

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Centre Universitaire Cheikh Laarbi Tbessi – Tébessa-
Institut des Sciences et de Technologie
Département Mines

Mémoire en vue de l'obtention de diplôme
de Magistère option Géotechnique

Thème

Phénomène de gonflement
constaté dans la ville d'El Kouif
Etude et remédiation

Présentée par :
KHENOUF Nadjette

Encadré par :
Dr:Mr SID Madani

Jury composée de :

Dr Mr HAMAMI / M

CU.SKIKDA, President

Dr Mr BOUMEZBAR / A

CU.TEBESSA, Examineur

Dr Mr HMIMED / M

CU.TEBESSA, Examineur

Promotion 2005/2007

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Centre Universitaire Cheikh Laarbi Tbessi – Tébessa-
Institut des Sciences et de Technologie
Département Mines

Mémoire en vue de l'obtention de diplôme
de Magistère option Géotechnique

Thème

Phénomène de gonflement
constaté dans la ville d'El Kouif
Etude et remédiation

Présentée par :
KHENOUF Nadjette

Encadré par :
Dr:Mr SID Madani

Promotion 2005/2007

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

(اللهم أرزقنا علماء نافعاً، ورزقاً طيباً، وعملاً متقبلاً)

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à ceux qui me sont les plus chers au monde, à ma mère et à mon père témoigne de ma grande reconnaissance pour tout ce qu'il ont fait pour moi depuis mon enfance, et qui n'ont cessés de me soutenir avec leurs grand amour et leurs sincères prières.

Ce travail est dédié à mon très cher frère Salim et à toutes mes sœurs qui m'ont toujours encouragés.

Je réserve une place particulière à mon fiancé SEDIRA /A.H qui n'a cessé de me guidé et m'orienté avec ses précieux conseils

Remerciement

Je remercie chaleureusement et avec mon grand respect et profonde gratitude notre professeur et frère, mon directeur de mémoire Dr : M^r SID MADANI qui m'a accordé sa confiance et son aide pour élaborer ce travail.

Mes vifs remerciements s'adressent à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation en particulier à D^r Hawam /A et D^r Hemila /L.

Je tiens à remercier tout les professeurs de l'institut mines et l'institut sciences de la terre en particulier à D^r : Boumezber /A & D^r : HMIMED /M.

Un grand remerciement à toutes les personnes qui m'ont aidé dans l'élaboration de ce travail.

A tout le membre du personnel de l'OPGI Tébessa, LTPE EST Tébessa et LNHC OUM EL BOUAGHI.

A M^r Boukoucha DHW Tébessa et à M^r KADER FERPHOS TEBESSA et à tous mes amis.

INTRODUCTION

Les dégradations du bâti et des infrastructures dues à la médiocrité des propriétés mécaniques du sol, sont des questions préoccupantes pour le développement de l'habitat et de l'urbanisme.

Pour y répondre, il est nécessaire de développer des stratégies d'études et d'évaluation permettant d'alimenter de façon fiable et optimale les outils de gestion des ouvrages, de mettre au point des stratégies durables de gestion du patrimoine, de rendre possible l'évolution de ce dernier pour l'adapter aux nouvelles fonctionnalités auxquelles il doit répondre.

Si les opérations classiques de relogement constituent une pratique courante pour répondre à ce type de problème, il n'en demeure pas moins qu'elles restent des solutions onéreuses pour le budget de l'Etat, et une alternative peu viable tant pour les relogés, que pour la consommation excessive de l'espace urbain.

Par ailleurs, l'action de réhabilitation des constructions nécessite à la fois d'autres formes de mobilisation, humaine et financière.

La recherche et les innovations devraient également viser les moyens de reconnaissance les plus économiques (permettant un diagnostic quantitatif des potentiels des dégradations compatibles avec les coûts de ce bâti traditionnel) ainsi que l'optimisation Technico-économique des mesures constructives (préventives pour le bâti neuf, ou ancien non dégradé), fonction des résultats des reconnaissances pour aider les constructeurs à trouver les modes de constructions les plus efficaces et les plus économiques pour s'adapter au terrain.

Pour répondre aux besoins et demandes des habitants, il est nécessaire d'entreprendre des travaux de recherches géotechniques,

Dans cette optique nous avons choisi une ville où les constructions sont sujet à des dégradations suite à la médiocrité des propriétés mécaniques du sol, nous allons essayer de faire un diagnostic géotechnique plus ou moins détaillé sur les causes de ces dégradations, d'essayer de limiter les zones de risque et de donner quelques solutions techniques afin de diminuer l'ampleur de ces dégradations.

Ce modeste travail est une première étape et un essai dans l'espoir de réaliser dans l'avenir des études géotechniques et des plans de prévention du risque communal, à travers le territoire de la wilaya et pourquoi pas à travers le territoire national.

PREAMBULE

La géotechnique joue un rôle primordiale et important dans le développement de l'Urbanisme et l'Aménagement du territoire. Malgré ça la majorité des P.D.A.U (Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme) et des P.O.S (Plan d'Occupation des Sols) architecturaux réalisés sont basés sur l'interprétation des cartes d'état major et sur un seul paramètre mécanique qui est la capacité portante, négligeant ainsi plusieurs paramètres géotechniques qui influent dans l'avenir sur la stabilité des constructions projetées.

L'un des phénomènes géotechniques qui jouent un rôle important dans la dégradation des constructions est le gonflement des sols.

La ville d'EL KOUIF; une commune juste sur la limite des frontières ALGERO-TUNISIENNES est une petite ville minière en cours d'extension, Une couverture financière importante de l'Etat est destinée à cette opération.

Ces dernières années plusieurs constructions dans cette ville sont sujet à des dégradations, les habitants souffrent des dommages causés par un phénomène dont ils ignorent l'entité.

Malheureusement la situation des PDAU (Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme) et POS (Plan d'Occupation des Sols) reste insuffisante dans la ville d'EL KOUIF et incomplète vue le manque d'une base d'étude géotechnique.

SITUATION DES P.D.A.U ET P.O.S

COMMUNE	ETUDES (P.D.A.U)			ETUDES (P.O.S)		
	INSCRITE	APPROUVEE	EN COURS	INSCRITE	APPROUVEE	EN COURS
EL-KOUIF	01	01	Révision PDAU	02	01	01

1^{ère} Partie

Présentation De La Ville D'El Kouif

A- HISTORIQUE

El Kouif, à 30 KM de Tébessa Village colonial, né grâce à la richesse de son sous-sol en phosphate, avec ses infrastructures industrielles florissantes, commerciales, sociales et culturelles, El Kouif, Le Kouif ou Petit Paris, comme on le surnommait à l'époque, se retrouve, après l'indépendance, après avoir été pressé comme un citron, une fois le gisement épuisé en 1978.

L'histoire de la ville d'EL KOUIF a commencé lors de la découverte de la mine de phosphate de Djebel EL KOUIF ainsi que le minerai de fer du Djebel OUENZA.

Après la deuxième guerre mondiale, exactement en 1946, la construction de l'agglomération a commencé par le village Espagnol, Ain El Bey et l'économat. Le cinéma, la poste, le café et le village étaient également de cette époque.

En premier lieu, la commune a été rattachée, en 1880, à la commune mixte de MORSOTT puis par l'application de l'arrêté du 1^{er} 1957, date à laquelle a été créée la commune mixte de GOURAYE. Cet arrêté a été modifié par le décret du 04 Août 1958 qui a opéré des modifications du territoire communal et a donné naissance à la commune mixte d'EL KOUIF, appellation par rapport au Djebel. Ce n'est qu'à partir de cette date qu' EL KOUIF est devenue une commune de plein exercice.

B- SITUATION

La commune d'EL KOUIF se situe dans la wilaya de TEBESSA à environ 30 km du chef-lieu (Figure :1). Elle est limitée par :

- Au Nord : la commune de Ain Zargua
- Au Sud : la commune de Tébessa, Bekkaria
- A l'Est : la frontière Algero-Tunisienne sur une distance de 26 km
- A l'Ouest : la commune de Boulhef Dyr

Le territoire communal s'étend sur une superficie de 257 KM².

EL KOUIF est compris entre les coordonnées géographiques :

8° 18' - 8° 21' EST
35° 28' - 35° 31' NORD

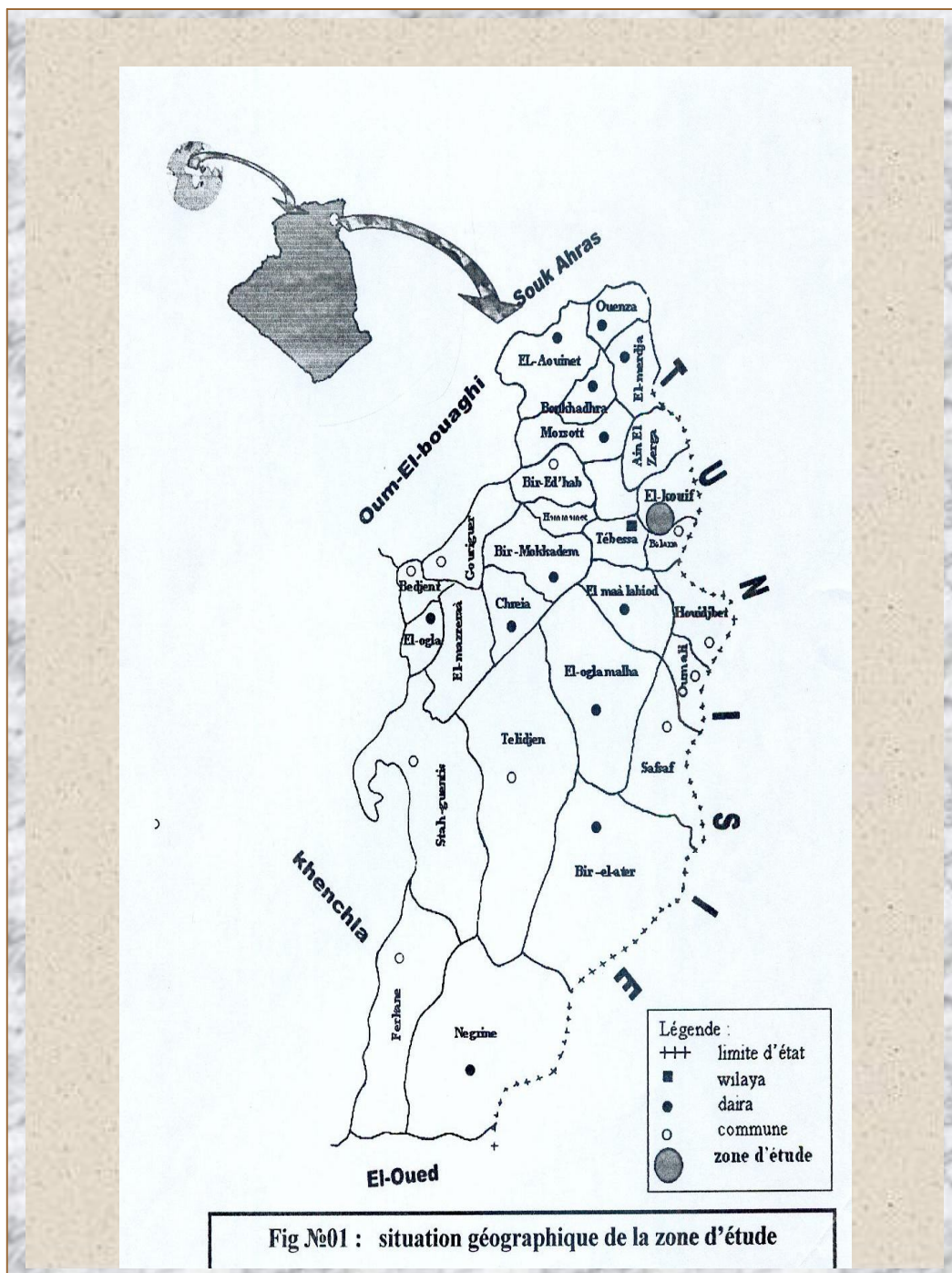


Fig N°01 : situation géographique de la zone d'étude

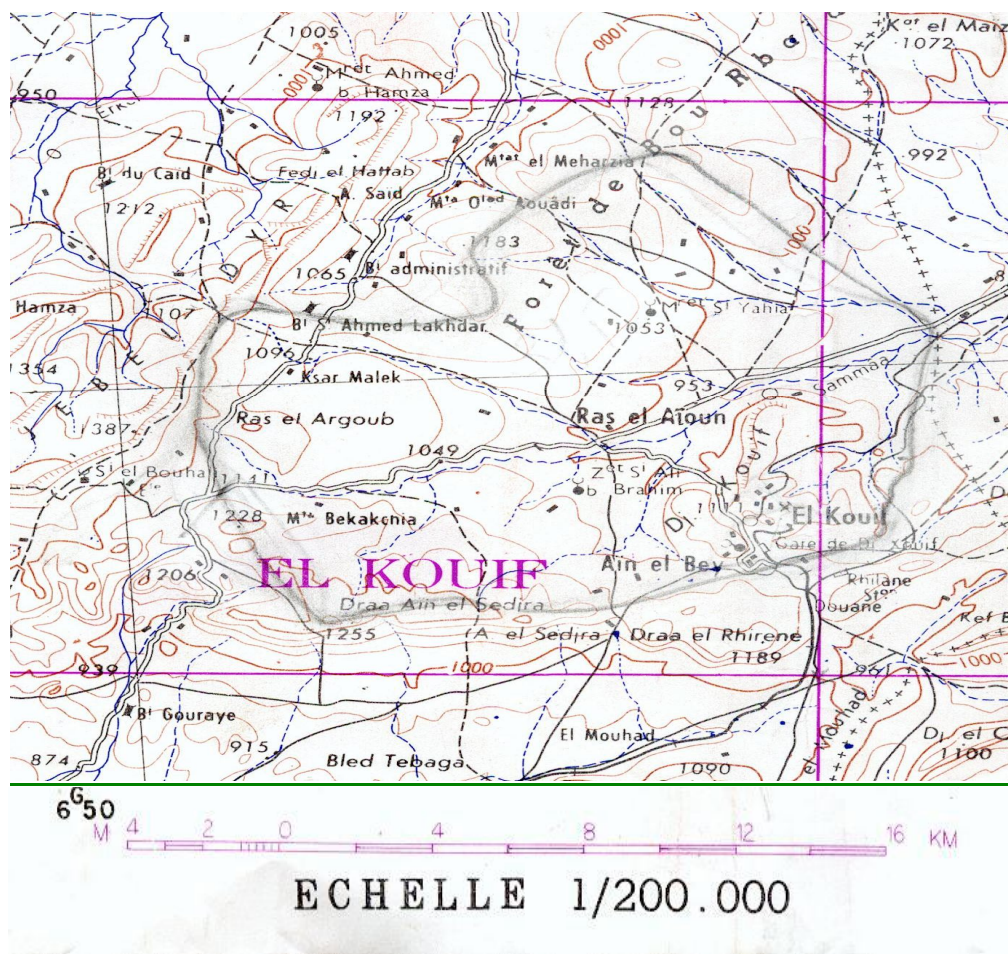


Fig : 2 - Situation administrative de la ville d'EL KOUIF

C- POPULATION

D'après les résultats du recensement de 1998, la ville d'EL KOUIF compte 8986 habitants. En 2005, la ville d'EL KOUIF compte 18.930 habitants

D- FORETS

Répartition des superficies forestières :

Commune	Superficies (ha)		TOT
	Forêt	Parcours	
El-Kouif	7.000	3.560	6,58

2^{ème} PARTIE

Impact Des Dégradations Des Ouvrages Géotechniques Dans La Ville D'El Kouif

Impact Des Dégradations Des Ouvrages Géotechniques Dans La Ville D'El Kouif

Introduction

Les ouvrages superficiels sujets au gonflement sont principalement les fondations et les murs de soutènement des bâtiments. Parmi ces derniers, des maisons individuelles construites sans mesures de précaution sur des sols gonflants présentent des dégradations et des fissures au niveau des murs porteurs, des murs de remplissage et des fondations (radier, semelle superficielle ou filante). Les dommages touchent aussi les réseaux de drainage qui peuvent, par exemple, subir des inversions de pente provoquant le débordement des drains alimentant ainsi le phénomène de gonflement.

Détail des désordres manifestés liés aux gonflements

a- Les éléments du gros œuvre

Les désordres se manifestent par des fissures de traction ou de cisaillement. Celles-ci, présentes dans le sol ou dans les façades, peuvent être verticales, horizontales ou inclinées. Plusieurs orientations sont souvent présentes sur le même ouvrage. Leur ouverture peut atteindre plusieurs centimètres, l'amplitude maximale se trouvant, selon le mouvement général de l'ouvrage, en partie haute ou basse. Cette fissuration va s'exercer dans les zones les plus faibles de l'ouvrage, et notamment les angles des percements, portes et fenêtres, des fissures sont également présentes dans les ouvrages horizontaux, planchers ou plafonds. Des modifications notables de l'assise du bâtiment peuvent entraîner deux phénomènes, la rotation ou déversement du bâtiment, la torsion d'une paroi. On peut également assister à une dissociation d'ouvrages de nature différente comme la charpente et les façades, ou entre ces dernières et les cloisons intérieures.

b- Les éléments du second œuvre

Le second œuvre est sensible à toutes les modifications d'ordre géométrique du gros œuvre, sur lequel il est généralement fixé. Une distorsion des baies gêne, voire empêche le bon fonctionnement des portes et des fenêtres. Les matériaux différents appliqués aux parois se décollent comme les isolants, les placages, les enduits, les placages sur les murs, les carrelages sur les dallages ou les planchers. L'étirement ou la mise en compression peuvent entraîner la rupture des tuyauteries et canalisations, eau potable, eaux usées, gaz, chauffage central, gouttières.

c- Les aménagements extérieurs

Ils subissent des désordres du même type que le gros œuvre et le second œuvre. Parmi les ménagements concernés citons notamment les murs de soutènement (descente de garage), les conduites de raccordement des réseaux de distribution entre le bâtiment et le collecteur extérieur.

Les sols autour des constructions présentent généralement des fissures de dessiccation. Dans le cas de terrains argileux en pente, ces fissures peuvent augmenter les risques de glissement au retour des pluies, surtout si ces pluies sont violentes ou prolongées.

Photos des désordres des éléments du gros œuvre dans la ville D'EL Kouif

- ✓ Fissures de traction ou de cisaillement Présentes dans la façade inclinée à 45°. Leur ouverture atteint plusieurs centimètres,:



- ✓ Fissure de traction ou de cisaillement Présentes dans la façade verticale Leur ouverture qui Atteint plusieurs centimètres



- ✓ la Torsion d'une paroi



- ✓ Des fissures présentes dans les ouvrages horizontaux, planchers.





- ✓ Fissuration au niveau de la cage d'escalier cité 50 logts El Kouif



b-Les éléments du second œuvre

- ✓ Des fissurations qui s'exercent dans les zones les plus faibles de l'ouvrage, et notamment les angles des percements, portes et fenêtres (80 logts évolutifs EL KOUIF)



- ✓ Décollement des isolants les enduits, les placages sur les murs



c- Les aménagements extérieurs

Fuite d'eaux d'une conduite endommagée.



Conclusion

De la comparaison des désordres causés par le gonflement du sol indiqués sus dessus et les dégradations observés dans la ville d'El Kouif, on peut dire que cette commune est sujet d'un phénomène de gonflement du sol dont il faut détecter les causes (géologiques, hydrologiques et géotechniques), d'essayer de limiter les zones de risque de donner quelques solutions techniques afin de limiter et de résoudre ce problème.

Chapitre - 1 -
CADRE GEOLOGIQUE

Partie - 1 - Géologie

INTRODUCTION

La collecte la plus complète possible des données et documents existants relatifs à la géologie et à la géomorphologie régionale est toujours considéré comme un préalable indispensable à l'étude du sol projeté pour la construction

La liste des documents et informations à rassembler est généralement la suivante :

- Documents cartographiques (carte géologique à l'échelle 1/50 000 essentiellement et sa notice explicative).
- Pièces photographiques (photos aériennes et photos satellites si c'est possible),
- Comptes-rendus de travaux (galeries, mines, collecteurs, sondages, fondations, talus...) effectués, si possible, non loin de l'ouvrage projeté.

1. GEOLOGIE REGIONALE :

La région d'étude appartient à l'atlas Saharien Nord Oriental des confins Algero-Tunisienne .

L'Atlas saharien, forme une longue suite de reliefs orientés NE-SO s'étendant de la frontière Marocaine à celle de la Tunisie; l'Atlas saharien est né d'un long sillon subsides pincé entre les hauts plateaux et la plate-forme saharienne. Au Mésozoïque, ce sillon fut comblé par une puissante série sédimentaire (7000 à 9000 m), durant le tertiaire, une tectonique compressive réactive les structures extensives antérieures en failles et structures inverses aboutissant à la formation de cette chaîne montagneuse. L'objectif pétrolier principal est le Jurassique.

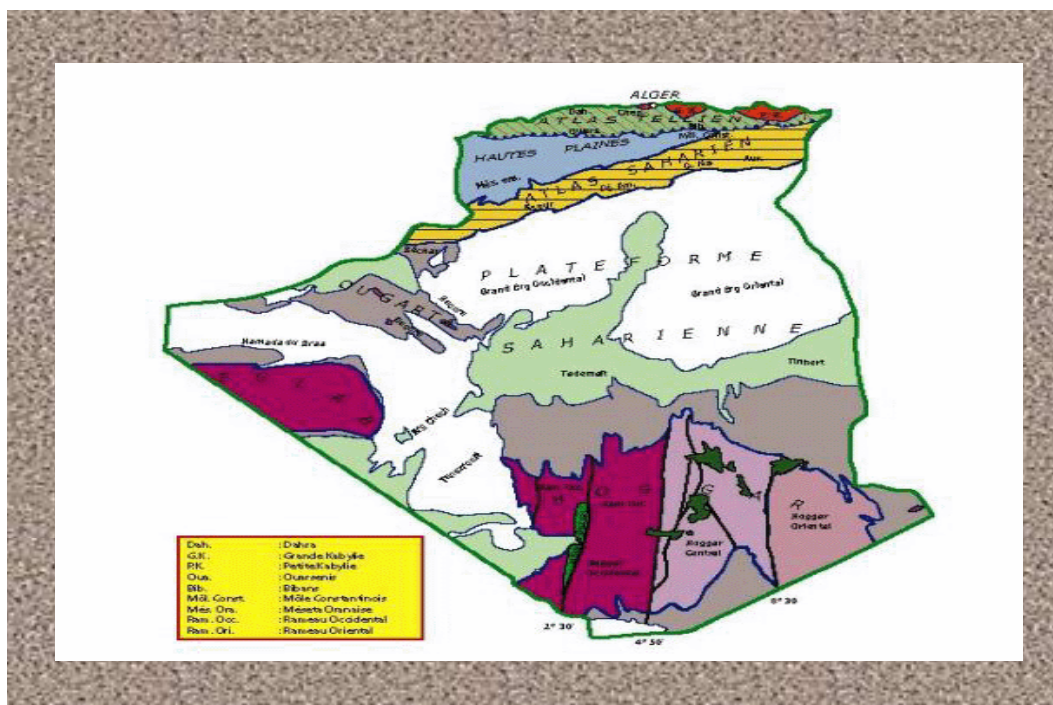


Figure N°3 Etendu De L'Atlas Saharien Dans La Carte D'Algérie
Appartenance de la ville d'El Kouif à l'Atlas Saharien

- EL KOUIF appartient à la feuille de MORSSOTT 1/50.000
- L'histoire géologique de la région de MORSSOTT est inconnue avant le Trias, dont les faciès de type germanique sont répandus sur toute l'Afrique du Nord
- On ne connaît pas non plus des témoins de l'histoire poste triasique et ané-aptienne.
- L'aptien calcaire et dolomitique témoignent d'une mer chaude et peu profonde où s'installent d'importants récifs.
- L'Albien et Vraconien ne sont connus qu'aux alentours du DJEBEL HMAIMAT, sous une épaisseur très réduite par rapport à ce qu'il sont au N et au de la feuille .ceci implique l'existence d'un haut fond en cet endroit, au sein d'une mer largement ouverte, sur le fond subsidés laquelle reposeront des puissantes formations marneuse riches en lumachelle à Huîtres et Ammonites, ainsi qu'en microfaune planctoniques, jusqu'à la fin du Cenomanien.
- Au Turonien inférieur, calcaire correspond à l'établissement de tendance récifales.
- Le passage crétacé au tertiaire et ces importantes perturbations apparente, au sein de marnes riche en microfaunes planctonique qui permettent de suivre le passage Maestrichien au paléocène supérieur.
- L'horizon Phosphaté du paléocène supérieur précède une sédimentation calcaire qui se maintiendra jusqu'au lutétien inférieur. le caractère très néritique de celle-ci est souligné par d'importantes variations d'épaisseur et par la répartition des Numilites.
- L'absence des dépôt marin à partir du lutétien semble due à une phase de compression.
- Les dépôts continentaux du miocène inférieur viennent se mettre en place sur une surface d'érosion installée sur le crétacé moyen et l'Emcherien au NW, et sur l'éocène au SE d'une flexure d'orientation NE –SW.
- Cette dernière phase de compression est suivie de la formation d'une nouvelle surface d'érosion que les failles bordières des fossés tectonique de Morsot recoupent nettement le remplissage de ces fossés est constitué par des sédiments continentaux attribués au plio Villafranchien.

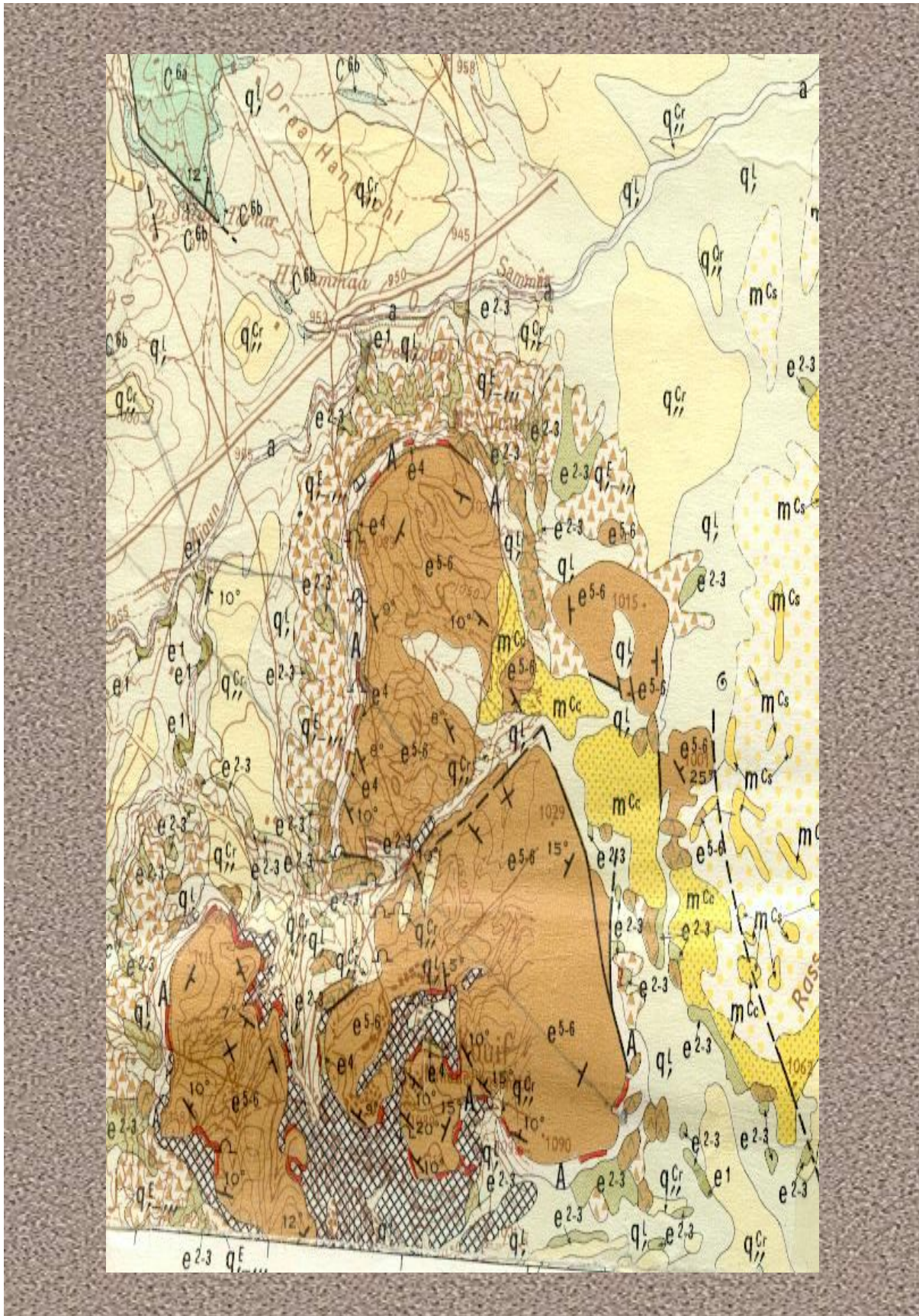


Figure N° 4
Carte géologique d'EL KOUIF à L'échelle 1/50.000 feuille de MORSOTT

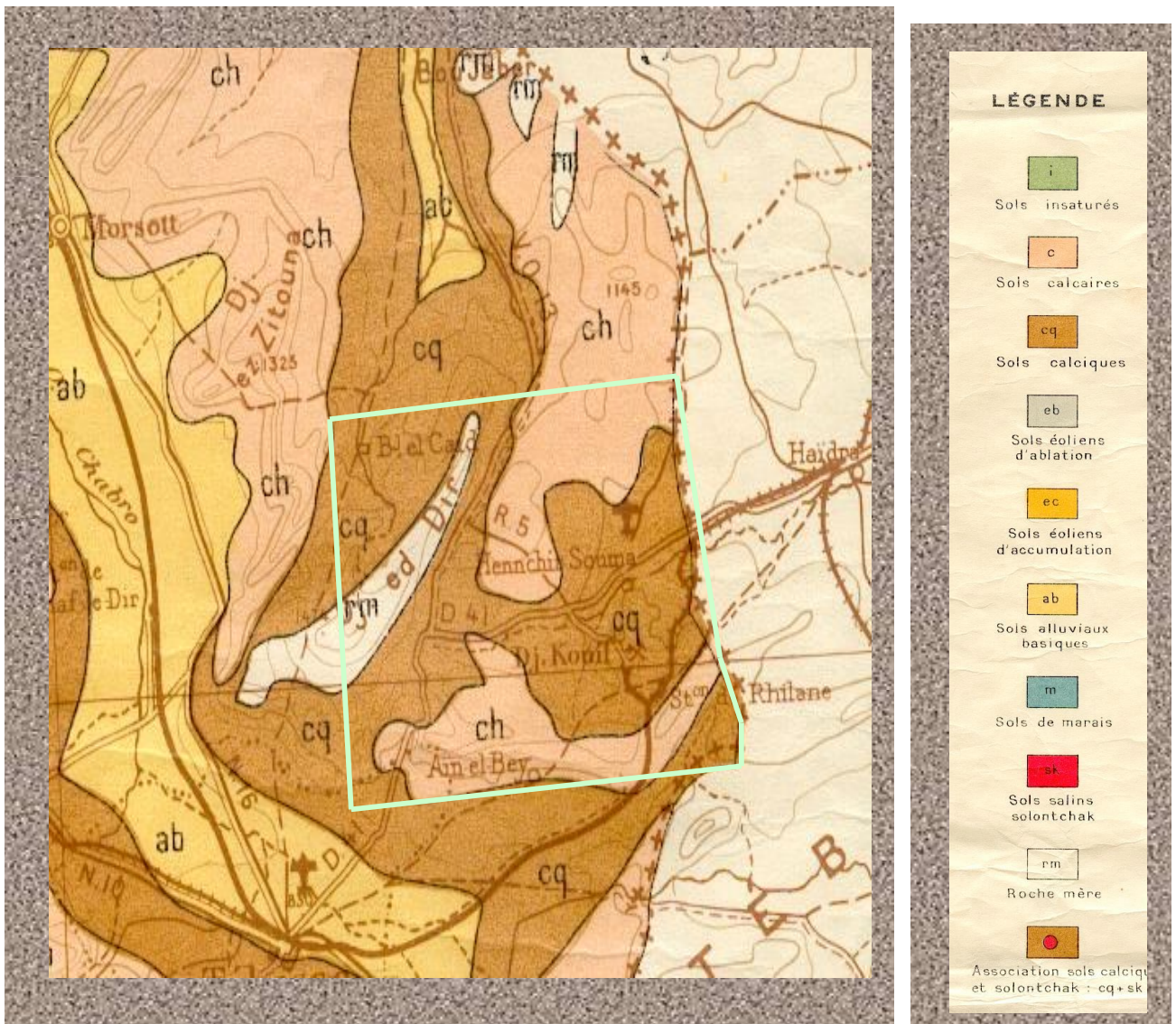


Figure N° 5
Carte du sol d'EL KOUIF à L'échelle 1/500.000

2. CADRE GEOLOGIQUE DE LA COMMUNE D'EL KOUIF :

L'exploitation de la carte géologique à l'échelle 1/50.000, sa notice explicative, complété par l'examen de la carte du sol de TEBESSA à l'échelle 1/500.000, les forages exécutés par les services de l'hydraulique de TEBESSA ainsi que les forages exécutés lors de l'exploitation de la mine d' EL KOUIF (Voir Figure N°04, N°05; N°06).

La géologie de la ville est donnée par l'enchaînement chronologique suivant :

A- LE QUATERNAIRE :

Le quaternaire est entièrement constitué des formations d'origine continentales, elles occupent une surface importante sur la feuille de MORSSOTT, et affleurent principalement dans les plaines et aux pieds des montagnes de la région d'EL KOUIF, suite à l'activité humaine surtout l'exploitation minière du gisement de PHOSPHATE, le quaternaire se distingue par des déblais récents présenté essentiellement par :

✓ Croûte calcaire :

Cette croûte se trouve généralement et souvent sur les pentes faibles et dans les dépressions. Elle est de couleur blanchâtre parfois rosé cimentant des éléments calcaires bréchique.

✓ Loupes de glissement et éboulis anciens :

Résultant essentiellement de la position d'entablement des calcaires massifs très diaclasés reposant sur les formations marneuses de grande épaisseur et suite à l'infiltration des eaux de surfaces. Le glissement se manifeste par déclassement de bordure de falaise dans les calcaires.

A l'Est du djebel EL KOUIF, entre la limite EST de la feuille de MORSSOTT et la frontière ALGERO-TUNISIENNE, le miocène inférieur continental surmonte des éléments de falaises de calcaires éocène glisse sur les marnes paléocène .

✓ Eboulis actuels et récent :

Au pied de tous les reliefs calcaires se manifeste des important éboulis et qui sont entrains de se former.

✓ Limons récents :

Ces limons résultent du lessivage et de l'altération des marnes environnantes . Cette formation se trouve associés à des niveaux de cailloutis anguleux se déposant dans toutes les régions basses, leurs couleurs allant de brun au gris sombre.

✓ Alluvions actuelles et récentes:

Ces alluvions sont souvent caractérisées par des plaquettes de calcaires maestrichtiens parfois seules, parfois associées à des limons.

✓ Les terrasses anciennes et récentes de l'oued RAS EL AYOUN sont constituées de limons alluvionnaires et graviers.

✓ Les couches sous jacentes de ces dépôts quaternaires forment des calcaires crétacés alternant aux marnes.

B- TERTIAIRE :

B-1-PALEOGENE :

B-1-1- PALEOCENE SUPERIEUR :

✓ Danien (75 – 100 m) :

Représenté par des calcaires argileux gris clair un peu crayeux alternant avec des marnes grises.

✓ Montien (200 m)

Il est caractérisé par une série de marne homogène surmontée par des rares bancs de calcaires argileux et de minces niveaux phosphatés.

✓ Thanetien (20 m)

En moyenne (moins de 10 m à EL KOUIF); ce sont des marnes grises, homogène dont le sommet est formé de calcaires argileux en petits bancs souvent noduleux à silex. Ces calcaires admettent à leurs partie inférieure des intercalations phosphatées

B-1-2- EOCENE :

✓ Lutetien inférieur (environ 150 m)

La formation est caractérisée par des calcaires massifs à gros silex, renfermant des **Huîtres** et **Nummulites**, qui sont abondantes au DJEBEL DYR et absentes au DJEBEL EL KOUIF.

B-2 – LE NEOGENE

✓ Miocène continental :

Les Formations dominantes sont les sables et graviers quartzeux blanc et roux (traces ferrugineuses affleurent à l'est d'EL KOUIF, les sablières du DJEBEL EL KOUIF renfermant par endroit des restes végétaux, qui alternent parfois des argiles vert clair.

Elles surmontent des conglomérats à éléments calcaires à ciment argileux rouges ou bariolé.

✓ Pliovillafranchien :

Elle se localise près de grandes fractures d'effondrement récent, ce sont des conglomérats à ciment argileux Brun rouges.

C - SECONDAIRE :

✓ Le Trias :

C'est la formation la plus ancienne, Les principaux faciès à signaler sont :

- Argiles vert clair et rouges.
- Gypse gris et rose, à quartz bipyramide.
- Dolomies brechiques, calcaires dolomitiques.

Cette formation existe au voisinage d'EL KOUIF DJBEL BOU RHAMEN où passe la frontière Algero-Tunisienne et au pied de Djebel Bou Djaber, des pointements au sud de Djebel Hameimet.

✓ Crétacé inférieur et moyen :

➤ Aptien :

100 m au moins caractérisé par de gros bancs massifs et épais de calcaires braichiques à ciment dolomitique, de calcaires graveleux bioclastiques à orbitolines.

Ces massifs sont intercalés de grés fins et de quelques niveaux marneux.

➤ Albo vraconien :

Environ 50 m d'une alternance de calcaires argileux gris foncés, en petits bancs souvent feuilletés et de marne foncé presque noires, souvent très calcaire, à **Ammonites Pyriteuses**.

La disposition des affleurements, l'un sur le flanc sud de Djebel Hmimet nord et l'autre sur le flanc sud de DJEBEL HMAIMET sud parfaitement symétrique, ainsi que le parallélisme de couches avec les dernières bancs calcaires aptiens de ces deux massifs conduit à admettre une lacune de l'Albien, au moins son extrême réduction.

La zone de contact entre l'Aptien et le Vraconien étant recouverte d'éboulis.

✓ Cretacé superieur:

➤ Cenomanien :

Caractérisé par des marnes riche en microfaune, la partie sommitale (350 m) est caractérisée par des marnes grises verdâtres, intercalées de nombreuse passés calcaires souvent lumachelle riche (Bivalve, Echinoderme, huîtres gastéropodes et ammonites)

A la base vers le bas, 200 à 250 m d'épaisseur, elle contient des marnes grises, sans intercalation calcaire, dans lesquelles s'observe parfois les "plaquette de calcite fibreuse".

➤ Turonien:

✚ Le turonien supérieur : (300 m)

Caractérisé par une dominance marneuse de couleur sombre avec intercalation de quelques bancs de calcaire lumachelliques.

✚ Turonien inférieur : (300 m)

L'épaisseur est constituée de bancs de calcaires massifs gris clair, alternant avec des niveaux de calcaire plus argileux en petits bancs vers la partie supérieure et de marno calcaires en plaquette vers la partie inférieure.

➤ Emcherien : (500 m)

A BOULHEF DYR, se caractérise par une série épaisse de marnes grises de santonien 300 m renferme de rares passés de calcaires à la base, et coniacien 200m, lumachelles se limitant des marnes turoniennes.

➤ Cénozoïque C et mésozoïque M

✚ Companien moyen : (70 à 80 m)

Marne gris clair crayeux alternant avec de petits niveaux de marnes clair, gris, parfois verdâtres.

✚ Companien supérieur (150 m)

Caractérisé par les marnes grises claires à patine vert- jaunâtre admettant dans le tiers inférieur de nombreuses petites intercalations de calcaire argileux.

➤ Maestrichien

✚ Maestrichien inférieur : (170 m)

Au **SSE** jouxtant la frontière Tunisienne, il est caractérisé par 170 m de calcaires massif à **Inocerame**. Ces formations sont recouvertes par des éboulis dus à l'altération.

✚ Maestrichien supérieur : (150 m)

Constitué essentiellement de marne grise à quelques intercalations de calcaire à la base.

3. COUPE GEOLOGIQUE DU DJEBEL EL KOUIF:

1. Calcaire :

Selon J.L.BLES, J.J.FLEURY ; cette formation est d'age Maestrichien inférieur, ce sont des calcaires blancs légèrement marneux à rares empreintes Inocérames formant la crête du côté 1189 et du DRAA ET TABAGUA.

2. Calcaire marneux blancs:

D'après J.FLANDER, ce sont des bancs plus épais de 4 à 5 m ; ce sont des sédiments d'Yprésien.

3. Calcaires en gros bancs :

A AIN EL BEY, ces calcaires ont fourni à environs 5 à 7 m de leurs base, de nombreuses Thersites épatées dans des amas de silex (Thersitea ponderosa (Yprésien).

A EL KOUIF, J.FANDER à signalé la présence des numilites silicifiées épousée à la surface des bancs de calcaires.

4. Marne:

Ce sont des paillettes de gypse et marnes avec des rognons pyriteux et petits bancs de marno – calcaires blancs. A leur sommet et au contact avec la formation phosphatée, ces marnes se terminent par un banc de 1 m -1.5 m, des lumachelles où dominent des huîtres lisses du groupe d'Ostrea eaversa où l'on voit quelques O.Multicostata de petite taille.

Les couches productives sont séparées par de petites intercalations de marne et de calcaires marneux.

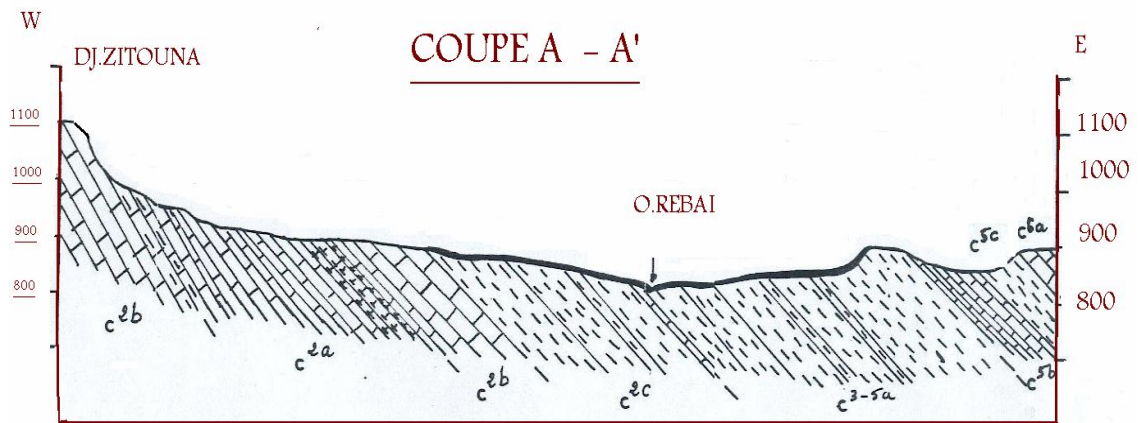
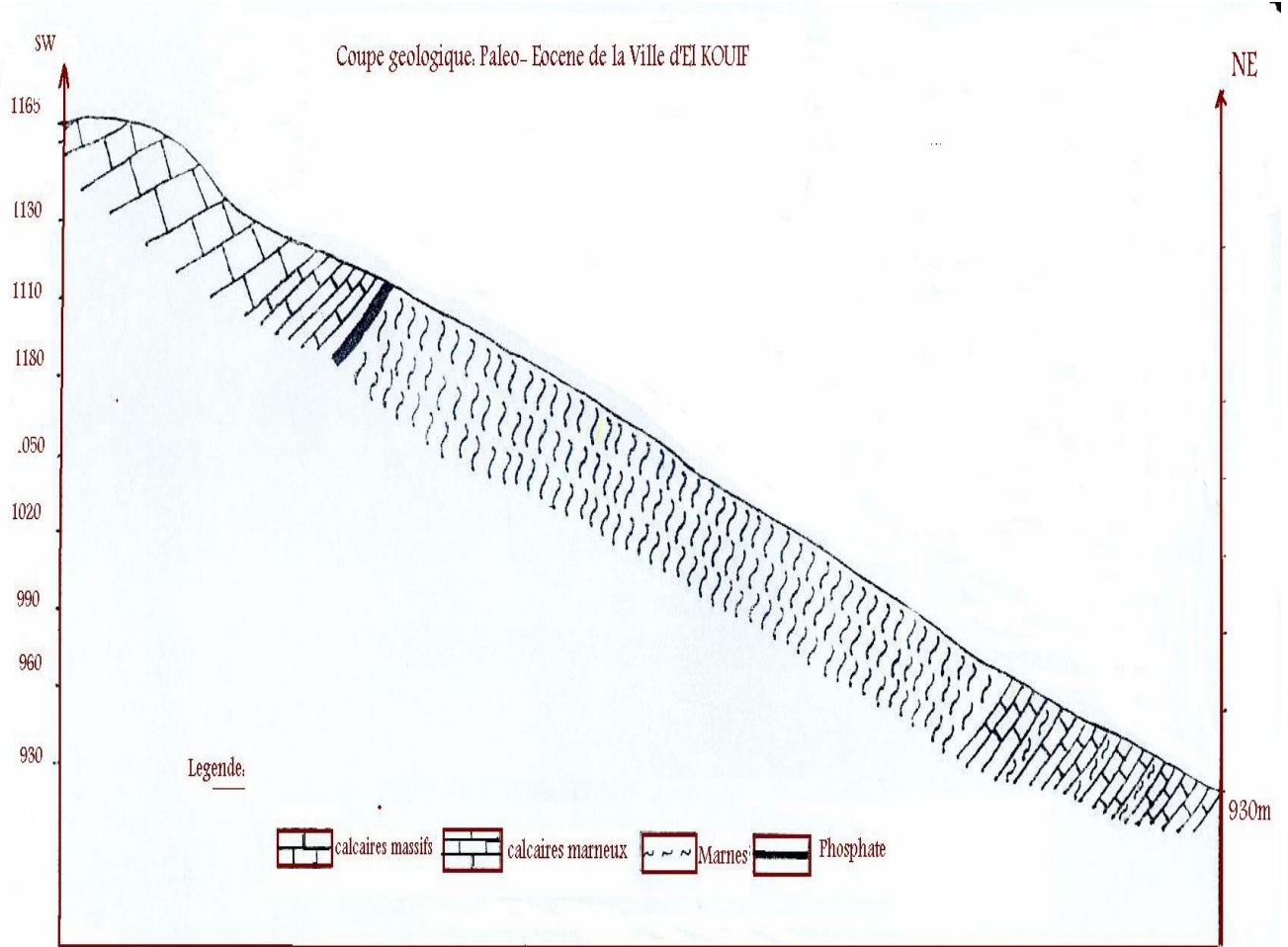
Ces derniers renferment ; dans les niveaux supérieurs ; plusieurs lits ou cordons de silex noirs.

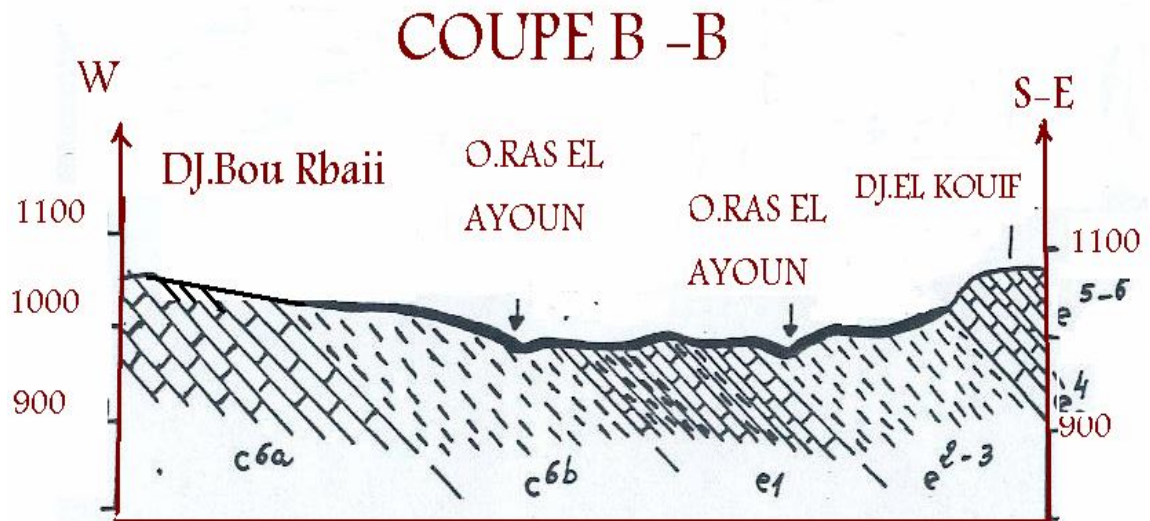
Cette formation phosphatée a livré la faune ichthyologique suivante :

Otodus Obliquus, Odontaspis Cuspidata.

J.BAYAC a signalé en outre, la présence de débris de Dyrourorus Phosphaticus.

L'épaisseur totale de la formation phosphatée varie de 5 à 10 m.





LEGENDE

c ^{5b} Turonien moyen	c ^{4a} Turonien inf
c ^{6a} Maestrichien inf	c ^{4c} Turonien sup
c ^{3-5a} caniacian-camp-inf	c ^{5b} campanien -moyen
c ^{5c} campanien sup	e ⁵⁻⁶ yipterien-lutetien -inf
c ^{6b} Maestrichien sup	e ¹ DANIEN
e ²⁻³ paleocène P-P	e ⁴ Paleocene superieur

CONCLUSION :

La zone d'étude est caractérisée par trois types de formations :

A. Les formations sensibles au phénomène de gonflement: Les marnes

Par définition, c'est une roche sédimentaire constitué essentiellement d'un mélange de calcaire et de l'argile (pour 35 -65 %) formant la transition entre les calcaires argileux; (calcaire marneux avec 5 à 35% d'argile), et les argiles calcaireuses (= marnes argileuses, avec 65 à 95 % d'argile).

L'origine des marnes est marine, lacustre ou lagunaire (marne gypseuse dolomitique) **comme les argiles c'est une roche très plastique.**

La marne dans la région d'étude est la formation dominante, d'une épaisseur importante se trouve dans toute la région et affleure surtout dans sa partie EST.

Les marnes de la région d'étude et d'après J.J.FLEURY et J.L.BLES, appartiennent aux PALEOCENE et du MAESTRICHIEEN, elles sont homogènes de couleur grise d'épaisseur moyenne de 200 m, montrant l'intercalation de rares bancs de calcaires.

✓ Les marnes du Maestrichien :

Apparaissent uniquement à l'ouest du DJEBEL EL KOUIF, ces marnes ont été déterminées par M.J .SORNAY à l'aide des Ammonites

✓ Les marnes du Paléocène :

Se développent à l'extrême du sommet et se trouvent bien visibles en différents niveaux, au sommet apparaissent de rares bancs de calcaires argileux gris et de minces niveaux Phosphaté.

L'épaisseur totale de la formation phosphatée varie de 5 à 10 m.

B. Les formations susceptibles d'être aquifère.

Les eaux jouent un rôle important dans le développement du phénomène de gonflement, donc il est nécessaire de localiser les formations qui peuvent l'emmagasiner, à l'échelle géologique on distingue la présence des formations suivantes :

1. Calcaire :

La présence des calcaires fissurés permet la circulation des eaux de surface vers des endroits profonds, facilitant ainsi le contact eaux sol gonflant,

Les calcaires de la région d'EL KOUIF sont des calcaires massifs très diaclases (cassure sans déplacement des parties en général sont des fissures perpendiculaire).

Selon J.L.BLES, J.J.FLEURY; cette formation est d'âge Maestrichien inférieur, reposant sur les marnes du Paleocene (DANIEN), ce sont des calcaires massifs, en banc d'un mètre d'épaisseur et plus, renfermant parfois de gros silex, ils sont de couleur beige-brun, beige-jaunâtre ou blanchâtre, très durs et à cassure légèrement marneux à rares empreintes Inocerames formant la crête du cote 1189 et du Draa Et Tabagua.

✓ Calcaire marneux blancs:

D'après J.FLANDER, ce sont des bancs plus épais de 4 à 5 m se sont des sédiment d'Yprésien.

✓ Calcaires en gros bancs :

A AIN EL BEY, ces calcaires ont fournit à environs 5 à 7 m de leurs base, de nombreuses THERSITEES silcifiées épatées dans des amas de silex (Thersitea ponderosa (Yprésen)

A EL KOUIF, J.FANDER a signalé la présence des numilites silicifiées épousée à la surface des bancs de calcaires.

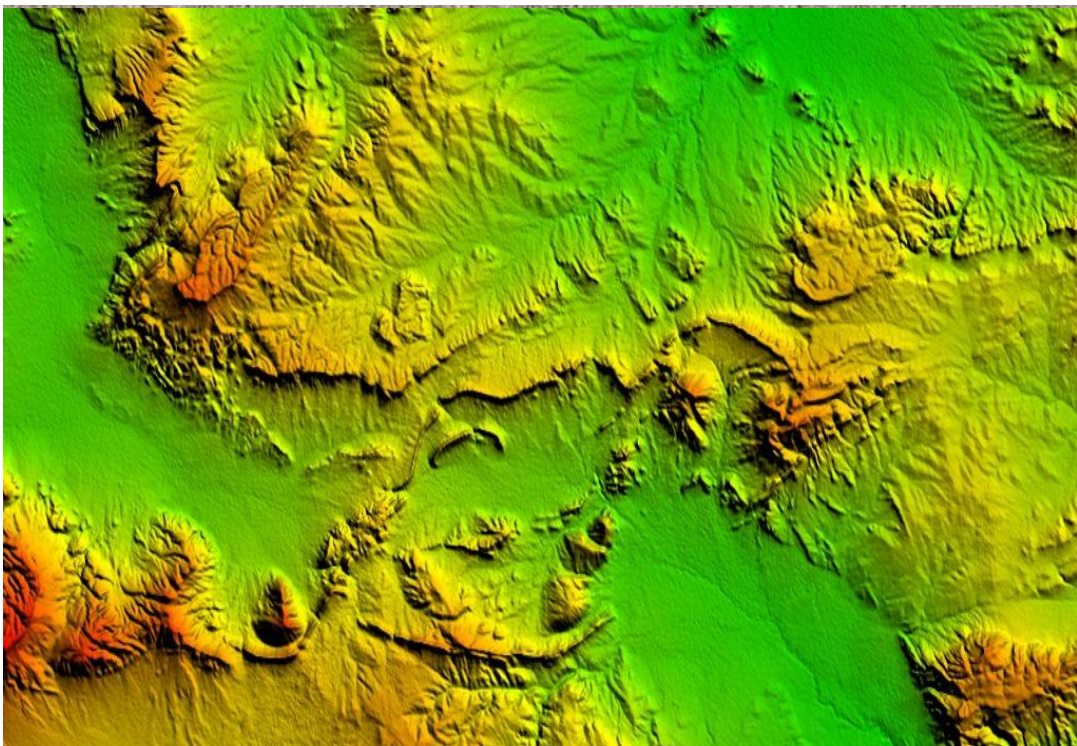
C. Les formations du quaternaire :

Caractérisés par des alluvions récents et actuelles des fonds des vallées par sédiments grossier provenant de l'altération physique et chimique des roches mères ce sont généralement des sables, graviers, cailloux et blocs arrondis et de nature variées.

Le quaternaire d'EL KOUIF se trouve au Nord Ouest. A proximité de l'oued principal, il y'a une possibilité de trouver des alluvions récent de 20 m d'épaisseur.

Partie -2-

Tectonique et Géomorphologique



I. GEOMORPHOLOGIE:

Le territoire de la commune d'EL KOUIF s'intègre dans 02 entités physiques naturelles :

- ❖ Le NORD de la commune constituant la limite SUD-EST des hautes plaines Constantinoises.
- ❖ Le SUD de la commune faisant partie des monts de TEBESSA, qui constitue une zone intermédiaire entre les monts de NEMEMCHATS à l'OUEST et la dorsale TUNISIENNE à l'EST.

DJBEL EL KOUIF, cette montagne à une hauteur de 1111 m, elle est située au nord de l'abaissement d'AIN EL BEY qui le sépare de la chaîne DRAA EL RIHENE (1189 m) par contre à DJBEL EL RIHANE, DJBEL EL KOUIF est dirigé NE-SW en s'abaissant vers le Nord-Est vers Oued SAMMA –HIDRA (jusqu'à 810 m).

DJBEL EL KOUIF est composé de deux parties, séparées par la vallée dans laquelle se trouve la partie centrale de la ville d'EL KOUIF.

L'abaissement de RAS EL AYOUNE le sépare des collines de la forêt de BOU REBAIYA, au NW les collines de BOU REBAIYA (1164-1183 m) font la chaîne séparée par l'abaissement de RAS EL AYOUN 950 m, de DJEBEL EEL KOUIF et par l'abaissement de la route Tébessa –GOURAYE – AIN ZERGUA (1100-900 m) de JBEL DYR GASTEL longueur de 20 KM et une largeur de 8 KM.

DJBEL DYR –GASTEL: Il fait une forme accidentée aux arrêts (1472 -1192 m), mais concave au centre (1107 m) avec une longueur d'environ 16 km et une largeur de 3 à 5 km.

DJBEL EL KOUIF est un synclinale perché dont les flancs sont caractérisés par une pente qui varie entre 15 et 25 %.s'adouci vers le bas jusqu'à une pente de 5 à 8%.

Sur la pente douce se localisent des carapaces calcaires blanchâtre dont l'épaisseur varie de plus de 1 m.

La topographie de la zone urbaine est relativement accidentée à l'est de la ville.

A l'ouest, le relief est un peu plus marqué par la présence de petits vallons et petites collines autour du bief

II. TECTONIQUE:

Le territoire d'EL KOUIF est caractérisé par des successions d'événement dont chacun a laissé sa trace sur la physionomie actuelle de la région.

1) Les plis:

Les plissements de la région sont postérieurs au lutétien inférieur et antérieur au miocène et se trouve sans doute, responsable de l'émersion de la région à l'Eocène moyen.

Les structures distinguées sont:

- Synclinal perché de DJEBEL EL KOUIF
- Synclinal du DJBEL DYR
- Anticlinal de BOU RBAI

L'orientation moyenne de ces plis est NE-SW et elle peut varier du NNE–SSW.

Ils sont du genre concentrique, et ils sont accompagnés de nombreux joints de cisaillement à fentes de tension, dont l'ensemble caractérise un niveau structural moyen.

2) Les fractures liées au plissement:

Les calcaires de la région d'étude sont parcourus par des joints de cisaillement, décrochement, failles inverses et normales.

En premier temps, sont formés des joints de cisaillement à intersection verticale.

Les joints conjugués ont une orientation moyenne de NW-SE, Pour les joints dextre, et N-S pour les joints sénestres ; ils résultent ainsi que des failles de décrochement résultant de l'action des compressions horizontales de direction NNW-SSE.

Dans un deuxième temps, se formaient des joints de cisaillement à intersection horizontale, leur direction varie de NNE-SSW à E-W et celles des joints conjugués de NE-SW à ENE-WSW.

Ces joints peuvent évoluer par exagération en véritables failles inverses.

3) Les compressions tangentielles postérieures au Miocène inférieur:

Les décrochements sénestres d'orientation NNW-SSE à NW – SE dans la partie nord–Est de la région, sont postérieurs aux plis.

A L'Est d'EL KOUIF, une fracture d'orientation NNW-SSE affecte le miocène inférieur continental.

4) La surface d'érosion antérieure aux fossés tectoniques:

Les sommets de reliefs calcaires d'environ 1000 à 1500 m, représentent les témoins d'une ancienne surface d'érosion, à peu près plane mais légèrement gauche, culminant à la pointe sud du DJBEL DYR. à partir de ce point, elle s'incline légèrement vers le nord-est et, perpendiculairement à cette direction, vers le nord-ouest et le sud-est.

A l'Est d'EL KOUIF, elle tranche le miocène inférieur continental.

Les formations sableuses et conglomératiques constituent en effet quelques sommets de même altitude que ceux des formations environnantes plus anciennes qui déterminent cette surface.

5) Les fossés tectoniques:

- Orientation générale NNW-SSE.
- Les failles de bordures des fossés ont provoqué le redressement des couches plio-Villafranchiennes et affectent les nappes d'épandage ancien à l'AIN TORRICHA et sur la bordure Nord Est du DJEBEL BELKFIF.
- L'individualisation des fossés, postérieure à l'élaboration de la surface d'érosion post miocène, a donc commencé avant le plio-villafranchien, mais le jeu de failles bordières a dû se continuer jusqu'à une époque récente.
- Les failles de bordure du fossé ont des directions qui varient de N-S à S-NW-SE. Sur certains miroirs, on peut observer les stries sub-horizontales à côté de stries sub-verticales (DJBEL EL KOUIF). Ainsi, ces fractures, qui ont joué récemment en failles normales, avaient joué antérieurement en décrochements.
- Direction identique de la distension dans ces deux sortes de mouvement. Seule la contrainte correspondant à la compression a changé; elle est passée de l'horizontale (direction NNW-SSE) à la verticale. Les mouvements verticaux ont remplacé les mouvements horizontaux.

6) Le comportement tectonique du Trias:

Les terrains salifères attribués au Trias ont dû jouer le rôle de niveau de dissociation entre la couverture plissée et un socle inconnu à l'affleurement sur la feuille de MORSSOTT.

Pendant le plissement, le trias a bourré dans certains anticlinaux qui constitue ainsi des plis diapirs.

La tectonique diapirique se manifeste au contact Trias-roches encaissantes par redressement à la verticale et certainement aussi à laminage, des calcaires aptien nord DJEBEL HAMEIMAT. Cependant, dans la partie médiane de DJEBEL HAMEIMAT nord le Trias semble avoir simplement repoussé vers le haut les couches aptiennes, en pénétrant toutefois les nombreuses fissures qui les parcourent.

La remontée Diapirique se sont poursuivies durant la constitution des fossés tectoniques récents:

- les affleurements de Trias de la pointe nord ouest de la feuille, alignés NW-SE et situés en bordure de la plaine, résultent de l'injection de matériel triasique dans une fracture de fossé de MORSSOTT, à partir du noyau diapir de l'anticlinal du BOUKHADRA.

III. EVOLUTION PALEOGEOGRAPHIQUE:

Les terrains éocènes dans la zone d'EL KOUIF forment deux synclinaux perchés de DJEBEL EL KOUIF et synclinale perché de DJEBEL DYR.

La zone de KALAAT DEJERDA au Nord-ouest de THALA fait la prolongation du synclinal de DJEBEL EL KOUIF; et KALAAT E'SNAN, fait la prolongation de la structure du DJEBEL DYR-GASTEL.

Les affleurements éocènes d'EL KOUIF représentent les témoins d'un vaste synclinal SW-NE qui devait s'étendre autre fois depuis le DRAA AIN SEEDJRA au sud (J-FLANDERIN) où elle était effacée à cause de la formation de l'anticlinale de BLED TEBAGA.

La formation phosphatée et le calcaire qui la surmonte constituent deux îlots principaux dénommés AIN EL BEY pour l'îlot Ouest, EL KOUIF pour l'îlot Est.

L'histoire géologique d'EL KOUIF est inconnue avant le Trias, l'aptien calcaire et dolomitique témoigne d'une mer chaude et peu profonde où s'installent d'importants récifs.

L'albien et le vraconien sont très répons dans la région d'étude par rapport à EL HAMEIMET où elles sont très réduites. Ceci implique l'existence d'un haut fond de mer en cet endroit, au sein d'une mer largement ouverte, sur le fond subsidés de laquelle se déposeront des puissantes formations marneuses riche en lumachelles à huîtres et à ammonites, ainsi qu'en microfaunes planctoniques, jusqu' à la fin du cénomanien.

Le Turonien inférieur, calcaires, correspond à un ralentissement de la subsidence et l'établissement de tendance récifales. Le passage du crétacé au Tertiaire se fait sans importantes perturbations apparentes au sein des marnes qui permettent le passage du Maestrichtien au Paléocène supérieur en général par un faible passé calcaire qui marque en partie le DANIEN

L'horizon phosphaté du paléocène supérieur précède une sédimentation calcaire qui se maintiendra jusqu'au Lutétien inférieur.

Cet horizon est caractérisé par une importante variation d'épaisseur. Les nummulites sont absent à DJEBEL EL KOUIF mais forment la quasi-totalité de DJEBEL DYR.

L'absence de dépôt marin à partir du lutétien semble due à l'influence d'une phase de compression dont les premières manifestations se sont traduit par des fractures.

Les dépôts continentaux de miocène inférieur viennent se mettre en place sur une surface d'érosion installée sur le crétacé moyen et l'Emcherien.

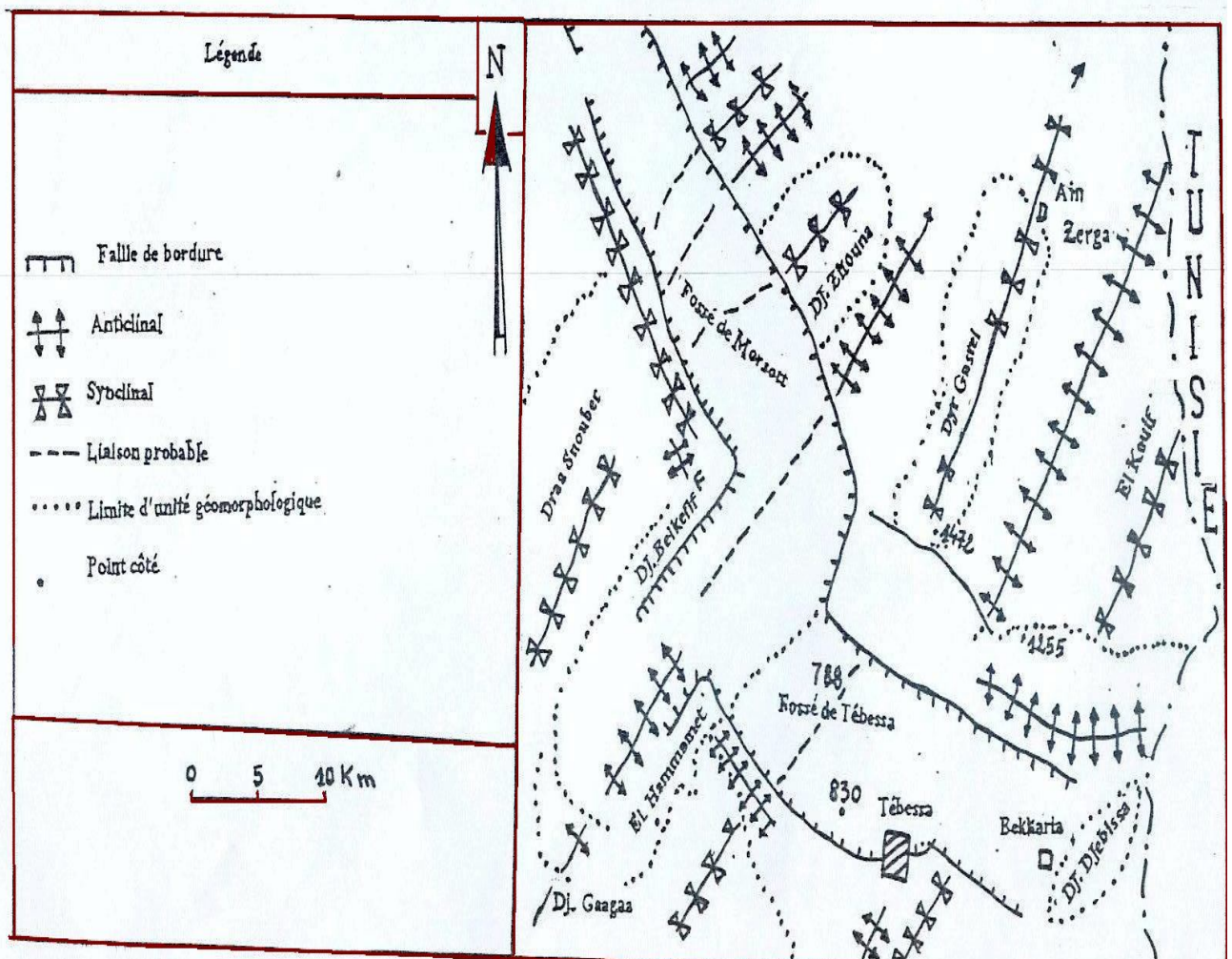
Postérieurement aux dépôts miocènes inférieurs continentaux, une reprise de compressions tangentielles est attestée par des décrochements affectant ces dépôts.

Cette dernière phase de compression est suivie de la formation d'une nouvelle surface d'érosion que les failles bordières des fossés tectoniques.

Le remplissage de ces fossés est constitué par des sédiments continentaux attribués au Plio-Villafranchien et au quaternaire.

Des glissements par gravité se sont produits dès avant le Miocène, jusqu'à la période actuelle.

Esquisse Tectonique de la Region de Tebessa



W.M. KOWALSKI et al. 1997

CONCLUSION

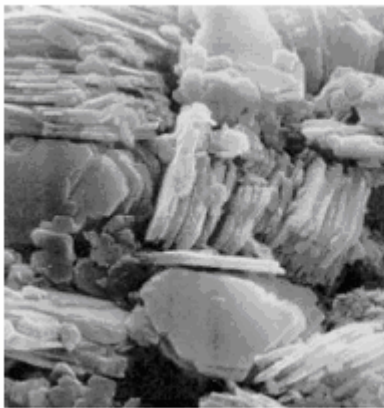
La topographie de la zone urbaine de la ville d'EL KOUIF est relativement accidentée à l'est.

A l'ouest, le relief est un peu plus marqué par la présence de petits vallons et petites collines autour du bief.

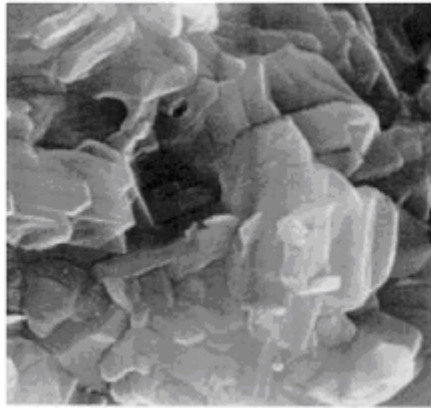
- La présence abondante des failles dans le périmètre étudié influe sur le transport des eaux de surface dans les terrains à tendance de gonflement.
- Les failles affectant des roches calcaires en présence d'eaux, peut donner naissance au phénomène karstique.
- Le centre ville se trouve au sein du synclinale, ce dernier favorise l'accumulation des eaux fluviale.

Partie 3

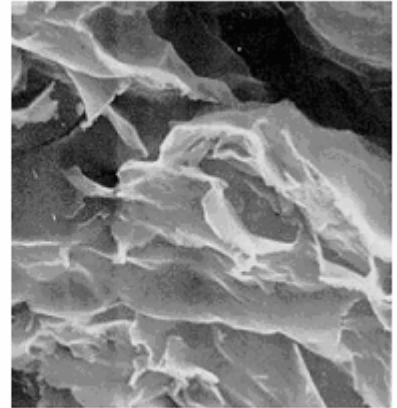
Pétrographique Et Minéralogique



Kaolinite



Illite



Montmorillonite

I. PETROGRAPHIE:

ANALYSE PETROGRAPHIQUE:

L'analyse pétrographique des échantillons de sols de la région d'EL KOUIF montre que la région d'étude est caractérisée par :

1) les marnes argileuses:

C'est la formation la plus puissante, elle présente la transition crétacé éocène ce sont des marnes grise homogènes, ou intercalées dans les calcaires marneux du Danién.

L'analyse pétrographique de ces marnes a confirmé un taux élevé des **argiles (68.5-72.5%)** relativement faible en **carbonates (27-31%)** et de **(0.5-1.5%) de quartz**.

2) Calcaire:

Ce sont des calcaires massifs, en banc d'un mètre d'épaisseur et plus, renfermant parfois de gros silex, ils sont de couleur beige-brun, beige-jaunâtre ou blanchâtre, très durs et à cassures irrégulières.

Ils se caractérisent par un fort pourcentage de **carbonate (90.8 à 97.6%)** de peu **d'argiles (1.4 à 7.2%)** et de **quartz ou silex (1 à 9%)**. Selon les observations au laboratoire, ces calcaires renferment également des phosphates à taux variable **(0.5 à 17%)** et de l'oxyde de fer **(1 à 8%)**

3) Calcaires siliceux :

Les taux de **carbonate sont de 81%**; **les argiles de 6 à 7%** et le taux de substance siliceuse est de **13 à 11 %**

4) Calcaires marneux:

Ce sont des calcaires de petits bancs tendres, dont certains proviennent de la base du profil DANIEN et d'autre de sa partie supérieure, en particulier du THANETIEN.

Ceux de la partie basse du profil sont de couleur gris clair, un peu crayeux et alternant des marnes grises, cependant ceux de la partie paraissent plus clairs, noduleux, renfermant du silex peu phosphaté, d'environ 3 m d'épaisseur, à nombreuses dents de poissons. **Les carbonates** sont variables de **(75 à 82 %)**, les argile de **(16 à 24%)** et le quartz de **(05 à 2 %)**.

II. MINERALOGIE :

L'étude géologique et pétrographique du sol de la ville d'EL KOUIF montre que la marne est la formation dominante.

Les marnes sont des argiles qui contiennent, par définition 35% à 65% de carbonates. L'origine des marnes est donc marine, lacustre ou lagunaire (marne gypseuse dolomitique)

La composition des marnes comprend essentiellement:

- La calcite
- L'argile avec une proportion sensible de quartz.
- Accessoirement, nous trouvons du gypse (inférieur ou égal à 5% de la pyrite inférieure ou égal à 1.5% et les matières organiques)

Selon l'étude pétrographique les marnes argileuses sont la formation la plus puissante avec une proportion des argiles importantes (**68.5 à 72.5 %**), pour cette raison nous avons vu utile de donner quelques détails sur les Argiles.

II-1 - Les Argiles

Les argiles sont très abondantes dans la nature et couvrent environ 42 % du volume de l'écorce terrestre.

Elles peuvent être classées en deux grandes catégories :

1) Les argiles plastiques:

Elles sont tendres et très déformables

2) Les argiles raides:

Elles sont indurées et présentent un comportement plus fragile que ductile.

Les argiles sont formées par l'assemblage de particules de taille inférieure à 2 µm chargées négativement comme la Smectite, l'illite et la kaolinite.

La présence de tels minéraux rend l'argile fortement sensible aux molécules polaires d'eau. Cette sensibilité se traduit par le gonflement, le retrait et le changement des propriétés mécaniques.

C'est la variation de la teneur en eau qui est le facteur déclenchant des variations de volume. Une augmentation de la teneur en eau entraîne le phénomène de gonflement tandis que sa diminution induit le phénomène de retrait.

A l'échelle microscopique, ces facteurs sont complexes et dépendent principalement des propriétés minéralogiques des matériaux argileux et des propriétés chimiques du fluide hydratant.

II-2 - Etude microstructurale

Les minéraux argileux sont des silicates hydratés appartenant au groupe des phyllosilicates. Ces phyllosilicates sont formés par un empilement de feuillets, chacun étant formé par un arrangement de deux types de couches, l'une tétraédrique (T) à base de silice (**Fig. 1**) et l'autre octaédrique (O) à base d'hydroxyde d'aluminium (**Fig. 2**).

Dans chacun des feuillets décrits précédemment, les cations peuvent être remplacés par d'autres de taille voisine mais pas nécessairement de la même valence.

On parle de substitution isomorphe car les dimensions du feuillet restent quasi inchangées.

Ces substitutions entraînent alors un excès de charges négatives à la surface des feuillets.

Cette électro négativité est une caractéristique intrinsèque des matériaux argileux.

A l'échelle microscopique des argiles, on peut distinguer :

- la structure,
- la texture.

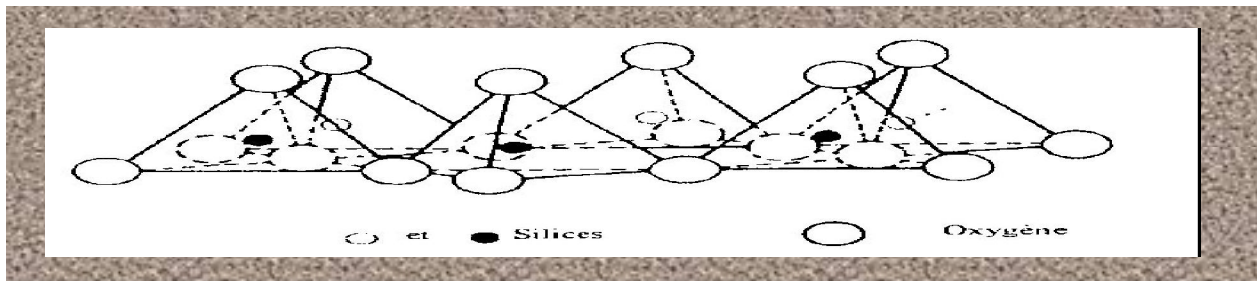


Fig. 1 – Feuillet tétraédrique (T)

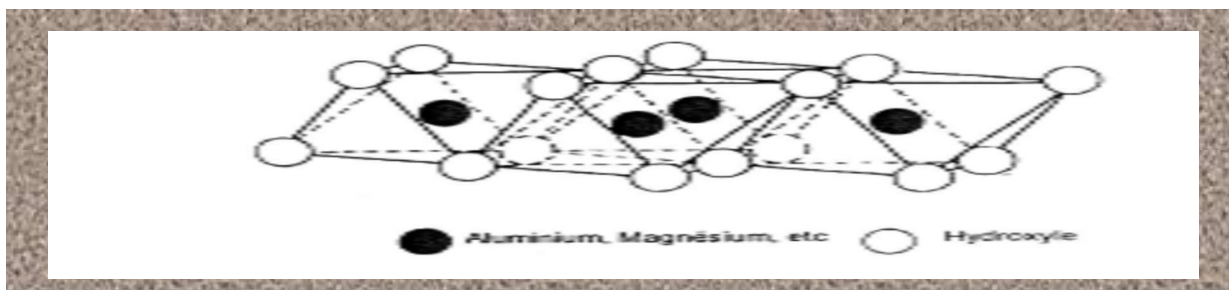


Fig. 2 – Feuillet octaédrique (O)

Les trois types d'argile les plus couramment rencontrés sont la kaolinite, l'illite et la montmorillonite.

1- La kaolinite : $(\text{Si}_4\text{O}_{10}) \text{Al}_4 (\text{OH})_8$

(Kaolinite, Bertierine, Dickite, Nacrite, Halloysite) sont des argiles dites peu gonflantes.

Une particule d'argile est formée d'un empilement de plusieurs feuillets. Chaque feuillet a une épaisseur approximative de 7 \AA et est composé d'une couche de silice et d'une couche d'alumine (**Fig 3**).

Le contact entre les feuillets se fait suivant un plan contenant des ions d'hydroxyles OH^- de l'octaèdre et des ions d'oxygène O^{2-} du tétraèdre.

Les liaisons inter foliaires, résultant de l'effet combiné de liaisons d'hydrogène et de la force de Van Der Waals, confèrent un lien assez fort.

Les feuillets sont alors soudés les uns aux autres par des forces de liaisons très importantes rendant la kaolinite peu sensible au gonflement.

Ainsi une particule de kaolinite sera constituée, par exemple, de quelques centaines de feuillets et pourra avoir une épaisseur de quelques dizaines de micromètres.

Ces particules sont stables et leur structure élémentaire n'est pas affectée par la présence d'eau.

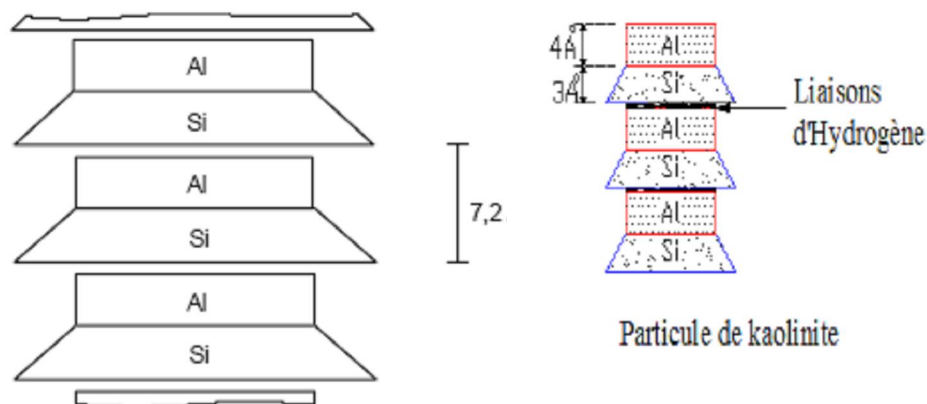


FIG 3- schéma de la particule de kaolinite

2- L'illite : $(K, H_2O)_2 Si_8 (Al, Fe, Mg)_{4-6} O_{20} (OH)_4$

Les illites sont des argiles dites potentiellement gonflantes. Les liaisons entre les feuillets sont moins fortes que celles des kaolinites.

Le feuillet élémentaire de l'illite est composé d'une couche d'alumine comprise entre deux couches de silice. L'épaisseur d'un feuillet est d'environ $10 A_0$ (**Fig. 4**).

Des substitutions de Al^{3+} par Mg^{2+} et Fe^{2+} , ainsi que de Si^{2+} par Al^{3+} , sont possibles.

Le déficit de charge qui en résulte est compensé par des cations de potassium K^+ . La présence de ces cations contribue à renforcer les liaisons inter feuillets.

La particule d'illite comportera, par exemple, une dizaine de feuillets et pourra avoir une épaisseur de quelques centièmes de micromètres. L'espace créé à l'intérieur du feuillet de silice est occupé par un ion K^+ qui, par sa présence, induit un lien fort entre les couches.

Le comportement des illites se rapproche alors de celui des kaolinites.

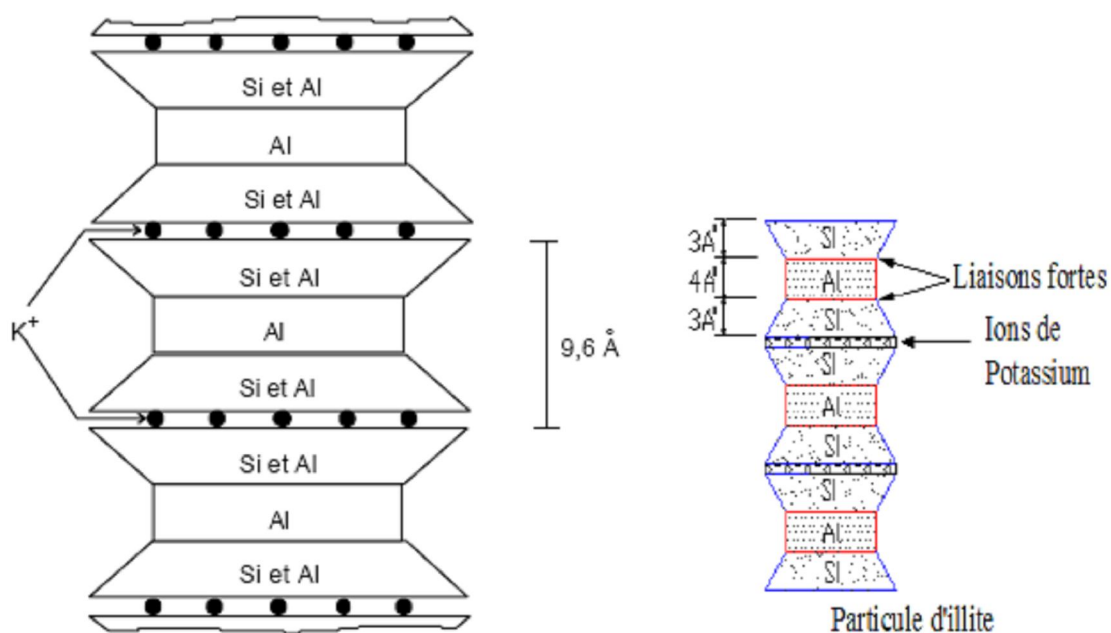


FIG 4 – schéma de la particule d'illite

3 – La montmorillonite: $(\text{OH})_4\text{Si}_8(\text{Al}_{10/3}, \text{Mg}_{2/3})\text{O}_{20}, n\text{H}_2\text{O}$

Les Smectites (Montmorillonites, Beidellite, Nontronite, Hectonite, Saponite, Sauconite) sont des argiles dites potentiellement très gonflantes.

Le feuillet élémentaire est composé, comme pour l'illite, d'une couche d'alumine comprise entre deux couches de silice.

Dans les couches de silice, un ion Si^{4+} sur quatre est remplacé par un ion Al^{3+} , l'épaisseur d'un feuillet est d'environ 10 \AA (**Fig. 5**).

Les liaisons entre les feuillets sont moins fortes que celles des kaolinites et des illites.

La faiblesse de ces liaisons leur confère de grandes surfaces spécifiques et de forts potentiels de gonflement.

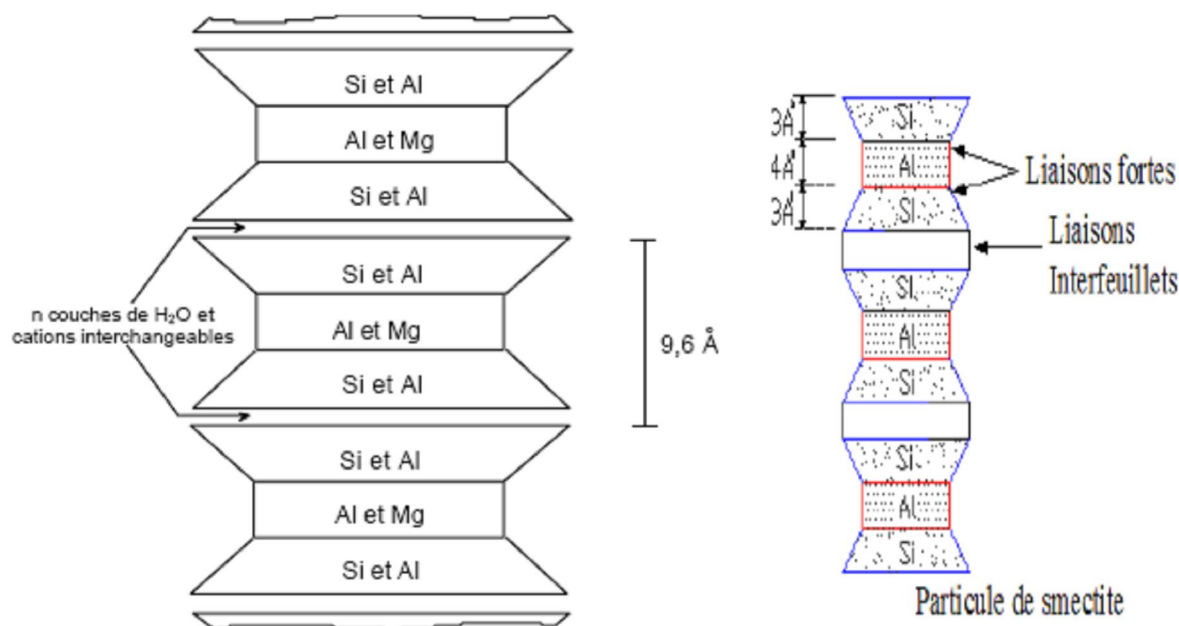


FIG 5-Shema de la particule de montmorillonite

4- les chlorites : $(OH)_4 (SiAl)_8 (Mg, Fe)_6 O_{20}$

Il est nécessaire de citer les chlorites du fait que leurs propriétés se rapprochent de celles des argiles.

Leur structure est cependant plus complexe, et se compose de deux feuillets de micas entre lesquels s'insère un feuillet de brucite.

En fait, le déficit du feuillet de mica est rarement comblé par le feuillet de brucite et des cations interchangeables se logent dans les espaces créés au sein du feuillet de mica.

De l'eau peut alors pénétrer entre les feuillets, provoquant ainsi un accroissement de l'interdistance et donc un gonflement. Cependant, les édifices de brucite tendent à coller les feuillets les uns aux autres et donnent ainsi aux chlorites une certaine cohésion, contrairement aux feuillets des minéraux argileux, qui sont libres de glisser les uns par rapport aux autres.

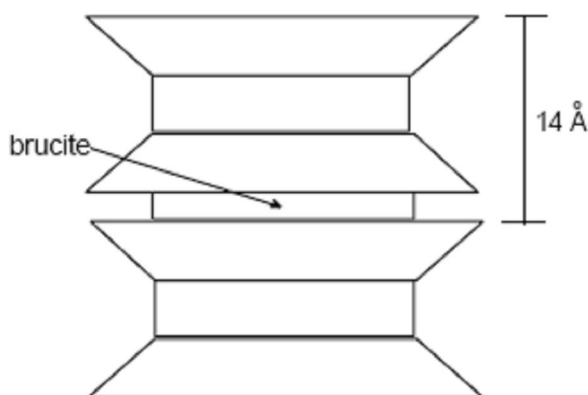
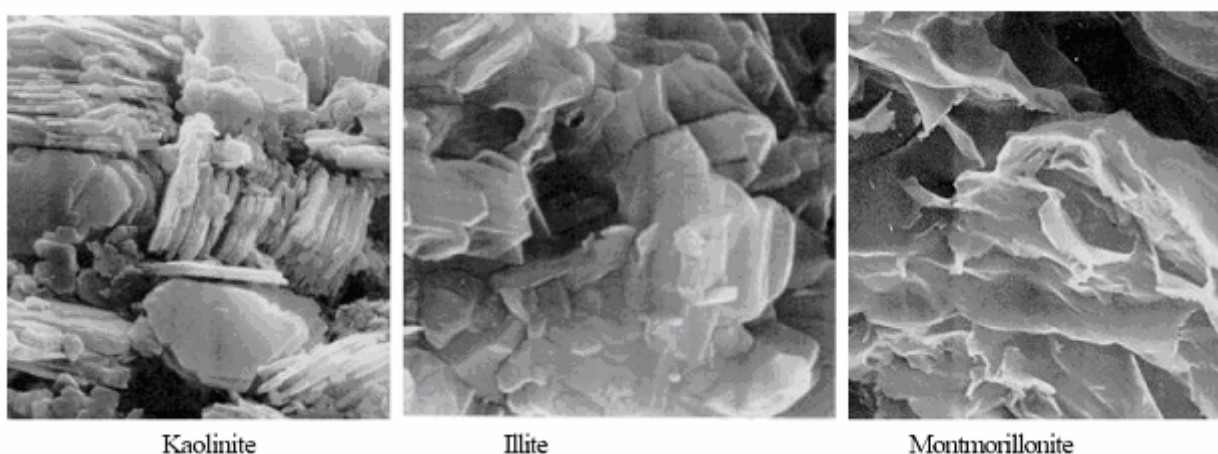


FIG 6 Schéma de la particule de chlorite



Kaolinite

Illite

Montmorillonite

FIG 7: Microscopique des minéraux argileux

II-3 - Analyse chimique au rayon X de l'argile de la zone d'étude

Les matières argileuses sont caractérisées par la présence d'une proportion de particules fines dont la taille supérieure est généralement fixée à 2 μm .

Cette fraction est constituée par les minéraux argileux, mais on y trouve aussi des espèces dont les plus fréquentes sont la silice, des silicates non phylliteux, des oxydes, des hydroxydes cristallisés ou amorphes et des carbonates.

L'analyse des aluminosilicates comme les argiles nécessite l'association de plusieurs techniques.

Les rapports centésimaux des constituants majeurs (concentration supérieure à 0,1%) tels que SiO_2 ; Al_2O_3 ; TiO_2 ; Fe_2O_3 ; K_2O ; Na_2O peuvent varier dans des proportions considérables; aussi toute méthode générale d'analyse est difficilement applicable à la grande diversité de produits aluminosilicatés issus du sol.

Les traces ou les faibles quantités inférieure à 0,1% présentes dans ces minéraux (Mn, Cu, Zn, les sulfates et les chlorures), nécessitent des techniques analytiques appropriées, suffisamment spécifiques et directes pour qu'il y ait le minimum d'interférences dues au nombre important d'oxydes présents dans ces matières.

Pour mieux connaître les argiles constituant les marnes de la région d'étude nous avons réalisé des essais de diffractométrie par rayon X des échantillons prélevés des carottes intactes de sol de la Région, ces essais nous ont donnés seulement le taux des oxydes des minéraux

(Voir Tableaux Ci Dessous)

Résultat de l'Analyse chimique au rayon X des argiles de la région d'EL KOUIF Essai réalisé au laboratoire de la cimenterie d'EL MALABIOD

N°	Heure	SiO2	AL2O3	Fe2O3	CaO	MgO	K2O	Na2O	SO3	Cl
1	24/juil2006 16:14:09	43.57	16.05	5.88	9.82	3.09	0.99	0.57	0.49	0.022

N°	Heure	SiO2	AL2O3	Fe2O3	CaO	MgO	K2O	Na2O	SO3	Cl
2	24/juil2006 16:16:27	43.04	15.98	5.75	10.19	2.98	0.97	0.56	0.50	0.022

N°	Heure	SiO2	AL2O3	Fe2O3	CaO	MgO	K2O	Na2O	SO3	Cl
3	24/juil2006 16:16:39	42.82	15.40	5.73	10.79	2.91	0.96	0.53	0.49	0.023

CONCLUSION

- ✚ L'analyse pétrographique nous a confirmée le résultat d'étude géologique, en indiquant les principales formations géologiques caractérisant EL KOUIF (marne et calcaire) d'autre part nous avons une idée sur le taux d'argile (formation gonflante) dans la région d'étude ainsi que le taux de carbonate de quartz.

- ✚ L'analyse minéralogique et par manque de moyens, est limitée seulement à l'analyse chimique des argiles au rayon X. cet essai nous n'avons pas pu déterminer la nature des minéraux, mais notre intervention s'est limitée à la détermination des principaux oxydes constituant l'argile de la zone d'étude.

Chapitre -2-
Climatologie, Hydrologie
Et Aperçu Hydrogéologique

I. CLIMATOLOGIE

INTRODUCTION :

Le comportement des fondations dépend de la teneur en eau et de pénétration de la sécheresse dans le sol.

Pour caractériser la présence de l'eau dans le sol, on utilisera la notion de bilan hydrique

1. SITUATION CLIMATIQUE :

Sur le plan climatique, EL KOUIF se situe bio climatiquement dans l'étage semi-aride à hiver froid, entre l'isoète 380 mm au sud et 400mm au nord.

Au niveau de cette partie, nous déplorons le manque de données et informations relatives à cette partie, pour cela nous avons jugé utile de se référer à la station de TEBESSA très proche de notre zone d'étude.

Coordonnées de la station : X =991.9m, Y = 247.2 m , Z = 890.0 m

2. CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES :

1- LA TEMPERATURE :

La température est un facteur très important, qui conditionne le déficit d'écoulement (sécheresse).

Selon la station de référence, la température à EL KOUIF est caractérisée par une variabilité dans le temps.

- Température maximale moyenne mensuelle :

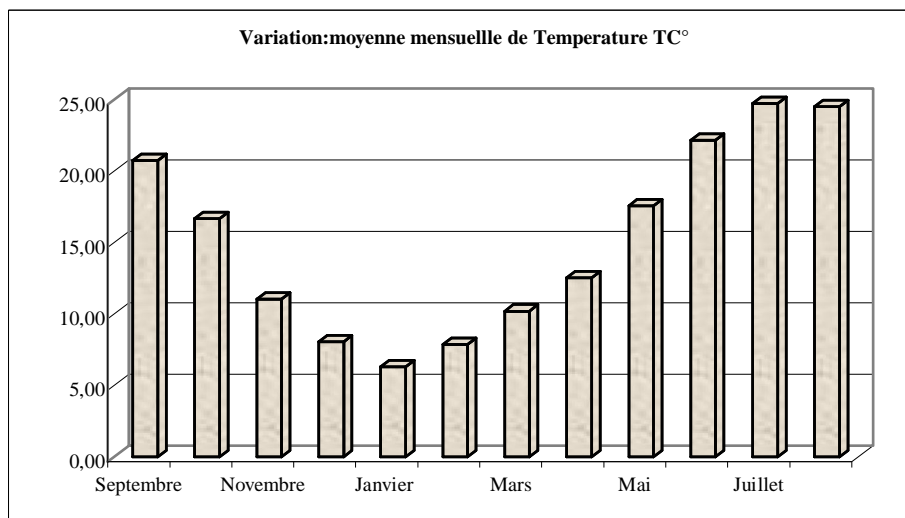
Les mois d'août et juillet sont les mois les plus tempérés avec un max de 25.39°C et 25.71°C

- Température minimale moyenne :

Le minimum de température est enregistré au mois de janvier est avec 6.52°C.

- A EL KOUIF ; Les hivers sont généralement rigoureux, se soldant par de basse température, se confirmant par la fonte très lente de la neige au niveau des hautes altitudes notamment dans DJEBEL DYR et GOURAY.
- Ces basses températures débutent en NOVEMBRE et vont jusqu'à la fin de MARS, et des étés très secs et prolongés avec de hautes températures.
- D'après le diagramme ; on observe un grand écart thermique entre l'été et l'hiver : mois de JANVIER 6.52°C (le mois le plus froid), mois de JUILLET (le mois le plus chaud) 25.71° C.

- Cette variation saisonnière de température reflète bien l'appartenance continentale d'EL KOUIF, cette dernière est responsable aussi de l'importance de variations des températures tant entre le jour et la nuit.



Moyenne mensuelle de Température station de TEBESSA

2- LES VENTS :

Les vents dominants sont ceux du Nord Ouest de fréquence 34%, viennent en 2^{ème} position les vents d'Ouest et S.W, avec des fréquences moyennes respectives de 15 et 16% .

TAB N° 3 : TABLEAU DES FREQUENCES DES VENTS.

Séries	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Fréquence en %	4	5	7	12	7	16	15	34

3- SIROCCO :

Les vents chauds soufflent fortement en JUIN et JUILLET. Durant cette période ; ils deviennent nuisibles pour les jeunes plantes (l'accélération de l'évapotranspiration et l'érosion éolienne).

4- L'ENNEIGEMENT :

L'eau sous une autre forme mais tout aussi néfaste si l'on n'a pas pris soin de prendre en compte ce paramètre dans les constructions d'altitude.

La neige est un facteur de charge variable climatique (notamment à cause de la force du vent qui redistribue les charges sur la couverture) qui peut, lorsque des précautions n'ont pas été prises, soumettre le bâtiment à des sollicitations qui jouent sur la stabilité intrinsèque et sur la rigidité de la construction.

La localisation géographique est prépondérante; l'action conjuguée de la neige et du vent est variable selon la région et l'altitude.

D'après le tableau les jours d'enneigement est relativement fort par rapport aux communes limitrophes.

Cette importance s'explique par les hautes altitudes qui vont jusqu'à 1472 m au DJEBEL DYR (point culminant).

5- LA PRECIPITATION :

L'apport d'eau au sol se fait sous forme de pluie, neige, rosée et brouillard.

Toute l'eau des précipitations n'atteint pas le sol ; une part est évaporée directement pendant et après la pluie; les gouttes peuvent être en partie par le feuillage.

L'eau qui atteint le sol ruisselle, s'infiltré et réhumecte le sol.

Les racines absorbent cette eau que la tige et les feuilles évaporent par transpiration.

Une fraction réduite finalement gagne la profondeur et atteint la nappe.

La teneur en eau est fonction de la porosité et de la perméabilité du sol.

Le volume maximal d'eau qu'un sol peut retenir est capacité de rétention du sol qui dépend essentiellement de la granulométrie du sol.

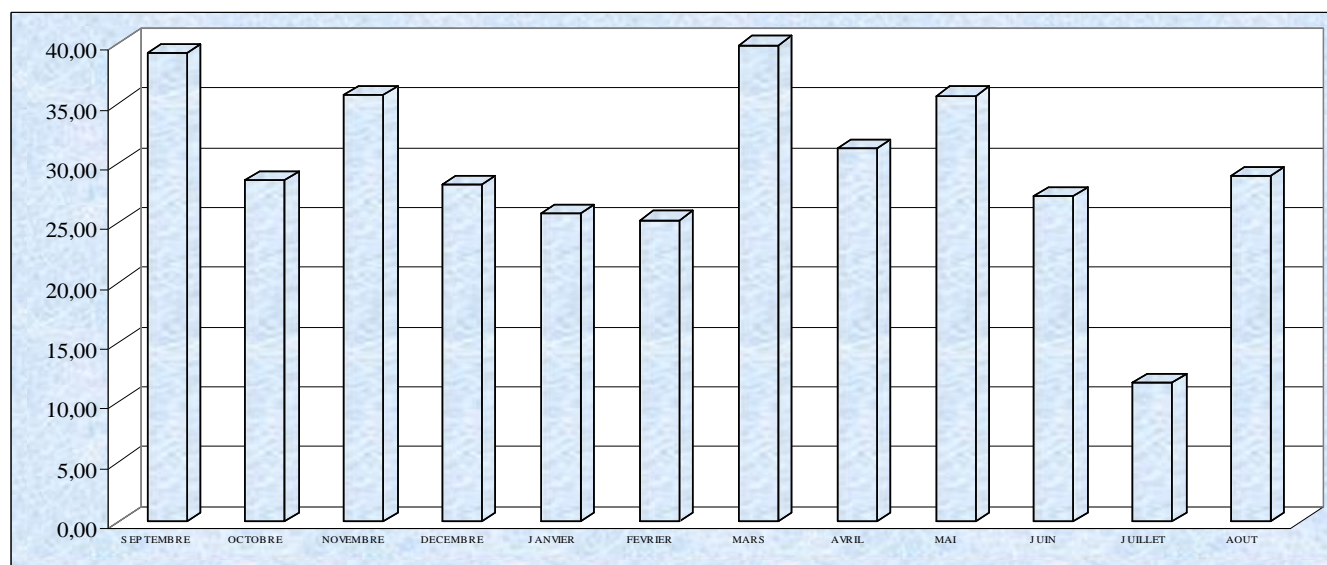
Près de la surface, le sol n'est pas saturé, les espaces vides contiennent de l'eau et de l'air; l'eau est soumise aux forces de gravité et de capillarité.

A partir d'une certaine profondeur, la teneur en eau n'augmente plus ; le sol est saturé, tous les pores du sol sont remplis d'eau ; cette zone saturée forme une nappe; les forces de gravité sont prédominantes.

PRECIPITATION DE LA REGION D'ETUDE

- Le mois le plus arrosé est le mois de MARS avec une précipitation de moyenne mensuelle de 39.92 mm.
- Le mois le moins arrosé est le mois de Juillet avec une précipitation de moyenne mensuelle de 11.62 mm .
- L'année la plus arrosées est l'année 1972-1973 avec une précipitation de 625.30 mm
- L'année la moins arrosées est l'année 1996-1997 avec une précipitation de 207.40 mm.

Tableau moyen mensuel de précipitation



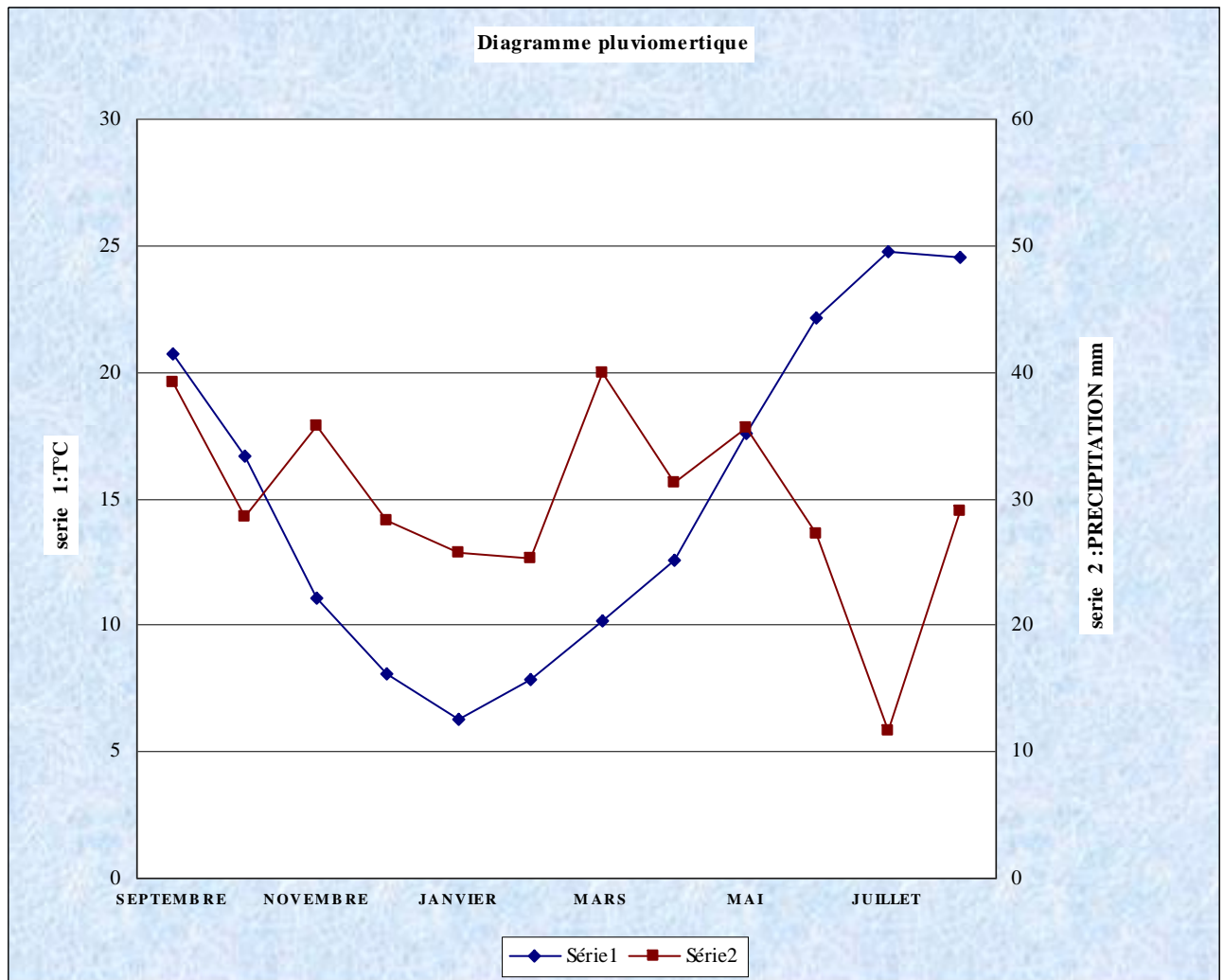
Le Diagramme Pluviométrique :

Le régime des précipitations au cours de l'année est exprimé conjointement avec la température moyenne mensuelle sous forme de diagrammes pluviométrique.

Par convention, l'échelle des températures en C° est doublée par rapport à celle des précipitations exprimées en mm.

Ce diagramme nous donne l'intervalle de la période de sécheresse ainsi que celui de la période humide

- Période sèche : Début du mois de MAI --- Fin du mois de SEPTEMBRE
- Période Humide : Début du mois d'OCTOBRE ---Début du mois de MAI



3-TYPE DE CLIMAT :

INDICE D'ARIDITE :

L'indice d'aridité permet de calculer le type de climat, ce dernier dépend essentiellement de la précipitation moyenne en mm et de la température moyenne annuelle en C°.

SELON D.MARTONE

$$I = P/T+10$$

Telle que :

- I : Indice d'aridité
- P: Précipitation moyenne annuelle
- T: Température moyenne annuelle en C°

La ville d'EL KOUIF est caractérisée par un indice d'aridité égale à :

$$357.56 / 25.20 = 14.18$$

Les intervalles d'indice d'aridité donnés par D.MARTONE donne le type de climat de la ville d'EL KOUIF

- ❖ I = 5 ----- Climat hyper aride
- ❖ 5<I<7.5----- Climat désertique
- ❖ 7.5<I<10 ----- Climat steppique
- ❖ 10<I<20 ----- Climat semi aride
- ❖ 20<I<30----- Climat tempéré

Cette classification montre que la région d'étude est caractérisée par un climat de type semi aride.

II. Hydrologie

Par manque de données et vu l'absence de la carte topographique à l'échelle 1/50.000 où figure la totalité de la région d'étude, le seul document topographique est la carte topographique à l'échelle 1/200.000 dont l'utilisation a permis au moins le traçage du bassin versant d'EL KOUIF et d'avoir une idée plus sûre sur le réseau hydrographique.

1- APERÇU HYDROGRAPHIQUE

On note la présence d'un nombre important de talwegs et chenaux, malheureusement on n'a pas l'outil topographique nécessaires pour donner plus de détails sur se réseau.

Ce réseau est caractérisé par la présence de d'un cours d'eau important.

➤ **OUED RAS EL-AYOUN :**

Oued permanent et principal collecteur des eaux du sous bassin versant d'EL KOUIF .Il est alimenté par un réseau assez dense de CHAABATS et des sources de faibles débits.

Son écoulement suit la direction (SUD OUEST- NORD EST); il constitue la limite NORD de la commune, son tracé traverse l'agglomération RAS EL AYOUN et s'enfonce par moment jusqu'à des profondeurs de plus de 5 m

Sa trajectoire continue jusqu'à la frontière ALGERO–TUNISIENNE.

Cet oued est naît à partir d'une altitude de 1213 m, son alimentation à partir des faibles sources explique la faiblesse de son régime d'écoulement, la pente qu'il emprunte est marquée par sa faiblesse

Oued RAS EL AYOUN est caractérisé par une faible pente 0 - 4 % ; sur un lit majeur de 10 à 15 m de large, il est étalé dans un matériel meuble.

2- LIMITE GEOMETRIQUE DU BASSIN VERSANT :

EL KOUIF se trouve dans le bassin versant de OUED SAMMA les eaux superficielles sont drainées par un réseaux bien déterminé voir figure N°1

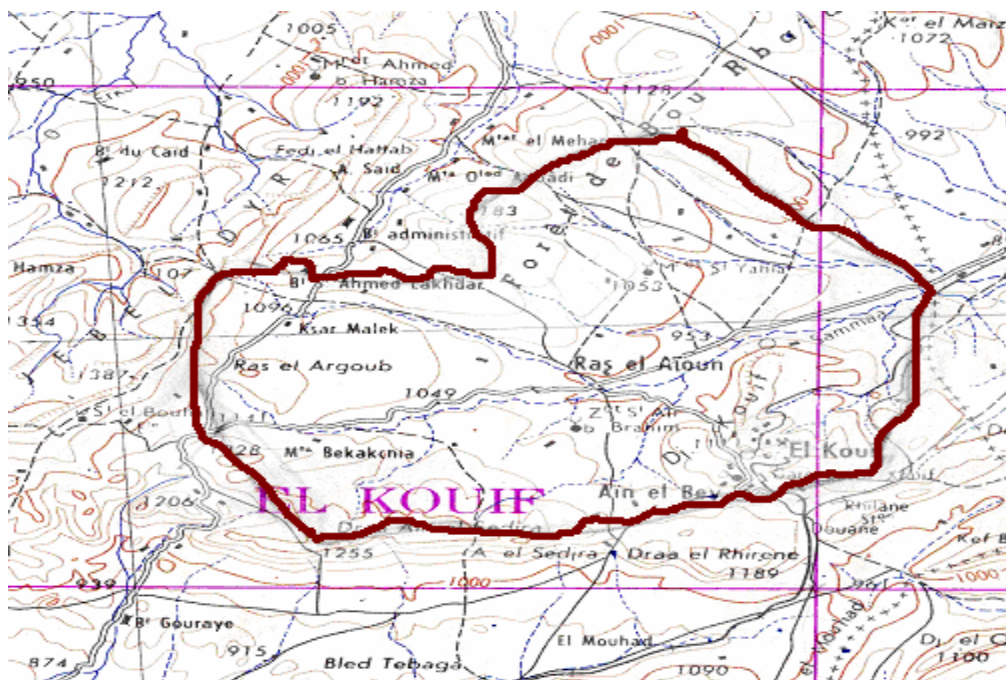


FIG N°01 Limite du bassin versant de oued SAMMA

3- PARAMETRES DU BILAN HYDRIQUE

Le suivi du bilan hydrique des sols est une opération complexe car il n'existe pas actuellement d'appareil simple pour mesurer en routine le volume d'eau du sol.

Dans notre cas, on préfère calculer la réserve d'eau du sol à partir des données élémentaires fournies par les stations météorologiques: pluviométrie, température et humidité de l'atmosphère, vitesse du vent, insolation.

6- EVAPORATION :

L'évaporation et l'évapotranspiration sont deux facteurs essentiels de l'environnement, répondant à la notion courante du climat, se sont les éléments principaux du bilan hydrologique.

Ils désignent toutes les pertes en eau, par retour à l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau.

7- EVAPO-TRANSPARATION

Une partie de l'eau qui pénètre dans le sol est évaporée de nouveau dans l'atmosphère soit directement, soit par l'intermédiaire des plantes. l'ensemble de ces pertes en eau constitue l'évapo-transpiration.

L'évaporation se fait surtout à la surface du sol ; même pendant la pluie, une partie de l'eau est immédiatement ré-évaporée car l'atmosphère n'est pas saturée en eau.

Le départ de l'eau superficielle fait remonter l'eau des zones plus profondes. la quantité évaporée diminue avec la quantité retenue dans le sol car les forces de capillarité s'oppose à son départ et l'énergie nécessaire pour extraire l'eau est d'autant plus grande que le sol s'appauvrit en eau.

L'évapo-transpiration réduit la quantité d'eau s'infiltrant vers la nappe.

En été, elle reprend la totalité de l'eau qui a pénétré dans le sol; la nappe ne peut être alimentée que pendant les mois d'hiver.

La teneur en eau du sol peut descendre au dessous de la capacité au champ et même atteindre le point de flétrissement près de la surface:

Un courant d'eau capillaire s'établit depuis la profondeur ; la perte en eau d'un sol est plus faible depuis la profondeur ; la perte en eau d'un sol est plus faible lorsque celui-ci est nu, car il se forme une croûte superficielle qui limite l'évaporation.

Les remontées capillaires sont importantes lorsqu'il existe une nappe ; l'eau peut remonter jusqu'à 1 m au dessus du niveau de la nappe dans un sol limoneux et être utilisée par les racines.

En année sèche, les remontées capillaires peuvent être importantes et atteindre 100 mm, soit l'équivalent de la réserve hydrique du sol.

L'évapo-transpiration peut être mesuré directement sur le terrain par les appareils (évapomètre), ou calculé par des formules empiriques.

Ces formules font intervenir essentiellement la précipitation ainsi que d'autre paramètres climatiques directement ressenti (l'altitude, l'isolation ;...etc.....).

❖ L'EVAPOTRANSPIRATION REEL – ETR:

L'ETR tient compte de l'abondance de l'eau à la surface évaporante

La formule de TURC donne la valeur de évapotranspiration réelle

$$ETR = P / (0.9 * P^2 / L^2)^{1/2}$$

- L : $0.05T^3 + 25T + 300$
- P: précipitation en mm
- T: température en C°
- ETR : évapotranspiration en mm

APPLICATION

$$ETR = .332.708 \text{ mm (Pour la région étudiée)}$$

Avec :

- P = 357.56 mm
- T = 15.20. °C
- L = 708.12

❖ L'EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE ETP :

L'évapotranspiration potentielle est employée lorsque la surface évaporante est convenablement alimentée en eau.

L'ETP par définition supérieure à l'ETR

L'évapo-transpiration réelle est calculée par la formule de C W THORNTHWAIT

$$ETP = 16 (10T/I)^a$$

- ETP = évapotranspiration potentielle en mm
- T = température moyenne mensuelle en C°
- I = indice thermique annuel
- $I = \text{somme } i / i = (T / 5)^{1.514} = (0.2T)^{1.54}$
- a : l'exposant climatique donnée par la formule
 - $a = (1.6/100) \cdot I + 0.5$
- Le coefficient K permet de corriger les valeurs de l'ETP, ce coefficient dépend de l'altitude.

8- REPARTITION DES PRECIPITATIONS

3-1-RUISSELLEMENT R

L'eau ruisselle sur le sol sous forme d'une lame d'eau, de filets diffus ou d'un écoulement concentré. Elle exerce sur le sol une force de cisaillement qui arrache les particules puis les transporte. Les conditions d'arrachement, de transport et finalement de dépôt dépendent de la vitesse du courant et de la taille des particules.

Selon TIXERONT ET BERKALOF le ruissellement

$$R = P^3 / 3(ETP)^2$$

- R : Ruissellement (mm)
- P : Précipitation (mm)
- ETP : Evapotranspiration Potentielle (mm)
- Les données de la zones d'étude donne un ruissellement de

$$R = 23.52 \text{ mm}$$

3-2- L'INFILTRATION I:

L'infiltration est calculée par la formule : $I = P - ETR - R$

La zone d'étude est caractérisée par **1.33 mm** d'infiltration

3-3-ESTIMATION DES RESERVES FACILEMENT UTILISABLE RFU :

Elle représente la quantité d'eau emmagasinée dans le sol son degré de saturation dépend de plusieurs facteurs:

- La nature, lithologique et l'épaisseur de la couche parcourue par les racines
- La profondeur de niveau piézométrique de la nappe
- Le climat de la région
- Le type de la couverture végétale.
- Les réserves facilement utilisables peuvent être évalué par la formule de HAILLER :

$$RFU = 1/3 (Da \cdot He \cdot P) \quad Da = 1.4$$

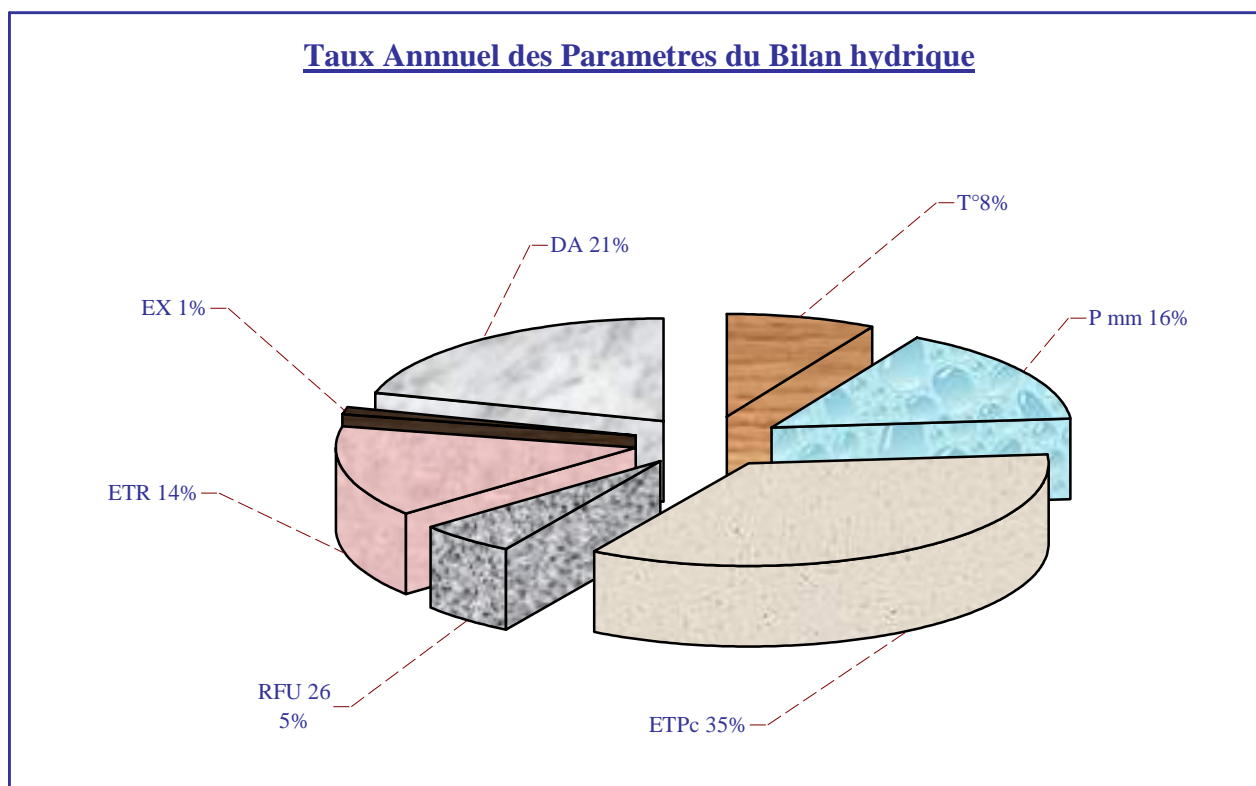
- Da : Densité apparente du sol
- He : Humidité équivalente du sol (He =25 %)
- P : Profondeur de la couche de la terre parcourue par les racines en m (P = 0.225 m)

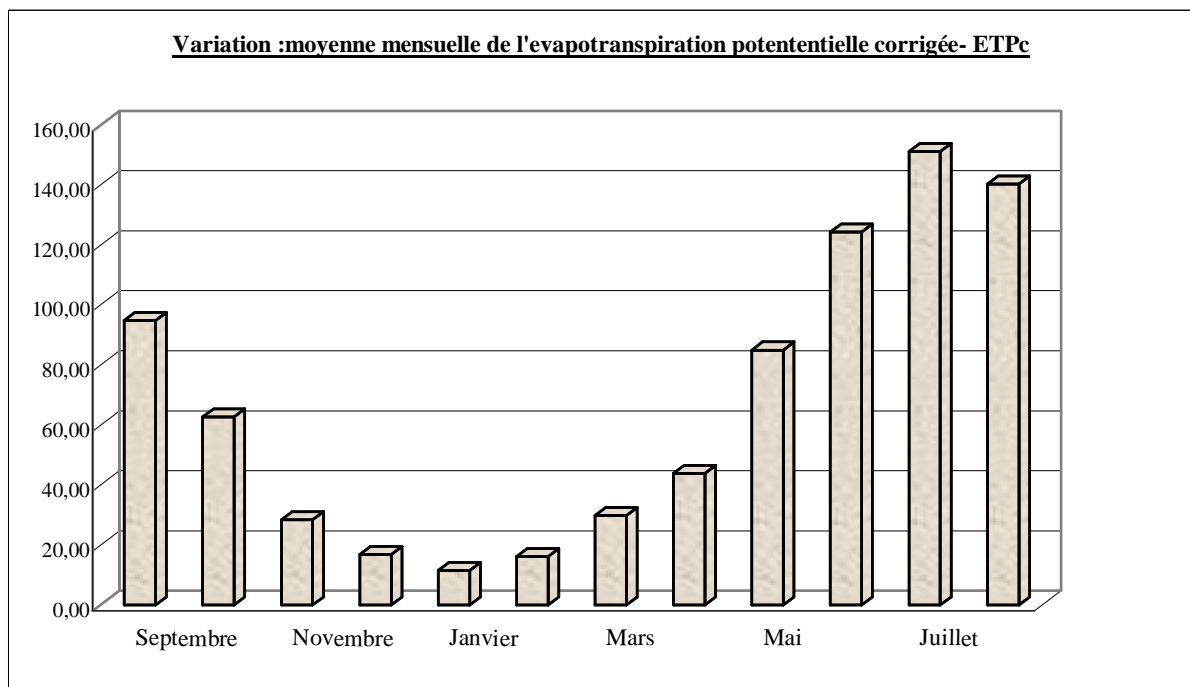
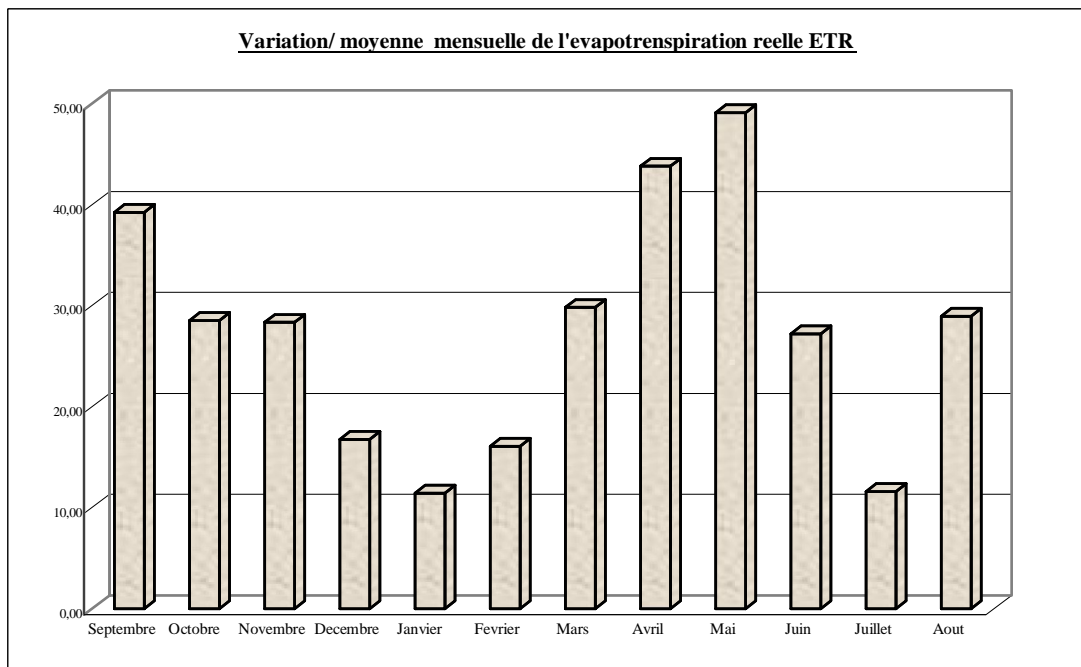
$$RFU = 26 \text{ mm}$$

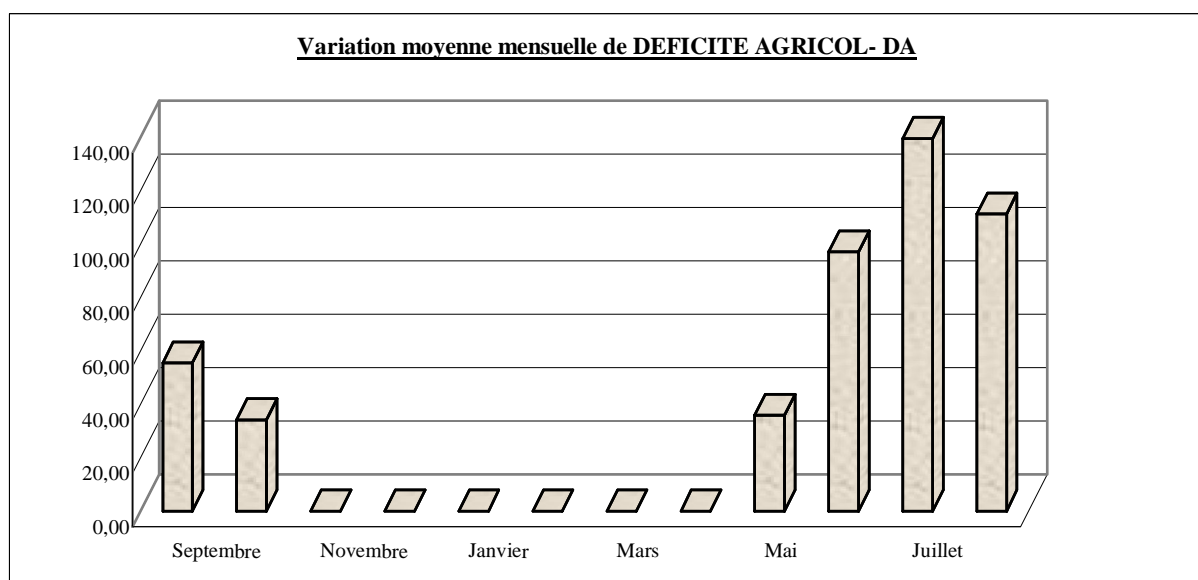
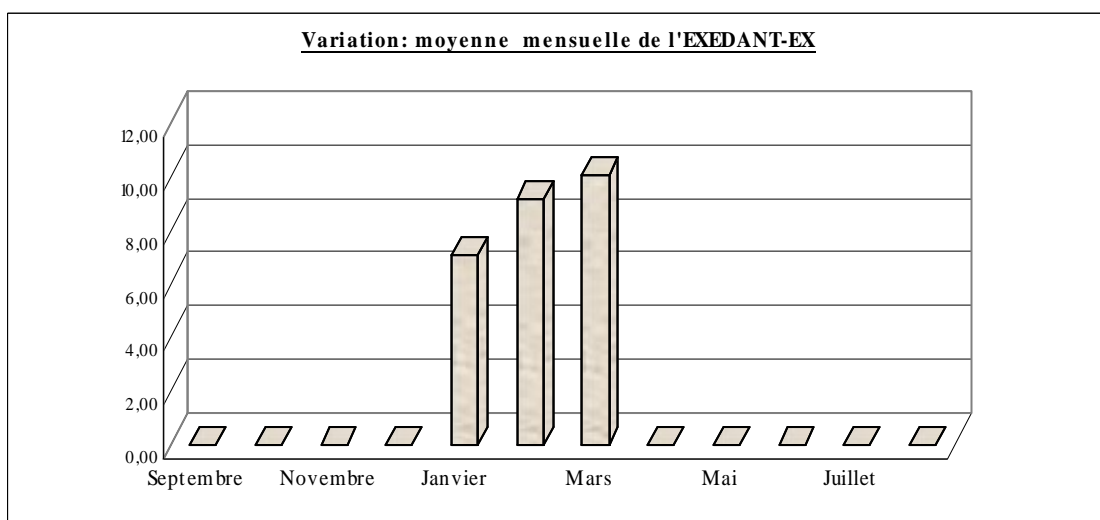
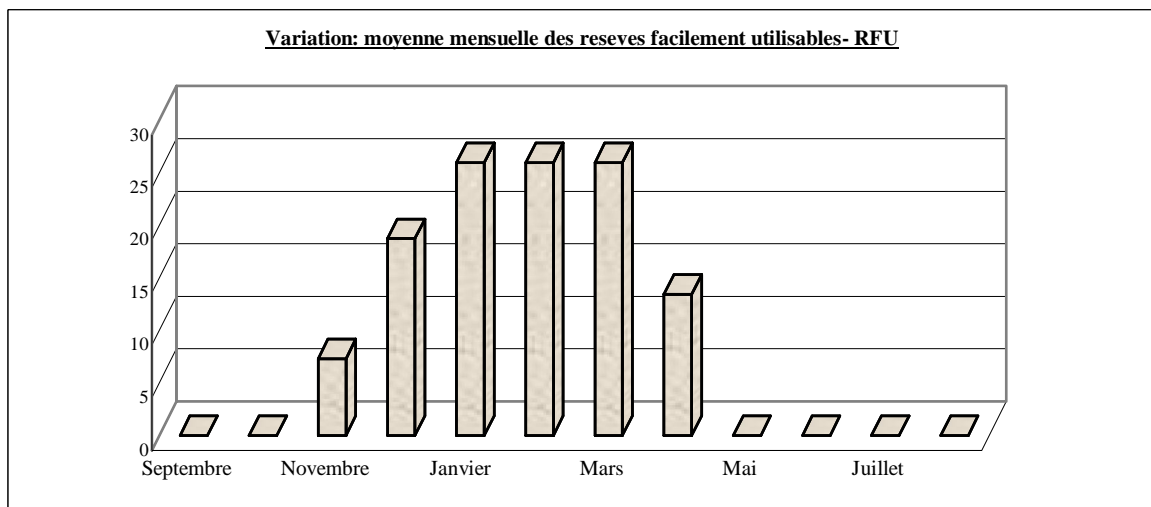
9- BILAN HYDRIQUE : (33 ans (1972-2005) station de TEBESSA

Mois / Parametres	Septembre	Octobre	Novembre	Decembre	Janvier	Fevrier	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Total
T°	20,73	16,69	11,05	8,06	6,29	7,86	10,21	12,54	17,56	22,18	24,76	24,51	182,45
I	8,61	6,20	2,35	2	1,49	2,03	2,95	4,27	7,15	10,16	11,93	11,71	70,86
I	70,86												
A	1,63												
K	1,03	0,97	0,86	0,85	0,87	0,85	1,03	1,08	1,21	1,21	1,23	1,16	
P mm	39,27	28,56	35,71	28,23	25,80	25,26	39,92	31,28	35,69	27,25	11,62	28,97	357,56
ETP	92,07	64,68	33,00	19,76	13,17	18,95	29,00	40,58	70,23	102,76	122,94	120,97	728,10
ETPc	94,83	62,74	28,38	16,79	11,46	16,11	29,87	43,83	84,97	124,34	151,22	140,33	804,86
P-ETP	-55,56	-34,17	7,32	11,44	14,34	9,15	10,06	-12,55	-49,29	-97,09	-139,60	-111,36	
RFU ₂₆	0	0	7,32	18,76	26,00	26,00	26	13,45	0	0	0	0	117,53
ETR	39,27	28,56	28,38	16,79	11,46	16,11	29,87	43,83	49,14	27,25	11,62	28,97	331,25
EX	0	0	0	0	7,1	9,15	10,06	0	0	0	0	0	26,31
DA	55,56	34,17	0	0	0	0	0	0	35,83	97,09	139,6	111,36	473,61

Mois	Septembre	Octobre	Novembre	Decembre	Janvier	Fevrier	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Total
Parametres													
T°	20,73	16,69	11,05	8,06	6,29	7,86	10,21	12,54	17,56	22,18	24,76	24,51	182,445
I	8,61	6,20	2,35	2,00	1,49	2,03	2,95	4,27	7,15	10,16	11,93	11,71	70,86
K	1,03	0,97	0,86	0,85	0,87	0,85	1,03	1,08	1,21	1,21	1,23	1,16	12,35
P mm	39,27	28,56	35,71	28,23	25,80	25,26	39,92	31,28	35,69	27,25	11,62	28,97	357,5573529
ETPc	94,83	62,74	28,38	16,79	11,46	16,11	29,87	43,83	84,97	124,34	151,22	140,33	804,86271
RFU ₂₆	0	0	7,32	18,76097593	26	26	26	13,45	0	0	0	0	117,53
ETR	39,27	28,56	28,38	16,79	11,46	16,11	29,87	43,83	49,14	27,25	11,62	28,97	331,25
EX	0	0	0	0	7,1	9,15	10,06	0	0	0	0	0	26,31
DA	55,56	34,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	35,83	97,09	139,60	111,36	473,61







CONCLUSION :

L'établissement du bilan hydrique de la région d'étude pour une série de données de température et de précipitation de 33 ans (1972-2005) a donné les résultats suivants:

- Précipitation moyenne mensuelle de l'ordre de 357.56 mm
- La température moyenne annuelle est de l'ordre de 15.20 °C
- Evapotranspiration réelle de l'ordre de 331.25 mm.
- Infiltration de l'ordre de 1.33 mm ce qui explique la nature imperméable du sol de la région d'étude d'une part nous explique l'alimentation des eaux souterraines est basé aussi sur les calcaire fissurées d'autre part.
- Le climat d'EL KOUIF est typiquement semi-aride de type continental à hiver froid et été chaud. Cet écart de température influe sur la sécheresse du sol .
- Le ruissellement R = 23.52 mm.
- L'intervalle de la période de sécheresse dans la zone d'étude selon le diagramme pluviométrique débute mois de MAI jusqu'au début du mois d'octobre
Période humide : début OCTOBRE- jusqu'au à la fin du moi d'Avril.
- La période de sécheresse et d'humidité joue un grand rôle dans le retrait et le gonflement des sols d'EL KOUIF .
- Les caractéristiques hydrologiques d'EL KOUIF complétées par la nature marneuse des sols favorisent le phénomène du gonflement.

III. APERÇUS HYDROGEOLOGIQUE

Pour caractériser la présence de l'eau dans le sol, on utilisera dans la présente partie l'étude hydrogéologique

1. CLASSEMENT DES SOURSES D'EAU DANS LA VILLE D'EL KOUIF

La faiblesse des précipitations, le caractère souvent orageux de celles ci, ainsi que la chaleur de saison d'été expliquent les faibles ressources aquifères de la région.

Les principale source d'eau sont comme suit :

1- LES CALCAIRES EOCENE :

Les calcaires du plateau d'EL KOUIF sont drainés par quelques petites sources permises lesquelles il faut citer AIN BENBOUCH (point nord du plateau AIN EL BEY, près d'EL KOUIF).

LE DJEBEL DYR représente l'un des meilleurs réservoirs de la région. La base des calcaires est jalonnée par nombreuses sources, dont les plus important sont AIN ZRIBA à la pointe nord, AIN KHEBBACHA à la pointe SUD, les sources de OUED ARKEL et de OUED GASTEL.

2- LES CALCAIRES DANIEEN :

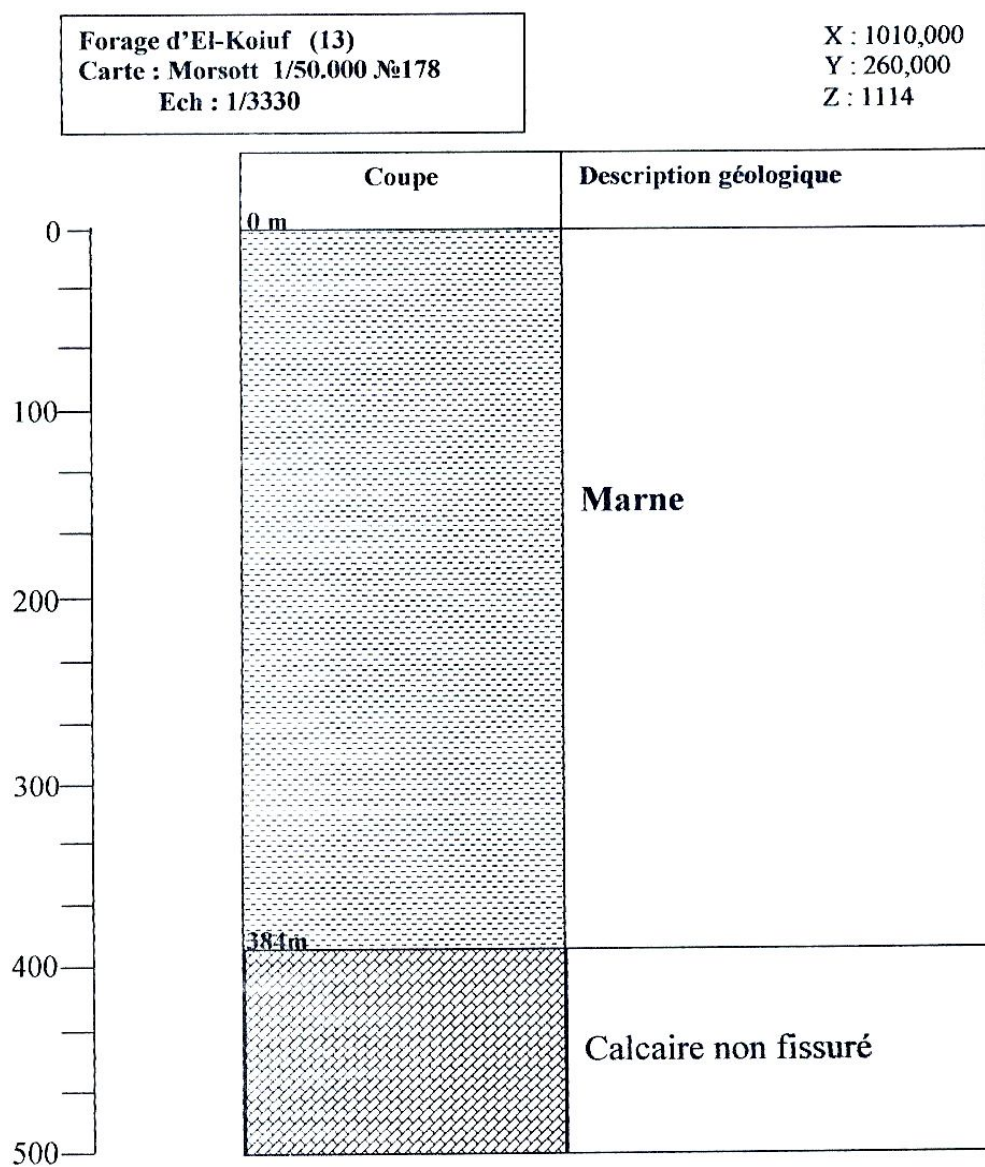
Les calcaires du DANIEEN donne naissance à quelques sources importantes ; à l'extrémité NORD d'EL KOUIF, AIN DEBDOUDI et au NE du DYR, AIN GOUFFA.

3- LES CALCAIRES MESTRICHIEEN :

La région du BOU RBAIA est à peu près complètement dépourvue d'eau.

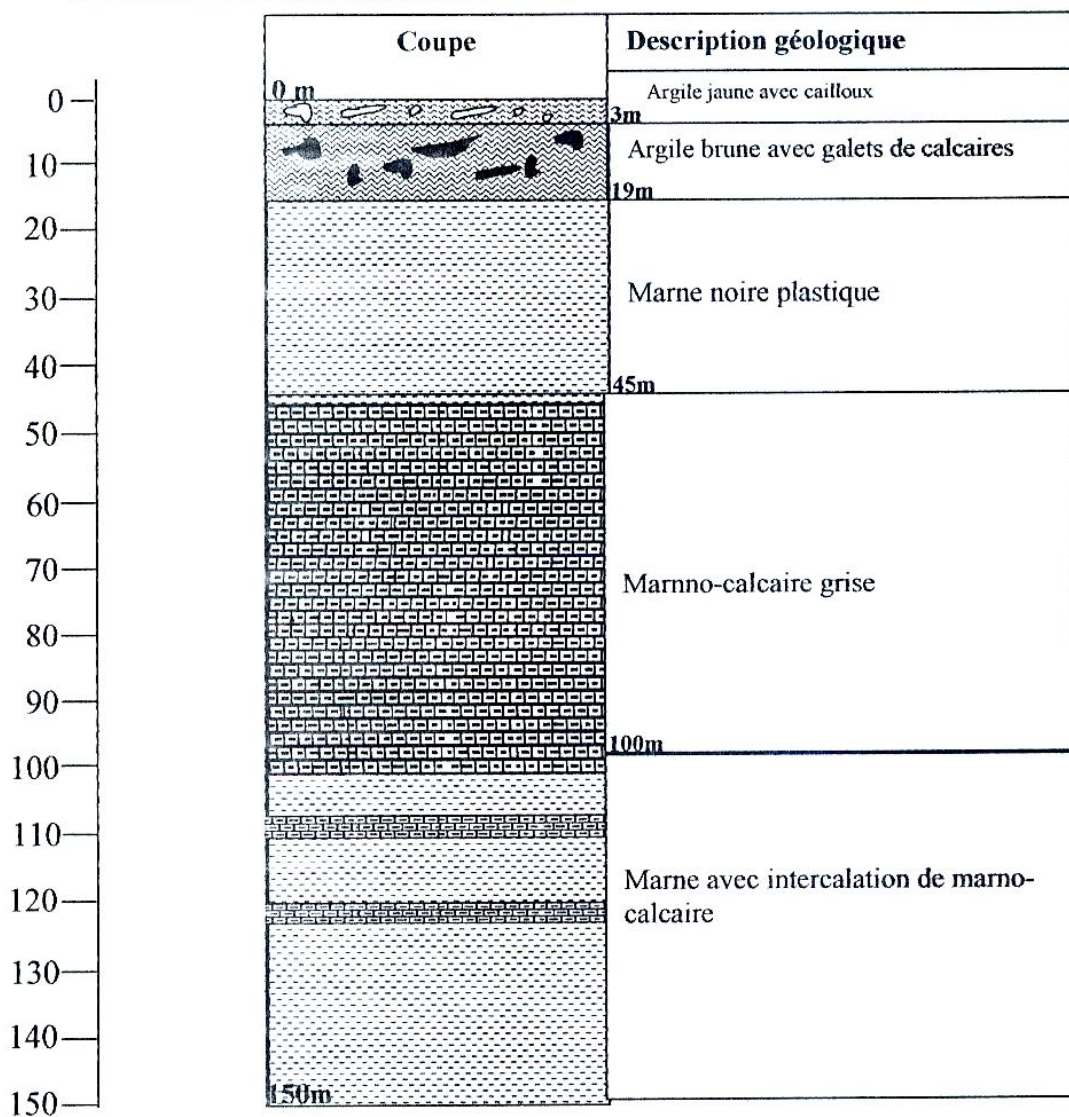
Cependant, sur les bordures du massif, à la faveur des nombreuses failles qui découpent, on peut noter quelques émergences celle de RAS EL AYOUN.

2. LES FORAGES EXECUTES DANS LA REGION D'EL KOUIF :



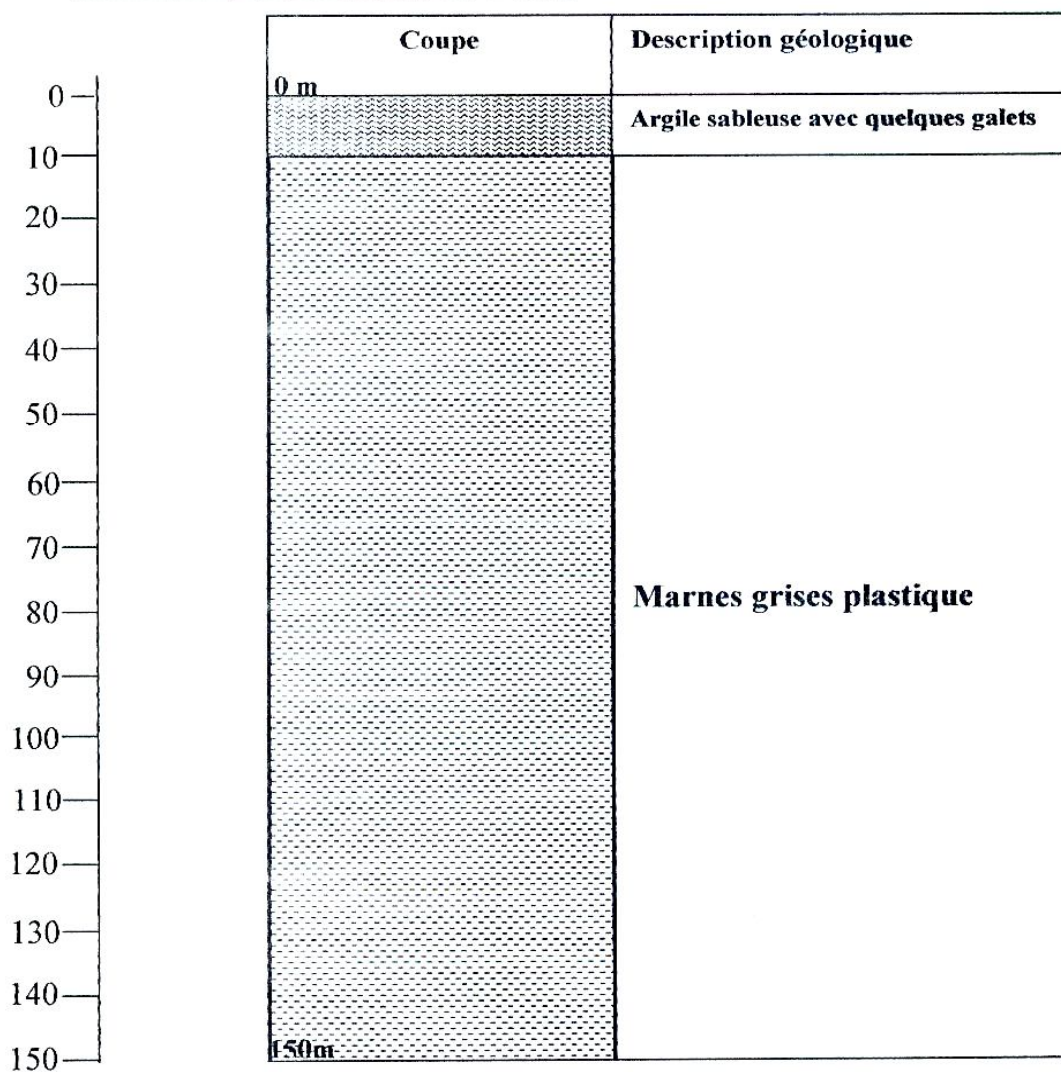
Forage EL KOUIF EK1
Carte : Tébessa №206 Ech : 1/50.000
Ech : 1/1000

X : 1009,450
 Y : 257,300
 Z : 1105,00



Forage Ras Er Remila RR1
Carte : Thala LXVII
Ech : 1/1000

X : 1012,650
 Y : 261,800
 Z : 975



CONCLUSION

La zone étudiée est représentée par deux formations essentielles qui sont l'éocène inférieur et le crétacé supérieur

- ✓ L'éocène inférieur est représenté par des marnes et marno calcaire avec intercalation des phosphates, les marno-calcaires sont fissurés, l'épaisseur de l'éocène inférieure est entre 200-300 m
- ✓ Le crétacé supérieur se compose de maestrichtien et le campanien, le premier est composé du calcaire blanc massif et du calcaire karstique, la seconde est composée du marno gris avec intercalations de calcaire, l'épaisseur totale du crétacé supérieur est entre 200-400 m.
- ✓ A proximité de l'oued principale dans cette région, il y a une possibilité de trouver une couverture d'alluvion récente 20 m d'épaisseur environ.
- ✓ Les marnes de l'éocène inférieur atteignent une épaisseur de 380 m, la couche est très imperméable; il n'y a aucune possibilité de trouver de l'eau dans cette partie. Voir forage d'EL KOUIF X=1010 Y=260 d'une profondeur de 464 m
- ✓ Le faciès du marno calcaire de l'éocène est bien fissuré dans la région de DJEBEL EL KOUIF et dans les galeries de mine phosphatée; existence de l'eau dans cette partie (mobilisation d'un débit de 10 l/s)
- ✓ Le crétacé supérieur dans la région de RAS EL AYOUN est composé du calcaire crayeux et du calcaire blanc bien fissuré, l'épaisseur de cette formation dans la région de AIN EL FOUARA AF1 (X=1006.750, Y=262.000) est de 186 m; ce forage a donné un débit de 19 l/s de N.S=5.64m.
- ✓ En outre, dans la région de RAS EL AYOUN; il y a plusieurs puits de profondeur (10-12 m) qui captent la nappe phréatique de calcaire fissuré, chaque puits donne un débit de (2-3) l/s environ.
- ✓ Les caractéristiques hydrogéologiques dans la ville d'EL KOUIF marquées par la présence des calcaires fissurés favorisent la circulation des eaux souterraines, en contact des marnes plastiques augmente le phénomène du gonflement.
- ✓ Dans la ville d'EL KOUIF il est nécessaire de faire une étude géophysique afin de pouvoir déterminer :

1-la profondeur, la géométrie et l'épaisseur du calcaire et des marno-calcaire de l'éocène inférieur et du crétacé supérieur.

2-Le degré de fracturation du calcaire et du marno-calcaire et la mise en évidence des zones tectonisées.

3-Donner une idée principale sur la structure géologique et le régime hydrogéologiques de la région d'El kouif.

Chapitre -3-

CONDITIONS GEOTECHNIQUES

➤ INTRODUCTION

Le gonflement de certains sols ou de certaines roches sédimentaires constitue un phénomène très important en géotechnique car il est à l'origine de nombreux dommages pour les ouvrages en surface et en souterrain.

Ce phénomène, qui est prépondérant dans les matériaux argileux, dépend des caractéristiques minéralogiques des minéraux argileux et se déclenche lorsque le matériau est mis en contact avec l'humidité ou avec une solution aqueuse.

Lorsque l'eau pénètre dans le matériau argileux, il conduit au gonflement dépendant de l'état de contraintes in situ.

Différents types d'hydratation induisent le gonflement tels que la capillarité, l'osmose et l'adsorption.

Ces phénomènes sont liés à la non saturation initiale de la roche d'une part, et aux propriétés électrochimiques des feuillets argileux d'autre part.

Les conséquences du gonflement sont nombreuses et dépendent principalement de chaque type d'ouvrage.

Le gonflement est généralement accompagné d'un changement des caractéristiques mécaniques et pétrochimiques de la roche qui peuvent avoir une influence sur la durée de vie de l'ouvrage.

L'intérêt de ce chapitre peut être divisé en deux parties :

1- Etude bibliographique du phénomène de gonflement

2- Méthodes géotechniques de détermination du phénomène de gonflement dans la ville d'EL KOUIF

Conclusion.

1^{ère} PARTIE

Etude Bibliographique Du Phénomène De Gonflement

1- CAUSES DE GONFLEMENT

Quatre principaux phénomènes expliquant les causes du gonflement :

- Hydratation par adsorption,
- Hydratation par osmose,
- Hydratation par capillarité,
- Transformations chimiques.

1-1- HYDRATATION PAR ADSORPTION

Les argiles sont principalement caractérisées par un déséquilibre électrique dû à une substitution isomorphe de cations dans la structure octaédrique des feuillets.

Il en résulte alors la formation de la double couche diffuse due à la fixation des cations échangeables qui s'installent à la surface des feuillets du fait des forces électrostatiques qui sont les suivantes :

1. FORCES D'ATTRACTION :

Généralement causées par les forces de VAN DER WAALS entre les feuillets voisins.

2. FORCES DE REPULSION :

Ayant plusieurs composantes (interaction des doubles couches associées aux deux feuillets, énergie d'hydratation des cations compensateurs).

Ces deux forces décroissent rapidement avec la distance interarticulaire. Quant à la force de répulsion, elle diminue également avec l'augmentation de la concentration en électrolytes à proximité de la surface chargée, la concentration en cations est plus élevée que celle en anions. Le gonflement est d'autant plus élevé que les potentialités de développement des doubles couches sont importantes.

Cette double couche (**Fig: 1**) dépend de la nature des minéraux argileux et des cations compensateurs.

La nature du cation compensateur joue un rôle important. En effet, le rayon ionique hydraté varie avec le type du cation échangeable comme le montre le tableau 1.

Cation compensateur	Rayon ionique A ⁰	
	Non hydraté	Hydraté
Li ⁺	0.6	7.3
Na ⁺	0.95	5.6
K ⁺	1.33	3.8
Rb ⁺	1.58	3.6
Cs ⁺	1.67	3.6
Ca ²⁺	0.99	9.6
Mg ²⁺	1.08	10.8

Tab 1 :-Dimensions des Cations hydratés et non hydratés

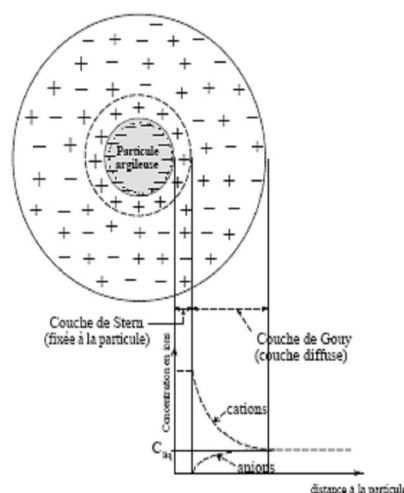


Fig 1 : Schéma de la double couche entourant une particule argileuse

D'après la théorie de la double couche, il est aisé de déduire les constatations suivantes :

- L'augmentation de la concentration en solution entraîne une diminution de l'épaisseur de la double couche diffuse.
- Lorsque la valence de l'électrolyte augmente, l'épaisseur de la double couche diffuse diminue.
- L'augmentation du constant diélectrique entraîne une augmentation de l'épaisseur de la double couche.
- L'augmentation de la température accroît l'épaisseur de la double couche diffuse.

1-2. HYDRATATION PAR OSMOSE

Lorsqu'une solution saline est séparée de l'eau pure par une membrane semi-perméable idéale (permettant uniquement le passage des molécules d'eau mais non des substances dissoutes), l'eau pure a alors tendance à traverser la membrane pour diminuer la concentration de la solution.

Ce phénomène est appelé osmose. La pression qu'il faut appliquer pour empêcher l'arrivée de l'eau dans la solution saline est nommée la pression osmotique (**Fig. 2.12**).

Fig. 2.12 – Phénomène osmotique idéal

Si la concentration de l'eau libre est inférieure à la concentration de l'eau de la double couche, il en résulte alors une migration des molécules d'eau des pores larges vers les particules argileuses entraînant l'augmentation de la distance inter feuillet.

Il en résulte une pression osmotique d'attraction entraînant la contraction du matériau argileux.

Le phénomène d'hydratation par osmose permet d'expliquer le fait que lorsque la salinité de la solution d'hydratation augmente, le matériau argileux gonfle moins.

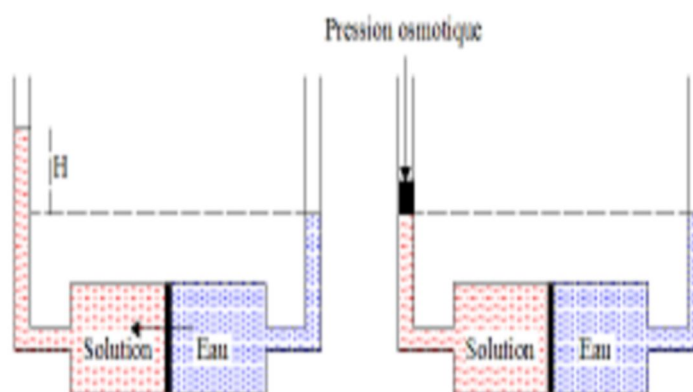


Fig : 2 Phénomène osmotique idéal

MORGENSTERN et BALASUBRAMONRAN ont étudié l'influence du chimisme de l'eau des pores sur le gonflement des argiles. Ils ont montré que l'eau distillée ou pure évince les substances chimiques augmentant par conséquent le gonflement et la pression de gonflement.

1-3. HYDRATATION PAR CAPILLARITE

La capillarité est une caractéristique des matériaux non saturés de faible porosité. Elle se traduit par une extension dans la phase liquide lors de la saturation ou par une contraction lors de la désaturation.

La saturation des matériaux fins après une phase de drainage peut entraîner le piégeage de l'air par l'eau à l'intérieur du réseau poreux.

Ce mécanisme peut engendrer la compression de l'air responsable de la dégradation ou de la fragmentation des matériaux argileux.

La capillarité dépend du phénomène d'adsorption, le film d'eau adsorbé diminue l'espace poreux et modifie par la suite la capillarité.

Dans l'hypothèse de pores cylindriques, la pression capillaire P_c est déterminée par la loi de JURIN :

$$P_e = u_a - u_w = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \theta}{r_e}$$

- u_a et u_w sont respectivement les pressions d'air et d'eau
- σ est la tension de surface eau-air et θ est l'angle de raccordement entre le ménisque et le solide.

Cette relation implique qu'au niveau du ménisque, plus r est petit, plus la pression d'eau est inférieure à la pression d'air.

Comme en mécanique des sols ou des roches, la pression atmosphérique étant nulle, il s'ensuit que la pression de l'eau à proximité du ménisque est négative.

Plusieurs facteurs affectent la capillarité des milieux poreux :

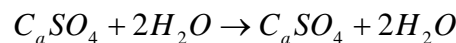
- La dimension et la distribution des pores,
- Les fluides et solides impliqués et l'histoire de saturation.

1-4 TRANSFORMATIONS CHIMIQUES

Trois types de transformations chimiques se distinguent principalement :

- la transformation de l'anhydrite en gypse,
- l'oxydation de la pyrite,
- la dissolution des carbonates dans l'eau.

La transformation de l'anhydrite (CaSO_4) en gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) se produit sous certaines conditions de pression, de température et de teneur en eau [99] et s'accompagne d'une variation de volume spécifique :



Masse (g) :	36	136	173
Volume (cm^3) :	46	36	74

Dans la nature, deux cas sont susceptibles de se présenter :

- Dans un volume fermé contenant de l'anhydrite et l'eau nécessaire à la transformation, le gypse se forme avec une réduction de volume.

$$\Delta = \frac{(46 + 36)}{46} \cdot 100 = 9\%$$

- Par contre, si l'eau provient de l'extérieur, c'est à dire dans un système ouvert, théoriquement, un gonflement s'observe :

$$\Delta_u = \frac{74 - 46}{46} \cdot 100 = 61\%$$

Dans la nature, les conditions sont plus proches de celles du système ouvert, c'est pourquoi on assiste généralement à un gonflement.

L'oxydation de la pyrite (FeS_2) est le processus le plus important de décomposition chimique des roches sédimentaires à granulométrie fine.

Cette oxydation conduit à la formation de l'acide sulfurique. L'acide réagit à son tour avec les carbonates de calcium. Cette réaction produit du sulfate et peut former du gypse dont la cristallisation provoque l'éclatement du matériau argileux.

L'oxydation de la pyrite peut créer un réseau de micro fissures se traduisant par un risque de rupture et également des chemins préférentiels d'écoulement.

A long terme, la dissolution des carbonates rend les matériaux argileux de plus en plus ductiles. Une diminution des propriétés mécaniques peut être observée.

2- GONFLEMENT AU SENS MECANIQUE

Le phénomène de gonflement, peut provenir d'une modification de l'état de contraintes dans le sol en présence d'eau.

Il est donc important de rappeler les bases de la mécanique des sols appliquées à l'état de contraintes dans un sol.

2.1 - CONTRAINTES DANS UN SOL

Un sol est un système constitué de 3 phases : une phase solide (les particules solides), une phase liquide (eau interstitielle en général) et une phase gazeuse (bulles d'air ou film d'air continu).

Le sol est saturé si la phase gazeuse disparaît, c'est à dire si tous les vides interarticulaires sont occupés par l'eau interstitielle.

Dans un sol saturé soumis à une contrainte totale σ . (géostatique ou surcharge extérieure), cette dernière se décompose en :

$$\sigma = \sigma' + u \dots\dots\dots \text{(Théorie de TERZAGHI)}$$

u désignant la pression interstitielle à savoir la pression de l'eau des pores et **σ'** la contrainte effective, c'est à dire **la contrainte qui s'exerce réellement sur le squelette solide.**

- Si le sol est sec, la pression interstitielle **u** est nulle et on a **$\sigma' = \sigma$** .
- Si l'élément de sol considéré est situé sous la nappe phréatique à une cote **z**, la pression interstitielle est égale à la pression exercée par la colonne d'eau sus-jacente soit **$z_w = \gamma$** .
- Si par contre, il se situe au-dessus de la nappe phréatique, il peut être saturé ou non, selon les caractéristiques du matériau qui le compose et la distance qui le sépare du toit de la nappe.

L'attraction entre les molécules adjacentes à la surface d'un fluide (tension de surface) lui permet de s'élever dans un capillaire au-dessus de la ligne de pression atmosphérique.

2.2 - GONFLEMENT DU A UNE MODIFICATION DE L'ETAT DE CONTRAINTES

Considérons un élément de sol saturé à l'équilibre. Si une contrainte extérieure σ_e est appliquée à cet élément de sol, l'eau étant moins compressible que le squelette solide, la contrainte σ_e est immédiatement reprise par la phase liquide et au temps initial $t = 0$ on a :

$$t = 0 \text{ on a : } \begin{cases} u = \sigma_e \\ \sigma' = 0 \end{cases}$$

- Si l'on permet alors au sol de se drainer, un phénomène de consolidation va se développer, correspondant à l'expulsion de l'eau et au transfert de contrainte de

l'eau sur le squelette solide. Un nouvel équilibre va alors s'établir pour l'état de contraintes :

$$\begin{cases} u = 0 \\ \sigma' = \sigma_e \end{cases}$$

- Si la contrainte σ_e est alors supprimée, le même phénomène se produit en sens inverse, et immédiatement :

$$\begin{cases} u = -\sigma_e \\ \sigma' = \sigma_e \end{cases}$$

La pression interstitielle devient négative (dans le domaine des succions) et opposée à la variation de contrainte totale.

Dans des conditions de libre circulation de l'eau, un phénomène de gonflement va alors se développer, exprimant l'absorption de l'eau et le transfert de contrainte négative de l'eau sur le squelette solide, jusqu'à l'état final :

$$\begin{cases} u = -o \\ \sigma' = 0 \end{cases}$$

Il est donc possible d'affirmer que si la consolidation exprime une diminution de la pression interstitielle jusqu'à son annulation, le gonflement exprime quant à lui la diminution de la succion (-u) jusqu'à son annulation.

3- CARACTERISATION EN LABORATOIRE DU PHENOMENE DE GONFLEMENT

La quantification du phénomène de gonflement par des paramètres macroscopiques est essentielle du point de vue du dimensionnement des ouvrages de génie civil.

Dans la suite, on récapitulera l'ensemble des informations obtenues dans la littérature sur la caractérisation du phénomène de gonflement.

Les méthodes indirectes reliant le gonflement aux paramètres géotechniques permettent d'identifier les terrains gonflants alors que les essais de gonflement caractérisent plus précisément le comportement gonflant d'un échantillon.

3-1 - DEFINITION DES PARAMETRES DE GONFLEMENT

Les paramètres mécaniques à déterminer pour caractériser les terrains gonflants sont : la pression de gonflement, le gonflement libre et l'indice de gonflement.

- La pression de gonflement :

La pression de gonflement d'un élément de sol ou de roche, dont l'état physique initial est connu, peut être définie comme l'état des contraintes à exercer pour maintenir son volume constant pendant l'imbibition sans distorsion.

Cette définition de la pression de gonflement est la plus usitée mais elle n'est pas la seule.

- Le gonflement libre :

Le gonflement libre d'un élément de sol ou de roche, dont l'état physique initial est connu, est la déformation maximale que provoque l'imbibition de cet élément soumis à un état de contraintes nulles ou quasi-nulles.

- L'indice de gonflement :

L'indice de gonflement traduit l'importance de la déformation de gonflement induit par un déchargement par rapport à un état de contraintes donné. La déformation de gonflement est obtenue au bout d'un temps infini, déduction faite des déformations instantanées dues aux variations de charge.

2^{ème} PARTIE
Méthodes Géotechniques De Détermination
Du Phénomène
De Gonflement Dans La Ville
D'el Kouif

➤ Introduction

Les paramètres qui provoquent le retrait gonflement des argiles sont nombreux ,il est possible d'identifier les sols expansifs en étudiant leur minéralogie.

Seulement cette identification reviendrait chère et n'informerait pas sur les paramètres quantitatifs caractérisant le phénomène.

Par contre ; il est possible d'identifier les sols expansifs déterminant un certain nombre de paramètres géotechniques simples qui sont en relation avec le caractère expansif des sols et qui sont déterminés, pour la plupart, lors de la phase de reconnaissance préliminaire.

Ainsi, on peut soupçonner le caractère expansif d'un sol à travers sa granulométrie et ces limites d'ATTERBERG

Dans ce qui suit et vu l'insuffisance des essais mécaniques effectués dans la région d'étude, et afin d'exploiter au maximum les résultats des essais physiques disponibles comme méthodes indirectes pour la détermination du phénomène de gonflement;

Dans ce chapitre nous allons faire des corrélations entre quelques paramètres géotechniques comme les limites d'ATTERBERG, la granulométrie, qui sont les facteurs influant sur le gonflement des argiles, cette étape de travail nous aidera à connaître rapidement le potentiel de gonflement du terrain, c'est-à-dire estimer si ce potentiel est faible, moyen ou élevé et donc si le phénomène est à prendre en compte ou non.

D'autre part, après avoir confirmé ou non la présence d'un sol expansif à partir des paramètres physiques cités ci-dessous, nous allons employer des formules empiriques employant les limites d'ATTERBERG, la densité sèche, la teneur en eau; afin de calculer rapidement la pression de gonflement, et d'estimer aussi le potentiel de gonflement du terrain (faible, moyen ou élevé).

La caractérisation de la surface spécifique d'argile représente aussi un élément essentiel pour identifier le potentiel de gonflement d'un matériau, cet essai n'est pas effectué dans la région d'étude mais vu son importance dans l'étude, nous avons effectué quelques essais sur un échantillon de sol de la cité 40 logements et 12 locaux de commerce à EL KOUF, à la fin de ce chapitre une présentation de cet essai sera complétée par le résultat obtenu au laboratoire et leurs interprétations.

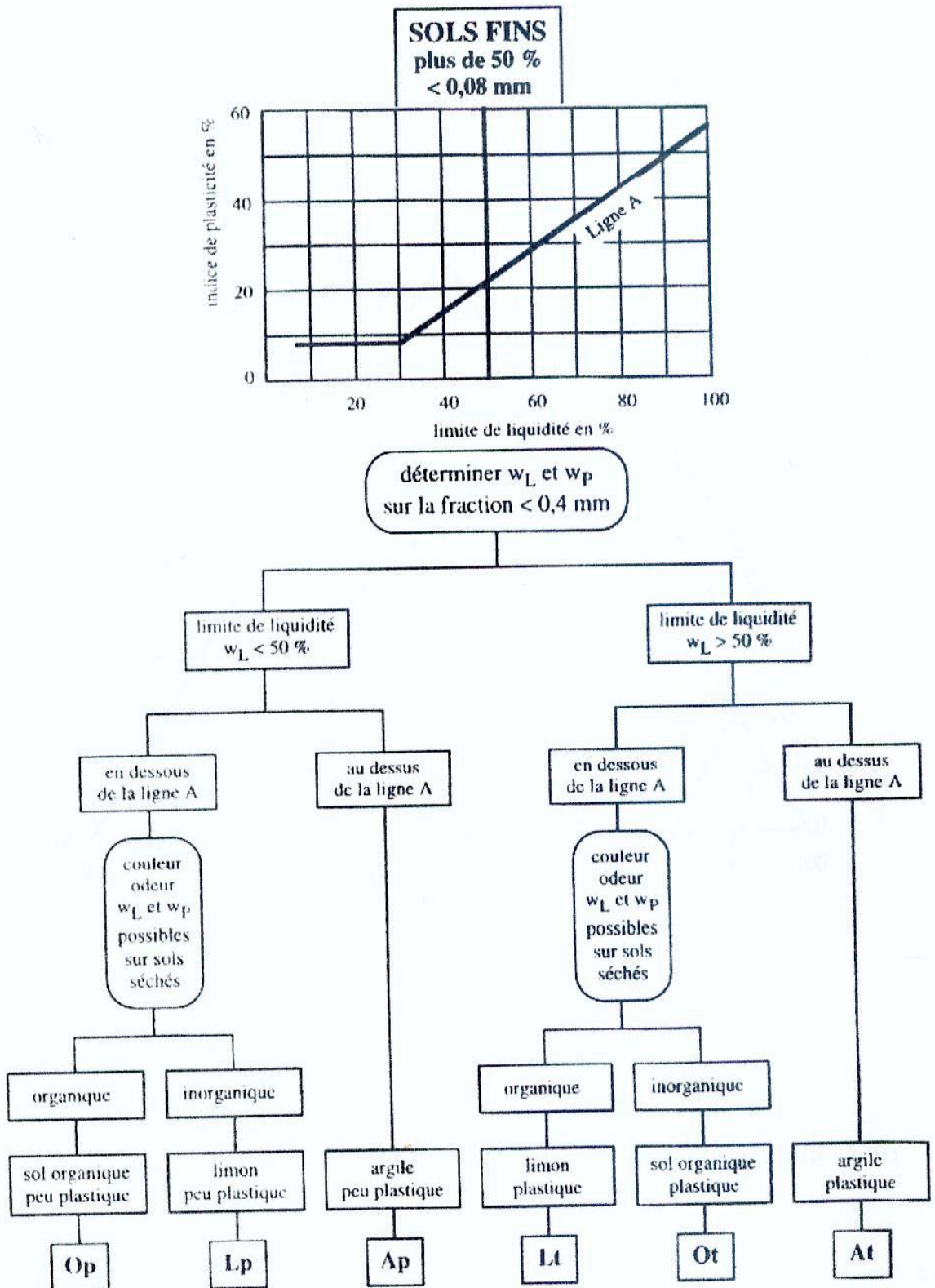
I. DETERMINATION INDIRECTE DE GONFLEMENT

1) SELON LA GRANULOMETRIE DU SOL

La granulométrie des sols de la ville d'EL KOUIF étudiée reflète d'après le tamisage, la présence des fins. En plus, une grande proportion des particules (Plus de 50 % <80 µm) des sols fins

Des échantillons prélevés passent à travers le tamis 0,08mm, le sol est vraiment fin.

Fig 3 : Classification des sols fins



2) SELON LES LIMITES D'ATTERBERG

DEFINITION :

Par définition, les **limites d'ATTERBERG** (limites de liquidité et de plasticité) sont les teneurs en eau pondérales correspondantes à des états particuliers d'un sol.

Elles visent à déterminer le domaine hydrique dans lequel un sol argileux a un comportement plastique.

La plasticité met en jeu la possibilité pour certains éléments du solide, de glisser sous l'effet des contraintes. Il y a formation de nouvelles liaisons, la matière n'est pas affaiblie, mais les atomes ne reviennent plus dans leur position initiale. Contrairement à la déformation élastique, la déformation plastique est irréversible et l'énergie emmagasinée irrécupérable. Les mécanismes de la déformation plastique d'une argile dépendent des propriétés électromécaniques de la couche d'eau absorbée à la surface des particules et notamment des glissements eau liée/eau liquide.

Le fait même que les limites d'ATTERBERG s'expriment par des teneurs en eau montre bien l'importance de l'eau dans le phénomène de plasticité des argiles

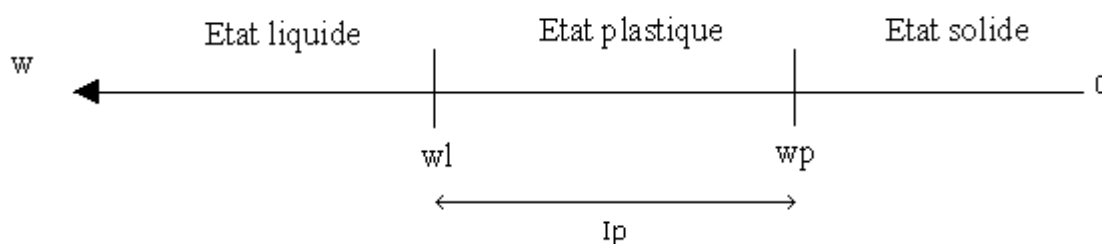
Wl (limite de liquidité) : Teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre les états liquide et plastique.

Wp (limite de plasticité) : Teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre les états plastique et solide.

W : Teneur en eau naturelle du sol.

Ip (indice de plasticité) : Différence entre les états de liquidité et de plasticité. Cet indice définit l'étendue du domaine plastique.

Ic (indice de consistance) : Quotient de la différence entre la limite de liquidité et la teneur en eau naturelle par l'indice de plasticité.



2-1 CLASSIFICATION DES SOLS SELON LES LIMITE D'ATTERBERG2-1-1 –SELON LA LIMITE DE LIQUIDITE :

DAKSHANAMURTHY et RAMAN (1973) se sont aussi inspirés du diagramme de plasticité proposé par **CASAGRANDE** (1948) pour fournir une classification du niveau de gonflement. Le diagramme, qui comprend la ligne A de séparation des sols gonflants, est divisé en six (06) zones le long de l'axe des abscisses comme suit :

LIMITE DE LIQUIDITE	CLASSIFICATION
0-20	Non gonflant
20-35	Gonflement faible
35-50	Gonflement moyen
50-70	Gonflement élevé
70-90	Gonflement très élevé
Sup à 90	Gonflement critique

TAB 2 : CLASSIFICATION DES SOLS GONFLANTS

TABLEAU : 2-1 - APPLICATION SUR LES SOLS D'EL KOUIF

N°SITE	N° SONDAGE	POTENTIEL DE GONFLEMENT	
		LIMITE DE LIQUIDITÉ%	POTENTIEL DE GONFLEMENT
1	1	35	Gonflement Moyen
	2	33	Gonflement Moyen
2	1	26	Gonflement Faible
	2	24	Gonflement Faible
3	1	52	Gonflement Elevé
		38	Gonflement Moyen
4	1	41	Gonflement Moyen
	2	59	Gonflement Elevé
	3	42	Gonflement Moyen
	4	57	Gonflement Elevé
5	1	31	Gonflement Faible
	2	31	Gonflement Faible
	3	32	Gonflement Faible
6	1	57	Gonflement Elevé
7	1	29	Gonflement Faible
		38	Gonflement Moyen
	2	37	Gonflement Moyen
		39	Gonflement Moyen
		36	Gonflement Moyen
	3	41	Gonflement Moyen
		48	Gonflement Moyen
65		Gonflement Elevé	
8	1	65	Gonflement Elevé

	2	43	Gonflement Moyen
	3	46	Gonflement Moyen
		83	Gonflement très Elevé
		82	Gonflement très Elevé
		100	Gonflement très Elevé
		100	Gonflement très Elevé
9	1	84	Gonflement très Elevé
		57	Gonflement Elevé
	2	86,2	Gonflement très Elevé
		70	Gonflement très Elevé
10	1	83	Gonflement très Elevé
		100	Gonflement Critique
		100	Gonflement Critique
		65	Gonflement Elevé
		99	Gonflement Critique
	2	98	Gonflement Critique
		98	Gonflement Critique
		78	Gonflement très Elevé
		100	Gonflement Critique
		82	Gonflement très Elevé
		92	Gonflement Critique
		100	Gonflement Critique
		100	Gonflement Critique
	3	95	Gonflement Critique
		83	Gonflement très Elevé
		98	Gonflement Critique
		100	Gonflement Critique
		94	Gonflement Critique
100		Gonflement Critique	
75		Gonflement très Elevé	
11	1	89	Gonflement très Elevé
		94	Gonflement Critique
12	1	95	Gonflement Critique
		91	Gonflement Critique
13	1	93	Gonflement Critique
14	1	39	Gonflement Moyen
15	1	48	Gonflement Moyen
		42	Gonflement Moyen
15	1	87	Gonflement très Elevé
		86	Gonflement très Elevé
		81	Gonflement très Elevé

	2	85	Gonflement très Elevé
		80	Gonflement très Elevé
		79	Gonflement très Elevé
		92	Gonflement Critique
		78	Gonflement très Elevé
16	1	86	Gonflement très Elevé
		95	Gonflement Critique
	2	40	Gonflement Moyen
		85	Gonflement très Elevé
	3	93	Gonflement Critique
		90	Gonflement Critique
19	1	92	Gonflement Critique
	4	57	Gonflement Elevé
		59	Gonflement Elevé
		62	Gonflement Elevé
20	1	70	Gonflement très Elevé
21	1	87	Gonflement très Elevé
22	1	35	Gonflement Moyen
23	1	44	Gonflement Moyen
	2	54	Gonflement Elevé
24	1	71	Gonflement très Elevé
		89	Gonflement très Elevé
25	1	40	Gonflement Moyen
	2	93	Gonflement critique

2-1-2- SELON L'INDICE DE PLASTICITE :

L'indice de plasticité est un paramètre qui indique l'étendue du domaine de variation de la teneur en eau et dans lequel le sol reste malléable sans se casser ni devenir liquide.

C'est donc un paramètre qui indique indirectement l'importance de la fraction argileuse dans la constitution du sol. C'est donc un bon indicateur du caractère expansif des sols.

IP	DEGRE DE PLASTICITE
0 à 5	non plastique
5 à 15	peu plastique
15 à 40	plastique
>40	très plastique

TAB :3 CLASSIFICATION SELON L'INDICE DE PLASTICITE

TABLEAU 3-1- APLICATION SUR LES SOLS D'EL KOUIF

N° SITE	N° SONDAGE	INDICE DE PLASTICITÉ %	CLASSIFICATION
1	1	16	PLASTIQUE
	2	13	PEU PLASTIQUE
2	1	7	PEU PLASTIQUE
	2	6	PEU PLASTIQUE
3	1	35	PLASTIQUE
	2	15	PEU PLASTIQUE
4	1	15	PEU PLASTIQUE
	2	20	PLASTIQUE
	3	16	PLASTIQUE
	4	19	PLASTIQUE
5	1	9	PEU PLASTIQUE
	2	10	PEU PLASTIQUE
	3	11	PEU PLASTIQUE
6	1	29	PLASTIQUE
7	1	18	PLASTIQUE
		11	PEU PLASTIQUE
	2	16	PLASTIQUE
		19	PLASTIQUE
	3	13	PEU PLASTIQUE
		20	PLASTIQUE
		23	PLASTIQUE
8	1	36	PLASTIQUE
	2	22	PLASTIQUE
	3	22	PLASTIQUE
	3	49	TRES PLASTIQUE
	3	48	TRES PLASTIQUE
	3	61	TRES PLASTIQUE
	3	61	TRES PLASTIQUE
9	1	50	TRES PLASTIQUE
	1	31	TRES PLASTIQUE
	2	70	TRES PLASTIQUE
	2	39	TRES PLASTIQUE
	2	51	TRES PLASTIQUE

10	1	61	TRES PLASTIQUE
		62	TRES PLASTIQUE
		39	TRES PLASTIQUE
		61	TRES PLASTIQUE
		61	TRES PLASTIQUE
	2	60	TRES PLASTIQUE
		46	TRES PLASTIQUE
		61	TRES PLASTIQUE
		48	TRES PLASTIQUE
		57	TRES PLASTIQUE
		61	TRES PLASTIQUE
		61	TRES PLASTIQUE
	3	56	TRES PLASTIQUE
		48	TRES PLASTIQUE
		60	TRES PLASTIQUE
		62	TRES PLASTIQUE
		58	TRES PLASTIQUE
		62	TRES PLASTIQUE
42		TRES PLASTIQUE	
75		TRES PLASTIQUE	
54	TRES PLASTIQUE		
57	TRES PLASTIQUE		
11	1	55	TRES PLASTIQUE
		53	TRES PLASTIQUE
12	1	60	TRES PLASTIQUE
13	1	19	PLASTIQUE
		19	PLASTIQUE
14	1	19	PLASTIQUE
		21	PLASTIQUE
15	1	50	TRES PLASTIQUE
		57	TRES PLASTIQUE
		53	TRES PLASTIQUE
		55	TRES PLASTIQUE
		54	TRES PLASTIQUE
	2	44	TRES PLASTIQUE
		57	TRES PLASTIQUE
16	1	44	TRES PLASTIQUE
		42	TRES PLASTIQUE
	2	45	TRES PLASTIQUE
		14	PEU PLASTIQUE
	3	34	PLASTIQUE
40		TRES PLASTIQUE	
		43	TRES PLASTIQUE

19	1	56	TRES PLASTIQUE
		30	PLASTIQUE
	4	32	PLASTIQUE
		32	PLASTIQUE
20	1	48	TRES PLASTIQUE
21	1	50	TRES PLASTIQUE
23	1	19	PEU PLASTIQUE
		35	PLASTIQUE
24	1	43	TRES PLASTIQUE
		50	TRES PLASTIQUE
25	1	19	PEU PLASTIQUE
		50	TRES PLASTIQUE

2-1-3- SELON L'INDICE DE CONSISTANCE : $I_c = (WL-W)/I_p$

Permet d'apprécier la consistance des sols plastiques

TABLEAU : 4 – CLASSIFICATION SELON L'INDICE DE CONSISTANCE

I_c	CONSISTANCE
< 0	Liquide
0 à 0.25	Pâteuse ou très molle
0.5 à 0.75	Ferme
0.75 à 1	Très ferme
> 1	Dure

TABLEAU 4 -1- APPLICATION SUR LES SOLS D'EL KOUIF

N° SITE	N° SONDAGE	CLASSIFICATION DU SOL SELON L'INDICE DE CONSISTANCE I_c		
		PROFONDEUR	INDICE DE CONSISTANCE	CONSISTANCE
1	1	1	1,6	Dure (Tassement Petit)
	2	2	2,6	Dure (Tassement Petit)
	3	3	1,3	Dure (Tassement Petit)
2	1	3	1,5	Dure (Tassement Petit)
3	1	1 à 1,5	1,3	Dure (Tassement Petit)
		2	1,5	Dure (Tassement Petit)
	2	1 à 1,5	1,3	Dure (Tassement Petit)
		1,5	0,8	Très Ferme (Tassement Modéré)
	3	1	1,5	Dure (Tassement Petit)
		2	0,7	Très Ferme (Tassement Modéré)
3		0,5	Très Ferme (Tassement Modéré)	

4	1	2 à 5	0,72	Très Ferme (Tassement Modéré)
	2	5 à 6	0,72	Très Ferme (Tassement Modéré)
	3	1,5 à 2	0,48	Très Ferme (Tassement Modéré)
	3	2,2 à 3	0,98	Très Ferme (Tassement Modéré)
	3	3,5 à 4,5	1,07	Dure (Tassement Petit)
	3	7 à 8	1,04	Dure (Tassement Petit)
	3	9 à 10	1,05	Dure (Tassement Petit)
5	1	1,40 à 1,60	0,88	Très Ferme (Tassement Modéré)
	2	1,70 à 2,40	1,18	Dure (Tassement Petit)
	2	3 à 4	1,01	Dure (Tassement Petit)
	2	4,50 à 5,60	1,12	Dure (Tassement Petit)
6	1	2 à 3	1,07	Dure (Tassement Petit)
		3 à 3,90	1,04	Dure (Tassement Petit)
		4,40 à 4,80	1,07	Dure (Tassement Petit)
		5 à 6	1,13	Dure (Tassement Petit)
		6 à 6,70	1,09	Dure (Tassement Petit)
	2	1 à 2	1,02	Dure (Tassement Petit)
		2 à 3	0,96	Très Ferme (Tassement Modéré)
		3 à 4	1,04	Dure (Tassement Petit)
		4 à 5	1,09	Dure (Tassement Petit)
		5 à 5,80	0,94	Dure (Tassement Petit)
		6 à 6,50	1,05	Dure (Tassement Petit)
		8 à 9	1,09	Dure (Tassement Petit)
		9 à 9,80	1,01	Dure (Tassement Petit)
		3	0,50 à 1,50	0,98
	2 à 3		1,08	Dure (Tassement Petit)
	3 à 4		1,07	Dure (Tassement Petit)
	4 à 5		1,09	Dure (Tassement Petit)
	5 à 6		1,08	Dure (Tassement Petit)
	6 à 6,50		1,09	Dure (Tassement Petit)
	7,50 à 8,50		1	Dure (Tassement Petit)
8,60 à 9,50	1,07		Dure (Tassement Petit)	
7	1	0,4 à 1	1,12	Dure (Tassement Petit)
		1 à 3	1	Dure (Tassement Petit)
8	4	1 à 3,4	1,43	Dure (Tassement Petit)
		3,40 à 4,20	1,13	Dure (Tassement Petit)
		5 à 5,60	1,14	Dure (Tassement Petit)

2-1-4- SELON LE RAPPORT DE PLASTICITE : $R_p = I_p/W_p$

TABLEAU 4-CLASSIFICATION (D'APRES SNETHEN ET ALL)

Rp	% GONFLEMENT	CLASSIFICATION
< 0.6	< 3	Faible
0.6-1.0	3-10	Moyen
1.0-2.0	10-50	Elevé
Sup à 3	Sup à 50	Très Elevé

TABLEAU 4 -1- APPLICATION SUR LES SOLS DEL KOUIF

N° site	N° SONDAGE	PROFONDEUR	indice de plasticité%	limite de plasticité	Rp=Ip/Wp	Potentiel de Gonflement
1	1	4à 5	16	19	0,84	Moyen
	2	5 à 6	13	20	0,65	Moyen
2	1	1à 1,5	7	19	0,37	Faible
	2	3 à 3,5	6	18	0,33	Faible
3	1	3	35	17	2,06	Fort
		4	15	23	0,65	Moyen
4	1	1	15	26	0,58	Faible
	2	1,5	20	39	0,51	Faible
	3	0,6	16	26	0,62	Moyen
	4	1	19	38	0,50	Faible
5	1	1	9	22	0,41	Faible
	2	2	10	21	0,48	Faible
	3	3	11	21	0,52	Faible
6	1		29	28	1,04	Fort
7	1	1 à 1,50	18	11	1,64	Fort
		2	11	27	0,41	Faible
	2	1à1,5	16	21	0,76	Moyen
		1,5	19	20	0,95	Moyen
	3	1	13	23	0,57	Faible
		2	20	21	0,95	Moyen
3		23	25	0,92	Moyen	
8	1	2 à 5	36	29	1,24	Fort
	2	5à6	22	21	1,05	Fort
	3	1,5à2	22	24	0,92	Moyen
	3	2,2à3	49	34	1,44	Fort
	3	3,5à4,5	48	34	1,41	Fort
	3	7à8	61	39	1,56	Fort
	3	9 à 10	61	39	1,56	Fort
9	1	0à1	50	34	1,47	Fort
	1	1,40à1,60	31	26	1,19	Fort

	2	1,70à2,40	70	16,2	4,32	Très Fort
	2	3à4	39	31	1,26	Fort
	2	4,50à5,60	51	32	1,59	Fort
10	1	2à3	61	39	1,56	Fort
		3à3,90	62	38	1,63	Fort
		4,40à4,80	39	26	1,50	Fort
		5à6	61	38	1,61	Fort
		6à6,70	61	37	1,65	Fort
	2	1à2	60	38	1,58	Fort
		2à3	46	32	1,44	Fort
		3à4	61	39	1,56	Fort
		4à5	48	34	1,41	Fort
		5à5,80	57	35	1,63	Fort
		6à6,50	61	39	1,56	Fort
		8à9	61	39	1,56	Fort
	3	9à9,80	56	39	1,44	Fort
		0,50à1,50	48	35	1,37	Fort
		2à3	60	38	1,58	Fort
		3à4	62	38	1,63	Fort
		4à5	58	36	1,61	Fort
5à6		62	38	1,63	Fort	
6à6,50		42	33	1,27	Fort	
7,50à8,50		54	35	1,54	Fort	
8,60à9,50	57	37	1,54	Fort		
11	1	0,4à1	55	40	1,38	Fort
		1à3	53	38	1,39	Fort
12	1	1à6	60	33	1,82	Fort
		3à6	19	20	0,95	Moyen
13	1	0,40à2	19	29	0,66	Moyen
14	1	2à6	21	21	1,00	Fort
15	1	4à4,50	50	37	1,35	Fort
		6à6,50	57	29	1,97	Fort
		8,5à9	53	28	1,89	Fort
		13,50à14	55	30	1,83	Fort
		19,50à20	54	26	2,08	Fort
	2	4à4,50	44	35	1,26	Fort
		4,5à5	57	35	1,63	Fort
		10à10,5	44	34	1,29	Fort

16	1	8,50à8,80	42	44	0,95	Moyen
		9,20à9,80	45	50	0,90	Moyen
	2	8,50à9	14	26	0,54	Faible
		9,50à10	34	51	0,67	Moyen
	3	7,40à8	40	53	0,75	Moyen
8,70à9		43	47	0,91	Moyen	
19	4	2-6	56	36	1,56	Fort
		1-3,4	30	27	1,11	Fort
		3,40-4,20	32	27	1,19	Fort
		5 5,60	32	30	1,07	Fort
20	1	0,6-6	48	22	2,18	
21	1	1,50-3	50	37	1,35	Fort
23	1	2-5	19	25	0,76	Moyen
		5-6	35	19	1,84	Fort
24	1	0,5-1	43	28	1,54	Fort
		1,50-3	50	39	1,28	Fort
25	1	0-2,20	19	21	0,90	Moyen
		2,20-6	50	43	1,16	Fort

3) CORRELATION LIMITES D'ATTERBRG ANALYSE GRANULOMETRIQUE ET PHENOMENE DE GONFLEMENT DANS LA VILE D'EL KOUIF

3-1- LIMITE DE LIQUIDITE ET INDICE DE PLASTICITE :

VIJAYVERGIYA et GHAZZALY (1973), tout comme **KOMORNIK et DAVID** (1969), ont constaté que, la ligne "A", définie par **CASAGRANDE** (1948) dans le diagramme de plasticité et d'équation

$$I_P = 0,73 (w_L - 20).$$

Sépare les sols gonflants (au-dessus) des sols non gonflants (en dessous de la ligne A) comme indiqué sur la figure N°4

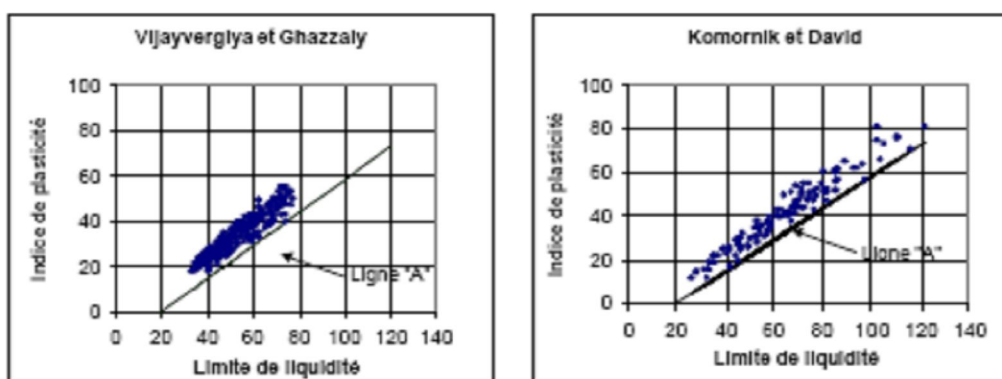


FIG 4 : CARACTERISTIQUE DES SOLS GONFLANTS

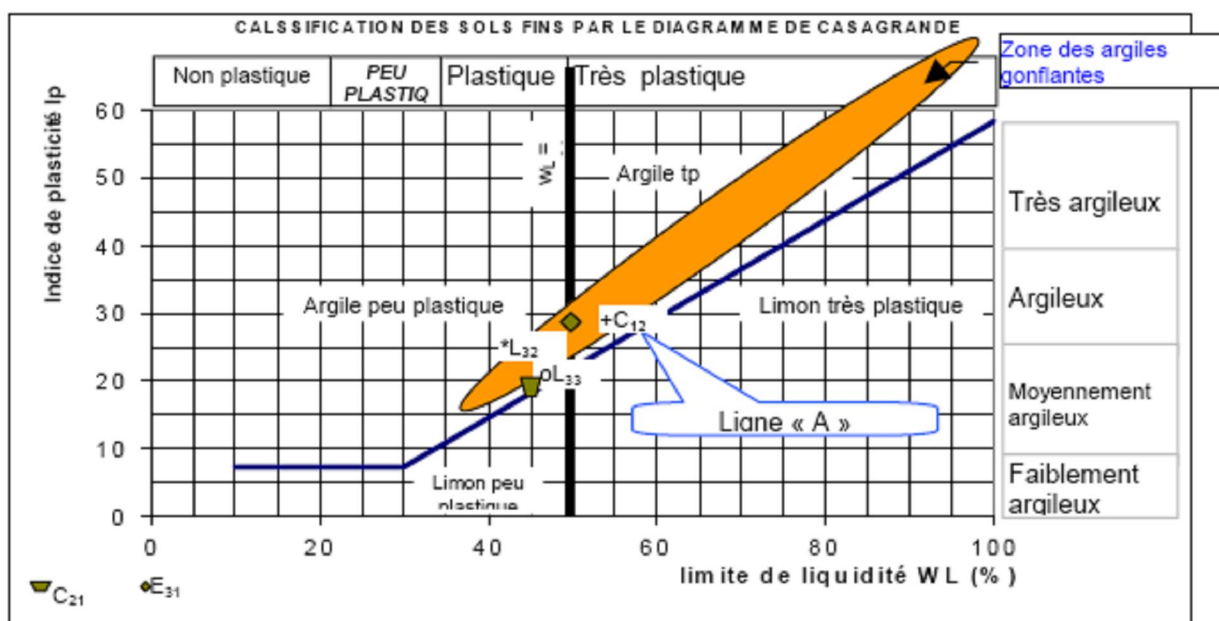


FIG 5 : ABAQUES DES CLASSIFICATION

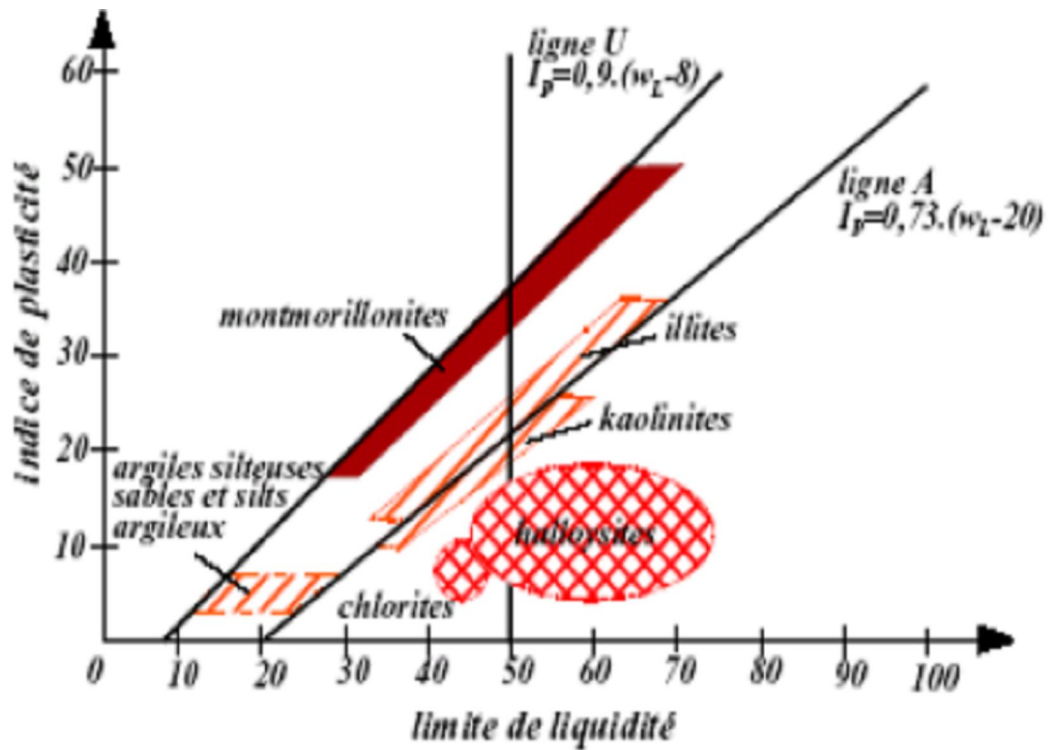


FIG 06: ABAQUE DE PLASTICITE DE CASAGRANDE ET POSITION DES MINERAUX ARGILEUX LES PLUS CONNUS

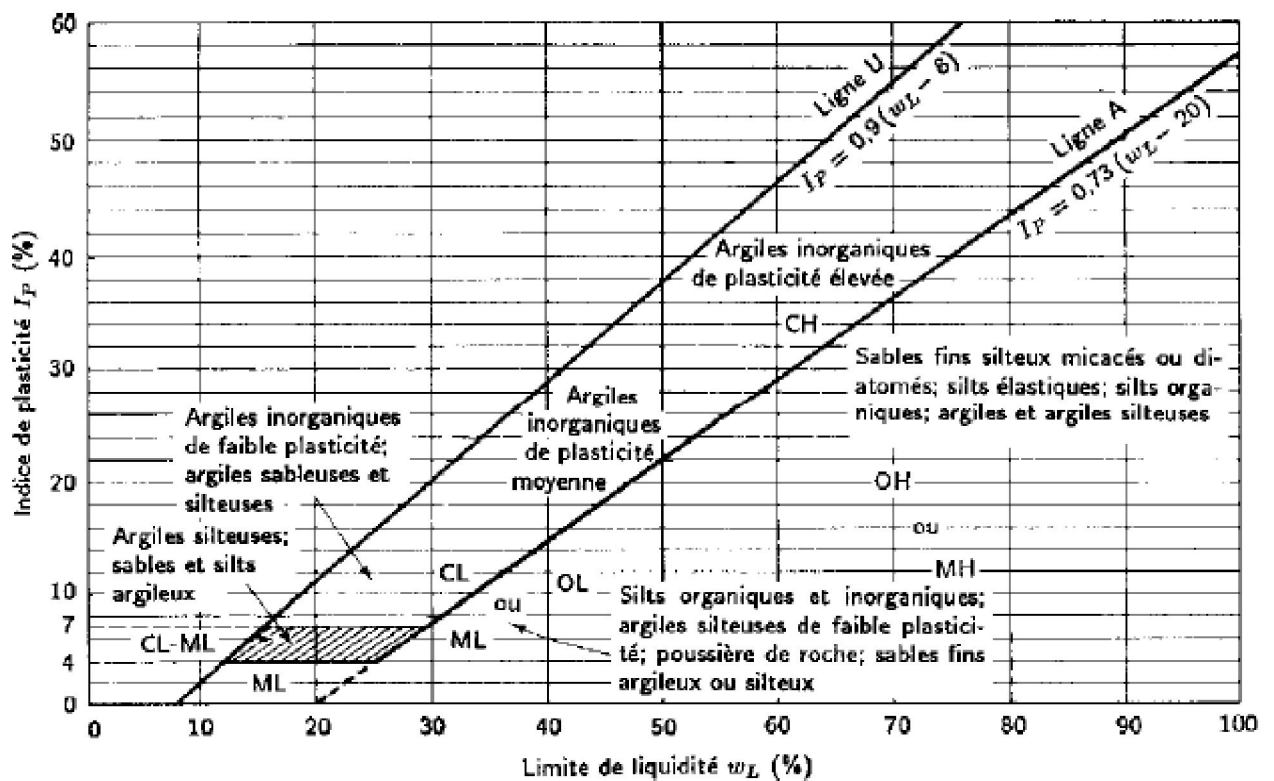
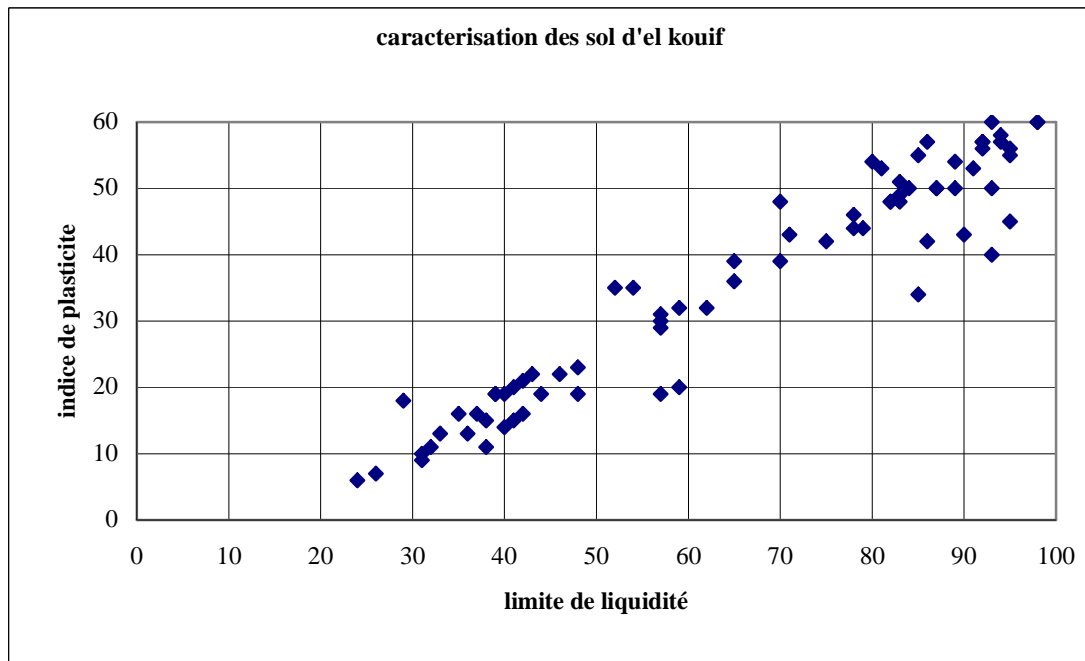


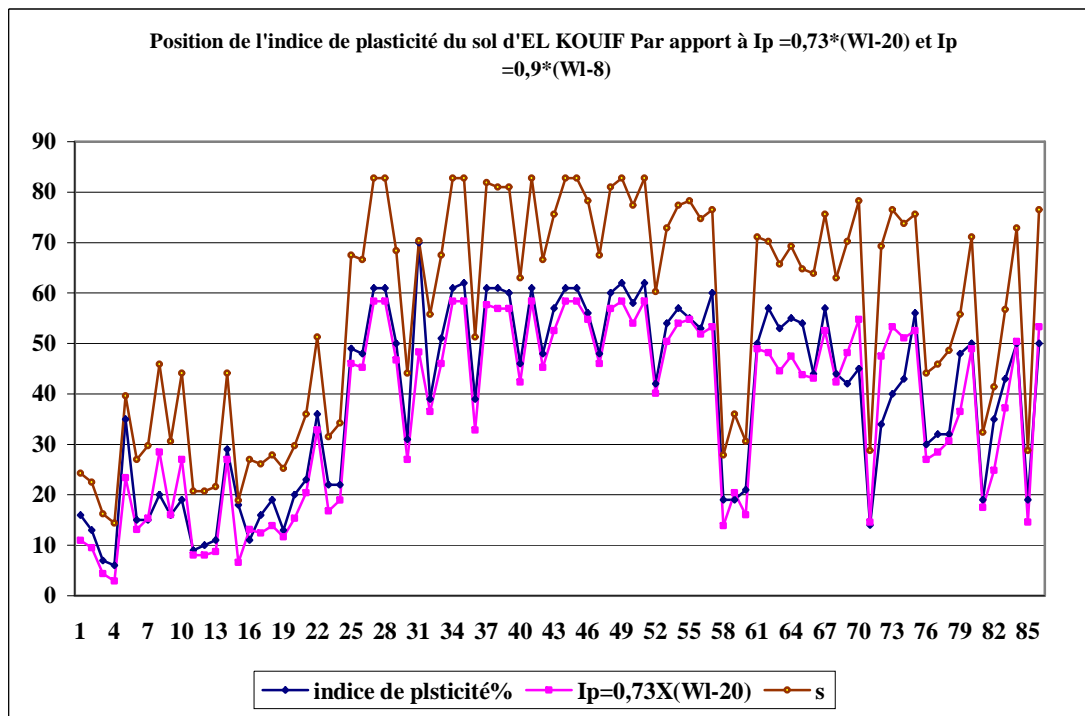
FIG 07: CRITERE DE CLASSIFICATION AU LABORATOIRE (SYSTEME USCS)

APPLICATION SUR LE SOL DE LA VILLE D'EL KOUIF CLASSIFICATION DES SOLS SELON CASAGRANDE (DIAGRAMMES 1-2-3)

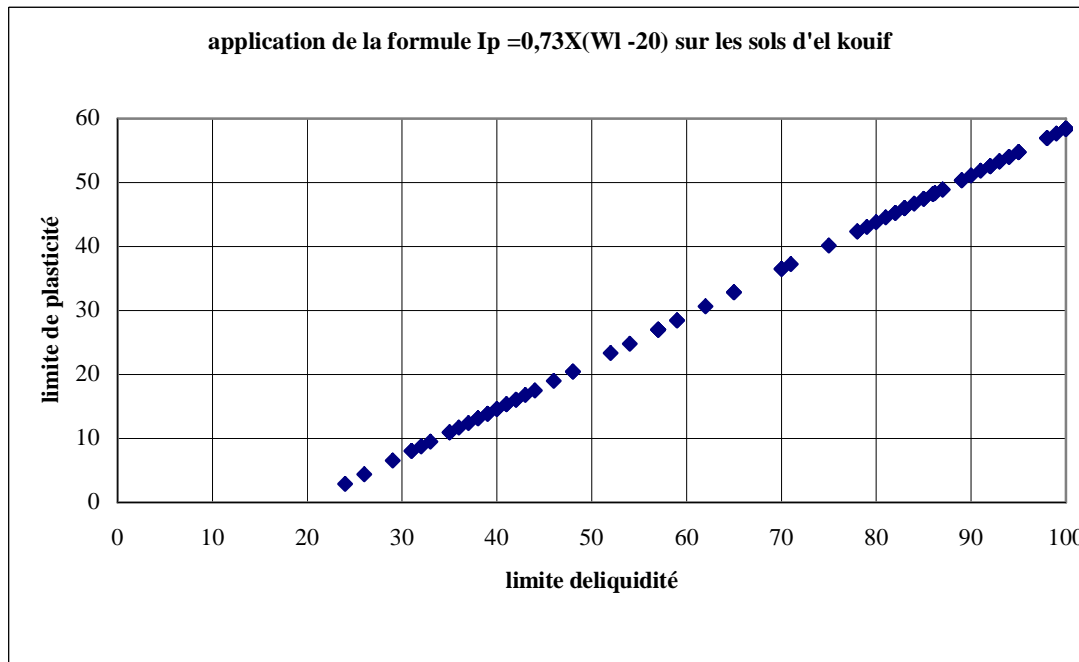
DIGRAMMES : 1-



DIGRAMMES : 2-



DIGRAMMES : 3-



D'après les trois diagrammes :

Le nuage des points pour la ville d'EL KOUIF se trouve dans la zone orange du diagramme de CASAGRANDE au dessus de la ligne A, les sols étudiés sont gonflant d'après ce diagramme les argiles étudiées sont très plastique et plastique (d'après le diagramme représentant les critères de classification au laboratoire (Système USCS)

En plus, on a remarqué que les limites de liquidité sont supérieures à 60 % et l'indice de plasticité est pour presque la majorité des sols étudiés est supérieur à 35 %, d'où le potentiel de gonflement est élevé à très élevé Voir classification Tab N° 5

TABLEAU 5:-POTENTIEL DE GONFLEMENT SELON L'INDICE DE PLASTICITE ET LA LIMITE DE LIQUIDITE

Ip	Sup à 35	22-48	12-32	< 18
Wl	Sup à 60	50-60	50-60	< 50
Potentiel De Gonflement	Très élevé	élevé	moyen	faible

II. DETERMINATION INDIRECTE DES PARAMETRES DE GONFLEMENT:

1) DETERMINATION DU GONFLEMENT SELON L'INDICE DE PLASTICITE

L'indice de plasticité est un paramètre important dans les propriétés de rétention d'eau du terrain et donc de gonflement. C'est la raison pour laquelle un certain nombre de corrélations ont rapidement été recherchées entre les limites d'ATTERBERG et les propriétés de gonflement des sols.

Le gonflement libre ε_g d'un échantillon confiné latéralement en présence d'eau sous une surcharge de 7 kPa, et préalablement compacté à la teneur en eau optimale et à la densité sèche maximale de l'essai de compactage AASHO (norme américaine), peut être relié à l'indice de plasticité I_P du sol par l'expression :

$$\varepsilon_g = 21,6 \cdot 10^{-5} (I_p)^{2,44}$$

Cette relation, obtenue par une étude statistique des résultats expérimentaux, s'applique aux matériaux contenant entre 8% et 65% d'argile. La comparaison de cette formule avec les résultats expérimentaux a abouti à une fourchette d'erreur d'environ 33% sur le gonflement libre.

TABLEAU 5 : RELATION ENTRE LE GONFLEMENT LIBRE ET L'INDICE DE PLASTICITE
(Seed et Al., 1962)

I_P	ε_g %	Potentiel De Gonflement
0 - 10	1,5	Faible
10 - 20	1,5	Moyen
20 - 35	5 - 25	Elevé
> 35	> 25	Très élevé

KOMORNIK et DAVID (1969) ont travaillé plus particulièrement sur des sols non remaniés, la méthode de compactage est un facteur très influent sur les paramètres de gonflement.

Les nombreux essais ont montré qu'une simple corrélation linéaire était possible entre le gonflement libre et l'indice de plasticité :

$$\begin{aligned} \varepsilon_g &= 6,7 + 2,4 I_p && \text{pour les marnes} \\ \varepsilon_g &= 0,9 + 2,1 I_p && \text{pour l'argile} \end{aligned}$$

La fourchette d'erreur obtenue était d'environ 25 %.

TABLEAU 5-1 : APLICATION SUR LES SOLS D'EL KOUIF

N° site	N° Sondage	Profondeur	indice de plasticité%	Marne Eg = 6,7+2,4 Ip	Argile Eg = 0,9+2,1*Ip	selon SNETHEN
						et All
1	1	4à 5	16	45	35	elevé
	2	5 à 6	13	38	28	elevé
2	1	1à 1,5	7	24	16	elevé
	2	3 à 3,5	6	21	14	elevé
3	1	3	35	91	74	trés elevé
	2	4	15	43	32	elevé
4	1	1	15	43	32	elevé
	2	1,5	20	55	43	elevé
	3	0,6	16	45	35	elevé
	4	1	19	52	41	elevé
5	1	1	9	28	20	elevé
	2	2	10	31	22	elevé
	3	3	11	33	24	elevé
6	1	3	29	76	62	trés elevé
7	1	1 à 1,50	18	50	39	elevé
		2	11	33	24	elevé
	2	1à1,5	16	45	35	elevé
		1,5	19	52	41	elevé
	3	1	13	38	28	elevé
		2	20	55	43	elevé
3		23	62	49	elevé	
8	1	2 à5	36	93	77	trés elevé
	2	5à6	22	60	47	elevé
	3	1,5à2	22	60	47	elevé
	3	2,2à3	49	124	104	trés elevé
	3	3,5à4,5	48	122	102	trés elevé
	3	7à8	61	153	129	trés elevé
	3	9 à10	61	153	129	trés elevé
9	1	0à1	50	127	106	trés elevé
	1	1,40à1,60	31	81	66	trés elevé
	2	1,70à2,40	70	175	148	trés elevé
	2	3à4	39	100	83	trés elevé
	2	4,50à5,60	51	129	108	trés elevé
10	1	2à3	61	153	129	trés elevé
		3à3,90	62	156	131	trés elevé
		4,40à4,80	39	100	83	trés elevé
		5à6	61	153	129	trés elevé
		6à6,70	61	153	129	trés elevé
	2	1à2	60	151	127	trés elevé
		2à3	46	117	98	trés elevé
		3à4	61	153	129	trés elevé
		4à5	48	122	102	trés elevé
		5à5,80	57	144	121	trés elevé
		6à6,50	61	153	129	trés elevé
		8à9	61	153	129	trés elevé
		9à9,80	56	141	119	trés elevé

	3	0,50à1,50	48	122	102	trés élevé
		2à3	60	151	127	trés élevé
		3à4	62	156	131	trés élevé
		4à5	58	146	123	trés élevé
		5à6	62	156	131	trés élevé
		6à6,50	42	108	89	trés élevé
		7,50à8,50	75	187	158	trés élevé
		8,60à9,50	54	136	114	trés élevé
		0,4à1	57	144	121	trés élevé
11	1	1à3	55	139	116	trés élevé
		1à6	53	134	112	trés élevé
12	1	3à6	60	151	127	trés élevé
13	1	0,40à2	19	52	41	elevé
		2à6	19	52	41	elevé
14	1	4à4,50	19	52	41	elevé
		6à6,50	21	57	45	elevé
15	1	8,5à9	50	127	106	trés élevé
		13,50à14	57	144	121	trés élevé
		19,50à20	53	134	112	trés élevé
		4à4,50	55	139	116	trés élevé
		4,5à5	54	136	114	trés élevé
	2	10à10,5	44	112	93	trés élevé
		8,50à8,80	57	144	121	trés élevé
		9,20à9,80	44	112	93	trés élevé
16	1	8,50à9	42	108	89	trés élevé
		9,50à10	45	115	95	trés élevé
	2	7,40à8	14	40	30	elevé
		8,70à9	34	88	72	trés élevé
	3	2-6	40	103	85	elevé
		1-3,4	43	110	91	elevé
19	1	3,40-4,20	56	141	119	trés élevé
		5 5,60	30	79	64	elevé
	4	0,6-6	32	84	68	elevé
		1,50-3	32	84	68	elevé
20	1	2-5	48	122	102	trés élevé
21	1	5-6	50	127	106	trés élevé
23	1	0,5-1	19	52	41	moyen
		1,50-3	35	91	74	elevé
24	1	0-2,20	43	110	91	elevé
		2,20-6	50	127	106	trés élevé
25	1	2-3	19	52	41	moyen
		4-5	50	127	106	trés élevé

SELON L'INDICE DE RETRAIT

Les sols argileux présentent un retrait volumique lors de l'évaporation de l'eau interstitielle. Le retrait volumique évolue de manière linéaire en fonction de la teneur en eau W jusqu'à une teneur en eau

W_s définie comme la limite de retrait. A partir de cette limite W_s , le sol perd de l'eau sans grande variation de volume, il se désature.

La limite de retrait et l'indice de retrait apparaissent aussi comme des éléments fondamentaux pour l'étude des variations de volume des sols.

$$I_s = W_L - W_S$$

RANGANATHAM et SATYANARAYANA (1965) ont déterminé une relation entre l'indice de retrait I_s et le gonflement libre ϵ_g pour des sols naturels compactés à l'optimum Proctor et sous une surcharge de 7 kPa en s'inspirant des travaux réalisés par Seed et al. (1962):

$$\epsilon_g = 41,1 \cdot 10^{-5} (I_s)^{2,67}$$

Cette relation leur a permis de classer le potentiel de gonflement d'un sol en fonction de son indice de retrait

Relation entre potentiel de gonflement et limite de retrait (Altemeyer, 1955)

TABLEAU 6 : RELATION ENTRE POTENTIEL DE GONFLEMENT ET INDICE DE RETRAIT (RANGANATHAM et SATYANARAYANA, 1965)

W_s	Potentiel De Gonflement
Inf à 10	Fort
10-12	Critique
Sup à 12	Faible

TABLEAU 7: RELATION ENTRE POTENTIEL DE GONFLEMENT ET INDICE DE RETRAIT (RANGANATHAM ET SATYANARAYANA, 1965)

I_s	Potentiel De Gonflement
0-20	Faible
20-30	Moyen
30-60	Fort
60	Très fort

2) SELON LA DENSITE SECHE ET LA TENEUR EN EAU

Deux paramètres définissant l'état initial d'un sol paraissent intéressants à analyser :

- la teneur en eau w
- et la densité sèche $d \gamma$.

Sans être directement reliés au potentiel de gonflement, ces deux facteurs renseignent directement sur l'état initial du réseau poreux, facteur influant sur le gonflement comme l'ont illustré les différentes analyses au microscope électronique à balayage.

VIJAYVERGIYA et GHAZZALY (1973) ont montré que, pour des sols remaniés, le gonflement libre ε_g (en %) et la pression de gonflement σ_g (en kPa) d'un sol sont des fonctions semi-logarithmiques linéaires décroissantes de la teneur en eau w (en %) et linéaires croissantes de la masse volumique sèche ρ_d (en kg/m³), pour une limite de liquidité $L W L$ (en %) donnée :

$$\text{et} \begin{cases} \lg \varepsilon_g = 0,033w_L - 0,083w + 0,458 \\ \lg \sigma_g = 0,033w_L - 0,083w + 1,967 \end{cases}$$

$$\begin{cases} g\varepsilon_g = 0,033w_L + 0,00321\rho_d - 6,692 \\ \lg \sigma_g = 0,033w_L - 0,0032\rho_d - 5,154 \end{cases}$$

DAVID et KOMORNIK (1969) ont proposé une estimation de la pression de gonflement (en kPa) tenant compte à la fois de la masse volumique sèche ρ_d (en kg/m³), de la teneur en eau w (en %) et de la limite de liquidité $L W L$ (en %) :

$$\lg \sigma_g = 0,0208w_L - 0,000665 \rho_d - 0,0269w + 0,132$$

BRACKLEY (1983) a déterminé une relation générale entre la déformation de gonflement ε_g (en %) et les principales caractéristiques des sols compactés :

$$\varepsilon_g = \left(5,3 - \frac{147e}{I_p} - \lg \sigma \right) (0,525I_p + 4,1 - 0,85w)$$

Où e désigne l'indice des vides, w la teneur en eau (en %) et σ la surcharge appliquée (en kPa).

L'état initial du sol est ainsi pris en compte, par l'intermédiaire de e et w , ainsi que la pression appliquée. La pression de gonflement σ_g est alors définie, pour une déformation de gonflement nulle, par :

$$\lg \sigma_g = 5,3 - \frac{147e}{I_p}$$

De même **CHEN** (1975), s'appuyant sur les travaux de **KASSIF** et **BAKER** (1969), a conclu que la pression de gonflement n'est pas affectée par la teneur en eau, pourvu que le poids volumique sec soit maintenu constant.

Finalement on constate que certains auteurs, comme **CHEN** (1975) ou **BRACKLEY** (1983), considèrent la pression de gonflement comme une propriété intrinsèque du matériau, c'est-à-dire dépendant uniquement de la minéralogie et de la densité de l'empilement des particules sans tenir compte de l'eau alors que d'autres auteurs, comme **KOMORNIK** (1969) ou **VIJAYVERGIYA** (1973), affirment que plusieurs paramètres liés à l'état hydrique, comme la teneur en eau initiale w ou la limite de liquidité w_L , peuvent influencer sur la pression de gonflement.

APPLICATIONS DES DIFFERENTES METHODES SUR LE SOL DE LA REGION D'ETUDE

N° Site	N° SONDAGE	ESTIMATION INDIRECTE DES PARAMETRES DE GONFLEMENT SELON VIJAYVERGIYA ET GHAZALY						
		Parametres Physiques			Amplitude de Gonflemnt		Pression de Gonflement	
		PROFONDEUR	teneur en eaux %	lim/ liqui%	log Eg	Eg %		Tg Kpa
1	1	4à 5	28,6	35	-0,76	0,47		0,04
	2	5 à 6	24,2	33	-0,46	0,63		0,06
3	1		39	52	-1,06	0,35		0,03
	1		10	38	0,88	2,42		0,21
4	1	1	11	41	0,90	2,45		0,22
	2	1,5	14	59	1,24	3,47		0,31
	3	0,6	12,1	42	0,84	2,32		0,20
	4	1	15,5	57	1,05	2,86		0,25
5	1	1	16	31	0,15	1,17		0,10
	2	2	6	31	0,98	2,67		0,24
	3	3	17	32	0,10	1,11		0,10
6	1	3	12	57	1,34	3,83		0,34
7	1	1 à1,50	4	29	1,08	2,95		0,26
		2	21	38	-0,03	0,97		0,09
	2	1à1,5	15	37	0,43	1,54		0,14
		1,5	24	39	-0,25	0,78		0,07
	3	1	16	36	0,32	1,37		0,12
		2	29	41	-0,60	0,55		0,05
3		36	48	-0,95	0,39		0,03	
8	1	2 à5	18,2	65	1,09	2,98		0,26
	2	5à6	27,1	43	-0,37	0,69		0,06
	3	1,5à2	35,5	46	-0,97	0,38		0,03
	3	2,2à3	34,8	83	0,31	1,36		0,12
	3	3,5à4,5	30,6	82	0,62	1,87		0,17
	3	7à8	36,8	100	0,70	2,02		0,18
	3	9 à10	35,7	100	0,79	2,21		0,20
9	1	0à1		84	3,23	25,28		2,24

	1	1,40à1,60	29,8	57	-0,13	0,87		0,08
	2	1,70à2,40	27	86,2	1,06	2,89		0,26
	2	3à4	30,4	70	0,24	1,28		0,11
	2	4,50à5,60	25,9	83	1,05	2,85		0,25
10	1	2à3	34,5	100	0,89	2,45		0,22
		3à3,90	35,4	100	0,82	2,27		0,20
		4,40à4,80	23,3	65	0,67	1,95		0,17
		5à6	30,3	99	1,21	3,35		0,30
		6à6,70	31,4	98	1,09	2,96		0,26
	2	1à2	37	98	0,62	1,86		0,16
		2à3	34	78	0,21	1,23		0,11
		3à4	36,3	100	0,75	2,11		0,19
		4à5	29,6	82	0,71	2,03		0,18
		5à5,80	38,5	92	0,30	1,35		0,12
		6à6,50	35,8	100	0,79	2,20		0,19
		8à9	33,6	100	0,97	2,64		0,23
		9à9,80	33,1	95	0,85	2,33		0,21
	3	0,50à1,50	35,9	83	0,22	1,24		0,11
		2à3	33,4	98	0,92	2,51		0,22
		3à4	33,6	100	0,97	2,64		0,23
		4à5	30,9	94	1,00	2,71		0,24
		5à6	32,9	100	1,03	2,79		0,25
		6à6,50	29,2	75	0,51	1,66		0,15
		6,50à7,50			0,46	1,58		0,14
7,50à8,50		34,9	89	0,50	1,65		0,15	
8,60à9,50	32,7	94	0,85	2,33		0,21		
11	1	0,4à1	33,4	95	0,82	2,27		0,20
		1à3	38,7	91	0,25	1,28		0,11
12	1	1à6	31,4	93	0,92	2,51		0,22
13	1	3à6		39	1,75	5,73		0,51
15	1	4à4,50	36	87	0,34	1,41		0,12
		6à6,50	35	86	0,39	1,48		0,13
		8,5à9	37,9	81	-0,01	0,99		0,09
		13,50à14	36,4	85	0,24	1,27		0,11
		19,50à20	37,3	80	0,00	1,00		0,09
	2	4à4,50	38	79	-0,09	0,91		0,08
		4,5à5	37	92	0,42	1,53		0,14
		10à10,5	41	78	-0,37	0,69		0,06
16	1	8,50à8,80	46,3	86	-0,55	0,58		0,05
		9,20à9,80	41,4	95	0,16	1,17		0,10
	2	8,50à9	30	40	-0,71	0,49		0,04
		9,50à10	38,4	85	0,08	1,08		0,10

	3	7,40à8	38,7	93	0,31	1,37		0,12
		8,70à9	40,1	90	0,10	1,10		0,10
	4	1-3,4	14	57	1,18	3,24		0,29
		3,40-4,20	22,9	59	0,50	1,66		0,15
		5 5,60	25,5	62	0,39	1,47		0,13
18	1	4,5-5	50,15	28,25	-2,77	0,06		0,01
		5,5-5,8	42,92	105	0,36	1,43		0,13
	2	1,8-2	42,8	158	2,12	8,33		0,74
	3	1,4-1,8	38,82	120,5	1,21	3,36		0,30
20	1	0,6-6	26,8	70	0,54	1,72		0,15
21	1	1,50-3	28,7	87	0,95	2,58		0,23
22	1	5-6	17,2	54	0,81	2,25		0,20
23	1	0,5-1	21	71	1,06	2,88		0,25
24	1	2,20-6	22,6	93	1,65	5,21		0,46

N°site	N° SONDAGE	PROPRIETE PHYSIQUE					
		ESTIMATION INDIRECTE DE LA PRESSION DE GONFLEMENT SELON DAVID ET KOMORNIK(sité par Kabbadj1986)					
		(sité par Kabbadj1986) ajusté aux Argile de Tlemcene					
		PROFONDEUR	densité seche KN/M ³	Teneur en eaux	limite de liquidité%		Tg Kpa
1	1	4à 5	15,78	28,6	35		1,22
	2	5 à 6	16,08	24,2	33		1,32
5	3	3	17,06	17	32		1,58
7	1	2	15,10	21	38		1,58
		3	13,73	29	39		1,29
	3	12,06	36	48		1,27	
8	1	2 à5	17,06	18,2	65		3,03
	2	5à6	15,10	27,1	43		1,49
	3	1,5à2	13,04	35,5	46		1,25
	3	2,2à3	13,63	34,8	83		2,76
	3	3,5à4,5	13,63	30,6	82		3,02
	3	7à8	13,33	36,8	100		3,71
	3	9 à10	13,63	35,7	100		3,83
9	1	1,40à1,60	13,82	29,8	57		1,84
	2	1,70à2,40	14,61	27	86,2		3,66
	2	3à4	14,61	30,4	70		2,38
	2	4,50à5,60	13,63	25,9	83		3,50
10	1	2à3	15,20	34,5	100		4,00
		3à3,90	13,24	35,4	100		3,85
		4,40à4,80	15,20	23,3	65		2,61
		5à6	14,12	30,3	99		4,35

		6à6,70	13,24	31,4	98		4,11
	2	1à2	12,94	37	98		3,53
		2à3	13,73	34	78		2,54
		3à4	13,24	36,3	100		3,76
		4à5	14,61	29,6	82		3,12
		5à5,80	12,75	38,5	92		2,99
		6à6,50	12,84	35,8	100		3,80
		8à9	13,82	33,6	100		4,06
		9à9,80	13,73	33,1	95		3,70
	3	0,50à1,50	12,75	35,9	83		2,66
		2à3	13,53	33,4	98		3,91
		3à4	13,63	33,6	100		4,05
		4à5	13,73	30,9	94		3,85
		5à6	13,53	32,9	100		4,13
		6à6,50	14,51	29,2	75		2,73
		7,50à8,50	13,53	34,9	89		3,11
		8,60à9,50	13,63	32,7	94		3,66
11	1	0,4à1	12,25	33,4	95		3,64
		1à3	11,96	38,7	91		2,90
12	1	1à6	13,04	31,4	93		3,70
15	1	4à4,50	12,25	36	87		2,87
		6à6,50	13,14	35	86		2,91
		8,5à9	13,14	37,9	81		2,42
		13,50à14	12,75	36,4	85		2,73
		19,50à20	13,43	37,3	80		2,42
	2	4à4,50	12,94	38	79		2,32
		4,5à5	13,14	37	92		3,12
		10à10,5	12,25	41	78		2,08
16	1	8,50à8,80	11,76	46,3	86		2,13
		9,20à9,80	12,25	41,4	95		2,93
	2	8,50à9	15,49	30	40		1,30
		9,50à10	13,24	38,4	85		2,60
	3	7,40à8	12,94	38,7	93		3,04
		8,70à9	12,94	40,1	90		2,75
19	4	1-3,4	16,86	14	57		2,87
		3,40-4,20	12,75	22,9	59		2,29
		5 5,60	15,69	25,5	62		2,32
20	1	0,6-6	14,41	26,8	70		2,62
21	1	1,50-3	13,82	28,7	87		3,53
23	1	5-6	17,06	17,2	54		2,48

N°site	N° SONDAGE	ESTIMATION INDIRECTE DE GONFLEMENT		
		SELON SEED ET AL.2		
		PROFONDEUR	indice de plasticité%	Gonflement
1	1	4 à 5	16	3,37
	2	5 à 6	13	2,83
2	1	1 à 1,5	7	1,73
	2	3 à 3,5	6	1,55
3	1	3	35	6,84
		4	15	3,19
4	1	1	15	3,19
	2	1,5	20	4,10
	3	0,6	16	3,37
	4	1	19	3,92
5	1	1	9	2,10
	2	2	10	2,28
	3	3	11	2,46
6	1		29	5,74
7	1	1 à 1,50	18	3,74
		2	11	2,46
	2	1 à 1,5	16	3,37
		1,5	19	3,92
	3	1	13	2,83
		2	20	4,10
3		23	4,65	
8	1	2 à 5	36	7,02
	2	5 à 6	22	4,47
	3	1,5 à 2	22	4,47
		2,2 à 3	49	9,39
		3,5 à 4,5	48	9,21
		7 à 8	61	11,58
		9 à 10	61	11,58
9	1	0 à 1	50	9,57
		1,40 à 1,60	31	6,11
	2	1,70 à 2,40	70	13,22
		3 à 4	39	7,57
		4,50 à 5,60	51	9,76
10	1	2 à 3	61	11,58
		3 à 3,90	62	11,76
		4,40 à 4,80	39	7,57
		5 à 6	61	11,58
		6 à 6,70	61	11,58
	2	1 à 2	60	11,40

		2à3	46	8,85		
		3à4	61	11,58		
		4à5	48	9,21		
		5à5,80	57	10,85		
		6à6,50	61	11,58		
		8à9	61	11,58		
		9à9,80	56	10,67		
	3	0,50à1,50	48	9,21		
		2à3	60	11,40		
		3à4	62	11,76		
		4à5	58	11,03		
		5à6	62	11,76		
		6à6,50	42	8,12		
		7,50à8,50	54	10,30		
		8,60à9,50	57	10,85		
		11	1	0,4à1	55	10,49
				1à3	53	10,12
12	1	1à6	60	11,40		
13		3à6	19	3,92		
14		0,40à2	19	3,92		
		2à6	21	4,29		
15	1	4à4,50	50	9,57		
		6à6,50	57	10,85		
		8,5à9	53	10,12		
		13,50à14	55	10,49		
		19,50à20	54	10,30		
	2	4à4,50	44	8,48		
		4,5à5	57	10,85		
10à10,5		44	8,48			
16	1	8,50à8,80	42	8,12		
		9,20à9,80	45	8,66		
	2	8,50à9	14	3,01		
		9,50à10	34	6,66		
	3	7,40à8	40	7,75		
		8,70à9	43	8,30		
19	1	2-6	56	10,67		
	4	1-3,4	30	5,93		
		3,40-4,20	32	6,29		
		5 5,60	32	6,29		
20	1	0,6-6	48	9,21		
21	1	1,50-3	50	9,57		
23	1	2-5	19	3,92		

		5-6	35	6,84
24	1	0,5-1	43	8,30
		1,50-3	50	9,57
25	1	0-2,20	19	3,92
		2,20-6	50	9,57

N° SITE	N° SOND	ESTIMATION INDIRECTE DE LA PRESSION DE GONFLEMENT SELON DAVID ET KOMORNIK(sité par Kabbadj1986) (sité par Kabbadj1986) ajusté aux Argile de Tlemcene					
		PROFONDEUR	densité seche KN/M ³	Ten en eaux%	lim/liqui%	log Tg	Tg Kpa
1	1	4à 5	15,78	28,6	35	1,09	2,98
	2	5 à 6	16,08	24,2	33	1,12	3,06
5	3	3	17,06	17	32	1,40	4,05
7	1	2	15,10	21	38	0,97	2,64
		3	13,73	29	39	0,57	1,76
	3	12,06	36	48	0,33	1,39	
8	1	2 à5	17,06	18,2	65	2,50	12,17
	2	5à6	15,10	27,1	43	1,14	3,12
	3	1,5à2	13,04	35,5	46	0,58	1,78
	3	2,2à3	13,63	34,8	83	2,00	7,39
	3	3,5à4,5	13,63	30,6	82	1,97	7,15
	3	7à8	13,33	36,8	100	2,47	11,86
	3	9 à10	13,63	35,7	100	2,57	13,03
9	1	1,40à1,60	13,82	29,8	57	1,20	3,31
	2	1,70à2,40	14,61	27	86,2	2,42	11,26
	2	3à4	14,61	30,4	70	1,88	6,56
	2	4,50à5,60	13,63	25,9	83	2,00	7,39
10	1	2à3	15,20	34,5	100	3,07	21,53
		3à3,90	13,24	35,4	100	2,44	11,49
		4,40à4,80	15,20	23,3	65	1,90	6,70
		5à6	14,12	30,3	99	2,69	14,74
		6à6,70	13,24	31,4	98	2,38	10,75
	2	1à2	12,94	37	98	2,28	9,79
		2à3	13,73	34	78	1,87	6,46
		3à4	13,24	36,3	100	2,44	11,49
		4à5	14,61	29,6	82	2,28	9,79
		5à5,80	12,75	38,5	92	2,02	7,52
		6à6,50	12,84	35,8	100	2,32	10,14
		8à9	13,82	33,6	100	2,63	13,87
		9à9,80	13,73	33,1	95	2,43	11,38
	3	0,50à1,50	12,75	35,9	83	1,72	5,57
		2à3	13,53	33,4	98	2,47	11,81

		3à4		13,63	33,6	100	2,57	13,03
		4à5		13,73	30,9	94	2,40	11,01
		5à6		13,53	32,9	100	2,54	12,63
		6à6,50		14,51	29,2	75	2,02	7,51
		7,50à8,50		13,53	34,9	89	2,17	8,75
		8,60à9,50		13,63	32,7	94	2,37	10,67
11	1	0,4à1		12,25	33,4	95	1,96	7,11
		1à3		11,96	38,7	91	1,73	5,66
12	1	1à6		13,04	31,4	93	2,15	8,55
15	1	4à4,50		12,25	36	87	1,69	5,44
		6à6,50		13,14	35	86	1,94	6,98
		8,5à9		13,14	37,9	81	1,78	5,91
		13,50à14		12,75	36,4	85	1,78	5,96
		19,50à20		13,43	37,3	80	1,84	6,28
	2	4à4,50		12,94	38	79	1,65	5,19
		4,5à5		13,14	37	92	2,14	8,53
		10à10,5		12,25	41	78	1,39	4,03
16	1	8,50à8,80		11,76	46,3	86	1,50	4,50
		9,20à9,80		12,25	41,4	95	1,96	7,11
	2	8,50à9		15,49	30	40	1,16	3,20
		9,50à10		13,24	38,4	85	1,94	6,97
	3	7,40à8		12,94	38,7	93	2,11	8,28
		8,70à9		12,94	40,1	90	2,01	7,50
18	1	4,5-5		10,49	50,15	28,25	-	0,44
		5,5-5,8		11,76	42,92	105	2,14	8,48
	2	1,8-2		15,69	42,8	158	5,16	174,11
	3	1,4-1,8		12,45	38,82	120,5	2,87	17,71
19	4	1-3,4		16,86	14	57	2,17	8,75
		3,40-4,20		12,75	22,9	59	0,92	2,50
		5 5,60		15,69	25,5	62	1,96	7,10
20	1	0,6-6		14,41	26,8	70	1,82	6,16
21	1	1,50-3		13,82	28,7	87	2,20	9,00
23	1	5-6		17,06	17,2	54	2,13	8,43

3) SELON L'ACTIVITE

SEED et **AL.** (1962) ont proposé une méthode d'estimation du taux de gonflement sur des sols compactés en se référant à la teneur en argile du sol et à l'activité du matériau

Figure :8

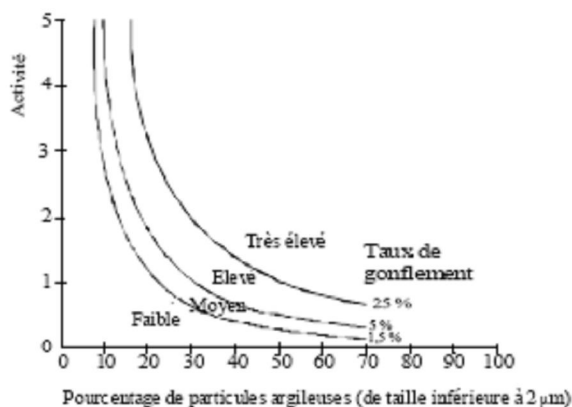


FIG 8: DIAGRAMME DE CLASSIFICATION DU POTENTIEL DE GONFLEMENT (SEED ET AL 1962)

Les valeurs des limites de liquidité et de plasticité dépendent en tout premier lieu de l'importance relative des grains les plus fins au sein du mortier (l'ensemble des grains de dimension inférieure à 0,4 mm).

Par définition, l'activité est le rapport de l'indice de plasticité exprimé en % à la teneur en argile exprimée en %.

La teneur en argile dite aussi fraction argileuse est le rapport du poids des grains secs de dimension inférieure à deux micromètre au poids total du mortier.

$$T_{arg} = \frac{M(\Phi < 2\mu m)}{M_t}$$

L'activité est caractéristique du minéral constituant les particules fines. Lorsque la teneur en argile est assez forte, les grains de dimensions supérieures à deux micromètres sont noyés dans l'argile et ne se touchent pratiquement pas.

Les limites d'ATTERBERG du sol considéré sont donc celles des particules d'argiles, L'échelle d'activité généralement utilisée est la suivante

Activité	Nature de l'argile
< 0,75	Inactive
[0,75 – 1,25]	Normale
> 1,25	active

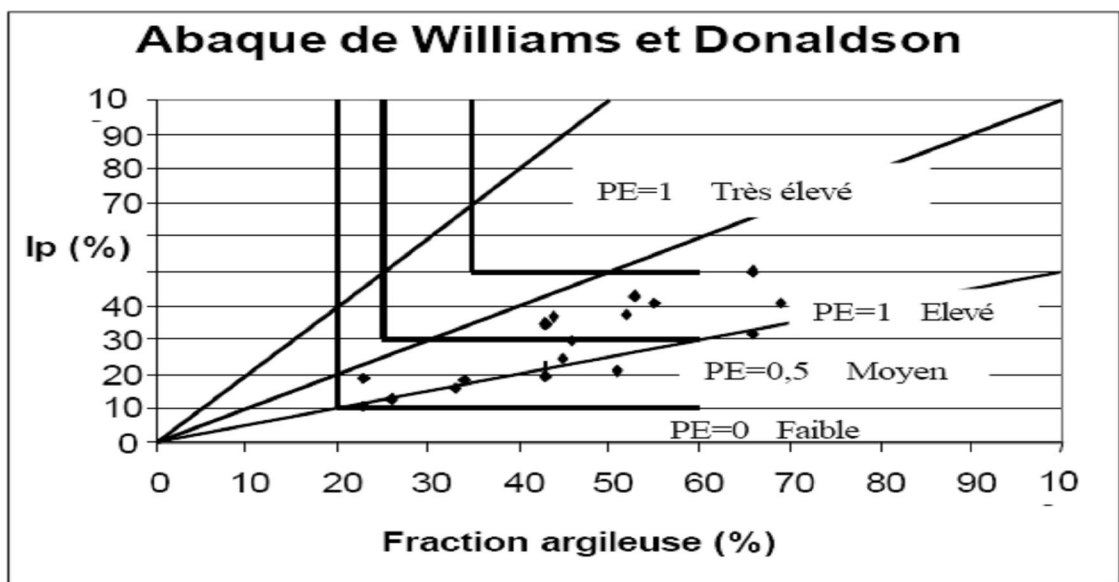
Selon SKEMPTON l'activité A est égale à :

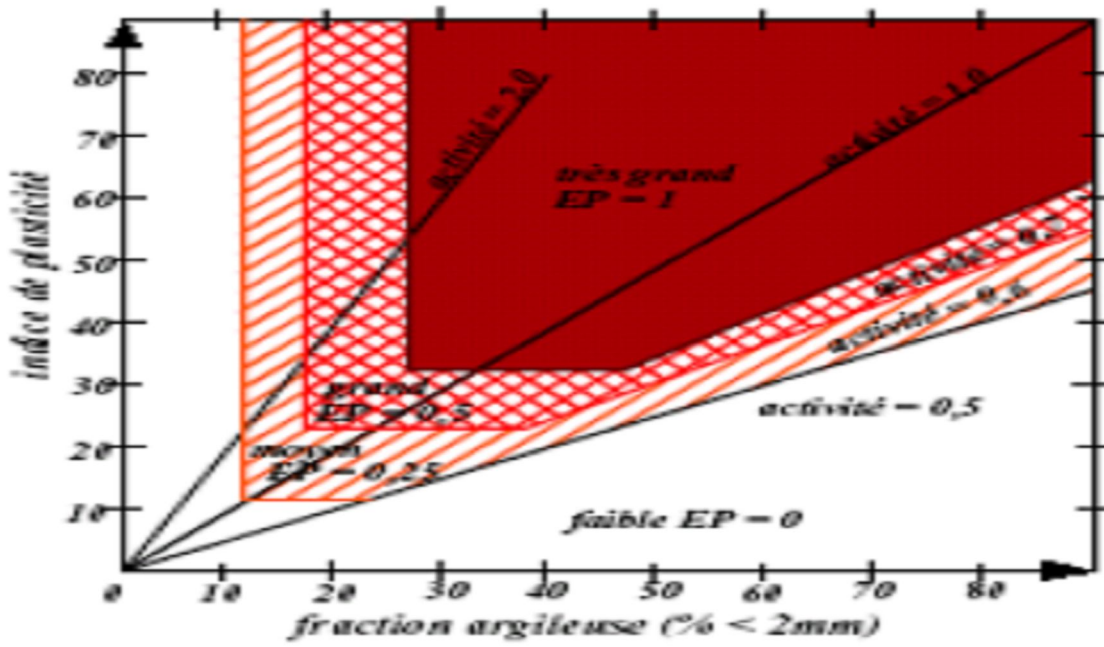
$$A_c = \frac{I_p}{C_2}$$

A = qui rapporte l'indice de plasticité du matériau à sa teneur en particules argileuses (notée ici C2, teneur en particules de dimensions inférieures à 2 um), la seule interagissant avec l'eau.

Cette définition de l'indice de plasticité montre également que I_p est un paramètre important dans les propriétés de rétention d'eau du terrain et donc de gonflement. C'est la raison pour laquelle un certain nombre de corrélations ont rapidement été recherchées entre les limites d'ATTERBERG et les propriétés de gonflement des sols.

FIG 8 : ABAQUE DE WILYAMES ET DONALSON





APPLICATION SUR LES SOLS D'EL KOUIF

DIAGRAMME 1 :

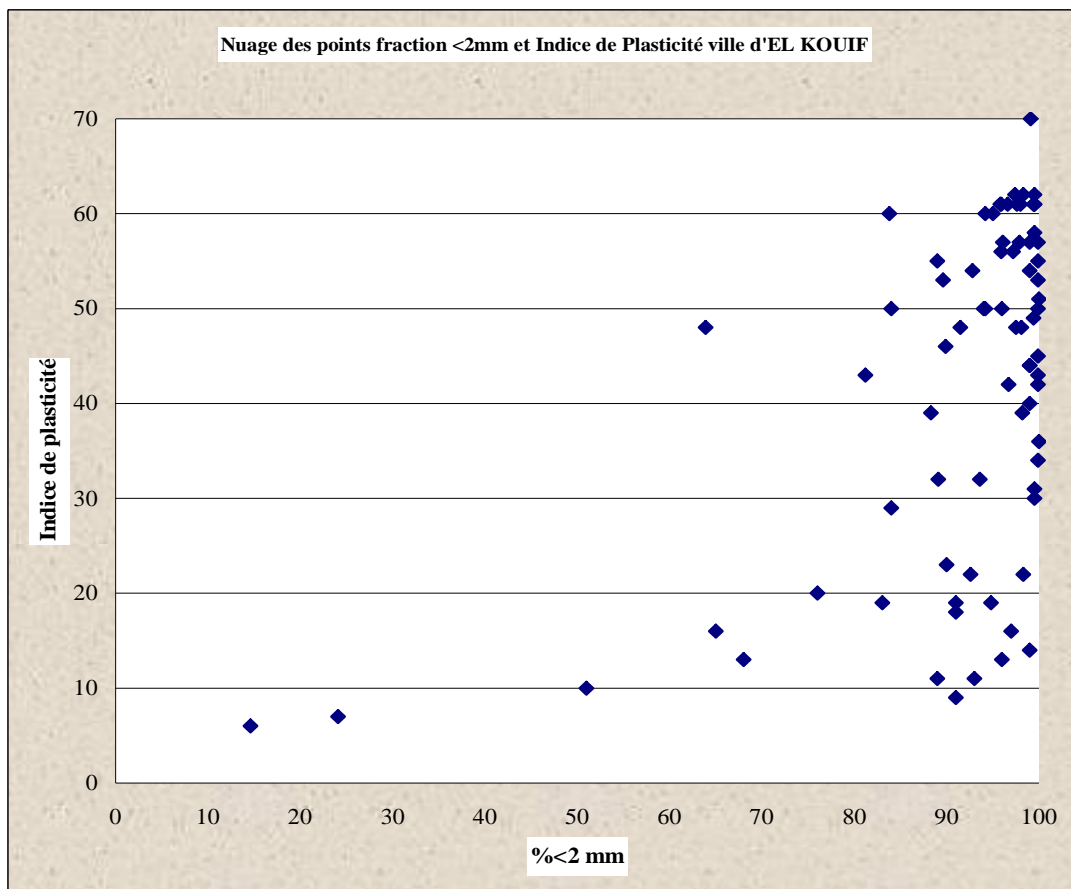


DIAGRAMME 2 :

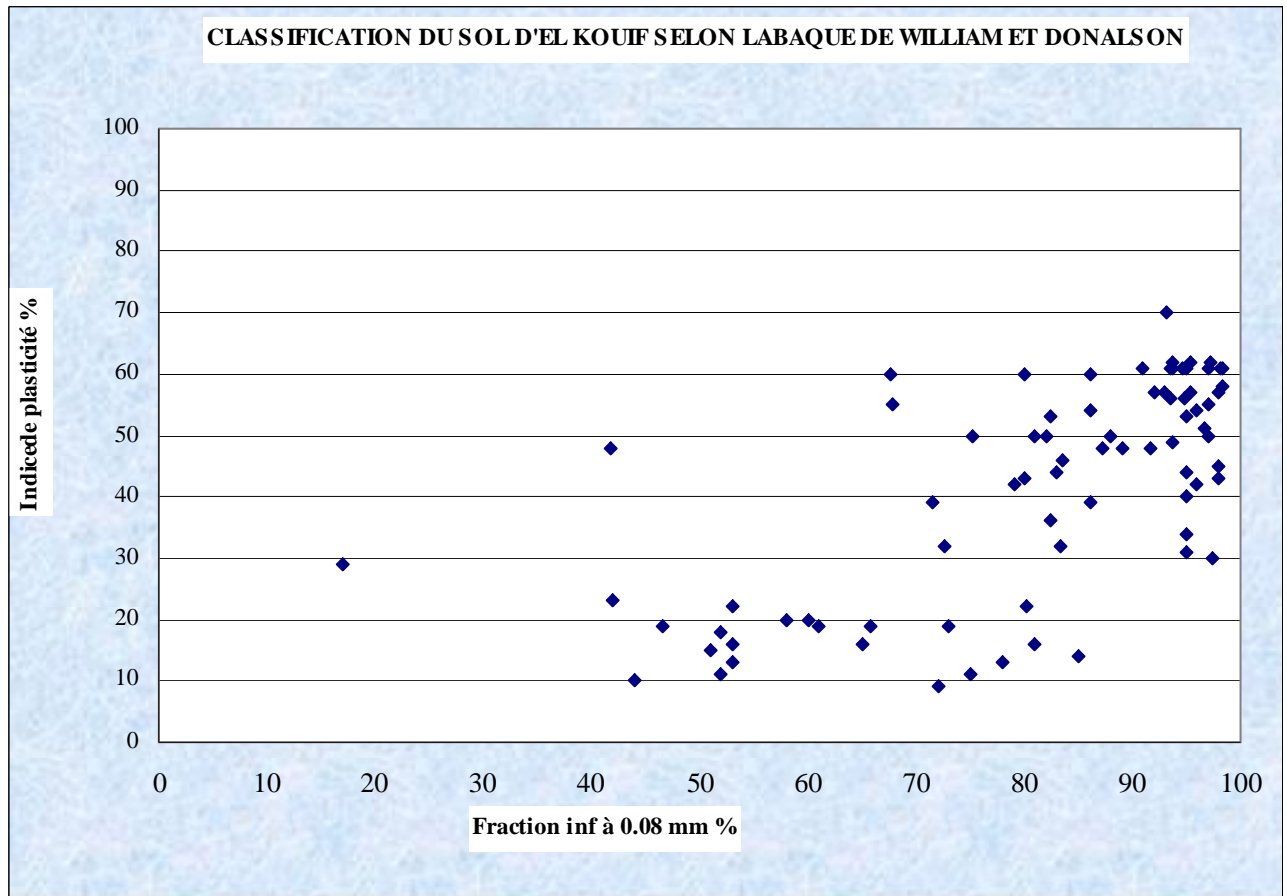
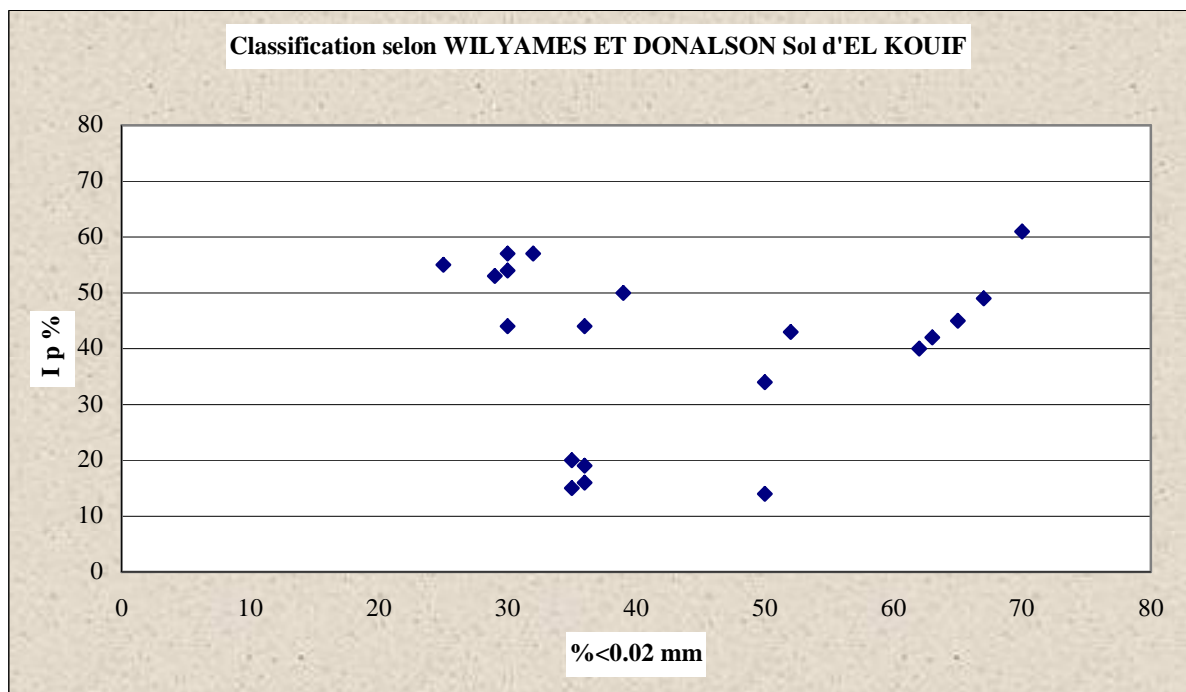


DIAGRAMME 3 :



III. LES ESSAIS MECANIQUES DISPONIBLES POUR LA DETERMINATION DU PHENOMENE DE GONFLEMENT DANS LA VILLE D'EL KOUIF

1) ESSAI OEDOMETRIQUE

PRINCIPE :

L'essai s'effectue sur une éprouvette de sol intact placée dans une enceinte cylindrique rigide.

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 oedomètre.

La charge est appliquée par paliers maintenus constants successivement croissants et décroissants suivant un programme défini. Les variations de hauteur de l'éprouvette sont mesurées pendant l'essai en fonction de la durée d'application de la charge.

EQUIPEMENT NECESSAIRE :

- Cellule oedométrique ou moule de section 40 cm²
- Bâti de consolidation comportant un levier qui transmet
- les charges avec un rapport de 10
- Série de poids avec fendage.
- Matériel divers pour taillage des éprouvettes.
- Une balance précise au 1/100 g.

CALCUL ET RESULTATS :

- L'indice de gonflement **C_s** est la pente de la droite **AB**. on appelle indice de gonflement **C_g** la pente du diagramme œdométrique (dans la représentation (e – log T) correspondant à la branche de gonflement
- L'indice de compression **C_c** est la pente de la droite **MN**.
- La contrainte de consolidation σ_p est la plus grande pression à laquelle a été soumis l'échantillon de sol au cours de son histoire. On la détermine par le point C intersection des droites DL et MN.

1- TYPE D'ARGILE DANS LA VILLE D'EL KOUIF SELON L'INDICE DE COMPRESSION C_c

Type de sol	Indice de compression C_c
Sable	$0,01 < C_c < 0,10$
Argile raide (kaolinites)	$0,10 < C_c < 0,25$
Argile moyenne	$0,25 < C_c < 0,80$
Argile molle (montmorillonites)	$0,80 < C_c < 2,50$

N° site	N° SONDAGE	Classification Selon l'Indice de Compression		
		PROFONDEUR	C_c	Type de Sol
7	1	1 à 1,50	0,214	Argile Raide (Kaolinite)
		2 à 3	0,224	Argile Raide (Kaolinite)
		3	0,324	Argile Moyenne
9	3	2,2 à 3	0,637	Argile Moyenne
	3	3,5 à 4,5	0,211	Argile Raide (Kaolinite)
	3	7 à 8	0,348	Argile Moyenne
	3	9 à 10	0,31	Argile Moyenne
	2	1,70 à 2,40	0,386	Argile Moyenne
	2	3 à 4	0,287	Argile Moyenne
	2	4,50 à 5,60	0,319	Argile Moyenne
10	1	2 à 3	0,359	Argile Moyenne
		3 à 3,90	0,387	Argile Moyenne
		4,40 à 4,80	0,232	Argile Moyenne
		5 à 6	0,368	Argile Moyenne
		6 à 6,70	0,942	Argile molle (Montmorillonite)
	2	1 à 2	0,312	Argile Moyenne
		2 à 3	0,33	Argile Moyenne
		3 à 4	0,324	Argile Moyenne
		4 à 5	0,241	Argile Raide (Kaolinite)
		5 à 5,80	0,295	Argile Moyenne
		6 à 6,50	0,356	Argile Moyenne
		8 à 9	0,296	Argile Moyenne
		9 à 9,80	0,374	Argile Moyenne
	3	2 à 3	0,305	Argile Moyenne
		3 à 4	0,278	Argile Moyenne
		4 à 5	0,139	Argile Raide (Kaolinite)
		5 à 6	0,304	Argile Moyenne
6 à 6,50		0,282	Argile Moyenne	

		7,50 à 8,50	0,314	Argile Moyenne
		8,60 à 9,50	0,277	Argile Moyenne
11	1	1 à 3	0,058	Sable
12	1	1 à 6	0,084	Sable
15	1	6 à 6,50	0,295	Argile Moyenne
		8,5 à 9	0,356	Argile Moyenne
		13,50 à 14	0,291	Argile Moyenne
	2	4 à 4,50	0,32	Argile Moyenne
16	1	9,20 à 9,80	0,273	Argile Moyenne
	1	9,50 à 10	0,228	Argile Raide (Kaolinite)
	2	8,70 à 9	0,271	Argile Moyenne
17	1	3,1 à 3,50	0,272	Argile Moyenne
		3,50 à 3,90	0,316	Argile Moyenne
18	1	1,80 - 2,20	0,183	Argile Raide (Kaolinite)
		4,50 - 5	0,477	Argile Moyenne
		7,2 - 7,5	0,54	Argile Moyenne
		8 - 8,5	0,343	Argile Moyenne
	3	1,4 - 1,8	0,48	Argile Moyenne
		4,2 - 4,5	0,165	Argile Raide (Kaolinite)
		5 - 5,4	0,477	Argile Moyenne
20	1	0,6 - 6	0,54	Argile Moyenne
21	1	1,50 - 3	0,07	Sable
23	1	5 - 6	0,35	Argile Moyenne
25	1	2,20 - 6	0,117	Argile Raide (Kaolinite)

2- GONFLEMENT SELON C_g et P_c : (INDICE DE GONFLEMENT ET PRESSION DE CONSOLIDATION)

Selon COSTET SONGLERAT La plupart des sols gonflants présente deux caractéristiques :

- Une forte sur consolidation : la pression de consolidation varie de 0.1 à 0.8 Mpa
- Un indice de gonflement C_g élevé : $0.04 < C_g < 0.25$

En plus Le diagramme œdométrique d'une argile gonflante présente une allure caractéristique : la courbe déchargement recoupe la courbe de chargement.

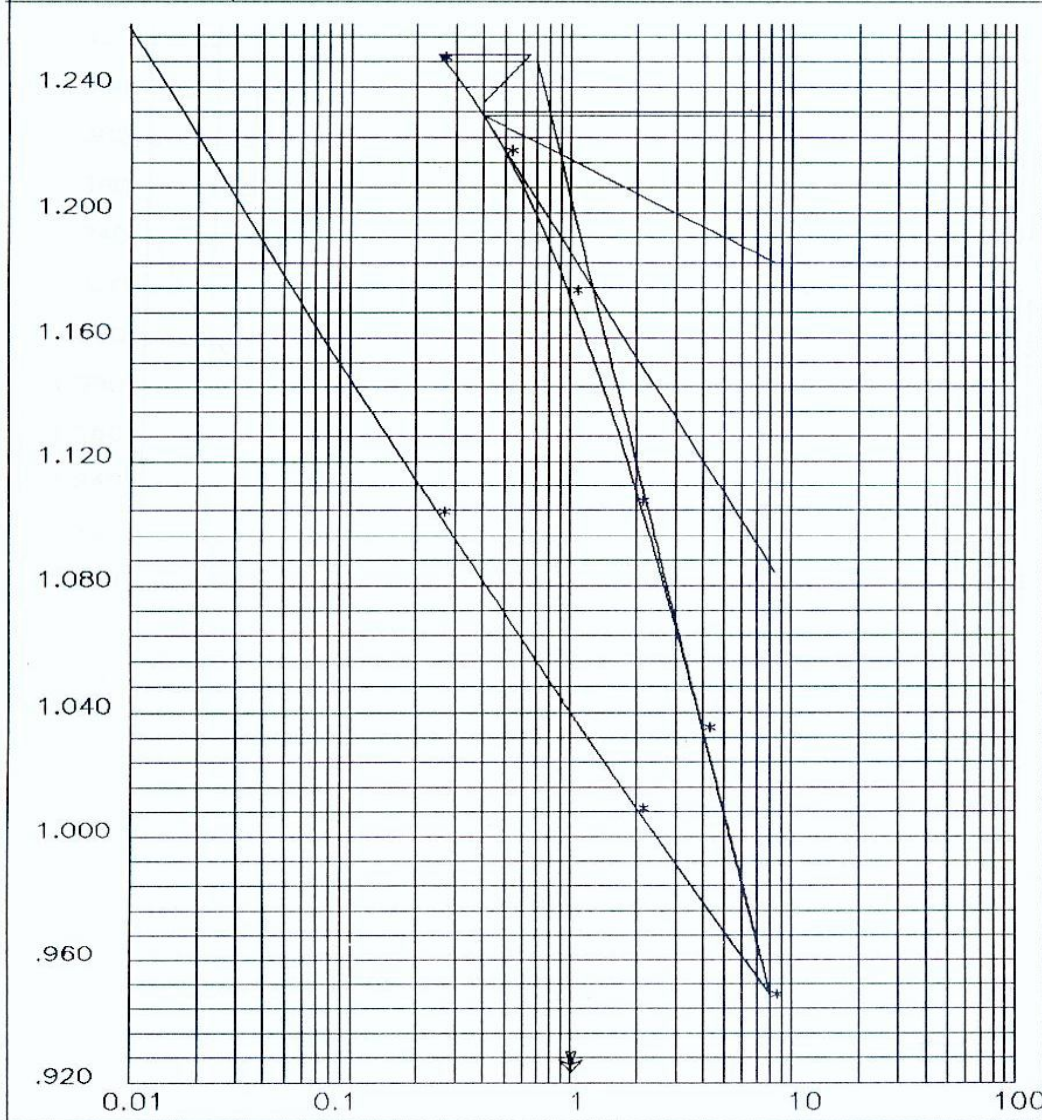
L'analyse des essais d'œdomètre réalisés sur les sol de la ville d'EL KOUIF confirme qu'ils sont gonflants .

Tableau Gonflement selon Cg et Pc : (Indice de gonflement et pression de consolidation) VILLE D'EI KOUIF

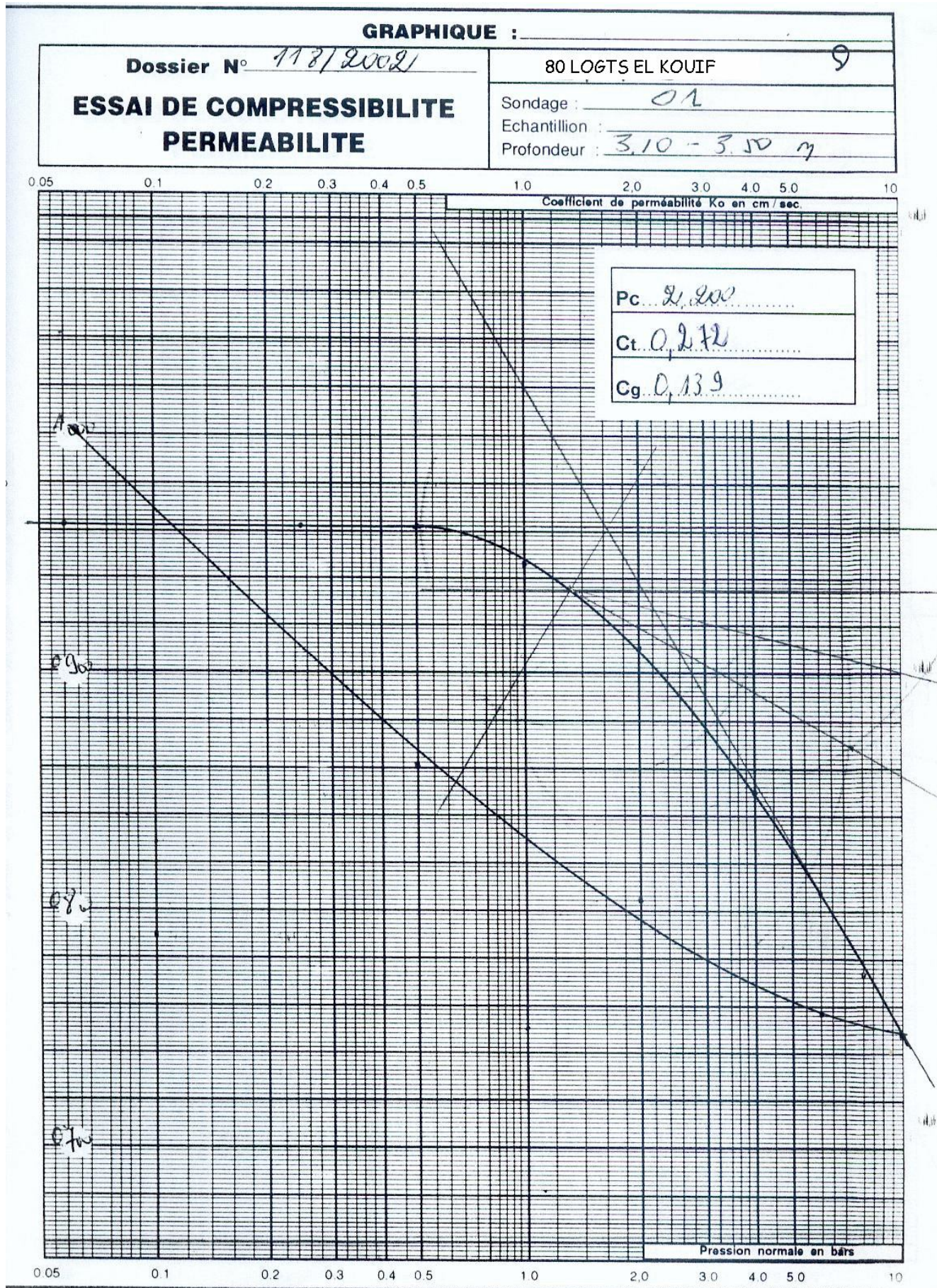
N°	N° SONDAGE	CARACTERISTIQUE DES SOLS GONFLANTS D'APRES COSTE SONGLERAT				
		ESSAI OEDOMETRIQUE				
		PROFONDEUR	Pc bars	Pc Mpa	Cg	Potentiel de gonflement
7	1	1 à1,50	1,07	0,11	0,06	Sol Gonflant Cg élevé
	2	2 à3	1,34	0,13	0,10	Sol Gonflant Cg élevé
	3	3	1,51	0,15	0,08	Sol Gonflant Cg élevé
8	3	2,2à3	2,18	0,22	0,22	Sol Gonflant Cg élevé
		3,5à4,5	1,35	0,14	0,05	Sol Gonflant Cg élevé
		7à8	0,75	0,08	0,13	Sol Gonflant Cg élevé
		9 à10	0,66	0,07	0,13	Sol Gonflant Cg élevé
9	2	1,70à2,40	1,17	0,12	0,05	Sol Gonflant Cg élevé
		3à4	0,49	0,05	0,13	Sol Gonflant Cg élevé
		4,50à5,60	0,93	0,09	0,10	Sol Gonflant Cg élevé
10	1	2à3	0,74	0,07	0,31	Sol Gonflant Cg élevé
		3à3,90	0,89	0,09	0,16	Sol Gonflant Cg élevé
		4,40à4,80	0,78	0,08	0,09	Sol Gonflant Cg élevé
		5à6	1,12	0,11	0,10	Sol Gonflant Cg élevé
		6à6,70	1,09	0,11	0,34	Sol Gonflant Cg élevé
	2	1à2	0,84	0,08	0,11	Sol Gonflant Cg élevé
		2à3	1,11	0,11	0,13	Sol Gonflant Cg élevé
		3à4	1,02	0,10	0,12	Sol Gonflant Cg élevé
		4à5	1,09	0,11	0,02	Sol Gonflant Cg élevé
		5à5,80	1,01	0,10	0,88	Sol Gonflant Cg élevé
		6à6,50	1,57	0,16	0,07	Sol Gonflant Cg élevé
		8à9	0,91	0,09	0,12	Sol Gonflant Cg élevé
	9à9,80	1,23	0,12	0,12	Sol Gonflant Cg élevé	
	3	2à3	0,71	0,07	0,10	Sol Gonflant Cg élevé
		3à4	0,87	0,09	0,09	Sol Gonflant Cg élevé
		4à5	0,67	0,07	0,11	Sol Gonflant Cg élevé
		5à6	0,71	0,07	0,10	Sol Gonflant Cg élevé
		6à6,50	0,89	0,09	0,11	Sol Gonflant Cg élevé
	7,50à8,50	0,61	0,06	0,11	Sol Gonflant Cg élevé	
8,60à9,50	0,66	0,07	0,09	Sol Gonflant Cg élevé		
11	1	1à3	1,23	0,12	0,02	Sol Gonflant Cg élevé
12	1	1à6	1,30	0,13	0,04	Sol Gonflant Cg élevé
15	1	6à6,50	1,45	0,15	0,16	Sol Gonflant Cg élevé
		8,5à9	0,69	0,07	0,09	Sol Gonflant Cg élevé
		13,50à14	1,34	0,13	0,15	Sol Gonflant Cg élevé
2	4à4,50	1,30	0,13	0,16	Sol Gonflant Cg élevé	
16	1	9,20à9,80	1,47	0,15	0,11	Sol Gonflant Cg élevé
		9,50à10	1,20	0,12	0,09	Sol Gonflant Cg élevé
		8,70à9	1,40	0,14	0,10	Sol Gonflant Cg élevé
17	1	3,1à3,50	2,20	0,22	0,13	Sol Gonflant Cg élevé
		3,50à3,90	2,70	0,27	0,23	Sol Gonflant Cg élevé
		1,80-2,20	3,50	0,35	0,11	Sol Gonflant Cg élevé
18	1	4,50-5	3,60	0,36	0,10	Sol Gonflant Cg élevé
		7,2-7,5	4,75	0,48	0,35	Sol Gonflant Cg élevé
		8-8,5	5,60	0,56	26,40	Sol Gonflant Cg élevé
	3	1,4-1,8	3,60	0,36	0,12	Sol Gonflant Cg élevé
		4,2-4,5	2,80	0,28	3,00	Sol Gonflant Cg élevé
5-5,4	5,50	0,55	0,21	Sol Gonflant Cg élevé		
20	1	0,6-6	1,80	0,18	0,18	Sol Gonflant Cg élevé
21	1	1,50-3	1,33	0,13	0,03	Sol Gonflant Cg élevé
25	1	5-6	1,88	0,19	0,01	Sol Gonflant Cg élevé
		2,20-6	0,58	0,06	0,03	Sol Gonflant Cg élevé

3- GONFLEMENT SELON : L'ALLURE DE LA COURBE DECHARGEMENT) VILLE D'EL KOUIF

	ESSAI DE COMPRESSIBILITE/PERMEABILITE	
	DOSSIER : 50LOG	
	PROJE	50LOG
	Localisation EL KOUIF	
Echantillon SD3 ECH1		Profondeur 6.00/6.50M



$P_c = 1 \text{ bar}$ $C_c = .282$ $C_g = .106$



2 – Essai de Bleu de Méthylène et Influence de la surface spécifique de l’argile

objectif :

Déterminer la valeur de bleu de méthylène d'un sol pour globalement la quantité et l'activité de la fraction argileuse.

Principe :

L'essai consiste à prélever un échantillon de sol et d'injecter successivement des dose élémentaire d'une solution de bleu de méthylène dans un Becher contenant l' échantillon .la capacité d'adsorption correspond à la quantité totale de bleu introduite lorsqu'on est e presence d'un début d'eccés .cette quantité est regie par l'importance et l'activité des minéraux argileux presents dans la fraction fine du sol

$$S_{st} = 21 V_B (0/2\mu m)$$

TYPE D'ARGILE	SURFACE SPÉCIFIQUE (M2/G)
Kaolinite	5 à 20,
Illite	40 à 60
Vermiculite	200
Montmorillonite	800

CLASSE GTR	VBS(VALEUR AU BLEU)	SOUS CLASSE
A	<2.5	A1
A	2.5 à 6	A2
A	6 à 8	A3
A	> 8	A4

APPLICATION SUR QUELQUES SOLS DE LA ZONE ETUDIES

Paramètres d'identification						Potentiel de Gonflement	Susceptibilité de variation de volume
Site	Profondeur m	Lw %	Ip %	% < 0.08mm	VB		
Cité marché	3	87	50	81	8	Très fort	Fort
40 logts	3	82	48	93	7.19	Très fort	Fort
50 logts	3	83	38	98	10	Très fort	fort

Paramètres d'identification			
Indice de plasticité	% de passant au tamis de 80 um	Valeur au bleu méthylène	Susceptibilité de variation de volume
Sup à30	Sup à 90 %	Sup à 6	Forte
15<Ip<30	Sup à 50 %	2<Vb<6	moyenne
<30	INF à 50 %	<2	faible

CLASSEMENT SELON LA NATURE			
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous classe fonction de la nature
<p>$D_{max} \leq 50\text{mm}$</p> <p>et</p> <p>T_a</p> <p>misat à $80\mu\text{m} > 35\%$</p>	<p>A</p> <p>Sols fins</p>	<p>$VBS \leq 2,5$</p> <p>ou</p> <p>$I_p \leq 12$</p>	<p>A1</p> <p>Limons peu plastiques, lœss, silts alluvionnaires, sables fins peu pollués, arènes peu plastiques...</p>
		<p>$12 < I_p \leq 25$</p> <p>ou</p> <p>$2,5 < VBS \leq 6$</p>	<p>A2</p> <p>Sables fins argileux, limons, argiles et marnes peu plastiques, arènes...</p>
		<p>$25 < I_p \leq 40$</p> <p>ou</p> <p>$6 < VBS \leq 8$</p>	<p>A3</p> <p>Argiles et argiles marneuses, limons très plastiques...</p>
		<p>$I_p > 40$</p> <p>ou</p> <p>$VBS > 8$</p>	<p>A4</p> <p>Argiles et argiles marneuses, très plastiques...</p>

III –RESULTAT DE TRAITEMENT TRAITEMENT STATISTIQUES DES
PARAMETRE PYSIQUE ET MECANIQUE :

PARAMETRES	< 0,8 mm	limite de	Indice de	INDICE DE	TENEUR EN	DENSITE	PRESSION DE	INDICE DE
	%	liquidité %	plasticite %	CONSISTANCE	EAU %	SEHE T/M3	CONSOLIDATION Mpa	GONFLEMENT %
Nbr observations	87	87	86	42	94	83	52	52
Minimum	14,28	24	6	0,48	4	0,98	0,05	3
Maximum	98,4	100	70	1,5	60,95	1,8	0,56	0,01
Moyenne	77,97	69,92	39,31	1,02	29,91	1,4	0,16	0,19
Ecart Type	20,6	24,46	18,03	0,19	10,23	0,17	0,119	0,41

- Il est à noter que la base de donnée de tous les calculs ; est le resultat des essais réalisés au niveau du laboratoire des travaux public EST Tebessa, le laboratoire de l'habit et de construction, que j'ai reussi a rassembler et à realiser pendant ma recherche.

CONCLUSION :

Dans le présent chapitre (étude géotechnique) et après avoir fait une étude bibliographique du phénomène de gonflement. Nous avons montré qu'à partir d'essais simples effectués pratiquement dans toutes les campagnes de reconnaissance préliminaires et qu'on a réussi à récolter ou à exécuter, il est possible d'identifier qualitativement les sols expansifs et d'obtenir à partir de corrélations des estimations approximatives de la pression et de l'amplitude de gonflement.

Les caractéristiques géotechniques du sol d'El Kouif sont résumés comme suit :

- L'analyse granulométrique effectuée sur différents échantillons montre que la fraction inférieure à 80µm est importante et à différentes profondeurs donc on est en présence d'un sol fin.
- Par la fraction 40 µm plusieurs essais de limite d'ATERBERG ont été réalisés à différentes profondeurs le traitement statistique des données les valeurs moyennes des limites d'ATERBERG:
 - limite de liquidité : 69.92 %
 - indice de plasticité: 39.31 %
 - indice de consistance: 1.02
- les corrélations entre les paramètres aident à qualifier notre sol:
 - la limite de liquidité indique que le gonflement du sol varie de faible, moyen fort, **très fort à critique**.
 - l'indice de plasticité nous donne une idée sur la plasticité du sol de la région qui varie de plastique à très plastique.
 - L'indice de consistance montre que notre sol est consistant d'où la probabilité de tassement est faible.
 - D'après les diagrammes effectués par la corrélation des données de limite d'ATERBERG et l'analyse granulométrique des sols des différents points de la ville d'El Kouif ; on a constaté que le nuage des points pour la ville d'EL KOUIF se trouve dans la zone orange du diagramme de CASAGRANDE au-dessus de la ligne A, les sols étudiés sont gonflants d'après ce diagramme les argiles étudiées sont très plastique et plastique (d'après le diagramme représentant les critères de classification au laboratoire (Système USCS)
 - En plus, on a remarqué que les limites de liquidité sont supérieures à 60 % et l'indice de plasticité est pour presque la majorité des sols étudiés est supérieur à 35 %, d'où le potentiel de gonflement est élevé à très élevé .

- par les essais œdométrique et l'essai de bleu de méthylène on a confirmé le gonflement des échantillons étudiés est gonflant à tendance de variation de volume élevé.
- d'une part on est face à une forte sur consolidation : la pression de consolidation varie de 0.1 à 0.8 Mpa
- d'autre part l'Un indice de gonflement C_g élevé : $0.04 < C_g < 0.25$

ces deux indices et selon COSTET SANGLERAT notre sol est gonflant
valeurs moyennes par le traitement statistique

1- indice de gonflement = 0.19

2- pression de consolidation = 0.16 MP

3- En plus dans Le diagramme œdométrique la courbe déchargement recoupe la courbe de chargement et l'indice des vides initial est inférieur à l'indice des vides final après déchargement.

- par la fraction argileuse on a aussi essayé de déterminer l'activité de quelques échantillons le nuage des points se trouve dans la partie des sols gonflants de l'abaque de ABRAHAMSON DE WILYAMES ET DONALSON

PREVENTION DU PHENOMENE DE GONFLEMENT

PREVENTION DU PHENOMENE DE GONFLEMENT

Les mesures préventives relativement simples et peu coûteuses permettant de limiter considérablement les désordres liés au phénomène de gonflement de sol sont résumés dans ce chapitre comme suit :

I. DISPOSITIONS D'ORDRE GENERAL :

1- Approfondissement des fondations

Pour qu'elles soient ancrées dans un terrain peu sensible aux variations saisonnières d'humidité.

2- homogénéisation des profondeurs d'ancrage

Pour éviter les Dissymétries (en particulier sur les terrains en pente).

3-réalisation d'un trottoir étanche

Tout autour de la maison pour limiter l'évaporation à proximité immédiate des façades.

4- maîtrise des eaux de ruissellement des eaux pluviales

Pour éviter qu'elles ne s'infiltrerent au pied des murs, éloignement des arbres, etc.

II. DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES

a- LES FONDATIONS :

Tout en restant dans des dispositions traditionnelles, il convient d'appliquer les précautions élémentaires et, si l'on reste dans le cadre de fondations superficielles, il est préférable de réaliser des fondations continues et armées coulées à pleine fouille ; soit en réalisant des semelles continues de hauteur suffisante, soit, lorsqu'il existe un sous-sol, en utilisant les murs de celui-ci comme éléments raidisseurs, s'ils sont en béton armé.

** Lorsque les sols peuvent donner lieu à retrait à des profondeurs importantes (supérieurs à 2 m), il est également possible de réaliser des fondations discontinues par puits et longrines.

** On évitera les fondations à des profondeurs différentes ; les sous-sols partiels présentent un grave risque de désordres. Cependant lorsque les constructions sont situées sur des plates formes réalisés par un mouvement de déblais remblais, il est conseillé de descendre les fondations aval à une profondeur supérieure à celles des fondations amont, afin d'éviter les risques résultant d'une dessiccation plus importante en aval.

** Si, lorsque la construction comporte un sous-sol, celui-ci possède une rampe d'accès, les fondations du bâtiment au voisinage de ces ouvrages devront, soit être réalisées à une profondeur suffisante, soit être protégées de la dessiccation, par exemple, à l'aide de géomanciens étanches.

b- LES STRUCTURES :

Outre les précautions indiquées précédemment (semelles armées continues formant poutres de rigidité, murs de sous-sol en béton), les structures en élévation doivent comporter des chaînages horizontaux et verticaux.

Lorsque les murs en élévation sont prévus en maçonnerie, des chaînages répartis dans la hauteur des murs, et placés dans les joints horizontaux de la maçonnerie, sont préférables aux chaînages concentrés au niveau de chaque plancher.

Les dallages sur terre-plein, mêmes armés en planchers, sont déconseillés. On leur préférera les plancher sur vide sanitaire ou sur sous-sol total. L'armature des dallages n'empêche pas leurs déformations sous l'action des mouvements (tassement ou gonflement) du sol qui leur sert de support, et cela même si les dallages sont liés aux semelles périphériques.

Certains constructeurs ont d'ailleurs fait preuve d'imagination pour réaliser, à moindre coût, des planchers sur vide sanitaire.

Un procédé prévoit de faire appel à des panneaux de carton alvéolaire, biodégradables, utilisés en coffrage perdu sur lequel on coule une dalle de béton porté par des fondations. Après la prise du béton, le carton est rendu compressible par l'introduction d'eau à l'intérieur du réseau, créant ainsi un vide sous le plancher bas.

c- LES OUVRAGES PERIPHERIQUES

Le but des ouvrages périphériques est d'empêcher que le sol des fondations ne puisse être soumis à d'importantes et brusques variation de teneur en eau.

Il faut se garantir des eaux de ruissellement et des eaux de toitures. On éloignera des bâtiments les eaux de ruissellement par des contrepentes, par des revêtements superficiels étanches; elles seront collectées dans des caniveaux s'évacuant, à défaut d'égouts, aussi loin que possible des bâtiments. Lorsque des contrepentes ou des revêtements ne sont pas réalisables, on mettra en place des géomanciens sous la terre végétale, avec une pente destinée à éloigner l'eau du bâtiment.

Les eaux de toitures seront collectées dans des ouvrages étanches et éloignées des bâtiments avec une tranchée dont le bas est situé à un niveau inférieur à celui des fondations, elle n'est pas toujours réalisable, notamment pour des problèmes d'évacuation des eaux collectées. C'est pourquoi le drainage est en général implanté le long du bâtiment. Le drain doit, dans ce cas, être posé sur le débord de la semelle, et non à côté de celle-ci.

- Les ruptures de canalisations provoquées par les mouvements de sol peuvent générer de graves désordres dans les bâtiments. C'est pourquoi on utilisera, pour les réaliser, des matériaux non fragiles. Elles seront aussi flexibles que possible. L'étanchéité de leurs joints sera effectuée avec des produits souples. Dans la partie où ces canalisations pénètrent le bâtiment, on prendra soin de ne pas les bloquer dans le gros oeuvre. On évitera les canalisations qui longent les bâtiments (le risque est accru en cas de rupture). L'entrée et la sortie dans le bâtiment s'effectueront de la manière la plus directe (de préférence perpendiculairement).

d- LA VEGETATION

S'il existe des arbres importants au voisinage de la construction projetée, les constructeurs doivent tenir compte de l'existence de ces arbres et de l'incidence qu'ils peuvent avoir à l'occasion d'une sécheresse particulière ou de leur disparition ultérieure (tassement et gonflements).

On pourra selon le cas, essayer d'implanter la construction en dehors du domaine d'influence des arbres, examiner la possibilité d'abattre les arbres gênants le plus tôt possible avant la construction, descendre les fondations à une profondeur où les racines n'induisent plus de variations de teneur en eau.

Dans les cas les plus favorables, le domaine d'influence des arbres peut atteindre 1 à 1,5 fois leur hauteur à l'âge adulte. En tout cas, la distance minimale est, selon les espèces de 6 à 10 mètres. La profondeur pouvait atteindre 4 à 5 mètres par rapport au terrain naturel.

► **QUELQUES MESURES SIMPLES POUR ÉVITER DE FUTURS SINISTRES :**

- Reconnaître la nature du sol avant construction.
- Éviter de planter des arbres trop près de la maison.
- Réaliser un trottoir ou une terrasse tout autour de la maison pour limiter l'évaporation à proximité immédiate des fondations.
- Éviter tout pompage, drainage ou apport localisé d'eau (descente d'eau pluviale ou fuite de canalisation enterrée par exemple) trop proche de la maison.
- Assurer un ancrage homogène et suffisamment profond des fondations.
- Renforcer la rigidité de la construction au moyen de chaînages horizontaux et verticaux.

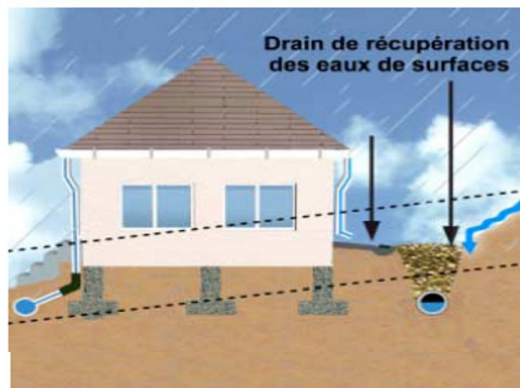
Comment construire sur sol sensible au retrait-gonflement ?

Principes de base à respecter (mesures forfaitaires à défaut d'étude de sol)

- > Adaptation des fondations (ancrage profond et homogène)
- > Rigidification de la structure
- > Désolidarisation des bâtiments accolés
- > Maîtrise des variations saisonnières d'humidité
- > Éloignement des plantations arborées

Éviter les variations saisonnières d'humidité

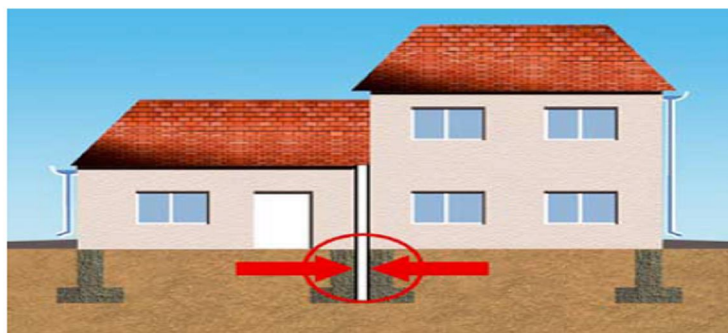
- > Pas de drain à moins de 2 m d'un bâtiment, ni de pompage domestique à moins de 10 m
- > Éloignement des eaux de ruissellement (caniveau), rejet des eaux pluviales et usées dans le réseau (ou respect d'une distance minimale de rejet)
- > Étanchéité des canalisations enterrées (joints souples)



- > Réalisation d'un trottoir périmétrique anti-évaporation de largeur $\geq 1,50$ m (terrasse ou géomembrane)
- > Isolation thermique si chaudière en sous-sol

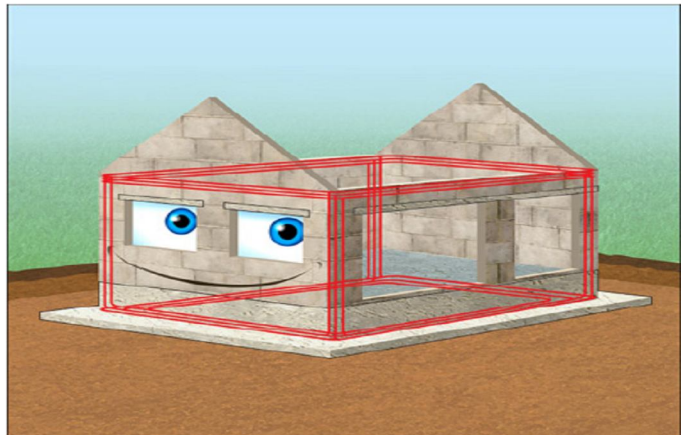
Désolidarisation des bâtiments accolés

- > Joint de rupture sur toute la hauteur entre bâtiments accolés fondés différemment ou exerçant des charges variables



Rigidification de la structure

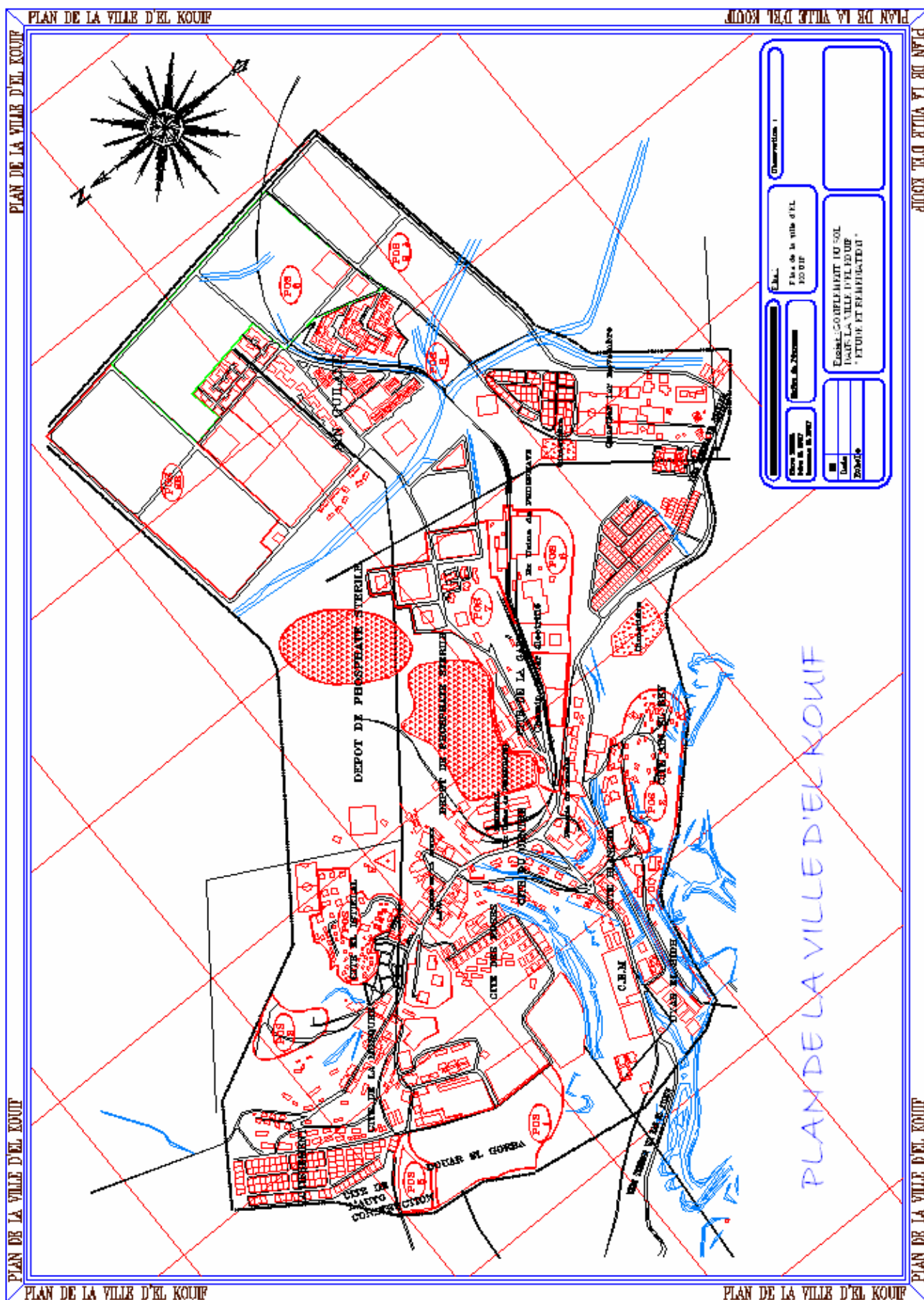
- > Chaînage horizontal (haut et bas) et vertical (poteaux d'angle) des murs porteurs



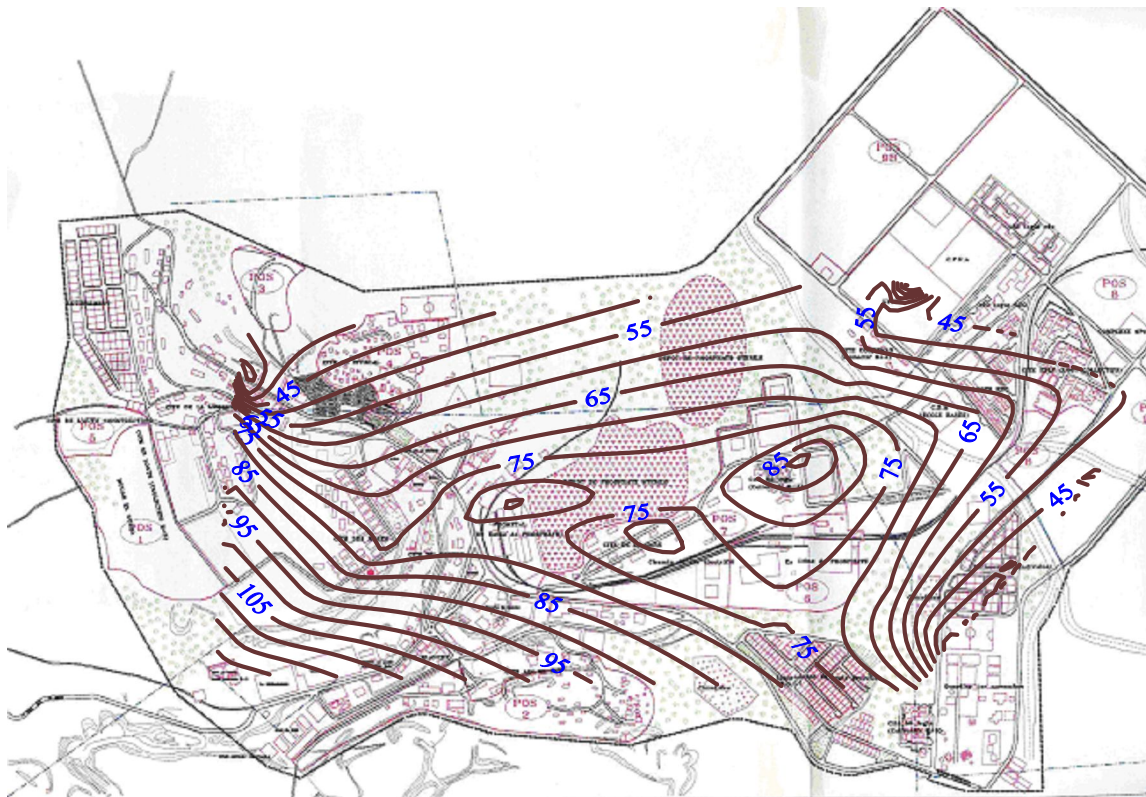
III. Carte limite du risque de gonflement dans la ville d'EL KOUIF

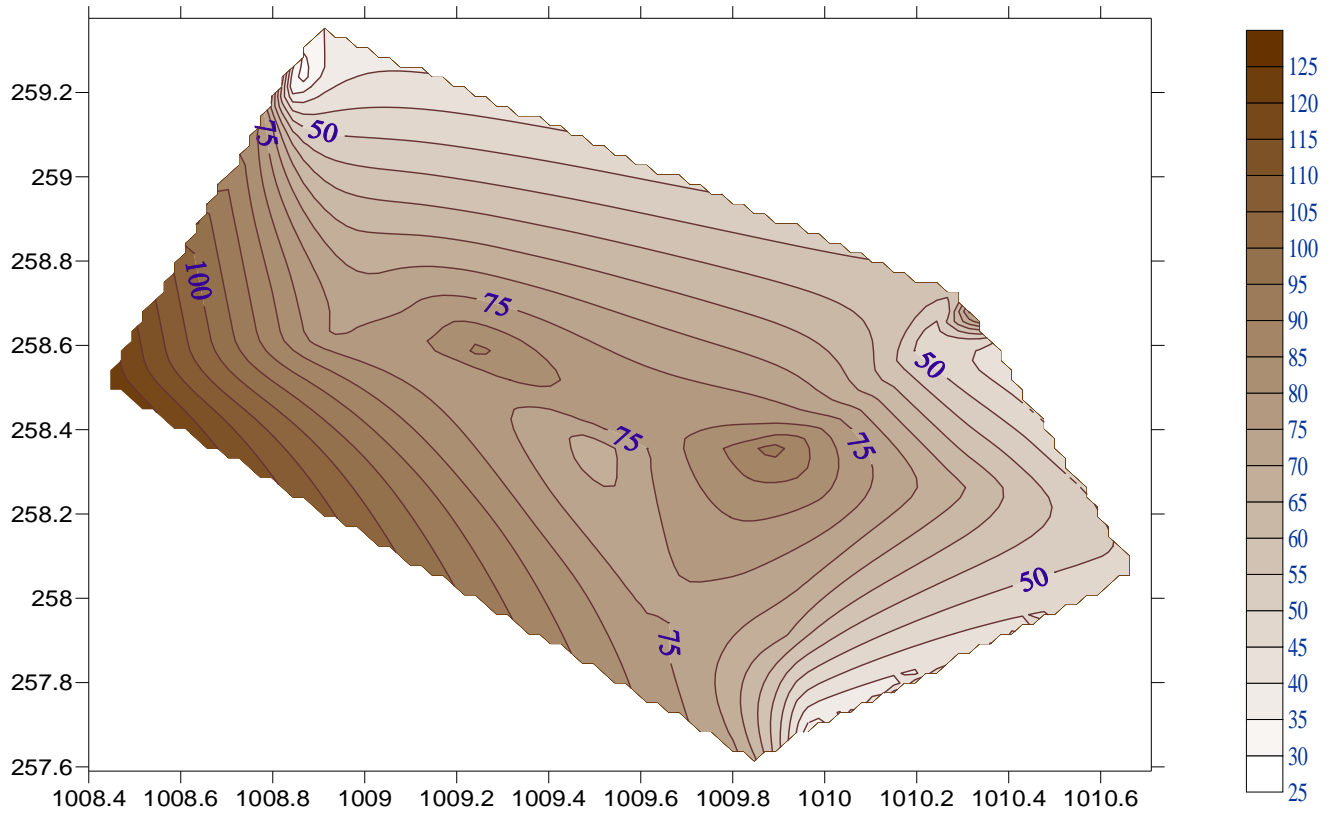
Dans cette partie j'ai essayé de présenter l'alea des zones de risque de gonflement dans la région d'étude.

- ✚ En premier lieu j'ai présenté le plan de la ville d'el kouif.
- ✚ Carte d'implantation des essais (lieux d'exécution des sondages).
- ✚ Carte de recensement des constructions endommagées par le gonflement.
- ✚ Carte de limite de gonflement du sol en fonction de la limite de liquidité.
- ✚ Carte de limite de gonflement du sol en fonction de la l'indice de plasticité.
- ✚ Carte de limite de gonflement du sol en fonction de l'indice de gonflement.
- ✚ Carte approximative de Zoning de gonflement dans la ville d'EL KOUIF



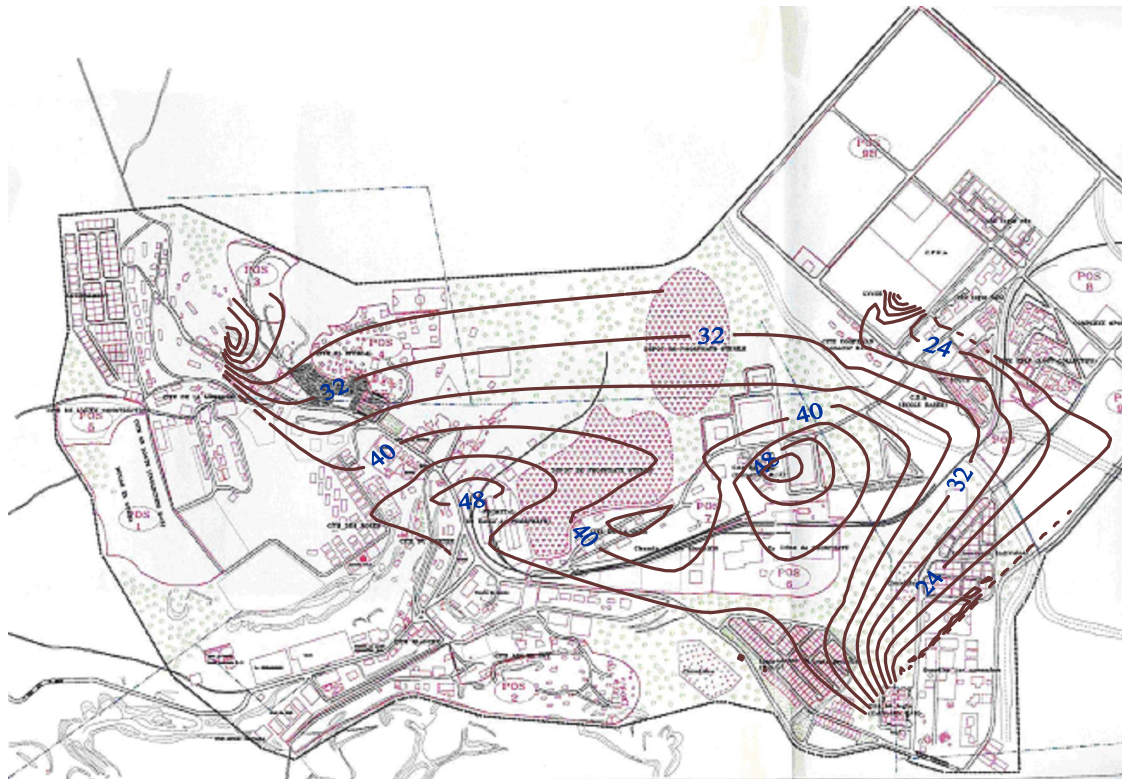
I- Carte de limite de gonflement du sol en fonction de la limite de liquidité

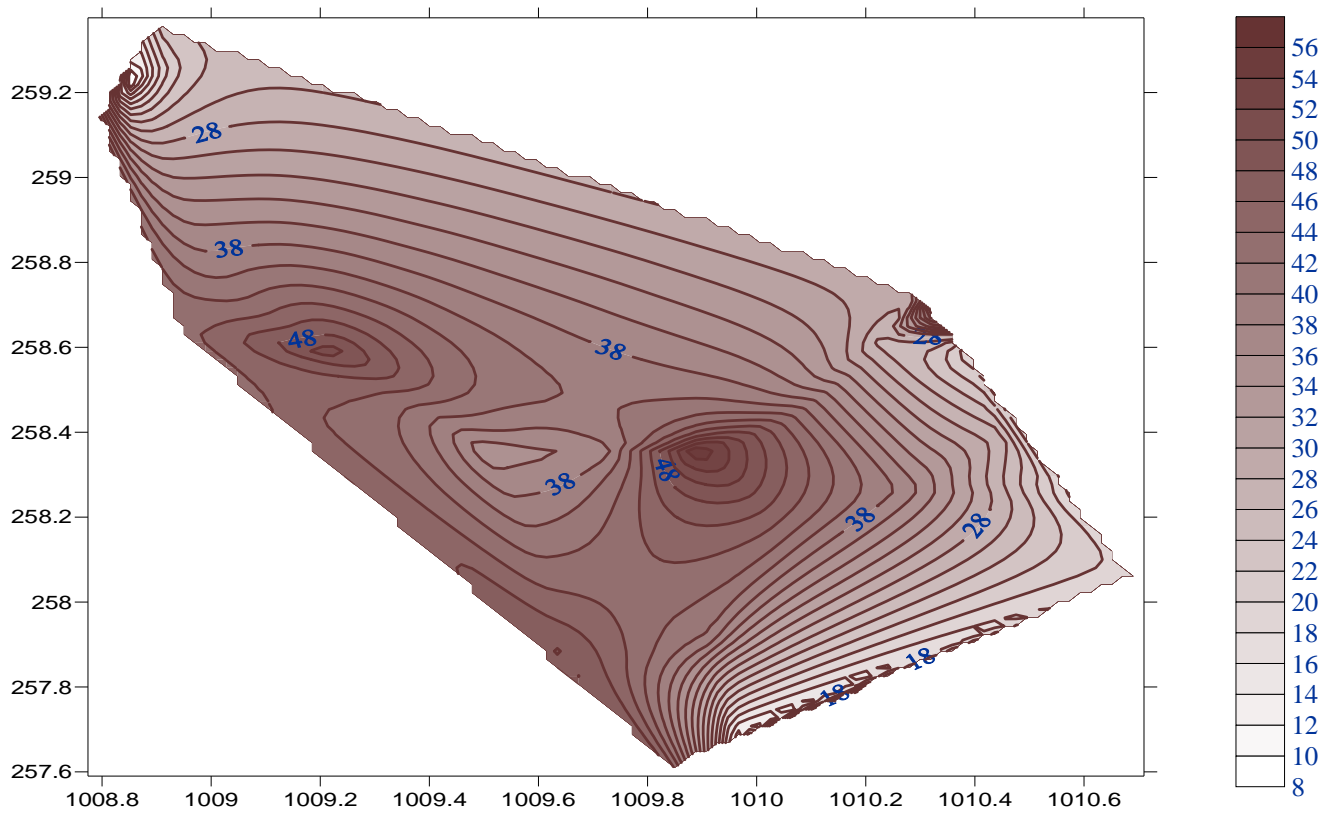




LIMITE DE LIQUIDITE	CLASSIFICATION
0-20	Non gonflant
20-35	Gonflement faible
35-50	Gonflement moyen
50-70	Gonflement élevé
70-90	Gonflement très élevé
Sup à 90	Gonflement critique

II- Carte de limite de gonflement du sol en fonction de la l'indice de plasticité

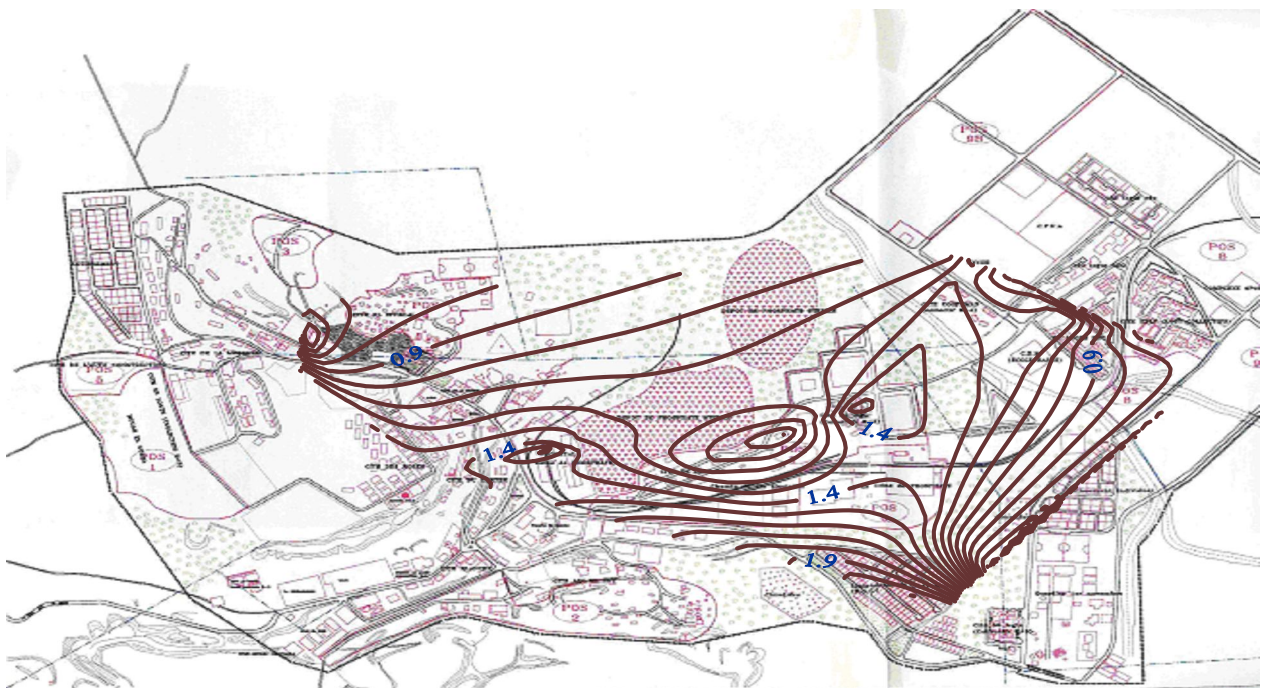




IP	DEGRE DE PLASTICITE
0 à 5	non plastique
5 à 15	peu plastique
15 à 40	Plastique
>40	très plastique

Remarque : la carte de limite de plasticité en fonction de l'indice de plasticité est très proche de la carte de limite de gonflement en fonction de limite de liquidité; on peut dire que l'indice de plasticité est un bon indicateur de gonflement du sol, et utiliser cette carte comme carte de limite de plasticité et de gonflement .

III- Carte de limite de gonflement du sol en fonction de l'indice de gonflement



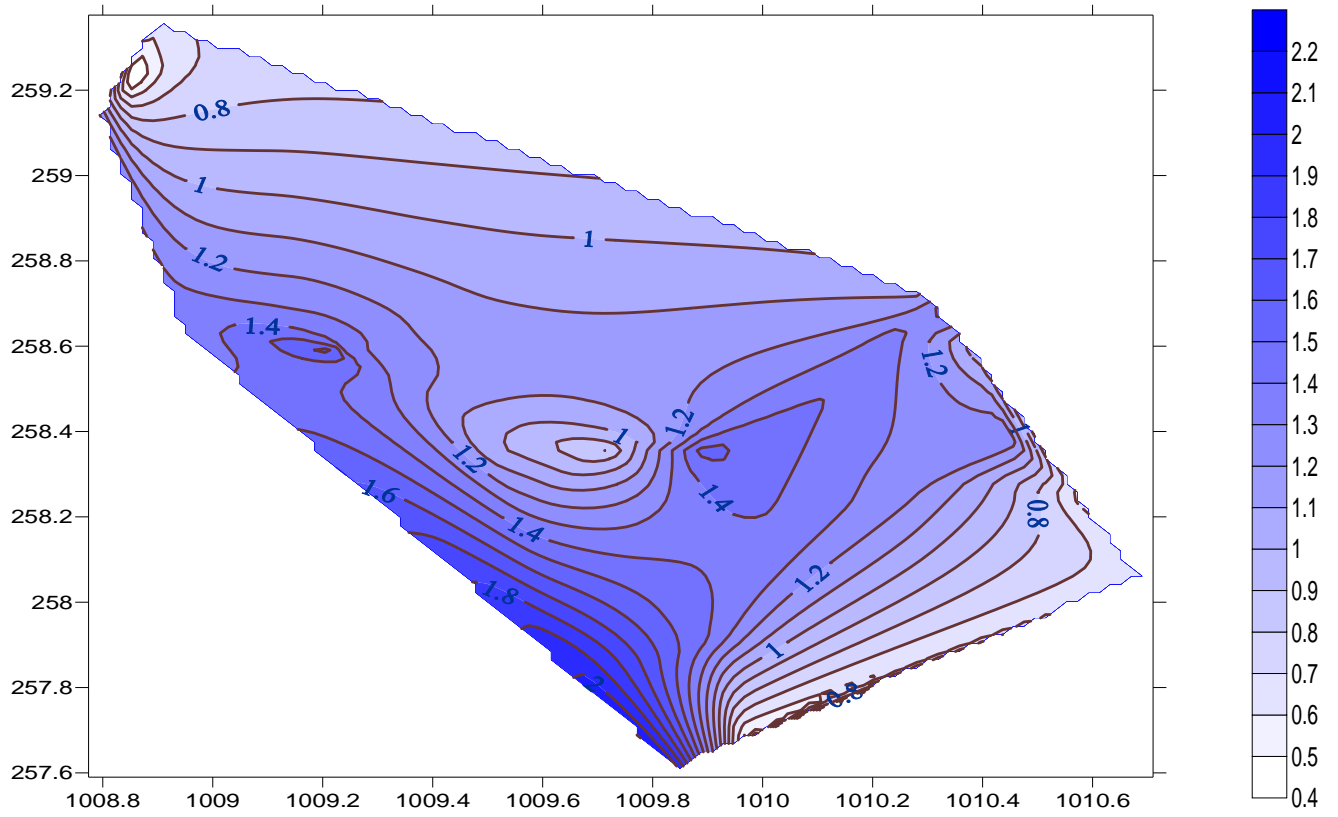
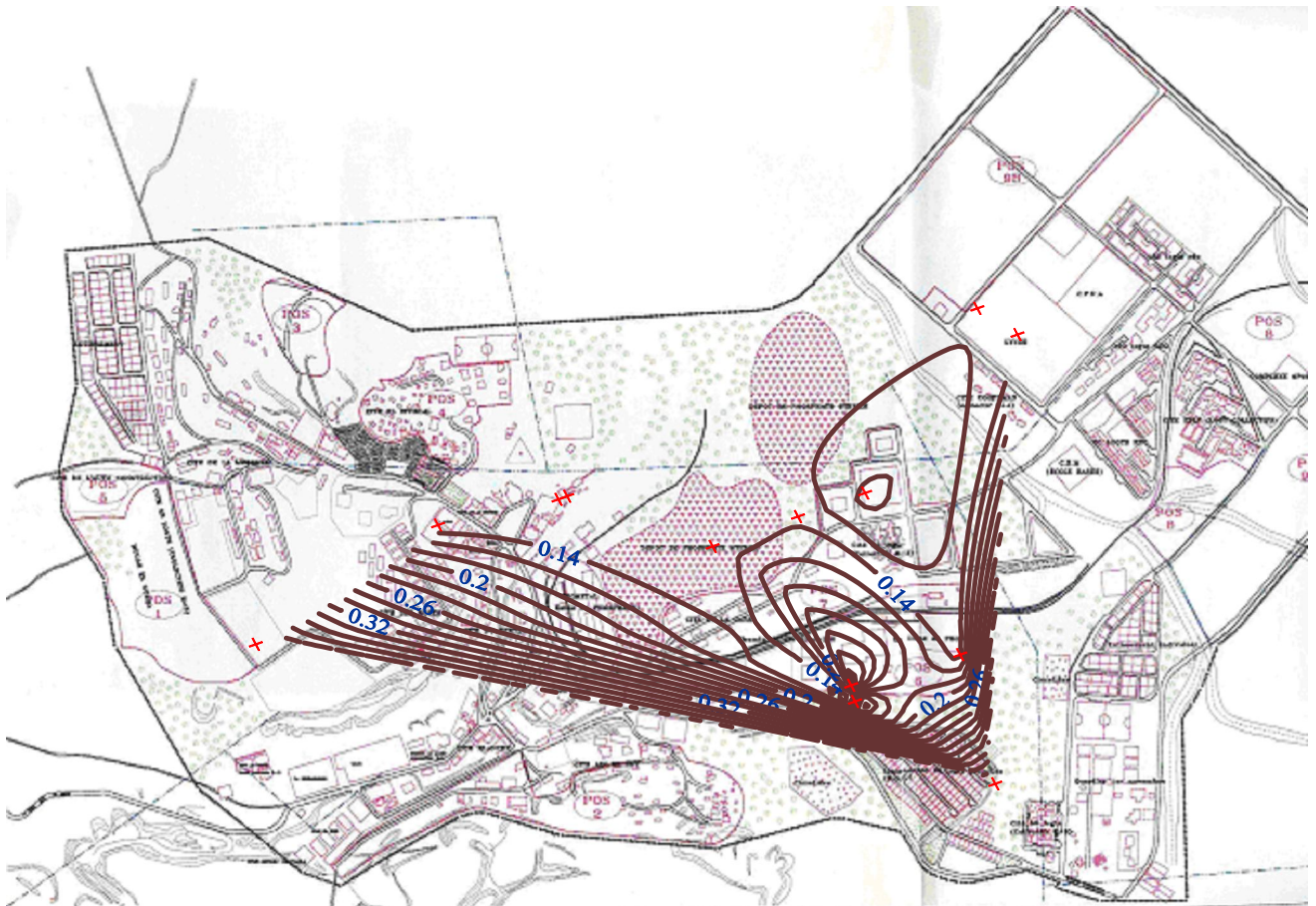
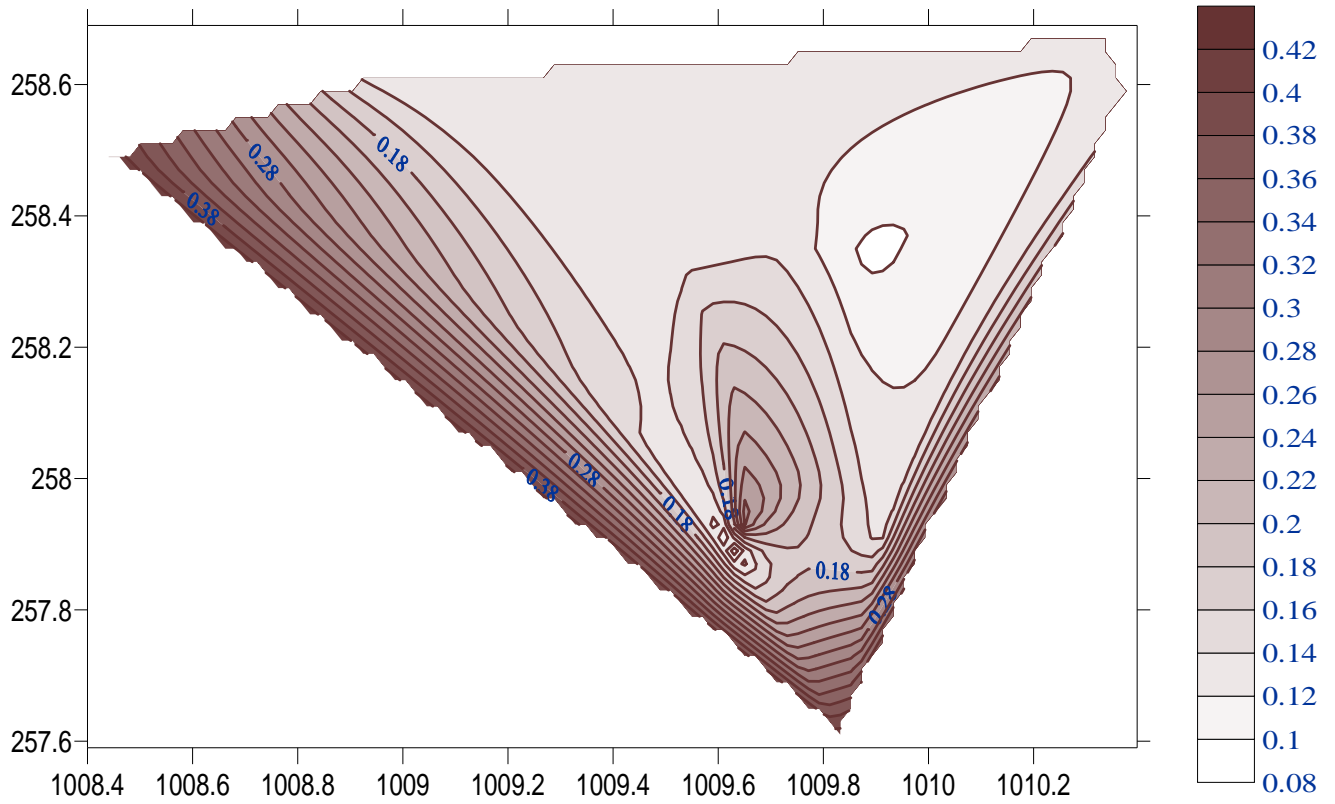


TABLEAU 4-CLASSIFICATION (D'APRES SNETHEN ET ALL)

Rp	CLASSIFICATION
< 0.6	Faible
0.6-1.0	Moyen
1.0-2.0	Elevé
Sup à 3	Très Elevé

IV- Carte de limite de gonflement du sol en fonction de l'indice de gonflement



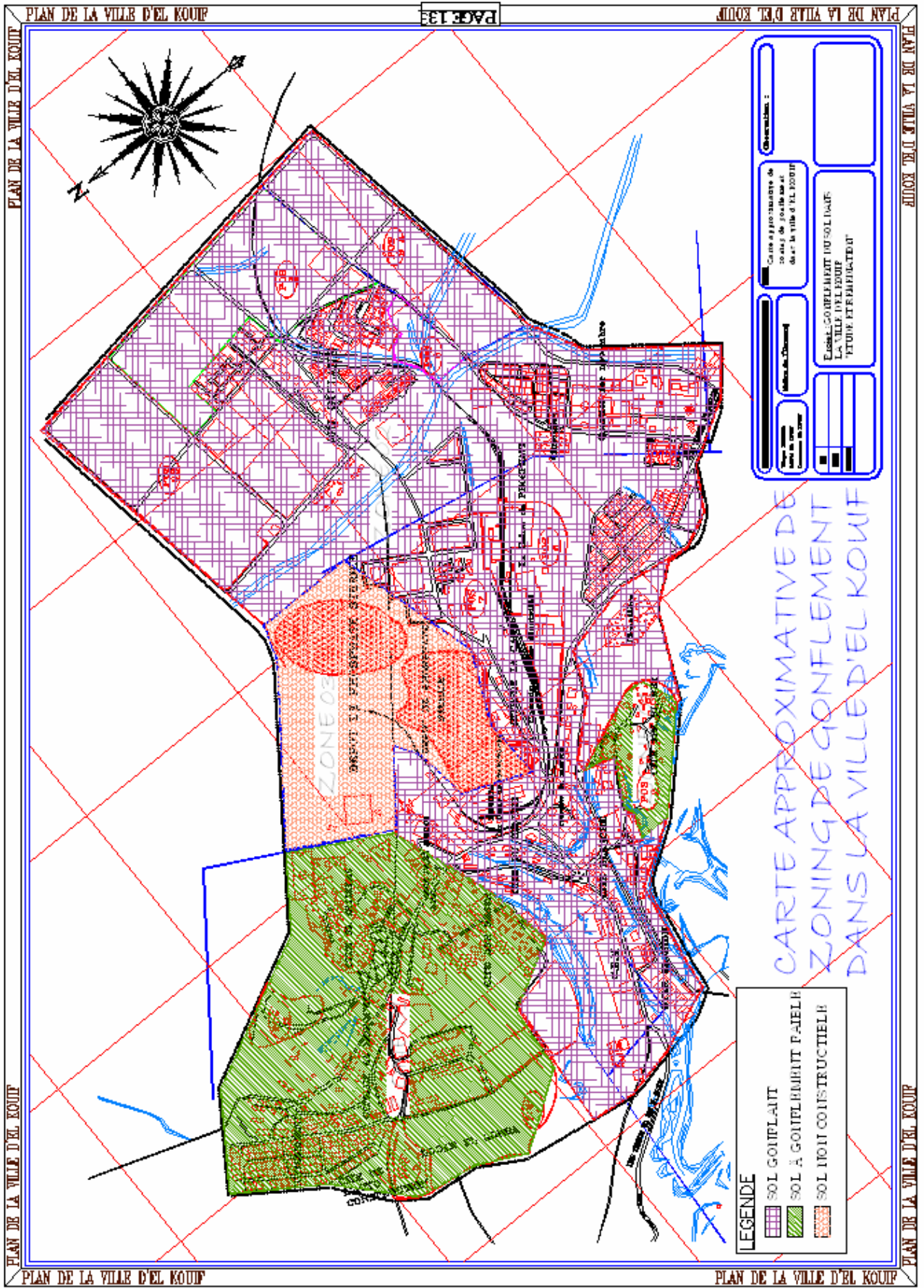


- l'indice de gonflement C_g élevé : $0.04 < C_g < 0.25$ ===== sol gonflant

Conclusion

De la comparaison entre les cartes de limite de gonflement (en fonction de l'indice de gonflement, l'indice de plasticité, la limite de liquidité, le rapport entre l'indice de plasticité et la limite de liquidité $RP = I_p / W_L$) et la carte de recensement des constructions endommagées par le gonflement dans la ville d'EL KOUIF, on a remarqué que les zones foncées des cartes précédentes (gonflement fort) correspondent vraiment aux lieux de dégradation des constructions recensées pendant notre recherche,

Ces résultats m'ont permis de zoner le gonflement dans la ville d'EL KOUIF selon la carte suivante :



Conclusion Générale

- ✓ La commune d'EL KOUIF sujet de notre étude géotechnique est une petite ville en cours d'extension se trouve juste à la limite des frontières Algero- Tunisienne. La base des données cartographique géologique, hydrogéologique géophysique et géotechniques est très insuffisante dans cette ville vu sa situation géographique et administrative.
- ✓ Dans cette ville le sol est capricieux et la construction est sujet aux dégradations, qui nécessitent des études géotechniques détaillées afin de détecter les problèmes du sol dans cette commune.
- ✓ L'un des problèmes du sol de cette région est le phénomène de gonflement
- ✓ Ignorer ce phénomène est dangereux, systématiser les essais serait aussi aberrant. Entre ces deux extrêmes, on a estimé qu'on doit optimiser ces moyens et profiter de tous les outils disponibles pour conduire une campagne de reconnaissance appropriée et concevoir en conséquence une infrastructure adéquate.
- ✓ Notre recherche à commencer par la visite de la commune d'EL KOUIF et le recensement et la photographie des lieux de dégradation des constructions.
- ✓ La récolte des informations était très difficile, les informations sont faibles .entre l'APC, D'EL KOUIF,SUCH EL KOUIF, l'ancienne mine de phosphate el kouif, Ferphos Tebessa, LTPE TEBESSA LNHC OUM EL BOUAGHI, NRH TEBESSA STATION METEOROLOGIQUE TEBESSA...
- ✓ On a réussi de récolter une base de données pour démarrer notre recherche,dont le résultat est comme suit:
- ✓ La zone étudiée est représentée par deux formations essentielles qui sont l'éocène inférieur et le crétacé supérieur
- ✓ L'éocène inférieur est représenté par des marnes et marno calcaire avec intercalation des phosphates, les marno-calcaires sont fissurés.
- ✓ Le crétacé supérieur se compose de maestrichtien et le campanien, le premier est composé du calcaire blanc massif et du calcaire karstique, le second est composé de marne gris avec intercalations de calcaire.

- ✓ A proximité de l'oued principale dans cette région, il y'a une possibilité de trouver une couverture d'alluvion récente.
- ✓ La géologie de la ville d'el Kouif est caractérisée par la dominances des formations marneuse qui est une formation très plastique et des calcaires fissuré qui peuvent emmagasiner l'eau et facilite sa circulation; la présence des formation plastique et aussi la circulation des eaux souterraine favorisent le phénomène de gonflement.
- ✓ DJBEL EL KOUIF est un synclinale perché dont les flancs sont caractérisés par une pente qui varie entre 15 et 25 % .s'adouci vers le bas jusqu'à une pente de 5 à 8%.
- ✓ Sur la pente douce se localisent des carapaces calcaires blanchâtre dont l'épaisseur varie entre 1 m et plus.
- ✓ La topographie de la zone urbaine est relativement accidentée à l'est de la ville.
- ✓ A l'ouest, le relief est un peu plus marqué par la présence de petits vallons.
- ✓ Par l'étude pétrographique on a montré le taux de l'argile et du carbonate dans les sols
- ✓ Par l'essai de diffractométrie au rayon X on a déterminé le taux des oxydes dans les marnes étudié, on a voulu aller plus loin pour déterminer le type de minéraux argileux mais malheureusement et par manque de matériel spécifié a Tebessa on a envoyé des échantillons au laboratoire mine de Annaba mais sans aucune suite pour des raisons techniques.
- ✓ Par l'établissement du bilan hydrique on a déterminer un facteur de gonflement des sol qui est la sécheresse du sol .Ce bilan est caractérisé par :
 - Précipitation moyenne mensuelle de l'ordre de 357.56 mm
 - La température moyenne annuelle est de l'ordre de 15.20 °C
 - Evapotranspiration réelle de l'ordre de 331.25 mm .
 - L'intervalle de la période de sécheresse dans la zone d'étude selon le diagramme pluviométrique débute mois de MAI jusqu'au début du mois d'octobrePériode humide : début OCTOBRE- jusqu'au à la fin du moi d'Avril .
- ✓ Dans la ville d'El KOUIF il est nécessaire de faire une étude geophysique afin de pouvoir déterminer :
 - 1-la profondeur, la géométrie et l'épaisseur du calcaire et des marno calcaire de l'éocène inférieur et du crétaé supérieur.
 - 2-Le degré de fracturation du calcaire et du marno calcaire et la mise en évidence des zones tectonisée.
 - 3-Donner une idée principale sur la structure géologique est le régime hydrogéologique de la région d'El kouif.

- ✓ à partir d'essais simples effectués pratiquement dans toutes les campagnes de reconnaissance préliminaires qu'on a réussi à récolter ou à exécuter, il est possible d'identifier qualitativement les sols expansifs et d'obtenir à partir de corrélations des estimations approximatives de la pression et de l'amplitude de gonflement.
- Par l'analyse granulométrique on a montré que la fraction inférieure à 80µm est importante et à différentes profondeurs donc on est en présence d'un sol fin.
- les limites de liquidité indiquent que le gonflement du sol varie de faible, moyen, fort, très **fort à critique**.
- l'indice de plasticité nous donne une idée sur la plasticité du sol de la région qui varie de plastique à très plastique.
- D'après les diagrammes effectués par la corrélation des données de limite d'ATERBRG et l'analyse granulométrique des sols des différents points de la ville d'El Kouif ; on a constaté que le nuage des points pour la ville d'EL KOUIF se trouve dans au dessus de la ligne A, les sols étudiés sont gonflant d'après ce diagramme les argiles étudiées sont très plastique et plastique (d'après le diagramme représentant les critères de classification au laboratoire (Système USCS)
- Valeurs moyennes par le traitement statistique
- **indice de gonflement = 0.19**
- **pression de consolidation = 0.16 MP**
- d'une part on est face à une forte sur consolidation : la pression de consolidation varie de 0.1 à 0.8 Mpa
- d'autre part l'indice de gonflement C_g élevé : $0.04 < C_g < 0.25$

Ces deux indices et selon COSTET SANGLERAT **notre sol est gonflant**

L'application des différents modèles pour la détermination de la pression de gonflement a donné des résultats qui varient de pression faible à élevée; comme moyen de sécurité on donne une valeur de pression de gonflement de 1.95 Bars.

- Le tableau du traitement statistique nous donne une idée sur les valeurs moyennes des paramètres géotechniques.

Comme mesures de prévention relativement simples et peu coûteuses permettant de limiter considérablement les désordres liés au phénomène de gonflement de sol on a cité des mesures d'ordre générales et des mesures constructives et on a présenté la carte de limite du risque de gonflement dans la ville d'EL KOUIF.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- Carte administrative de la wilaya de TEBESSA échelle 1/200.000
- Carte géologique de MORSOT échelle 1/50.000 : J.L.BLES et J.J FLEURIT 1970
- Carte géologique de BOUKHADRA échelle 1/50.000 G.DUBORDIEU 1956
- Carte du sol de la wilaya de TEBESSA échelle 1/500.000
- Carte topographique feuille de MORSOT 1/50.000
- Carte topographique feuille de MORSOT 1/50.000
- Carte administrative de la wilaya de TEBESSA échelle 1/200.000
- Compte rendu des travaux et synthèse d'information hydraulique apporté
- Cours pratique de mécanique des sols, Dunod, Bordas, Paris, 1983
- Cours pratique de mécanique des sol et fondation Tome 1 J.Causte/G.Sanglerat
- Dictionnaire de géologie, Dunod, Paris, 2000
- M.Menouar : Guide pratique pour l'élaboration d'une étude de mécanique des sols
- Etude des sols à travers la ville d'EL KOUIF: LTPE TEBESSA**
- Etude de sol école fondamental à EL KOUIF
- Etude de sol Lycée à EL KOUIF
- Etude de sol salle de sport à EL KOUIF
- Etude de sol à 50 logts à EL KOUIF
- Etude de sol 12 locaux cité village espagnol à EL KOUIF
- Etude de sol 20 logts collectifs R+2 DOUAR EL GHOURBA à EL KOUIF
- Etude de sol 20 logts collectifs R+3 ET R+4 cité 1^{er} Novembre à EL KOUIF
- Etude de sol 06 logts collectifs R+2 à EL KOUIF
- Etude de sol 40 logts collectifs R+3 " éducatif" à EL KOUIF
- Etude de sol 40 logts collectifs R+3 à EL KOUIF
- Etude de sol extention poste d' EL KOUIF
- Etude de sol gare à EL KOUIF
- Etude de sol protection civile à EL KOUIF
- Etude de sol 150 logts EPLF à EL KOUIF
- Etude de sol MOSQUEE à EL KOUIF

Etude de sol 22 locaux de commerces cité ghylene à EL KOUIF

Etude de sol 30 logts collectifs R+3 à EL KOUIF

Etude de so 8Locaux de commerce à el Kouif

Etude des sols à travers la ville d'EL KOUIF: LNHC OUM EL BOUAGHI

Etude de sol 18 LOGTS à' EL KOUIF

Expertise 80 logts à el KOUIF

Exécution de 25 forages de reconnaissance à travers la wilaya de Tebessa B.Gaud:

Etude sédimentologique et analyse séquentielle des formations du Paléo-Eocene d'EL KOUIF 2003 Malek.L et B.Makhlouf/CH m
Dirigé par Dr : HAMIMED.M

Géotechnique de l'ingénieur et reconnaissance des sols H.Cambefort

Guide pratique pour l'élaboration d'une étude de mécanique des sols M.Menouar

Influence des sols gonflants sur les supers structures (cas 18 logts Ael kouif):Barah.Y,Kadri..A Mémoire dirigé par Dr :BOUMEZBEUR .A

Identification et Prévision du gonflement des sols expansifs

A. BEKKOUCHE

Département de Génie Civil, FSI, Université Aboubakr Belkaïd-Tlemcen, Algérie

A. DJEDID

Département de Génie Civil, FSI, Université Aboubakr Belkaïd-Tlemcen, Algérie

S. M. AISSA MAMOUNE

Département de Génie Civil, FSI, Université Aboubakr Belkaïd-Tlemcen, Algérie

MAGNAN Jean-Pierre

Notes sur la sécheresse et ses effets sur les bâtiments, Laboratoire central des Ponts et Chaussées, 2005

BIGOT G. et ZERHOUNI M. I.

Notice explicative de la carte géologique de BOUKHADRA

Notice explicative de la carte géologique de MORSOT

Principe et méthode de l'hydrogéologie édition DUNOD PARIS G.Castany 1982

PRISE EN COMPTE DU GONFLEMENT DES TERRAINS POUR LE DIMENSIONNEMENT DES REVÊTEMENTS DES TUNNELS

Présenté par

Frédéric BULTEL Soutenu le 26 janvier 2001

RAPPORT PARTICULIER SUR LES RISQUES DE SUBSIDENCE DUS A LA SECHERESSE

Établi par

Philippe DUMAS André CHAVAROT Henri LEGRAND

Inspecteur général Inspecteur général Inspecteur général

des finances de l'équipement de l'environnement

Alexandre MACAIRE Christo DIMITROV Xavier MARTIN

Inspecteur des finances Ingénieur général Inspecteur général

des ponts et chaussées de l'environnement

Christian QUEFFELEC

Ingénieur général des ponts et chaussées

Retrait-gonflement des sols argileux et conditions climatiques

MARC VINCENT INGENIEUR GEOLOGUE SPECIALISE EN MOUVEMENTS DES TERRAINS SCE AMENAGEMENT ET RISQUE NATUREL BRGM 2003

Références climatiques station de TEBESSA 1972-2005

Risque naturels :bultin de liason des laboratoires des ponts et chaussées Juil-Aout-Sept –Oct 1987

Sommaire

Sommaire

INTRODUCTION	01
CADRE GEOPHYSIQUE	03
1 ^{ERE} PARTIE : PRESENTATION DE LA VILLE D'EL KOUIF	03
A) HISTORIQUE	04
B) SITUATION	04
C) POPULATION	06
2 ^{EME} PARTIE : IMPACTE DE DEGRADATION DES OUVRAGES GEOTECHNIQUES DE LA VILLE D'EL KOUIF	07
INTRODUCTION	08
DETAIL DES DESORDRES MANIFESTES LIES AU GONFLEMENT	08
A- LES ELEMENTS DU GROS ŒUVRE	08
B- LES ELEMENTS DU SECOND ŒUVRE	08
C- LES AMENAGEMENTS EXTERIEURS	08
CONCLUSION	14

FIGURES & PHOTOS

FIG N°01 : SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ETUDE	05
FIG N°02 : SITUATION ADMINISTRATIVE DE LA VILLE D'EL KOUIF	06
PHOTOS DES DESORDRES DES ELEMENTS DU GROS ŒUVRE DANS LA VILLE D'EL KOUIF	09
PHOTOS DES DESORDRES DES ELEMENTS DU SECOND ŒUVRE DANS LA VILLE D'EL KOUIF	12
PHOTOS DES DESORDRES DES AMENAGEMENTS EXTERIEURS DANS LA VILLE D'EL KOUIF	13

CHAPITRE 1 : CADRE GEOLOGIQUE

I- GEOLOGIQUE	15
INTRODUCTION	16
1. GEOLOGIE REGIONALE	17
2. CADRE GEOLOGIQUE DE LA COMMUNE D'EL KOUIF	21
A- LE QUATERNAIRE	21
B- TERTIAIRE	22
C- SECONDAIRE	22
3. COUPE GEOLOGIQUE DU DJEBEL EL KOUIF	25
CONCLUSION	28

FIGURES & PHOTOS

FIG N°03 : ETENDU DE L'ATLAS SAHARIEN DANS LA CARTE D'ALGERIE APPARTENANCE DE LA VILLE D'EL KOUIF A L'ATLAS SAHARIEN	17
FIG N°04 : CARTE GEOLOGIQUE D'EL KOUIF A L'ECHELLE 1/50.000 FEUILLE DE MORSOTT	19
FIG N°05 : CARTE DU SOL D'EL KOUIF A L'ECHELLE 1/500.000	20
FIG N°06 : COUPE GEOLOGIQUE PALEO-EOCENE DE LA VILLE D'EL KOUIF	26

FIG N°07 : COUPE A - A'	26
FIG N°08 : COUPE B - B	27
PARTIE -2-TECTONIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE	30
I. GEOMORPHOLOGIE	31
II. TETONIQUE	32
1. LES PLIS:	32
2. LES FRACTURES LIEES AU PLISSEMENT:	32
3. LES COMPRESSONS TANGENTIELLES POSTERIEURES AU MIOCENE INFERIEUR:	32
4. LA SURFACE D'EROSION ANTERIEURE AUX FOSSES TECTONIQUES:	33
5. LES FOSSES TECTONIQUES:	33
6. LE COMPORTEMENT TECTONIQUE AU TRIAS:	33
III. EVOLUTION PALEO GEOGRAPHIQUE:	34
CONCLUSION	36
PARTIE -3 – PETROGRAPHIQUE ET MINERALOGIQUE	37
I. PETROGRAPHIE:	38
ANALYSE PETROGRAPHIQUE:	38
1. LES MARNES ARGILEUSES:	38
2. CALCAIRE:	38
II. MINERALOGIE:	39
II-1- LES ARGILES:	39
1. LES ARGILES PLASTIQUES:	39
2. LES ARGILES RAIDES:	39
II-2- ETUDE MICROSTRUCTURALE:	40
1. LA KAOLONITE	41
2. L'ILLITE	42
3. LA MONTMORILLONITE	43
4. LES CHLORITES	44
II-3- ANALYSE CHIMIQUE AU RAYON "X" DE L'ARGILE DE LA ZONE D'ETUDE	45
CONCLUSION	46
FIGURES & PHOTOS	
FIG 3: SCHEMA DE LA PARTICULE DE KAOLINITE	41
FIG 4: SCHEMA DE LA PR TICULE D'ILLITE	42
FIG 5: SCHEMA DE LA PR TICULE DE MONTMORILLONITE	43
FIG 6: SCHEMA DE LA PR TICULE DE CHLORITE	44
FIG 7: MICROSCOPIQUE DES MINERAUX ARGILEUX	44
TABLEAU : RESILTAT DE L'ANALYSE CHIMIQUE AU RAYON "X" DES ARGILES DE LA REGION D'EL KOUIF	45
ESSAI REALISE AU LABORATOIRE DE LA CIMENTRIE D'EL MALABIOD	45
CHAPITRE II – CHAPITRE 2 – CLIMATOLOGIE, HYDROLOGIE ET APERCU HYDROGEOLOGIQUE	47
I- CLIMATOLOGIE	48
INTRODUCTION	48
1. SITUATION CLIMATIQUE	48
2. CARACTERISTIQUE CLIMATIQUES	48
3. TYPE DE CLIMAT	53
II- HYDROLOGIE	54
1. APERCU HYDROGRAPHIQUE	54
2. LIMITE GEOMETRIQUE DU BASSIN VERSANT	55
3. PARAMETRE DU BILAN HYDRIQUE	55
4. BILAN HYDRIQUE	59
CONCLUSION	63
III- APERCU HYDROGEOLOGIQUE	64
1. CLASSEMENT DES SOURCES D'EAU DANS LA VILLE D'EL KOUIF	64
2. LES FORAGES EXECUTES DANS LA REGION D'EL KOUIF	65
CONCLUSION	68

CHAPITRE 3 : CONDITION GEOTECHNIQUES	69
INTRODUCTION	70
1 ^{ERE} PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE DU PHENOMENE DE GONFLEMENT	71
1. CAUSES DE GONFLEMENT	72
1-1 HYDRATION PAR ABSORPTION	72
1-1-1 FORCES D'ATTRACTION:	72
1-1-2 FORCES DE REPULSION	72
1-2 HYDRATATION PAR OSMOSE	73
1-3 HYDRATATION PAR CAPILARITE	75
1-4 TRANSFORMATIONS CHIMIQUES	75
2. GONFLEMENT AU SENS MECANIQUE	77
2-1 CONTRAINTES DANS UN SOL	77
2-2 GONFLEMENT DU A UNE MODIFICATION DE L'ETAT DE CONTRAINTES	77
3. CARACTERISATION EN LABORATOIRE DU PHENOMENE DE GONFLEMENT	78
3-1 DEFINITION DES PARAMETRES DE GONFLEMENT.	79
FIGURES & TABLEAUX	
TAB 1 : DIMENSIONS DES CATIONS HYDRATES ET NON HYDRATES	72
TAB 2 : SCHEMA DE LA DOUBLE COUCHE ENTOURANT UNE PARTICULE ARGILEUSE	72
FIG 2 : PHENOMENE OSMOTIQUE IDEAL	73
2 ^{EME} PARTIE : PARTIE METHODES GEOTECHNIQUES DE DETERMINATION DU PHENOMENE DE GONFLEMENT DANS LA VILLE D'EL KOUIF	79
INTRODUCTION	80
I. DETERMINATION INDIRECTE DE GONFLEMENT	80
1. SELON LA GRANULOMETRIE DU SOL	80
2. SELON LES LIMITES D'ATTERBERG	82
2-1 CLASSIFICATION DES SOLS SELON LES LIMITES D'ATTERBERG	83
2-1-1 SELON LA LIMITE DE LIQUIDE	83
2-1-2 SELON L'INDICE DE PLASTIQUE	85
2-1-3 SELON L'INDICE DE CONSISTANCE	88
2-1-4 SELON LE RAPPORT DE PLASTICITE	90
3. CORRELATION LIMITE D'ATTERBERG ANALYSE GRANULOMETRIQUE ET PHENOMENE DE GONFLEMENT DA LA VILLE D'EL KOUIF	93
3-1 LIMITE DE LIQUIDITE ET INDICE DE PLASTICITE	93
II. DETERMINATION INDIRECTE DES PARAMETRES DE GONFLEMENT	97
1. DETERMINATION DU GONFLEMENT SELON L'INDICE DE PLASTICITE	97
2. SELON L'INDICE DE RETRAIT	100
3. SELON LA DENSITE SECHE ET LA TENDEUR EN EAU	101
APPLICATION DES DIFFERENTES METHODES SUR LE SOL DE LA REGION D'ETUDE	102
4. SELON L'ACTIVITE	110
III. LES ESSAIS MECANQUES DISPONIBLES POUR LA DETERMINATION DU PHENOMENE DE GONFLEMENT DANS LA VILLE D'EL KOUIF	114
1. ESSAIS OEDOMETRIQUES	114
2. ESSAIS DE BLEU DE METHYLENE ET INFLUENCE DE LA SURFACE SPECIFIQUE DE L'ARGILE	120
CONCLUSION	123
PREVENTION DU PHENOMENE DU GONFLEMENT	125
I- DISPOSITION D'ORDRE GENERALE	126
II- DISPOSITION CONSTRUCTIVES	126
A LES FONDATIONS	126
B- LES STRUCTURES	126
C- LES OUVRAGES PERIPHERIQUES	127
D- LA VEGETATION	127
CONCLUSION	140
CONCLUSION GENERALE	142

FIGURES ; TABLEAUX & CARTES

FIGURES	
FIG N°03 : CLASSIFICATION DES SOLS FINS	81
FIG N°04 : CARACTERISTIQUE DES SOLS GONFLANTS	93
FIG N° 05 : ABAQUES DES CLASSIFICATION	93
FIG N°06 : ABAQUES DE PLASTICITE DE CASAGRANDE ET POSITION DES MINERAUX ARGILEUX LES PLUS CONNUS	94
FIG N°07 : CRITERE DE CLASSIFICATION AU LABORATOIRE (SYSTEME USCS)	94
DIAGRAMME N°01 : CARACTERISATION DES SOL D'EL KOUIF	95
DIAGRAMME N°02 : POSITION DE L'INDICE DE PLASTICITE DU SOL D'EL KOUIF PAR APPORT A $IP = 0,73 \cdot (WL - 20)$ ET $IP = 0,9 \cdot (WL - 8)$	95
DIAGRAMME N°03 : APPLICATION DE LA FORMULE $IP = 0,73X(WL - 20)$ SUR LES SOLS D'EL KOUIF	95
FIG N°08 : DIAGRAMME DE CLASSIFICATION DU POTENTIEL DE GONFLEMENT (SEED ET AL 1962)	110

TABLEAUX

TAB 2 : CLASSIFICATION DES SOLS GONFLANTS	83
TAB 2-1 : APPLICATION SUR LES SOLS D'EL KOUIF	83
TAB 3 : CLASSIFICATION SELON L'INDICE DE PLASTICITE	85
TAB 3-1 : APPLICATION SUR LES SOLS D'EL KOUIF	86
TAB 4 : CLASSIFICATION SELON L'INDICE DE CONSISTANCE	88
TAB 4-1 : APPLICATION SUR LES SOLS D'EL KOUIF	88
TAB 4 : CLASSIFICATION (D'APRES SNETHEN ET ALL)	90
TAB 4-1 : APPLICATION SUR LES SOLS D'EL KOUIF	90
TAB 6 : RELATION ENTRE LE POTENTIEL DE GONFLEMENT ET INDICE DE RETRAIT (RANGANATHAM ET SATYANARAYANA, 1965)	100
TAB 7 RELATION ENTRE LE POTENTIEL DE GONFLEMENT ET INDICE DE RETRAIT (RANGANATHAM ET SATYANARAYANA, 1965)	100
APPLICATION DES DIFFERENTES METHODES SUR LE SOL DE LA REGION D'ETUDE	102

CARTES

CARTE DE LA VILLE D'EL KOUIF	130
CARTE D'IMPLANTATION DES ESSAIS	131
CARTE DE RECENSEMENT DES POINTS DE DEGREDATION DES CONSTRUCTIONS	132
CARTE APPROXIMATIVE DE ZONING DE GONFLEMENT DANS LA VILLE D'EL KOUIF	141

ANNEXE



(يا رب لك الحمد كما ينبغى لجلال وجهك
و عظيم سلطانك و صل على اللهم على حبيبك
المصطفى محمد صلى الله عليه وسلم)