippodrome et vers le plateau de Gâada (Fig. 21), avec une superficie de l'ordre de 8,9 Km². Ces conglomérats friables sont composés aussi des éléments grossiers, mais liés par une matrice sablo-limoneuse. Ce sont donc de bons matériaux de fondation, surtout lorsqu'ils surmontent des conglomérats rocheux ou des marnes franches compactes.

- **Zone de calcaire lacustre :**

Relativement réduite par rapport à la zone des conglomérats, les calcaires lacustres

se trouvent au sud-ouest de la ville de Fès (Bensouda et Aïn Chkef) sous forme rocheuse dures, avec une superficie de l'ordre de 14,8 Km² (Fig. 21). Que ce soit massif ou pulvérulent. D'âge pliocène ces calcaires s'envoient progressivement au nord sous la plaine de l'oued Fès. Ces calcaires sont exploités pour les moellons et les gravites, très recommandés comme un matériau de maçonnerie et béton, par ce que ce sont d'excellents sols de fondation, stables, très résistants.

- **Zone des tufs et des limons**

Les limites entre les calcaires, le tuf et les conglomérats sont peu distinctes sur le terrain, puisque ces formations du pliocène passent latéralement les unes aux autres. Les Tufs et les limons s'étendent largement au sud-sud-est de la ville nouvelle (fig21) ainsi que sur la rive nord de l'Oued Fès; l'ouest de Bled El-Gada fait partie de la même zone. La surface occupée par ces matériaux est de 31,5 Km².

Ce sont des matériaux fins dont la granulométrie est dominée par les silts et sables fins (84% des éléments fins), avec souvent des galets dispersés. L'indice de plasticité est de l'ordre de 18,7%, c'est une formation moyennement plastique non compressible. Le risque ne se présente que lorsque celle-ci repose sur un horizon argileux gonflant et très compressible, donc il est recommandé à l'utiliser avec prudence.

• **Zone des argiles**

Les argiles de Fès se trouvent dans le Sud de la ville dans la vallée de l'Oued El Himmer et Bled Aïn Hamria et plus à l'Est dans le plateau de Gâada ville (Fig. 21), avec une superficie de 13,2 Km². Ils ont des caractéristiques similaires à celles des marnes, en raison de leur compressibilité et leur plasticité très élevées (dominance des fractions très fines). Donc il faut bien éviter ces argiles comme fond d'assise pour les différentes fondations en génie civil.

- **Zone des travertins**

Les travertins des mérinides affleurent suivant un périmètre restreint, mais bien délimité, avec une superficie de l'ordre de 5,3 Km². Ils se poursuivent vers le sud jusqu'à l'Oued Zitoune et ils sont encore visibles dans les gorges des torrents de Fès-Jedid, leurs puissances est considérée importantes. Ils sont généralement des terrains favorables pour l'installation de fondation, à l'exception de certains risques

d'effondrement au pied des falaises, dans les cavités humaines et au-dessus les carrières et les travaux souterrains

- **Zone des alluvions de Sebou et Oued Fès aval :**

Les dépôts alluvionnaires s'étalent avec les écoulements des oueds de la ville (Fig. 21). Ils sont présentés sous plusieurs formes (sables, graviers, argiles, dépôts polygéniques...), avec une superficie de l'ordre de 4,6 Km². Ce sont des formations hétérogènes recouvertes à la surface par des terres végétales, suivies par des argiles brun rouge. Ces matériaux sont mous très plastiques et compressibles sous la charge des constructions, qui présente un grand risque de glissement, éboulement et bien sûr d'inondations. Mais, ils restent une source d'exploitation de haute qualité.

- **Zone de Jbel Tghat :**

Occupe une surface de 3,4 Km² à l'extrémité Nord-Ouest de la ville, et contient des calcaires sableux massifs, des marnes blanches du Miocène au sommet, et des marnes vertes du jurassique au versant. C'est une zone défavorable et dangereuse à cause de son instabilité tectonique et sa très forte pente.

Conclusion

Cette mémoire avait pour objectif, l'étude des différentes caractéristiques des zones géotechniques de la ville de Fès, grâce à la consultation des cartes géotechniques de la ville de 1966 et de 2017, les données fournis par rapports des laboratoires de génie civil national et les différentes données existantes à propos de la région de Fès (géotechniques, géologiques, climatiques, hydrogéologiques...).

L'étude et l'analyse de la carte du zoning géotechnique de la ville de Fès (2017) à l'aide d'un système d'information géographique (ArcGIS), a abouties à la réalisation de dix zones géotechniques dans la ville de Fès, qui sont :

- La zone des marnes bleues est une grande sensibilité aux glissements, et en peut utilisée cette matériaux dans la fabrication de céramique, les brique et des tuiles.
- La zone des marnes sableuses sont la même aux marnes bleues.
- la zone des limons et tufs sont une formation moyennement plastique non compressible. Il est très compressible lorsque repose sur un horizon argileux gonflant.
- La zone des conglomérats rocheux sont des matériaux compacts incompressibles
- La zone des conglomérats meubles est friable, ce sont des bons matériaux pour les fondations.
- La zone des calcaires lacustres sont d'excellents sols de fondation, stables, très résistants. sous forme rocheuse dures
- La zone des argiles est la même caractéristique à celles des marnes, en raison de leur compressibilité et leur plasticité très élevées.
- La zone des travertins sont généralement des terrains favorables pour l'installation de fondation,
- La zone des alluvions de Sebou et de l'Oued Fès aval sont mous très plastiques, compressibles et humides sous la charge des constructions, qui présente un grand risque de glissement.
- La zone de Jbel Tghat est défavorable et dangereuse à cause de son instabilité tectonique et sa très forte pente

Cette nouvelle carte est considérée comme un nouveau document de base fondamentale pour la connaissance des sols d'assise afin de mieux gérer l'aménagement de territoire en évitant les zones de risques. Mais cette travail est nécessite une mise à jour continue de différents documents de la zone d'étude.

Références

- **AFNOR**, (1999). *Géotechnique : Recueil de normes, Tome 1 : Essais en laboratoire et Tome 2 : Essais sur site.*
- **Belarbi M. A et M. Rachedi. M.**, (1992), *Structure Spéciales : Généralité sur les sols.*
- **Desyji. M.** 1997 : *Document des schémas de la mécanique des sols ; département génie civile ; laboratoire mécanique des sols, cycle poste grade géologie appliqué à l'ingénierie et à l'environnement EPF Lausanne doc 39, doc 51.*
- **Jalouni A.**, (2015), *Contribution à la mise à jour du zoning géotechnique de la ville de Fès, mémoire de fin d'études Master, faculté des sciences et techniques Fès-Maroc* 2015.
- **Jalouni A., Lahrach. A. & Chaouni. A.**, (2017). Importance of geotechnical map in sustainable planning, Application to the Fez area (Morocco), *Ecology, planning and design* – St. Kliment Ohridski University Press Sofia, Bulgaria.
- **Karmouda N.**, (2015), *Etude des caractéristiques géotechniques des faciès lithologiques de la ville de Fès, mémoire de fin d'études Master, faculté des sciences et techniques Fès-Maroc* 2015..
- **Lerau J.**, *géotechnique 1cours chapitres 1*, 2005.
- **Martin P.**, *Géotechnique appliquée au BTP*, 2e édition, 2005.
- **Ministère de l'Habitat, de l'Urbanisme et de l'Aménagement de l'Espace (2011)** – Le règlement parasismique au Maroc – RPS 2000 version 2011.
- **Mouaddine A.**, (2010), *Caractérisation granulométrique, physico-chimique et géochimique des sols d'ouest de Fès, mémoire de fin d'études Master, faculté des sciences et techniques Fès-Maroc* 2010..
- **Paillier C.**, (2006), *Manuelle des travaux pratiques : essai géotechnique*, IUT St Pierre – Département Génie civil, Année universitaire.
- **Plumelle C.**, (2002), *Cnam-Paris-Géotechnique B6/chapitre11.*
- **Reynard E., Lasri M., Werren G., Obda K., Amya M., Taous. A.**, (2011) - Carte des phénomènes d'inondation des bassins de Fès et Beni Mellal. *Projet, Lausanne, Fès. p8.*

Web graphique

- <http://www.unisol.fr/fr/laboratoire-de-mecanique-des-sols/essais-de-compressibilite-et-de-permeabilite>
- http://www.geomeca.fr/laboratoire_p5762.htm
- [Wikigeotech](#) : Essai Lefranc



Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

Hamza EL ACHCH

Ayoub EL BARAKA

Année Universitaire : 2016/2017

Titre : Synthèse des travaux sur l'élaboration de la carte géotechnique de la ville de Fès

Résumé

La carte géotechnique permet de représenter et simplifier les caractéristiques (géologiques, géomorphologiques, hydrogéologiques, ...) du sous-sol pour une région donnée, ce qui est important pour éviter les risques liés à la construction. Notre objectif est de faire une étude et une analyse de la carte du zonage géotechnique de la ville de Fès (2017). On a constaté que la zone de Fès se compose de dix zones (Jalouni & Al 2017), chaque zone a ces caractéristiques spécifiques qui la caractérisent en propriétés physiques, mécaniques et rhéologiques :

- La zone des marnes bleues ;
- La zone des marnes sableuses ;
- la zone des limons et tufs ;
- La zone des conglomérats rocheux ;
- La zone des conglomérats meubles ;
- La zone des calcaires lacustres ;
- La zone des argiles ;
- La zone des travertins ;
- La zone des alluvions de Sebou et de l'Oued Fès aval ;
- La zone de Jbel Tghat ;

Mots-clés : Géotechnique, zonage, carte, SIG, Fès.