



Département Science de la terre

Laboratoire public d'essai et d'étude

***Licence Sciences et techniques***  
**Géologie Appliqué aux Ressources**  
**Minières**  
**LST G.A.R.M**

*Mémoire de fin d'étude*

***Caractéristiques géotechniques des  
sols gonflants de la région de Safi***

- **Réalisé par** : Meriem ANECHADE  
Mouna EJLAIDI
  
- **Encadrant** : Mr. L. DAUDI (FSTG).
  
- **Parrain du stage:** Mr. L.BAILLA (LPEE).
  
- **Jury** : Mr. B. IGMOULAN

**Soutenu** : le 24 juin 2014

# Sommaire

---

Remerciements.....	3
Introduction générale.....	4
Chapitre I) : Présentation générale.....	5
I-1) Présentation du laboratoire public d'essais et d'étude.....	6
I-2) Les sols gonflants au Maroc.....	7
I-2-1) Localisation du sol gonflant.....	7
I-2-2) Classification selon les caractéristiques géotechniques.....	8
I-2-3) Structure du sol gonflant.....	8
I-2-4) Les sols gonflant lors de l'humidification.....	9
Chapitre II) Domaine d'étude .....	11
II-1) Présentation de la zone d'étude.....	12
II-2) Localisation de la zone d'étude .....	12
II-3) Cadre géologique de la zone d'étude.....	13
II-4) Cadre climatique de la zone d'étude.....	13
II-5) Cadre pédologique de la zone d'étude.....	15
II-6) Cadre hydrogéologique de la zone d'étude.....	16
II-7) Couverture végétal dans la zone d'étude.....	17
Chapitre III) Méthodes d'études.....	19
III-1) Méthodes mécaniques.....	20
III-1-1) Analyse granulométrique.....	20
III-1-2) Limites d'ATTERBERG au pénétromètre à cône.....	21
III-1-3) Essai Proctor.....	22
III-1-4) La masse volumique des sols fins.....	23
III-1-5) Essai cisaillement.....	23
III-1-6) Essai à l'eodomètre.....	24
III-2) Méthodes chimiques.....	25

III-2-1) CaCo <sub>3</sub> .....	25
III-2-2) Essai VBS.....	26
Chapitre IV) Résultats obtenus .....	27
IV-1) Introduction.....	28
IV-2) Localisation des coupes géologiques.....	29
IV-3) Etablissement des coupes géologiques.....	30
IV-4) Essais réalisés sur l'échantillon 1.....	36
IV-5) Essais réalisés sur l'échantillon 2.....	42
IV-6) Essais réalisés sur l'échantillon 3.....	44
Chapitre V) Interprétations et discussions.....	46
V-1) Classification des sols de la zone de Safi.....	47
V-2) Identification des sols gonflants de la zone de Safi.....	48
V-3) Discussion générale.....	50
Conclusion.....	52
Références bibliographiques.....	53
Liste des figures.....	54
Liste des tableaux.....	55
Notations.....	56
Annexes.....	57

## ***Remerciement***

---

C'est un devoir agréable d'exprimer nos gratitudee et remerciements à tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à la réalisation de notre étude.

Nos premiers et sincères remerciements vont tout d'abord au Monsieur **IGMOULAN**; chef du département de géologie à l'FSTG et Monsieur **SAIDI.A** ; responsable de la filière GARM.

L'expression de nos sentiments les plus respectueux vont, également, à Monsieur **L. DAOUDI**, notre encadrant interne, pour son soutien, pour son aide, pour ses orientations et pour sa patient et à Monsieur **L.BAILLA** ; notre parrain du stage.

Nous tenons compte à être reconnaissants à tous les professeurs du département science de la terre de la faculté des sciences technique de Marrakech et spécialement à Mr. **IGMOULAN** de bien vouloir juger notre travail.

Nous remercions profondément Messieurs **BAHIJ** ; le directeur de laboratoire régional de Safi ; d'avoir accepté de nous donner l'occasion de passer notre stage et **A.BNHABABA** le responsable de laboratoire d'essais, pour son soutien.

Nos remerciements à **Mr. ELKHIARI** ; l'ingénieur responsable au sein de laboratoire régional de Safi, pour son aide et son encouragement.

Nous tenons, également, à remercier tous les **techniciens** du laboratoire pour les informations qu'ils nous ont données.

Enfin une salutation chaleureuse **aux ouvriers** du laboratoire.

Nous espérons que ce travail sera au niveau des attentes.

# Introduction générale

---

Afin d'améliorer et d'appliquer les connaissances fondamentales et théoriques acquises lors de trois années d'étude, dont la spécialité est la géologie appliqué aux ressources minières, nous avons réalisé un stage de fin d'étude au sein du laboratoire public d'essais et d'études.

Ce stage nous a permis, également, d'améliorer nos connaissances pratiques.

La présence des sols gonflants, dans la zone urbaine de Safi engendre des problèmes au niveau du domaine des fondations, et donc l'étude réalisée au niveau de ce stage à pour but de répondre à ce problématique de gonflement et de proposer des solutions efficaces pour résoudre le problème des contraintes de gonflement.

Dans la région de Safi, semi humide, la plupart des sols gonflants sont des argiles ou marnes. Par ailleurs une grande partie de superficie de la ville de Safi est constituée de terrains de l'Hauterivien inférieur composés d'argiles et de marnes instables reconnu par argiles et marnes de Safi, Ceci pose des problèmes de stabilité dans le domaine de construction ; principalement au période de pluie (présence des fissurations au niveau des constructions).

Pour cette raison nous avons choisi d'étudier les sols gonflants de Safi. Les fondations superficielles sont utilisées lorsqu'une couche géologique est capable de supporter l'effet de la construction.

Les études géotechniques de fondation sont basées sur les résultats de la reconnaissance par sondages et les interprétations des essais effectués sur le sol prélevés.

Dans notre étude nous sommes basées, seulement, sur les essais réalisés au laboratoire.

Les essais permettent de classier les sols par leurs noms précis (argile, marne, sable...) et de connaître les propriétés à étudier ainsi que de conclure sur les risques possibles. Les principaux essais réalisés d'identification sont :

- L'analyse granulométrique.
- Les limites d'ATTERBERG.
- La valeur de bleu de méthylène du sol...

# **CHAPITRE I) PRESENTATION GENERALE**

## I-1) Présentation du LPEE

### I-1-1) ASPET JURIDIQUE

Le Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes (L.P.E.E) est une société anonyme d'économie mixte.

### I-1-2) HISTORIQUE

Le laboratoire public d'essai et d'étude est créé en 1947 et depuis cette date il a subi plusieurs transformations :

- Le LPEE prend le statut de société anonyme en 1958.
- Le laboratoire a été nationalisé en 1973 à la faveur de la marocanisation.
- En 1993, il obtient l'accréditation du Comité français d'accréditation (Cofrac) correspondant à la norme ISO 17025.
- En 1999, le LPEE devient une référence à l'échelle nationale.
- La Société LPEE est organisée en Centres Spécialisés basés à Casablanca et en Centres Techniques et Laboratoires Régionaux implantés dans les principales régions du Maroc et couvrant la totalité du territoire National.

### I-1-3) ROLE

Parmi les fonctions essentielles du laboratoire public d'essais et d'études on trouve leur participation aux études du projet, d'aspect public ou privé, avant et après réalisation des travaux.

### I-1-4) LE LPEE EN CHIFFRE. ([www.LPEE.ma](http://www.LPEE.ma)).

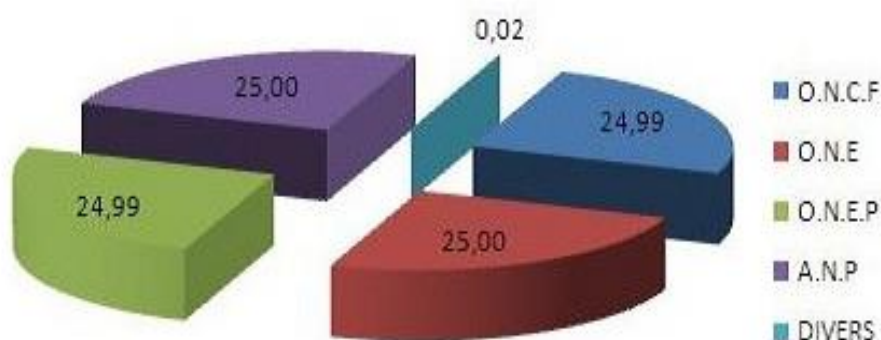


Fig 1. Répartition du capital LPEE.

- Ressources humains : 1000 salariés dont plus de 30 % d'ingénieurs et cadres supérieurs.

## I-2) Les sols gonflants au Maroc.

### I-2-1) LOCALISATION DES SOLS GONFLANTS

Les sols gonflants existant au Maroc, se répartissent du nord au sud du pays, comme indiqué sur la carte de la figure 2 :

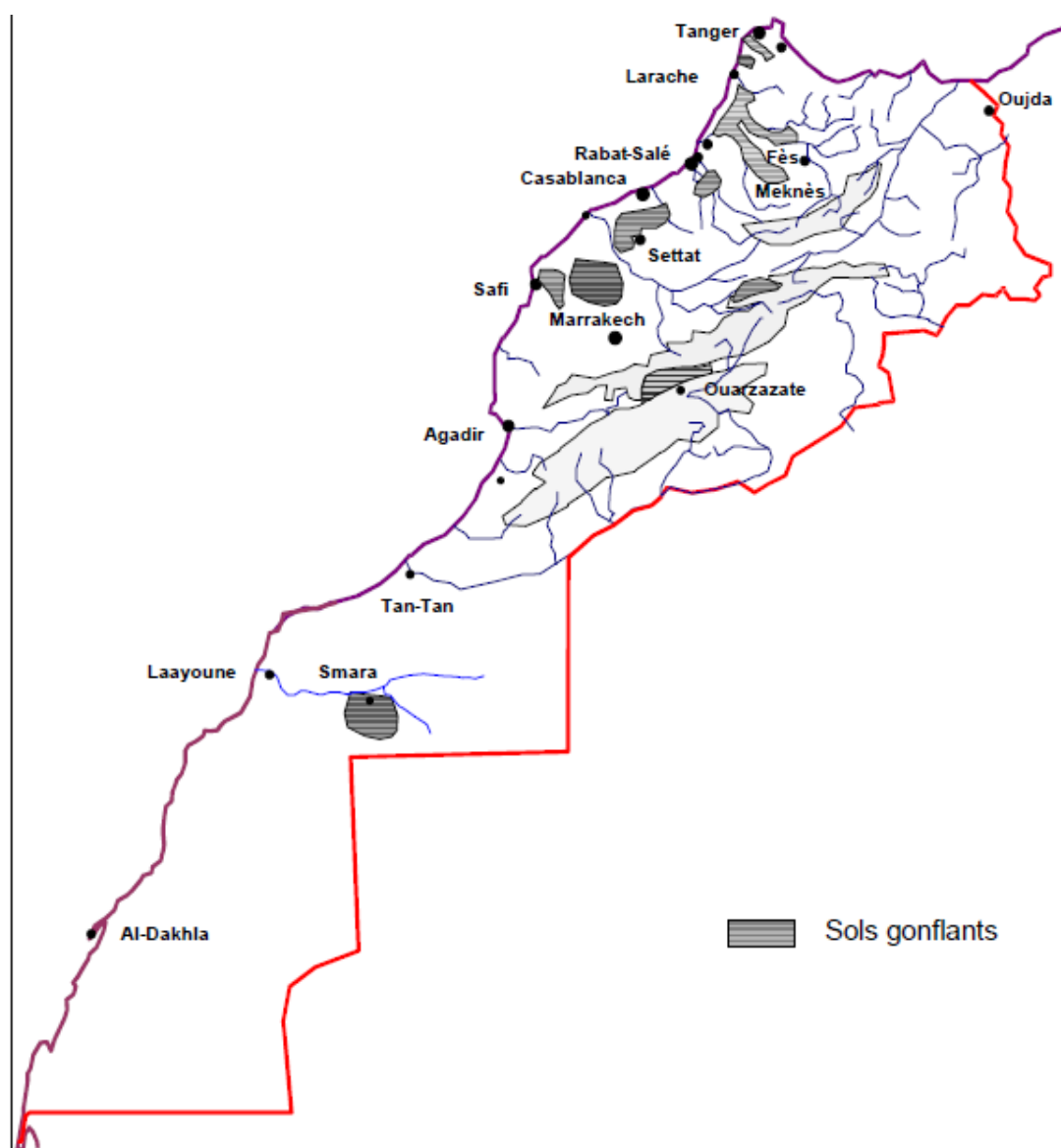


Fig 2. Localisation des zones des sols gonflants au Maroc (Alimi Ichola 1991).

De nombreux dépôts des sols gonflant existent au Maroc. Ces sols gonflants sont distingués selon leur localité. Ces dépôts se rencontrent sur toute la côte atlantique dans les régions agricoles du Gharb et Doukkala ainsi que dans des régions semi désertiques comme Ouarzazate et le pied du Haut-Atlas (Alimi-Ichola, 1991).



## I-2-2) CLASIFICACION SELON LES CARACTERISTIQUES GEOTECHNIQUES

Argile	Limite de liquidité	Indice de plasticité	Limite de retrait	Indice de retrait	Valeur de bleu	Fraction argileuse	Taux de gonflement
	$w_L$ (%)	$I_p$	$w_s$ (%)	$I_s$	$V_B$ (g/100g)	$C_2$ (%)	$I_G$ ( $\epsilon_s$ ) (%)
Sidi Kacem	64	41	11	53	8,5	49	70
Berrechid	77	47	14	63	7,7	41	80
Fès	137	102	12,4	125	14	54	50
Settat	75	50	13	46	10,5	50	80
Safi	50	29	12	38	5	40	65

Tableau1 : Caractéristiques géotechniques des sols étudiés (Alimi Ichola 1991).

En se basant sur des propriétés, ou des essais, physiques et mécaniques des sols gonflants on peut analyser le potentiel de gonflement des argiles. A partir du résultat des essais, présentés au tableau 1, on trouve que toutes ces argiles ont un taux de gonflement très élevé.

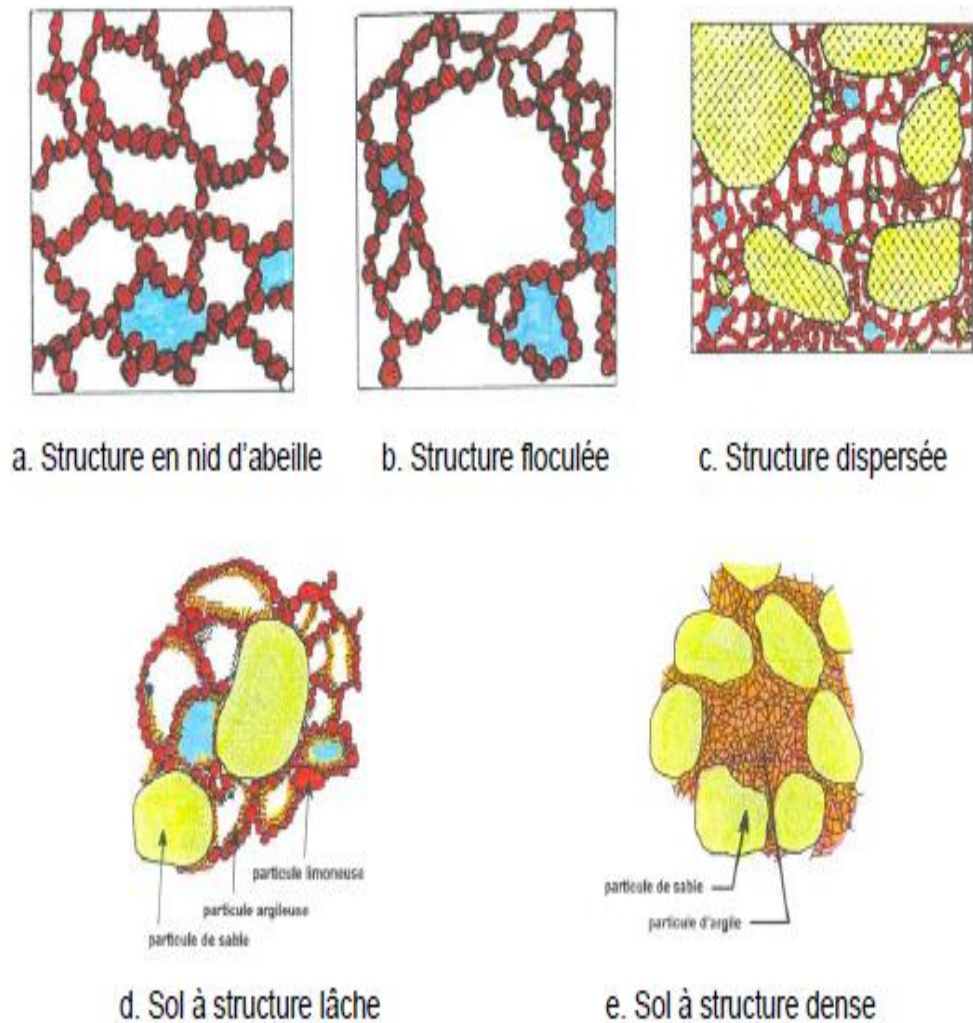
Argile	Classification de Williams			Classification de Ranganatham et Satyanarayana		Classification d'Altmeyer	
	$I_p$	$C_2$ (%)	Potentiel de gonflement	$I_s$	Potentiel de gonflement	$w_s$ (%)	Potentiel de gonflement
Sidi Kacem	41	49	Très fort ( $I_p > 30, C_2 > 27$ )	53	Fort ( $30 < I_s < 60$ )	11	Critique ( $w_s < 10$ )
Berrechid	47	41	Très fort	63	Très fort ( $I_s > 60$ )	14	Faible ( $w_s > 12$ )
Fès	102	54	Très fort	125	Très fort	12,4	Faible
Settat	50	50	Très fort	46	Fort	13	Faible
Safi	29	40	Très fort	38	Fort	12	Critique

Tableau 2 : Les différentes classifications d'argile selon les caractéristiques géotechnique (Alimi Ichola 1991).

Selon le potentiel de gonflement on peut dire que toutes les argiles du Maroc appartiennent à la catégorie des sols très gonflants (Alimi Ichola 1991).

## I-2-3) STRUCTURE DES SOLS GONFLANTS

La structure des sols argileux se forme lors de la sédimentation des produits d'altérations, en milieu aqueux, mais l'intervention des processus de diagenèse peuvent changer la structure initiale.

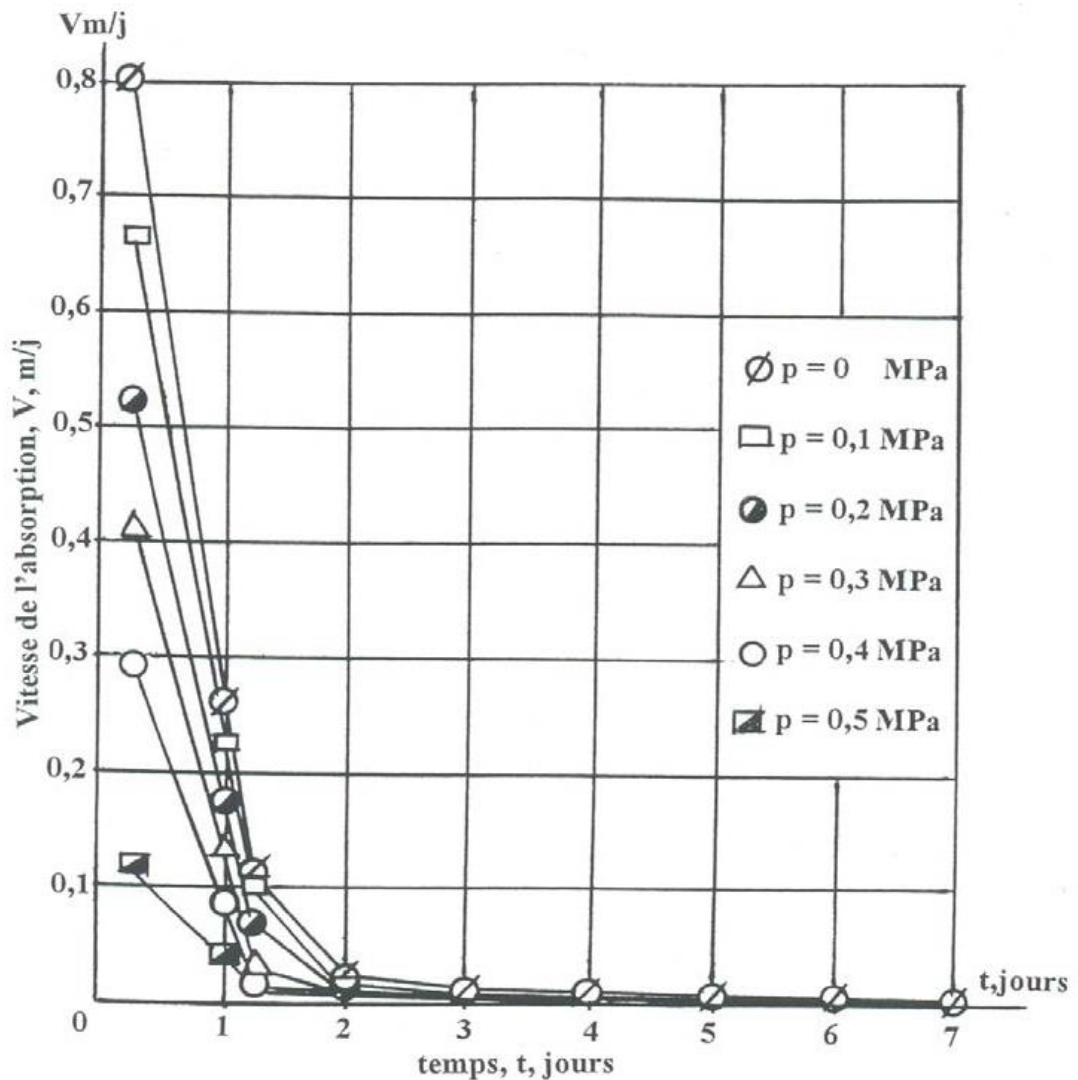


**Fig3. Différents types de structures d'argiles (Terzaghi, 1951)**

*a- Résultat de l'absence d'assemblage des particules en micro-agrégats sous l'effet de forces électromoléculaires, b- Assemblage des particules argileuses lors de la sédimentation, Dans le cas des deux structures les particules sont chaotiques et alors on parle de milieu très agité , c- Structure plus organisée ; particules en position horizontale, grâce à l'influence d'une charge de compression. Si la sédimentation se prolonge sans interruption pendant une période assez longue ; les particules les plus grosses et les particules les plus petites se déposent simultanément au fond des réservoirs.il se forme alors : d- Une structure lâche hétérogène en nid d'abeille sous forme de paquets faiblement orientés, e- Une structure dense hétérogène en nid d'abeille sous forme de paquets faiblement orientés.*

#### I-2-4) LES SOLS GONFLANT LORS DE L'HUMIDIFICATION

Les sols gonflant sont des sols argileux ou marneux très sensibles à l'eau. Et donc le facteur principal des déformations de gonflement indésirables est leurs saturations.



**Fig 4. Vitesse d'absorption de l'eau dans les sols argileux (Mustafaev, 1989)**

La figure 4 présente des courbes de variation de la vitesse de pénétration de l'eau dans le sol argileux lors de son gonflement.

Comme on le voit sur cette figure, la vitesse de pénétration de l'eau dans les sols argileux a une valeur maximale au cours des premières heures de gonflement. La vitesse de pénétration de l'eau diminue sensiblement et tend vers zéro au bout de quelques jours. La valeur de la pression de compression du sol influence la vitesse d'infiltration de l'eau.

Si on applique une forte charge sur les sols, la vitesse d'infiltration diminue. Donc la porosité du sol diminue lorsque la charge augmente.

## **CHAPITRE II) DOMAINE D'ETUDE**

## II-1) Présentation de la zone d'étude

La région étudiée fait partie du domaine de la Meseta marocaine (L.Gentil, 1918). Le terme de la Meseta désigne le substratum de la portion occidentale du pays, plissé à l'époque hercynienne puis érodé et recouvert de sédiments secondaires et tertiaires.

## II-2) Localisation de la ville de Safi

Située au sud-ouest de la région Doukkala Abda, Safi est limitée :

- Au Nord par les plaines de Doukkala,
- Au Nord-Est par les plateaux de Rhamna,
- Au Sud-Est par les plateaux de Chichaoua,
- Au Sud par la province d'Essaouira,
- A l'ouest par l'océan atlantique.

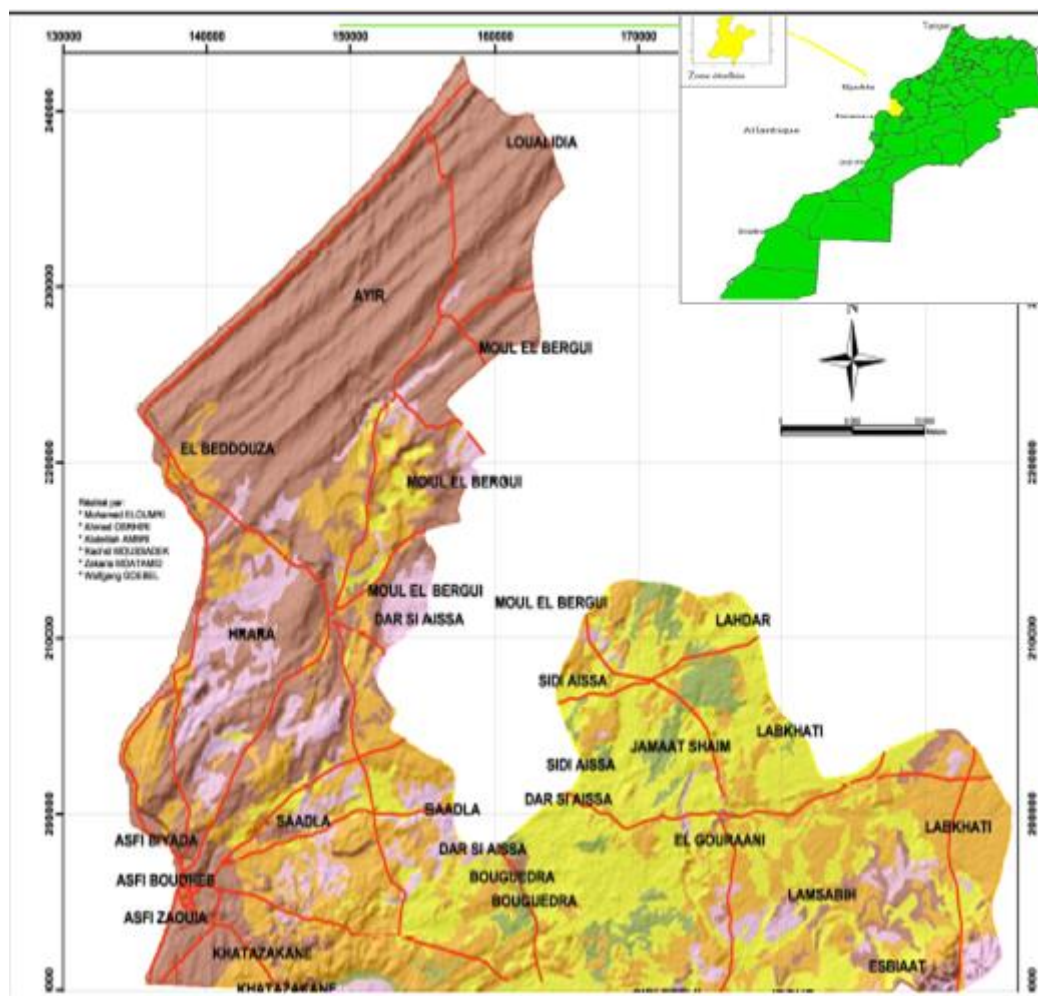


Fig 5. Carte de situation de la zone d'étude. (INRA 2007).

### II-3) Cadre géologique

La zone de Safi comporte des séries sédimentaires allant du Jurassique supérieur jusqu'au Quaternaire récent.

Du point de vue stratigraphique, on peut d'écrire la géologie de Safi comme suit : (Rapport interne LPEE).

- Quaternaire récent : limons alluvionnaires, limons rouges et tirs.
- Quaternaire moyen et ancien : dépôts marins et dunaires, limons anciens et encroutement.
- Plioquaternaire : sable jaunâtre grossiers, calcaires détritiques lumachilliques jaunes et poreux et calcaires durs.
- Crétacé inférieur : calcaires, marno-calcaires et marnes connues par les marnes ou argiles de Safi.
- Jurassique supérieur : Marno-calcaire à gypse.

### II-4) Cadre climatique de la zone d'étude

La zone de Safi est caractérisée par un climat doux et ensoleillé durant la majorité des mois de l'année. La province de Safi comprend trois zones climatiques distinctes :

- La zone océanique : la côte ;
- La zone semi-aride : Abda ;
- La zone aride : Ahmar.

Mois	Minimale moy. °C	Maximale moy. °C	Précipitations (mm).
Janvier	8°	18°	40.6
Février	9°	19°	27.8
Mars	9°	20°	26.5
Avril	11°	21°	16.0
Mai	12°	22°	8.4
Juin	17°	25°	1.6
Juillet	19°	28°	0.4
Août	20°	29°	0.1
Septembre	19°	27°	2.0
Octobre	16°	25°	30.9
Novembre	13°	21°	42.5
Décembre	10°	19°	57.9

Tableau 3. Températures et précipitations moyennes mensuels Safi Maroc

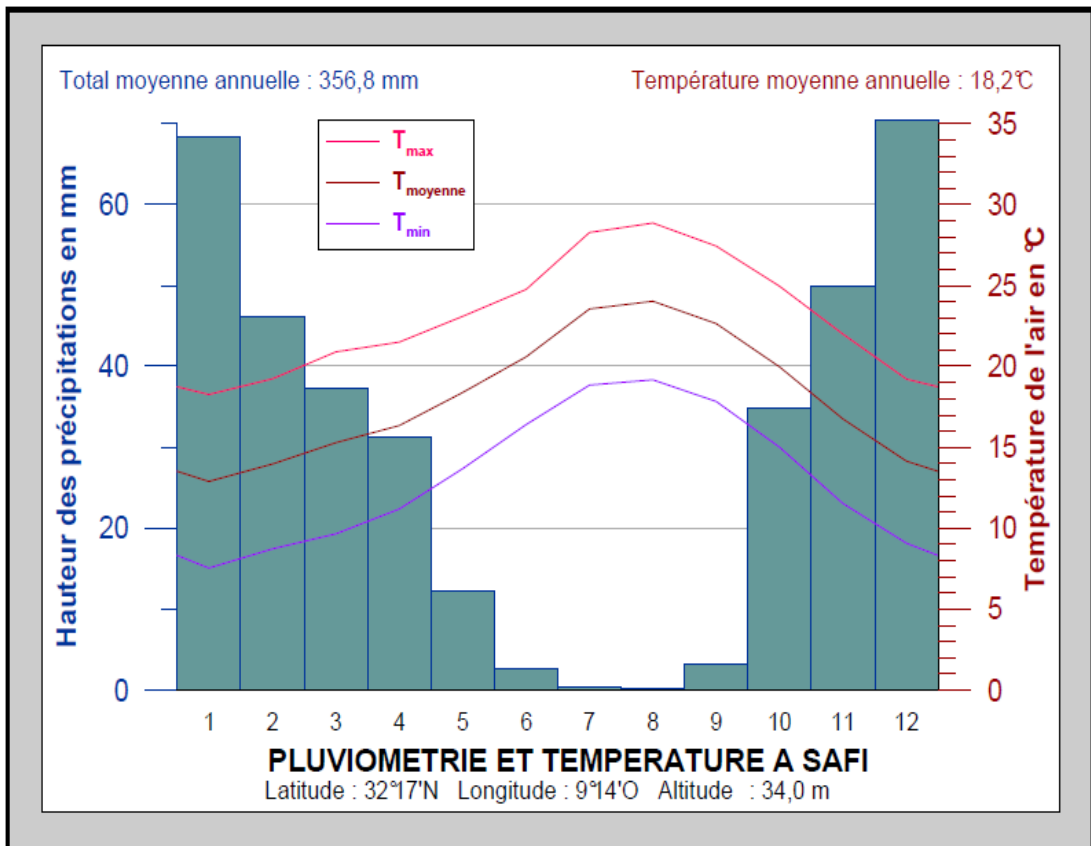


Fig 6.pluviométrie et température à Safi (INRA 2007)

Le climat de la zone étudiée se caractérise par une pluviométrie concentrée principalement en hiver et en automne. Ces deux saisons ont connu les plus hautes précipitations qui peuvent atteindre 80mm.

La zone d'étude est caractérisée aussi par une longue période sèche s'étend en printemps et en été.

Compte-tenu des données si dessus la province connaît, en général, des faibles températures et cela grâce à la présence de la chaîne montagneuse de l'Atlas à l'Est et de l'Océan Atlantique à l'Ouest, ce qui réduit les grandes chaleurs de l'été.

Le climat de Safi est de nature semi aride (humide en hiver et sec en été), provoque un changement de volume des sols. Donc c'est un facteur principal qui participe à la variation des taux de gonflements.

## II-5) Cadre pédologique de la zone d'étude

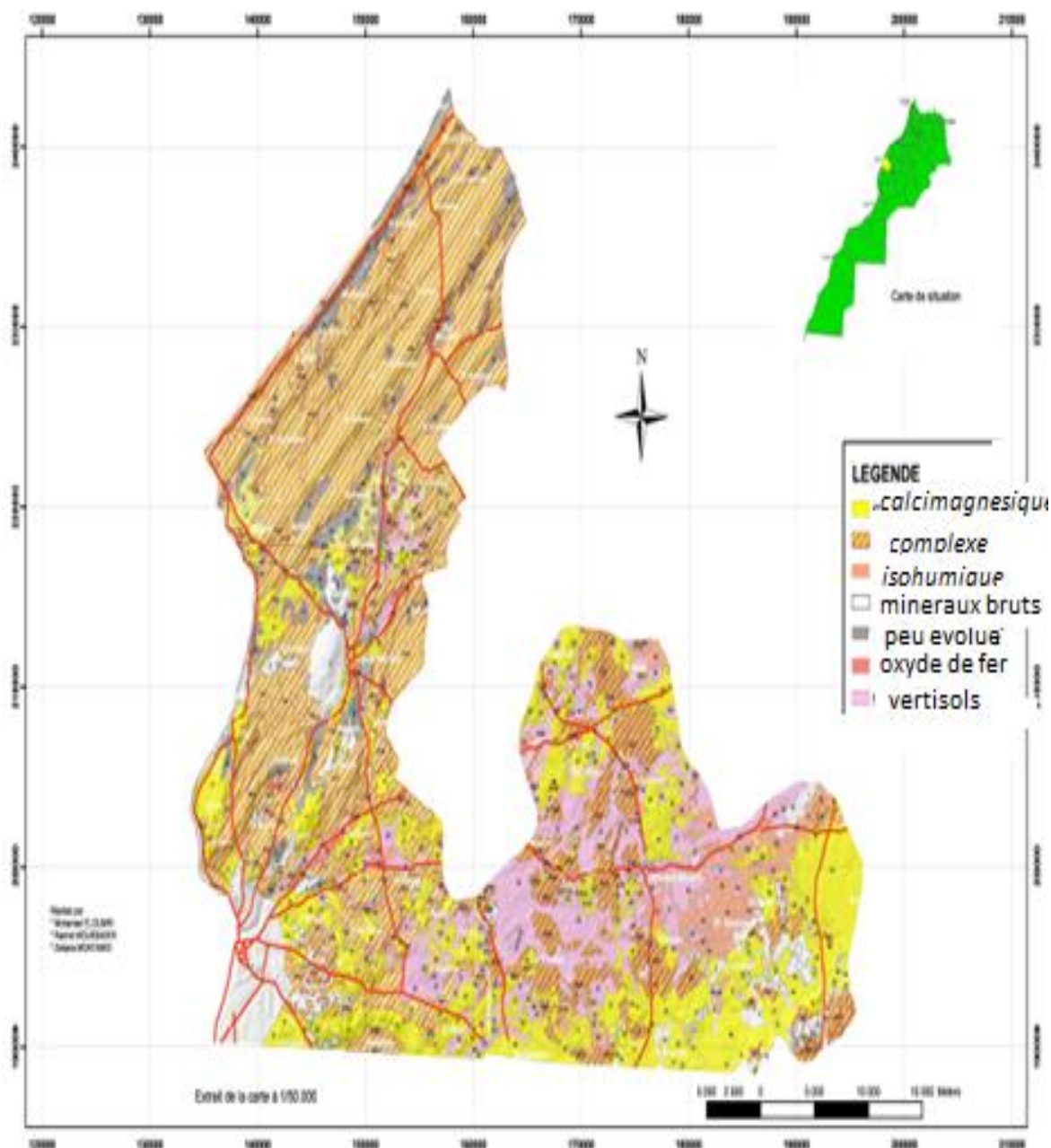


Fig7. Carte pédologique de la zone de Safi. (INRA 2007).

L'étude pédologique réalisée au 1/50 000 ème par l'INRA (El Oumri, 1985), fait ressortir six classes de sols selon la classification française (CPCS, 1967) :

- Les sols calcimagnésiques: de type rendzines (sols généralement jeunes évoluant par décarbonatation vers les sols bruns) et calcaires bruns peu à moyennement profonds. Les rendzines occupent des reliefs encroûtés et relativement accidentés. Les bruns calcaires sont des sols moyennement profonds à profonds, de texture limoneuse à limono-argileuse et font la transition entre les rendzines et les sols de type isohumiques.



- Les sols profonds et argileux (vertisols et isohumiques vertiques) sont surtout développés sur des limons récents. Les vertisols à drainage possible sont localisés au Sud et à l'Est de Jemâa Shim. Les sols isohumiques sont des sols profonds, de texture équilibrée à argileuse et constituent le terme de passage entre les vertisols et les autres types de sols.
- Sols minéraux bruts : croûte calcaire, sable
- Les sols peu évolués : sont localisés sur de fortes pentes, et constituer un substratum pour les calcimagnésiques
- Sesquioxydes de fer : à réserve calcique sur encroûtement calcaire, très profond, recouvert par un apport limoneux ,ou sans réserve calcique argile rouge très profond.

## II-6) Cadre hydrogéologique de la zone d'étude

### II-6-1) LES EAUX SUPERFICIELLES

Représentées principalement par l'oued Oum el Rbia qui est régularisée par le barrage Al Massira et le barrage Imfout. Le barrage Imfout est situé à l'aval d'Al Massira et il sert à dériver les eaux régularisées par ce dernier vers le bas service de Doukkala.

### II-6-2) LES EAUX SOUTERRAINES

Les réserves en eaux souterraines de la province sont estimées à 88 millions de m<sup>3</sup>. Ces eaux se trouvent à des profondeurs importantes séparées généralement de la surface terrestre par des couches argileuses et marneuses défavorisant leur exploitation.

Les ressources souterraines en eau du bassin côtier El Jadida-Safi, sont constituées par :

La nappe	Les entrées	Les sorties	superficie
La plaine d'Abda	-Infiltration des eaux de pluie.	- essentiellement vers la mer.	2000Km <sup>2</sup>
Doukkala	-Infiltrations des eaux de pluie ; -Infiltration des eaux d'irrigation ; -apports latéraux (mer).	-prélèvement pour l'irrigation. -déversement vers l'océan.	3250Km <sup>2</sup>

**Tableau4. Les nappes souterraines de la province de Safi**

La surexploitation des nappes souterraines risquerait d'entraîner un tarissement des puits et des forages exploités pour l'eau potable et l'irrigation.

La salinité des nappes des Doukkala est en augmentation par suite à des intrusions marines.

L'exploitation au niveau de la nappe Abda est limitée à cause de sa qualité médiocre.

## II-7) Couverture végétal dans la zone d'étude

La croissance végétale au niveau de la zone de Safi varie en fonction des caractéristiques hydriques et en fonction d'unité du sol (ministre de l'agriculture et INRA).

La croissance végétale est définie comme étant un période de l'année pendant laquelle les températures et la disponibilité en eau du sol permettent la croissance végétale.

- **Les années sèches** : la période maximum de croissance végétal est 47 jours:
  - Les sols calcimagnésiques : ont une moyenne de 43 jours.
  - Les sols argileux (vertisols et isohumiques) : ont un nombre de jours légèrement réduit par rapport aux sols calcimagnésiques

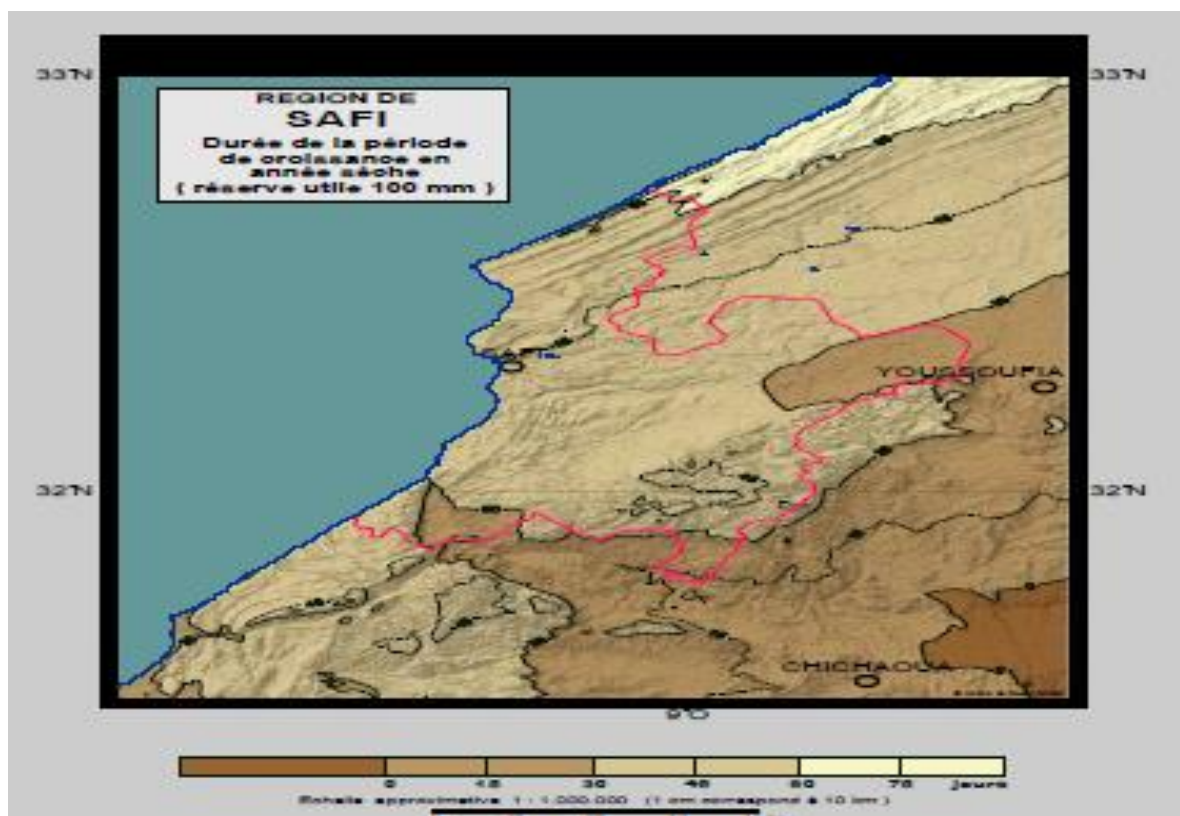


Fig 8.La période de croissance végétal pendant les années sèches. (INRA 2007).

- **Les années moyennes** : la période maximum de la croissance végétal est 80 jours et la période minimale est 50 jours.
  - Les calcimagnésiques : ont une période de 65-80 jours.
  - Les sols argileux : ont en moyennes une période de 80-95 jours.

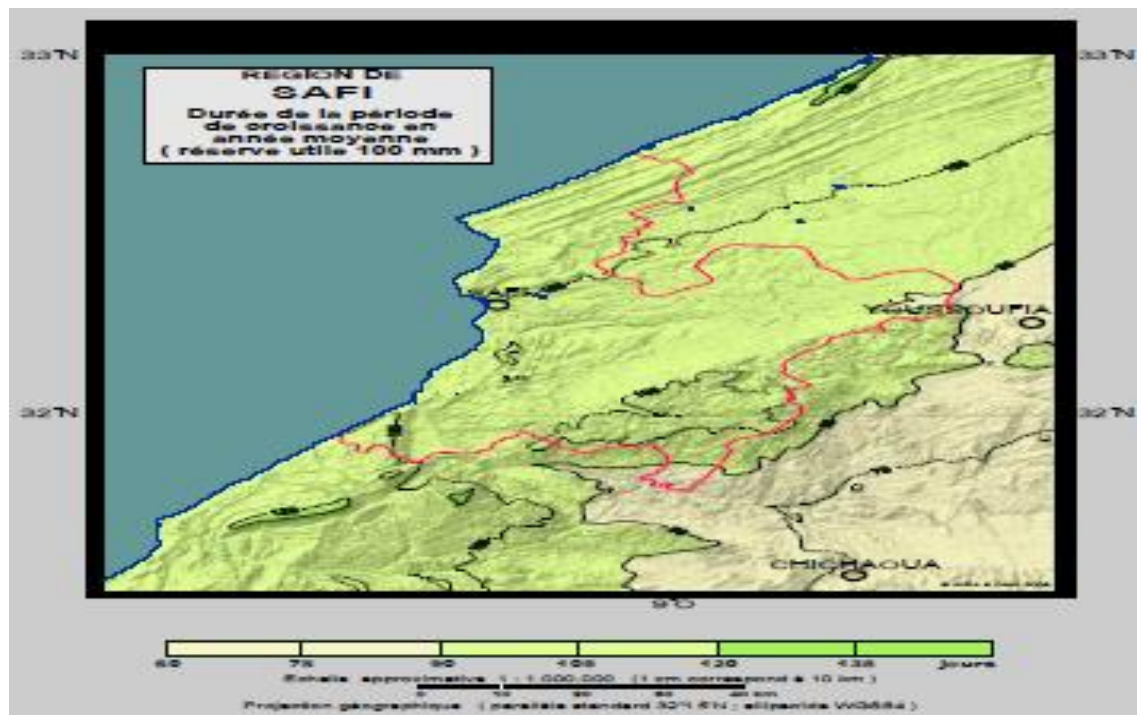


Fig 9. La période de croissance végétal pendant les années moyennes (INRA 2007).

- **Années humides** : la période maximum de croissance végétal est 124 jours et le minimum est 80 jours.
  - Les calcimagnésiques : ont une période de croissance végétal de 80 jours.
  - Les sols argileux : ont une période de croissance végétal de 110 à 124 jours.

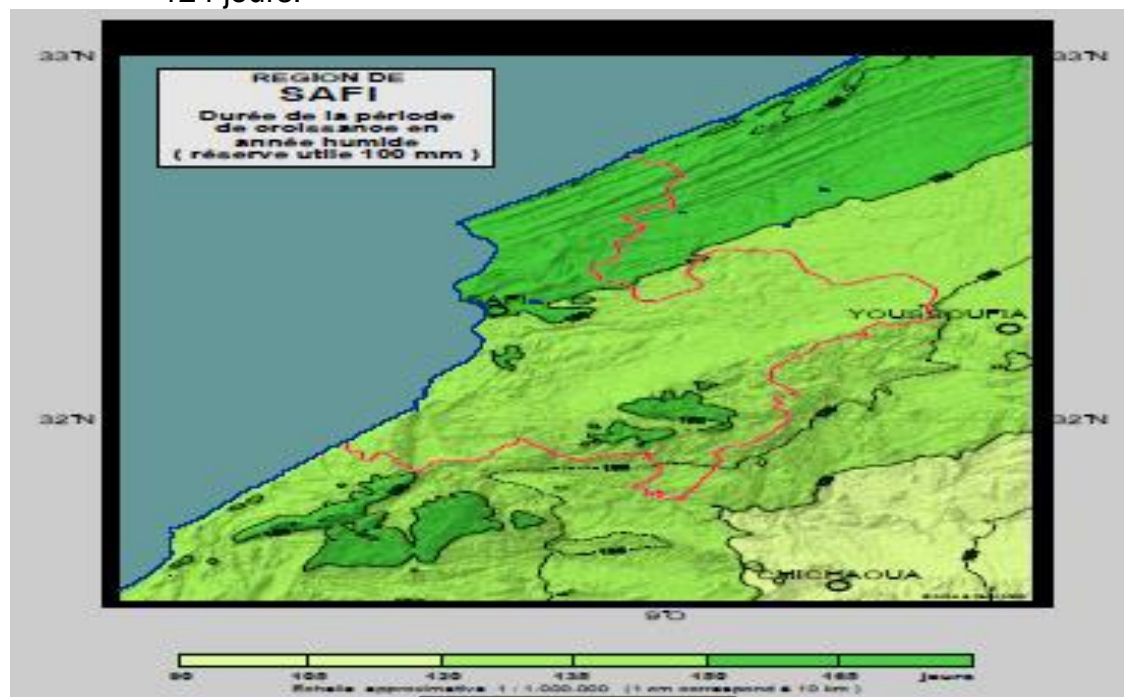


Fig 10. Période de croissance végétal pendant les années humides (INRA 2007)

# **CHAPITRE III) METHODES D'ETUDES**

## III-1) Méthodes mécaniques

### III-1-1) ANALYSE GRANULOMETRIQUE

#### III-1-1-1) Principe

L'essai consiste à séparer les grains au moyen d'une série de tamis et à peser successivement le refus cumulé sur chaque tamis ; afin de calculer les pourcentages des classes granulaires que contient l'échantillon.

#### III-1-1-2) Manipulation de l'essai

- Lavage : Utiliser de l'eau pour laver le contenu du tamis, et en brossant les matériaux jusqu'à ce qu'il ne reste que les éléments propres.
- Séchage : 1 heure dans le cas d'un étuvage à 105°C.
- Tamisage à sec : Verser la totalité du matériau séché au sommet d'une colonne des tamis (voir photo 1) et agiter durant une quinzaine de minutes.

mm	$U_m$
○ 100	○ 800
○ 80	○ 630
○ 63	○ 500
○ 50	○ 400
○ 40	○ 315
○ 31.5	○ 250
○ 25	○ 200
○ 20	○ 160
○ 16	○ 125
○ 12.5	○ 100
○ 10	○ 80
○ 8	
○ 6.3	
○ 5	
○ 4	
○ 3.15	
○ 2.5	
○ 2	
○ 1.6	
○ 1.25	
○ 1.0	

Tableau 5 : Série des tamis



Photo 1 : Colonne des tamis

- Pesage des refus : - Verser dans un récipient le refus du premier tamis

Utilisé d'ouverture de maille inférieur à  $d_m$  et peser ;

-Ajouter dans ce même récipient le refus du tamis suivant (inférieur) et peser le total.

-Procéder ainsi de suite jusqu'à ce que atteindre le refus du tamis d'ouverture  $d_c$

### III-1-2) LIMITES D'ATTERBERG AU PENETROMETRE A CONE

L'essai consiste à mesurer l'enfoncement d'un cône, sous son propre poids, dans un échantillon de sol remanié.

#### III-1-2-1) Limites de liquidité

##### III-1-2-1-1) But

L'essai à pour but de déterminer la teneur en eau pour laquelle un sol passe de l'état plastique à l'état liquide.

##### III-1-2-1-2) Manipulation d'essai

- Lavage : fait au tamis 0.4mm ;
- Laisser les refus immergé jusqu'au dépôt des fines ;
- Evacuer l'eau, doucement, afin de ne pas perdre les fines ;
- Séchage à l'étuve (1h à 105°C) ;
- Préparer une pâte, bien homogène et presque fluide, de 200g ;
- Malaxer à bien, sur une marbre, la pâte préparée ;
- Régler l'horizontalité du socle ;
- S'assurer que la pointe du cône est propre et lisse ;
- Remplir le récipient avec une partie de cette pâte ;
- Mettre en place le récipient et ajuster la position de la pointe du cône ;
- Libérer le cône et le laisser s'enfoncer dans le sol pendant 5s et noter sa nouvelle position;
- Effectuer un prélèvement de sol dans le récipient .Cette prise d'essai est placée dans une coupelle de masse connue, peser immédiatement puis introduire dans l'étuve ;
- L'opération complète est effectuée 4 fois sur la même pâte mais avec des teneurs en eau différentes ;
  - La pâte est séchée ou humidifiée avec de l'eau déminéralisée.
  - Les enfoncements sont situés entre 17 mm et 25 mm et l'écart entre deux valeurs successives doit être compris entre 2 mm et 5 mm.

#### III-1-2-2) Limite de plasticité

##### III-1-2-2-1) But

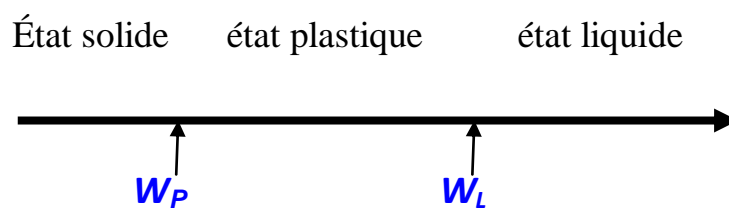
Cet essai a pour but de déterminer la teneur en eau pour laquelle un sol passe de l'état solide à l'état plastique

### III-1-2-2) Manipulation d'essai

Étaler une partie de la pâte homogène jusqu'à l'obtention d'un rouleau, qui se fissure, de diamètre 3mm et de longueur 10 mm.

### III-1-2-3) Indice de plasticité

$$I_P = W_L - W_P$$



### III-1-3) ESSAI PROCTOR

#### III-1-3-1) But et principe

L'essai consiste à déterminer la masse volumique sèche des matériaux, pour chacune des valeurs de teneur en eau optimisée, et à tracer la courbe de variation de cette masse en fonction de la teneur en eau.

#### III-1-3-2) Manipulation d'essai

- Préparer 5 quantités de masse entre 5 et 6 kg des passants au tamis 20mm. La quantité du matériau doit remplir le moule Proctor.
- Ajouter un pourcentage d'eau à chaque quantité des matériaux, tels que les pourcentages soient croissants d'un pas de 2%.
- Malaxer le matériau et l'eau à la main d'une façon à le désagréger.  
On remplit le moule Proctor partiellement 5 fois et à chaque remplissage l'appareille (photo 2) effectue 56 frappes de chute libre d'une hauteur prédéfinie.



Photo 2: Appareille Proctor

### III-1-4) LA MASSE VOLUMIQUE DES SOLS FINS

#### III-1-4-1) Principe d'essai

L'essai consiste à mesurer successivement les paramètres masse et volume qui caractérisent un même échantillon de sol.

#### III-1-4-2) Manipulation d'essai (méthode par pesée hydrostatique)

- On prend un échantillon d'une forme simple afin de pouvoir paraffiné facilement et d'une masse comprise entre 0.1 et 0.5 kg ;
- L'échantillon est immédiatement pesée ( $m$ ) et paraffinée ;
- Après paraffinage l'échantillon et pesée ( $m_p$ ) ;
- L'échantillon est placée dans le panier suspendu à l'étrier de la balance et émergé afin de pesée ( $m'_p$ ) avec la balance hydrostatique.

### III-1-5) ESSAI CISAILLEMENT

#### III-1-5-1) Principe et but

L'essai consiste à déterminer expérimentalement la courbe intrinsèque d'un sol pulvérulent puis de déduire les paramètres de cisaillement qui permettent d'estimer la contrainte de rupture sous une fondation superficielle.

#### III-1-5-2) Manipulation d'essai

- Préparer 3 boîtes de cisaillement identiques : les échantillons d'une même série doivent avoir le même poids volumique (donc la même compacité)
  - Pour obtenir une faible compacité, déverser rapidement le sable dans la boîte et aplanir sa surface sans tasser.



- Pour obtenir une compacité maximum, piquer le sable en procédant par couche successive.
- Mettre en place la boîte n°1 sur le bâti et procéder à l'essai n°1 (50 kPa).
- Reporter les indications des comparateurs sur la fiche de relevé fournie.
- Arrêter l'essai lorsque l'effort de cisaillement a atteint un pallier.
- Ramener à zéro l'anneau dynamométrique en dévissant. Enlever la boîte.
- Procéder de même aux essais sur les boîtes n°2 (100 kPa) et n°3 (200 kPa)

### III-1-6) ESSAI A L'EODOMETRE

#### III-1-6-1) But d'essai

L'essai à pour but d'établir, pour un échantillon donné, deux types de courbes :

- La courbe de compressibilité : qui indique le tassement total en fonction de logarithme de contrainte appliquée.
- Les courbes de consolidations : qui donnent le tassement de l'échantillon en fonction du temps sous application d'une contrainte constante.

#### III-1-6-2) Manipulation d'essai

- L'essai s'effectue dans une éprouvette de sol placée dans un eodometre ;
- Un dispositif applique sur cette éprouvette un effort axial vertical, l'éprouvette étant drainée en haut et en bas et maintenue saturée pendant l'essai ;
- Les variations des hauteurs de l'éprouvette sont mesurées pendant l'essai en fonction de la durée d'application des charges.

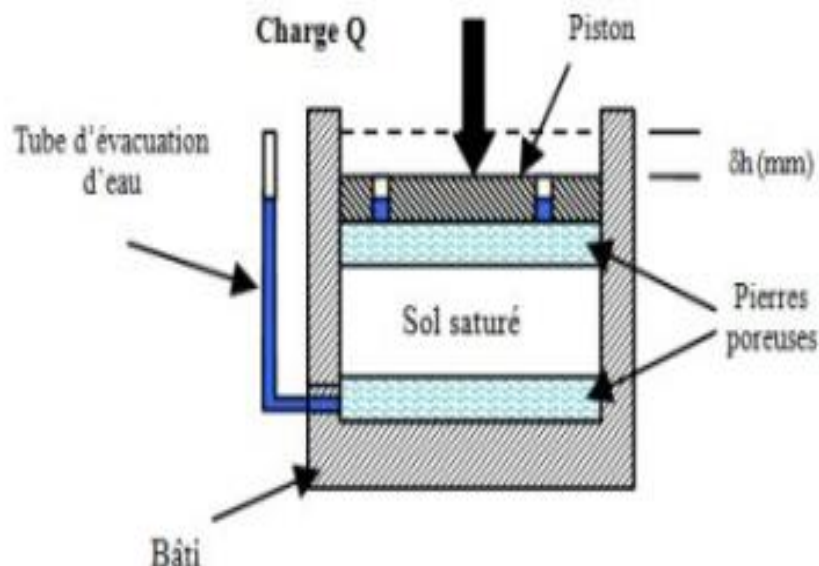


Fig 11. Schéma de manipulation de l'essai eodométrique. (Arvor géotechnique)

## III-2) Méthodes chimiques

### III-2-1) DETERMINATION DE LA TENEUR EN CARBONATE DE CALCIUM

#### III-2-2-1) Principe et but

Le but d'essai est de déterminer, à l'aide d'un calcimètre, la teneur en carbonate des sédiments bruts. L'essai consiste à décarbonater une masse d'échantillon broyé par l'acide chlorhydrique.

#### III-2-2-2) Manipulation d'essai

Pour manipuler l'essai on passe par les étapes suivantes :

- La masse de l'échantillon étudié doit être comprise entre 0.3 et 0.4 g.
- Placer l'échantillon dans l'érlenmeyer ; et verser le tube de l'HCL assez concentré à l'aide d'une pipette, et mettre en place le tube dans l'érlenmeyer, puis boucher cette dernière.
- Incliner l'érlenmeyer afin de faire couler l'acide dans l'échantillon.
- Reposer l'érlenmeyer et attendre la fin de l'effervescence.
- Calculer la masse de  $\text{CaCO}_3$  attaqué et leur pourcentage dans l'échantillon.

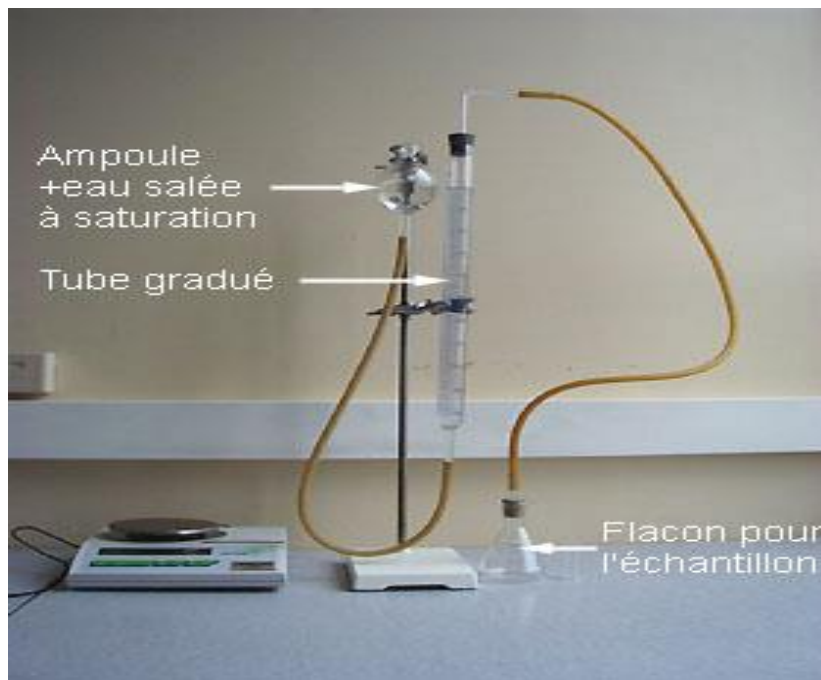


Photo 3. Photo du Calcimètre

## III-2-2) ESSAI AU BLEU DE METHYLENE DU SOL

### III-2-2-1) Principe

L'essai consiste à mesurer, à l'aide d'un agitateur, la quantité de bleu de méthylène absorbé par le matériau mise en suspension dans l'eau.



Photo 4 : Agitateur

### III-2-2-2) Manipulation d'essai

Le dosage s'effectue en ajoutant successivement différentes quantités de bleu de méthylène et en contrôlant l'adsorption après chaque ajout ; en utilisant des papiers filtre.



Photo 5. Papier filtre

# **CHAPITRE IV) RESULTATS OBTENUS**

## IV-1) Introduction

Les logs géologiques ci-après représentent le résumé de l'événement stratigraphie de la zone de Safi. Ces logs ont été réalisés, pour étudier la variation latérale de la formation des marnes et argiles de Safi, et pour déterminer les lieux d'affleurement de cette formation.

Dans ce chapitre nous sommes basées sur l'étude de trois échantillons dont les essais réalisés sont résumés dans le tableau 6.

Les trois échantillons ont des localisations différentes mais ils sont tous de nature marneuse et appartiennent à la formation des marnes et argiles de Safi. Ceci pour faire une comparaison entre les caractéristiques géotechniques de la zone urbaine (la ville) et les villages de Safi.

Les résultats de l'échantillon 1 sont exécutés sur un échantillon de références (13-240-s150-1).

Les résultats de l'échantillon 2 sont exécutés sur des carottages prélevés à 17m à 23m de profondeur dans le SC1 Douar Labraghna province de Safi.

L'échantillon 3 a été prélevé au niveau du puits P4 dans le cadre de réalisation du projet de théâtre régional de Safi.

Type d'analyse	Analyse granulométrique	Limites d'ATTEMBERG	VB S	Proctor	Masse volumique	%CaCO <sub>3</sub>	oedométre	cisaillement
Echantillon								
Echantillon 1	×	×		×		×		
Echantillon 2	×	×	×		×	×		
Echantillon 3	×	×					×	×

**Tableau 6. Récapitulation des essais réalisés sur les échantillons**

## IV-2) Localisation des logs lithologiques

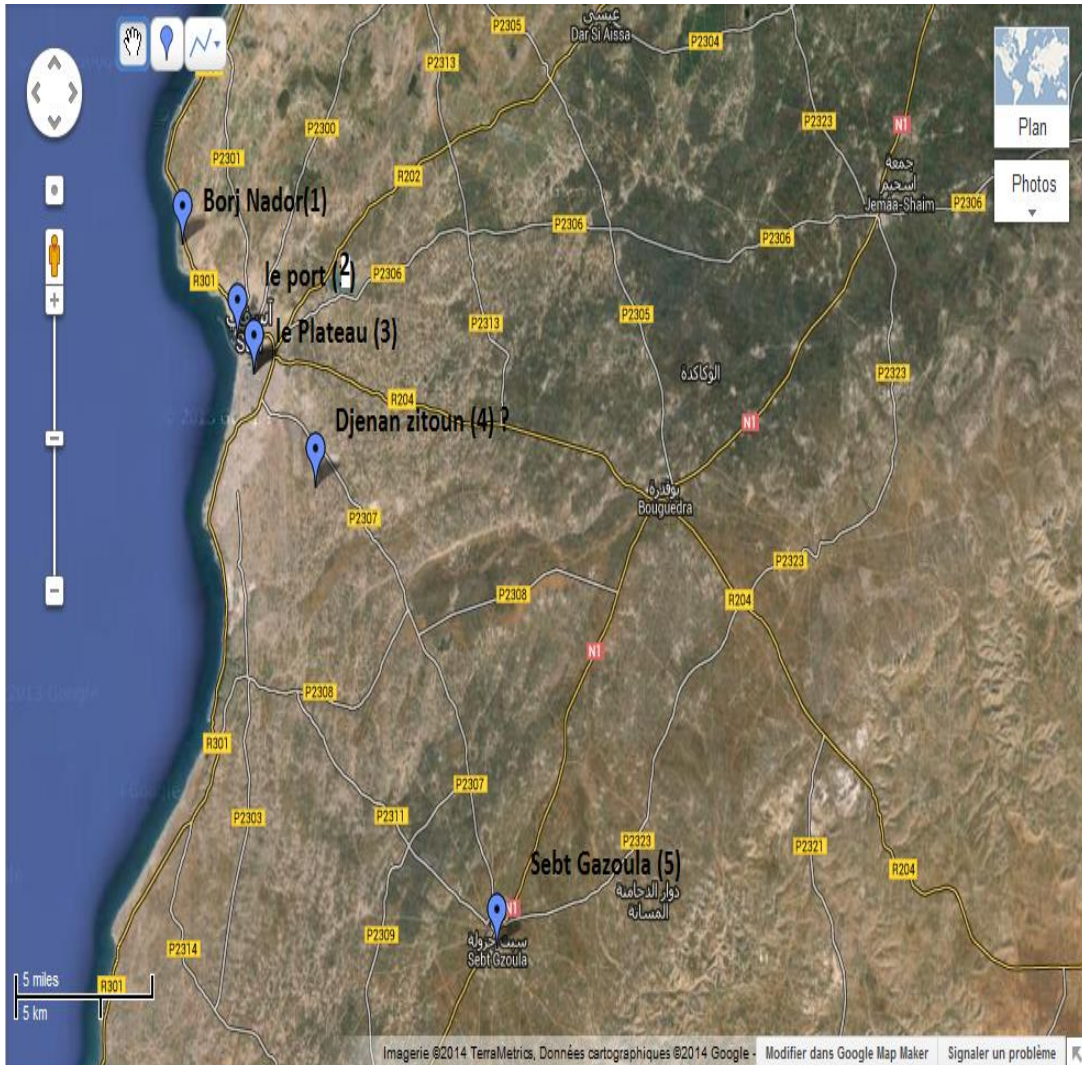


Fig 12. Carte de localisation des logs lithologiques

### IV-3) Etablissement des logs lithologiques.

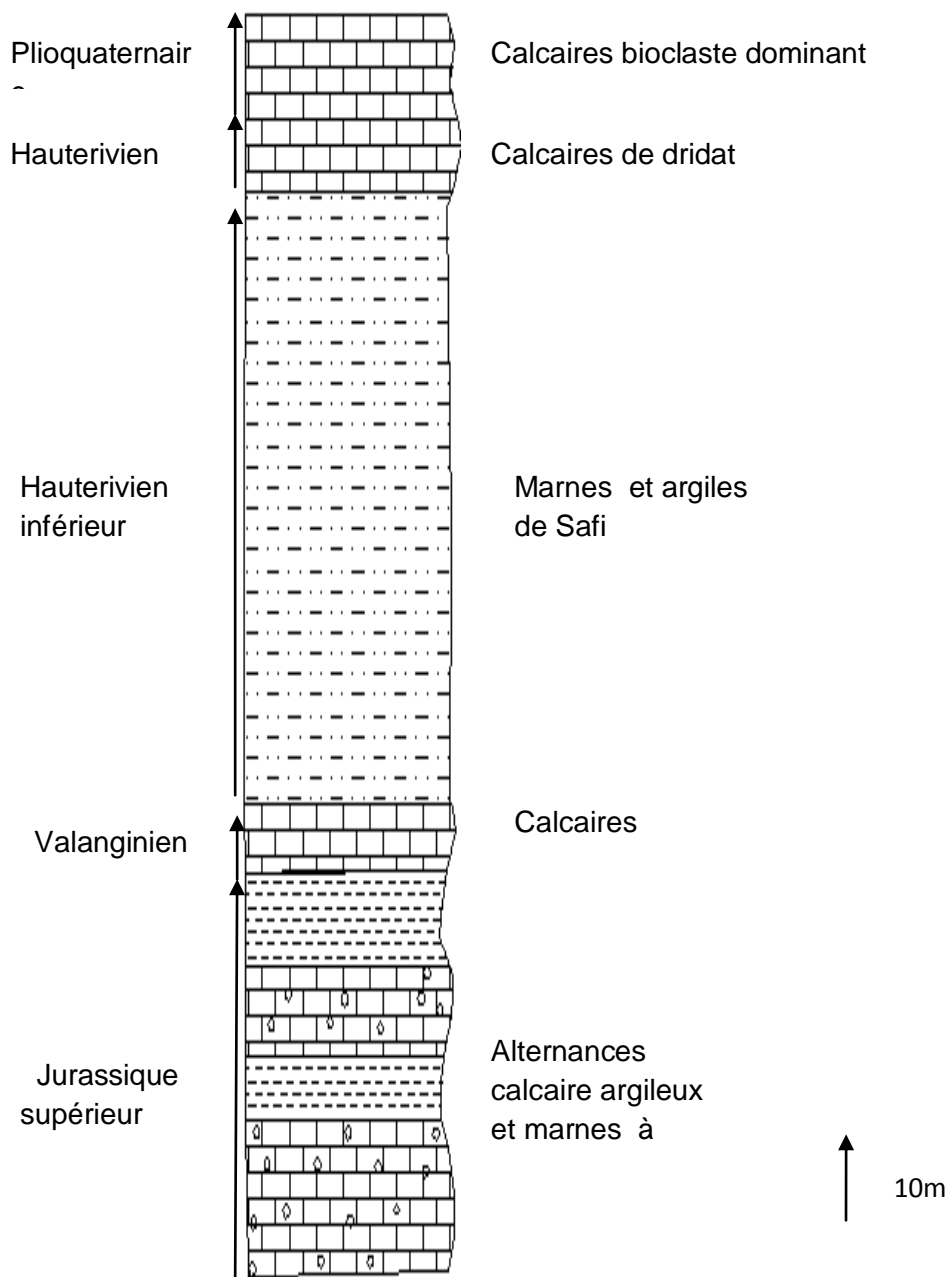
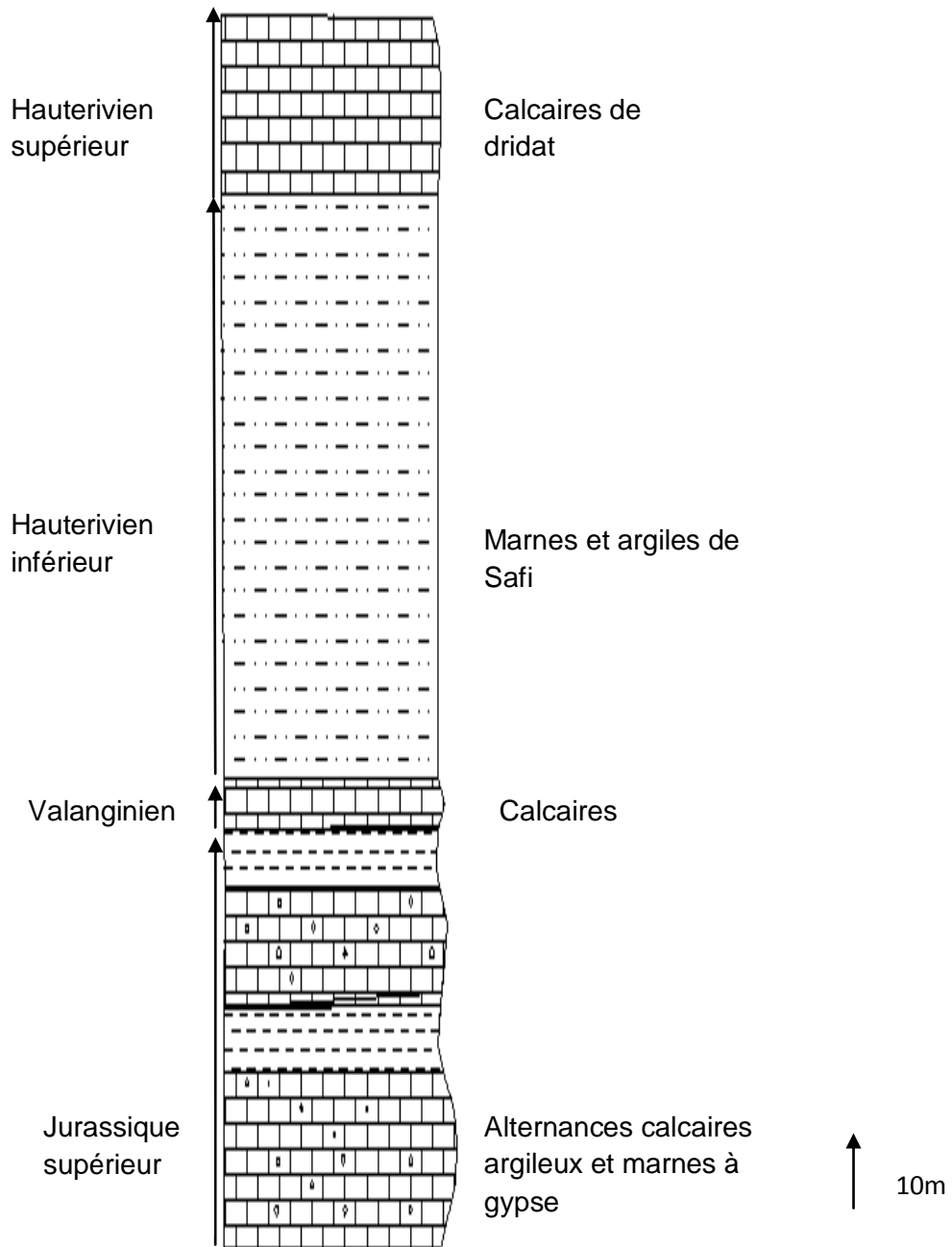


Fig 13. Log lithologique 1 de BORJ NADOR

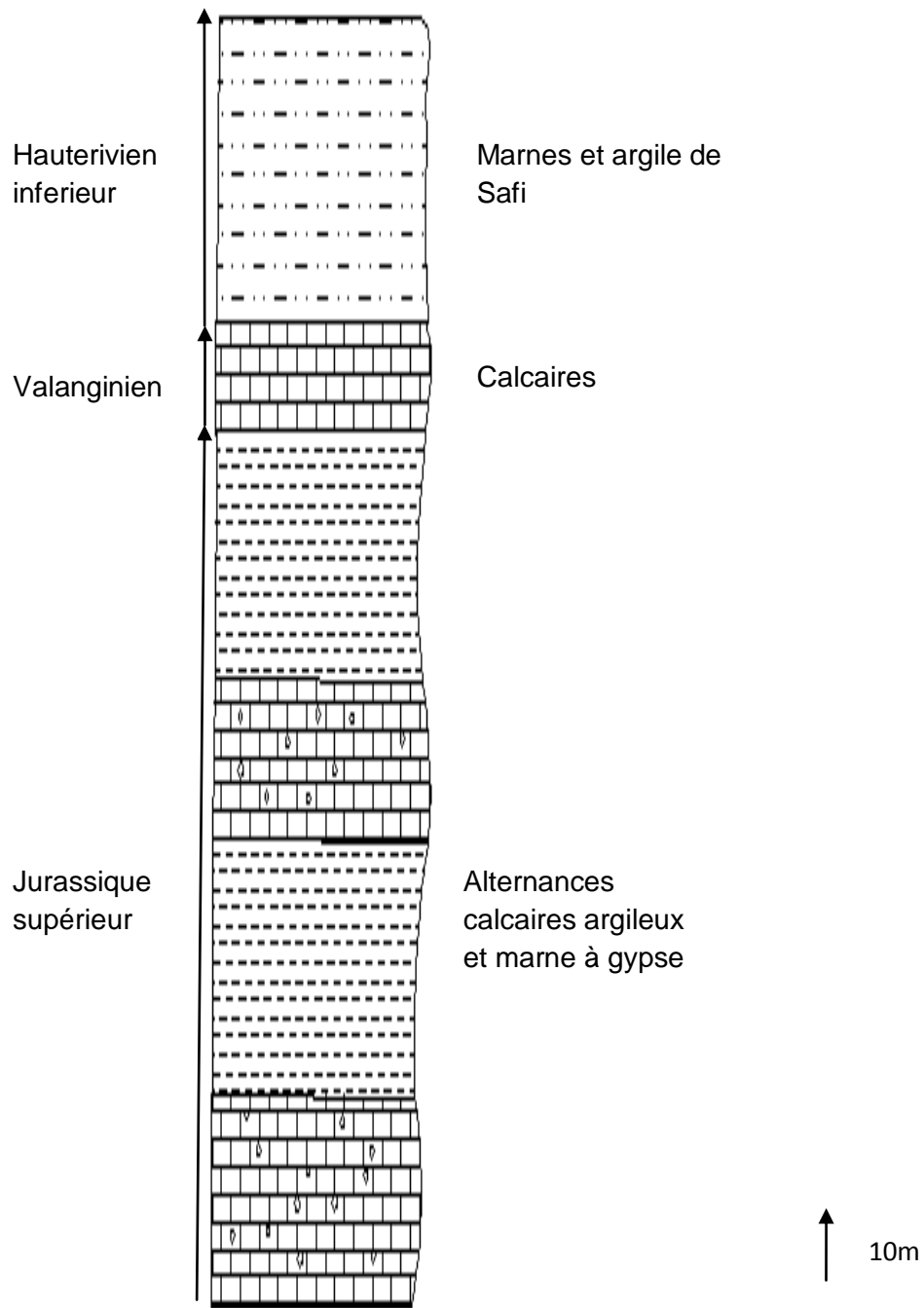
Au niveau de la zone de Borj Nador, c'est les calcaires du plioquaternaire qui affleurent, donc elle est considérée zone stable.



**Fig 14. Log lithologique 2 du port.**

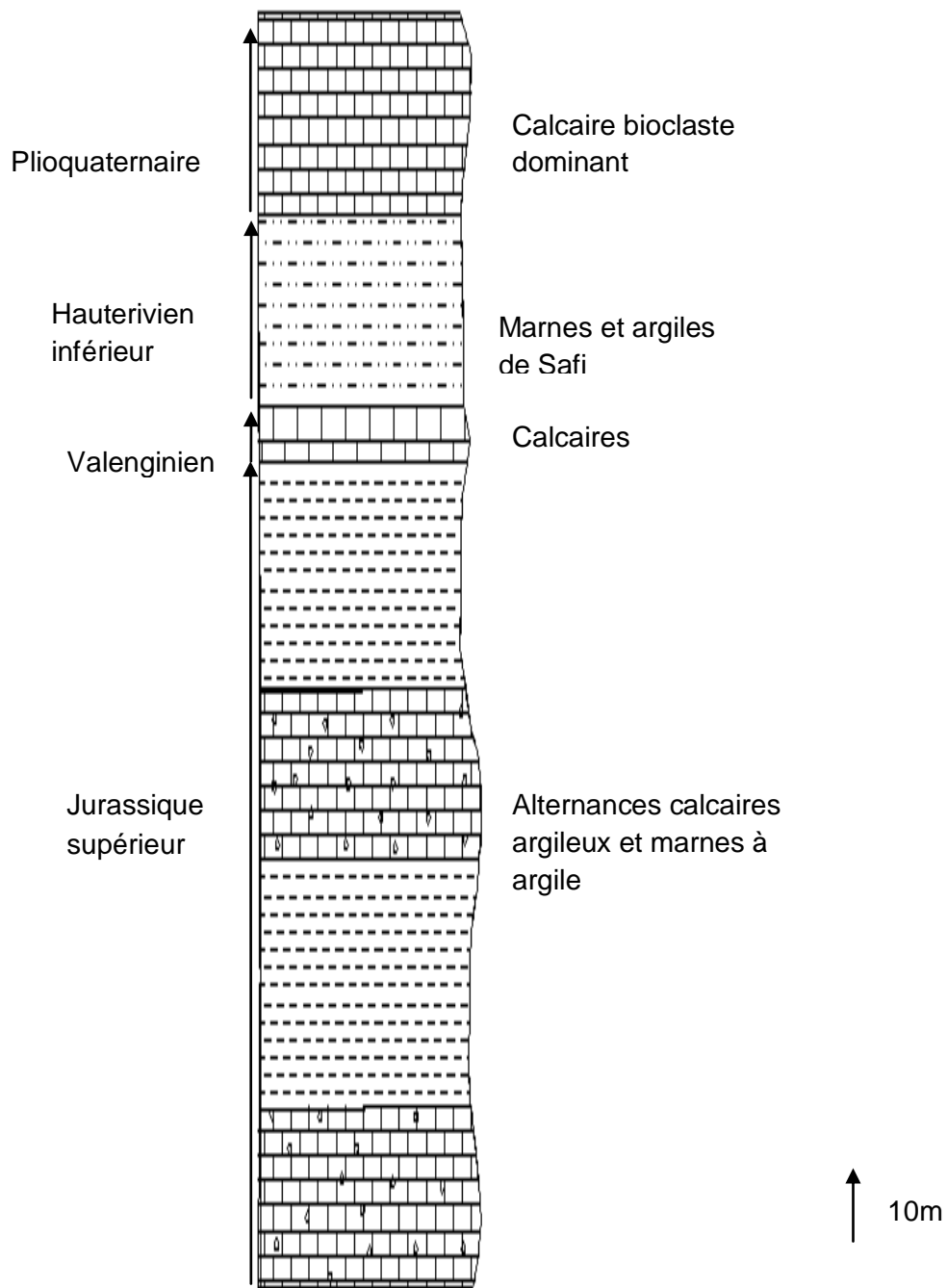
C'est les calcaires de Dridat qui affleure. Donc c'est une zone stable et ne possède pas des problèmes.





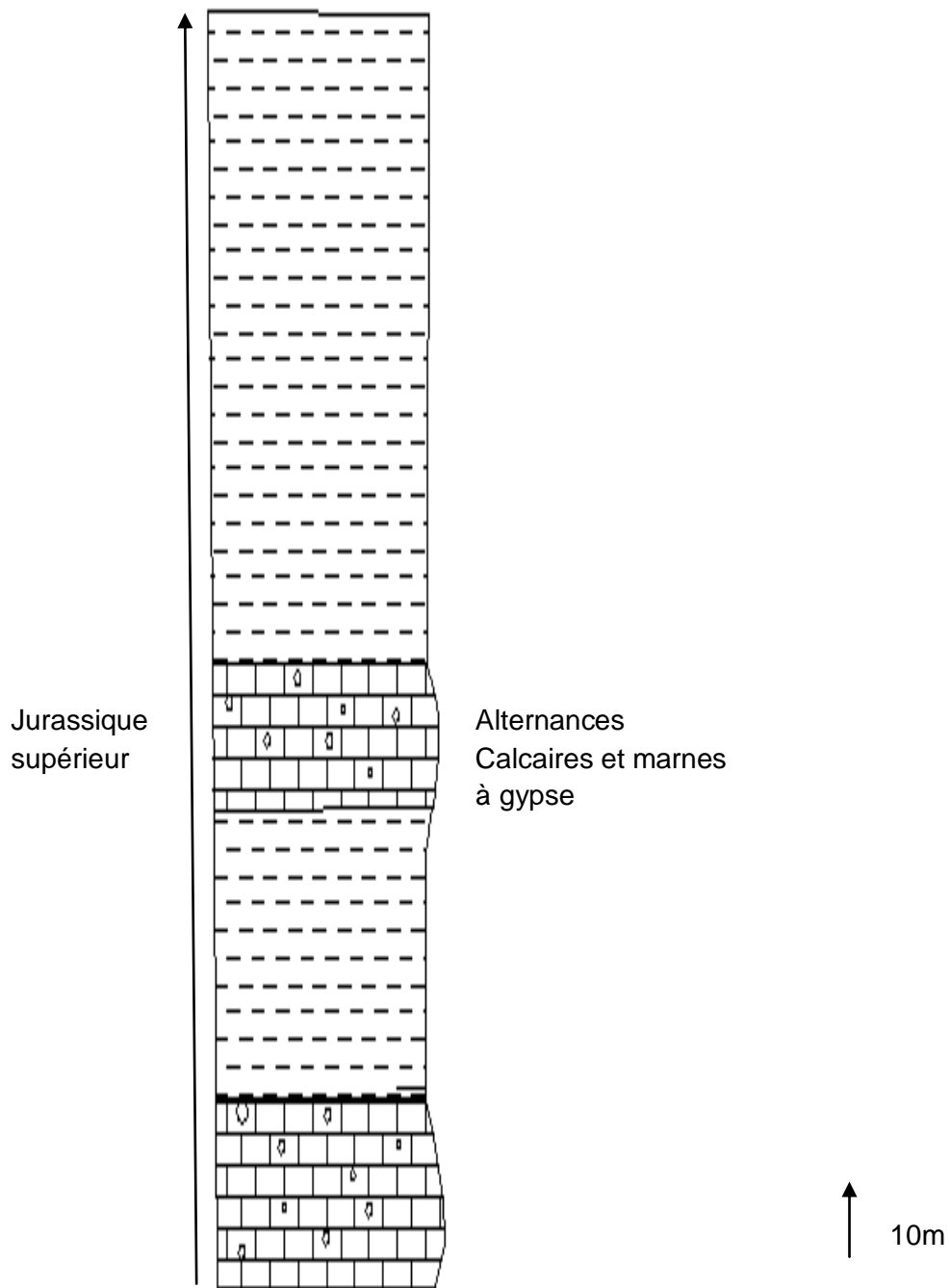
**Fig 15.Coupe lithologique 3 de la zone du plateau .**

C'est la formation des argiles et marnes de Safi qui affleure au niveau de la zone du plateau avec une épaisseur importante. Donc elle est considérée comme une zone instable.



**Fig 16. Log lithologique 4 Djenan Zitoune.**

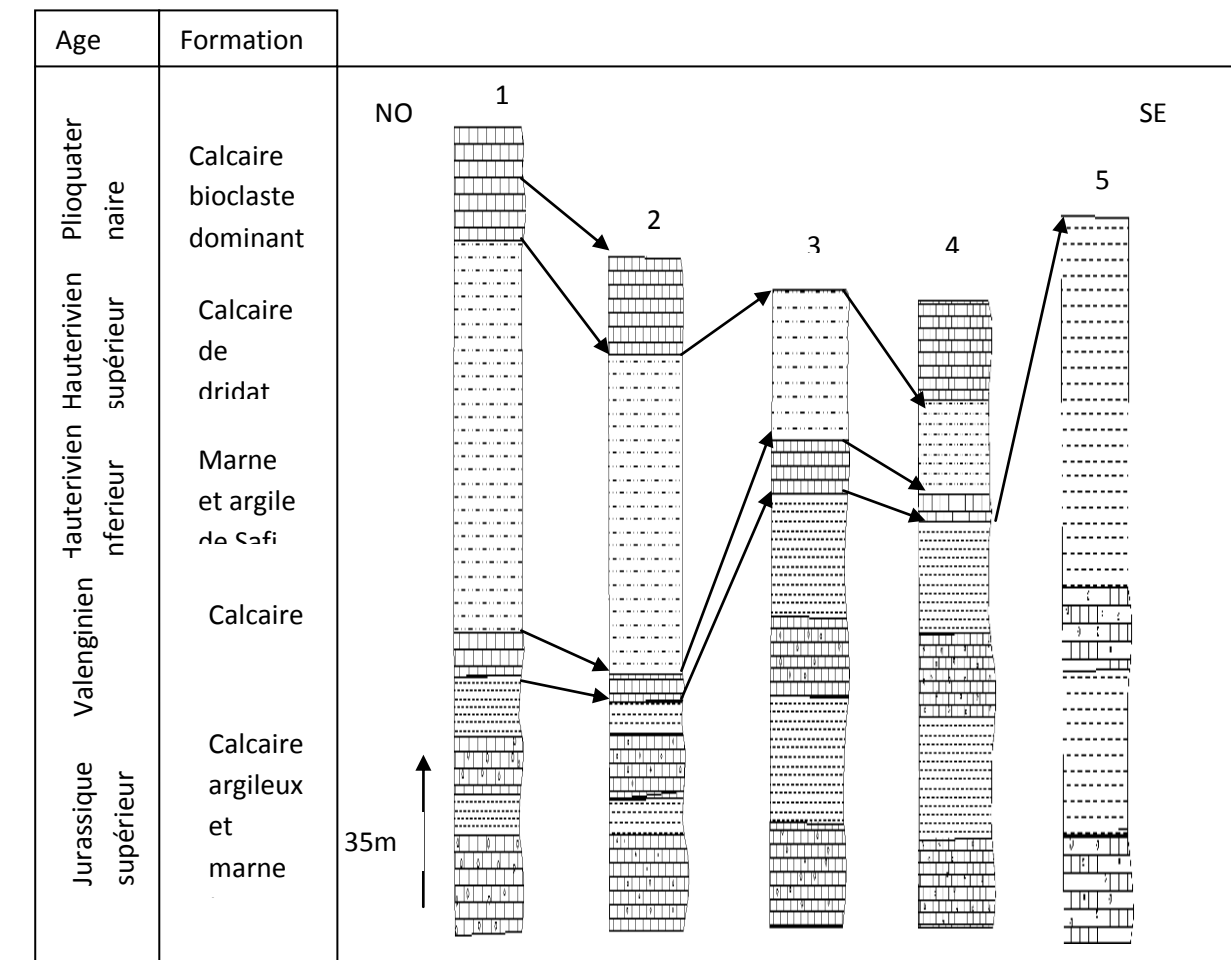
C'est les calcaires de plioquaternaire qui affleure. C'est une zone stable.



**Fig 17. Log lithologique 5 au niveau de la zone des usines de gypse route de Sebt Gazoula.**

C'est les marnes à gypse du jurassique supérieur qui affleure avec une épaisseur importante .C'est une zone instable.

- **Le jurassique** : seul le jurassique supérieur est présent. il est caractérisé par des calcaires et marno-calcaires avec des intercalations des niveaux gypseux.
- **Le crétacé inférieur** : montre de nombreuses variations d'épaisseurs et présente un substratum pour les terrains les plus récents dans toute la région. Dont on peut distinguer du bas vers le haut :
  - Les calcaires fossilifères du valanginien supérieur.
  - Les marnes et argiles gypsifères, appelés les argiles de Safi, du hauterivien inférieur.
  - Les calcaires de dridat (calcaire blanc à grain fin de dendrites.ces calcaires sont généralement fissurés et karstifiés (Roch 1930. Gigout 1951. et Witam 1988).
- **Le plioquaternaire** : caractérisé par la dominance du calcaire à bioclaste.



**Fig 20. Variations latérales de la formation des sols gonflants de Safi.**

(1: Borj Nador ; 2: Le Port ; 3: le Plateau ; 4: Djenan zitoun ; 5: Sebt Gazoula)

Les études scientifiques sur la province de Safi ont montré que le problème de gonflement est lié principalement aux variations volumétriques du sol marneux.

De point de vue géotechnique, les dépôts marneux ou les marnes de Safi sont souvent présents dans la zone urbaine de Safi. C'est cette dernière qui est caractérisée par une instabilité qui produise des problèmes au niveau des constructions.

### IV-3) Essais réalisés sur l'échantillon 1

Effectue sur un échantillon (13-240-s150-1)

#### IV-3-1) ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Effectue suivant une méthode par tamisage à sec après lavage ; conformément à la norme : P94-056.

Tamis mm	Masse refus cumulé g	%massique	
		Refus cumulé r	Tamisât cumulé p
<b>50</b>	<b>241.1</b>	<b>2.9</b>	<b>97.1</b>
40	441.8	5.3	94.7
31.5	842.6	10.1	89.9
25	1095.7	13.2	86.8
20	1319.3	15.9	84.1
16	1496.7	18	82
12.5	1711.3	20.6	79.4
10	1934.3	23.3	76.7
8	2125.6	25.6	74.4
6.3	2242.3	27	73
5	2422.1	29.1	70.9
2.5	2774.4	33.4	66.6
2	2814.0	33.8	66.2
1.25	3097.3	37.3	62.7
0.630	3459.1	41.6	58.4
0.315	3869.3	46.5	53.5
0.160	4192.4	50.4	49.6
<b>0.08</b>	<b>4369.8</b>	<b>52.6</b>	<b>47.4</b>
Masse sèche totale=8314 g			

Tableau 7. Résultats d'analyse granulométrique sur l'échantillon 1.

Refus cumulé=masse refus cumulé/masse sèche totale.

Tamisât cumulé=100%-refus cumulé.

Les résultats obtenus sont représentés sous forme de graphique.

#### IV-3-2) LIMITES D'ATTERGERG AU PENETROMETRE A CONE.

Effectuee conformément à la norme NF P 94-052-1.

	Limite de liquidité WL=36%				Limite de plasticité WP=25.3%	
	21.6	17.6	14	12.1		
Enfoncement (mm)	21.6	17.6	14	12.1		
Numéro de la tare	13	F	G8	7	61	1X
Poids total humide (PTS)(g)	40.35	46.46	48.21	48.36	23.19	22.37
Poids total sec (PTS)(g)	33.65	39.13	40.70	40.79	22.20	21.43
Poids de la tare (g)	16.40	18.65	18.56	17.78	18.35	17.75
Poids de l'eau (g)	6.7	7.33	7.51	7.57	0.99	0.92
Poids du sol sec (PSS)(g)	17.25	20.48	22.14	23.01	3.85	3.70
Teneur en eau W %	38.8	35.79	33.92	32.90	25.71	24.86
					IP=10.7%	

Tableau 8. Résultats concernant les limites d'ATTERBERG de l'échantillon 1.

#### Méthodes de calcul :

- Poids de l'eau =PTH-PTS.
- PSS=PTS-poids de la tare.
- $W = (\text{poids de l'eau}/\text{PSS}) \times 100$ .
- WP=la moyenne des deux valeurs obtenue.
- WL = la projection, de l'intersection du l'enfoncement 17 avec la courbe, sur l'abscisse.
- $IP = WL - WP$ .

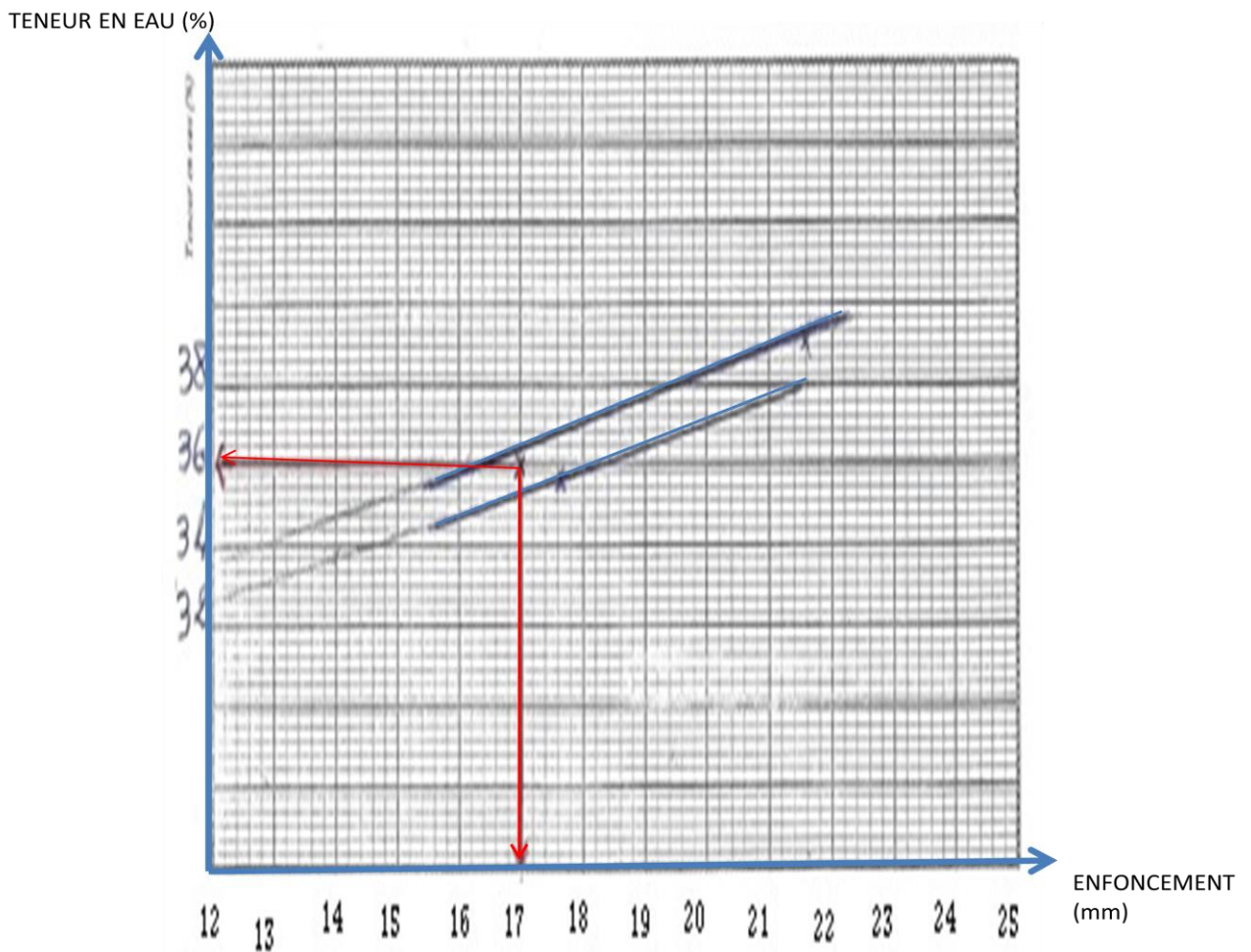


Fig 22. Courbe de liquidité de l'échantillon 1.

#### IV-3-4) ESSAI PROCTOR (NF P 94-093).

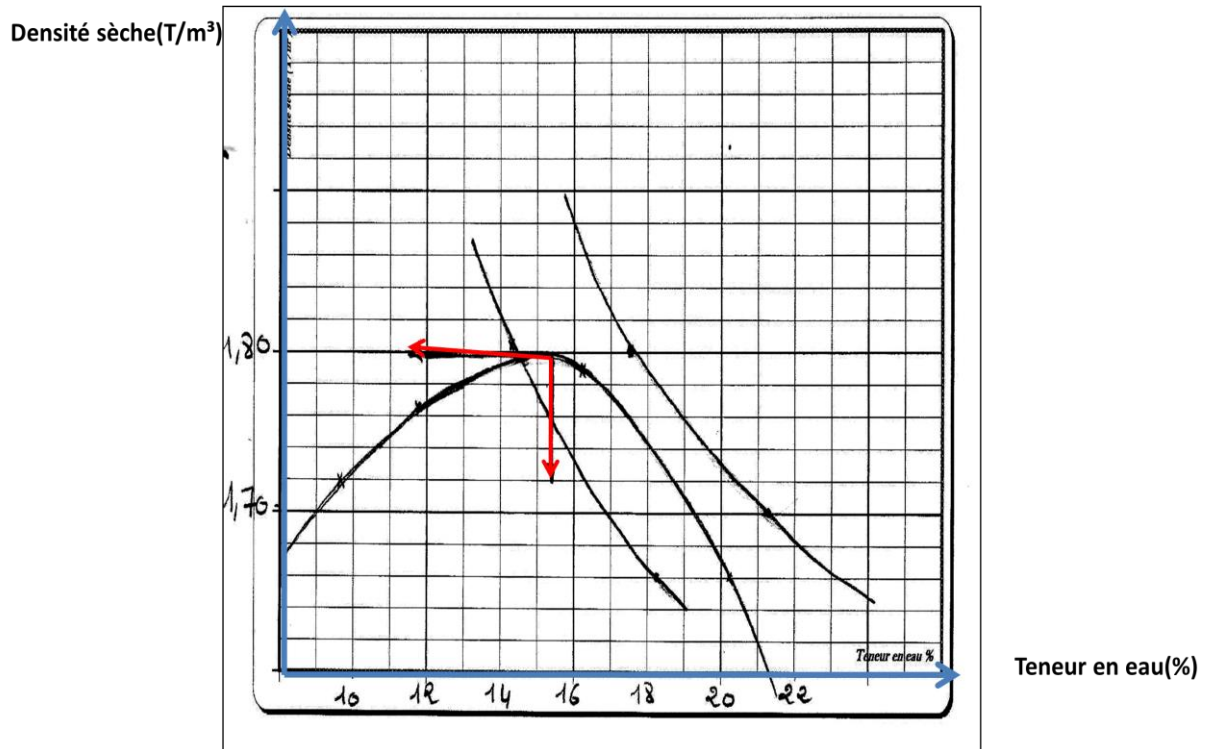
Type : Proctor modifié et le compactage est automatique.

- Teneur en eau de l'échantillon en l'état=4.8%
- Poids total (sol+eau) pour chaque point=5600g
- Durée de conservation en sacs étanches : 5h

teneur en eau visée (%)	10	12	14	16
poids de l'eau ajouté (g)	336	448	672	896
poids total humide(g)	8020.2	8208.3	8400.5	8273.8
poids du moule(g)	3739.6	3739.6	3653.6	3731.7
poids du sol humide(g)	4280.6	4468.7	4746.4	4542.1
volume du moule (cm <sup>3</sup> )	2270	2270	2270	2270
densité humide (g/cm <sup>3</sup> )	1.886	1.968	2.09	2.00
poids humide	426.5	455.4	347.8	342.5
poids sec(g)	389.5	407	298.8	285.2
teneur en eau corrigée (%)	9.5	11.9	16.4	20.1
densité sèche (g/cm <sup>3</sup> )	<b>1.72</b>	<b>1.76</b>	<b>1.79</b>	<b>1.66</b>
teneur en eau optimal (%)	<b>16.1</b>			
densité sèche max (g/cm <sup>3</sup> )	<b>1.79</b>			

**Tableau 9. Résultats d'essai Proctor sur l'échantillon1.**





Ref.Echant	Nature	$\gamma_{d_{max}}$ ( $t/m^3$ )	$W_{opt}$ (%)
échantillon 1	Marnes	1,80	15,4

Fig 23. Courbe Proctor pour l'échantillon 1

IV-3-4) DETERMINATION DE LA TENEUR EN CARBONATE DE CALCIUM (NF P946048).

	Matériau de référence	Prise d'essai (1)	Prise d'essai (2)
la température de la salle d'essai T1 (matériau de référence) °C	20		
LA température de la salle d'essai T2(ECHANTILLON) °C		25	25
poids de la prise d'essai du matériau de référence m1(g)	0.398		
volume du co2 dégagé par le matériau de référence V1 (ml)	137		
poids de la prise d'essai de l'échantillon m2(g)		0.490	0.3903
volume du co <sub>2</sub> dégagé par la prise d'essai V2 (ml)		113	92
la teneur en CaCO <sub>3</sub> = [(m1/m2)*(V2/V1)*((T1+273)/(T2+273))*100%		65.87	67.33
La teneur moyenne en CaCO <sub>3</sub> = <b>66.6%</b>			

Tableau 10. Résultat d'essai CaCO<sub>3</sub> sur l'échantillon 1

Cet échantillon contient 66.6% de CaCo3 ; alors il est moyennement carbonaté. (50%<TCaCo3<70%).

## IV-4) Essais réalisés sur l'échantillon 2

### IV-4-1) ANALYSE GRANULOMETRIQUE.

Tamis (mm)	Masse refus cumulé (g)	Pourcentage massique	
		Refus cumulé r	Tamisât cumulé p
2	0.9	0.12	99.88
1.25	1.6	0.23	99.77
0.630	2.2	0.32	99.68
0.315	5.3	0.76	99.24
0.160	7.6	1.09	98.91
<b>0.08</b>	<b>8.0</b>	<b>1.15</b>	<b>98.85</b>
Masse sèche totale Ms=693.7 g			

Tableau 11. Résultat d'analyse granulométrique sur l'échantillon 2

### IV-4-2) LIMITES D'ATTERBERG AU PENETROMETRE A CONE.



	Limite de liquidité WL= <b>39.5%</b>				Limite de plasticité= <b>25.6%</b>	
Enfoncement (mm)	21	18.7	16.5	12.5		
Numéro de la tare	A	E	B	R2	S	C3
Pois total humide(g)	43.66	48.72	43.52	40.67	20.65	20.24
Poids total sec (g)	36.34	39.98	35.83	34.54	19.8	19.58
Poids de la tare (g)	19.11	18.34	16.09	16.96	16.45	16.93
Poids de l'eau (g)	7.32	8.74	7.69	6.13	0.85	0.66
Poids du sol sec (g)	17.23	21.64	19.74	17.58	3.35	2.65
Teneur en eau %	42.48	40.38	38.95	34.86	25.37	24.90
						<b>IP=14%</b>

Tableau 12. Résultats de limites d'ATTERBERG obtenue pour l'échantillon 2

Normalement les sols marneux ont des valeurs de limite de plasticité >20%, mais dans notre cas on a trouvé des valeurs < 20 car on a travaillé sur des échantillons tuffacés.



Fig25. Courbe de liquidité de l'échantillon2

#### IV-4-3) ESSAI AU BLEU DE METHYLENE D'UN SOL (VBS).

Masse humide de l'échantillon(g) <b>Mh2= 75</b>			Teneur en eau de l'échantillon
Masse sèche de l'échantillon (g) <b>Ms2=72,5</b>			<b>W= (Mh2-Ms2)/Ms2=3,4%</b>
Masse de la prise d'essai (g) <b>Mh1=40</b>			Masse sèche de la prise d'essai
Volume solution injectée (ml)			<b>Mo=Mh1/ (1+W)=38,68</b>
10	10	15	volume final de solution injecté
10	10	5	
10	10	2	Masse du bleu introduite en (g)
10	10		<b>b=V*0,01=1,02</b>
Matériaux dont Dmax <5mm			
<b>VBS= (b/Mo)*100=2,64</b>			

Tableau 13. Résultats VBS obtenue pour l'échantillon 2

#### IV-4-4) ESSAI CaCO<sub>3</sub>.

	Matériau de référence	Prise d'essai (1)	Prise d'essai (2)
La température de la salle d'essai T1 (matériau de référence) °C	20		
LA température de la salle d'essai T2(ECHANTILLON) °C		25	25
Poids de la prise d'essai du matériau de référence m1(g)	0.398		
Volume du co <sub>2</sub> dégagé par le matériau de référence V1 (ml)	137		
Poids de la prise d'essai de l'échantillon m2(g)		0.3467	0.4848
volume du co <sub>2</sub> dégagé par la prise d'essai V2 (ml)		21	27
La teneur en CaCO <sub>3</sub> = [(m1/m2)*(V2/V1)*((T1+273)/ (T2+273))*100%		17.3	15.90
La teneur moyenne en CaCO <sub>3</sub> =16.6%			

**Tableau 14. Résultats CaCO<sub>3</sub> obtenue pour l'échantillon 2**

**Cet échantillon contient 16.6 % de CaCO<sub>3</sub>, alors il est faiblement carbonaté.**

#### IV-4-5) MASSE VOLUMIQUE DES SOLS FINS AU LABORATOIRE. (Méthode par peser hydrostatique.)

La masse volumique d'un sol est le quotient de la masse m du sol par le volume v qu'il occupe.

Masse dans l'air de l'échantillon avant paraffinage	M=269.04g
Masse dans l'air de l'échantillon paraffiné	Mp=272.93
Masse dans l'eau de l'échantillon paraffiné	M'p =139.1g
Masse paraffine: mps=mp-m	Mps=3.89g
Volume paraffine; vps=mps/0,88	Vps=4.42dm3
Volume échantillon= (mp-m'p)-vps	V=126.41dm3
Masse volumique du sol	<b>&amp;h=m/v=2.08kg/m3</b>

**Tableau 15. Résultats de la masse volumique pour l'échantillon 2**

Malheureusement on n'a pas l'occasion de réaliser d'autres essais sur ces deux échantillons (1et2) ; telle que les essais mécaniques (l'eodomètre, cisaillement)...à cause du manque du temps et l'absence des machines

#### **IV-5) Essais réalisés sur l'échantillon 3**

Effectué sur un échantillon de marne rouge verdâtre qui a été prélevé au niveau du puits P4 pour faire l'objet d'essais de laboratoire dans le cadre de réalisation du théâtre régional de Safi.

Référence échantillon	Caractéristique physiques						Caract. Mécaniques		Carac.oedométrique		
	W %	Ad(T/m3)	WL %	IP %	%>2 (mm)	%<0.08 (mm)	Cohésion (bars)	Angle Ccu	Ap (bars)	lc	lg
Echantillon 3	16	1.82	59	29	7	85	0.45	22	18	0.17	0.06

**Tableau 16.Récapitulation de l'ensemble des résultats des essais réalisés sur l'échantillon 3. (Rapport interne LPEE).**

# **CHAPITRE V) INTERPRETATION ET DISCUSSION**

## V-1) Classification des sols de la zone de Safi

Pour l'échantillon 1 on a :

- $D_{MAX} \leq 50$  mm.
- et passant à  $80 \mu\text{m} > 35\% (=47.4\%)$

Donc, selon la classification GMTR (voir annexe), il appartient à la classe A (sols fins). Dans ce cas la valeur d' $I_p$  est à retenir comme base de classification. et on a :

- $I_p = 10.7$
- $W_L = 36$ .

Et donc il appartient à la classe des limons et sols organique peu plastique.

L'analyse granulométrique de l'échantillon 2 : transmis sur une répartition granulaire caractérisé par un pourcentage des fines de plus de 99.8%. D'après les normes de classification, cet échantillon fait état à un sol très fin.

Pour cet échantillon on a :

- $D_{max} < 50$  mm
- $VBS = 2.64$ .
- passant à  $80 \mu\text{m} = 98.85$ .

Donc, selon les normes de classification (voir annexe), il appartient aux classe A (sols fins), plus particulièrement le sous classe A2 (sables fin argileux ; limons argileux et marne peu plastique).

Dans ce cas l'intervention de la valeur d' $I_p$  est à retenir comme base de classification. et on a :

- $I_p = 14$
- $W_L = 39.5$ .

Et donc il appartient à la classe des argiles, ou marne, peu plastiques (AP).

Pour l'échantillon 3 on a :

- Un pourcentage des fines de 85% (plus que  $50\% < 80 \mu\text{m}$ ).
- $I_p = 29$ .
- $W_L = 59$ .

Donc et selon la classification LPC (voir annexe 1) cet échantillon fait état d'un sol très plastique.



## V-2) Identification des sols gonflants de la zone de Safi

	Echantillon1	Echantillon 2	Echantillon 3
Ip (%)	10.7	14	29
S (%)	0.2	0.4	2
WL (%)	36	39.5	59

Tableau 17. Récapitulation des résultats nécessaires pour l'identification

$$S = 10^{-5} Ip^{2.24}$$

### V-2-1) IDENTIFICATION BASEE SUR UN SEUL PARAMETRE

- L'identification de Snethen (1980) :

Ip (%)	Potentiel de gonflement
> 35	Très élevé
22 – 48	Elevé
22 – 32	Moyen
< 18	Faible

Tableau 18. Valeur d'identification de Snethen

Pour les échantillons 1 et 2 : on a  $Ip < 18$  donc ces deux types de sols sont caractérisés par un potentiel de gonflement faible d'après la classification de Snethen.

Pour l'échantillon 3 : on a  $22 < Ip < 32$  donc cet échantillon à un potentiel de gonflement moyen.

## V-2-2) IDENTIFICATION BASEE SUR DEUX PARAMETRES

- Identification de Seed, Woodward et Lungreen(1962) :

Taux de gonflement	S (%)	$I_p$
Faible	0 - 1,5	0 - 10
Moyen	1,5 - 5	10 - 20
Elevé	5 - 25	20 - 35

Tableau 19. Valeur d'identification selon Seed, Woodward et lungreen

Pour les échantillons 1 et 2 on a :  $0 < S < 1.5$  et  $10 < I_p < 20$ , donc d'après cette classification les sols représentés par ces deux échantillons ont un potentiel de gonflement faible à moyen.

Les sols représentés par l'échantillon 3 : ont un potentiel de gonflement moyen à élevé. les échantillons

- Identification de Dakshanamurphy et Raman (1973) : représenté par le diagramme Casagrande qui est divisé par la ligne A en zones des sols gonflant au dessus et zones des sols non gonflant au dessous.

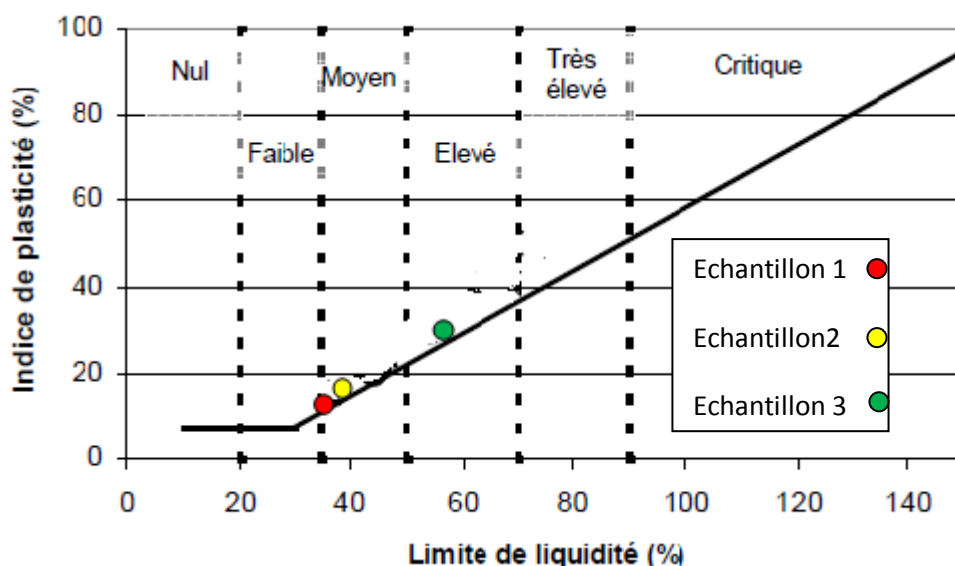


Fig 26. Classification de Dakshanamurphy et Raman (1973).

D'après cette classification les échantillons 1 et 2 ont un potentiel de gonflement moyen et l'échantillon 3 à un potentiel élevé.

Pour conclure on peut dire que : les échantillons 1 et 2 ont un potentiel de gonflement faible à moyen, et l'échantillon 3 a un potentiel de gonflement élevé.

### V-3) Discussion générale

Le tableau ci après indique les plages des valeurs des caractéristiques géotechniques des sols gonflant de Safi selon des essais réalisés au sein du laboratoire public d'essai et d'étude dans le cadre de projet de bâtiment dans la ville de Safi (rapport interne de LPEE Safi). Il représente aussi les caractéristiques géotechniques de la formation des marnes et argiles située au niveau des logs lithologiques étudiés.

Caractéristiques	Sols gonflants	
	Valeurs Min	Valeurs Max
Teneur en eau (%) : W	08	25
Densité sèche(t/m <sup>3</sup> ) : yd	1.60	2.10
Limite de liquidité (%) : WI	40	65
Limite de plasticité : IP	16	36
Elément de D≥2mm : %	00	20
Elément de D≤à=0.08mm : %	70	100
Cohésion C :(bars)	Cu=0.35 C'=0.30	Cu=1.80 C'=1.30
Angle de frottement interne $\Theta$ : °	0.0	15
Contrainte de pré consolidation $\sigma_p$ :(bars)	1.20	3.00
Pression de gonflement $\sigma_p$ :(bars)	1	3.00
Indice de compressibilité	0.05	0.25
Indice de gonflement I <sub>g</sub>	0.035	0.08

Tableau 20.Les plages des valeurs des caractéristiques des sols gonflants de Safi.

Certains sols sont considérés gonflants lorsque l'indice de gonflement  $I_g$  est supérieur à 0.04.

D'après le tableau 20; on remarque que les marnes de Safi présentent les caractéristiques géotechniques des sols gonflants ( $I_g > 0.04$ ).

Les résultats obtenue (tableau 20) ont montré que :

Les marnes de Safi présentent une compacité très élevée  $\gamma_d$  compris entre 1.6 et 2.10 T/m<sup>3</sup> pour une teneur en eau compris entre 8 et 25 %.

L'analyse granulométrique donne une répartition granulaire caractérisée par un pourcentage des fins qui peuvent atteindre 100% contre une valeur, qui varie entre 0 et 20%, des éléments de diamètre supérieur à 2 mm.

Les limites d'ATTERBERG ; limite de liquidité (WL) et limite de plasticité (IP) dont WL varie entre 40 et 65 et IP varie entre 16 et 36 font état d'un sol très plastique.

L'essai eodométrique qui nous on donné les valeurs de contrainte de préconsolidation (bars), de l'indice de compressibilité et de l'indice de gonflement, a montré qu'il s'agit d'un sol très gonflant et peu à moyennement compressible.

# Conclusion

---

L'étude géotechnique des sols gonflants de la région de Safi est faite à base des résultats des essais réalisés sur trois échantillons de nature marneuse.

Les échantillons 1 et 2 ont été prélevés au niveau de la région de Safi (village) et le troisième échantillon a été prélevé au niveau de la zone urbaine (cartier du plateau).

Les échantillons 1 et 2 ont un potentiel de gonflement faible à moyen et l'échantillon 3 à un potentiel élevé. Ces résultats ont montré que même si les trois échantillons appartiennent à la même province, ils possèdent des caractéristiques géotechniques différentes. Ils ont montré aussi que le problème de gonflement est plus intense au niveau de la zone du Plateau qu'au niveau des villages étudiés.

D'un point de vue géotechnique les zones où l'on trouve les affleurements de la formation marneuse connue par marnes et argiles de Safi sont considérés instables et sont menacées par le phénomène de gonflement qui représente un danger au niveau des constructions.

Pour cette raison nous avons effectué des logs lithologiques pour déterminer les zones d'affleurement de la formation marneuse avec ses épaisseurs. D'après ces logs on constate qu'elle affleure au niveau du plateau (zone administrative de la ville de Safi) donc cette zone est considérée instable.

Le climat de Safi semi aride favorise le changement des taux de gonflements des sols.

Etant donné la nature des sols qui est caractérisée par ses fortes variations d'épaisseur et par des caractéristiques géotechniques des sols très gonflants (tableau 20) et dans le but d'assurer une bonne continuité de notre étude, nous recommandons de prendre en compte les dispositions constructives proposées par les ingénieurs du laboratoire public d'essai et d'étude, et de faire les réparations demandés alentour des anciennes constructions afin de limiter le développement des problèmes des gonflements.

# Références bibliographiques

---

- Bahij A. (Aout 2000) Etude géotechnique de fondation : projet de théâtre régional/Safi .*Rapport interne LPEE pp 2-3.6p.*
- Carte géotechnique de Safi.
- Classification des sols, NF P 11 300 et G.T.R.Chapitre 3.
- Djedid A. (2007) L'identification des sols gonflants : pour une démarche unifiée. *Article pp 2-4. 8p*
- Ejjaouani H. (Juillet 2008) Interactions des fondations et des sols gonflants pathologie, calculs et études expérimentales 2008.*thèse géotechnique pp.15-35.243p.*
- Géotechnique des fondations(2001): *rapport interne de LPEE* (partie 5).
- Géotechnique des fondations(2001) : *rapport interne de LPEE*. (dossier : 00-241-06-078EG/001).
- Ighil A. (2008) La gouvernance urbaine de l'eau et l'accès aux services de base des quartiers précaires cas de la ville de Safi(Maroc).*mémoire de 3ème cycle.. Morphologie urbaine et contraintes d'aménagement. partie C.*
- Les bassins côtiers d'ElJadida-Safi(2009) .pp 239-241.
- Ministre de l'agriculture, du développement rural et des pêches maritimes. et institut national de recherche agronomique(INRA).vocation agricole des terres de la zone de Safi. *Rapport et cartes-mars 2007.pp 8-14. 29p.*
- Norme d'essai et d'étude :
  - NF P 94-068(Octobre 1998).
  - NF P94-053(Octobre1991).
  - NF P94-052-1(Novembre 1995).
  - NF P94-056(Mars 1996).
- Système de gestion d'information scientifique dans la région de sahel Doukkala Maroc (SADIN 2005).*Rapport sur la géologie.*
- site internet :
  - [www.arvor géotechnique.](http://www.arvor.géotechnique)
  - [www.LPEE.ma](http://www.LPEE.ma)
  - [www.météo Safi : meteocity.com](http://www.météo Safi : meteocity.com)
  - [www.svt.ac-versailles.fr](http://www.svt.ac-versailles.fr)
  - [www.lut –st pierre-département génie civil.](http://www.lut –st pierre-département génie civil)
  - [www.google Maps. \(Imagerie @2014/spot image .terra matrices .Donne cartographique 2013/04/10\).](http://www.google Maps. (Imagerie @2014/spot image .terra matrices .Donne cartographique 2013/04/10).)

# Liste des figures

---

Fig 1. Répartition du capital LPEE

Fig 2. Localisation des zones des sols gonflants au Maroc

Fig 3. Différents structure d'argiles

Fig 4. Vitesse d'absorption de l'eau dans les sols argileux

Fig 5. Carte de situation de la zone d'étude

Fig 6. Pluviométrie et température à Safi

Fig 7. Carte pédologique de la zone de Safi

Fig 8. La période de croissance végétative de la ville de Safi pendant les années sèches

Fig 9. La période de croissance végétative pendant les années moyennes.

Fig 10. Période de croissance végétative pendant les années humides

Fig 11. Schéma de manipulation de l'essai Proctor

Fig 12. Cartes de localisation des logs lithologiques

Fig 13. Log lithologique de Borj Nador

Fig 14. Log lithologique du port

Fig 15. Log lithologique de la zone du Plateau

Fig 16. Log lithologique de Djenan Zitoun

Fig 17. Log lithologique à niveau des usines de gypse route Sebta Gazoula

Fig 18. Variation latérale de la formation des sols gonflant de la ville de Safi

Fig 19. Courbe de liquidité de l'échantillon 1

Fig 20. Courbe Proctor pour l'échantillon 1

Fig 21. Courbe de liquidité de l'échantillon 2

# Liste des tableaux

---

Tableau 1. Caractéristiques géotechniques des sols étudiés

Tableau 2. Les différentes classifications d'argile selon les caractéristiques géotechnique

Tableau 3. Températures et précipitations moyennes mensuels Safi-Maroc

Tableau 4. Les nappes souterraines de la province de Safi

Tableau 5. Série des tamis

Tableau 6. Récapitulation des essais réalisés sur les échantillons

Tableau 7. Résultats d'analyse granulométrique sur l'échantillon 1.

Tableau 8. Résultats concernant les limites d'ATTERBERG de l'échantillon 1.

Tableau 9. Résultats d'essai Proctor sur l'échantillon 1.

Tableau 10. Résultat d'essai  $\text{CaCo}_3$  sur l'échantillon 1.

Tableau 11. Résultat d'analyse granulométrique sur l'échantillon 2

Tableau 12. Résultats de limites d'ATTERBERG obtenue pour l'échantillon 2

Tableau 13. Résultats VBS obtenue pour l'échantillon 2

Tableau 14. Résultats  $\text{CaCo}_3$  obtenue pour l'échantillon 2

Tableau 15. Résultats de masse volumique pour l'échantillon 2

Tableau 16. Récapitulation de l'ensemble des résultats des essais réalisés sur l'échantillon 3

Tableau 17. Récapitulation des résultats nécessaires pour l'identification

Tableau 18. Valeur d'identification de Snethen

Tableau 19. Valeur d'identification selon Seed, Woodward et Lungreen

Tableau 20. Les plages des valeurs des caractéristiques des sols gonflants de Safi



# Notations

---

- $d_c$  : étant donné la dimension nominale d'ouverture du tamis sur le passant duquel est effectué un fractionnement.
- $d_m$  : est la dimension nominale d'ouverture du plus grand tamis utilisé lors de l'analyse granulométrique.
- WL : limite de liquidité.
- $I_p$  : indice de plasticité.
- WP : limite de plasticité.
- $I_s$  : indice de retrait.
- VBS : valeur de bleu de méthylène du sol.
- $I_g$  : taux de gonflement.
- $I_c$  : indice de compressibilité.
- P : pression de compressibilité.
- $W_{opt}$  : teneur en eau optimal.
- $TCaCO_3$  : teneur en  $CaCO_3$ .
- $A_{dmax}$  : densité sèche maximal.
- F : teneur en fine.
- SC1 : sondage 1.
- $\gamma_h$  : masse volumique du sol.
- Ad : compacité de l'échantillon.
- $A_p$  : pression de préconsolidation.
- Ccu : angle de frottement interne.
- $D_{max}$  : dimension maximal.
- AP : argile plastique.
- S : le taux de gonflement ou le pourcentage de gonflement
- GMTR : (guide des tassements routiers) une classification des matériaux utilisables dans la construction ; elle permet de définir la classe du matériau a partir des résultats des plusieurs types d'essais.

# Les annexes

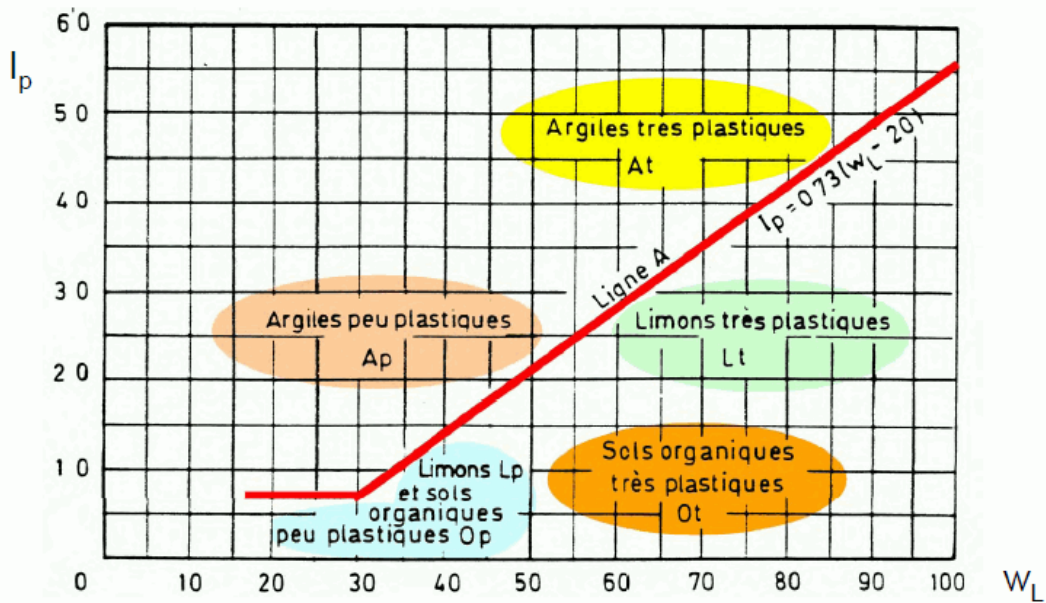
## Classification GMTR

CLASSE	Définition	Caractéristique	Sous-classe
<b>A</b>	Sols fins	$D_{\max} \leq 50 \text{ mm}$ et passant à $80 \mu\text{m} > 35 \%$	A1 à A4 selon VBS ou Ip
<b>B</b>	Sols sableux et graveleux avec fines	$D_{\max} \leq 50 \text{ mm}$ et passant à $80 \mu\text{m} \leq 35 \%$	B1 à B6 selon VBS ou Ip et tamisat
<b>C</b>	Sols comportant des fines et des gros éléments	$D_{\max} > 50 \text{ mm}$ et passant à $80 \mu\text{m} > 12 \%$ ou passant à $80 \mu\text{m} \leq 12 \% + \text{VBS} > 0,1$	30 sous-classes selon VBS, Ip et tamisat à 50 mm
<b>D</b>	Sols insensibles à l'eau avec fines	$\text{VBS} \leq 0,1$ et passant à $80 \mu\text{m} \leq 12\%$	D1 à D3
<b>R</b>	Matériaux rocheux	voir la norme NF P 11-300	
<b>F</b>	Sols organiques et sous-produits industriels	voir la norme NF P 11-300	

$D_{\max}$  = diamètre pour lequel 95 % des grains du sol ont une dimension inférieure (soit  $D_{95}$  si la courbe granulométrique est disponible, sinon appréciation visuelle de la dimension des plus gros éléments).

### Sols fins :

Limites d'Atterberg → critère de plasticité.

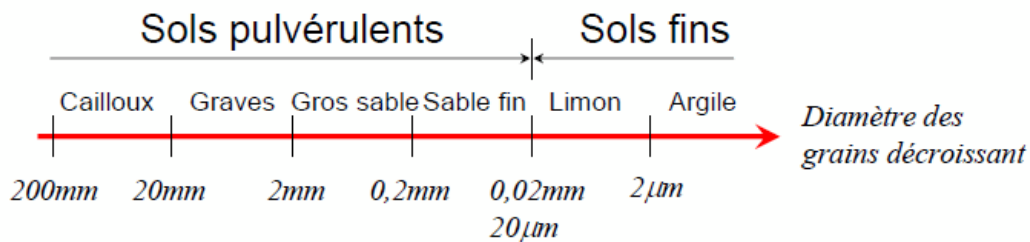


**Classification LPC** → à partir des résultats fournis par :

- la granulométrie
- les caractéristiques de plasticité de la fraction fine (Atterberg)

**Sols à granulométrie uniforme :**

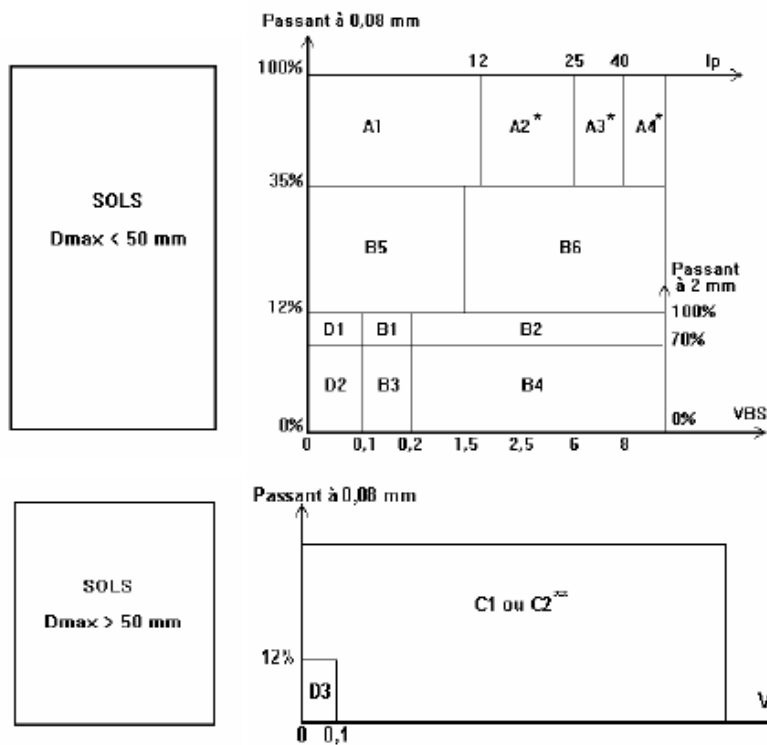
Classification reposant sur le diamètre moyen des grains



**Sols à granulométrie non uniforme :**

- Majorité des cas
- Trois types de sols :
  - sols grenus : 50% > 80 µm
  - sols fins : 50% < 80 µm
  - sols organiques : > 10%

**Tableau synoptique de classification des matériaux selon leur nature**



<b>MATERIAUX ROCHEUX</b>	Roches sédimentaires	Roches carbonatées	Craies	R1
			Calcaires	R2
		Roches argileuses	Marnes, argilites, pélites...	R3
		Roches siliceuses	Grès, poudingues, brèches...	R4
	Roches salines	Sel gemme, gypse	R5	
	Roches magmatiques et métamorphiques	Granites, basaltes, andésites..., gneiss..., schistes métamorphiques et ardoisiers...		R6
<b>MATERIAUX PARTICULIERS</b>	Soils organiques, sous-produits industriels			F

\* Matériaux pour lesquels la mesure de l' $I_p$  est à retenir comme base de classement. Pour les autres matériaux on utilisera la **VBS**.

## Classification des sols fins (classe A)

Classement selon la nature				Classement selon l'état hydrique	
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous classe fonction de la nature	Paramètres d'état	Sous classe fonction de l'état
D <sub>max</sub> ≤ 50 mm et Tamisat à 80 μm > 35%	A	VBS ≤ 2,5 <sup>(1)</sup> OU I <sub>p</sub> ≤ 12	<b>A<sub>1</sub></b> Limons peu plastiques, loess, silts alluvionnaires, sables fins peu poileux, arènes peu plastiques...	IPI <sup>(1)</sup> ≤ 3 OU W <sub>n</sub> ≥ 1,25 W <sub>OPN</sub>	A <sub>1</sub> th
				3 < IPI <sup>(1)</sup> ≤ 8 OU 1,10 ≤ W <sub>n</sub> < 1,25 W <sub>OPN</sub>	A <sub>1</sub> h
				8 < IPI ≤ 25 OU 0,9 W <sub>OPN</sub> ≤ W <sub>n</sub> < 1,1 W <sub>OPN</sub>	A <sub>1</sub> m
				0,7 W <sub>OPN</sub> ≤ W <sub>n</sub> < 0,9 W <sub>OPN</sub>	A <sub>1</sub> s
			W <sub>n</sub> < 0,7 W <sub>OPN</sub>	A <sub>1</sub> ts	
		12 < I <sub>p</sub> ≤ 25 <sup>(1)</sup> OU 2,5 < VBS ≤ 6	<b>A<sub>2</sub></b> Sables fins argileux, limons, argiles et marnes peu plastiques arènes...	IPI <sup>(1)</sup> ≤ 2 OU I <sub>c</sub> <sup>(1)</sup> ≤ 0,9 OU W <sub>n</sub> ≥ 1,3 W <sub>OPN</sub>	A <sub>2</sub> th
				2 < IPI <sup>(1)</sup> ≤ 5 OU 0,9 ≤ I <sub>c</sub> <sup>(1)</sup> < 1,05 OU 1,1 W <sub>OPN</sub> ≤ W <sub>n</sub> < 1,3 W <sub>OPN</sub>	A <sub>2</sub> h
				5 < IPI ≤ 15 OU 1,05 < I <sub>c</sub> ≤ 1,2 OU 0,9 W <sub>OPN</sub> ≤ W <sub>n</sub> < 1,1 W <sub>OPN</sub>	A <sub>2</sub> m
				1,2 < I <sub>c</sub> ≤ 1,4 OU 0,7 W <sub>OPN</sub> ≤ W <sub>n</sub> < 0,9 W <sub>OPN</sub>	A <sub>2</sub> s
			I <sub>c</sub> > 1,3 OU W <sub>n</sub> < 0,7 W <sub>OPN</sub>	A <sub>2</sub> ts	
		25 < I <sub>p</sub> ≤ 40 <sup>(1)</sup> OU 6 < VBS ≤ 8	<b>A<sub>3</sub></b> Argiles et argiles mameuses, limons très plastiques...	IPI <sup>(1)</sup> ≤ 1 OU I <sub>c</sub> <sup>(1)</sup> ≤ 0,8 OU W <sub>n</sub> ≥ 1,4 W <sub>OPN</sub>	A <sub>3</sub> th
				1 < IPI <sup>(1)</sup> ≤ 3 OU 0,8 ≤ I <sub>c</sub> <sup>(1)</sup> < 1 OU 1,2 W <sub>OPN</sub> ≤ W <sub>n</sub> < 1,4 W <sub>OPN</sub>	A <sub>3</sub> h
				3 < IPI ≤ 10 OU 1 < I <sub>c</sub> ≤ 1,15 OU 0,9 W <sub>OPN</sub> ≤ W <sub>n</sub> < 1,2 W <sub>OPN</sub>	A <sub>3</sub> m
				1,15 < I <sub>c</sub> ≤ 1,3 OU 0,7 W <sub>OPN</sub> ≤ W <sub>n</sub> < 0,9 W <sub>OPN</sub>	A <sub>3</sub> s
			I <sub>c</sub> > 1,3 OU W <sub>n</sub> < 0,7 W <sub>OPN</sub>	A <sub>3</sub> ts	
		I <sub>p</sub> > 40 <sup>(1)</sup> OU VBS > 8	<b>A<sub>4</sub></b> Argiles et argiles mameuses, très plastiques...	Valeurs seuils des paramètres d'état, à définir à l'appui d'une étude spécifique	
				A <sub>4</sub> h	
				A <sub>4</sub> m	
				A <sub>4</sub> s	