



Année Universitaire : 2014-2015



Master Sciences et Techniques : Hydrologie de Surface et Qualité des Eaux

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et
Techniques

**Contribution à la mise à jour du zoning géotechnique
de la ville de Fès**

Présenté par :

JALOUNI Abdessamad

Encadré par :

- DEMEHATI Abdelghani, LPEE – Fès,
- CHAOUNI Abdel-Ali, FST - Fès

Soutenu le 25 Juin 2015 devant le jury composé de:

- Pr. LAHRACH Abderrahim
- Pr. CHAOUNI Abdel-Ali
- Pr. BENAABIDATE Lahcen
- Pr. TABYAOUI Hassan
- BENABDELHADI Mohammed

Stage effectué à : LPEE - Fès



Résumé

La cartographie géotechnique est un outil de la facilitation, de la quête et de l'exploitation de terrain pour la construction, elle doit être précise et représentative, vue le rôle qu'elle joue aussi bien dans la prise de décision que dans la prévention des risques, la première carte géotechnique de la ville de Fès à été élaboré en 1966 par « Chapron et Humbert ».

Notre mission consiste la mise à jour du zoning de cette carte, et ceci en exploitant des données représentatives qui étaient élaborés selon les essais géotechniques, en suivant des normes récemment officialisé. Ceci a abouti à la réalisation d'une carte précise qui renferme sept zones géotechniques qui se résument aux :

- Zone des marnes ;
- Zones des argiles ;
- Zone des conglomérats ;
- Zone des calcaires lacustres ;
- Zone des travertins ;
- Zone des limons ;
- Zone des Alluvions.

Mots clés : Sondage, Essais géotechniques, Carte géotechnique, Zoning, Mise à jour, Fès.

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Mes très chers parents ;

Toute ma famille ;

Tous mes amis : Imane, Nourelhouda, Soumaya, Amine,

Larbi, Mohammed ;

A tous ceux qui ont une bonne impression dans mon cœur ;

*Toute la promotion du Master Hydrologie de Surface et Qualité
des Eaux 2015*

Jalouni Abdessamad

Remerciements

Je remercie d'abord ALLAH le tout puissant qui m'a guidé et qui m'a donné la force et la volonté de réaliser ce travail.

Je remercie mon encadrant, Monsieur CHAOUNI Abdel-Ali Professeur au département de Géoressources et Environnement à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès, d'avoir accepté de diriger ce travail avec beaucoup de disponibilité et d'efficacité, pour m'avoir fait partager son expérience, pour les conseils et encouragements qu'il a su me prodiguer pendant toute la durée de ce projet.

J'exprime mes sincères remerciements à encadrant de stage Monsieur DEMEHATI Abdelghani, Ingénieur et Directeur adjoint du LPEE centre de Fès, pour son aide, ses conseils et sa disponibilité.

Je remercie vivement Monsieur BENAABIDATE Lahcen, Professeur au département de Géoressources et Environnement à la FST-Fès, Monsieur LAHRACH Abderrahim, Professeur au département de Géoressources et Environnement à la FST-Fès, Monsieur BENABDELHADI Mohammed, Professeur au département de Géoressources et Environnement à la FST-Fès et Monsieur TABYAOUI Hassan, Professeur de Géologie à la Faculté Polydisciplinaire de Taza, qui ont accepté de juger ce travail. Je leur suis très reconnaissant d'y avoir consacré une partie de leur temps.

Mes remerciements sont adressés à l'ensemble des personnels de LPEE Fès qui ont contribué à mon encadrement et surtout Monsieur BOUHAYATE et Madame Hanae.

Je tiens à remercier mes amis et collègues, Abdelfatah, Amine, Imane, Nada, Nourelhouda, Soumaya, et Zineb pour leurs aides, leur intérêt pour la recherche et pour ses précieux conseils ainsi pour tous les bons moments partagés, passés et futurs.

Je tiens également à remercier mes collègues de promotion, Mourad, Ismail, Lamyae, Btissam, Halima, Omar, Safouane, Tayeb et Zakaria, pour les pauses relaxation et discussions que nous avons partagées durant ces deux dernières années à la FST de Fès.

Enfin, mes pensées vont, bien entendu, vers mes parents, mes sœurs, ainsi que vers toute ma famille, leur soutien et leur compréhension ont été un atout majeur pour la réalisation de ce travail.

Table des matières

Résumé.....	1
Dédicaces	3
Remerciements	4
Table des matières.....	5
Liste des figures	7
Introduction générale.....	8
Chapitre I : Cadre général de la zone d'étude	10
I. Contexte géographique :	10
II. Contexte géologique :.....	11
III. Contexte géomorphologique :	14
IV. Climatologie :	15
1. Les précipitations :	15
2. Les Températures :	17
V. Contexte hydrologique :	18
VI. Contexte hydrogéologique :	20
VII. Contexte tectonique :	21
VIII. Contexte sismique :	23
Chapitre II : Reconnaissances et cartographie géotechnique	24
I. Reconnaissances et études géotechniques	24
1. Introduction	24
2. Domaines d'application.....	25
3. Essais in situ	25
4. Essais en laboratoire.....	30
II. Cartographie géotechnique	35
1. Introduction	35
2. Utilités de la cartographie géotechnique.....	35
3. Historique.....	36
Chapitre III : Mise à jour du zoning géotechnique de la ville de Fès.....	38
I. Les données utilisées	38
1. Carte géotechnique de Fès	38
2. Images satellitaires	39
3. Modèle Numérique de Terrain.....	39

4.	Sondages	39
5.	Essais de laboratoire.....	40
II.	Méthodologie et principes	40
1.	Préparation des cartes.....	40
2.	Digitalisation des cartes	40
3.	Elaboration des bases de données.....	40
III.	Présentation des résultats.....	41
1.	Carte des altitudes	41
2.	Carte géologique.....	43
3.	Carte de lithologie	44
IV.	Elaboration du zoning géotechnique	44
1.	Zone des marnes.....	44
2.	Zone des argiles	45
3.	Zone des conglomérats.....	46
4.	Zone des calcaires lacustres	47
5.	Zone des travertins	48
6.	Zone des limons et tufs.....	49
7.	Zone des alluvions	50
	Conclusion générale.....	52
	Annexe	54
	Références Bibliographiques.....	58

Liste des figures

Figure 1 : carte de localisation de la ville de Fès	10
Figure 2 : Coupe géologique schématique du bassin FES- MEKNES (Reynard et al 2011 ; modifiée)	11
Figure 3 : Colonne lithostratigraphique synthétique du bassin de Saïs (Essahlaoui, 2000).....	14
Figure 4 : Coupe géologique schématique du bassin versant de l'oued FES, (Reynard et al 2011)...	15
Figure 5 : Précipitations moyennes annuelles durant les 34 dernières années. (ABHS /FES 2013) ..	16
Figure 6 : Précipitations moyennes mensuelles durant les 34 dernières années. (ABHS /FES 2013)	17
Figure 7 : Températures moyennes annuelles durant les 30 dernières années. (ABHS /FES 2013) ..	17
Figure 8 : Températures moyennes mensuelles durant les 30 dernières années. (ABHS /FES 2013)	18
Figure 9: Carte du réseau hydrographique de la ville de FES (Reynard et al, 2011 ; modifiée).....	19
Figure 10 : Schéma structural de la plaine de Fès au Quaternaire : les principales structures de rampes à la limite avec la plaine de Fès. (D'après M. Charroud et al 2007).....	22
Figure 11 : Coupe structurale dans les rides prérfaines et le Saïs (Plaine de Fès) (D'après M. Charroud et al 2007)	22
Figure 12 : zonage sismique du Maroc : à droite l'accélération des ondes sismiques et à gauche, les zones des vitesses, (D'après RPS 2011).....	23
Figure 13 : Sondages à la tarière (source E. Manier)	26
Figure 14 : Sondages destructifs (source E. Manier)	27
Figure 15 : Sondages carottés (source E. Manier)	28
Figure 16 : Schéma explicatif du principe de l'essai pressiométrique	29
Figure 17 : Contrôleur Pression Volume (CPV) et Sonde (doc. APAGEO)	29
Figure 18 : schéma d'appareillage de pénétromètre dynamique	30
Figure 19 : Refus dans les différents tamis	32
Figure 20 : courbe granulométrique cumulé (C. Plumelle 2002)	32
Figure 21 : Essai au bleu de méthylène - Vue du papier filtre et des tâches auréolées	33
Figure 22 : schéma de la boîte de cisaillement.....	34
Figure 23 : carte des altitudes de la ville de Fès	41
Figure 24 : Carte des pentes de la ville de Fès	42
Figure 25 : Carte d'exposition des versants de la ville de Fès	43
Figure 26 : Carte géologique de la ville de Fès (Chapron et Humbert, 1966 ; modifiée).....	43
Figure 27 : Carte de la lithologie de la ville de Fès (Chapron et Humbert, 1966 ; modifiée)	44
Figure 28 : Carte de la zonalité géotechnique des marnes de la ville de Fès	Erreur ! Signet non défini.
Figure 29 : Carte de la zonalité géotechnique des argiles de la ville de Fès.	Erreur ! Signet non défini.
Figure 30 : Carte de la zonalité géotechnique des conglomérats de la ville de Fès	Erreur ! Signet non défini.
Figure 31 : Carte de la zonalité géotechnique des calcaires lacustres de la ville de Fès.	Erreur ! Signet non défini.
Figure 32 : Carte de la zonalité géotechnique des travertins de la ville de Fès.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 33 : Carte de la zonalité géotechnique des limons et tufs de la ville de Fès	Erreur ! Signet non défini.
Figure 34 : Carte de la zonalité géotechnique des alluvions de la ville de Fès	Erreur ! Signet non défini.
Figure 35 : Carte du nouveau zoning géotechnique de la ville de Fès	Erreur ! Signet non défini.

Introduction générale

Depuis que l'homme a pris la décision de conquérir le sol, à l'utiliser pour construire son monde, il n'a pas cessé de développer les techniques et les méthodes qui lui permettent une construction viable écartée de risque et sécurisée. Dans le temps les reconnaissances géotechniques se résumaient en observations de terrain, au fur et à mesure que le développement scientifique s'essore, cette reconnaissance est devenue assez exigeante, actuellement toute construction ou exploitation des substratums nécessite une étude profonde normalisée et précise.

En effet les cartes géotechniques sont considérées une des piliers de cette étude décisive ; ces cartes géotechniques sont l'une des contributions possibles des spécialistes des sciences de la terre aux opérations d'aménagement et cette intervention doit être située très en amont du processus afin que des décisions malencontreuses ne puissent être prises de façon irréversible dans l'ignorance des données naturelles. Un exemple parmi d'autres soulignera les inconvénients que risque d'entraîner une analyse incomplète de facteurs parfois antagonistes.

Au niveau de notre zone d'étude qui est la ville de Fès, la première carte géotechnique qui était élaborée date de 1966. Elle représentait un travail soigné et très important qui peut être considéré une base de la cartographie géotechniques de la région. Cependant les données représentées n'étaient pas si représentatives et insuffisantes, ainsi que les méthodes géotechniques au Maroc à l'époque n'étaient pas assez normalisées, ce qui fait que cette carte ne répond plus aux exigences du mode de construction actuel. D'où vient la nécessité de sa mise à jour et de l'exploitation des nouvelles données.

La cartographie géotechnique est un instrument d'une très grande importance pour l'aménagement du territoire et les projets urbains. Ses utilisateurs doivent pouvoir s'en servir sans aucune difficulté. Cependant, ce n'est qu'un outil d'orientation qui ne prétend pas à une « parfaite précision ». Elle ne devrait donc en aucun cas dispenser le planificateur d'effectuer d'autres recherches complémentaires en fonction des particularités d'un site donné.

De nombreuses critiques peuvent être portées à ces types de représentation. Leur caractère synthétique amène non seulement à interpréter mais à éliminer de l'information. C'est surtout

le cas pour les données pétrographiques et géotechniques proprement dites. L'expression reste qualitative.

Tout ne pouvant être mis, les cartes de Zoning, par exemple, sont en général conçues dans l'esprit de fondations. Or ce qui est « bon » pour des fondations ne l'est pas toujours pour les terrassements. On peut donc concevoir de compléter les cartes systématiques - qui sont nécessaires - par des cartes non systématiques mettant à la disposition des usagers, de façon commode et rapide, des informations plus détaillées, plus précises (non qualitatives) et constamment à jour.

Cela est possible grâce à la géomatique. Il faut d'abord stocker l'information tout en la rendant aisément mobilisable. Un système de références aux coordonnées, x, y et z permet en particulier d'introduire les résultats de sondages et d'essais sur échantillons.

La multiplication des sondages, travaux, essais divers dans les zones que l'on prévoit d'urbaniser et qui le seront progressivement va représenter une masse d'information qu'il ne sera guère possible de stocker autrement. D'ores et déjà les exemples sont hélas nombreux de sondages repris presque trous dans trous à quelques années d'intervalle parce que les résultats d'une première campagne sont demeurés dans des dossiers mal accessibles. Il est évident qu'il existe, au stade de la mise en mémoire de l'information géologique, des problèmes difficiles de choix et de normalisation qui ne seront résolus que progressivement.

Notre projet de fin d'études est effectué dans le laboratoire public d'essais et d'études de Fès sous le thème : contribution à la mise à jour du zoning géotechnique de la ville de Fès. Le but de ce travail vise à élaborer une carte des faciès géotechniques en intervenant des données de reconnaissance récentes et en révélant de nouvelles caractéristiques.

Pour bien mener ce travail nous allons faire une présentation du contexte géographique, géologique, géomorphologique, climatique, hydrologique, hydrogéologique, tectonique et sismique de la zone d'étude. Ensuite pour se familiariser avec le monde de la géotechnique, par quelques généralités sur cette discipline, ses domaines d'application et ses différents essais (in situ et au laboratoire), pour passer après à la cartographie géotechnique, son historique et ses différentes utilités. Plutard, nous entamerons la contribution à la mise à jour du zoning géotechnique à l'aide de plusieurs données et méthodes, pour aboutir à la fin à l'élaboration d'une mise à jour des zones géotechniques.

Chapitre I : Cadre général de la zone d'étude

I. Contexte géographique :

La ville de Fès est située dans la moitié septentrionale de 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, à l'extrémité orientale du bassin de Saïs qui lui-même fait partie du Sillon sud-rifain. Elle est limitée au nord par les rides prérifaines, formées de deux massifs : celui de Jbel Zalagh qui culmine à 900 m, et celui de Jbel Tghat, qui culmine à 837 m environ ; au sud par le causse moyen atlasique, à l'est par la vallée de l'oued Sebou, et à l'ouest par le Plateau de Meknès.

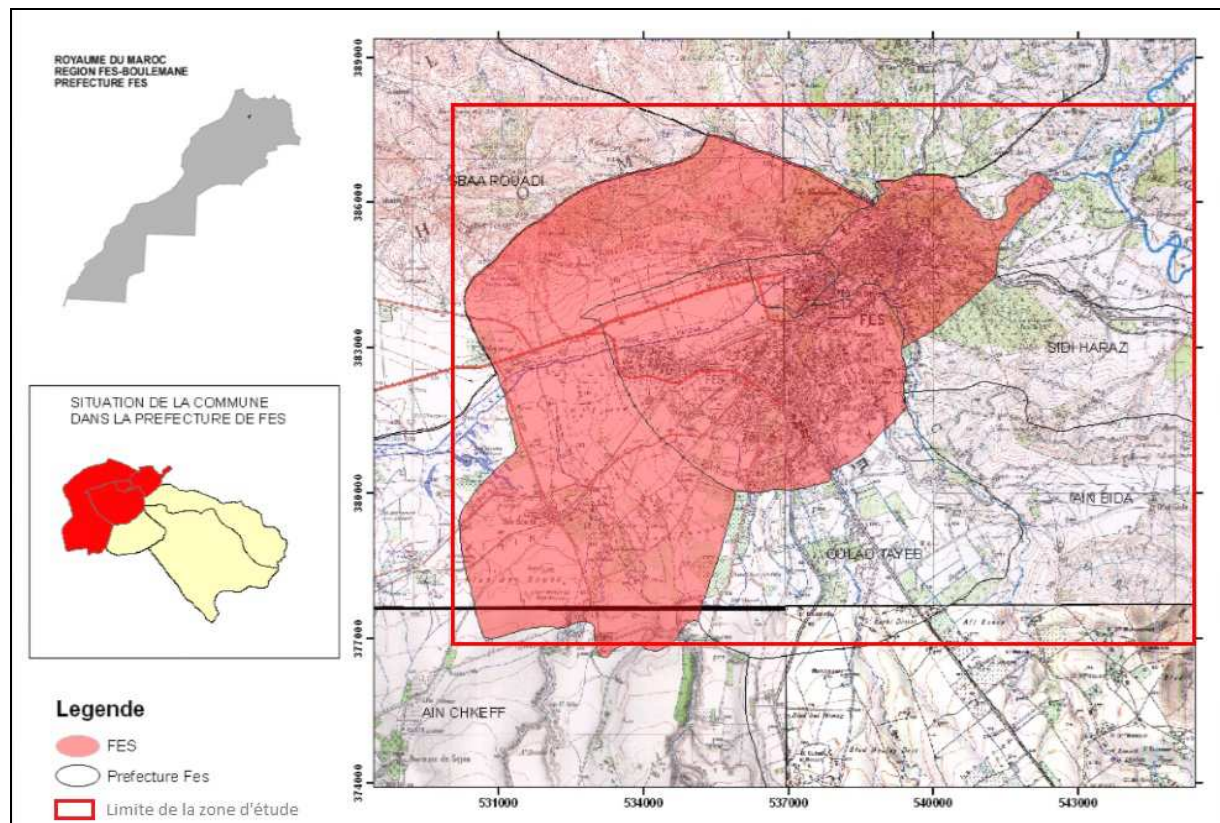


Figure 1 : carte de localisation de la ville de Fès

La ville du Fès constitue la plus importante agglomération la plus proche du secteur, elle est parmi les plus grandes villes du Maroc et joue un rôle déterminant dans le développement du pays. Cette ville est connue par son activité économique, touristique et agricole qui constitue la plus grande richesse de la région principalement avec l'arboriculture, la céréaliculture et les

légumineuses, etc. Selon le recensement de 2014, la population de cette ville est de l'ordre de 1.112.072 habitants (RGPH, 2014).

II. Contexte géologique :

Du point de vue géologique, le secteur d'étude fait partie du Sillon sud-rifain central qui est encadré au nord par la chaîne rifaine et au sud par la chaîne du Moyen Atlas tabulaire. Ce sillon, qui s'est individualisé au Miocène supérieur sur un substrat géologique composé de terrain d'âge paléozoïque et mésozoïque, a fonctionné d'abord comme un bassin marin depuis le Miocène supérieur jusqu'au Pliocène moyen puis comme un bassin continental, d'abord fluvio-lacustre puis fluvatile, depuis le Pliocène supérieur jusqu'à l'actuel (Taltasse, 1950 ; Wernli, 1985 ; Ahmamou 1987, Boumir 1990 ; EL Bouch, 1996).

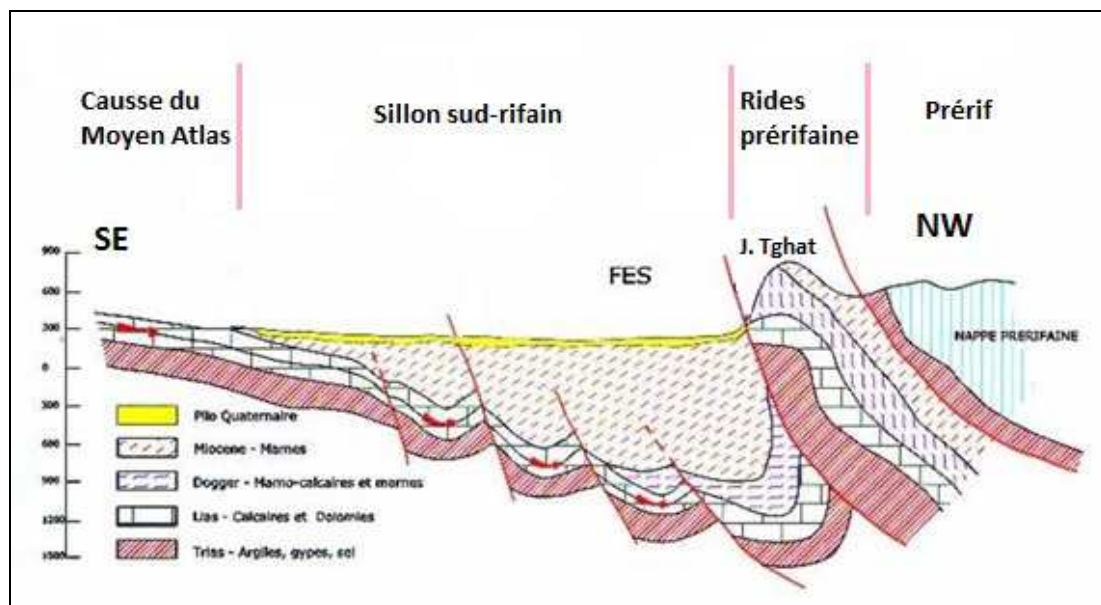


Figure 2 : Coupe géologique schématique du bassin FES- MEKNES (Reynard et al 2011 ; modifiée)

Les formations géologiques paléozoïques sont formées principalement de schistes, de grès et de quartzites. Ces terrains, qui vont depuis l'Ordovicien jusqu'au Carbonifère, affleurent au sud dans le Massif central et aux niveaux de certaines boutonnières paléozoïques, situées dans la zone de transition du Moyen Atlas et du bassin du Saïs et dont les plus importantes sont les deux boutonnières d'Imouzzer du Kandar, à l'ENE, et d'EL Hajeb à l'WSW (Ouarhache, 1987 ; Charrière, 1994).

Les terrains mésozoïques de couverture reposent en discordance angulaire majeur sur le socle paléozoïque bien tectonisé.

Les terrains triasiques débutent par des conglomérats et grès chenalisés de type fluviatiles et se suivent par une sédimentation fine composée de silts et d'argiles plus au moins indurés, de couleur rouges et gypso-salifère. Ces dépôts sédimentaires continentaux à lagunaires comportent des intercalations de roches volcaniques composées principalement de basaltes doléritiques altérés et localement de projections volcaniques, constituées essentiellement de tufs et de cendres plus au moins indurés. (Salvan, 1984 ; Ouarhache, 1987 ; Charrière, 1994).

Les terrains Jurassiques reposent en concordance angulaire sur le Trias et sont formés principalement par des formations carbonatées (calcaires et calcaires dolomitiques marins) d'âge Lias inférieur et moyen (El Arabi, 1987).

Ces formations, qui affleurent largement dans le Moyen Atlas au Sud et constituent l'ossature des rides sud rifaines au nord, s'ennoient sous les formations miocènes et plio-quaternaires du bassin du Saïs. Elles constituent, grâce à leurs étendues et leurs nature pétrographique et épaisseur, un aquifère karstique important, et représentent la source la plus importante de la matière minérale carbonatée en solution qui a servi à l'édification et la précipitation des carbonates continentaux plio-quaternaires. Ces carbonates, composés de calcaires lacustres et de travertins, forment des dépôts importants au niveau de la bordure nord du Moyen Atlas et constituent l'essentiel du remplissage plio-quaternaire continental du bassin du Saïs (Ahmamou, 1987 ; El Bouch, 1996 ; Gourari, 2001).

Les terrains tertiaires reposent en discordance angulaire sur les formations carbonatés jurassiques. Ils sont formés par une grande série sédimentaire marine qui s'échelonnent depuis le Miocène supérieur jusqu'au Pliocène moyen et qui correspond à un cycle sédimentaire. La ride transgressive de ce cycle débute par des conglomérats et des grés, se suit par des silts ocres et se termine par des marnes bleues ou grises de moins en moins sableuses. La série régressive est composée de marnes similaires qui deviennent de plus en plus sableuse vers le sommet et se termine par des grés jaunâtres littoraux, de plus en plus grossiers vers le sommet. L'épaisseur de ces dépôts, à dominante marneuse, atteint environ 1000m au niveau de la ville de Fès. Leur mise en place s'est effectuée dans un sillon profond, dissymétrique et à flanc court du côté de la chaîne rifaine.

Les terrains plio-quaternaires continentaux reposent en discordance angulaire sur les terrains marins néogènes. Ces terrains débutent par une sédimentation fluviale puis se suivent par une sédimentation fluvio-lacustre et se terminent par une sédimentation fluviale qui continue à avoir lieu aux fonds des vallées actuelles.

Les dépôts fluviatiles, de la base de cette série sédimentaire continentale, sont formés de conglomérats et de grés chenalisés qui se sont mis en place dans des systèmes fluviatiles principalement de type en tresse. Les dépôts fluvio-lacustres sont constitués de carbonates continentaux à intercalations de lentilles conglomératiques et gréseuses. Les carbonates sont formés de travertins de barrages qui passent vers le fond des dépressions lacustres à des calcaires lacustres de faciès variés. Les dépôts fluviatiles ultimes sont composés d'épandages conglomératiques de cônes de déjection qui se sont développés aux pieds des reliefs des zones de piedmont atlasiques et des rides sud-rifaines où ils se présentent sous formes de glacis étagés à emboîtés, comme c'est le cas aux pieds des deux rides de Tghat et Zalagh. Ces épandages passent au fond du bassin à des dépôts limoneux argileux à intercalation de lentilles conglomératiques chenalisés. Ces dépôts, qui comportent des intercalations de paléosols, sont coiffés par des croûtes calcaires. Les dépôts fluviatiles de fond de vallées se présentent sous formes de terrasses étagées à emboîtées et de plaine d'inondation. Ils sont formés de dépôts détritiques et de travertins. Les dépôts détritiques sont composés de faciès variés consolidés à meubles, allant depuis les conglomérats et les cailloutis jusqu'aux silts argileux. Les travertins sont composés le plus souvent de tufs travertineux et se présentent en édifices et en couches intercalées dans les alluvions fluviatiles.

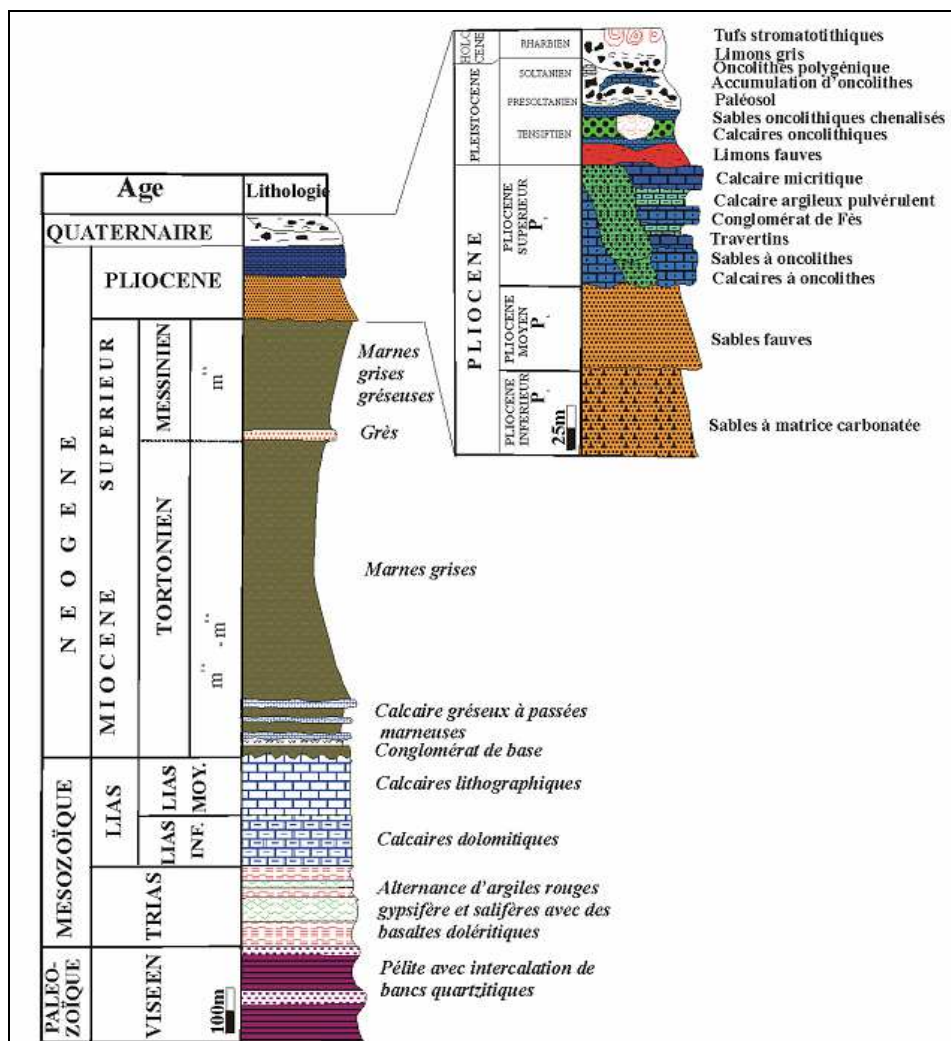


Figure 3 : Colonne lithostratigraphique synthétique du bassin de Saïs (Essahlaoui, 2000)

III. Contexte géomorphologique :

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 Taoudjat (Taltasse, 1953, Martin, 1981)

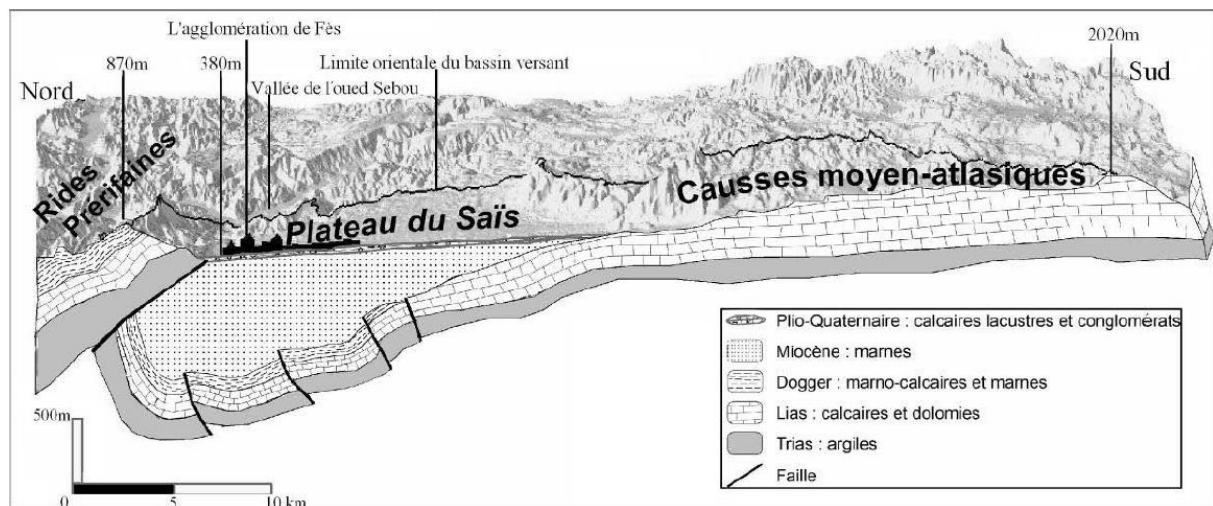


Figure 4 : Coupe géologique schématique du bassin versant de l'oued FES, (Reynard et al 2011)

IV. Climatologie :

La ville de Fès est située dans la partie nord centrale relativement arrosée par rapport au reste du Maroc. Le type de climat de cette région sera défini selon les données météorologiques offertes par les stations de la région.

La région de la ville de Fès dispose de plusieurs stations météorologiques suffisamment réparties et éloignées les unes des autres. Seulement, les données des deux stations Fès-DRH et Fès-Saïs sont retenues pour l'élaboration de cet aperçu par leur proximité au secteur d'étude et par le détail qu'elles offrent sur une longue période de l'histoire climatologique de la région.

1. Les précipitations :

L'observation des histogrammes des précipitations moyennes mensuelles et annuelles calculées sur une période de 34 ans, depuis l'année 1978/1979 jusqu'à l'année 2012/2013, montre que :

L'année se répartit en deux saisons : une saison sèche qui dure du mois de juin au mois de septembre et qui correspond à la saison d'été ; et une saison humide qui dure du mois d'octobre au mois de mai. Les deux mois les plus pluvieux de cette saison sont les mois de novembre et de janvier.

Les précipitations moyennes annuelles montre une importante irrégularité interannuelle avec une alternance irrégulière de périodes plus au moins humides et de périodes plus au moins sèches. Les périodes les plus sèches enregistrent des moyennes pluviométriques de l'ordre de 200 mm alors que les périodes les plus humides enregistrent des moyennes pluviométriques

de l'ordre de 800mm. Entre ces périodes extrêmes, on a des périodes à pluviométrie moyenne de l'ordre de 400 à 500mm et ce sont ces périodes qui ont les plus fréquences au cours des trois dernières décennies

La figure 5 présente la répartition de la pluviométrie annuelle de la région de Fès, en une période allant de 1979 jusqu'à 2013. Elle montre que l'année hydrologique 2009 constitue l'année la plus humide avec une précipitation moyenne de 840 mm, alors que l'année 1995 correspond à l'année la plus aride avec 198 mm de précipitation.

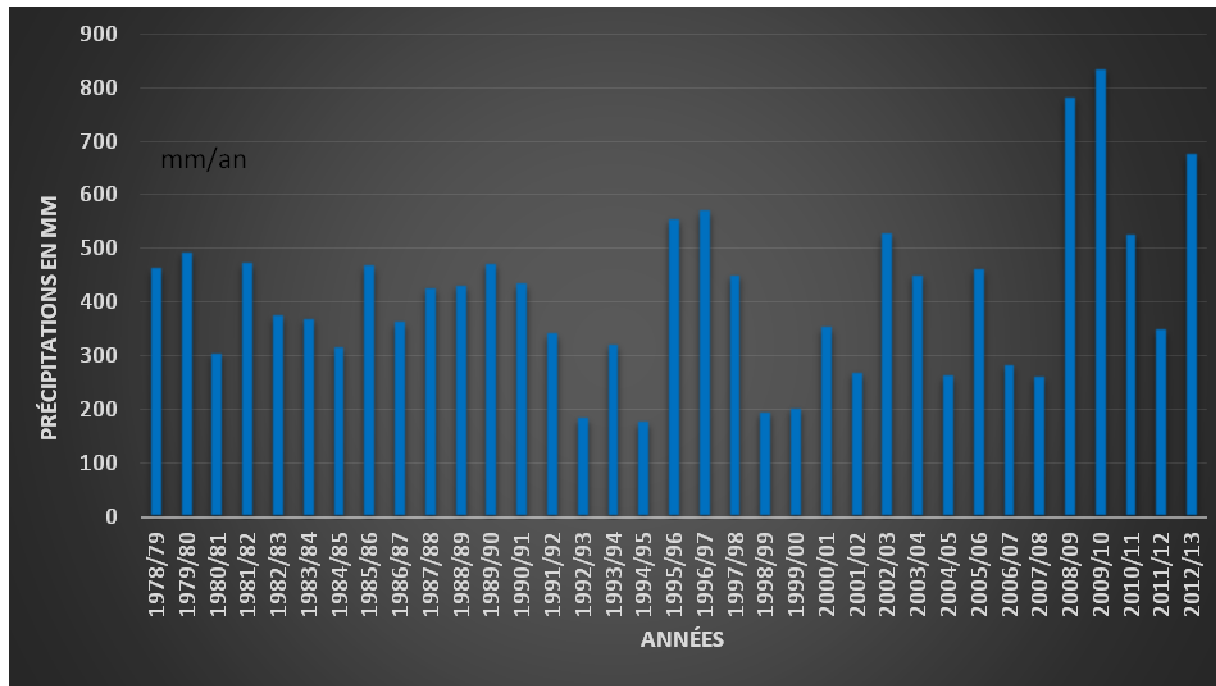


Figure 5 : Précipitations moyennes annuelles durant les 34 dernières années. (ABHS /FES 2013)

Les précipitations enregistrées sont très variables d'un mois à un autre. La saison pluvieuse dans la zone d'étude s'étale entre novembre et avril avec des maxima très marquée au mois de novembre et janvier. Tandis que les mois les plus secs sont juillet et août.

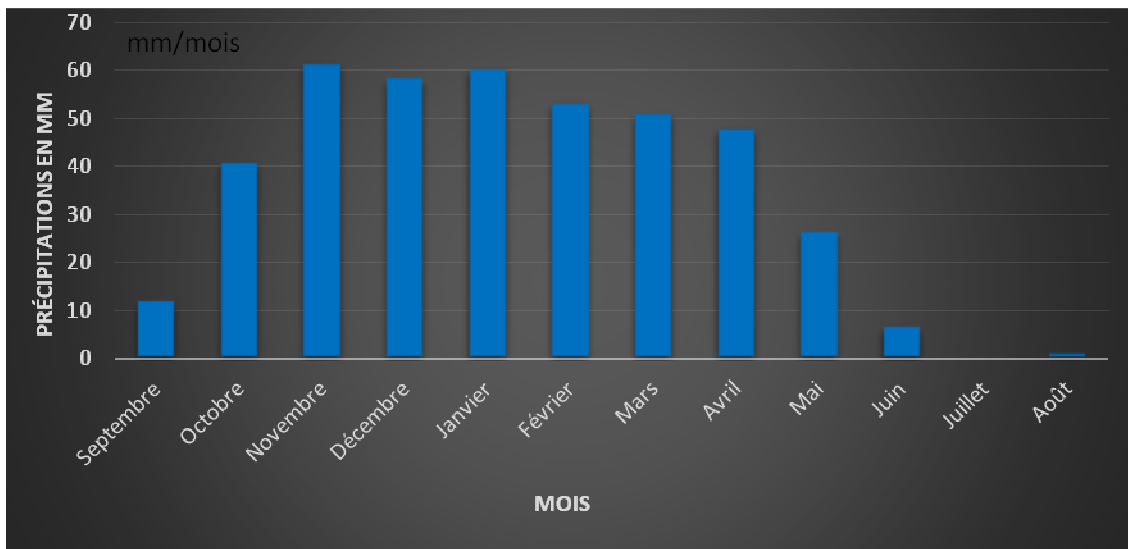


Figure 6 : Précipitations moyennes mensuelles durant les 34 dernières années. (ABHS /FES 2013)

2. Les Températures :

L'observation de la courbe d'évolution des températures moyennes annuelles, calculées sur les dernières 30 années, montre des irrégularités temporelles qui mettent en relief une succession de périodes froides et d'autres chaudes, pendant lesquelles la température moyenne est de l'ordre de 17° à 17.5°C, et à partir de l'année 1992/1993 jusqu'à l'année 2000/2001, l'évolution de cette moyenne a connu une augmentation de plus en plus importante passant de 17°C à 20.5°C environ.

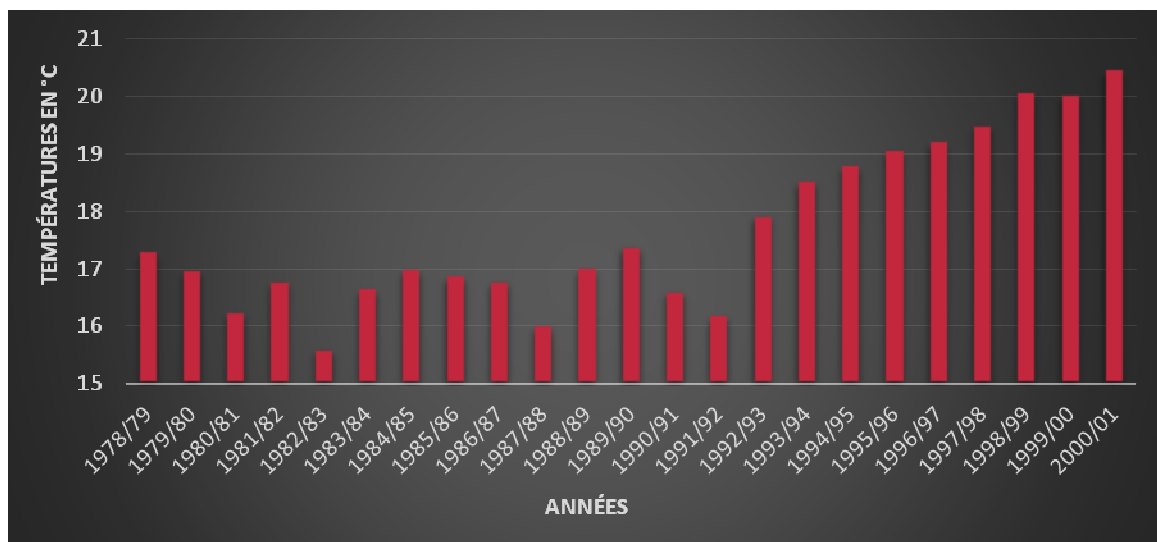


Figure 7 : Températures moyennes annuelles durant les 30 dernières années. (ABHS /FES 2013)

L'évolution de la température moyenne mensuelle, indique que la saison froide de l'année est courte, elle dure trois mois et s'étend du mois de novembre jusqu'à celui de février, avec une température moyenne de l'ordre de 10°C.

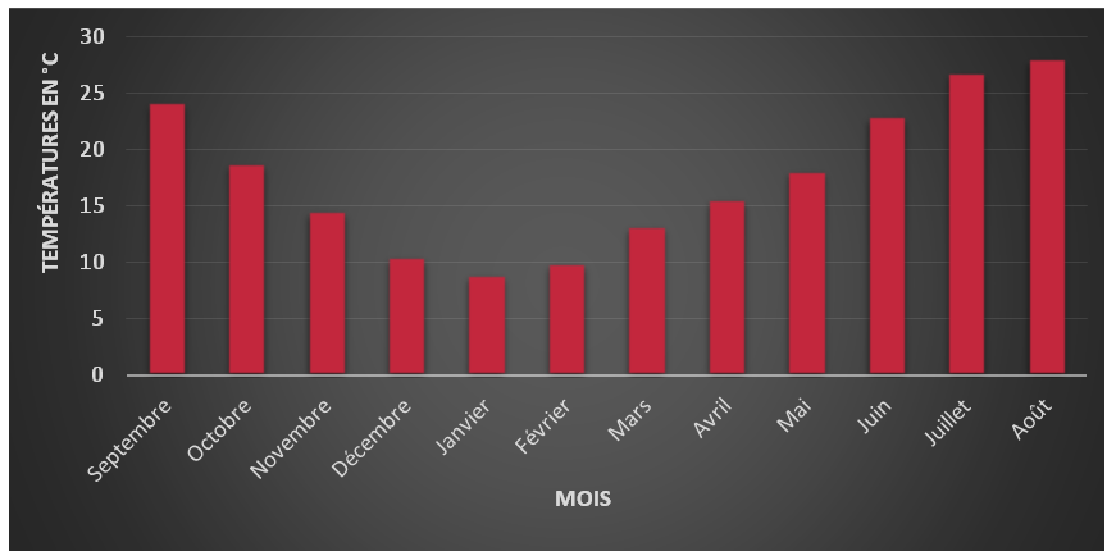


Figure 8 : Températures moyennes mensuelles durant les 30 dernières années. (ABHS /FES 2013)

En conclusion, la région de Fès est caractérisé par un climat méditerranéen semi-aride, c'est à dire un hiver tempéré et humide et un été chaud et sec.

L'année se répartit en deux saisons : une saison sèche qui dure du mois de juin au mois de septembre et qui correspond à la saison d'été, et une autre humide qui dure du mois d'octobre au mois de mai.

V. Contexte hydrologique :

Le Saïs de Fès dispose d'un réseau hydrographique important qui fait partie du bassin hydrographique du Sebou Moyen. Ce réseau est axé principalement sur l'Oued Fès qui représente son collecteur principal. Ce cours d'eau, de type karstique, prend naissance à partir de la source karstique de Ras El Ma qui est alimenté à partir de la nappe phréatique contenue dans les formations lacustre plio-quaternaire. Il s'écoule depuis cette source jusqu'à l'entrée au Mechouar suivant une direction grossièrement E-W en suivant l'axe de la gouttière synclinale. A son entrée à la ville de Fès, les eaux de ce cours d'eau sont partagées dans un réseau de canalisation et de seguias pour l'irrigation des jardins et la satisfaction des besoins domestiques (alimentation des bains traditionnelles, des mosquées etc...) et de l'industrie traditionnelle. A travers la médina de Fès, où il est canalisé, ce cours d'eau assure l'évacuation des eaux usées (Oued Zhoun) qui sont véhiculées vers l'Oued Sebou par l'Oued Fès aval.

Le long de son cours, l'oued Fès reçoit les apports d'eau d'un certain nombre d'affluents. Il s'agit de l'oued Smèn, l'oued Chkef, l'oued Mahraz, l'oued Boufekrane et l'oued Mellah. Les quatre premiers affluents présentent des cours d'eau orientés sensiblement N-S, sont de type

karstique et prennent naissance dans le bassin du Saïs (oued Smèn) ou le Moyen Atlas. Le seul affluent d'origine pré-rifain est l'Oued Mellah.

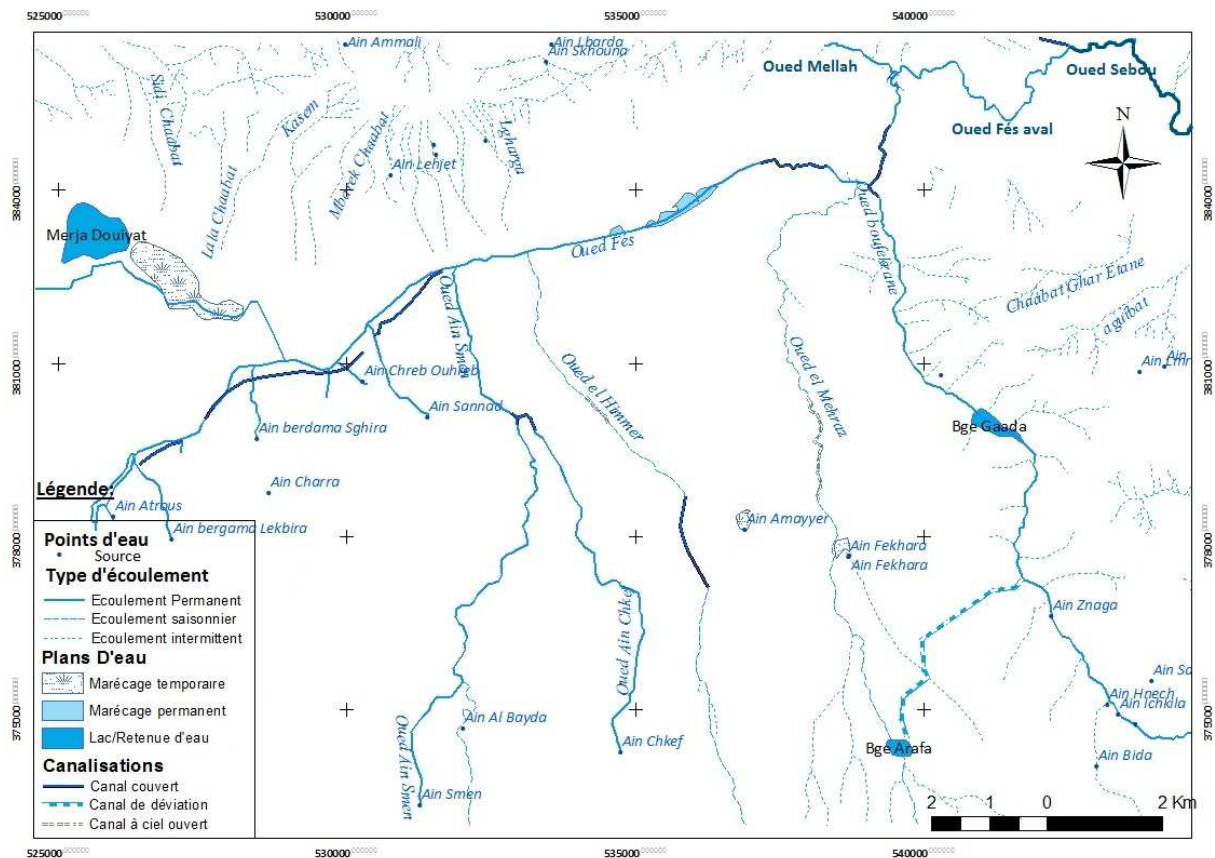


Figure 9: Carte du réseau hydrographique de la ville de FES (Reynard et al, 2011 ; modifiée)

Les principaux oueds qui traversent la ville de Fès sont respectivement :

- **Oued Fès :**

Son régime est irrégulier. Il est le plus important et prend naissance à la source de Ras El Ma et Collecte les eaux de plusieurs sources dans son cours amont plus en aval. Il draine la nappe jusqu'à sa sortie de la plaine de Saïs et reçoit suivant les saisons soit la totalité, soit l'excédent d'irrigation des eaux des autres oueds comme Bourkaiz, Ain Smèn, Ain Chkef, il reçoit également des émergences et sources qui améliorent son débit.

- **Oued Mahraz :**

La superficie de son bassin versant est de 122 km². Il se situe entre Moulay Arafat et Dhar El Mahraz. L'oued Mahraz a un régime hydrologique différent de celui de l'oued Fès (amont). Il est plus réputé par ses crues violentes et brusques que par ses apports d'eau. En dehors des périodes pluvieuses, l'oued est presque sans écoulement notable. D'autre part l'oued fait

office de collecteur d'égout depuis les quartiers Montfleuri jusqu'à sa confluence avec l'oued Zbel.

- **Oued Boufekrane :**

La superficie de son bassin versant est de 49 km² avec une pente globale qui est de 3.9%. Il a un écoulement simple qui draine le bassin versant de l'oued Fès. Il prend naissance à Ain Rta qui se situe au pied de Jbel Ksiksou. Le rôle principal de cet oued est généralement l'irrigation.

- **Oued El Himmer :**

La superficie du bassin versant de l'oued El Himmer est de 71 km². Le cours de l'oued est une gorge profonde dans le massif du Kandar. Dans la plaine, l'oued coule le long de la route d'Immouzer. Il la traverse à trois reprises avant de se jeter le canal appelé autrefois le Seguia de Zouagha pour rejoindre l'oued Fès.

- **Ain Chkef :**

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 :

Le bassin de Saïs dispose de deux importantes nappes d'eau : une nappe profonde et une nappe superficielle.

La nappe d'eau profonde, qui constitue le prolongement de la nappe libre du Causse moyen atlasique septentrional vers le Nord, est contenue dans les formations carbonatées dolomitiques et calcaires du Lias. Cette nappe, qui devient captive dans le Saïs, a pour plancher les argiles triasiques et les schistes paléozoïques.

Elle s'enfouie sous les formations néogènes marines et plio-quaternaires continentales. Sa profondeur au niveau de la partie nord du bassin du Saïs de Fès atteint plus de 1000m. Cette nappe, dont les eaux ont subi un réchauffement par gradient géothermique, résurgent, à travers des failles, en donnant des sources thermales minérales et thérapeutiques dont les plus importantes sont respectivement la source de Sidi Hrazem et celle de Moulay Yacoub.

La nappe superficielle est contenue dans les grès jaunâtres marins du Miocène supérieur-Pliocène Moyen et les formations fluvio-lacustres et fluviatiles du Plio-quaternaire. Cette nappe, qui a pour plancher les marnes sableuses du Miocène supérieur, résurgent sous forme de sources de débits plus importants, telles que la source de Ras El Ma et d'Ain Chkef. Ces sources assurent la pérennité de l'écoulement des oueds qui forment le réseau hydrographique.

VII. Contexte tectonique :

Comme pour toute la plaine de Saïs, le périmètre de la ville de Fès est affecté par des déformations qui pourraient passer inaperçues : cependant elles se manifestent par une série de plissements, parfois violents, bien visibles dans la couverture Pliocène. Ce qui est certains, c'est que les déformations tectoniques avaient eu lieu dès le Miocène, dessinant alors de large synclinaux comme celui de l'oued Fès ou des bombements anticlinaux comme ceux de la ville nouvelles et de la Koudiet ben Jellik (Humbert M.1967).

A cela s'ajoutent les écarts dans l'épaisseur des conglomérats Pliocène (10 à 15 mètres dans l'axe de la vallée de l'oued Fès, contre 1 à 2 mètres en ville nouvelle) ; ceci s'explique par une topographie préexistante comportant des creux et de reliefs où se sont accumulés les dépôts fluvio-lacustres.

Plus au Nord, les mouvements tectoniques récents ont été très énergiques sur la bordure septentrionale de la plaine de Saïs. Lors de la mise en place définitive de Jbel Tghat, qui est une nappe pré-rifaine faillée et déversée vers le sud. Ces mouvements ont ployé les conglomérats pliocènes en rides anticlinales et parfois même leur redressement général avec leur manteau de limon rouge de Villafranchien. A la base du Jbel Tghat, masquée par de puissants dépôts de pente. Les conglomérats réapparaissent localement verticaux et jalonnant un accident E-W.

Au contraire, au pied du plateau tabulaire du moyen atlas, ces formations néogènes n'ont subi, comme l'a montré (CHOUBERT G.1945), que de légères déformations transmises par le massif liasique. Ce dernier avait déjà à peu près acquis sa structure définitive.

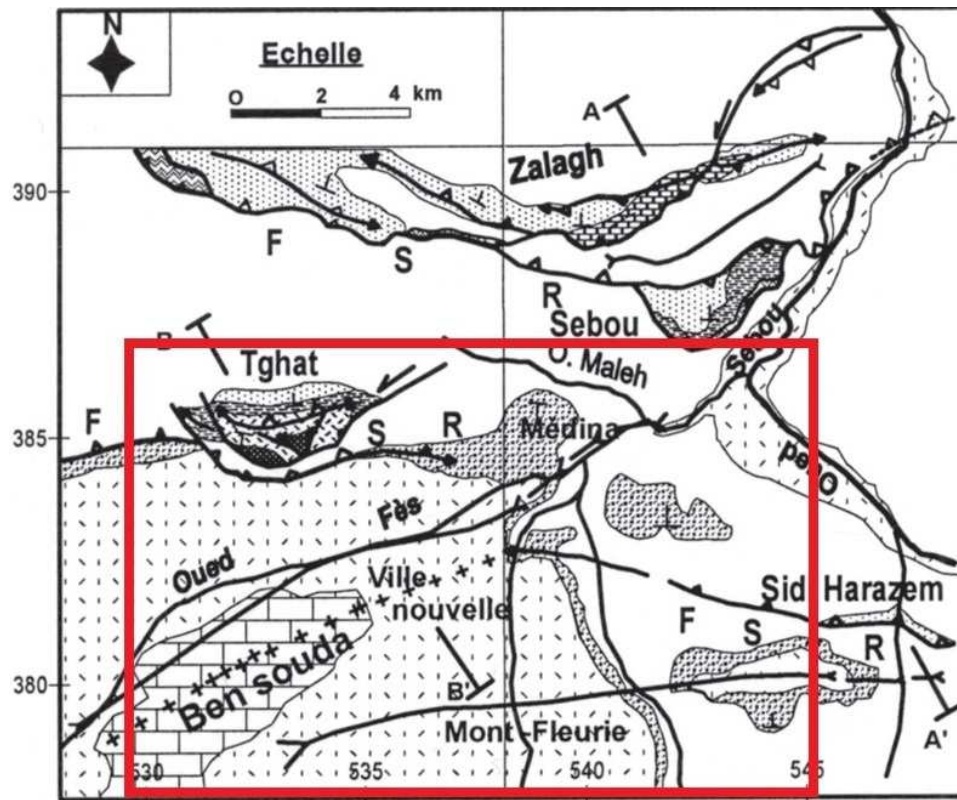


Figure 10 : Schéma structural de la plaine de Fès au Quaternaire : les principales structures de rampes à la limite avec la plaine de Fès. (D'après M. Charroud et al 2007)

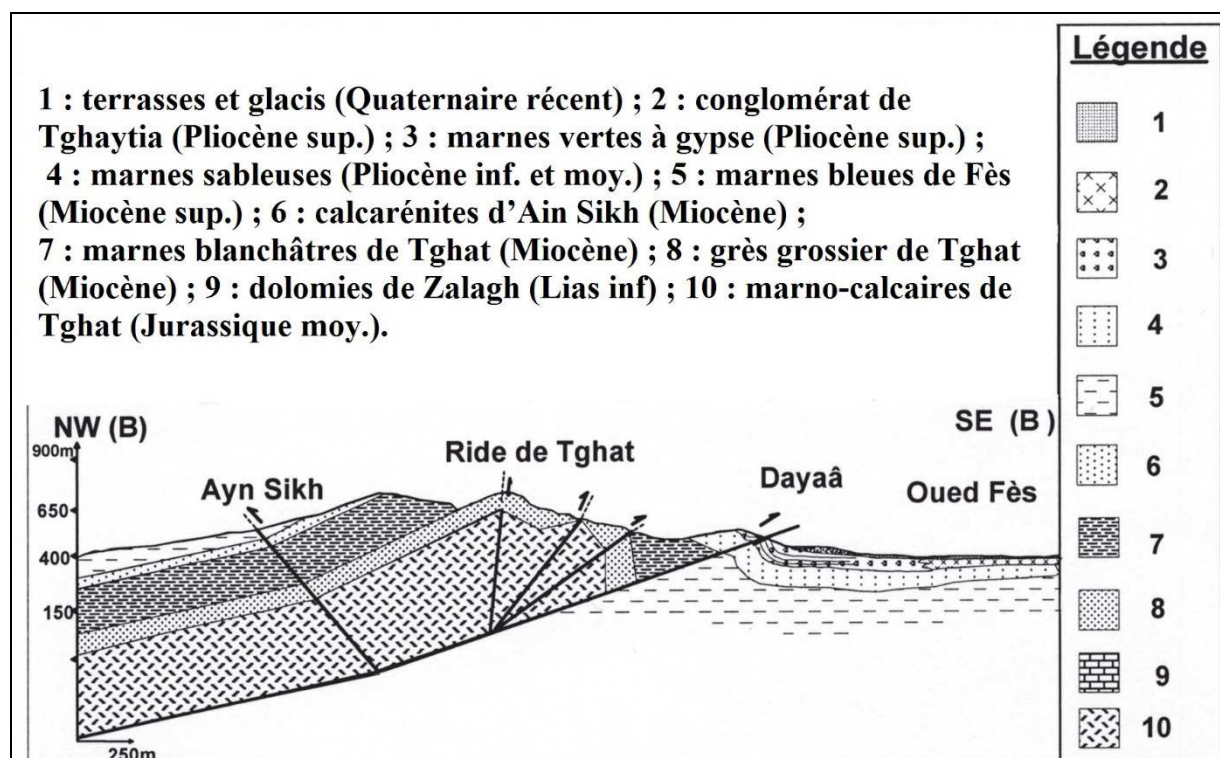


Figure 11 : Coupe structurale dans les rides préifaines et le Saïs (Plaine de Fès) (D'après M. Charroud et al 2007)

En résumé, au Nord de la plaine de l'oued Fès une tectonique vigoureuse a affecté les formations lacustres, tandis qu'au Sud les formations sont beaucoup plus modiques.

VIII. Contexte sismique :

Zonage sismique (Accélération maximale & Vitesse maximale) :

Selon le nouveau Règlement Parasismique du Maroc RPS 2000 version 2011, 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 $A_{max}/g = 0,10$.

La classification des sols des sites est déterminée sur la base des paramètres géotechniques résultant de la reconnaissance des sols qui les constituent. Le règlement distingue 6 types de sites. Dont les sols de la ville est de type S2 : sol ferme (rocher altéré, sols cohérents très raides, sols pulvérulents très denses, marnes ou argiles très consolidés), avec une résistance du sol non drainé au cisaillement S_u (Kpa) : $S_u \geq 100$, une résistance à la pénétration standard N60 : $N_s \geq 50$ et une Vitesse des ondes de cisaillement V_s en (m/s) : $760 > V_s \geq 360$.

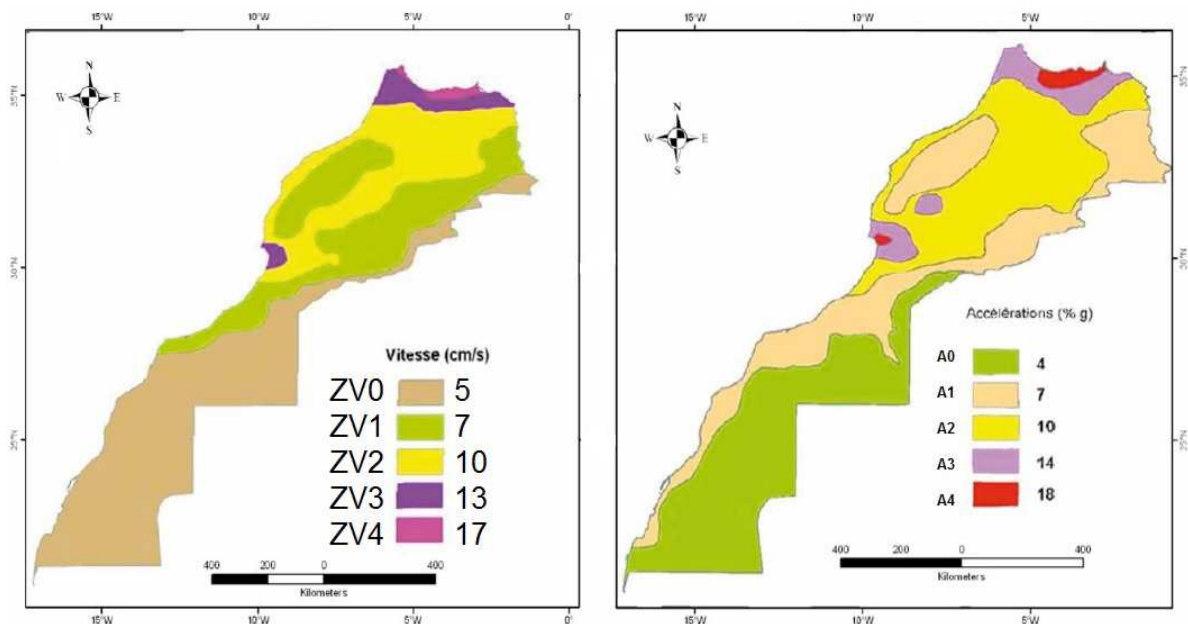


Figure 12 : zonage sismique du Maroc : à droite l'accélération des ondes sismiques et à gauche, les zones des vitesses, (D'après RPS 2011).

Chapitre II : Reconnaissances et cartographie géotechnique

I. Reconnaissances et études géotechniques

1. Introduction

La géotechnique est l'art d'utiliser le sol en vue de réaliser une infrastructure et/ou d'assurer sa stabilité et son comportement. Elle permet de réduire les risques techniques, financiers et économiques à tous les stades d'un projet d'aménagement sur le territoire : sites naturels ou sites à aménager (Wallonie 2010).

Elle traite de l'interaction sol/structures, et fait appel à des bases de géologie, de mécanique des sols, de mécanique des roches et de structures. (En parallèle à la mécanique des sols qui traite des matériaux meubles, la mécanique des roches traite des matériaux rigides, et les géomatériaux cimentés traitent d'une catégorie de matériaux intermédiaires entre les sols et les roches).

Les études géotechniques ont pour principal objet les études de sol pour la construction d'ouvrages (pavillons, immeubles, voiries, ouvrages d'art...), et notamment la définition des fondations, mais aussi dans le cadre de diagnostics pour des ouvrages sinistrés. Elles traitent également des phénomènes de mouvement de sol (glissement, affaissement et autres), de déformation (tassements sous charges) et résistance mécanique.

L'hydrogéologie, qui étudie les nappes aquifères souterraines en vue de leur exploitation, est généralement considérée comme une discipline indépendante, n'entrant pas dans le cadre de la géotechnique. Cependant on doit tenir compte des effets de la présence et de la circulation de l'eau dans le sol qui sont pratiquement à l'origine de tous les accidents dus à des ruptures de sols ou de roches.

A partir d'essais de laboratoire et in situ de plus en plus perfectionnés, la mécanique des sols fournit aux constructeurs les données nécessaires pour étudier les ouvrages de génie civil et de bâtiment et assurer leur stabilité en fonction des sols sur lesquels ils doivent être fondés, ou

avec lesquels ils seront construits (barrages en remblais) ce ci tant durant la progression des travaux (grands terrassements) qu'après mise en service des ouvrages.

2. Domaines d'application

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 peut citer par exemple :

- les fondations des bâtiments des ouvrages d'art, des ensembles industriels...
- les ouvrages de soutènement (murs, rideaux de palplanches...),
- 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 (fondation des quais, comportement des brise-lames..),
- les terrassements des routes, autoroutes, voies ferrées,
- l'amélioration et le renforcement des sols,
- la protection de l'environnement.

3. Essais in situ

Les essais mécaniques in situ permettent de déterminer les caractéristiques des sols en place.

On peut distinguer deux types d'essais in situ :

- Ceux qui fournissent des indications générales, telles que les reconnaissances électriques ou sismiques.
- Ceux qui donnent des valeurs précises de certaines grandeurs, soit ponctuellement, soit d'une manière continue sur une même verticale.

a. Sondages :

Un sondage géotechnique est une investigation du sous-sol, réalisée avec ou sans forage d'un trou, destinée à déterminer la nature et les caractéristiques mécaniques, physiques et éventuellement chimiques de ses constituants afin de prévoir son comportement lors de la réalisation d'un ouvrage. Il consiste à forer un trou dans un sol par différents moyens de sondages comme :

- **pelle mécanique** : échantillons remaniés à faible profondeur (3 à 4m), très rapides, très peu chers

- **sondages tarières** : échantillons remaniés à grande profondeur et terrains meubles ou tendres, rapides, peu chers en petit diamètre
- **sondages destructifs** : échantillons remaniés à grande profondeur et terrains durs, rapides, peu chers
- **sondages carottés** : échantillons non remaniés à toutes profondeurs et toute dureté, lents, chers
- **sondages avec hydrogéologie** : essais Lefranc (sol) ou lugeons (roche), tubes piézométriques
- **sondages avec essais mécaniques** : pressiométriques, pénétrométriques, scissométriques, inclinométriques



Figure 13 : Sondages à la tarière (source E. Manier)



Figure 14 : Sondages destructifs (source E. Manier)



Figure 15 : Sondages carottés (source E. Manier)

b. Essai pressiométrique :

L'essai pressiométrique est un essai de chargement in situ effectué au sein même du terrain grâce à la réalisation préalable d'un forage. L'analyse des résultats permet d'obtenir, pour une profondeur donnée, les caractéristiques mécaniques du sol et d'effectuer les calculs de fondation. Trois caractéristiques du sol sont notamment déduites :

- le module pressiométrique E_M qui définit le comportement pseudo-élastique du sol
- la pression limite p_l qui caractérise la résistance de rupture du sol,
- la pression de fluage p_f qui définit la limite entre le comportement pseudo-élastique et l'état plastique

L'essai pressiométrique peut être réalisé dans tous les types de sols saturés ou non, y compris dans le rocher (avec plus d'incertitude) et les remblais.

L'appareil pressiométrique est constitué d'une sonde cylindrique dilatable radialement que l'on descend dans le sol au niveau de l'essai et d'un appareillage de mesure restant en surface. La

sonde constituée de trois cellules exerce sur la paroi du forage, au niveau de la cellule centrale de mesure, des pressions rigoureusement uniformes selon une progression arithmétique. Les déplacements de cette paroi qui en résultent sont lus ou enregistrés pour chacune des pressions en fonction du temps.

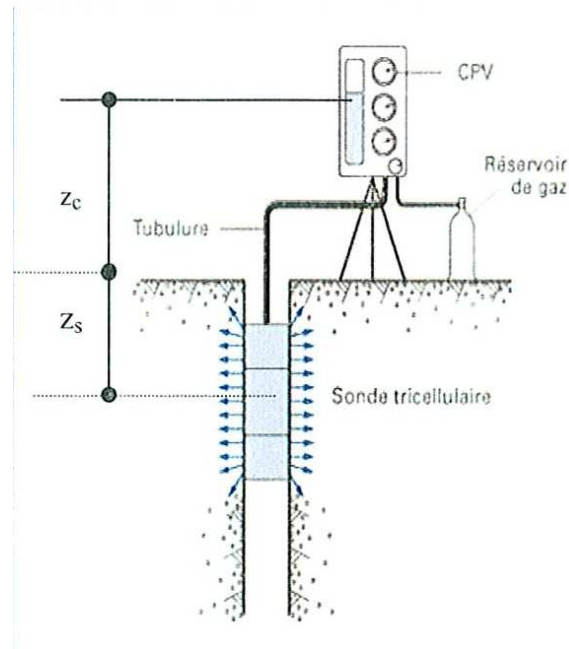


Figure 16 : Schéma explicatif du principe de l'essai pressiométrique

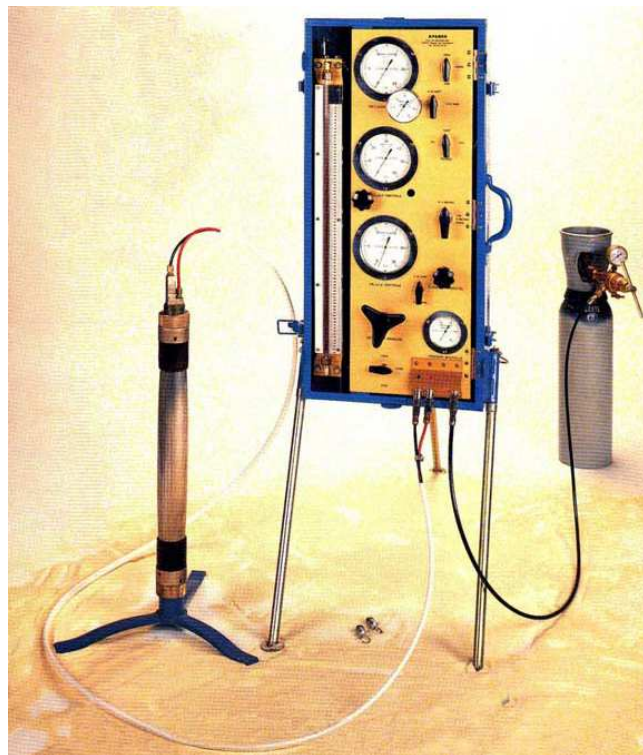


Figure 17 : Contrôleur Pression Volume (CPV) et Sonde (doc. APAGEO)

c. Essai au pénétromètre dynamique :

L'essai au pénétromètre dynamique (SPT Standard Penetration Test) est un sondage géotechnique fournissant les caractéristiques d'un sol. Il permet de simuler le battage d'un pieu et de déterminer la résistance dynamique que le terrain oppose à l'enfoncement de celui-ci. Il consiste à faire pénétrer dans le sol par battage un train de tiges lisses, muni à son extrémité d'une pointe de section connue. Le battage est assuré par une masse, appelée mouton, tombant d'une hauteur bien déterminée.

Ainsi, l'essai de pénétration dynamique permet d'obtenir des renseignements relatifs :

- à la succession des différentes couches de terrain,
- à l'homogénéité globale d'une couche donnée (présence d'anomalies locales),
- au repérage d'une couche résistante dont l'existence est déjà connue.

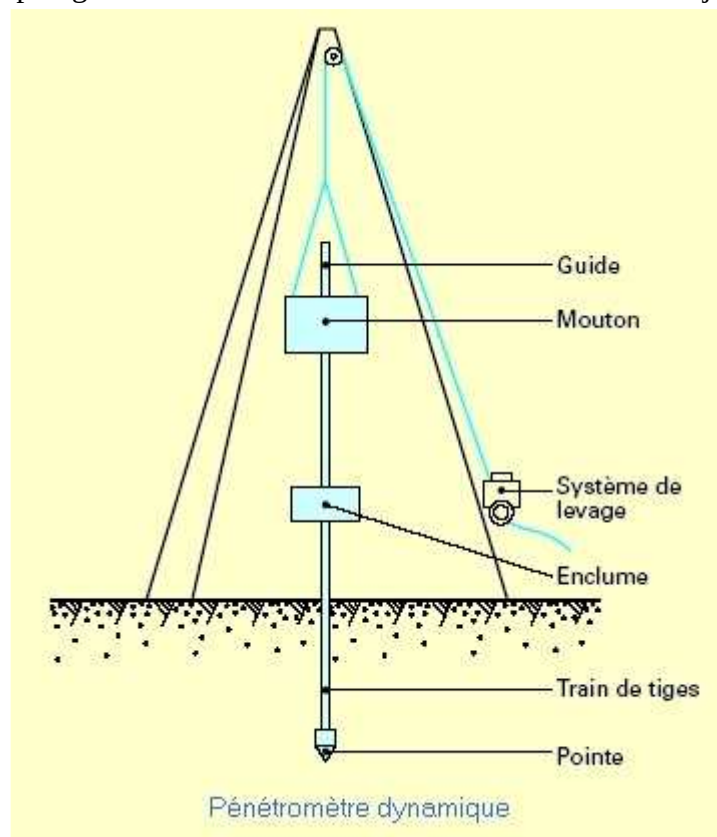


Figure 18 : schéma d'appareillage de pénétromètre dynamique

4. Essais en laboratoire

Détermination de la teneur en eau pondérale :

La teneur en eau pondérale d'un matériau (w) : c'est le rapport de la masse de l'eau évaporée lors de l'étuvage d'un échantillon (m_w) sur la masse sur la masse sèche de cet échantillon (m_d) exprimé en pourcentage : $w = \frac{m_w}{m_d}$

Détermination de la masse volumique :

La masse volumique d'un sol est utilisée pour la détermination des contraintes du terrain en place à différentes profondeurs (contraintes géostatiques). De plus, les masses volumiques du sol à l'état humide ou sec peuvent permettre d'estimer qualitativement les caractéristiques mécaniques d'un sol, en se basant sur des relations empiriques fournies dans la documentation technique. Il convient que ces relations soient utilisées uniquement à titre indicatif et qu'elles soient complétées par des mesurages directs des caractéristiques mécaniques.

Parmi les méthodes de détermination de la masse volumique on a :

- méthode par mesurage des dimensions géométriques ;
- méthode par pesée hydrostatique.

La méthode par mesurage des dimensions géométriques convient pour la détermination de la masse volumique d'une éprouvette de sol cohérent de forme régulière, y compris pour des éprouvettes préparées pour d'autres essais. Les éprouvettes utilisées sont généralement en forme de prisme rectangulaire ou de cylindre droit.

La méthode par pesée hydrostatique s'applique à la détermination de la masse volumique d'un sol humide ou sec, naturel ou compacté, par mesurage de sa masse dans l'air et de sa masse apparente après immersion dans l'eau. Cette méthode peut être utilisée dès lors qu'il est possible d'obtenir des blocs de matériau de dimension appropriée. (ISO/TS 17892-2:2004(fr))

Analyse granulométrique : Méthode par tamisage à sec après lavage

Cet essai s'applique à la description des sols en vue de leur classification, à la détermination des classes granulométriques et à la vérification de conditions granulométriques imposées.

Il consiste à séparer les grains agglomérés d'une masse connue de matériau par brassage sous l'eau, à fractionner ce sol, une fois séché, au moyen d'une série de tamis et à peser successivement le refus cumulé sur chaque tamis. La masse de refus cumulé sur chaque tamis est rapportée à la masse totale sèche de l'échantillon soumis à l'analyse.



Figure 19 : Refus dans les différents tamis

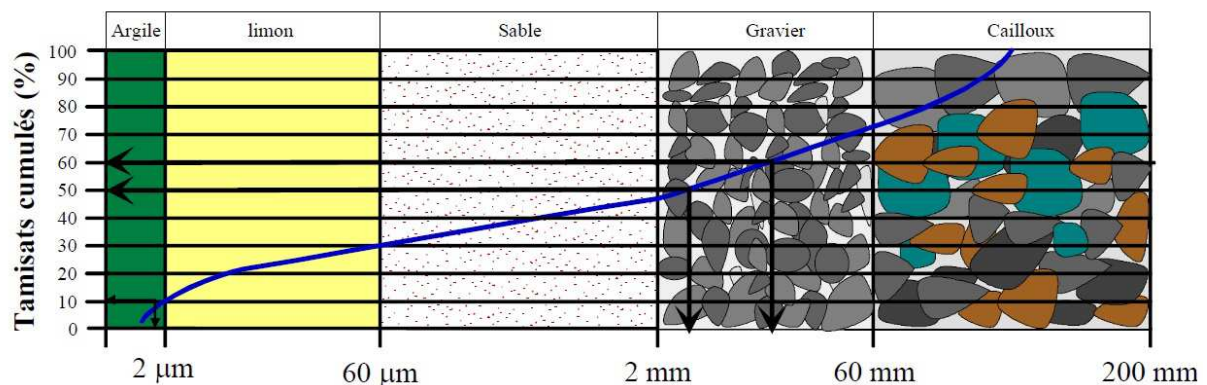


Figure 20 : courbe granulométrique cumulé (C. Plumelle 2002)

Limites d'Atterberg :

Cet essai permet de prévoir le comportement des sols pendant les opérations de terrassement, en particulier sous l'action des variations de teneur en eau. Il consiste à faire varier la teneur en eau d'une fraction de sol en observant sa consistance. Il existe deux limites dites d'Atterberg : la limite de liquidité et la limite de plasticité.

- w_l : c'est la limite de liquidité qui caractérise la transition entre un état liquide et un état plastique.
- w_p : c'est la limite de plasticité qui caractérise la transition entre un état plastique et un état solide.
- Indice de plasticité = $I_p = w_l - w_p$
- Indice de consistance = $I_c = (w_l - w) / I_p$

Essai au bleu de méthylène :

L'essai au bleu de méthylène, également appelé « essai au bleu », est un essai utilisé en géotechnique pour déterminer la propreté d'un sable, d'un granulat et plus généralement d'un sol, et les différents types d'argiles qu'il contient. Le bleu de méthylène est en effet adsorbé préférentiellement par les argiles du type montmorillonites (argiles gonflantes) et les matières organiques. Les autres argiles (Illites et Kaolinites) sont peu sensibles au bleu. (Norme EN 933-9:1998)

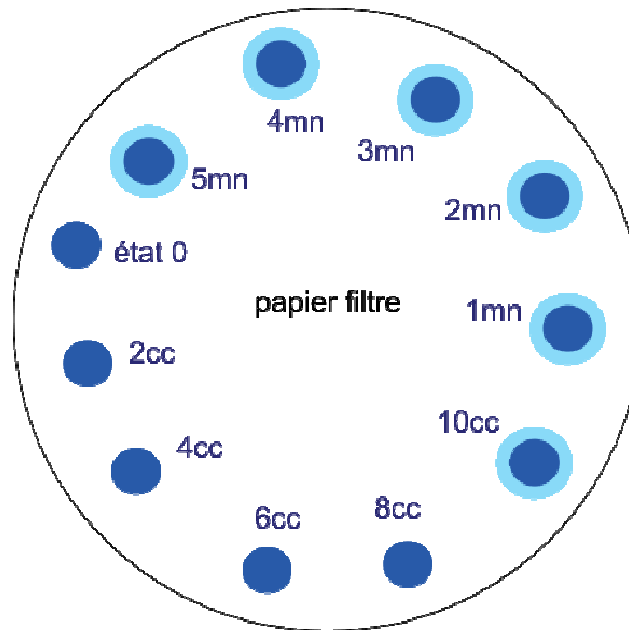


Figure 21 : Essai au bleu de méthylène - Vue du papier filtre et des tâches auréolées

Essai de cisaillement rectiligne à la boîte :

L'essai a pour objet de mesurer en laboratoire des caractéristiques de plasticité (rupture) d'un échantillon de sol fin soumis à un cisaillement direct selon un plan imposé, à une vitesse suffisamment lente pour que la *pression interstitielle* reste nulle tout au long de l'essai.

En sont déduites les valeurs de l'angle de *frottement effectif* ϕ' et la *cohésion effective* C' , paramètres utilisés pour le dimensionnement de fondations, les calculs de vérification des coefficients de sécurité à la rupture de talus et pour la détermination des actions de poussée et de butée sur les ouvrages de soutènement.

L'essai s'effectue sur une éprouvette de sol placée dans un bâti de cisaillement constitué de deux demi-boîtes indépendantes. Le plan de séparation des deux demi-boîtes constitue un plan de glissement correspondant au plan de cisaillement de l'éprouvette.

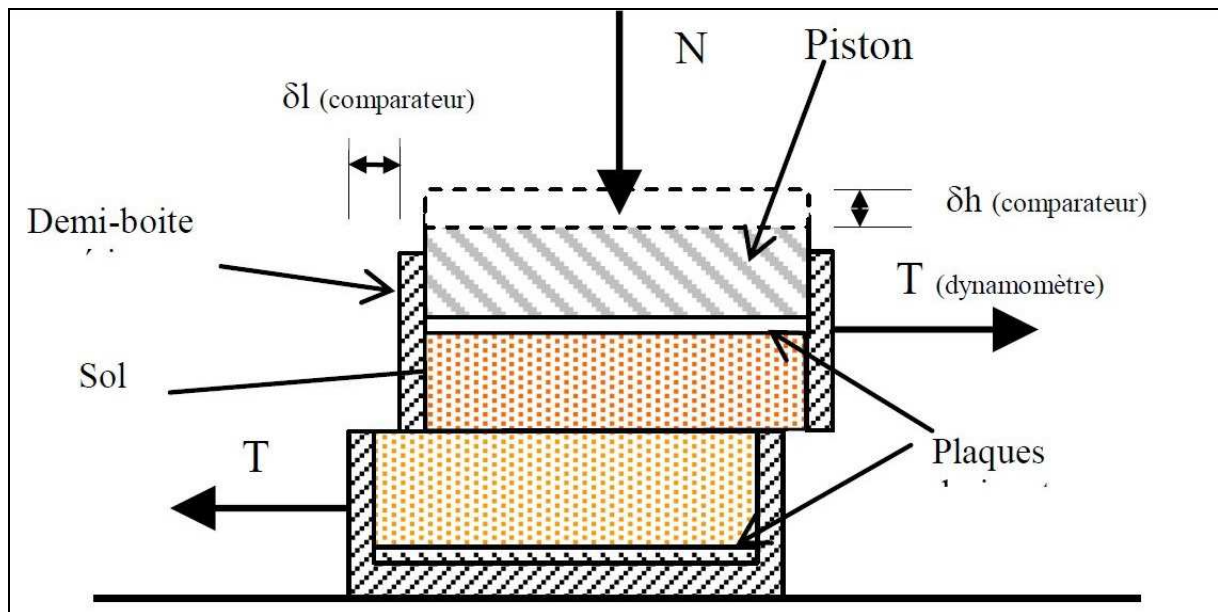


Figure 22 : schéma de la boîte de cisaillement

Essai de compressibilité à l'oedomètre :

Lorsque des couches de sols sont soumises à des sollicitations de grande étendue (dallages, remblais...) on peut considérer que la compression est unidimensionnelle. La déformation verticale qui en résulte est appelée tassement.

Pour simuler en laboratoire ces chargements unidimensionnels, on comprime des échantillons intacts de sol dans un appareil appelé oedomètre.

L'essai œdométrique s'applique sur les sols fins et matériaux fin cohérents, et il a pour objectifs principaux de déterminer la contrainte de préconsolidation σ'_c , les pentes C_s et C_c qui permettent de déterminer le tassement de consolidation du sol et le coefficient de consolidation verticale C_v pour l'estimation de la durée du tassement.

II. Cartographie géotechnique

1. Introduction

L'importance que revêtent certaines données géotechniques dans le domaine de la stabilité des terrains, de la qualité et de l'aptitude mécanique des matériaux, de la localisation et de la protection des eaux ou dans celui des données de surface (pente, couvert végétal...) implique que l'intervention du géologue se fasse dès le début de la conception du plan d'aménagement.

L'expression cartographie géotechnique est utilisée en français, avec des sens très différents. Cela tient à la fois à l'impossibilité sémantique de construire un adjectif correspondant à l'expression Géologie de l'Ingénieur et aux divers sens attribués au terme Géotechnique.

Si l'on définit maintenant la cartographie géotechnique fondamentale comme étant l'identification et la représentation de volumes de terrain non plus de même âge, de même nature,..., mais de même comportement, c'est-à-dire de mêmes propriétés, on s'aperçoit qu'aucun des caractères majeurs utilisés en cartographie géologique, âge, nature, intensité du métamorphisme, facies, processus génétique, ne peut servir également de caractère majeur dans une cartographie géotechnique ainsi définie.

La cartographie géotechnique consiste en une synthèse graphique des principales caractéristiques géotechniques du sous-sol. Elle est née du souci de fournir aux urbanistes, architectes, ingénieurs civils, ... une documentation aisément accessible, leur permettant de mieux étudier leur projet en fonction des caractéristiques du site.

2. Utilités de la cartographie géotechnique

L'intervention des cartes géotechniques se situe à plusieurs niveaux. Elles président le choix des zones à urbaniser et des implantations d'ouvrages (routes, pont, barrages, ...). Elles attirent l'attention du constructeur sur les problèmes auxquels il est susceptible d'être confronté sur le terrain lors de l'exécution de son projet. Elles peuvent aussi présenter un aspect de prévision en renseignant sur la probabilité d'évolution de certains phénomènes actifs tels que les érosions, les fluctuations de nappe phréatique...

L'utilisation des cartes géotechniques est indiquée lors des projets d'aménagement du territoire pour l'étude de nouvelles urbanisations ou pour l'emplacement de nouveaux ouvrages

Lorsque les problèmes géologiques doivent être examinés dans un cadre plus vaste que celui d'un ouvrage considéré isolément, des besoins nouveaux se font sentir. C'est le cas pour tout ce qui touche aux opérations très complexes d'aménagement du territoire. Pour un aménagement donné, le choix du parti initial doit prendre en compte une très grande quantité de paramètres, au nombre desquels ceux qui relèvent de la géologie ne sont pas les moins importants ni les plus commodes à appréhender et à introduire dans une planification. Les conséquences peuvent pourtant engager l'avenir, et cela vient d'être constaté et reconnu par la puissance publique qui impose désormais, par voie légale, des études d'impact sur l'environnement pour tout aménagement d'une certaine importance. Si l'échelle est régionale, la masse des informations géologiques et géotechniques devient alors très considérable, leur répartition spatiale est plus délicate à approcher et les moyens d'expression vont devoir s'adapter. Au rapport géologique trop ponctuel, on s'efforce alors de substituer un mode particulier de représentation, essentiellement graphique : la cartographie géotechnique.

La géologie de l'ingénieur a pour objet de donner aux ingénieurs et aux bureaux d'études les informations qui leur permettront de réaliser de grands travaux et d'aménager le territoire en se conformant le mieux possible à l'environnement géologique. Lorsque cette exigence n'est pas respectée, les ouvrages de génie civil (notamment les barrages, les tunnels) les villes, agglomérations industrielles et les grandes mines à ciel ouvert perturbent, et souvent dans une mesure considérable, l'équilibre dynamique de l'environnement géologique. Il en résulte parfois des conséquences néfastes qui peuvent avoir une incidence non seulement sur l'économie et la durabilité des ouvrages, mais aussi sur leur sécurité.

3. Historique

Les premières cartes géotechniques remonteraient à 1913 et auraient été présentées par Langen, pour plusieurs villes allemandes, à l'exposition technique de la construction de Leipzig. Elles furent suivies de nombreuses autres, en Allemagne.

Un essor particulier a été donné à ce type de cartographie dans tous les pays de l'Europe de l'Est, la disparition de la propriété privée du sol y ayant supprimé tout risque de spéculation foncière.

Moins systématique dans les pays occidentaux, la cartographie géotechnique est cependant en plein développement. Aux U.S.A. notamment, où elle est faite en coopération par le Service géologique fédéral et ceux des Etats d'une part, des grandes villes d'autre part.

En France, de premiers essais ont été entrepris par le B.R.G.M. et par les Laboratoires des Ponts et Chaussées, notamment ceux d'Autun, Bordeaux, Clermont-Ferrand, Marseille, Nancy, Rouen et Trappes.

Chapitre III : Mise à jour du zoning géotechnique de la ville de Fès

Ce présent travail consiste à élaborer une actualisation des zonings géotechniques de la ville de Fès à partir de la carte géotechnique de Fès 1966, avec le biais des études géotechniques exécutés par le LPEE entre les années **2001** (l'année de l'accréditation nationale par le ministère du commerce et d'industrie – Maroc) et l'année **2015** en créant une base de données, qui rendra l'accès, la modification et les mises à jour plus faciles. Notons que l'actualisation de cette carte géotechnique de Fès (1966) a été déjà entamée par El Boumashouli 2010 et 2015.

I. Les données utilisées

Les nouveaux zonings géotechniques vont s'élaborer à l'aide d'un système d'information géographique (SIG) qui ne peut fonctionner que s'il contient des données. Il s'agit de l'ensemble des informations nécessaires au fonctionnement du système informatique qui sont nombreuses et de natures diverses et possèdent de nombreux liens entre elles. En effet, l'élaboration des deux bases de données cartographiques et alphanumériques qui constituent le cœur du SIG, nécessite un travail de collecte, de gestion et d'analyse d'une masse de données descriptives, statistiques, spatiales et temporelles en relation avec les sols et l'environnement de la ville de Fès. Pour organiser et bien hiérarchiser les données et les informations élaborées, afin d'en faciliter l'exploitation (ajout, mise à jour, recherche de données).

1. Carte géotechnique de Fès

La carte géotechnique de Fès 1/20.000 (numéro 186) publiée par le ministère de l'Industrie et des Mines, direction des Mines et de la Géologie en 1966. Réalisé par Guy Chapon et Michel Humbert. Cette carte est composée de deux feuilles :

- Feuille 1 : qui représente la lithologie, la stratigraphie et la morphologie ;
- Feuille 2 : qui représente l'hydrogéologie et l'esquisse structurale de la ville de Fès.

2. Images satellitales

Les images satellitales utilisées dans ce travail ont été téléchargées à partir du Google maps avec une résolution de maillage de 1 mètre par pixel. Ces images vont d'être utiles dans l'étape du repérage des sondages.

3. Modèle Numérique de Terrain

Les modèles numériques de terrain (MNT) fournissent les informations nécessaires à la visualisation, l'analyse et la modélisation de phénomènes liés au relief. A partir du plan de base de l'information géométrique, de nombreux paramètres peuvent être calculés tels que les pentes. Des calculs plus complexes permettent également de construire les bassins versants. C'est grâce à cette richesse d'utilisation et à la disponibilité de celui-ci que le MNT est couramment utilisé dans les domaines nécessitant des connaissances sur le relief et qu'il est intégré dans des SIG.

Les MNT utilisés ont été acquis en asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp possèdent une résolution initiale de 26 mètres par pixel.

4. Sondages

Dans notre projet de l'actualisation des zonings géotechniques de la ville de Fès, on se base sur les données fournis par 553 sondages répartis sur 111 projets dans la ville, réalisés pendant 15 ans (entre 2001 et 2015) par le LPEE dans le cadre des prospections géotechniques, notamment : les sondages perforés carottés ou destructifs, les sondages manuels...

Ces sondages sont peu profonds (avec une profondeur < 20 mètres). Ils ont intéressé le sous-sol proche et le sol d'assise de tous les ouvrages de bâtiment ou de génie civil.

L'ensemble de ces données vise à élaborer :

- Une classification des différents types de sols et de roches qui constituent le sous-sol urbain de la ville de Fès,
- Un zonage des différentes formations qui présentent les mêmes caractéristiques géotechniques,
- La proposition des systèmes de fondation adéquats pour chaque zone,
- L'examen de la stabilité des pentes et talus

5. Essais de laboratoire

En plus des sondages, des essais de laboratoire ont été réalisés sur les différents types de sol rencontrés (physiques, mécaniques, rhéologiques etc.) pour un diagnostic plus précis des sols de la zone d'étude.

II. Méthodologie et principes

Cette partie consiste à la numérisation des données acquies (cartes, rapport, tableaux, statistiques...), afin d'aboutir à :

- La création et la gestion des bases de données à propos des différents sondages, faciès, réseaux hydrographiques...
- La représentation cartographique des sondages et des différents faciès géotechniques.

1. Préparation des cartes

Quant aux cartes couvrantes la zone d'étude, on a dû toutes les géoréférencier dans le système de projection choisi (Lambert_Conformal_Conic), puis rogner leur encadrement (titre, légende, bordure, etc...) avant de les assembler et enfin de les reprojecter dans les projections cartographiques marocaines avant de les exporter dans de nouveaux fichiers. Ce géoréférencement a été réalisé par les logiciels Global Mapper 13 et ArcGIS 9.3.

2. Digitalisation des cartes

Dans la phase de digitalisation on s'est basé sur trois types de fichiers vectorielles (*.shp) :

- Couches d'objets polygonaux : contient les couches géologiques et les couches lithologiques de la carte géotechnique de Fès.
- Couches d'objets linéaires : présentent les cours d'eau (pérennes et temporaires) et les courbes isopiézométriques existantes dans la carte.
- Et enfin des objets points pour localiser les sondages géotechniques et les sources d'eau dans la zone d'étude.

3. Elaboration des bases de données

Après avoir digitalisé la géologie, la lithologie, les sondages,...etc. On a procédé à une étape fondamentale dans ce travail ; c'est l'alimentation de la base de données par les attributions collectées y compris :

- Les sondages : Les coordonnées (X ; Y), les noms du faciès, les résultats d'essais,...
- La géologie : l'âge, les codes stratigraphiques.
- La lithologie : Les noms des faciès, les codes lithologiques.
- Le réseau hydrographique : Les cours d'eau, les noms des oueds,...
- Ainsi les sources d'eau, les courbes isopiézométriques,...

III. Présentation des résultats

Il s'agit de la mise en forme des travaux exécutés dans les phases précédentes sous forme de cartes et graphiques.

1. Carte des altitudes

Cette carte représente les altitudes de la ville de Fès qui varie entre 184 mètres au-dessus du niveau de la mer dans la vallée du oued Sebou au Nord Est et les vallées des autres affluents jusqu'à 839 mètres dans les rides préifaines (Jbel Tghat).

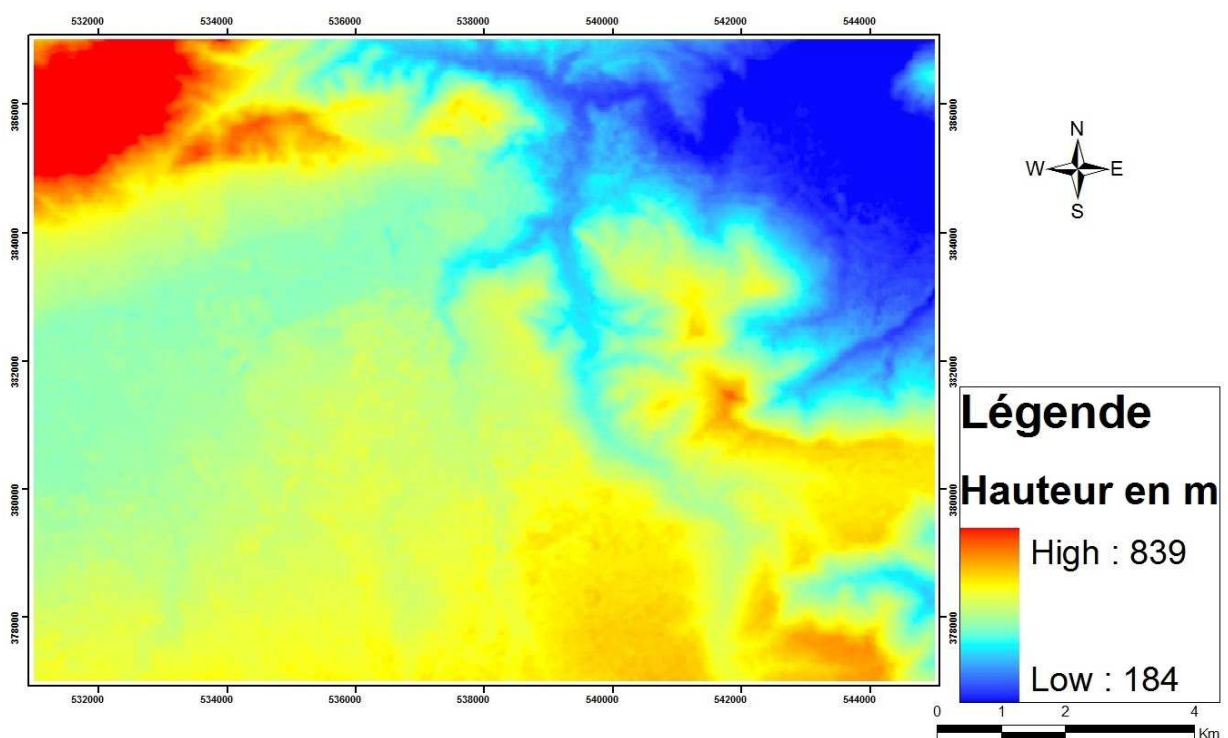


Figure 23 : carte des altitudes de la ville de Fès

Ces cartes liées à la topographie ont été élaborées à partir du MNT par l'utilitaire d'analyse spatiale du logiciel ArcGIS comme :

a. Carte des pentes :

La carte des pentes calcule le taux de changement maximal d'une cellule par rapport à ses voisines ; ce taux permet généralement d'indiquer la raideur du terrain. Dans la ville de Fès, les pentes faibles (pentes < 10%) représentent 56% de la superficie de la carte et elles sont dominantes dans la partie Ouest et la partie Sud. Et concernant les pentes fortes (pentes > 15%) qui occupent une superficie de 26%, elles existent au Nord de la ville dans le contact du bassin de Saïs avec les rides préifaines (Jbel Tghat) et vers l'Est à Koudiat Ben Jellik.

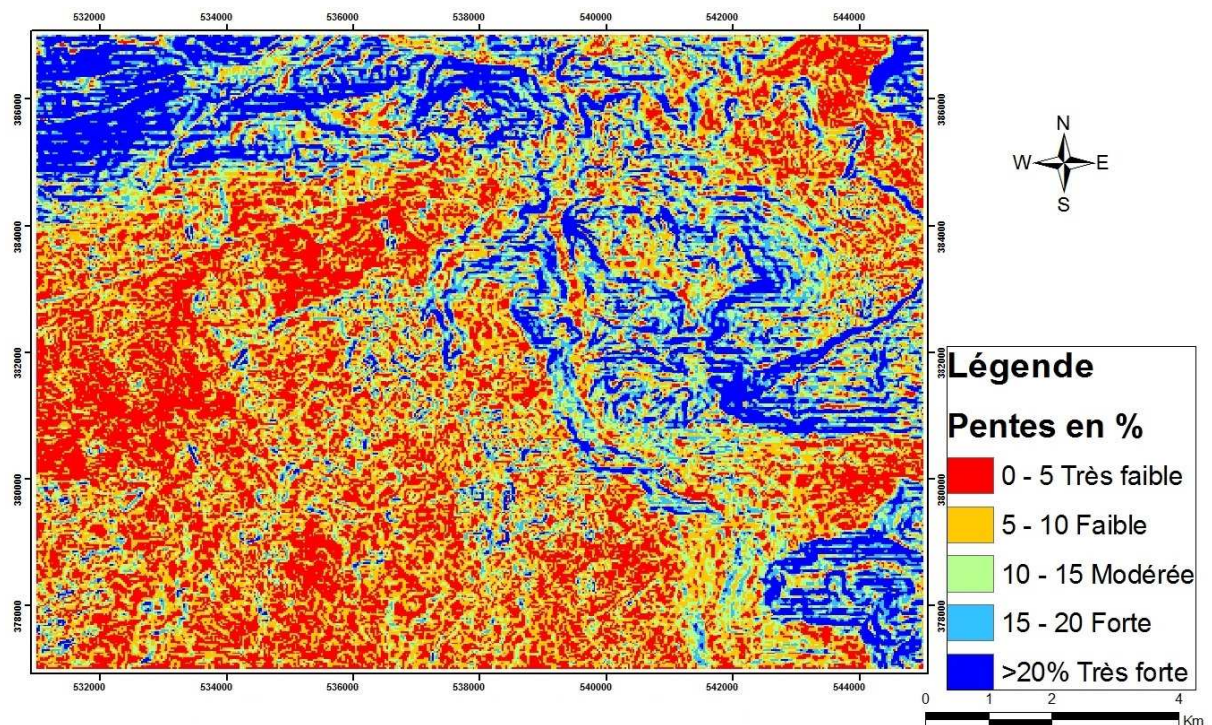


Figure 24 : Carte des pentes de la ville de Fès

b. Carte d'exposition :

La carte d'exposition se fait par le calcul de la direction des plans ajustés à la pente (les versants). A la ville de Fès on a une répartition des expositions des versants régulière comme c'est remarquable dans la figure suivante :

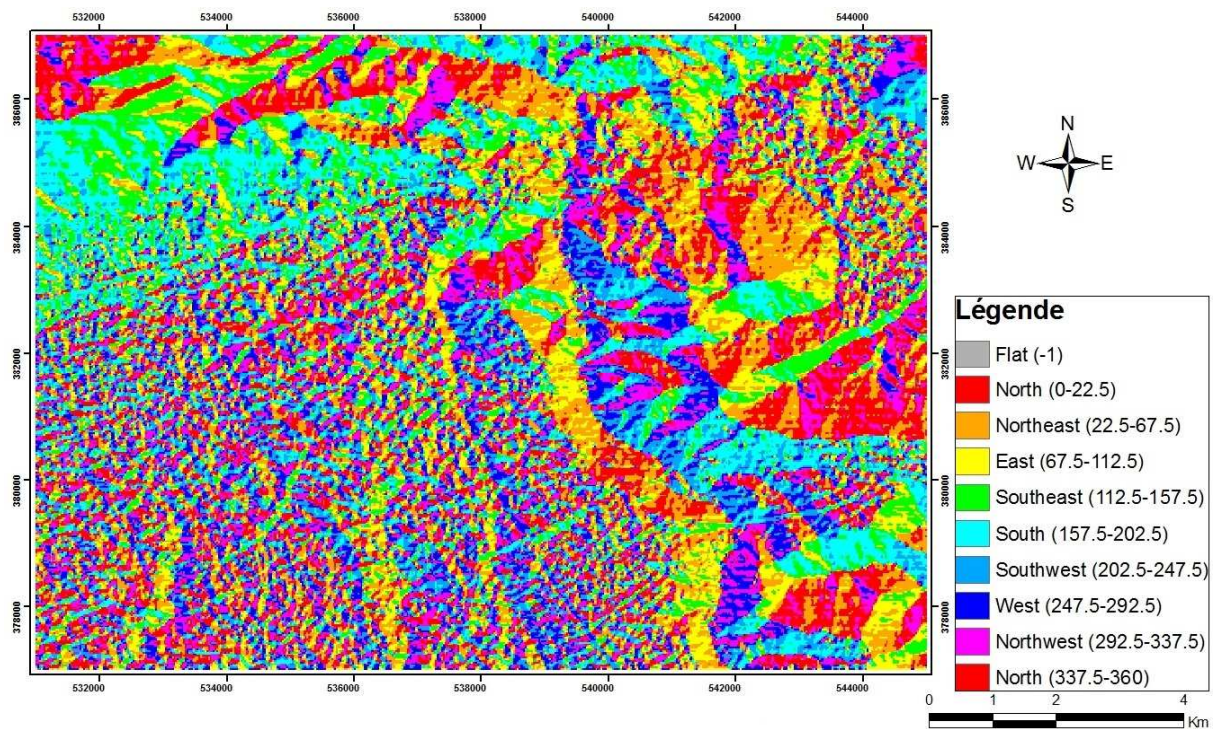


Figure 25 : Carte d'exposition des versants de la ville de Fès

2. Carte géologique

La carte géologique de Fès a été élaborée à partir de la carte géotechnique de Fès (1966), par la digitalisation des affleurements géologiques :

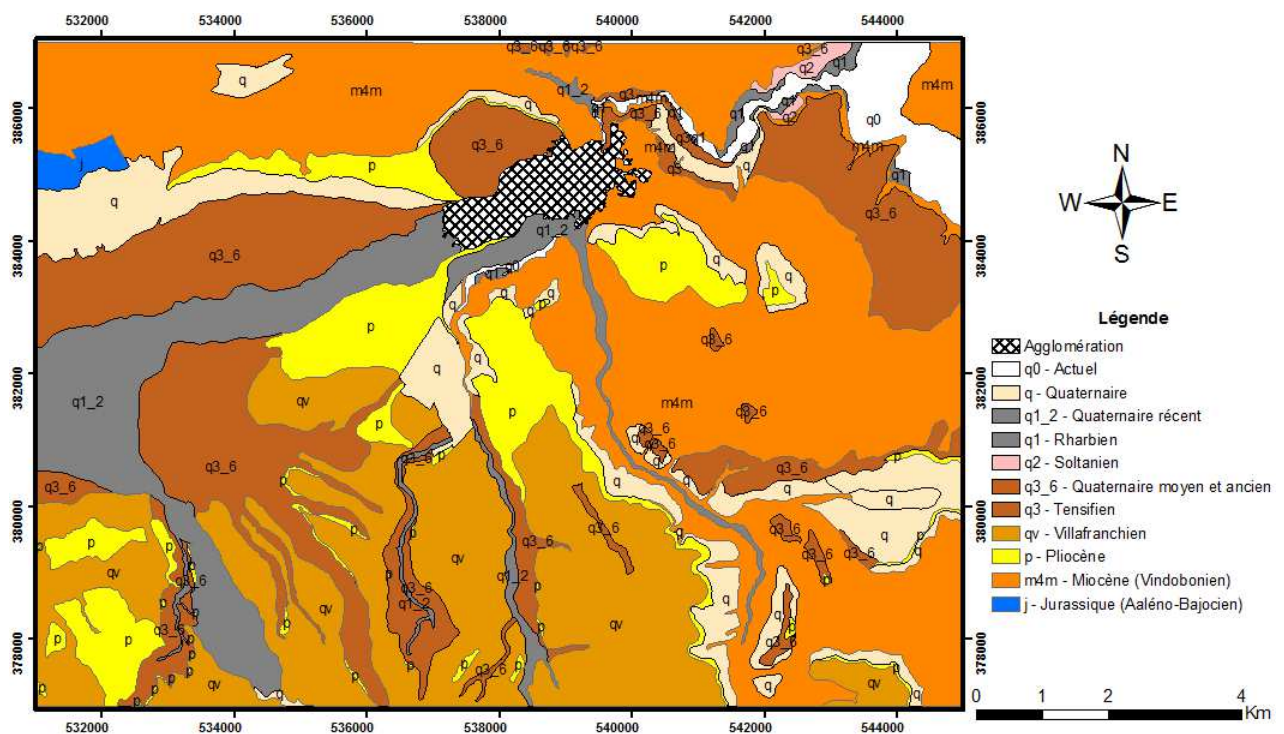


Figure 26 : Carte géologique de la ville de Fès (Chapron et Humbert, 1966 ; modifiée)

On observe que les formations d'âge quaternaire sont les dominants (52.5 km²), suivis par les marnes du miocène supérieur (42.7 km²), suivis successivement par : les dépôts de villafranchien, les calcaires lacustres du pliocène, les marnes vertes du jurassique (Jbel Tghat) et les dépôts actuels.

3. Carte de lithologie

La carte géotechnique de Fès représente une couverture lithologique très variée (24 faciès lithologiques) qui appartient principalement au quaternaire et au miocène supérieur.

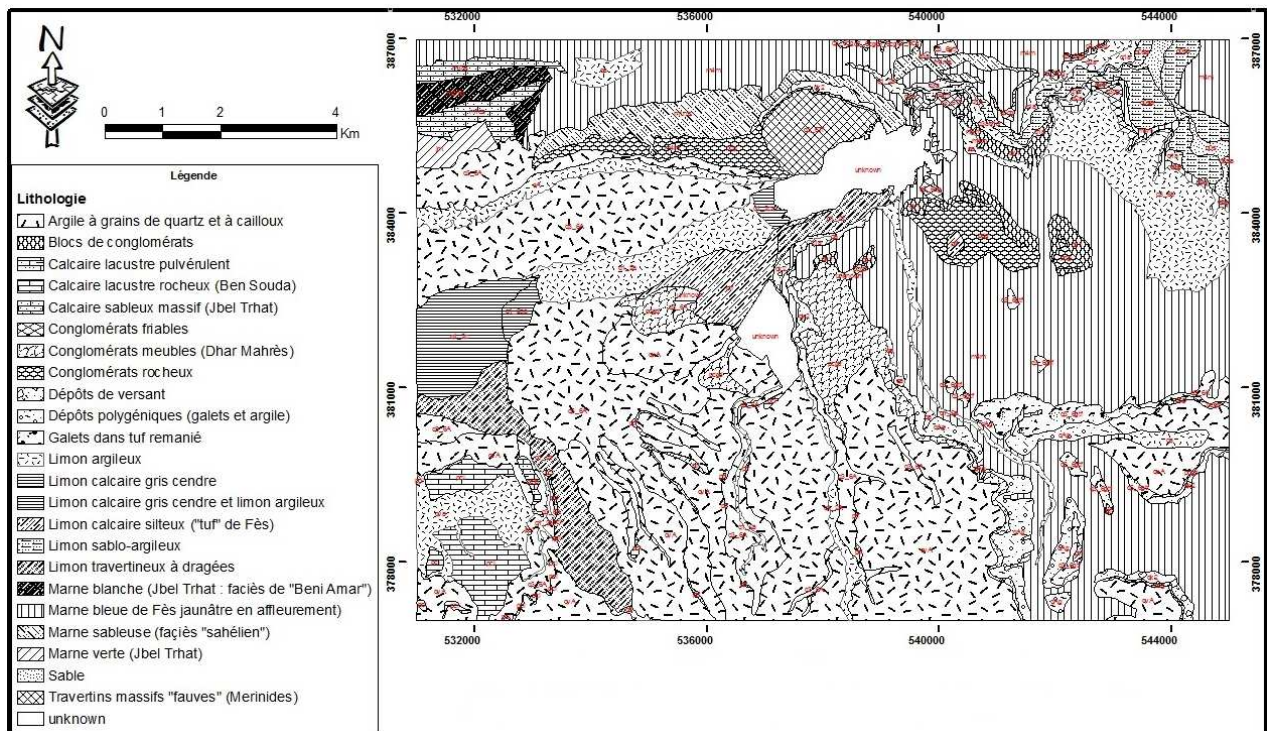


Figure 27 : Carte de la lithologie de la ville de Fès (Chapron et Humbert, 1966 ; modifiée)

IV. Elaboration du zoning géotechnique

L'élaboration du zoning géotechnique de la ville de Fès a été permise grâce à la consultation de la carte géotechnique de Fès 1966 et l'analyse et étude de plus 550 sondages ; exécutées par LPEE pendant ces quinze dernières années ; répartis sur toute la superficie urbaine de la ville de Fès.

Nous avons pu mettre à jour de la carte géotechnique de Fès :

1. Zone des marnes (Figure : 28)

Les marnes de Fès affluent au long de la limite nord de la ville et dans la partie est de la ville couvrent une surface de 42 Km². Ce sont des matériaux fins, très plastiques (indice de plasticité égale 39%), la fraction fine (diamètre < 80µm) peut atteindre 93%. Mécaniquement, l'angle de frottement a une moyenne de 22°, la cohérence est égale 14.5 Kpa, l'indice de compression est de 0.17 et l'indice de gonflement est de l'ordre de 0.045.

Ces caractéristiques témoignent de l'instabilité de ces matériaux avec une grande vulnérabilité de glissement du sol.

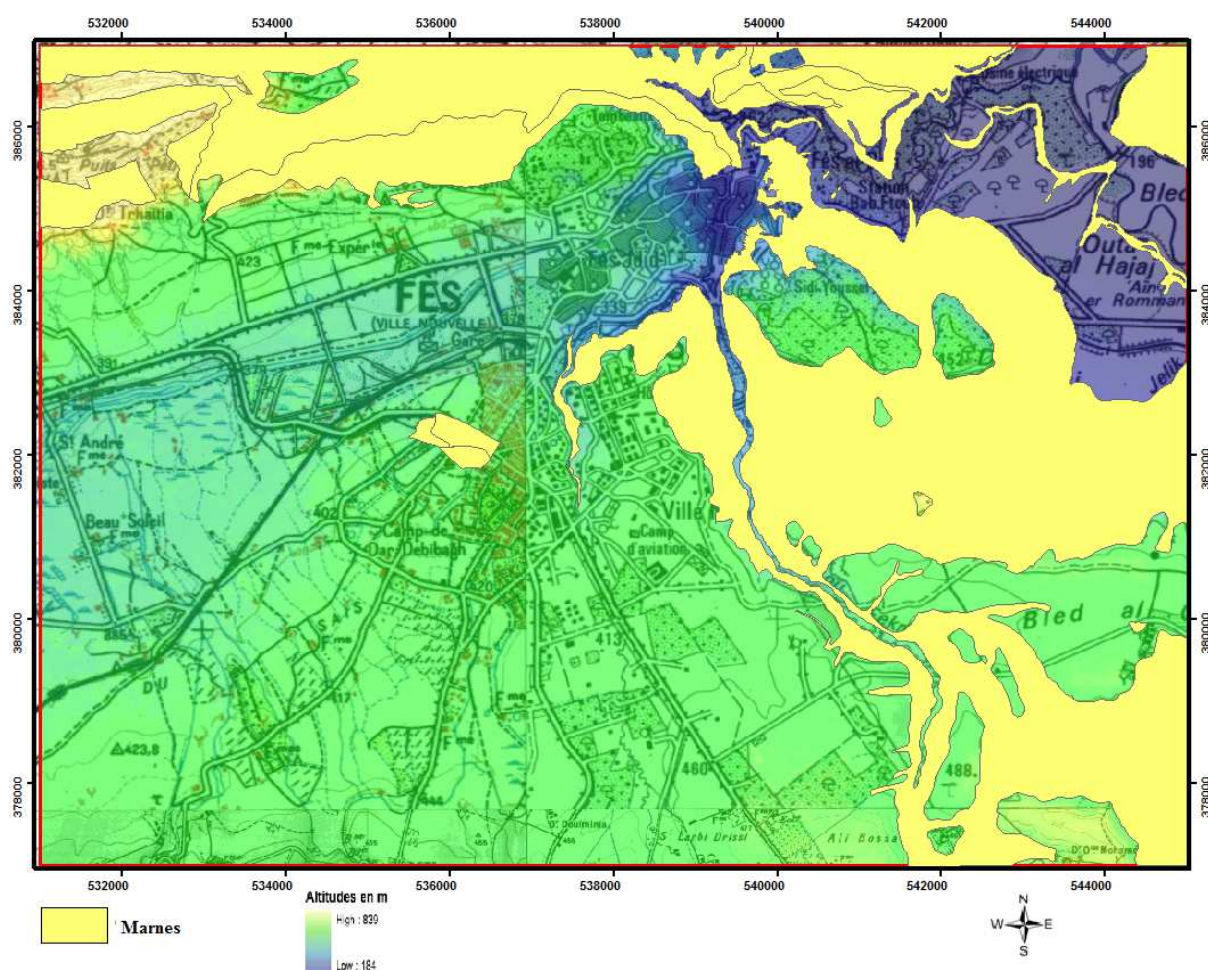


Figure 28 : Carte de la zonalité géotechnique des marnes de la ville de Fès

2. Zone des argiles (Figure : 29)

Les argiles de Fès dominent dans le sud et dans le nord-ouest de la ville, avec une superficie de 44 Km². Ils ont des caractéristiques similaires à celles des marnes, en raison de de leur compressibilité et leur plasticité très élevés, sans oublier la dominance des fractions très fines.

Donc il faut bien éviter ces argiles comme fond d'assise pour les différentes fondations en génie civil.

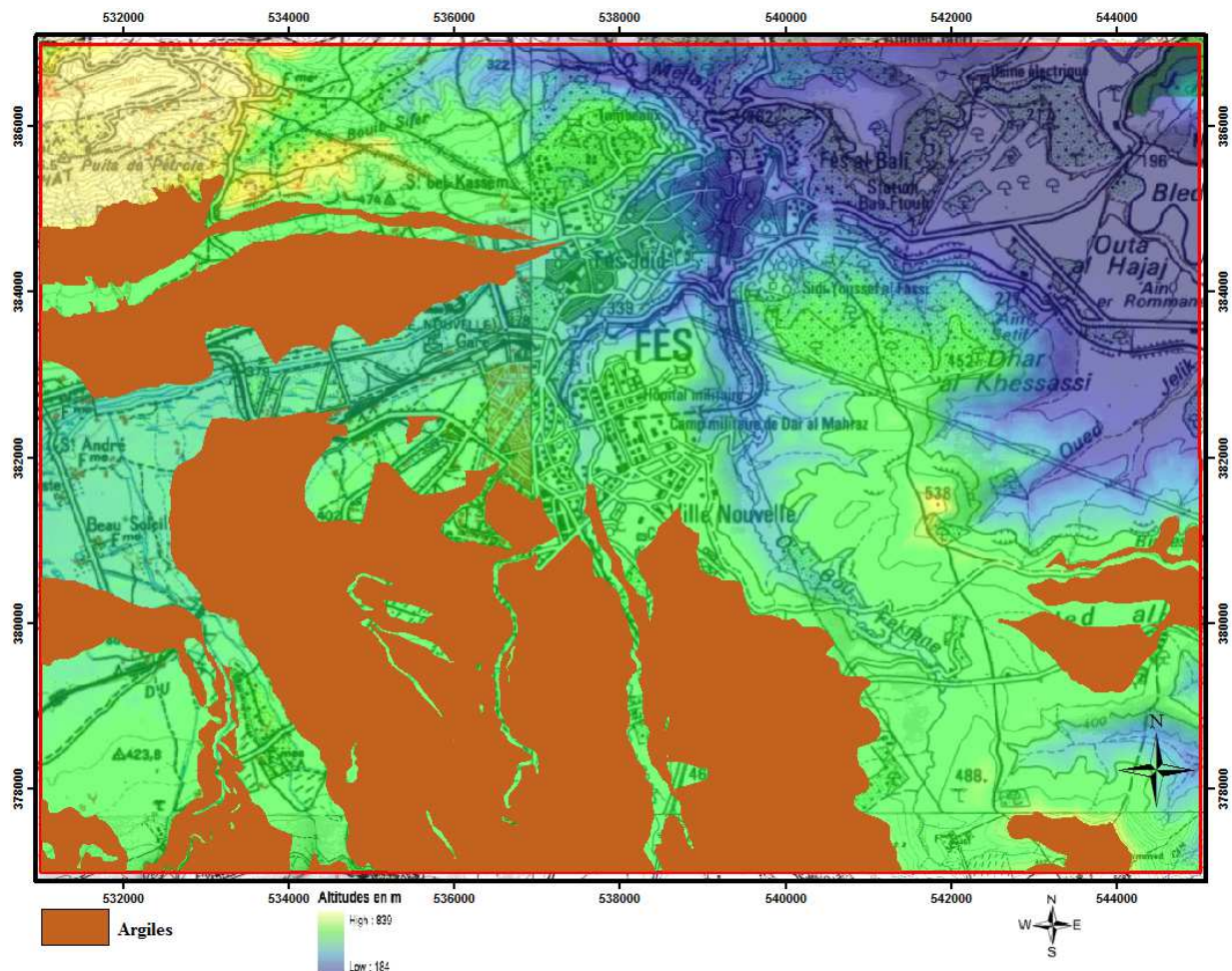


Figure 29 : Carte de la zonalité géotechnique des argiles de la ville de Fès

3. Zone des conglomerats (Figure : 30)

Les conglomerats existent dans le plateau de Dhar Mahraz, le Borj Sud, la ville nouvelle et dans la région d'oued Fès, avec une superficie de l'ordre de 8.5 Km². La composition granulaire des conglomerats 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.

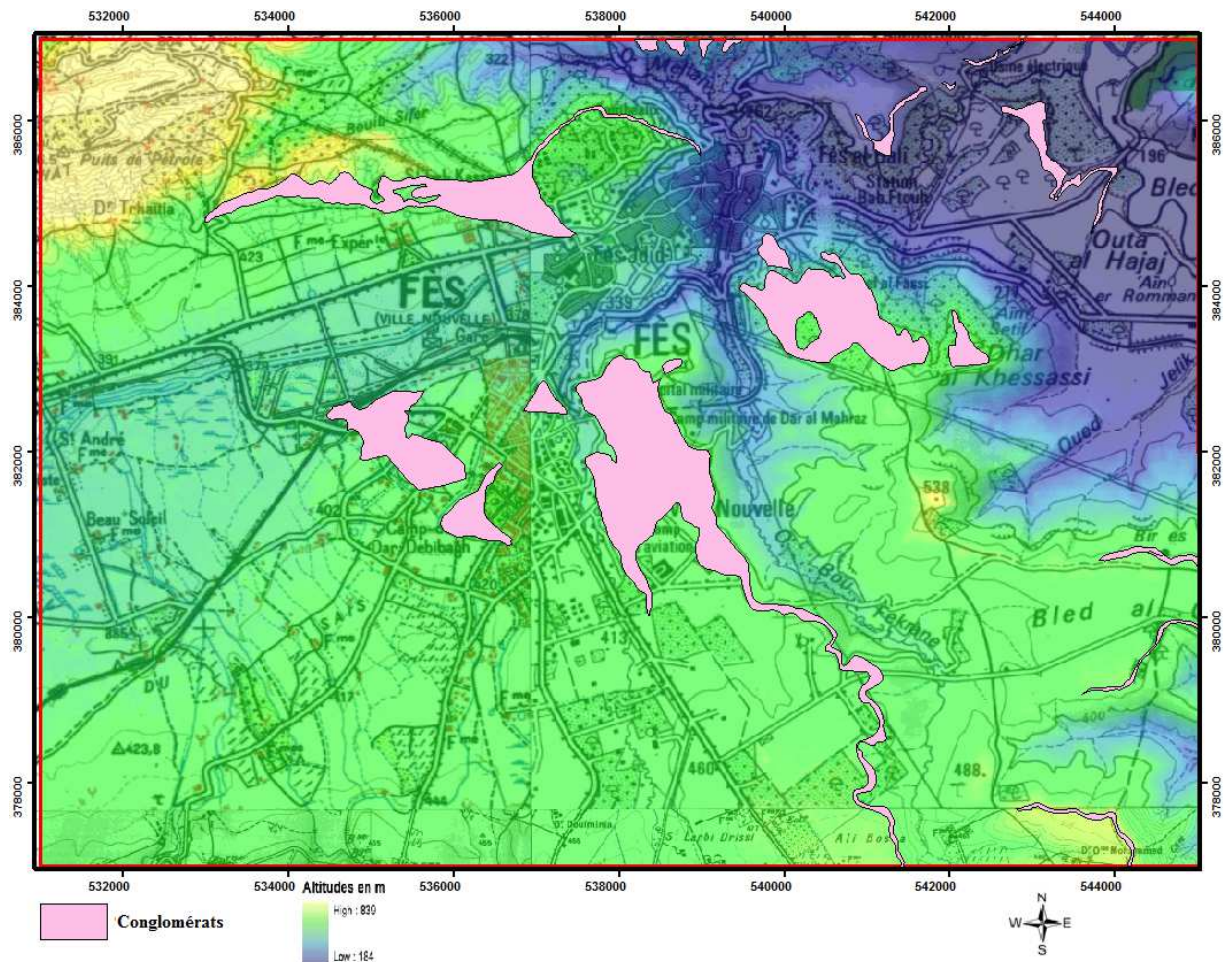


Figure 30 : Carte de la zonalité géotechnique des conglomérats de la ville de Fès

4. Zone des calcaires lacustres (Figure : 31)

Les calcaires lacustres se trouvent au sud-ouest de la ville de Fès (Bensouda) avec une superficie de l'ordre de 3 Km². Que ce soit massifs ou pulvérulents, se sont de bons sols de fondation, stables, et très résistants.

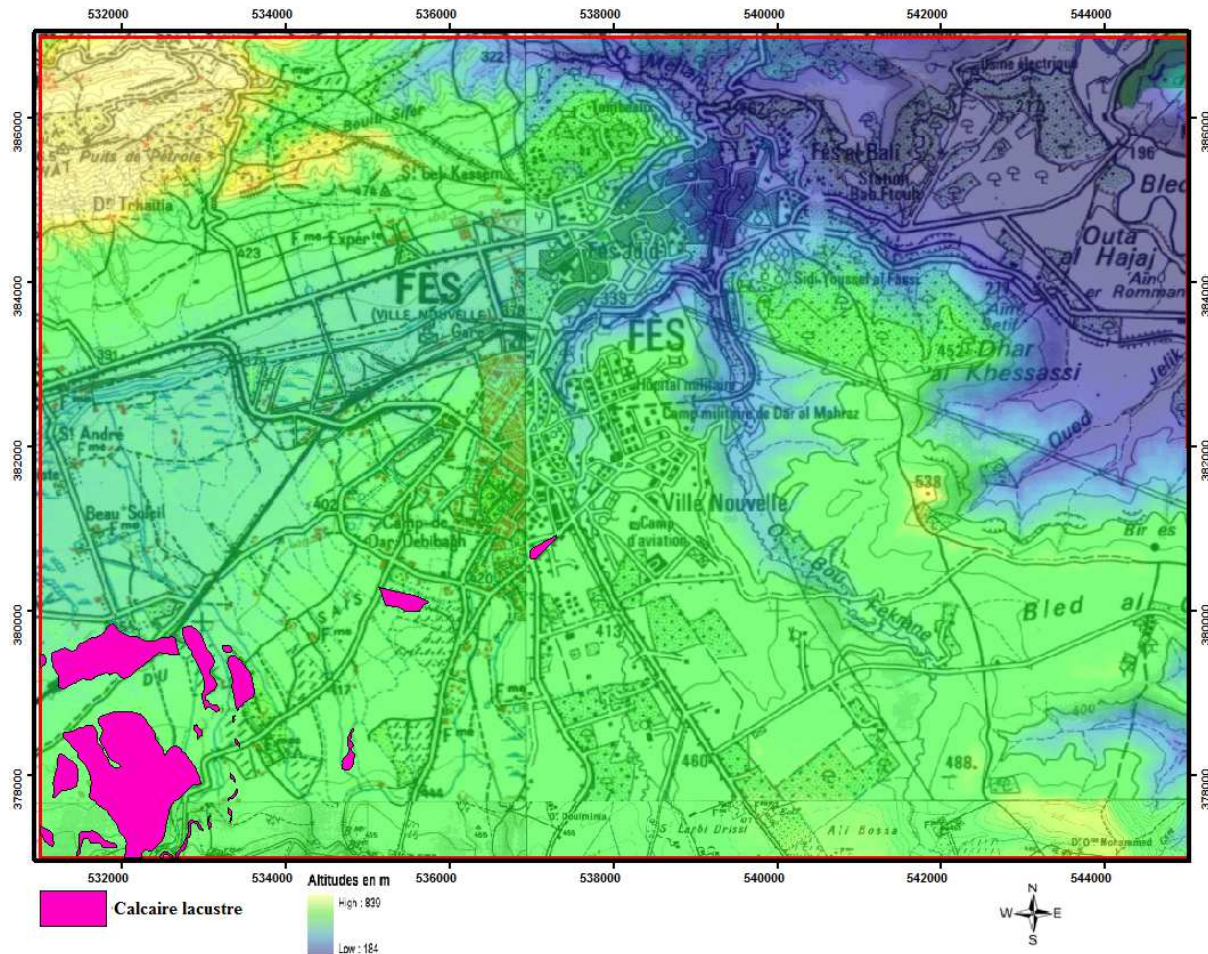


Figure 31 : Carte de la zonalité géotechnique des calcaires lacustres de la ville de Fès

5. Zone des travertins (Figure : 32)

Les travertins occupent la zone des mérinides au nord de la ville de Fès et ils existent aussi dans la région de Bensouda (sud-ouest) avec une superficie de l'ordre de 8.4 Km². Ils sont généralement des terrains favorables pour l'installation de fondation, à l'exception de certains risques d'effondrement au pied des falaises et dans les excavations humaines.

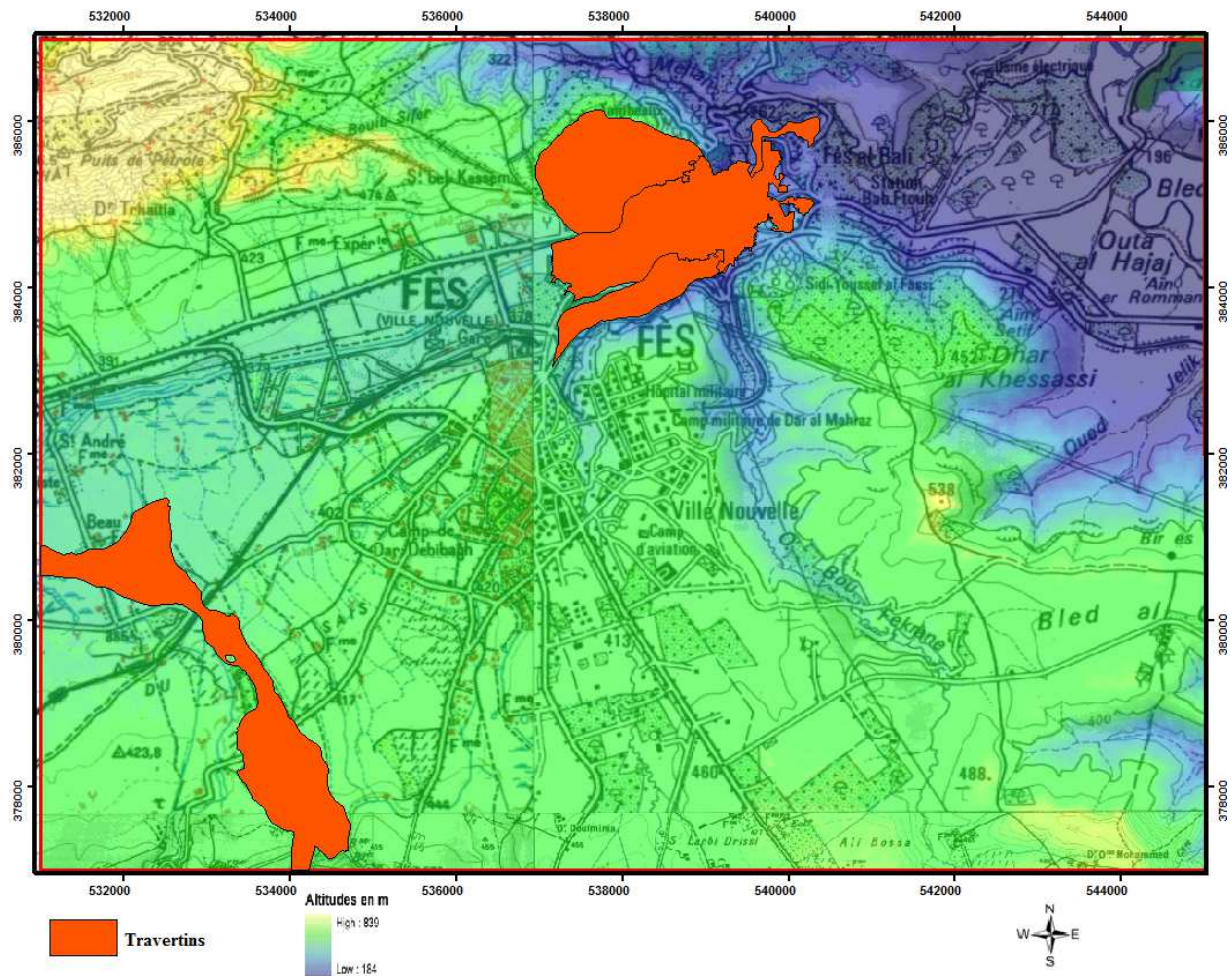


Figure 32 : Carte de la zonalité géotechnique des travertins de la ville de Fès

6. Zone des limons et tufs (Figure : 33)

Ces matériaux se trouvent partout dans la ville avec une dominance au long du oued Fès jusqu'à son embouchure dans l'oued Sebou (nord-est de la ville). La surface occupée par ces sols est de l'ordre de 24.4 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, très compressible.

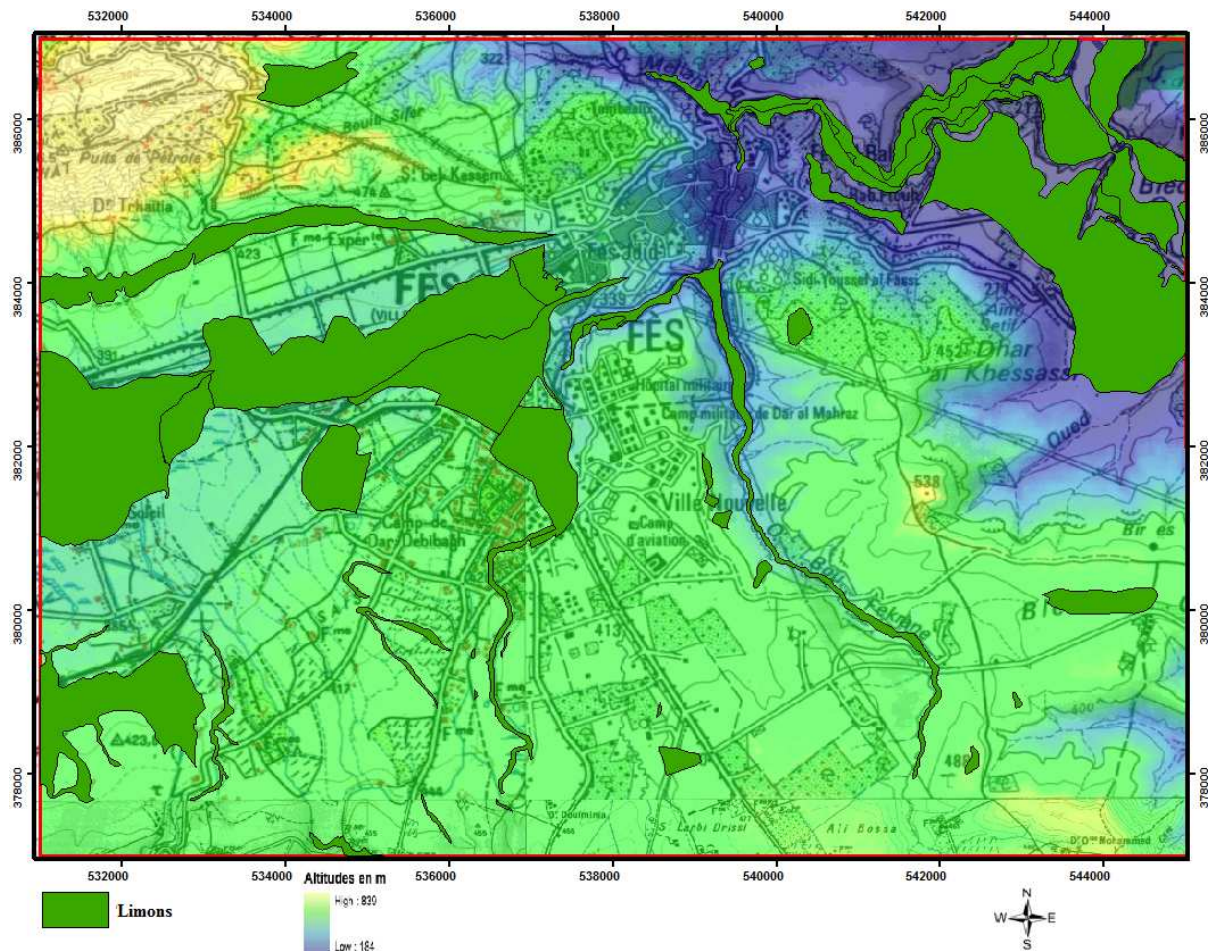


Figure 33 : Carte de la zonalité géotechnique des limons et tufs de la ville de Fès

7. Zone des alluvions (Figure : 34)

Les dépôts alluvionnaires s'étalent avec les écoulements des oueds de la ville, avec une superficie de l'ordre de 8.2 Km². Ce sont des formations hétérogènes recouvertes à la surface par des terres végétales, suivie par des argiles brunes rouges. Ces matériaux sont mous très plastiques et compressibles sous la charge des constructions, qui présente un grand risque de glissement et éboulement.

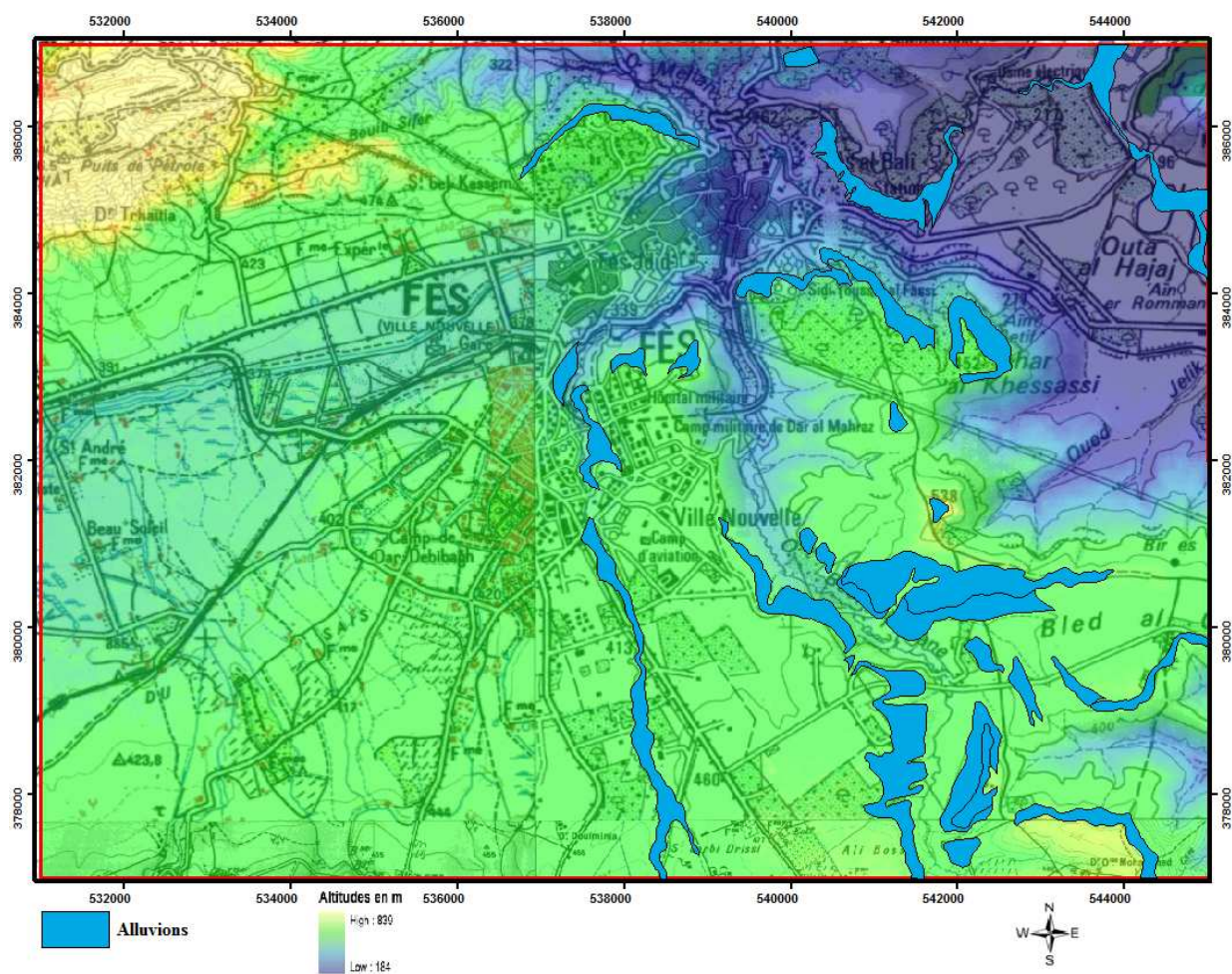


Figure 34 : Carte de la zonalité géotechnique des alluvions de la ville de Fès

Conclusion générale

La cartographie géotechnique a toujours été ciblée pas des chercheurs et les urbanistes qui visaient la classification des substratums ; en effet l'élaboration de la première carte géotechnique de la ville de Fès a été en 1966 par G. Chapond et M. Humbert, mais après 49 ans il est nécessaire d'actualiser le zoning géotechnique surtout que actuellement nous disposons assez de prospections et de techniques.

Dans le cadre de la prévention contre les risques géotechniques ainsi que la classification exhaustive des substratums de la ville de Fès ; la cartographie géotechnique a été visée par plusieurs chercheurs, récemment en 2010 cette carte a connue une actualisation par El Boumashouli qui a fait intervenir plus de données et plus de forages.

Le présent travail a permis de réaliser une mise à jour du zoning géotechnique de la ville de Fès, en s'appuyant sur les prospections géotechniques (sondages et essais en laboratoire) exécutés par le laboratoire public d'essais et d'études (LPEE) entre l'année 2001 (l'année d'accréditation nationale par le ministère du commerce et d'industrie) et l'année **2015**,

La mise à jour du zoning géotechnique a abouti à la réalisation de sept zones géotechniques dans la ville de Fès qui ont des caractéristiques physiques, mécaniques et rhéologiques comparables :

- Zone des marnes : zone instable et très vulnérable aux glissements, avec une superficie de 42 Km²,
- Zone des argiles : zone de compressibilité et de plasticité très élevés, avec une superficie de 44 Km²,
- Zone des conglomérats : zone de matériaux stables et très admissibles pour les fondations, avec une superficie de 8.5 Km²,
- Zone des calcaires lacustres : aussi comme les conglomérats, les calcaires lacustres sont résistants et représentent un bon sol d'assise, avec une superficie de 3 Km²,
- Zone des travertins : les travertins sont généralement des terrains favorables pour l'installation de fondation, à l'exception de certains risques d'effondrement au pied des falaises et dans les excavations humaines, avec une superficie de 8.4 Km²,
- Zone des limons : les limons sont peu plastiques non compressibles, le risque ne se présente que lorsque celles-ci reposent sur un horizon argileux gonflant, très compressible, avec une superficie de 24.4 Km²,

- Zone des alluvions : matériaux hétérogènes, très plastiques et compressibles avec une superficie de 8.2 Km².

L'objectif principal de cette étude, qui se résume à la réalisation de la mise à jour spatiale de la carte géotechnique du site urbain de Fès, reste un document de base fondamental pour la connaissance des fonds d'assise au génie civil et pour les décideurs de l'aménagement de territoire ce qui nécessite une mise à jour continue de différents documents cartographiques.

Annexe

Présentation du LPEE

1. Présentation du LPEE :

Le Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes (LPEE) dont la genèse remonte à 1947, est une entreprise publique au statut juridique actuel de société anonyme.

Actuellement le LPEE offre des prestations de services dans les différents domaines du bâtiment et génie civil, de l'environnement, de l'hydraulique et des industries associées. Ses prestations couvrent aussi tout le cycle de vie des ouvrages de génie civil et des produits qui leur sont liés : conception, étude, essais, suivi et assistance, conseil et expertise.

Le LPEE dispose de trois atouts qui font de lui le pionnier dans son domaine d'intervention :

- Un capital cognitif accumulé durant plus de 60 ans lui permettant de développer des synergies de maintenabilité, de mutualisation, de scalabilité et de résilience ;
- Un capital humain pluridisciplinaire et de haut niveau technique avec un taux d'encadrement dépassant 30%;
- Des équipements et des instruments de mesure de pointe à sa mesure et sur mesure des besoins des clients.

Le LPEE a opté simultanément pour la spécialisation et la proximité à travers des implantations spécialisées à Casablanca et des représentations régionales couvrant tout le territoire marocain.

- 10 centres spécialisés à Casablanca : Grands travaux, Géotechnique, Infrastructures de transport, Matériaux, Electricité, Métrologie, Hydraulique et Environnement,...
- 12 Centres et laboratoires régionaux couvrant toutes les régions du Maroc et offrant un service de proximité à même de répondre dans les délais aux attentes des professionnels.

2. Historique du LPEE :

1947 : Création au Maroc d'un laboratoire de génie civil géré en concession par un laboratoire français ;

1973 : « marocanisation » du LPEE qui devient une « société Anonyme d'économie mixte » avec dans le tour de table des offices nationaux tels que l'ONE, l'ONCF, l'ONEP. Son

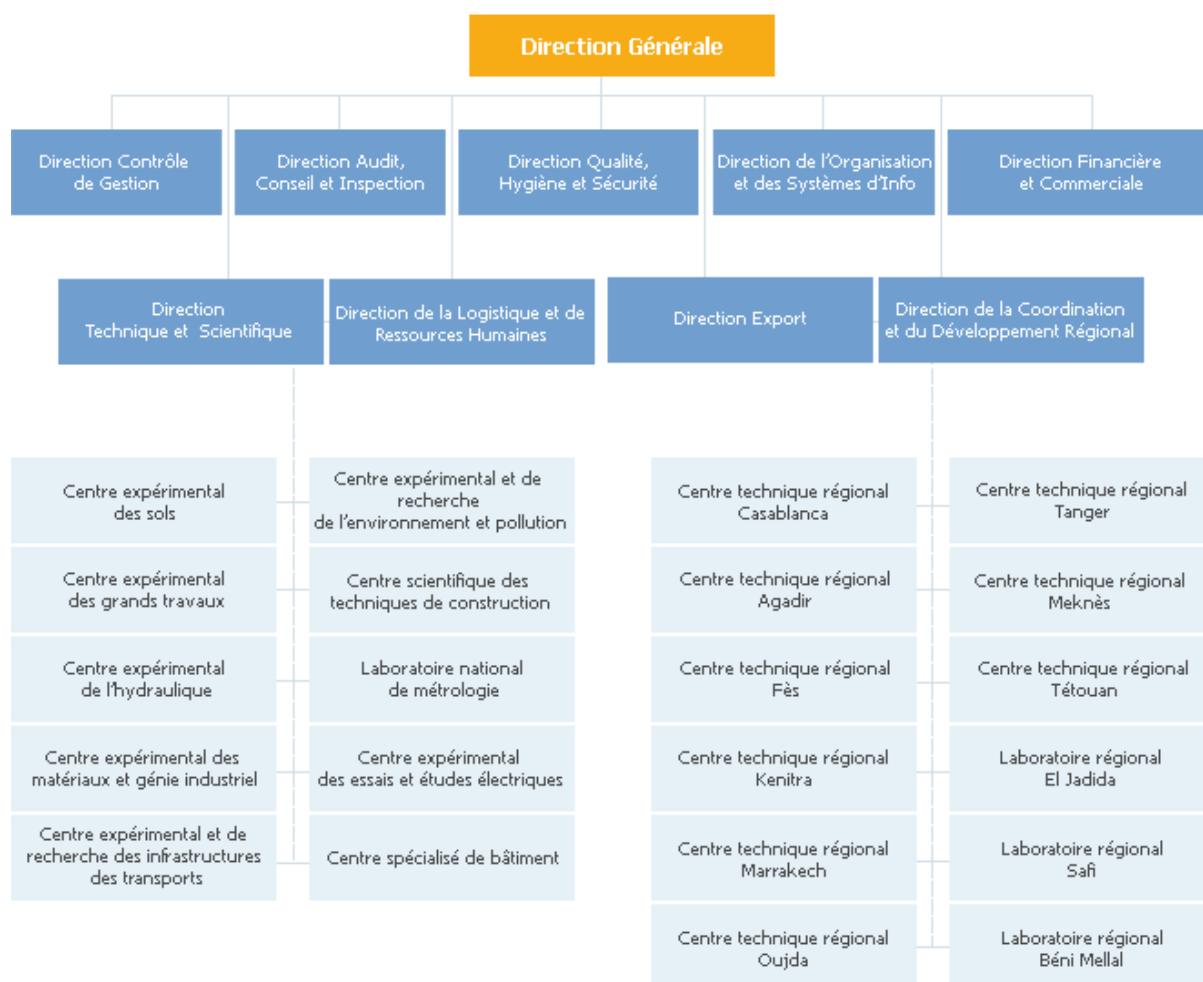
effectif ne comptait que quelques ingénieurs et techniciens et sa présence localisée à Casablanca ;

1994 : Obtention de la première accréditation par le « COFRAC » (Comité Français d'Accréditation) ;

2001 : Accréditation nationale par le ministère du commerce et d'industrie (MCI - Maroc) pour plusieurs programmes d'essais.

Aujourd'hui : le LPEE est présent dans toutes les grandes villes du Maroc, emploie plus de 1000 personnes et réalise un chiffre d'affaires dépassant les 500 millions de dirhams.

3. Organisation du LPEE :



4. Moyens du LPEE :

a. Moyens humains :

Les effectifs actuels dépassent les 1000 salariés dont plus de 30 % d'ingénieurs et cadres supérieurs. La diversité de des domaines d'intervention le pousse à enrichir et à renforcer ses

ressources humaines en spécialistes le permettant de répondre aux exigences de leurs clients et de leur offrir le meilleur service possible et une qualité de prestations irréprochable.

Afin de maintenir un niveau hautement qualifié de leur potentiel humain, on investit chaque année plus de 3 % de leur chiffre d'affaire dans le domaine de la formation continue et le développement des compétences de leurs collaborateurs.

Une grande synergie est également instaurée dans la gestion de leurs ressources humaines permettant ainsi de travailler en équipes pluridisciplinaires sur des projets variés et des problèmes techniques pointus.

b. Moyens matériels :

On dispose des équipements à la pointe de l'innovation les permettant d'assurer leurs missions dans les meilleures conditions et fournir des prestations de qualité internationale.

Chaque année, on consente des investissements conséquents avoisinant 10% de leur chiffre d'affaire pour renouveler, compléter et moderniser leur parc matériel. L'objectif de ces investissements étant d'une part de répondre aux attentes d'une clientèle de plus en plus exigeante, avertie et soucieuse de la qualité des prestations et d'autre part d'anticiper sur les besoins d'un marché en pleine mutation.

5. Activité du LPEE :

Le LPEE accompagne ses partenaires et clients pour la réalisation et la réussite des grands chantiers au Maroc à partir des études préalables de conception jusqu'à la réception et pendant l'exploitation. Ceci grâce à la diversification de ses métiers et ses domaines de compétences.

Son activité de base s'articule autour de l'essai, de l'étude, de l'expertise, du contrôle, et de l'assistance technique dans les domaines suivants :

- Bâtiment et génie civil
- Industrie
- Environnement
- Hydraulique

En outre le LPEE a comme vocation de contribuer à garantir la qualité et la pérennité des ouvrages et la sécurité des citoyens. Il déploie aussi un effort considérable dans le domaine de la recherche, de ce fait le LPEE assure continuellement l'élargissement de ses métiers de base à d'autres activités.

6. Références du LPEE :

Avec plus de 60 années au service de l'économie nationale, LPEE cite ci-dessous ,sans être exhaustif quelques références techniques et professionnelles des chantiers et ouvrages suivis, depuis les études préalables de conception (études de faisabilité, études géotechniques, études d'impact, modélisation, expertise, auscultation,...), en passant par le contrôle de la qualité et le contrôle de la mise en œuvre des matériaux lors de la réalisation de l'ouvrage jusqu'à sa réception et pendant son exploitation.

a. Bâtiment & Génie civil

- Mosquée Hassan II
- Villes nouvelles salla al jadida (sale) Tamesna (Rabat), Tamansourt (Marrakech)
- Complexes sportifs et complexes d'enseignement (université, lycées, collèges,...)
- Stades de Casablanca, Marrakech, fes, Agadir, Tanger
- Projets immobiliers (CGI, ANHI, ERAC, AL OMRANE, DOUJA PROMOTION)
- Tout le réseau routier, autoroutier et ferroviaire national.
- LGV Casa –Tanger
- Rcade méditerranéenne
- Tramway Casablanca et Rabat-Salé
- Aéroport Mohamed V
- Ouvrages d'art : pont Moulay Al Hassan, pont Moulay Youssef...
- Tous les ponts du royaume sur oueds Sebou, Loukkos, Oum Rebbii, Moulouya, Bouregreg, Tensift, Souss,...

Source :

<http://www.lpee.ma/>

Références Bibliographiques

AFNOR, (1999) – Géotechnique : Recueil de normes, Tome 1 : Essais en laboratoire et Tome 2 : Essais sur site.

Agence du bassin hydraulique de Sebou, Fès (ABHS), (2013) – Données climatiques.

Ahmamou M., (1987) – Etude sédimentologique des calcaires lacustres Saïssiens (Plio-quaternaire du bassin de Fès - Meknès (Maroc). *thèse*, Marseille, p166.

Amraoui F., (2005) - Contribution à la connaissance des aquifères karstiques : cas du Lias de la Plaine du Saïs et du Causse Moyen Atlasique tabulaire (Maroc). *Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences. Casablanca*. p249.

Arnould M., (1969) - Aspects géologiques des problèmes d'urbanisme, p93-100.

Arnould M., (1974) - Problème de cartographie en géologie de l'ingénieur, p 313-322.

Boumir K., (1990) - Paléoenvironnements de dépôt et transformations post-sédimentaires de Sables fauves du bassin du Saïs (Maroc). *thèse Univ. Nancy I*, 176p.

Charroud M., Cherai B., Benabdelhadi M. & Falguères C., (2007)- Impact de la néotectonique Quaternaire sur la dynamique sédimentaire su Saïs du bassin d'avant fosse Pliocène au plateau continental Quaternaire, *Quaternaire*, 18, (4), 2007, p. 327-334.

Charrière A., (1984) – Evolution néogène de bassins continentaux et marins dans le Moyen Atlas central (Maroc). *Bull. Soc. Géol. France*, 7, t. XXVI, n°6. p. 1127-1136.

El Arabi H., (1987) - Etude stratigraphique et sédimentologique du lias aux confins du Causse moyen-atlasique et du Moyen-Atlas plissé Maroc. *Thèse de 3^{ème} cycle*, Toulouse. 199p.

El Boumeshouli S.M., (2010) - Etude géotechnique du sous sol urbain de la ville de Fès et Cartographie des zones à risques moyennant le système d'information géographique (SIG)

El Boumeshouli SM, Lahrach A., Chaouni A. & Deffontaines B. (2015) - Geotechnical Study of Urban Soil and Subsoil of Fez City (N. Morocco) and Natural Risk Mapping Using Geographic Information System (GIS). *Engineering Geology for Society and Territory - Volume 5, Urban Geology, Sustainable Planning and Landscape Exploitation 2015*, pp 763-768.

El Msaddaq K., (2005) - Synthèse hydrogéologique dans la plaine de Saïss: secteur Fès. *Mémoire DESA*. Université Sidi Mohamed ben Abdellah. Faculté des sciences.

Fassi D., (1999) - Les formations superficielles de Saïss de Fès et de Meknès des temps géologiques à l'utilisation actuelles des sols. *thèse* 527p. *Notes et Mém. Serv. Géol.* n° 389. Rabat, Maroc.

Harmouzi O., (2010) - Reconnaissance détaillée de la partie nord-est du Bassin de Saïs (MAROC) : interprétation de sondages électriques verticaux par combinaison des méthodes statistique, géostatistique et d'inversion. thèse, p 13.

Holtz R.D. & Kovacs. W.D., (1991) - Introduction à la géotechnique. Editeur Ecole Polytechnique de Montréal.

Masson M., (1972) - Utilisation de la géomorphologie dans les études géotechniques de sites à urbaniser, p59- 69.

Ministère de l'Habitat, de l'Urbanisme et de l'Aménagement de l'Espace (2011) – Le règlement parasismique au Maroc – RPS 2000 version 2011.

Olivier G., (1979) - Cartographie géotechnique pour l'aménagement, p55-64.

Ouarhache D., (1987) - Etude géologique dans le Paléozoïque et le Trias de la bordure NW du causse moyen-atlasique (S et SW de Fès, Maroc). *Thèse 3ème cycle*, Toulouse, 130 p.

Philipponnat. G. et Hubert. B., (1997) – Fondations et ouvrages en terre. Editeur Eyrolles

Plumelle C., (2002) – Géotechnique. Cnam, Paris

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.*

Taltasse P., (1950) – Recherches géologiques et hydrologiques dans le bassin lacustre de Fez-Meknes. *Etat.* Paris.

Taltasse P., (1953) – Recherches géologiques et hydrogéologiques dans le bassin lacustre de Fès - Meknès. *Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc*, n° 115,300p.



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

Nom et prénom: JALOUNI Abdessamad

Année Universitaire : 2015/2016

Titre: Contribution à la mise à jour du zoning géotechnique de la ville de Fès

Résumé

La cartographie géotechnique est un outil de la facilitation, de la quête et de l'exploitation de terrain pour la construction, elle doit être précise et représentative, vue le rôle qu'elle joue aussi bien dans la prise de décision que dans la prévention des risques, la première carte géotechnique de la ville de Fès a été élaborée en 1966 par « Chapron et Humbert ». Notre mission consiste à actualiser le zoning de cette carte, et ceci en exploitant des données représentatives qui étaient élaborées selon les essais géotechniques, en suivant des normes récemment officialisées. Ceci a abouti à la réalisation d'une carte précise qui renferme sept zones géotechniques qui sont :

- Zone des marnes ;
- Zones des argiles ;
- Zone des conglomérats ;
- Zone des calcaires lacustres ;
- Zone des travertins ;
- Zone des limons ;
- Zone des alluvions.

Mots clés : Carte géotechnique, Fès, Sondage, Essais géotechniques, Zoning géotechnique, Mise à jour.