



## *Dédicace*

Au Dieu, le tout puissant qui nous a aidé à réaliser ce travail.  
À nos parents pour leur soutien, leur patience admirable et leur affection  
continuelle, qui nous a beaucoup aidé dans notre vie et durant nos études.

Que dieu les garde.

À nos frères et sœurs

À tous les membres de nos familles.

À tous nos amis.

À toute la promotion de la géoressources et environnement

À toute personne qui nous connaît.

**Hajar Kamira**

**Fatiha Maghraoui**

## *Remerciement*

Avant toute chose, nous remercions Dieu le tout puissant pour m’ avoir donné la santé et la volonté d’entamer et de terminer ce mémoire.

Nous eûmes la chance et le plaisir d’effectuer ce travail de recherche dans l’ université euro-méditerranéenne sous l’encadrement de **Mr. Oussama El-Mensoum**, ingénieur en génie civil et géotechnique.

Nous les remercions pour avoir accepté de nous accueillir au sein de L’ université, pour nous avoir fait confiance, nous avoir encouragé et conseillé tout en nous laissant une grande liberté. Aussi pour son soutien et sa grande générosité.

Nous exprimons aussi nos profonds remerciements et ma nos vives reconnaissances à notre encadrant interne monsieur le professeur **Jabrane Raouf** qui n’ a pas cessé de nous encourager pendant la durée de stage, ainsi que pour sa générosité en matière de formation et d’encadrement.

Nous remercions également les membres de jury Monsieur le professeur **Abdel-Ali Chaouni**, le professeur **Ghfir Younes** et le professeur **Zahour Rachid** d’ avoir acceptés de juger notre travail.

Merci également à tous nos collègues et amis du laboratoire pour leur accueil, ils ont pu nous offrir une ambiance très motivante et encourageante au travail, ainsi que pour leur disponibilité qui nous a permis de surmonter les difficultés. Merci pour leur optimisme et enthousiasme.

Nos sentiments de reconnaissance et mes remerciements vont à toute personne qui a participé de près ou de loin dans la réalisation de ce travail.

## *Résumé*

*Cette étude est focalisée sur les glissements de terrain à travers l'exemple de la région de Fès qui est très caractéristique et pédagogique. Elle nous a permis de bien comprendre ces phénomènes grâce à l'appui scientifique et logistique fournis par l'université euro-méditerranéenne. Ce rapport de stage débute par une présentation du milieu physique de l'aire d'étude permettant la compréhension du phénomène des glissements du terrain, leur cartographie et les facteurs qui les engendrent. En effet, le contexte géologique est caractérisé par un domaine de nappes de charriage, une lithologie dominée par des collines aux affleurements marneux de Miocènes très friables et très disséquées par un réseau hydrographique souvent intermittents. Encore l'étude a montré les implications du régime pluviométrique (alternance des périodes sèches et chaudes avec d'autres humides) et les conditions hydrologiques et hydrogéomorphologiques (infiltration et création d'un niveau instable, absorption et gonflement des argiles, sapement des berges) qui sont déterminantes dans ces glissements.*

*L'étude présente également les différentes mesures géotechniques (reconnaissance par sondages carottés, sondages pressiométriques, analyse granulométrique, limites d'Atterberg, essai de cisaillement rectiligne, essai de compressibilité à l'œdomètre, l'essai V.B.S. etc.). Cette étude finit aussi par rappeler les recommandations indispensables pour lutter contre les glissements du terrain.*

**Les mots clé :** *glissement ; terrain ; Fès ; route Jnane El-Ouard ; géotechnique ; calcimétrie ; limites de l'Atterberg.*

## *Table des matières*

<b>Dédicace</b> .....	<b>1</b>
<b>Remerciement</b> .....	<b>2</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>3</b>
<b>Table des matières</b> .....	<b>4</b>
<b>Liste des figures</b> .....	<b>6</b>
<b>Liste des tableaux</b> .....	<b>6</b>
<b>Introduction générale :</b> .....	<b>7</b>
I. Contexte : .....	7
II. Problématique : .....	7
III. Matériels et méthodes : .....	7
IV. Le contenu : .....	8
<b>Chapitre 1 : Représentation du secteur d'étude</b> .....	<b>9</b>
I. L'étude géomorphologique et géologique.....	9
II. Données climatiques .....	12
1. Précipitations .....	13
2. Température.....	13
3. Diagramme ombrothermique.....	14
III. Contexte hydrologique .....	14
IV. Etude géotechnique de la zone .....	15
1. La carte de zonage géotechnique.....	15
2. Zonage des risques naturels autour de la ville de Fès.....	16
2.1 Zone à haut risque.....	17
2.2 Zone à risque moyen.....	17
2.3 Zone à faible risque.....	18
<b>Chapitre 2 : Les glissements de terrain</b> .....	<b>19</b>
I. Définition .....	19
II. Les Facteurs génétiques des mouvements de terrain dans le domaine urbain de Fès : ..	19
1. Facteurs géologiques .....	19
2. Facteurs morphologiques.....	20
3. Facteurs hydriques .....	21
4. Facteurs anthropiques .....	22
III. Les types de glissements .....	22
1. Glissement rotationnel.....	22

2. Glissement plan .....	23
3. Tassement de versant.....	24
4. Coulées de boue (ou coulées boueuses) .....	24
<b>Le cas de la route Jnane el Ouard .....</b>	<b>25</b>
I. Représentation de la zone.....	25
II. Détermination des limites de l'atterberg .....	27
1. Définition et but de l'essai.....	27
2. Principe de la méthode .....	27
3. Appareillage.....	27
3.1 Appareillage spécifique .....	27
3.2 Appareillage d'usage courant .....	28
4. Préparation de l'échantillon.....	28
5. Exécution des essais et calculs .....	28
5.1- limite de liquidité ( $W_L$ ).....	28
5.2- limite de plasticité ( $W_P$ ).....	30
6. Présentation des résultats.....	31
III. La calcimétrie de Bernard .....	32
1. Le mode opératoire.....	33
2. Calculs .....	34
<b>Conclusion .....</b>	<b>35</b>
<b>Recommandation .....</b>	<b>36</b>
<b>Les références.....</b>	<b>37</b>

## Liste des figures

Figure 1 :la carte géologique du site étudié.....	9
Figure 2:carte de situation de la zone étudiée .....	10
Figure 3:La situation géographique de la communié urbaine de la ville de Fès .....	12
Figure 4:graphique climatique de Fès : .....	13
Figure 5:Graphique des précipitations a la zone d'étude .....	13
Figure 6:graphique de la température de la région .....	14
Figure 7:diagramme ombrothermique de la région étudiée .....	14
Figure 8:La carte de zonage géotechnique de la ville de Fès .....	16
Figure 9: Carte synthétique des trois zones à risques naturels dans la ville de Fès. ....	17
Figure 10 : Les formes de risques de mouvements de terrain affectant les terrains marneux, sur lesquels se trouvent les quartiers périphériques de Hay Hassani et Hay El Wifaq dans le versant Nord du plateau des Mérinides au Nord de la ville de Fès. (Google Earth, Image satellitaire du 03/07/2017).....	20
Figure 11:Photo illustrant les formes de mouvement de terrain en solifluxion affectant les marnes sableuses dans le versant Nord du plateau des Mérinides au Nord de Fès.....	21
Figure 12: Coupe schématique d'un glissement rotationnel et distribution des forces.....	23
Figure 13:le glissement plan.....	24
Figure 14:Glissement rotationnel rapide évoluant en coulée boueuse .....	24
Figure 15:les traces du glissement dans la zone .....	25
Figure 16:la situation de la route et son effet sur le glissement du terrain d'étude.....	26
Figure 17:effet du glissement du terrain sur l'infrastructure routière de la zone.....	26
Figure 18:image montre l'axe de " chaabat" .....	27
Figure 19:L'appareil de Casagrande .....	28
Figure 20: préparation de la pâte de marne bleu .....	29
Figure 21: réalisation de la raineur .....	30
Figure 22:limite de plasticité .....	30
Figure 23: graphique de la limite de liquidité d'après les deux essais .....	31
Figure 24:diagramme de Casagrande pour la classification des sols fins .....	32
Figure 25: calcimètre de Bernard .....	33

## Liste des tableaux

Tableau 1: évolution de la population de la ville de Fès (1960-2014) .....	11
Tableau 2: résultats des limites de l'atterberg .....	31
Tableau 3: les résultats de calcimétrie.....	34

## *Introduction générale :*

### **I. Contexte :**

Sélection de sujets, en mettant l'accent sur les glissements de terrain. La perspective géotechnique est déterminée par le contexte global lié aux risques naturels de plus en plus agressifs et menaçants pour la vie humaine et les biens changement climatique global (réchauffement climatique, les phénomènes hydroclimatiques extrêmes et les mouvements de terrain qui les accompagnent etc.), mais aussi en raison du développement socio-économique et de l'intensification de l'urbanisation anarchique sur des terrains dangereux.

Ce choix nous Permettre d'abord une lecture bibliographique approfondie des manuels et des articles. Apprendre et suivre une variété de tests et de mesures d'Ingénierie géotechnique, en laboratoire et sur le terrain.

### **II. Problématique :**

Il se concentre sur la recherche des causes des glissements de terrain dans la zone d'étude (la région de Fès et plus précis dans la route de jnane el ouard) leurs natures, et leurs espaces. Il s'agit de prévoir l'ampleur, le caractère de ces transitions d'Ingénierie géotechnique du sous-sol et la localisation des plans de rupture potentiels. Les résultats, sont cartographiés et leurs interprétations vont permettre de faire des recommandations de base pour la gestion de ces risques→ Cela concerne, la direction de l'extension de la ville, l'adoption des normes de construction appropriées, la sensibilisation public et élus des communes, les mesures techniques pour prévenir les glissements de terrain basé sur le terrassement, le drainage et le génie civil.

### **III. Matériels et méthodes :**

Dans cette étude, nous nous appuyons sur une analyse du contexte géologique, géomorphologique et hydrologique Basée sur la cartographie, comme méthode et moyen d'étude et d'analyse des causes génétiques majeures, glissements de terrain dans la région de la zone urbaine de Fès.

En plus d'étudier les structures et les strates qui composent l'environnement bâti, effectuer une cartographie géologique à grande échelle Les bâtiments de la ville de Fès et la connexion de ces bâtiments aux bâtiments principaux du front sud Rifaine de la zone, nous permettant d'estimer la complexité et l'impact combiné des facteurs conduisant aux glissements de terrains dans la zone d'étude.

Analyse et exploitation de documents cartographiques anciens (Schémas géotechniques de Fès et Plans d'urbanisme de Fès). Les nouvelles technologies de l'information (Google Earth), complétées par des travaux de terrain et de vérification, nous ont permis de délimiter les zones affectées par les mouvements de terrain. Nous avons pu aussi, caractériser les différents types d'instabilités qui, affectent les biens et les infrastructures urbaines de la partie Nord de la ville de Fès.

#### **IV. Le contenu :**

Le contenu de ce mémoire de fin d'étude est composé de trois grands thèmes : la suggestion d'une méthode d'approche géotechnique, ensuite, la présentation du milieu physique de l'aire d'étude, et pour finir, la présentation graphique des résultats d'essais ainsi, que l'analyse et l'interprétation des données des essais géotechniques.

# Chapitre 1 : Représentation du secteur d'étude

## I. L'étude géomorphologique et géologique

L'étude géologique est basée sur l'analyse de la carte géologique du Maroc Fès ouest Echelle 1/100000 (Fès Ouest-100k, 1950) (Fig.1).

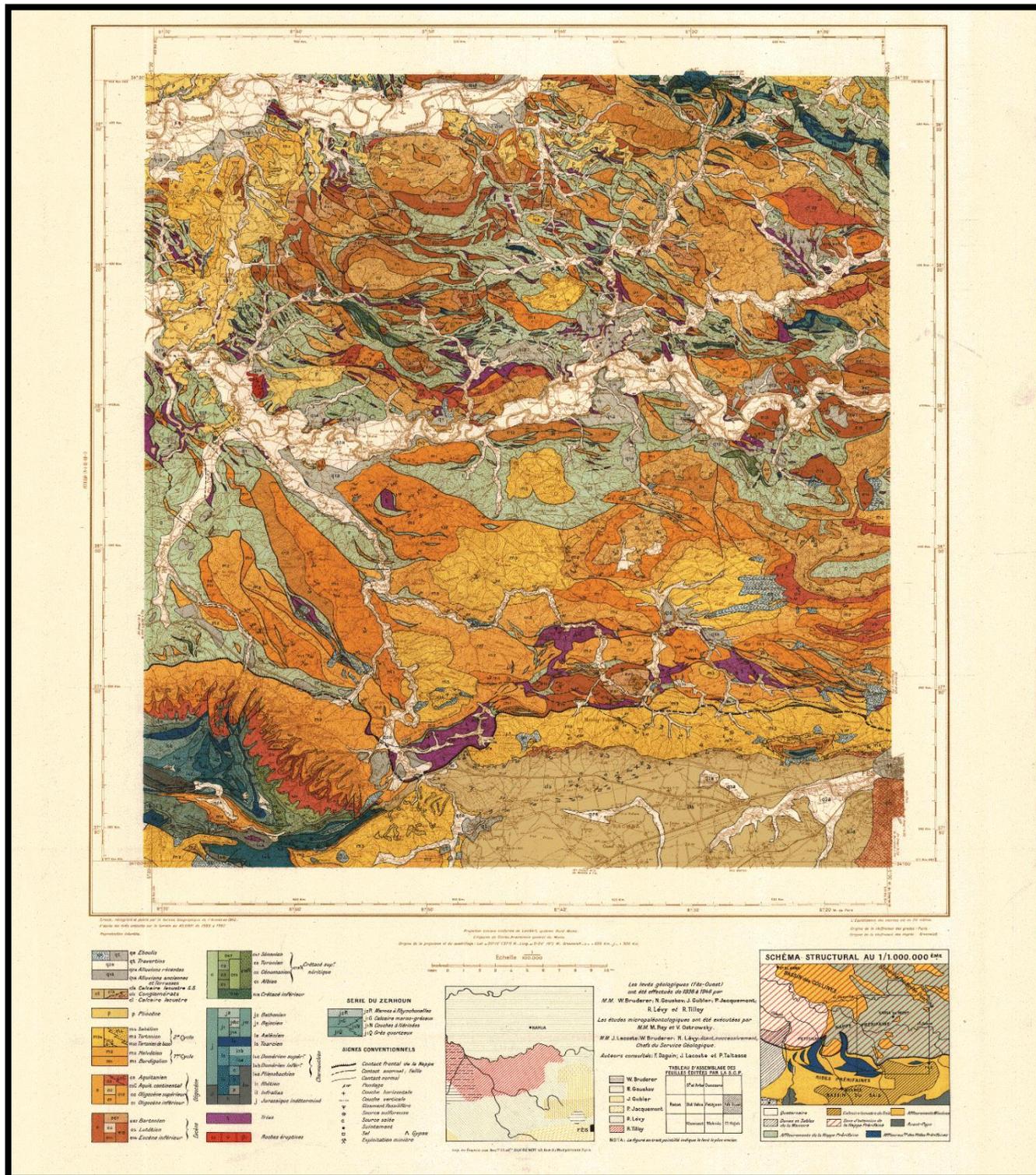
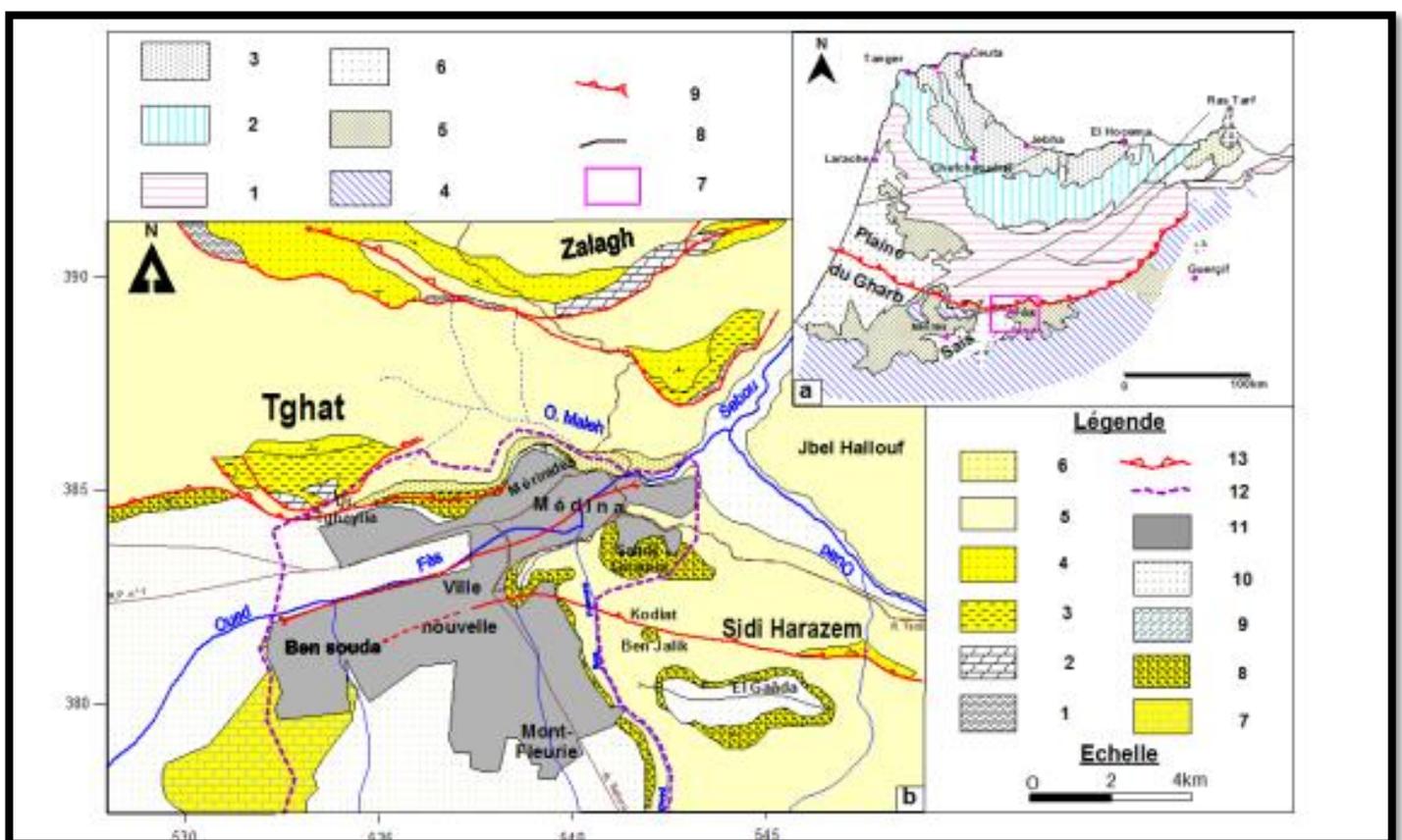


Figure 1 : La carte géologique de région de Fès).

La région de Fès est située à l'extrémité orientale du bassin de Fès Meknès dans le NE-SW, en direction du bassin dit du Saïs, qui occupe la partie centrale du corridor rifain sud. Ce couloir est une zone de subsidence correspondant au bassin d'avant-pays rifaine rempli par des dépôts turbiditiques néogènes dont le côté sud bute contre la série massive de Lias carbonaté de la chaîne du Moyen Atlas (Bargach K., 2003). Sur son côté nord, il est chevauché par le front de déformation rifain et feuilles de charriage pré-rif formées par une série de couches crétacées et Marnes tertiaires (Fig.2). Ce chevauchement se manifeste également par les crêtes du pré-rif correspondant aux anticlinaux à cœur Jurassique, orienté approximativement est-ouest caractérisé par l'extension de Jbel Tghat à Jbel Zalagh (Cherai B. et al. 2008).



1 : Périf ; 2 : Mésorif, 3 : Rif interne, 4 : Méséta et Moyen Atlas, 5 : Néogène, 6 : Plaines du Gharb et de Saïs, 7 : Secteur d'étude, 8 : Failles majeures, 9 : Front Sud rifain (F.S.R). (b) : Carte des principales structures du domaine urbain de la ville de Fès. 1 : Argiles rouges salifères (Trias), 2 : Dolomies et Marno-calcaires (Jurassique), 3 : Grès grossiers et marne blanches (Miocène inf.); 4 : Calcarénites du Dr. Sikh (Miocène Moy) ; 5 : Marnes bleues de Fès (Tortonien), 6 : Marnes sableuses (Pliocène inf.), 7 : Calcaires lacustres de Ben Souda (Plio-quadernaire), 8 : Conglomérat du Dr. Tghaytia (Plio-quadernaire), 9 : Travertin des Mérinides (Quadernaire), 10 : Dépôts récents de l'oued Sebou et de la plaine de Fès, 11 : Agglomérations urbaines de la ville de Fès, 12 : Limite du Plan Urbaine, 13 : Front Sud rifain (Cherai B. Charroud M., 2008).

Figure 2: Carte de situation de la zone étudiée (Cherai B. Charroud M., 2008)

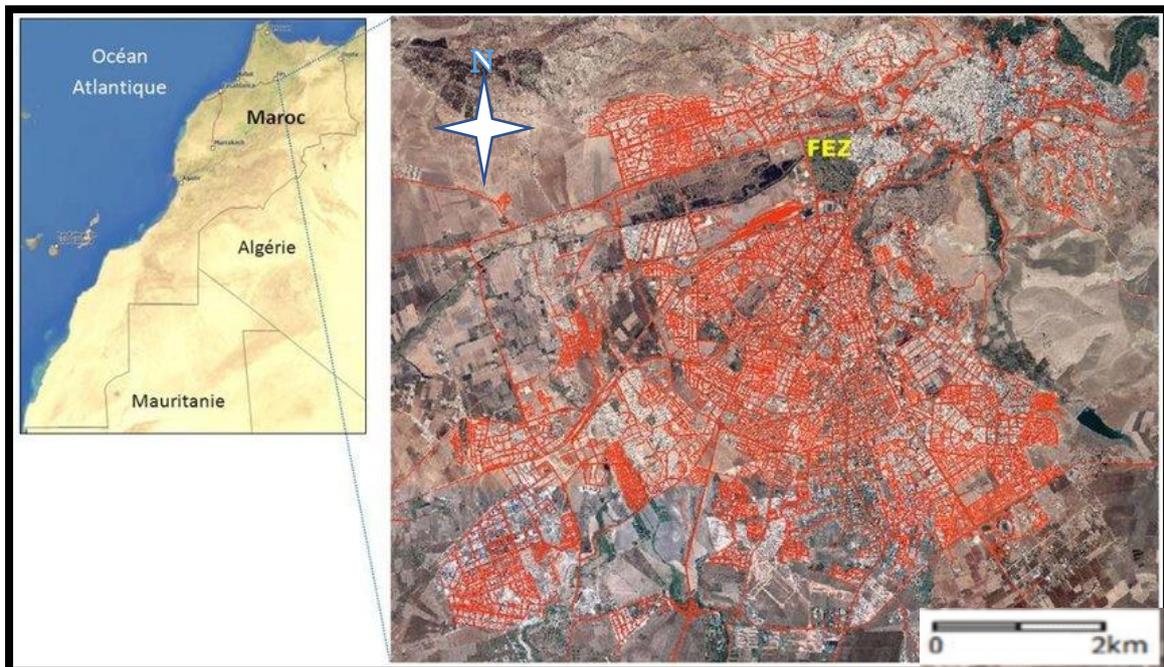
La ville de Fès est située dans deux régions géologiquement différentes et opposées à savoir les bassins du préif et du Saïs. Cette situation, est la source de multiples catastrophes naturelles et exacerbés par les actions fait par l'homme. Ces risques d'instabilité liés aux glissements de terrain et aux affaissements résultent d'une combinaison de facteurs géologiques, topographiques, hydriques et humains (Cherai B. et Charroud M., 2008).

La ville de Fès a connu une combinaison de croissance urbaine rapide au cours des dernières décennies croissance démographique et exodes ruraux, accompagnés de plusieurs changements dans l'organisation spatiale urbaine [1, 2]. Cette situation favorise le développement de grands secteurs d'habitats non résidentiels à savoir les anciennes carrières et les anciens gisements vallées sèches et ravins(Ben & Abahrour, 2019a) (Fig.3).

*Tableau 1: Evolution de la population de la ville de Fès (1960-2014) (source : HCP-RGPH 2014)*

<i>Années</i>	<i>1960</i>	<i>1971</i>	<i>1982</i>	<i>1994</i>	<i>2004</i>	<i>2014</i>
<i>Ville de Fès (Nombre habitants)</i>	<i>325327</i>	<i>335050</i>	<i>584654</i>	<i>772184</i>	<i>946815</i>	<i>1 150 131</i>

À l'époque, plusieurs secteurs de la ville étaient menacés par l'instabilité et les glissements de terrain, notamment au nord et au nord-est du périmètre de la ville, où la densité était très élevée. Hay Hassani est un excellent exemple d'une communauté confrontée à de tels risques naturels avec une situation de logement complexe. Les propriétés lithologiques et l'organisation structurale des édifices géologiques de la ville de Fès sont considérées comme les déterminants de la survenue et du développement de ces différents risques [3, 4, 2, 5].



*Figure 3: La situation géographique de la communauté urbaine de la ville de Fès*  
(Fejjal A., 1992)

Faute d'études géologiques détaillées et de cartographie à grande échelle, le développement urbain de la ville Fès fait encore face à de nombreux obstacles liés à ces problèmes d'instabilité du terrain. Sous cet angle et pour combler cette lacune, l'un des objectifs était d'étudier simultanément les caractéristiques géologiques de la zone urbaine de Fès ainsi que délimiter les zones à risque (Chalouan A., 2014).

## **II. Données climatiques**

Le climat de Fès est chaud et tempéré. En hiver, les pluies sont bien plus importantes à Fès qu'elles ne le sont en été. La température moyenne annuelle est de 17.8 °C. Sur l'année, la précipitation moyenne est de 549 mm.

Les précipitations et les températures sont les principaux facteurs climatiques qui favorise l'érosion hydrique et mouvement de masse, parce que :

- **Le ruissellement** s'établit lorsque les précipitations abondantes au début de la saison froide (de novembre au mai), ou par conséquence des averses orageuses exceptionnelles.

- **Les étiages des cours d'eaux** s'établissent par l'absence de précipitations saisonnières ou par la sécheresse estivale qui est due à l'augmentation de la température dans la saison sèche (de juin à l'octobre) et également par la formation des croutes des battances qui arrache et détache les particules des sols (Jawad Gertite, 2015) (Fig.4).

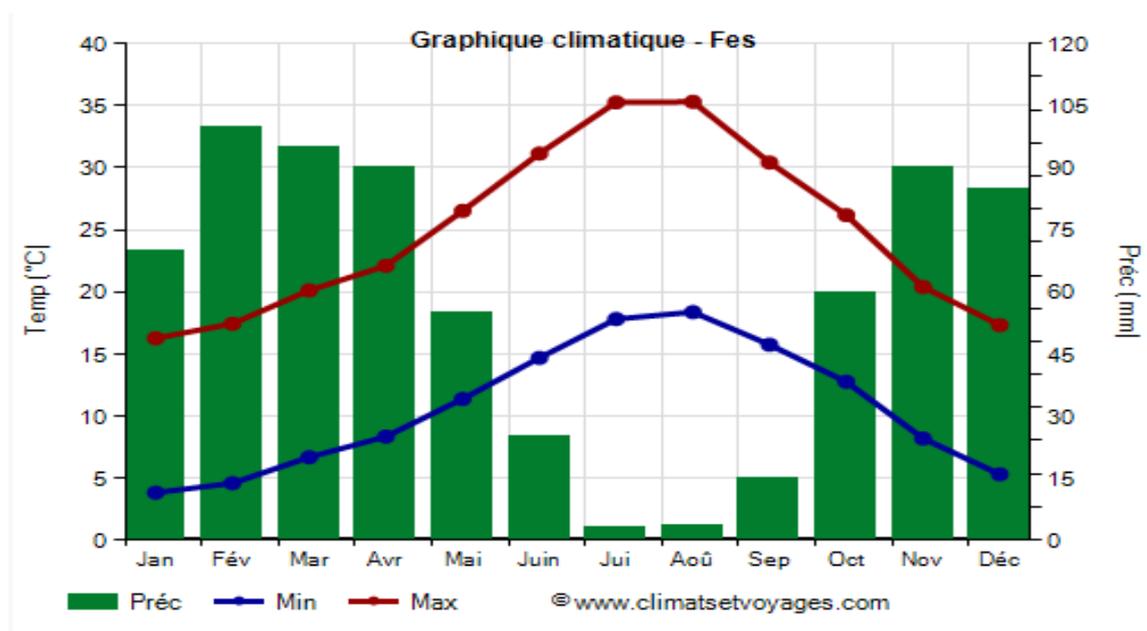


Figure 4: Graphique climatique de Fès

Les paramètres climatiques utiles à notre étude sont les précipitations et les températures.

### 1. Précipitations

À Fès, les précipitations totalisent 690 millimètres par an : elles sont donc à un niveau intermédiaire. Au mois le moins pluvieux (juillet) elles s'élèvent à 3 mm, dans le mois le plus pluvieux (février) elles s'élèvent à 100 mm. Voici la moyenne des précipitations (Fig.5).

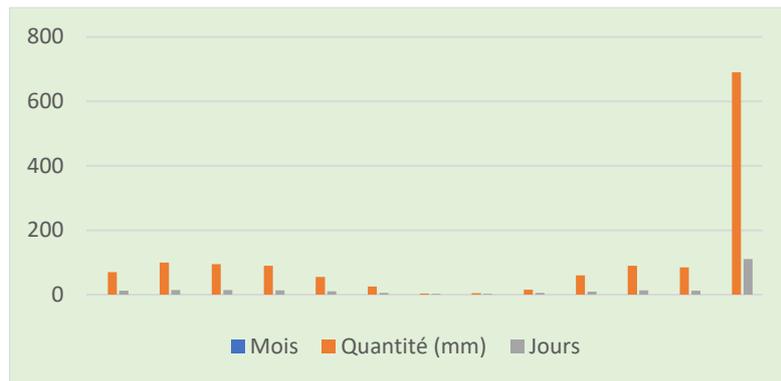


Figure 5: Graphique des précipitations a la zone d'étude

### 2. Température

La température est un paramètre très important, vu qu'elle intervient d'une part comme élément déterminant pour la spécification du climat et d'autre part comme facteur essentiel pour l'estimation des potentialités hydrologiques d'une région donnée. Car elle contrôle plusieurs paramètres du cycle de l'eau comme, l'évaporation, la transpiration des végétaux....

À Fès, la **température moyenne** du mois le plus froid (janvier) est de 10,0 °C, celle du mois le plus chaud (août) est de 26,8 °C (Fig.6).

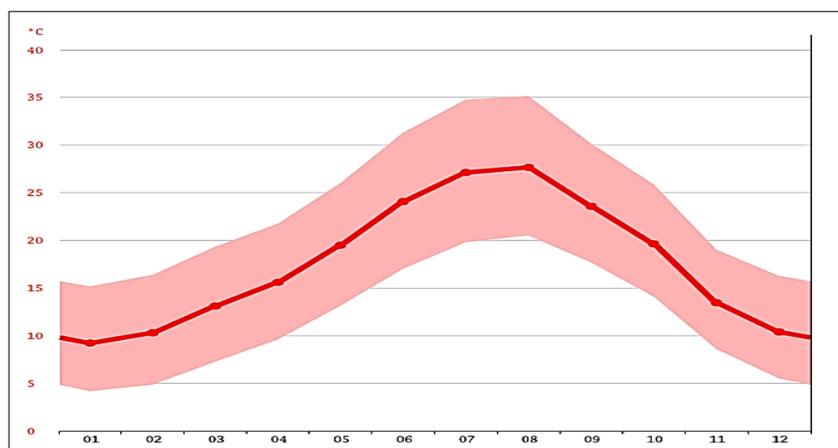


Figure 6: Graphique de la température de la région

### 3. Diagramme ombrothermique

Le diagramme ombrothermique permet de déterminer la période sèche et la période humide de l'année. Il définit la période humide comme étant celle où les précipitations mensuelles dépassent le double des températures mensuelles, tandis que la période sèche est celle où le double des températures mensuelles dépasse les précipitations mensuelles (Fig.7).

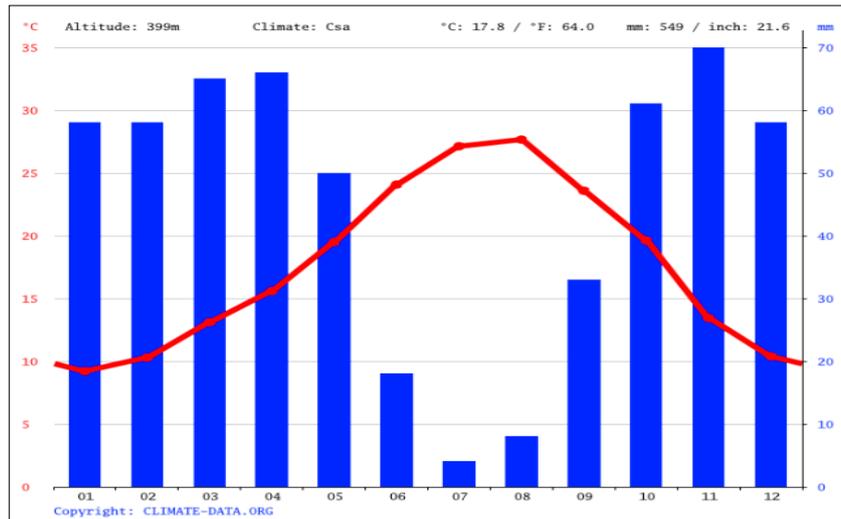


Figure 7: Diagramme Ombrothermique de la région étudiée

Les précipitations moyennes les plus faibles sont enregistrées en Juillet avec 4 mm seulement. Les précipitations record sont enregistrées en novembre. Elles sont de 70 mm en moyenne (Fig.7).

### III. Contexte hydrologique

La région de Fès est caractérisée par un réseau hydrologique assez développé. Il se compose des éléments suivants :

- Oued Fès, qui coule d'ouest en est au sein de l'aire urbaine de Fès, recevant les oueds Himmer, Aïn Chkeff et Einsgate ;
- Oued Mahrez et Oued Boufekrane se rejoignent à l'entrée de la médina, relié à l'ancien Oued Fez dans le Sebou ;

- Dans la partie nord du périmètre de la ville, le canal El Maleh est un important drain collectant les eaux pluviales des pentes Au sud de la crête de Zalagh. Incision qui provoque une profonde vallée pour casser le versant sud de la crête de Zalagh et son prolongement vers l'ouest au niveau de Douar Zlifa. A sa droite, l'Oued El Maleh et ces petits affluents de "chaâbats", l'effet L'érosion par régression est un risque majeur, qui menace les constructions et les infrastructures urbaines des agglomérations Nord de Fès (exemple Hay El Hassani, Hay El Wifaq...)(Fejjal A., 1992).

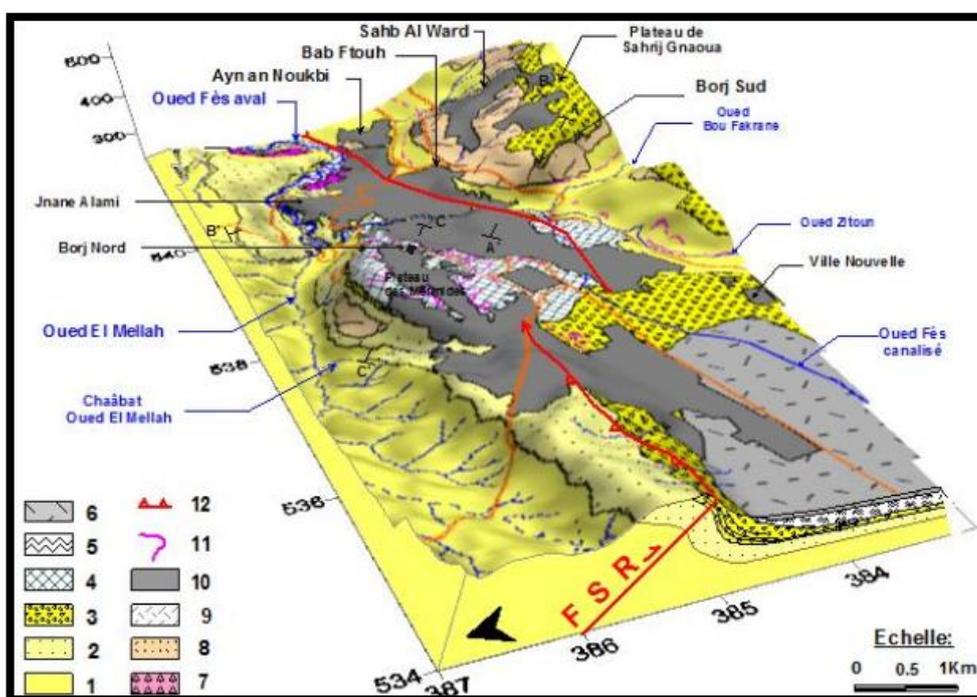


Figure 8: Présentation morphologique et géologique de la partie Nord-Est du domaine urbain de la ville de Fès (Cherai B. et al., 2008)

- 1 : Marnes bleues de Fès, 2 : Marnes sableuses jaunâtre, 3 : Conglomérats polygéniques,
- 4 : Travertin tufeux, 5 : Marnes vertes, 6 : dépôts de la plaine de Fès (Limon et argiles),
- 7 : terrasses de l’oued Fès aval, 8 : dépôts de pentes, 9 : dépôts récents de l’oued Fès,
- 10 : Agglomérations urbaines, 11 : Anciennes Carrières, 12 : flexure liée au front Sud Rifain.

#### **IV. Etude géotechnique de la zone**

##### **1. La carte de zonage géotechnique**

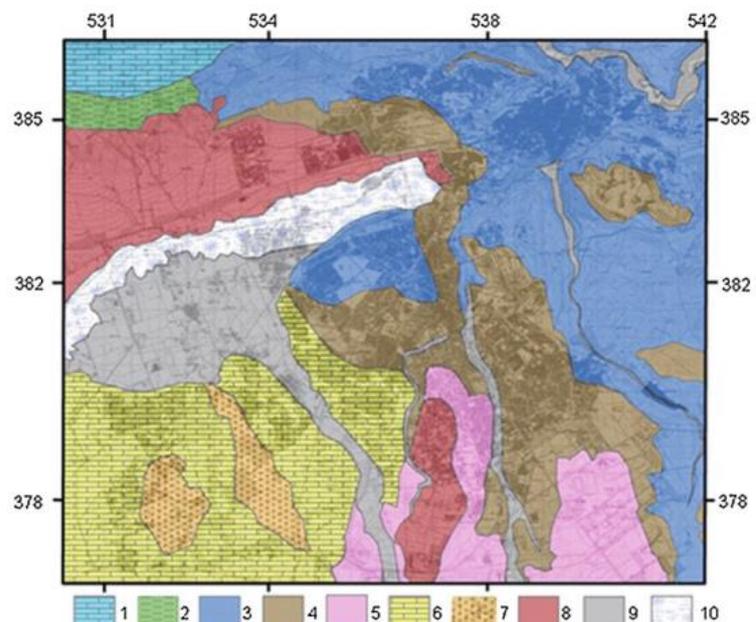
L'établissement de la carte de zonage géotechnique a été basé sur la lithologie du sol de la ville de Fès, comme en témoignent les observations et une technique de modélisation fournies par le logiciel de modélisation de bases de données géologiques (ArcGIS). Cette technique de

modélisation a été calibrée avec les contours géologiques offerts par la carte géologique Fès-Ouest au 1 /100.000 et les caractéristiques géotechniques issues d'essais in situ et en au laboratoire afin de catégoriser les différentes formations lithologiques en « zones géotechniques » selon leurs propriétés physiques, mécaniques et caractéristiques rhéologiques(Boumeshouli et al., 2015).

La carte synthétique montre les différentes zones géotechniques, définies en fonction de leurs conditions géologiques et de leurs caractéristiques géotechniques (Fig. 8). La corrélation des paramètres mentionnés ci-dessus, ont conduit à définir neuf des zones distinctes, caractérisées chacune par les mêmes critères lithologiques et rhéologiques :

1. Zone de calcaire jurassique de Jbel Tghat ;
2. Zone de schistes marneux verdâtres d'âge crétacé ;
3. Zone de marnes bleues et de marnes sableuses jaunes d'âge miocène ;
4. Superficie des conglomérats d'âge plio-quaternaire ;
5. Zone de calcaire lacustre d'âge plio-quaternaire ;
6. Superficie de travertin d'âge plio-quaternaire ;
7. Superficie de tuf et de limons D'âge quaternaire ;
8. Superficie des argiles d'âge quaternaire ;
9. Zone de terrasse alluviale actuelle.

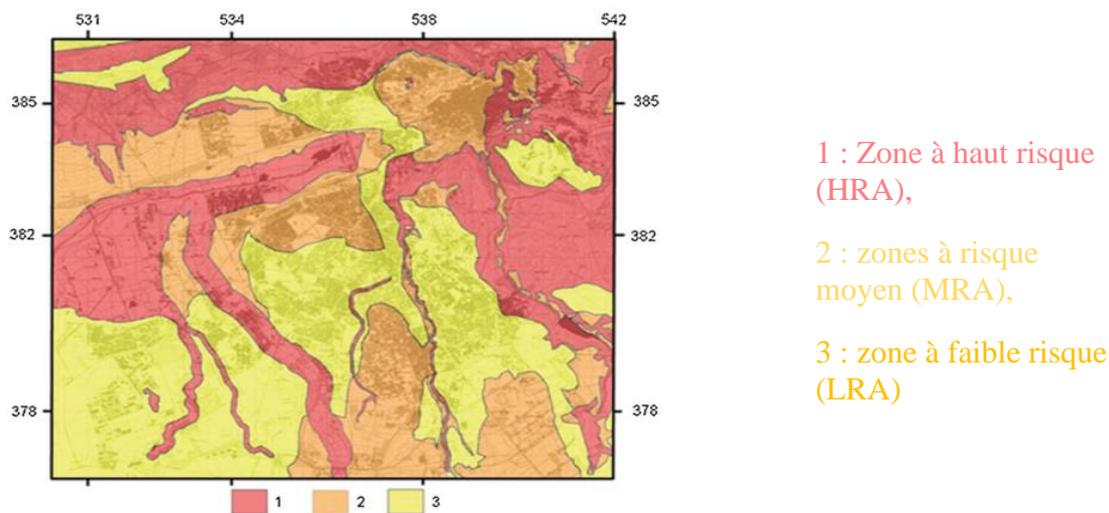
1 area of Jbel Tghat Jurassic limestone, 2 area of greenish marly shales, 3 area of blue marl and yellow sandy marl Miocene in age, 4 area of conglomerates, 5 area of tuff and pink, white, yellow and/or gray silts, 6 area of lacustrine limestone, 7 area of travertine, 8 area of different colors clays (red, brick, brown, and/or black), 9 area of present alluvial terrace, 10 marshy valley area.



*Figure 9: La carte de zonage géotechnique de la ville de Fès (Boumeshouli et al., 2015).*

## 2. Zonage des risques naturels autour de la ville de Fès

Les différentes zones de risques naturels en milieu urbain et périurbain zone de la ville de Fès sont ici synthétisés et nouvellement définis (Fig.9), selon un degré de risque croissant (faible, moyen et élevé). Cette évaluation peut se faire en toute confiance grâce à la classification des zones en combinant différentes techniques de l'analyse multicritère dans l'Arc Gis 9.3 et ses extensions 3DAnalyst et Spatial Analyst. Trois catégories des zones à risques ont donc été identifiées et différenciées (Fig. 9)(Boumeshouli et al., 2015).



*Figure 10: Carte synthétique des trois zones à risques naturels dans la ville de Fès (Boumeshouli et al., 2015).*

## 2.1 Zone à haut risque

Nous avons considéré comme zones à haut risque naturel, les zones instables pentes à fortes pentes, les sols argileux à fort potentiel de changement volumétrique, l'exposition aux intempéries et/ou la forte probabilité de prélèvement d'eau souterraine, le sol boueux et/ou sols sablonneux liquéfiables et plaines inondables des grands fleuves des lits. L'aléa sismique et la trace de la faille active et de la déformation du front rifain, sont actuellement en cours d'évaluation(Ben & Abahrour, 2019b).

## 2.2 Zone à risque moyen

Nous avons classé en zones à risque naturel moyen, l'argile sol à faible pente et fort potentiel de retrait et sols gonflants, sols fins sous-consolidés et compressibles (tuf, limon et argile) avec une forte probabilité d'être mouillé par les eaux souterraines de diverses sources et environnement karstique et des falaises rocheuses et des zones de chutes de pierres des carrières abandonnées (Ben & Abahrour, 2019b).

### 2.3 Zone à faible risque

Nous avons considéré comme zones à faible risque naturel, les sols rocheux ou sols calcaires moyennement rocheux, sol conglomératique et peu sensible aux eaux compactes ou indurées et faible pente et aussi pour le reste de la zone environnante.

L'intersection des zones à risques naturels avec la ville de Fès et le plan d'aménagement est d'un rôle important pour les décideurs urbains. En effet, sur base de ces données, on peut mettre en évidence l'emplacement des zones urbaines actuelles et futures qui ont des degrés de risques naturel, élevé, moyen et faible.

## Chapitre 2 : Les glissements de terrains

### **I. Définition**

**Un glissement de terrain** est un mouvement gravitationnel au cours duquel une partie du matériau (massif rocheux ou sol meuble) se déplaçant vers l'aval le long du plan de glissement. Arbres tordus, penchés ou déchirés, bâtiments, routes ou sentiers fissurés. La déformation est un bon indicateur de l'activité des glissements de terrain.

Le glissement se produit lorsque la force motrice (gravité) dépasse les forces facteurs de stabilité, tels que la résistance au cisaillement et le poids des orverts. Dans un champ pente, qui peut être, par exemple, due à l'eau (fortes pluies et/ou périodes prolongées, fonte des neiges, etc.), des pentes surchargées, ou encore réduit les effets de contrepoids au pied (érosion des cours d'eau ou développement humain)(Jean-Louis Ballais, 2010).

Il faut souligner l'importance du rôle de l'eau dans les glissements de terrain. Sa présence dans le niveau de la surface de glissement semble être un facteur critique dans le processus de glissement. Exister de plus, les sols dont la teneur en humidité dépasse un certain seuil a une cohésion entre les particules qui se voit diminuer, voire s'annuler.

### **II. Les Facteurs génétiques des mouvements de terrains dans le domaine urbain de la ville de Fès :**

#### **1. Facteurs géologiques**

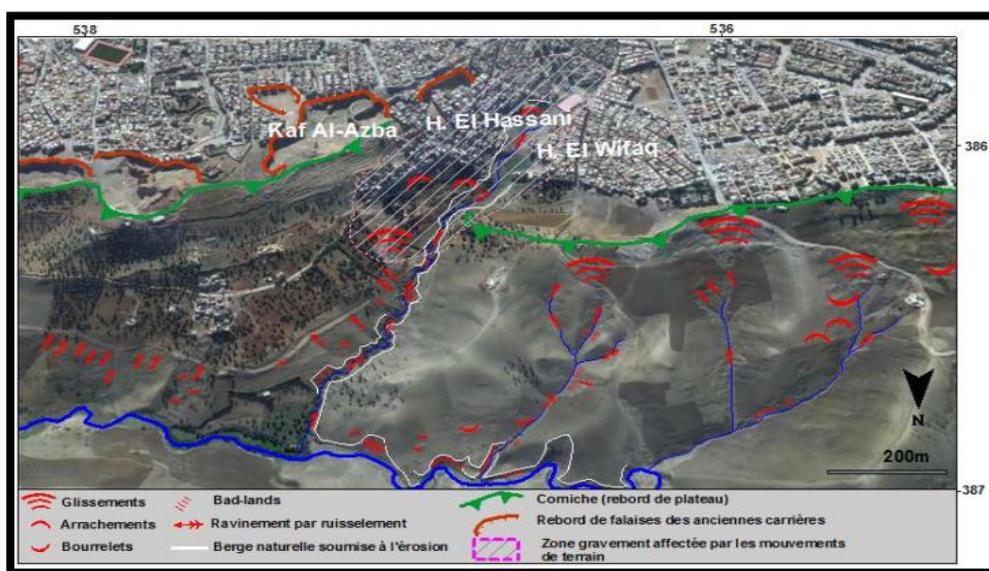
Une grande partie de la ville de Fès est située sur la façade sud du Rif. C'est un ensemble de structures passant par des rampes et des plates-formes. Les crêtes du Tghat et du Zalagh limitent l'aire urbaine au nord, la structure principale qui forme ce front dans le secteur de Fès, et les plus petites structures qui lui sont associées les failles de chevauchement et les plis de pente forment la structure géologique de la ville [7, 9] (voir Fig. 2. (b)). Ces structures expriment l'imbrication des domaines rifains dans le sud du bassin du Saïs(Cherai B. et all, 2008).

La complexité structurale de la région de Fès démontre une activité néotectonique très évidente [13, 14, 15, 16]. L'instabilité foncière affecte les agglomérations urbaines. La bordure nord de la plaine de Fès est en fait la plus urbanisée. Elle est affectée par la flexion, se terminant autour de l'anticlinal, permettant de remonter les conglomérats plio-quatérnaires à la verticale [13, 15, 16, 9]. Ces conglomérats sont adossés à des constructions en travertin de l'ancienne ville de Fès qui a été fondée au 8ème siècle. Ces travertins et murs, Le réseau de fracturation, qui est le résultat de

l'activité sismique, permet la réactivation de failles majeures, ex Sud Rif et ses structures subsidiaires [18, 7, 9, 17]. Activité néotectonique récente confirmée par une série de tremblements de terre dévastateurs qui a affecté la zone proche du front sud Rifain (Cherai B., 2009).

## 2. Facteurs morphologiques

La forme du sol reste un facteur préjudiciable dans les zones nord et nord-est autour de la ville de Fès. Plusieurs zones, qui se sont étendues aux zones extérieures sont des risques posés par la dynamique des pentes instables (Hay El Hassani, Hay El Wifaq, etc.). L'effondrement des falaises de travertin et l'hydrodynamique des cours d'eaux (Jnanates). Les versants nord fortement inclinés du plateau mérinide ont connu une activité d'érosion rétrograde et destructrice bien développée dans les marnes plastiques du Tortonien et les marnes sableuses du Pliocène inférieur. La vulnérabilité du Centre Nord de la ville est associée à la nature lithologique et au relief escarpé. Elle est considérée comme un facteur limitant majeur, conduisant, au développement de plusieurs formes de mouvement de surface. Ces mouvements, sont liés aux processus dynamiques à la surface Pente (déchirure, renflement, glissement, etc.) (Fig. 8).



*Figure 11 : Les formes de risques de mouvements de terrain affectant les terrains marneux, sur lesquels se trouvent les quartiers périphériques de Hay Hassani et Hay El Wifaq dans le versant Nord du plateau des Mérinides au Nord de la ville de Fès. (Google Earth, Image satellitaire du 03/07/2017).*

La dynamique du versant nord du Plateau des Mérinides influencée par les caractéristiques topographiques, lithologiques et climatiques est caractérisée par la survenue de différentes formes de glissements de terrain (glissements de terrain, déchirures, affaissement...). Celles-ci, constituent un risque permanent, menaçant les habitations du haut du plateau, et infrastructures routières dans les zones reculées (Ben Slimane, Hay El Hassani et Hay El Wifaq).

### 3. Facteurs hydriques

L'eau est un facteur déterminant dans les processus de mouvements de terrain, elle est responsable dans beaucoup de cas, du déclenchement des glissements et des mouvements des sous-sols.

Les eaux souterraines sont généralement très limitées dans le nord et le nord-est de la zone urbaine de Fès. Elles vivent en poches sur le plateau Sahrij Gnaoua et mettent bas pendant les périodes. En hiver, des sources à débit limité au contact des marnes bleues sur les pentes de Bab Ftouh. Les injections sous-cutanées provoquées par celles-ci, sont responsables de l'instabilité et du mouvement du sous-sol, en construction de logements et infrastructures routières du secteur (R. N°1)(Cherai et al., 2017).

Sur le versant nord du plateau des Mérinides, en aval de Hay El Hassani, la marne sableuse a récupéré l'eau et entre en contact avec la marne bleue sous la forme d'une petite source, entraînant un mouvement du sol et dissolution massive (Figure 4).

La zone nord de la ville de Fès est caractérisée par la marne et est affectée par la pluie Erosion intense sous forme d'averses, formant ainsi des formes dans les friches. Oued El Maleh est la principale sortie d'eaux usées dans la zone nord de Fès (Hay El Wifak, Hay El Hassani...). Son écoulement permanent crée une dynamique de part et d'autre de la vallée, créant une instabilité structurale géologique, principalement formée de marnes bleues et de marnes sableuses du Pliocène. En hiver, le processus est exacerbé par l'augmentation du débit d'eau dans la vallée. L'écoulement sous-cutané altéré dans les sédiments de marne et de pente contribue largement à la formation des formes de cicatrices dissoutes et déchirées(Cherai et al., 2017).



*Figure 12: Photo illustrant les formes de mouvement de terrain en solifluxion affectant les marnes sableuses dans le versant nord du plateau des Mérinides au nord de Fès.*

#### **4. Facteurs anthropiques**

Depuis quatre ans, la périphérie de la ville de Fès, connu une expansion rapide dans la marginalisation, constituant à cause des problèmes de gestion urbaine, manque d'équipements et d'infrastructures de base, y compris l'assainissement et l'eau potable.

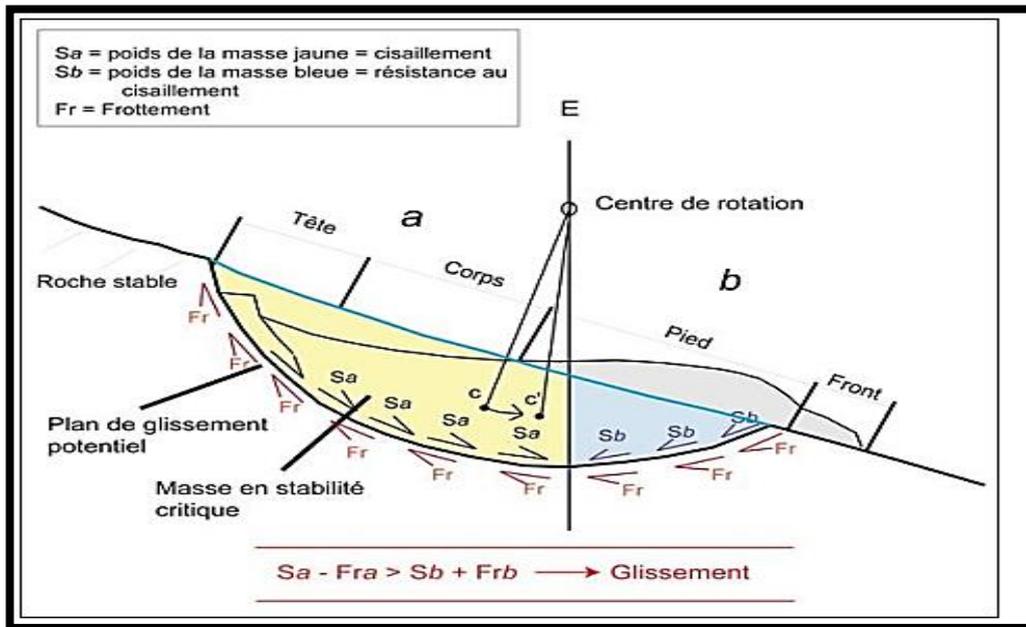
Cette situation favorise la mise en place de méthodes anarchistes de traitement des eaux usées, à travers les fosses septiques ou ruissellement de surface. Infiltration partielle de ces eaux dans les sols marneux généraux. Ainsi, les propriétés mécaniques de ces argiles dans le sol et le sous-sol peuvent être modifiées après saturation et provoquent des fissures dans la structure au-dessus. Plusieurs formes de glissements de terrain se déclenchent sous l'effet de ces rénovations et des maisons se sont effondrées.

### **III. Les types de glissement**

#### **1. Glissement rotationnel**

La géométrie classique du glissement rotationnel est représentée sur la figure 12. La surface de glissement est ronde et concave. Caractéristiques de la zone de lancement coulissante en raison de l'interruption brutale de la pente (démarrage d'une falaise) et de la présence de fissures et peut avoir une morphologie étagée (avec un ou plusieurs compartiments). Dans la partie aval, on retrouve une morphologie perlée : le pied de l'éboulement. La masse terrestre en déclin est soumise à des contraintes de compression et à des dommages importants. Lorsque la teneur en eau est élevée, les limites de liquidité peuvent être atteintes très rapidement et se voient Les glissements de terrain évoluent en coulées de débris (J. Gertite, 2015).

Les glissements de terrain rotatifs varient en taille de quelques mètres à quelques kilomètres Long, de quelques décimètres à des dizaines de mètres voire des centaines de mètres d'épaisseur. En effet, les glissements de terrain en rotation peuvent affecter des sous-sols individuels ou des pentes entières. Un petit glissement de surface peut être très rapide (m/s) mais se produit dans pendant une très courte période de temps. En revanche, les glissements les plus importants sont généralement très lents (cm/an - mètres/an), mais en temps de crise ils peuvent atteindre des vitesses de plusieurs mètres par jour. Exister De plus, leurs activités se sont poursuivies pendant plusieurs années(Jawad Gertite, 2015).



Le poids du corps du glissement ( $S_b$ ) et le frottement ( $Fr$ ) s'opposent à la mise en mouvement (forces stabilisatrices) tandis que le poids de la tête ( $S_a$ ) exerce une action motrice. **Si  $S_a - F_{ra} > S_b + F_{rb}$  alors, il y a glissement**, sinon la masse est stable. Les infiltrations d'eau (pluie, fonte des neiges) ont un effet négatif sur la cohésion du terrain et contribuent à accentuer l'activité du glissement.

*Figure 13: Coupe schématique d'un glissement rotationnel et distribution des forces (Jawad Gertite, 2015)*

## 2. Glissement plan

Dans le cas d'un glissement plan ou translationnel, la surface de glissement est plane. Des couches ou un groupe de couches de terrain se déplacent le long de la couche faible ou discontinuité lithologique ou structurale. Niveau de marne ou d'argile est un exemple courant de couche plus faible. Une morphologie en dip-slope (quand l'inclinaison de la couche est très proche de l'inclinaison de la pente) est également bénéfique. Apparition d'un glissement d'avion. Par rapport au glissement rotatif, lorsque le poids de la masse instable surmonte le frottement. Il y a glissement si  $S_a - F_{ra} > 0$ , sinon la masse est stable. Les surfaces touchées par les glissements de terrain peuvent s'étendre sur plusieurs kilomètres carrés. Le glissement à plat peut être très rapide (instantané). Faites attention à ce type de mouvement gravitationnel se produisant généralement dans le flysch et le schiste marneux (Jawad Gertite, 2015).

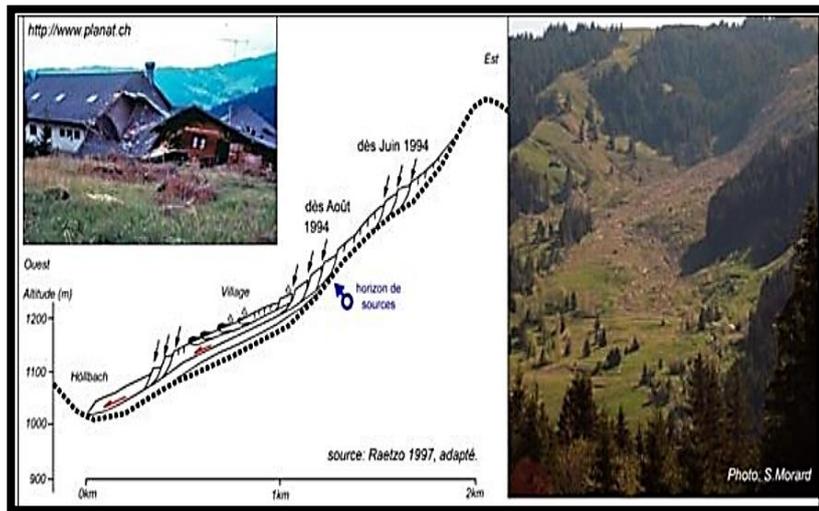


Figure 14: Le glissement plan. (Jawad Gertite, 2015)

### 3. Tassement de versant

Le tassement est l'enfoncement d'un matériau relativement rigide dans un encaissant plus tendre. Les colonies peuvent évoluer vers des glissements de terrain (brutal), que ce soit sur des glissements de terrain (lentement), ou sur des basculements et enfoncement. La vitesse est généralement lente (mm/an à décimètre/an). Ses dimensions vont des blocs aux versants entiers. Ainsi, par exemple, dans la vallée alpine, les implantations sur les pentes sont fréquentes. Suite au retrait des grands glaciers à la fin de la dernière grande glaciation, les versants des vallées alpines qui s'appuyaient sur ces masses de glace se sont trouvés profondément déstabilisés. Suite à cette décompression, de nombreux versants se sont tassés dans les Alpes sous l'effet de la gravité.

### 4. Coulées de boue (ou coulées boueuses)

Se déclenchent en pleine pente, sans existence préalable d'un chenal. Elles se produisent souvent suite à un glissement de terrain, à partir du matériel glissé que des apports d'eau (pluie, fonte de neige) peuvent avoir détrempés jusqu'à que soit atteinte la limite de liquidité (Jawad Gertite, 2015) (Fig.14).



Figure 15: Glissement rotationnel rapide évoluant en coulée boueuse

## *Le cas de la route Jnane el Ouard*

### **I. Représentation de la zone**

La zone de la route jnane el ouard est située au nord-est de la ville de Fès. Il est perché sur un terrain escarpé surplombant la médina de Fès. Il forme un prolongement naturel de la ville. Cette zone est limitée au nord par la frontière depuis le plateau du conglomerat, via la route nationale 1, et la zone se raccorde au niveau de Bab Ftouh.

Une autre caractéristique de la région est l'expansion rapide de l'anarchie des habitats incontrôlés. Ce que nous avons trouvé dans cette partie de la ville, ce sont des lacérations et glissements de terrain actifs affectant les infrastructures routières (R. n°32) et ferroviaires, ainsi que les monuments et le site du haut de la pente du conglomerat.

La sortie de terrain que nous avons fait a permis de déterminer le sens de glissement et leur volume probable et que le glissement est né grâce au phénomène de précipitation par la succession des périodes de précipitation suivie par les périodes sèches sans aucune relation avec le phénomène anthropique (Fig. 15).



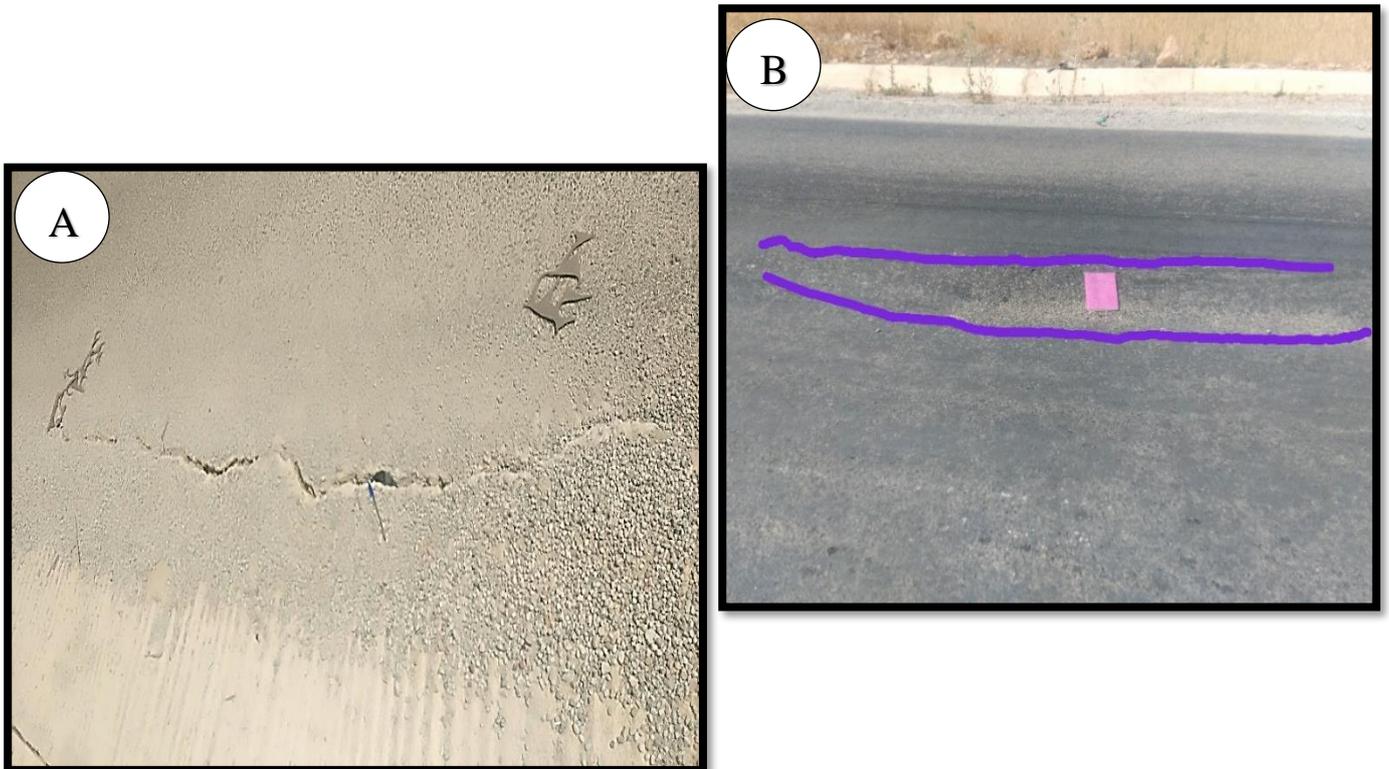
*Figure 16: Les traces du glissement la région de jnane el ouard(coord. 34.055988, -4.955770).*

Dans un autre cas nous avons aussi déterminé un autre type de glissement qui a induit par les travaux routiers et qui a affecté la même formation mais, avec un faible paroxysme (déplacement de quelques cm à m avec une masse moins importante que l'initial). Ces travaux routiers ont résulté un changement total sur la morphologie de la surface, puisque la région a été transformée d'un relief plat à une pente très forte (Fig. 17).



*Figure 17: La situation de la route et son effet sur le glissement (ROUTE JANANE EL OUARD).*

Le glissement de terrain de cette zone a un effet direct sur l'infrastructure routière du type tassement versant (Fig. 18). Il cause des fissures (A) ou des renflements dans une pente(B).



*Figure 18: Effet du glissement du terrain sur l'infrastructure sur la route jnane el ouard*

## **II. Détermination des limites de l'atterberg**

### **1. Définition et but de l'essai**

La consistance d'un sol peut varier dans de larges limites avec :

- La quantité d'eau interstitielle que contiennent ses pores.
- L'épaisseur des couches d'eau absorbée qui enrobent ses grains.

Les limites d'Atterberg sont des constantes physiques conventionnelles qui marquent les seuils entre :

- Le passage d'un sol de l'état liquide à l'état plastique (limite de liquidité :  $w_L$ )
- Le passage d'un sol de l'état plastique à l'état solide (limite de plasticité :  $w_P$ ).

Ces limites ont pour valeur la teneur en eau du sol à l'état de transition considéré, exprimée en pourcentage du poids du matériau sec.

La différence  $I_P = w_L - w_P$  qui définit l'étendue du domaine plastique, est particulièrement importante, c'est l'indice de plasticité.

### **2. Principe de la méthode**

L'essai s'effectue en deux étapes :

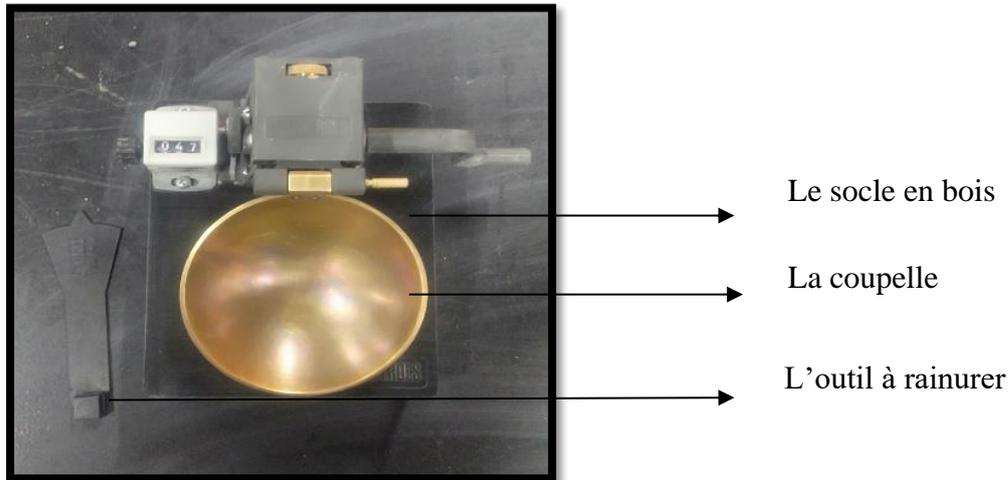
- Recherche de la limite de liquidité à l'aide de l'appareil de Casagrande
- Recherche de la limite de plasticité par formation de rouleaux de 3mm de diamètre

### **3. Appareillage**

#### 3.1 Appareillage spécifique

Appareil de Casagrande : le matériel couramment utilisé en France se compose :

- D'un socle en bois bakéliné monté sur quatre pieds en caoutchouc,
- D'un support métallique portant la coupelle en laiton chromé et la manivelle actionnant la came qui soulève la coupelle de 10mm au-dessus du socle (Fig.19).



*Figure 19: L'appareil de Casagrande.*

### 3.2 Appareillage d'usage courant

- Spatule, truelle et un marbre pour le malaxage du mortier ;
- Une pissette ;
- Verres du montre tares ou flacons tares à couvercle étanche ;
- Une valence de précision de préférence automatique ;
- Une étuve avec thermostat permettant de la régler à 105°C.

## 4. Préparation de l'échantillon

1- Prendre un échantillon de marne bleu et le mettre à imbiber dans un récipient plein d'eau pendant presque 12 heures.

2- L'eau claire surnageant est siphonnée en prenant garde de ne pas entrainer de particules solides fines. L'eau excédentaire étant évaporée à l'étuve à 50°C jusqu'à obtenir un mortier mou.

## 5. Exécution des essais et calculs

### 5.1- limite de liquidité ( $W_L$ )

#### ➤ Préparation de la pâte :

On s'efforcera de recueillir le mortier a une teneur en eau élevé pour pouvoir débiter l'essai de limite de liquidité. Si le matériau est humide, mais trop consistant, on peut rajouter de l'eau. Si le matériau est totalement sec, il faut le laisser imbiber pendant 12 heures au minimum.

Pour obtenir une pâte bien homogène et presque fluide, on malaxe vigoureusement la totalité de mortier à l'aide de la truelle (Fig.20).



*Figure 20: Préparation de la pâte de marne bleu*

➤ **Réalisation de l'essai :**

Répartir avec la spatule, dans la coupelle propre et sèche, une masse d'environ 7 g de pâte. Cette pâte étalée en plusieurs couches afin d'éviter d'emprisonner des bulles d'air, présente à la fin de l'opération un aspect symétrique.

La pâte recouvre le fond de la coupelle, sauf sur une partie d'environ 3cm et son épaisseur est au centre, de l'ordre de 15 à 20mm.

- On partage la pâte en deux, comme représenté sur la figure 21, au moyen de l'outil à rainurer, en le tenant perpendiculairement à la surface de la coupelle et en présentant sa partie biseautée face à la direction du mouvement.
- On fixe délicatement la coupelle sur le support métallique de l'appareil de Casagrande.
- Actionner la came de façon à soumettre la coupelle à une série de chocs à la cadence de 2 coups par seconde.
- On note le nombre N de chocs nécessaires pour que les lèvres de la rainure se rejoignent sur une longueur d'environ 1cm comme représenté sur la figure 21.



*Figure 21: Réalisation de la rainure.*

➤ **Méthode de détermination de  $W_L$**

La limite de liquidité est déterminée à partir de la représentation graphique de la teneur en eau  $W$ , mesurée à chaque essai, en fonction du logarithme du nombre des coups correspondant. La limite de liquidité est la teneur en eau lue sur le graphique pour  $N = 25$  coups. Elle s'exprime en pourcentage arrondi au nombre entier le plus proche.

5.2- limite de plasticité ( $W_P$ )

➤ **Réalisation de l'essai**

La mesure de limite de plasticité se faisant après celle de la limite de liquidité, on a souvent un échantillon trop humide qu'on dessèche en le malaxant et en l'étalant sur le marbre. On peut accélérer le séchage au moyen d'un ventilateur en malaxant constamment afin d'éviter la formation d'une pellicule sèche.

On forme une boulette de l'échantillon et, à l'aide d'une plaque ou à la main, on roule l'échantillon sur le marbre de façon à former un rouleau qu'on amincit progressivement jusqu'à ce qu'il ait atteint 3 mm de diamètre (Fig. 23).



*Figure 22: Limite de plasticité*

## ➤ Calculs

Les deux verres contenant les rouleaux sont pesés par une balance de précision avant et après leur passage à l'étuve. Chaque teneur en eau ainsi déterminée est donnée avec une décimale. Après avoir fait la moyenne de ces résultats on arrondit le chiffre obtenu à l'unité la plus voisine.

## 6. Présentation des résultats

Les résultats sont présentés sous forme du tableau suivant :

Tableau 2: Résultats des limites de l'atterberg

date: 14/06/2022 opérateur:	limite de liquidité								limite de plasticité							
	1er essai				2eme essai				1er essai				2eme essai			
nombre de coups	12	16	22	56	13	21	27	47	—————				—————			
Num. de la tare	10	11	12	13	20	21	22	23	30	31	32	33	40	41	42	43
poids total humide(g)	17,575	14,350	12,155	13,482	12,247	13,961	15,263	16,522	3,756	2,524	2,044	3,606	2,553	4,033	3,096	3,292
poids total sec(g)	12,202	10,105	8,704	10,098	8,617	10,06	10,828	12,026	3,124	2,157	1,762	2,991	2,156	3,378	2,618	2,991
poids de la tare(g)	0,651	0,626	0,626	0,617	0,628	0,657	0,653	0,653	0,655	0,633	0,625	0,622	0,628	0,627	0,62	0,656
poids de l'eau(g)	5,373	4,245	3,451	3,384	3,63	3,901	4,435	4,496	0,632	0,367	0,282	0,615	0,397	0,655	0,478	0,301
poids du sol sec(g)	11,551	9,479	8,078	9,481	7,989	9,403	10,175	11,373	2,469	1,524	1,137	2,369	1,528	2,751	1,998	2,335
teneur en eau %	47%	45%	43%	36%	45%	41%	44%	40%	26%	24%	25%	26%	26%	24%	24%	13%
moyenne	42%				43%				25%				22%			

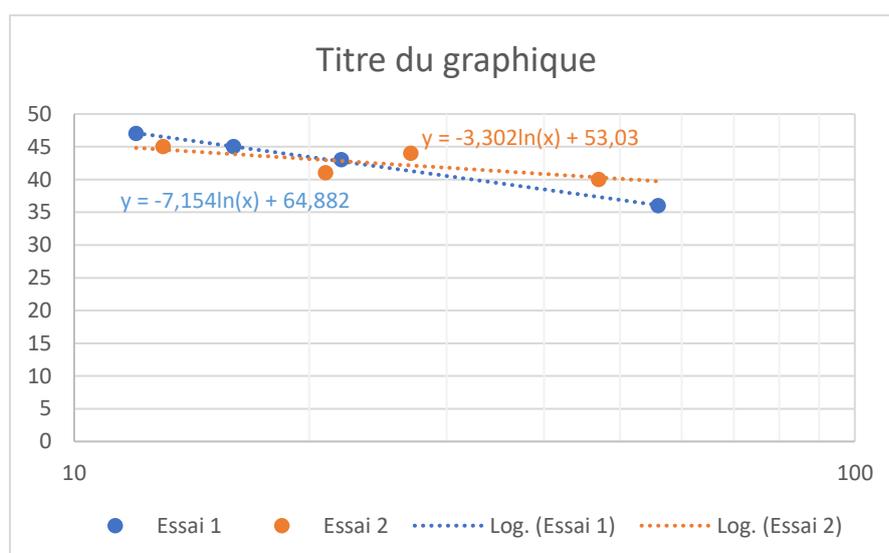


Figure 23: Graphique de la limite de liquidité d'après les deux essais

La teneur en eau lue sur le graphique pour N=25 est 42%. Donc la limite de liquidité entre les deux essais est d'environ 42%.

➤ **Calcul de l'indice de plasticité**

Indice de plasticité  $I_p$  : Il définit la teneur en eau du sol dans son état plastique, on l'obtient en retranchant la limite de plasticité de la limite de liquidité :  $I_p = W_L - W_P$  ;

On a une limite de plasticité de  $W_P = 25\%$  ;

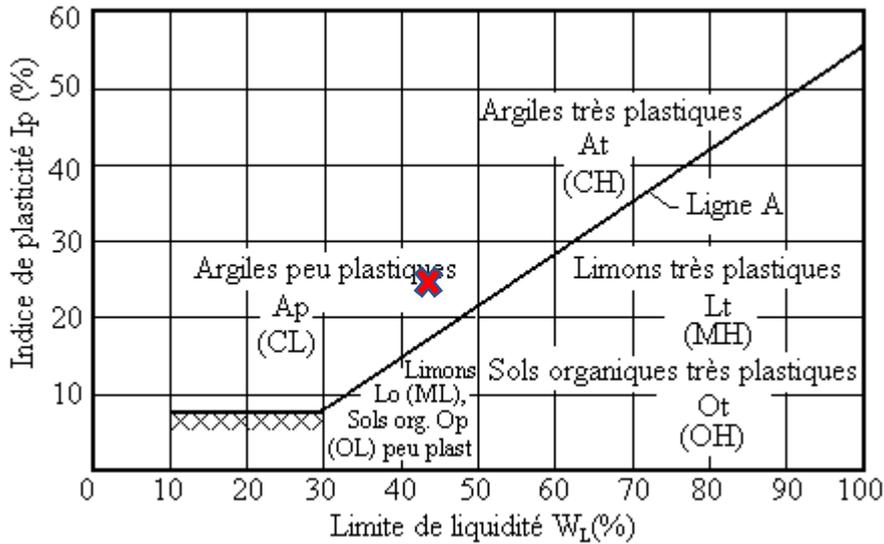


Figure 24: Diagramme de Casagrande pour la classification des sols fins

Donc d'après le diagramme de Casagrande on peut classer le sol étudié dans **les argiles peu plastiques** (Fig.24).

Conclusion :

Les limites d'Atterberg jouent un rôle considérable dans le comportement des sols. On a présenté dans cette partie des corrélations entre les limites d'Atterberg et des propriétés caractérisant le matériau étudié (les marnes). L'approche permettrait de faire des prévisions du comportement du sol fins juste à partir des paramètres physiques faciles à mesurer en l'occurrence la limite de liquidité et la limite de plasticité.

**III. La calcimétrie de Bernard**

La calcimétrie est la mesure de la teneur en carbonate (% de  $CaCO_3$ ) contenue dans une roche. Le principe en est de traiter l'échantillon (sec et broyé) par l'acide chlorhydrique à froid qui dissout les carbonates.

La teneur en carbonate se déduit du volume de gaz carbonique  $CO_2$  dégagé suivant la réaction :



## 1. Le mode opératoire

- Peser l'échantillon sec et broyé (deux échantillons dans ce cas : les marnes bleues et les marnes jaunes) ;
- le verser dans un erlenmeyer de 100 cm<sup>3</sup> propre et sec (Fig.25) ;
- introduire, avec précaution à l'aide d'une pince, un tube rempli d'acide chlorhydrique à 30% dans l'erlenmeyer ;
- boucher l'erlenmeyer avec le bouchon relié au tube gradué.
- abaisser plus ou moins l'ampoule jusqu'à ce que le liquide (l'eau salée glycinée) y affleure au même niveau que dans le tube gradué vertical du calcimètre, et noter la graduation sur ce tube, soit **d1** ;
- incliner l'erlenmeyer de façon que l'acide contenu dans le petit tube se répand sur la roche. Agiter l'erlenmeyer durant 2 à 3 minutes ;
- l'effervescence se produit, le CO<sub>2</sub> se dégage et fait baisser le niveau dans le tube gradué (Fig.25) ;
- quand le niveau se stabilise, on baisse l'ampoule jusqu'à ce que le niveau de son liquide soit le même que dans le tube gradué. Lire alors la nouvelle graduation, soit **d2**

Le volume de CO<sub>2</sub> dégagé est **V = d2 - d1**

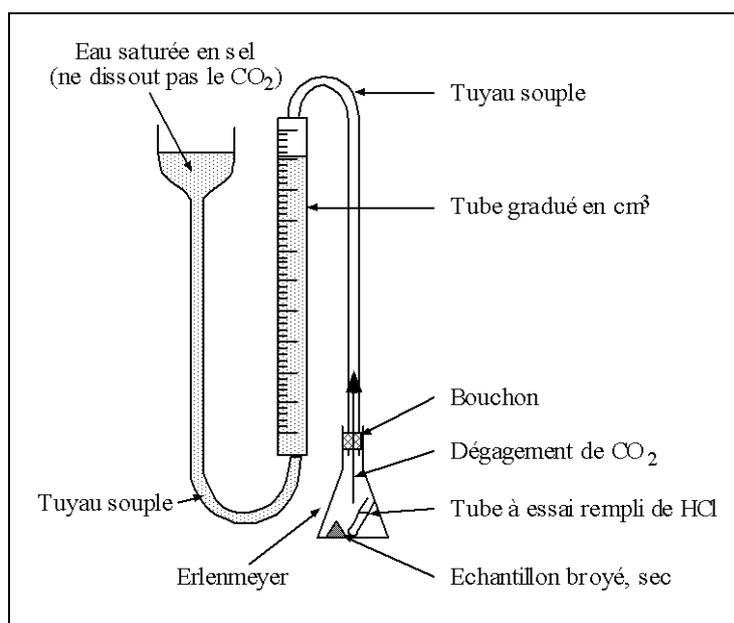


Figure 25: Calcimètre de Bernard

**Remarque** : Il est intéressant d'estimer, avant la manipulation, par un essai préalable la teneur en calcaire (un petit fragment de la roche + 2 ou 3 gouttes d'HC1).

## 2. Calculs

1ère opération : étalonnage par le carbonate de calcium pur et anhydre.

On prend 0,3 g de CaCO<sub>3</sub> pur qui fournit V<sub>1</sub> de CO<sub>2</sub>.

2ème opération : On prend x. g de l'échantillon à étudier qui fournit V<sub>2</sub> de CO<sub>2</sub>.

Le poids de CaCO<sub>3</sub> contenu dans l'échantillon est :  $y = \frac{0,3g \cdot V_2}{V_1}$  (Tab.3).

*Tableau 3: Les résultats de la calcimétrie*

Echantillons	V1	V2	Moyenne de v1	Moyenne de V2	VCO <sub>2</sub>	% CaCO <sub>3</sub>
MJ	9,5	21,5	9,5	22,5	13	20,21
	9,5	23				
	9,5	23				
MB	10	26	10	25,83	15,83	24,61
	10	25,5				
	10	26				
Calcite pure	7,5	76,5	9,17	73,5	64,33	100
	10	72				
	10	72				

Donc 100g de **marne jaune** contiennent 20g de CaCO<sub>3</sub>, donc cet échantillon contient **20%** de CaCO<sub>3</sub> et pour l'échantillon de **marne bleu**, il contient **24%** de CaCO<sub>3</sub>.

## *Conclusion*

Le contexte physique de l'aire d'étude montre une grande susceptibilité aux aléas des glissements de terrain. En effet, le contexte géologique de cet espace fait partie du domaine des nappes de charriage signifiant que la zone est instable sur le plan tectonique. Sur le plan lithologique, le site de la partie nord de Fès est dominé par des collines marneuses d'âge Miocène. Ces collines aux roches friables sont disséquées par des ravins et des oueds souvent intermittents mais très actifs sur le plan hydrogéomorphologique, notamment lors des intenses précipitations. Les effets de ce réseau hydrographiques sont le creusement et l'approfondissement des lits et le sapement des berges qui déstabilisent les versants sur lesquels s'étend la zone. Encore, la succession d'un régime de pluies avec des périodes sèches et chaudes et d'autres humides cause la fissuration du sol en raison du gonflement et retrait. Ainsi, la désagrégation mécanique et chimique du sol altère sa partie supérieure et évolue progressivement en profondeur. Ce phénomène est confirmé par les résultats des essais, de laboratoire.

Le degré d'altération élevé dans la partie supérieure du sol permet l'infiltration des eaux de pluie ainsi que les eaux usées des habitations qui ne disposent pas de réseau d'assainissement. Ces eaux infiltrées arrivent jusqu'à la marne compacte profonde et s'accumulent à ce niveau. Il s'ajoute à l'effet de la pente, la force verticale développée par le poids de la zone altérée qui devient supérieure à la résistance au cisaillement du sol. Ces conditions créent la rupture et engendrent un glissement de terrain. Cette surface de rupture a pu être localisée grâce aux mesures pressiométriques réalisées sur le chantier.

## *Recommandation*

La meilleure mesure pour ne pas s'exposer aux glissements de terrain reste la construction loin de la zone menacée par ce genre de risque. C'est pourquoi, une étude et une carte d'aptitude à l'urbanisation sont sollicitées. Bien que, les mesures de protection des infrastructures menacées sont également indispensables pour réduire le risque et les dégâts. Les mesures techniques concernant la lutte contre les glissements du terrain reposent sur les travaux de stabilisation des glissements du terrain qui changent selon le site et le coût de l'intervention. Ces travaux sont classés en 3 catégories différentes :

1. Les travaux de terrassement ;
2. Les travaux de drainage des eaux ;
3. Les travaux de génie civil.

Il s'agit, dans ce cas, de faire un résumé très court de ces travaux communément utilisés partout dans le monde :

1. Les travaux de terrassement : ils comportent toutes les modifications de la topographie créée par le glissement en question. Ils ajustent la topographie créée par le glissement pour rétablir l'équilibre. Il s'agit essentiellement d'alléger le poids en dégageant les parties sommitales et l'atténuation de la pente.

2. Les travaux de drainage des eaux : nous avons vu que l'eau est un facteur décisif dans la dynamique des glissements de terrain, par l'amplification des facteurs moteurs d'instabilité. C'est pourquoi les travaux de drainages des eaux de surface et de sol et sous-sol sont nécessaires. Il est donc nécessaire d'évacuer ces eaux (de surface et profondes) afin de conserver le seuil de sécurité et de stabilité des talus.

3. Les travaux de génie civil : désignent tous les travaux qui ont pour but de stopper ou diminuer le risque du glissement, tels les enrochements, les ouvrages de soutènement et ancrages etc., qui ont pour but de s'opposer au poids de la masse instable et de renforcer les résistances du sol à la rupture.

## Les références

1. Ait Brahim L. et Chotin, P. (1983). Mise en évidence d'un épisode compressif dans les calcaires plio-quadernaires du bassin de Saïss, Rif, Maroc. *C. R. Acad. Sci. Paris.*, 1333–1336.
2. Bargach K., C. A., G.-Z. J., R. P., A. M., J. A., A. M., S. D. G. C., C. A., & B. M. (2003). *Détermination de paléocontraintes à partir des galets striés des formations conglomératiques plio-quadernaires au front de la chaîne du Rif (Maroc) : la Ride de Trhat. Notes et Mémoires du Service Géologique, Maroc ; 452 : 99-108.*
3. Ben, S. M., & Abahrour, M. (2019). *Comparasion PAP/CAR et USEL View project Erosion hydrique View project Abdellatif Tribak.* 258 ; 253-254
4. Ben, S. M., & Abahrour, M. (2019). *Comparasion PAP/CAR et USEL View project Erosion hydrique View project Abdellatif Tribak.* Papeles de Geografía, 66 (2020), 138-150
5. Bouamama Cherai, Bouhsine El Fellah Idrissi, Mohammed Charroud et Hasnae EL Hnot. *Les mouvements de terrain dans le secteur urbain de la ville de fès (maroc) : facteurs de genèse et cartographie des zones à risques. American Journal of Innovative Research and Applied Sciences.* 2017 ; 5(6) : 405-414
6. Boumeshouli, S. M. el, Lahrach, A., Chaouni, A. A., & Deffontaines, B. (2015). Geotechnical study of urban soil and subsoil 148 of fez city (N. morocco) and natural risk Mapping using geographic information system (gis). In *Engineering Geology for Society and Territory - Volume 5 : Urban Geology, Sustainable Planning and Landscape Exploitation* (pp. 668–763). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-09048-1\\_148](https://doi.org/10.1007/978-3-319-09048-1_148)
7. Chalouan A., G. A. J., G.-Z. J., A. M. F., R. P., L. M. C., R.-A. A. M., B. M., R. F. (2014). Active faulting in the frontal Rif Cordillera (Fez région, Morocco): constraints from GPS data, *Journal of Geodynamics. Journal of Geodynamics*
8. Cherai B. Charroud M., L. A., et B. J. (2008). Influence de la tectonique compressive et des mouvements verticaux d'origine mantellique sur l'évolution géomorphologique quadernaire du Saïs entre le Rif et le Moyen atlas (Maroc). *Actes 4RQM, Oujda*, 171–181.
9. Cherai, B., Mohammed, C., Hnot, H. el, El, B., Idrissi, F., Charroud, M., Hasnae, |, & Hnot, E. (2017). Regards sur le patrimoine culturel et naturel du Moyen Atlas View project éducation à l'environnement View project. In *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences.* [www.american-jiras.com](http://www.american-jiras.com)
10. Jean-Louis Ballais. (2010). « *Mouvements de terrain et risques environnementaux dans l'agglomération de Fès et son arrière-pays : aménagement, gestion et prévention, Abdelghani GARTET, 2010* » (édité par le Secrétariat d'État auprès du Ministre de l'Énergie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, chargé de l'Eau et de l'Environnement, Rabat, Maroc, 232 p.
11. Fejjal A. (1992). *Fès, héritages et dynamiques urbaines actuelles. Thèse de doctorat d'État, Laboratoire URBAMA, Université de Tours.*

