

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة جيجل
Université de Jijel



Faculté des Sciences de la Nature et
de la Vie
Département des Sciences de la
Terre et de l'Univers



كلية علوم الطبيعة و الحياة
قسم علوم الأرض و الكون

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master
Option : Génie Géologique

Thème

**Modélisation géostatistique du phénomène
retrait - gonflement des argiles
«Cas de la région de Harratène »
(Jijel, Algérie Nord Orientale)**

Présenté par :

- Bouguetta nassima
- Bellil Meriem

Soutenu publiquement le : 18-09-2013

Devant le jury composé de :

Président : Kabab Hamza
Encadreur : Baghdade Abdelmalek
Examineur : Bouhanouna Amel

Année Universitaire 2012/ 2013



Dédicace

Avec tout mon amour éternel et avec l'intensité de mes émotions je dédie ce Modest travail :

A Ma très chère mère : Yamouna

Symbole de beauté, d'affection, de tendresse et de sacrifice. Elle qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils.

A Mon cher père : Foudil

Pour son immense sacrifice, pour tout le soutien moral et matériel qu'il m'a apporté durant mes très longues années d'études, qui peux être fière et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices pour m'aider à avancer dans la vie.

*A mes frères et sœurs : Farid, Aimad, Aissam, Yassine,
Nadjet et Leïla :*

Qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.

A ma collègue : Meriem

*A mes amies : Zineb, Hana, Hadjer, Soumia, Sara, Amina,
Amira, Halima, Siham et Samira*

*A tous les jeunes enfants : Fouad, Walaa, Ayoub, Houssem
Eddine, Aryem et Iyad.*

*A toute ma nombreuse et merveilleuse famille et surtout :
Lazhar, Abdelhadi, soumia, Hafsa et Sana*

*Et en fin à tous mes amis de master II Génie géologique promotion 2012/2013
et d'Architecture, Qui doivent voir dans ce travail la fierté d'un savoir bien
acquis.*

B. Nassima

Dédicace

Je dédie ce mémoire :

A ma très chère mère

Symbole de beauté, d'affection, de douceur, de tendresse et de sacrifice, je n'oublierais jamais ce que tu as fait pour moi pour devenir ce que je suis aujourd'hui.

A mon cher père

L'énorme sacrifice et le dévouement de tout le soutien moral et matériel qui m'a donné pendant les longues années d'étude que Dieu le bénisse.

A mes frères : Ali et sa fiancée Saadia

Suhaib

A mes sœurs : Fatima et son mari Azzedine, et son fils. : Takwa et retaj

Khadidja et son mari Mounir: et son fils Israa et Abdalhay

A Mon oncle Hussein et son épouse Widad et leurs enfants :

Aya et Hiba Rahman

A ma collègue et ma sœur : Nassima

Pour leur soutien et fidélité. J'espère de tout mon cœur qu'ils seront heureux dans leur vie mes chères amies : Souma, Hana, Hadjer, Widad, Nada, Amina et Samira

A tous mes collègues de Master 2 Génie Géologie de la promotion 2012/2013.

En fin à tous ceux que j'aime...

B.Meriem



Remerciements :

A l'issue de cette étude, nous remercions le dieu tout puissant qui nous a donné tant de courage, de volonté, de patience et d'abnégation pour mener à terme ce mémoire.

*Nous adressons notre reconnaissance et gratitude à notre enseignant encadrant Mr. **Baghdad Abdelmalek** de nous avoir fait bénéficier de ses compétences, ses qualités humaines et de sa disponibilité non seulement pour la réalisation de ce mémoire mais aussi durant tout le parcours de notre formation.*

Nous remercions nos enseignants du département des Sciences de de la Terre et de l'univers qui ont participé à notre formation sans oublier Les membres du laboratoire de géologie, et de Génie Civile, les employés de la direction des mines de Jijel, Organisme National de Contrôle Technique de la Construction « CTC » et laboratoire de Technologie des Matériaux et de Génie des Procédés de l'université de Bejaia.

Nous exprimons nos vifs remerciements à tous les membres du jury qui ont accepté d'examiner notre travail, et apporter leurs justes appréciations.

Mes meilleurs remerciements vont également aux personnes qui m'ont encouragé et aidé à la réalisation de ce travail, et m'ont compris quand le moral était au plus bas.

Merci enfin à tous ceux qui ont lu et liront ce mémoire...

Nassima et Meriem

Liste des Tableaux

Chapitre III

Tableau.III.1: Caractéristiques de la station pluviométrique.....	15
Tableau.III.2: Répartition moyennes mensuelles des précipitations.....	15
Tableau.III.3: Répartition des précipitations saisonnières.....	16
Tableau.III.4: Distribution de la température moyenne mensuelle.....	17
Tableau.III.5: Répartition des précipitations et températures moyennes mensuelles.....	18
Tableau.III.6: Résultat du calcul de l'E.T.P selon Thornthwaite.....	20
Tableau.III.7: Calcul du bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite.....	20

Chapitre V

Tableau.V.1 : Essais d'identification physiques réalisés sur les échantillons prélevés.....	29
Tableau.V.2 : Tableau récapitulatif des résultats de mesure de la masse volumique Réelle « ρ_r » des échantillons	31
Tableau.V.3 : Résultats de détermination des limites d'Atterberg des échantillons prélevés...	34
Tableau.V.4 : Résultats de détermination des limites d'Atterberg du site d'étude.....	34
Tableau.V.5 : Classifications des sols en fonction de I_p	34
Tableau.V.6 : Capacité d'échange de cations (CEC) et surface spécifique de quelques argiles (D'après Grim).....	35
Tableau.V.7: Classification des sols en fonction de la valeur du bleu de méthylène « VB »...	37
Tableau.V.8 : Résultats d'essais de bleu de méthylène.....	37
Tableau.V.9 : Résultats de détermination des caractéristiques intrinsèques (C et ϕ).....	38
Tableau.V.10 : Classification des sols en fonction du coefficient de compressibilité C_c	40
Tableau.V.11 : Résultats des essais œdométrique.....	41

Liste des figures :

<i>Fig. I.1 :</i> Situation géographique de la zone d'étude « Harratène ».....	3
<i>Fig. I.2 :</i> Situation géographique de la zone d'étude Harratène.....	4
<i>Fig. I.3 :</i> Réseau hydrographique au niveau du site d'étude.....	5
<i>Fig.II.1:</i> Schéma structural de la chaîne alpine de méditerranée occidentale.....	6
<i>Fig. II.2 :</i> Carte structurale simplifié de la petite Kabylie.....	7
<i>Fig.II.3 :</i> Colonne lithologique du flysch Numidien.....	9
<i>Fig. II.4 :</i> Photo illustrant les marnes postes nappes de la région de Harratène.....	12
<i>Fig. II.5:</i> Photo illustrant l'intercalation marno-gréseuse au niveau de formations postes nappes de la région de Harratène.....	12
<i>Fig. II.6:</i> Photo illustrant les fractures qui affectent les formations marneuse.....	13
<i>Fig. III.1:</i> Carte des précipitations annuelles moyennes de l'Est Algérien.....	14
<i>Fig. III.2:</i> Distribution des précipitations moyennes mensuelles.....	15
<i>Fig. III.3:</i> Répartition des précipitations saisonnières.....	16
<i>Fig. III.4:</i> Distribution de la température moyenne mensuelle.....	17
<i>Fig. III.5:</i> Courbes Ombro-thermique.....	18
<i>Fig. III.6:</i> Graphe du Bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite.....	21
<i>Fig. IV.1 :</i> Organisation tri - périodique d'un cristal.....	23
<i>Fig. IV.2 :</i> Loi de Bragg.....	24
<i>Fig. IV.3:</i> Lieux de prélèvement des échantillons.....	25
<i>Fig.VI.4 :</i> Résultat de l'analyse par RX d'échantillon total N°03.....	26
<i>Fig.VI.5 :</i> Résultat de l'analyse par RX d'échantillon total N°04.....	26
<i>Fig. IV.6. :</i> Résultats de superposition des spectres des deux échantillons.....	27
<i>Fig. IV.7 :</i> Résultat de l'analyse par DRX de l'échantillon N°3 après traitement.....	27
<i>Fig. V.1 :</i> Carte d'implantation des sondages de reconnaissance.....	29
<i>Fig. V.2 :</i> Mesure de la masse volumique des grains solides par la méthode du pycnomètre.....	30
<i>Fig. V.3 :</i> Représentation des limites d'Atterberg.....	31
<i>Fig. V.4 :</i> fermeture de la rainure.....	32
<i>Fig. V.5 :</i> Système d'évaluation du diamètre du rouleau de sol.....	32
<i>Fig. V.6 :</i> Matériels utilisé dans la détermination des limites d'atterberg.....	33
<i>Fig. V.7 :</i> Détermination de la limite de liquidité à la coupelle, et la limite de plasticité au rouleau.....	33
<i>Fig. V.8:</i> Diagramme de plasticité de CASAGRANDE.....	35
<i>Fig. V.9:</i> Agitateur à ailettes.....	36
<i>Fig. V.10 :</i> Résultats d'essais de bleu de méthylène.....	36
<i>Fig. V.11 :</i> Principe d'un essai de cisaillement rectiligne à la boîte.....	38
<i>Fig. V. 12 :</i> Cellule œdométrique type Terzaghi	39

Fig.VI.1: Propriétés d'un variogramme.....	45
Fig.VI.2: Représentation des différents modèles de variogramme.....	47
Fig.VI.3: Carte d'implantation des sondages de reconnaissance.....	49
Fig.VI.4: Résultat de krigeage du paramètre Indice de plasticité « I_p ».....	53
Fig.VI.5: Résultat de krigeage du paramètre coefficient de gonflement « C_g ».....	54

Table de matière

Remerciement.....	I
Dédicace.....	II
Dédicace.....	III
Résumé.....	IV

<i>Introduction générale</i>	1
------------------------------------	---

Chapitre I : Situation géographique de la zone d'étude

I.1. Situation de la zone d'étude.....	3
I.2. Topographie du site.....	4
I.3. Aperçu climatique	4
I.4. Réseau hydrographique	5

Chapitre II : Cadre géologique

II.1. Introduction.....	6
II.2. Les grands ensembles géologiques du massif de la Petite Kabylie.....	6
II.2.1. Formations du domaine Kabyle.....	7
II.2.1.1. Le socle Kabyle.....	7
➤ <i>Ensemble supérieur</i>	7
➤ <i>Ensemble inférieur</i>	7
II.2.1.2. Formations de l'Oligo-Miocène Kabyle (OMK) et les Olistostromes	8
➤ <i>L'Oligo-Miocène Kabyle (O.M.K)</i>	8
➤ <i>Les Olistostromes</i>	8
II.2.2. Formations de domaine des flyschs.....	8
II.2.2.1. <i>Le flysch Maurétanien</i>	8
II.2.2.2. <i>Le flysch Massylien « flysch schisto-gréseux »</i>	8
II.2.2.3. <i>Le flysch Numidien</i>	9
II.2.3. Formations du domaine Tellien.....	10
➤ <i>Nappes épi-telliennes</i>	10
➤ <i>Nappes méso-telliennes</i>	10
➤ <i>Nappes infra-telliennes</i>	10
II.2.4. Les formations post nappes	10
II.2.4.1. <i>Marnes du Miocène supérieur</i>	10
II.2.4.2. <i>Formations détritiques du Pliocène</i>	10
II.2.5. Formations Quaternaires	10

➤ <i>Les dunes du sable</i>	10
➤ <i>Les alluvions</i>	10
II.2.6. Roches magmatiques.....	11
II.3. Géologie locale	11
II.3.1. Présentation de la litho-stratigraphie	11
II.3.1.1. Les dépôts Quaternaires	11
II.3.1.2. Les dépôts postes nappes	11
➤ <i>La série marneuse</i>	11
➤ <i>Les conglomérats du Pliocène.</i>	12

Chapitre III : Etude climatologique

III.1. Introduction.....	14
III.2. Aperçu sur le climat	14
III.3. Analyse des paramètres climatiques.....	15
III.3.1. Précipitations.....	15
III.3.2. Variation des précipitations moyennes mensuelles.....	15
III.3.3. Température	16
III.3.4. Graphe Ombro-thermique.....	17
III.3.5. Bilan hydrologique.....	18
III.3.4.1. Etude de l'évapotranspiration potentielle et réelle.....	19
III.3.4.2. Evapotranspiration potentielle (E.T.P).....	19
III.3.4.3. Evapotranspiration réelle (E.T.R)	20
III.3.4.4. Estimation du ruissellement et de l'infiltration	21
III.4. Conclusion	22

Chapitre IV : Caractérisation minéralogique par diffraction au rayon X

IV.1. Introduction	23
IV.2. Analyse par diffraction au rayon X.....	23
IV.2.1. Introduction.....	23
IV.2.2. Principe.....	23
IV.3. Application de la DRX des échantillons du site de Harratène « POS N°03 ».....	24
IV.3.1. Objectifs et méthodologie.....	24
IV.3.2. Prélèvement des échantillons.....	25
IV.3.3. Préparation des échantillons.....	25
IV.4. Analyse diffractométrique des échantillons étudié	25
IV.4.1. Résultats des essais minéralogiques de rayons X (échantillon total).....	26

Chapitre V : Etude géotechniques des argiles

V.1. Introduction.....	28
------------------------	----

V.2. Méthodologie d'étude.....	28
V.2.1. Etablissement d'une banque de données géotechniques.....	28
V.2.2. Prélèvement des échantillons.....	28
V.3. Caractéristiques physiques.....	30
V.3.1. Détermination de la masse volumique des particules solides des sols « ρ_s »	
Méthode du pycnomètre à eau « P94-054 ».....	30
V.3.2. Limites d'Atterberg « NF P 94 – 051 »	31
➤ Limite de liquidité (W_L).....	31
➤ Limite de plasticité (W_p).....	32
➤ Indice de plasticité (I_p)	32
➤ Indice de consistance (I_c).....	32
V.3.3. Mesure de la capacité d'adsorption de bleu de méthylène.....	35
V.3.3.1. Principe de l'essai.....	35
V.4. Caractéristiques mécaniques.....	37
V.4.1. Essai de cisaillement rectiligne à la boîte	37
➤ Principe de l'essai	37
V.4.2. Essai œdométrique	39
➤ Principe	39
➤ Expression des résultats.....	39
a. Graphiques.....	39
b. Indice de compression (C_c).....	40
c. Indice de gonflement (C_g).....	40
d. Pression de Consolidation (σ'_c)	40
IV.5. Conclusion.....	41

Chapitre VI : Analyse de la variation spatiale de l'aléa gonflement

VI.1. Introduction.....	42
VI.2. Matériel et méthodes.....	42
VI.2.1. Présentation du logiciel "ArcGis"	42
VI.2.2. Une méthode géostatistique : Le Krigeage	44
VI.2.2.1 Analyse variographique.....	45
➤ Effet de pépite	45
➤ Portée et Palier	45
➤ Estimation du variogramme	45
➤ Modélisation du variogramme	46
VI.2.2.2. Le krigeage.....	47
VI.2.3. Présentation des données	48
VI.2.3.1. Sondages de reconnaissance.....	48
VI.2.3.2. Les différents paramètres géotechniques étudiés.....	50
VI.2.4. Mise en œuvre du krigeage	50
VI.2.5. Présentation des résultats.....	52
VI.3. Conclusion.....	55
<i>Conclusion générale</i>	56

RESUME

Dans la région de Jijel, les argiles sensibles au phénomène retrait gonflement sont répandues. Cette sensibilité remet en question la pérennité des constructions et de la voirie. Elle est amplifiée par l'action de l'eau sur les minéraux constitutifs des sols argileux et les déficits pluviométriques saisonniers qui atteignent des ampleurs maximales. Afin de développer des actions de prévention de ces sinistres, nous présentons, dans cette étude, une cartographie des zones susceptible au phénomène retrait-gonflement en adoptant une méthode géostatistique de modélisation spatiale qui est le « Krigeage », qui nous permettra à partir de données dispersées, d'obtenir une représentation homogène des informations étudiées. A l'aide des paramètres (I_p et C_g) obtenus au niveau des sondages, le krigeage nous permettra d'estimer les variations des paramètres hors sondages. Il sera alors possible de créer une carte étendant les mesures à tout l'espace. D'autres techniques géostatistiques permettent de faire ce travail mais le krigeage a l'avantage de prendre en compte les distances entre les données, les distances entre les données et la cible et la structure spatiale.

Mots-clés: Argile, retrait-gonflement, modélisation, cartographie, sondage, krigeage, Jijel.

ABSTRACT

In Jijel province, sensitive clays shrinkage-swelling phenomenon is widespread. Due to this, constructions and infrastructures sustainability built on such soils is questionable. It is amplified by the action of water on the constituent minerals of clay soils and seasonal rainfall deficits that reach maximum magnitudes. In order to develop disasters' prevention measures, we present in this study, mapping of areas susceptible to shrinkage and swelling phenomenon by adopting a geostatistical method for spatial modeling is the "Kriging", which will enable us from data dispersed to obtain a homogeneous representation of the information studied. Using the parameters (I_P and C_g) obtained at the polls, kriging allow us to estimate the changes in non-survey settings. It will then be possible to create a map extending the measures to any space. Other geostatistical techniques can make this work but kriging has the advantage of taking into account the distances between the data, the distances between the data and the target and the spatial structure.

KEYWORDS: Clay, Shrinkage-swelling, modeling, mapping, sampling, kriging, Jijel.



Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

Le phénomène de gonflement de certaines formations géologiques argileuses affleurantes provoquent des tassements différentiels qui se manifestent par des désordres affectant principalement le bâti.

L'ensemble des zones géographiques où existent d'importantes variations et déficits saisonniers d'humidité présente donc des phénomènes de gonflement et de retrait de certains sols argileux, indépendamment des actions perturbatrices de l'homme, de la construction ou de la végétation sur le sol.

Toutefois, le gonflement, sera de nature et d'ampleur différente suivant qu'il s'agira d'une argile ou d'une autre, ou d'une même argile dans un état initial ou un autre. Les solutions constructives pour y remédier ou s'y adapter seront différentes dans un cas ou dans l'autre et la minéralogie de ces argiles joue donc un rôle primordial, qui peut donner des indications fondamentales, dans le processus de recherche d'un mode de fondation.

Tout le nord de l'Algérie est dans une situation "climato - géotechnique" très défavorable, pour au moins les raisons suivantes :

- les déficits saisonniers y sont la règle et atteignent des amplitudes maximales. En conséquence, la teneur en eau des sols varie dans des proportions considérables et le gonflement résultant en surface est donc maximum;
- les argiles minéralogiquement sensibles à ces phénomènes, y sont très répandues, car souvent ce sont ces variations climatiques extrêmes qui sont à l'origine de la formation des minéraux argileux qui constituent les argiles gonflantes.

Afin de réduire le coût exorbitant de ces sinistres pour la collectivité, on se propose de développer des actions de prévention. Il s'agit d'informer les constructeurs de l'existence de sols sensibles au phénomène retrait- gonflement et de réglementer la construction dans ces zones, au moyen de Plans de Prévention des Risques naturels prévisibles. Le respect de règles de construction relativement simples à mettre en œuvre et peu coûteuses permet, en effet, de s'affranchir de la plupart des désordres.

Pour cela notre travail s'articulera de la manière suivante :

- Identification géologique et minéralogique des argiles, présents dans la zone d'étude et déterminer leur proportion ;
- Caractérisation géotechnique des argiles et son potentiel de gonflement ;
- Cartographie des zones sensibles au phénomène de gonflement ;

PLAN DE TRAVAIL

Le présent travail est mené au niveau de la zone de Harratène, zone connue par la présence d'un potentiel en matière d'argile et une zone d'extension urbaine.

Dans le cadre de la présente étude, nous avons abordé les thèmes suivants :

1. Dans un premier temps nous avons identifié délimité et cartographié la zone d'étude en ce basant sur la carte topographique DJIDJILLI N°3-4 considérée constituée la donnée de base
2. Le diagnostic physico-géographique de la région nous a permis de caractériser les principaux facteurs naturels intervenant dans l'alimentation en eau et dans l'écoulement :
 - Facteurs hydrographiques
 - Facteurs morphologiques,
 - Facteurs climatiques

Leur interaction est déterminante dans le comportement géotechnique des sols de la zone d'étude.

3. Ensuite nous avons procédé à l'étude minéralogique de ces argiles : Les échantillons prélevés sur sites ont été soumis à différents essais diffractométriques aux rayons X (DRX), afin de pouvoir identifier avec précision le type d'argile.
4. Etude des caractéristiques physiques et mécaniques de ces matériaux : Pour préciser les caractéristiques mécaniques et physiques de ces argiles, nous avons réalisé une banque de données géotechnique englobant de la zone d'étude, réalisée à partir des différentes campagnes de reconnaissance géotechnique entrant dans le cadre de la réalisation des différentes infrastructures (bâtiments, équipements publics ... etc)

Parmi les paramètres qui ont été pris en considération dans l'estimation du phénomène de gonflement :

- Les limites d'Atterberg (W_L , W_P et I_P) ;
 - L'essai de compressibilité qui permet de définir les trois paramètres (C_g , CC , et P_c) ;
 - L'essai de la valeur du bleu de méthylène ;
5. Essai d'analyse de la variation spatiale des paramètres géotechnique permettant l'estimation du phénomène de gonflement, avec élaboration enfin d'analyse, d'une cartographie de l'aléa gonflement. Pour cela une démarche méthodologique a été adoptée en se basant sur une méthode géostatistique le « Krigeage ».

Chapitre I

*Situation géographique de
la zone d'étude*

I.1. Situation de la zone d'étude

La wilaya de Jijel est située à environ 360 km au Nord-Est de la capitale Alger. Elle est traversée par la route nationale N° 43 d'Est en Ouest.

La zone d'étude est située à 05 Km à l'Est de la commune de Jijel, plus précisément dans la région de Harratène (Dejma Sidi Etrach) (Figure I,1), délimité par les coordonnées géographiques d'après le système UTM (Transverse universelle de Mercator) :

$$X = 749779,694 \text{ m} \quad Y = 4075506,133 \text{ m} \quad (\text{l'axe de la zone})$$

Elle est limitée par :

- Au Nord par le domaine Chahid Adouane ainsi que la route de l'évitement sud de la ville de Jijel ;
- Au Sud par Djema Sidi Ahmed et Koudiet Kharrouba.
- à l'Est par Oued Mecha et Boukhertoum,
- à l'Ouest par Djema Zbiria et Beni Hassene



Légende :

 Limite_Zone d'étude

Echelle : 1/25000

Fig. I.1: Situation géographique de la zone d'étude « Harratène »
 « Extrait de la carte Topographique DJIDJELLI N°3-4 »

I.2. Topographie du site

Le site d'étude de point de vue topographique présente un relief accidenté, avec une pente d'orientation Ouest est à Ouest Nord avec une altitude maximum de 120 m.

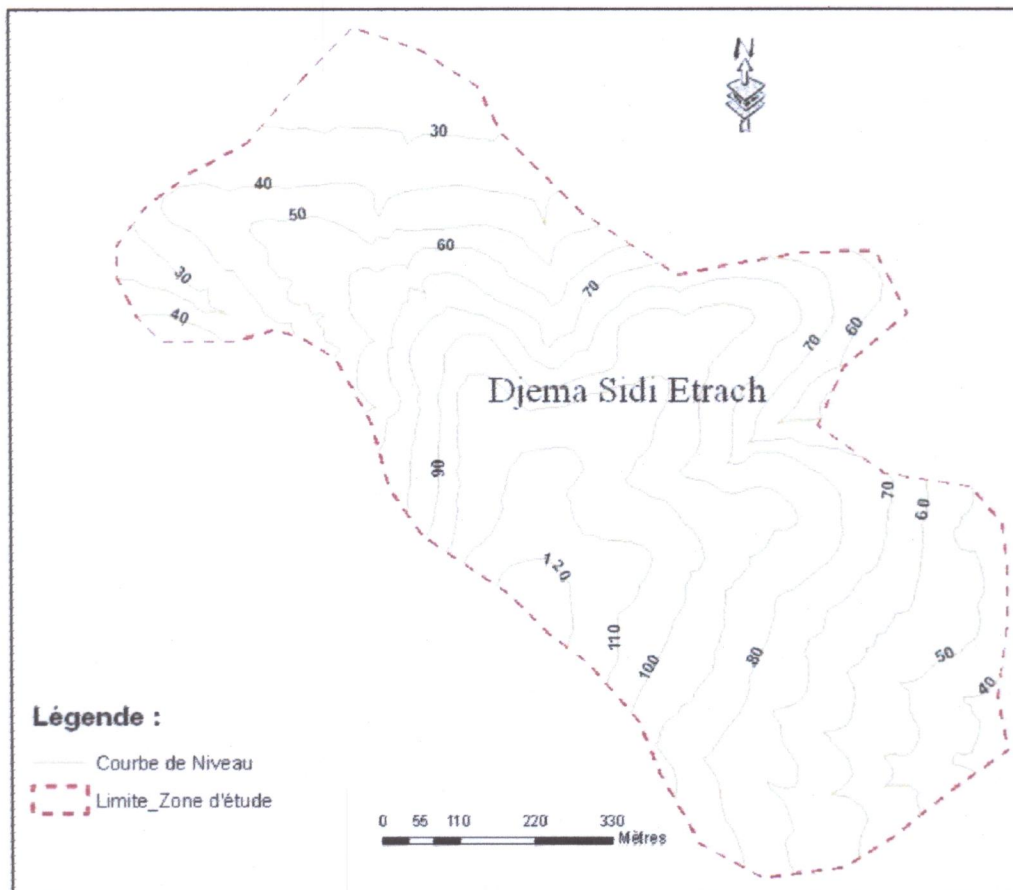


Fig. I.2: La topographie de la zone d'étude Harratène

I.3. Aperçu climatique

Sur le plan climatologique, la région de Jijel comme toutes les régions du littoral Algérien, est soumise à un climat méditerranéen, caractérisé par un Hiver doux et pluvieux avec une pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 961 mm/an et un été chaud et sec avec une température moyenne de 18,32 °C.

L'intensité pluviométrique de la région constitue un facteur d'altérabilité pour les sols de surface.

I.4. Réseau hydrographique

À partir de la carte hydrographique, on remarque que la région de Jijel et parcouru par une multitude d'Oueds (réseau très dense).

Notre site d'étude est traversé du Sud au Nord par de nombreux talwegs ou Chaâbat (Figure I.3), ces derniers sont par fois très profond. On note que la partie Sud du site est drainée par Oued Bou Merhrîs ainsi que l'Oued principal Oued Mencha.

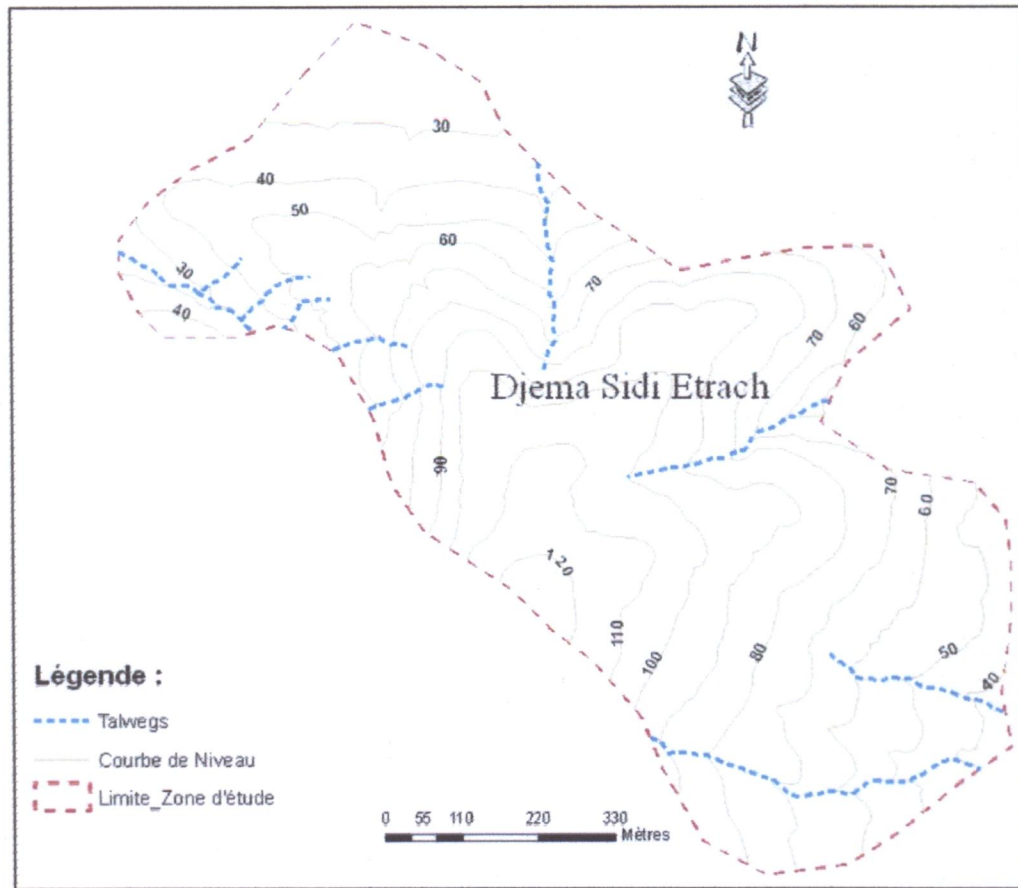


Fig. I.3: Réseau hydrographique au niveau du site d'étude

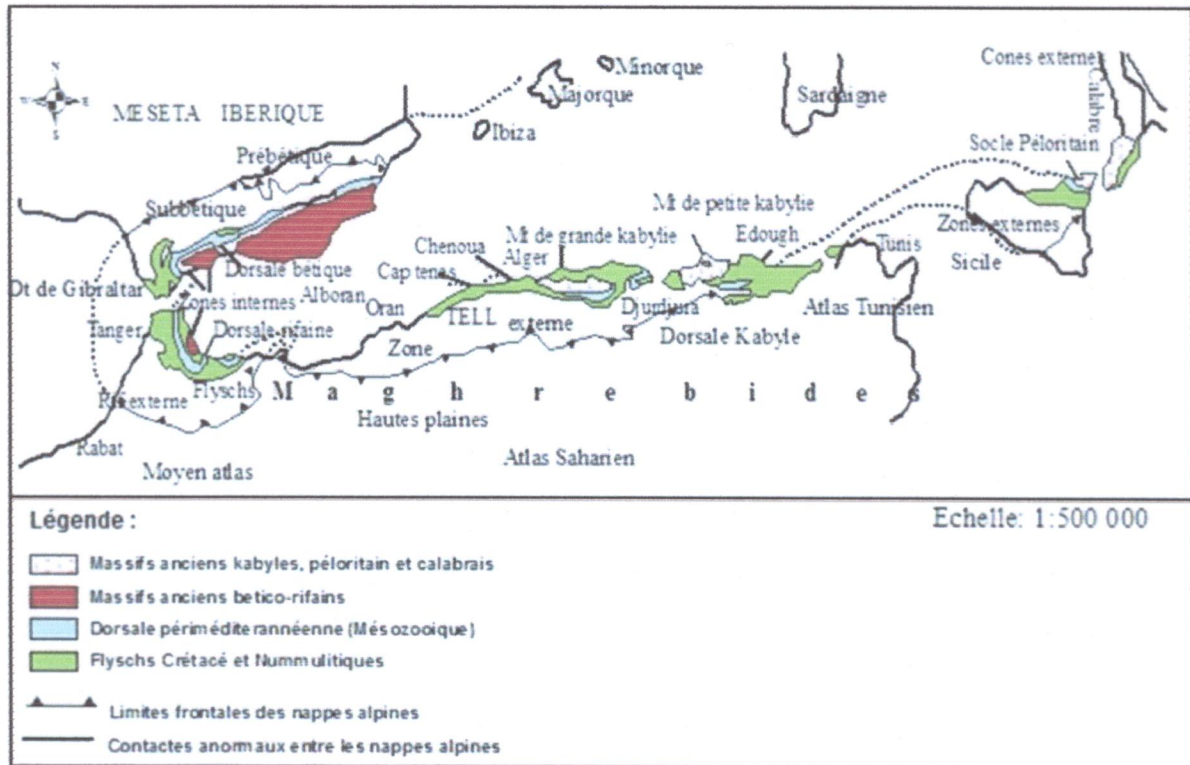
Chapitre II

Cadre géologique

II.1. Introduction

La région de Jijel appartient du massif de la Petite Kabylie occidentale.

En Algérie, le massif de la Petite Kabylie dont fait partie la région étudiée occupe une position septentrionale dans le domaine interne de la chaîne Alpine (Wildi, 1983). Il s'étend sur plus de 150 Km, le long du littoral Algérien (figure II.1.). Il est limité à l'Ouest par la chaîne des Babors, et l'Est par le massif de l'Edough, avec une extension Nord-Sud sur plus de 50 Km.



*Fig.II.1: Schéma structural de la chaîne alpine de méditerranée occidentale
(D'après Durand, Delga, 1969)*

Du point de vue structural, les Maghrébides sont constituées de plusieurs nappes charriées sur la plate-forme Africaine, transversalement on distingue de l'intérieur vers l'extérieur de la chaîne:

- Le domaine interne (Kabyle).
- Le domaine des flyschs.
- Le domaine externe (tellien et l'avant pays).

Sur l'ensemble de ces unités géologiques repos en discordance la nappe numidienne, et les formations post-nappent.

II.2. Les grands ensembles géologiques du massif de la Petite Kabylie

Le secteur d'étude appartient au domaine de la petite Kabylie plus exactement à son extrémité occidentale (voir fig. II.2), qui est formé par la superposition de plusieurs ensembles géologiques, séparés par des contacts anormaux.

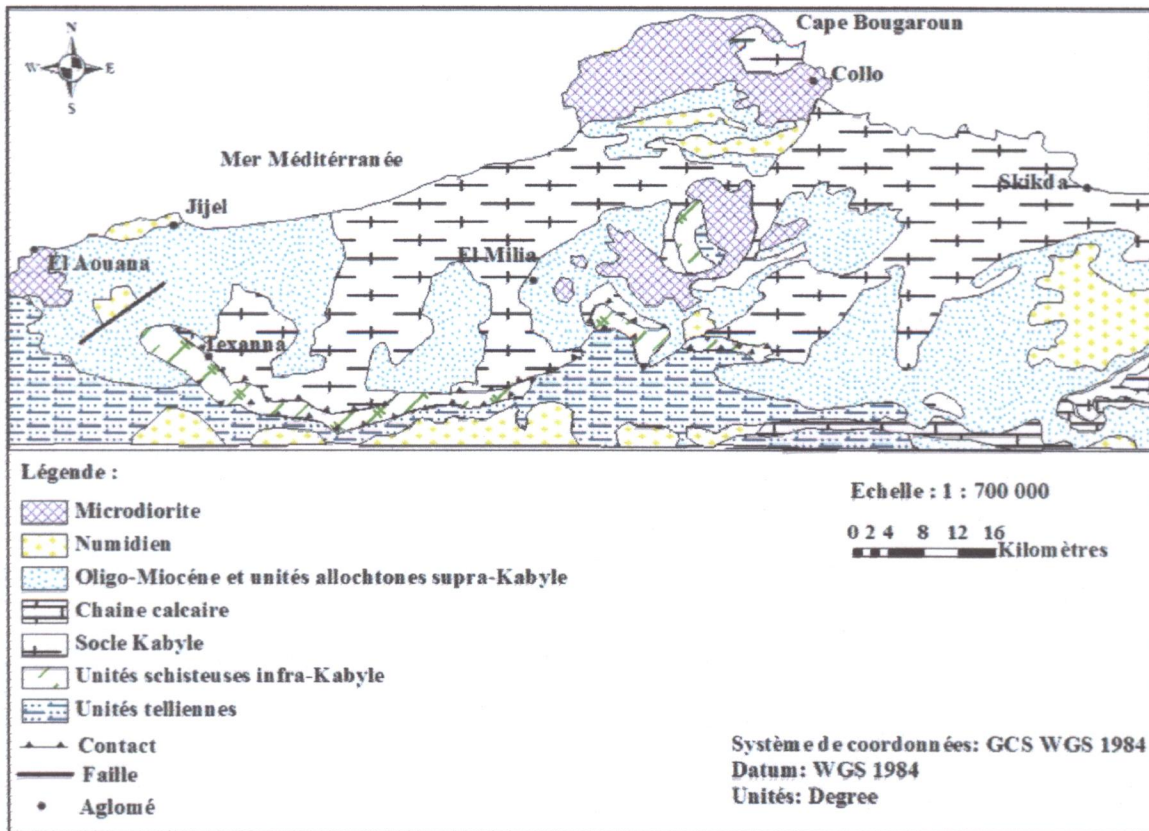


Fig. II.2 : Carte structurale simplifiée de la petite Kabylie d'après [Durand Delga, 1969]

II.2.1. Formations du domaine Kabyle

Issu du domaine interne de l'orogène alpin, le domaine Kabyle comprend les formations cristallophylliennes du socle Kabyle, et l'ensemble des nappes supérieures qu'il supporte.

II.2.1.1 Socle kabyle

Le socle de la Petite Kabylie est composé de deux grands ensembles (Djellit, H, 1987), ensemble supérieur et ensemble inférieur.

✚ Ensemble supérieur

C'est un ensemble décrit pour la première fois par Ehrmen (1928), et ensuite par Durand Delga (1955). Il comporte de bas en haut :

- ✓ des schistes noirâtres qui surmontent, parfois, des conglomérats remaniant les formations sous-jacentes ;
- ✓ des psammites rouges et vertes à graptolites ;
- ✓ des grès calcaires à tentaculites ;
- ✓ des calcaires à orthocères.

✚ Ensemble inférieur

Constitué de gneiss fins parfois ocellés, à intercalation de marbres et d'amphibolites. Les termes de base de cet ensemble conservent des assemblages reliques du faciès des granulites (Djellit, H, 1987).

II.2.1.2. Formations de l'Oligo-Miocène Kabyle (OMK) et les Olistostromes

✚ *Oligo-Miocène Kabyle*

Il forme la couverture sédimentaire transgressive du socle Kabyle (*Raoult, 1974 ; 1975, Bouillin, 1977*). L'Oligo-Miocène Kabyle est constitué par des formations détritiques comportant trois termes :

- un terme de base formé de conglomérats grossiers polygénique reposant en discordance sur le socle Kabyle.
- un terme médian, comportant des grés micacés à débris de socle associés à des péllites micacés.
- un terme sommital formé de silexites. (*Bouillin. J.P; 1977*)

Les formations de l'Oligo-Miocène Kabyle affleurent largement dans la région étudiée.

✚ *Olistostromes*

Les olistostromes sont des formations tectono-sédimentaires à débris de flysch Maurétanien et Massylien reposant sur les formations de l'Oligo-Miocène Kabyle.

Ces formations, ont été décrites pour la première fois en Petite Kabylie par *Raoult et Bouillin (1971)*. L'âge de ces formations selon ces derniers auteurs, est supposé Aquitanien à Burdigalien inférieur probable (*Bouillin ; Raoult, 1971 ; Bouillin et al ,1973 ; et Bouillin, 1977*).

II.2.2. Formations du domaine des flyschs

Les flyschs sont classiquement subdivisés en deux types principaux montrant des termes allant du Néocomien à l'Eocène ce sont : Les flyschs Maurétaniens (Unité de Guerrouch) et le flysch Massylien (*Bouillin.J.P et al, 1969*).

II.2.2.1. Flysch Maurétanien (Unité de Guerrouch)

Comporte de bas en haut :

- ✓ un pré- flysch calcaire du Tithonique- Néocomien constitué d'une alternance de marnes grises et de turbidites calcaires.
- ✓ un ensemble (300m) de grés homométriques à cassure verte (flysch de Gerrouch) attribué à l'Albo-Aptien.
- ✓ localement, des phtanites rouges et blancs du Cénomaniens supérieur.
- ✓ un Sénonien micro-bréchique. les micro-brèches à ciment spathique riche en quartz détritiques, peuvent être quelque fois remplacées par des micro-conglomérats.
- ✓ enfin, au sommet des conglomérats puis des grés micacés Tertiaires (Eocène à Oligocène). (*Djellit.H ,1987*)

II.2.2.2. Flysch Massylien « *flysch schisto-gréseux* »

Il présente une série allant du Néocomien au Lutétien terminal et regroupe trois ensembles :

- ✓ A la base, le classique " Flysch Albo-aptien" composé d'argiles et de grés

quartzitiques, vert-olivâtre, en barres minces (10-30 cm), des grés légèrement calcaireux, rosés à violacés et très localement des niveaux conglomératiques à Orbitolines.

- ✓ Ensuite vient un ensemble comprenant des marnes et calcaires fins, jaunâtres du Vraconien, des microbrèches et Conglomérats plus ou moins silicifiés à Rotalipores et Orbitolines du Cénomaniens inférieur-moyen., des calcaires fins, noirâtres, auxquels s'associent souvent des phtanites noirs du Cénomaniens supérieur.
- ✓ Enfin, au sommet, un flysch à marnes microbréchiqes riches en Globotruncana du Toronien Mæstrichtien ; sa base montre des bancs calcaires jaunes à rosés à microfaune pélagique du Turonien-Coniacien.

Cet ensemble est surmonté (*Bouillin.J.P, 1979*) par des argiles rouges et des microbrèches calcaires bioclastiques à Nummulites de l'Eocène (*Djellit. H, 1987*).

II.2.2.3. Flysch Numidien

Le flysch numidien occupe la position la plus haute dans l'édifice structural de la région. Il est constitué de quatre termes lithologiques comprenant de bas en haut :

- ✓ 50 m d'argile aux teintes variantes : vertes, rouges, jaunes et grises, à intercalation calcaro- gréseuses à Gloconies.
- ✓ 10 à 20 m d'une alternance de pélites bleutées et de marnes à intercalation gréseuses décimétriques, soit en niveaux continus (a), soit lenticulaires (b) et à figures de bases (les flûtes castes, figure de charge...).
- ✓ ensemble (150 à 160 m) gréseux en bancs épais (2 à 3 m), faciès Numidien composées essentiellement de teintes jaunes blancs (rouille d'altération), à grains grossiers de quartz roulés.
- ✓ 10 à 15 m de bancs de calcaires gréseux associés à des marnes calcaires terminant cette succession (*Djellit. H, 1987*).

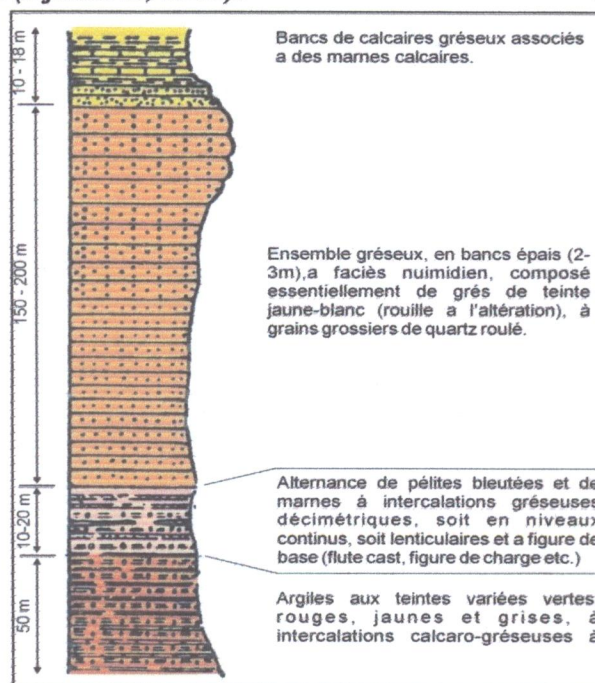


Fig.II.3: Colonne lithologique du flysch Numidien (d'après H. Djellit, 1987)

II.2.3. Formations du domaine tellien

Le domaine tellien est subdivisé du Nord au Sud en trois unités fondamentales ou nappes telliennes (*Djellit. H, 1987*).

- **Nappes épi-telliennes** : Constituées de terrains marneux allant de l'Albien au Lutétien supérieur.
- **Nappes méso-telliennes** : Qui montrent un dispositif de cinq écailles, formés de sédiments allant du Sénonien au Miocène.
- **Nappes infra-telliennes** : Qui sont les unités les plus basses structurellement. Elles sont caractérisées par une structure chaotique. Le Trias gypsifère, le Jurassique, le Crétacé et le Nummulitique ont glissé sur les sédiments, en cours de dépôts, du Miocène inférieur, et ont été remis en mouvement.

II.2.4. Formations post-nappes

Comprenant des formations marneuses du Miocène supérieur et des conglomérats grossiers d'âge Pliocène.

II.2.4.1. Marnes du Miocène supérieur

Elles reposent en discordance sur le socle kabyle et les terrains sou jacent de l'OMK. L'âge Tortono-messinien est attribué à ces formations, il est constitué de ces marnes bleues à passés calcareuses discontinues.

II.2.4.2. Formations détritiques du Pliocène

Les formations du Pliocène sont représentées par des dépôts conglomératiques comportant des blocs anguleux de cailloutis, de galets, des graviers, et des sables, dans une matrice argileuse. Ces formations à éléments polygéniques et hétérométriques d'une épaisseur d'environ 30 à 50 m reposant directement sur les marnes du Miocène. C'est la limite entre les dépôts continentaux (pliocène), et les dépôts marins (Tortono-messinien).

On peut remarquer que le Pliocène ainsi que le Miocène qu'il surmonte, sont affecté tardivement par des failles de direction NE-SW (cuvette de Beni-Siar) ou ENE-WSW dans la région de Rekkada Metletine (*Djellit. H, 1987*).

II.2.5. Formations du Quaternaire

Ils sont bien représentés dans le bassin néogène de Jijel et comportent les formations suivantes :

A. Les dunes du sable : Elles sont représentées par :

- ✚ **Les dunes actuelles** : constituées essentiellement par des sables fins parfois consolidés.
- ✚ **Les dunes anciennes** : constituées de sables fins limoneux souvent consolidés.

B. Les alluvions : Elles sont représentées par :

- ✚ **Les alluvions anciennes** qui sont grossière et constituent les terrasses anciennes des vallées.

- ✚ Les alluvions récentes qui sont composées d'éboulis et de brèches non consolidées. La taille des éléments peut aller jusqu'à 50 mm de diamètre.

II.2.6. Roches magmatiques

Elles sont principalement représentées par :

- ✚ des roches basiques et ultrabasiques (Péridotites, Gabbros, Diorites, Microdiorites et Dolérites) du Texenna.
- ✚ des roches volcaniques (Rhyolites, Trachites, Andésites, Dacites, Rhyodacites, Pyroclastites) dans la région de Cavallo, de Rekkada-Meteletine.
- ✚ des roches granitiques (Granites, Microgranites et Grano-diorites). Ces roches granitiques résultant d'un épisode magmatique miocène (*Fougnot.J ; 1990*).

II.3. Géologie locale

La région de Harratène dont fait partie la zone d'étude, appartient au bassin Néogène de Jijel, constitué essentiellement par les formations suivantes :

- Les dépôts récents du Quaternaires et les recouvrements divers ;
- Les dépôts postes nappes ;

II.3.1. Présentation de la litho-stratigraphie

II.3.1.1. Les dépôts Quaternaires

Les dépôts récents datant du Quaternaire sont représentés dans la région de Jijel par plusieurs faciès généralement à caractères détritiques.

Les recouvrements les plus vastes occupent la zone d'étude sont les sables côtiers, représenté essentiellement par les sables rouges (sable dunaire). Ils sont représentés par des dépôts meubles à granulométrie très fine, de couleur rouge ocre limoneux par endroit.

Dans la région de Harratène, ces dépôts sont de moindre importance, et sont représentés par des sables rouges limoneux évoluant au sommet vers des limons argileux sombres et à débris organiques.

II.3.1.2. Les dépôts postes nappes

Dans la zone de Harratène, les formations géologiques sont représentées en majeure partie par les dépôts postes nappes constitués par :

➤ La série marneuse

Cette série rapporter au Tortonien moyen-Messinien est essentiellement composée de marnes bleues compacte allant sur des grandes épaisseurs (Figure II.4), présentant par endroit une intercalation marno-gréseuse (Figure II.5). Les niveaux gréseux présente des épaisseurs décimétrique à métrique avec une direction de 73° vers NE et un pendage de 55° vers le SE, ils sont constitués par des grains de quartz très fins et parfois grossiers. Ces niveaux sont de couleur jaunâtre et parfois rougeâtre (rouille à l'altération), plus ou moins fracturé.

Les marnes dans la région de Harratène constituent la formation la plus dominante, en profondeur ces marnes sont très compacte résistant et se comporte comme une roche, leurs

couleurs est grisâtre à bleuté, très fracturé et le long des fractures des précipitations sont visibles dû à la circulation des fluides (Figure II.6). En surface ces marnes deviennent plus friables à cause du contact avec l'eau et se transforment en marne argileuse à argile marneuse moins compacte et instable en présence de l'eau.



Fig. II.4 : Photo illustrant les marnes postes nappes de la région de Harratène

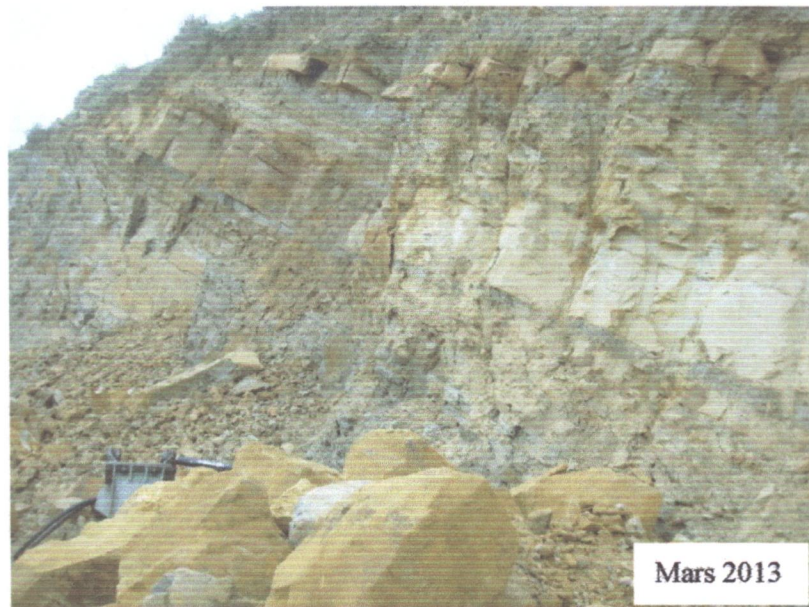


Fig. II.5: Photo illustrant l'intercalation marno-gréseuse au niveau des formations postes nappes de la région de Harratène



Fig. II.03: Photo illustrant les fractures qui affectent les formations marneuse.

➤ Les conglomérats du Pliocène

Constituées essentiellement par des conglomérats, qui comportent des blocs anguleux, mal classés et de taille variable empruntées en totalité soit au socle Kabyle, soit aux unités à matériel flysch. Dans la zone d'étude ces conglomérats sont bien visibles et occupent les sommets des localités de T'hourat et Z'biriat.

III.4. Conclusion

Les résultats des reconnaissances géologiques réalisées au cours de cette phase ont permis d'évaluer avec une précision satisfaisante, les conditions géologiques du site, à savoir :

- ☞ La région de Harattène fait partie du massif de la petite Kabylie, plus précisément à sa partie occidentale, qui est formé par la superposition de plusieurs ensembles géologiques, séparés par des contacts anormaux.
- ☞ La zone d'étude est constituée en majeure partie par des marnes d'âge miocène (Tortonien-Messinien). Ces marnes présentent un aspect compact, la partie sommitale est constituée par une intercalation marno-gréseuse, ou les niveaux gréseux présentent des épaisseurs décimétrique à métrique. Ils sont constitués par des grains de quartz très fins et parfois grossiers. Ces niveaux sont de couleur jaunâtre et parfois rougeâtre (rouille à l'altération), plus ou moins fracturé.
- ☞ L'ensemble est recouvert par des dépôts récents datant du Quaternaire qui sont représentés par les sables côtiers, représenté essentiellement par les sables rouges (sable dunaire), évoluant au sommet vers des limons argileux sombres et à débris organiques.

Chapitre III

Etude climatologique

III.1. Introduction

Un terrain argileux est fondamentalement instable puisqu'il change de propriétés physiques en fonction de l'humidité, donc des saisons et du climat, pour cela, il est nécessaire d'analyser et traiter les éléments climatiques caractéristiques, principalement les précipitations et les températures, qui nous conduisent à l'établissement d'un bilan hydrique, et la reconnaissance du régime des systèmes hydrologique, et surtout qui pourraient avoir une influence sur le comportement du sol.

III.2. Aperçu sur le climat

La région de Jijel fait partie du littoral Algérien, elle est caractérisée par un climat méditerranéen avec (figure III.1) :

- Une période froide et humide : caractérisée par une forte précipitation avec des températures faibles qui peut atteindre les 9°C dans le mois de Janvier.
- Une période chaude et sèche : caractérisée par de faible précipitation avec des températures fortes avec élévation dans la température qui s'étend du mois de Mai jusqu'au mois d'Octobre.

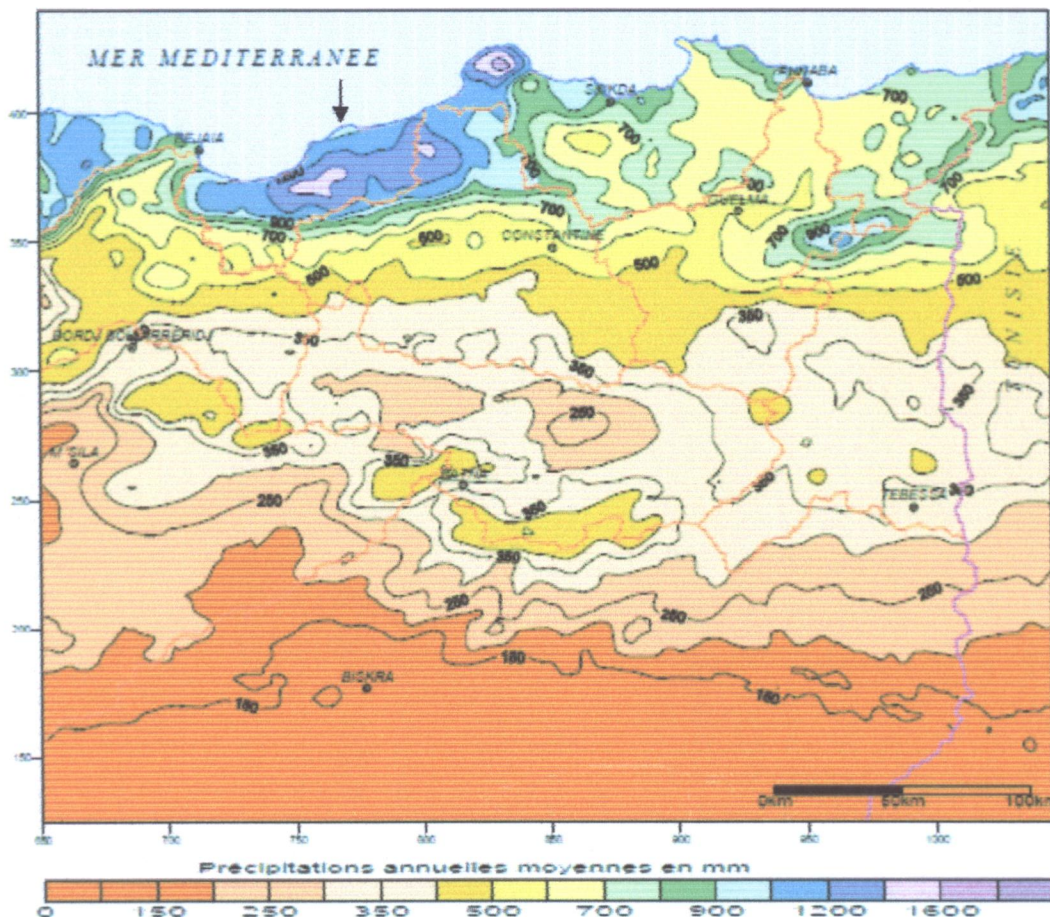


Fig. III.1: Carte des précipitations annuelles moyennes de l'Est Algérien
(D'après A.N.R.H., 1993)

III.3. Analyse des paramètres climatiques

Les conditions climatiques jouent un rôle principal dans la détermination du régime hydraulique. Parmi les facteurs hydro climatologiques, nous étudierons la pluviométrie, la température et l'évapotranspiration. Les données relatives à la précipitation et températures sont disponibles au niveau de l'aéroport de Jijel (tableau III.1), période 1971/2011.

Tab. III.1: Caractéristiques de la station pluviométrique (Station Jijel Aéroport, période 1971/2011)

Station	Altitude	Longitude	Latitude	Série
Aéroport Achouat Jijel	8 m	Est 5° 53'	Nord 36° 48'	1971 / 2011

III.3.1. Précipitations

Nous entendons par précipitation les formes variées sous les quelles l'eau solide ou liquide contenue dans l'atmosphère se dépose à la surface du globe. Notre étude s'intéresse uniquement aux précipitations liquides (les pluies), qui constituant un facteur primordial dans le comportement hydrologique de la région.

III.3.1.1. Variation des précipitations moyennes mensuelles

Le tableau III.2 présente les précipitations moyennes mensuelles :

Tab. III.2: Répartition moyennes mensuelles des précipitations

Mois	S	O	N	D	J	V	M	A	M	J	J	A
P (mm)	72	103.5	141	192.5	149	111	106	83.5	49	18	9.5	12.5

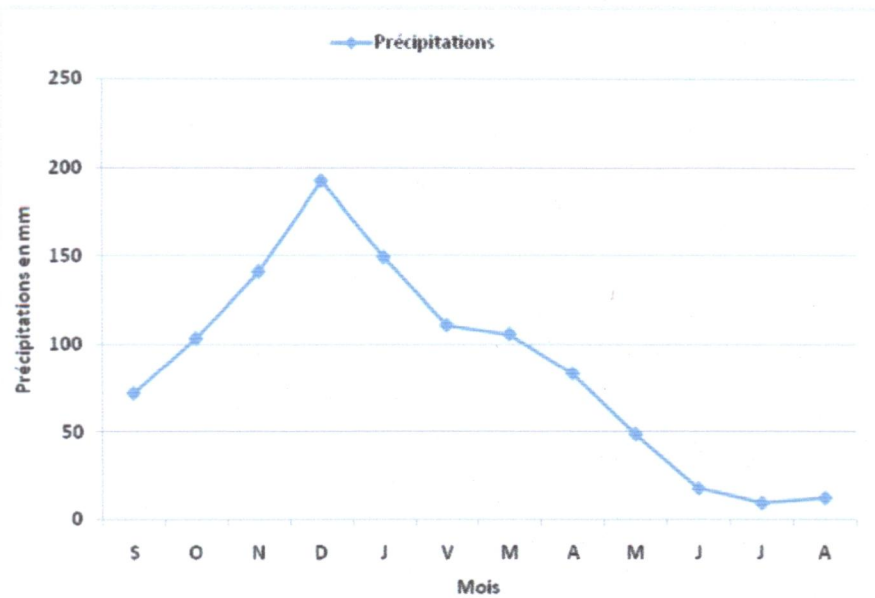


Fig. III.2: Distribution des précipitations moyennes mensuelles

A partir de la figure III.2, nous remarquons que le maximum des précipitations tombe en décembre avec une moyenne mensuelle de l'ordre de 192.5, et le minimum est atteint en mois de Juillet et ne dépasse guère les 9 mm (Tableau III.2).

Tab. III.3: Répartition des précipitations saisonnières

Saison / Paramètre	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Précipitation saisonnière (mm)	316.50 mm	452.50 mm	238.50 mm	40.00 mm
(%)	30.21 %	43.20 %	22.77 %	3.82 %

D'après les résultats mentionnés dans le tableau III.3, on constate que la saison la plus pluvieuse est l'hiver avec une précipitation de l'ordre de 452.50 mm soit 43.20 %. Alors que la saison la plus sèche est l'Eté avec des précipitations de l'ordre de 40.00 mm soit 3.82 % des précipitations total (voir Figure III.3).

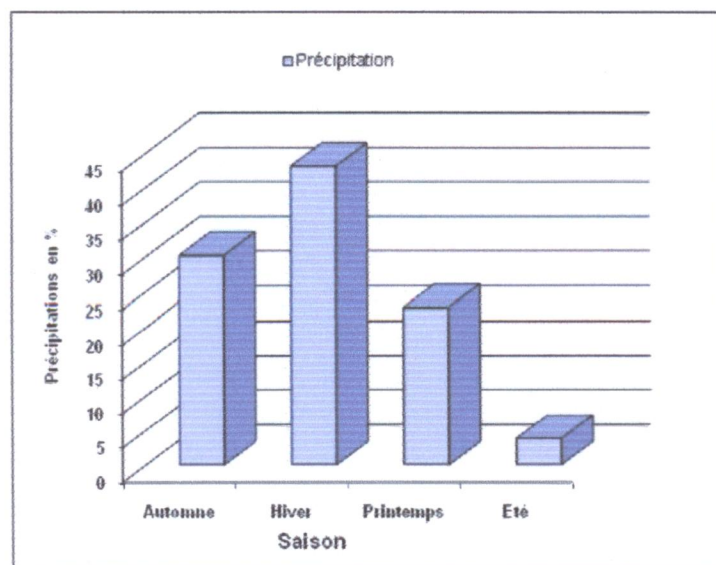


Fig. III.3: Répartition des précipitations saisonnières

III.3.2. Température

La température est un facteur influent sur le bilan hydrologique, en permettant l'estimation de l'évaporation.

Le tableau III.4 et l'histogramme qui le représente (Figure II.4) contiennent la répartition de la température moyenne mensuelle de la période comprise entre 1971 /2011, on note un maximum de température de 26.36°C au mois de Aout et un minimum de 12.4°C au mois de février.

Tab. III.4: Distribution de la température moyenne mensuelle

Mois paramètre	Automne			Hiver			Printemps			Eté		
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Température moyenne mensuelle et saisonnière (C°)	23.64	20.48	16.32	13.47	12.5	12.4	13.66	15.96	19.01	22.5	25.76	26.36
	20.15			12.79			16.21			24.87		

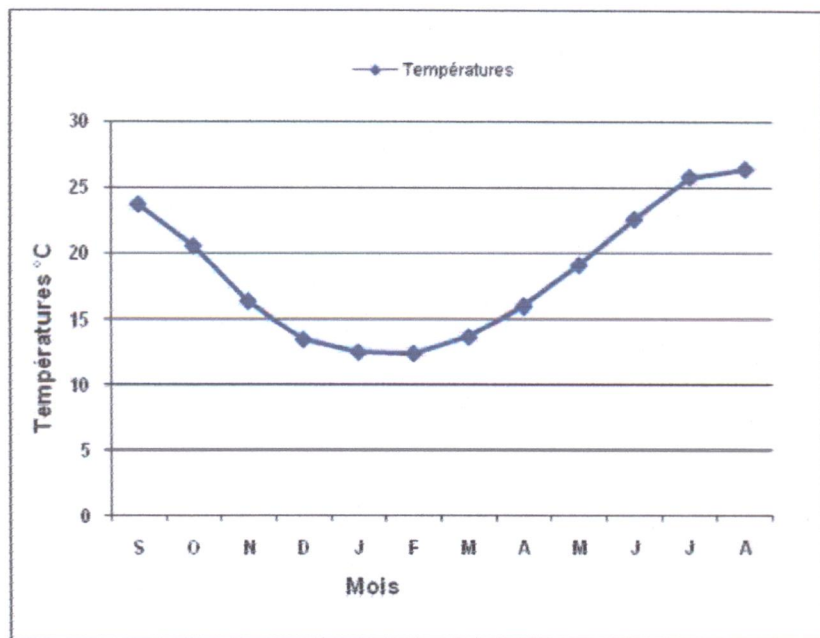


Fig. III.4: Distribution de la température moyenne mensuelle

D'après les résultats obtenus dans le tableau III.4, le maximum de températures est observé au mois d'Août (26.36 °C) et le minimum au mois de Février (12.4 °C) avec une moyenne de l'ordre de 18.51°C (Voir figure III.4).

Pour la température saisonnière, en remarque que la saison la plus froide correspond à l'Hiver avec une valeur moyenne de 12.79 °C et la saison la plus chaude correspond à l'Eté avec une valeur moyenne de 24.87°C.

III.3.3. Graphe Ombro-thermique

La combinaison entre la température et la précipitation, permet de tracer le graphe OMBRO-THERMIQUE.

Ce graphe est établi selon la règle de Gaussen et Bagnoulis, qui est dressé selon le rapport des précipitations sur les températures (P/T) appelé également « indice de Gaussen et Bagnoulis » 1953, dans lequel T est rapporté à l'échelle double de P.

Nous parlons de sécheresse lorsque la moyenne mensuelle des précipitations du mois est inférieure ou égale au double de la température moyenne de la même période ($P < 2T$).

Toute courbe représentative des températures passant au dessus de celle des précipitations indique une période déficitaire.

Les données sont regroupées dans le tableau III.5 suivant :

Tab. III.5: Répartition des précipitations et températures moyennes mensuelles

Mois Paramètre	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Précipitation (mm)	149	111	106	83.5	49	18	9.5	12.5	72	103.5	141	192.5

Température (C°)	12.5	12.4	13.66	15.96	19.01	22.5	25.76	26.36	23.64	20.48	16.32	13.47
-------------------------	------	------	-------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

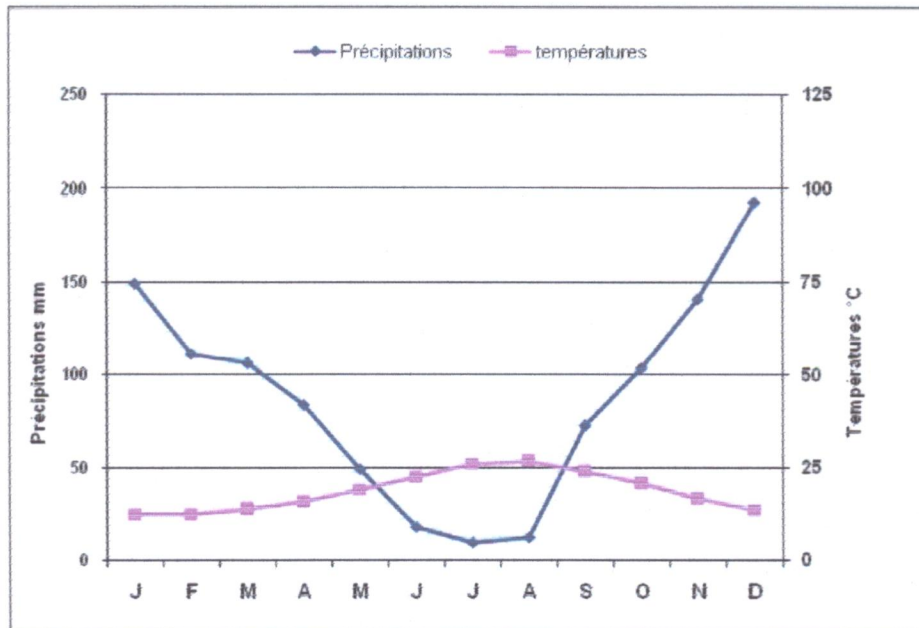


Fig. III.5: Courbes Ombro-thermique (Station Jijel Aéroport, période 1971/2011)

D'après les courbes Ombro-thermiques (voir Figure. III.5), on constate que la période humide débute du début du mois de Septembre et s'étale jusqu'à la fin du mois de Mai et la période sèche (période déficitaire) s'étale de la fin du mois de Mai jusqu'au début du mois de Septembre.

III.3.4. Bilan hydrologique

Dans notre étude, l'établissement du bilan hydrologique selon *Thornthwaite* est primordial pour l'évaluation des réserves d'eau transmises ou emmagasinées dans une région.

Il est représenté par la formule suivante :

$$P = ETR + R + I + Wa$$

Avec :

- P : Précipitation moyenne annuelle en mm
- ETR : Evapotranspiration réelle en mm.
- I : Infiltration
- R : Ruissellement en mm
- Wa : Variation des réserves (négligeable).

III.3.4.1. Etude de l'évapotranspiration potentielle et réelle

L'évapotranspiration est la somme des pertes par transformation de toutes les eaux quel que soit leur nature (sols, végétaux ou eau libre) en vapeur sous l'effet des variations

climatiques et par une combinaison de deux phénomènes, l'un physique (évaporation) et l'autre biologique (transpiration).

On distingue l'évapotranspiration réelle (E.T.R) qui est la quantité d'eau effectivement évaporée et transpirée, de l'évapotranspiration potentielle (E.T.P), qui représente la quantité d'eau qui pourrait être évapo-transpirée si le sol contenait en permanence une quantité d'eau suffisante.

III.3.4.2. Evapotranspiration potentielle (E.T.P)

L'évapotranspiration potentielle (**ETP**) correspond à l'évapotranspiration d'une surface qui serait suffisamment approvisionnée en eau pour évaporer la quantité d'eau maximale permise par les conditions climatiques.

Thornthwaite (1948) a établi une corrélation entre la température moyenne mensuelle et l'E.T.P, où le pouvoir évaporant pour chaque mois est déterminé à partir de la relation suivante :

$$ETP = 16. [10T / I]^a$$

E.T.P : l'évapotranspiration potentielle (mm) ;

T : Température moyenne mensuelle (°C) ;

I : Indice thermique annuel ;

$$I = \sum_1^{12} i$$

i : Indice thermique mensuel ;

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514}$$

a : Exposant climatique défini ainsi :

$$a = 0.0161 I + 0.5$$

Pour l'évapotranspiration corrigée, elle est obtenue à partir de la relation suivante :

$$ETP_{corr} = 16. [10T / I]^a \cdot K$$

Où :

K : coefficient de correction dépendant de la latitude de la région soit (36°).

Après avoir établie les calculs nécessaires les résultats obtenus sont exposé dans le tableau III.3 suivant :

Tab. III.6: Résultat du calcul de l'E.T.P selon Thornthwaite

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
P (mm)	72	103.5	141	192.5	149	111	106	83.5	49	18	9.5	12.5	1047.5
T (C°)	23.64	20.48	16.32	13.47	12.5	12.4	13.66	15.96	19.01	22.5	25.76	26.36	18.51

i	7.15	6.2	4.94	4.07	3.78	7.29	4.13	4.83	5.85	6.81	7.8	7.78	70.63
K	1.03	0.96	0.84	0.83	0.86	0.83	1.03	1.1	1.22	1.23	1.25	1.17	
ETP (mm)	117	86.35	52.18	37.71	34.59	32.95	47.87	65.90	97.20	129.8	163.4	158.8	1023.75

III.3.4.3. Evapotranspiration réelle (E.T.R)

C'est la quantité d'eau réellement évaporée ou transpirée par le sol ou les végétaux et les surfaces d'eau, celle-ci est estimée par plusieurs méthodes.

- si les précipitations du mois (P) sont supérieures à l'évapotranspiration potentielle $ETR=ETP$.
- si les précipitations du mois (P) sont inférieures à l'évapotranspiration potentielle (ETP) :
 - Si P (du mois considéré) + RFU (antérieures au mois considéré) > ETP (du mois considéré) alors $ETR = ETP$.
 - Si P (du mois considéré) + RFU (antérieures au mois considéré) < ETP (du mois considéré) alors $ETR = P$ (du mois considéré) + RFU (du mois antérieur).

Après avoir établie les calculs nécessaires les résultats obtenus sont exposé dans le tableau III.7 suivant :

Tab. III.7: Calcul du bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Annuel
P (mm)	72	103.5	141	192.5	149	111	106	83.5	49	18	9.5	12.5	1047.5
ETP (mm)	117	86.35	52.18	37.71	34.59	32.95	47.87	65.9	97.2	129.8	163.4	158.8	1023.75
P-ETP	-45	17.15	88.82	154.79	114.41	78.05	58.13	17.6	-48.2	-111.8	-153.9	-146.3	/
RFU (mm)	0	17,15	100	100	100	100	100	100	51,8	0	0	0	/
ETR (mm)	72	86,35	52,18	37,71	34,59	32,95	47,87	65,9	97,2	69,8	9,5	12,5	618,55
EX (mm)	0	0	5,97	154,79	114,41	78,05	58,13	17,6	0	0	0	0	428,95
D.A (mm)	45	0	0	0	0	0	0	0	0	60	153,9	146,3	405,2

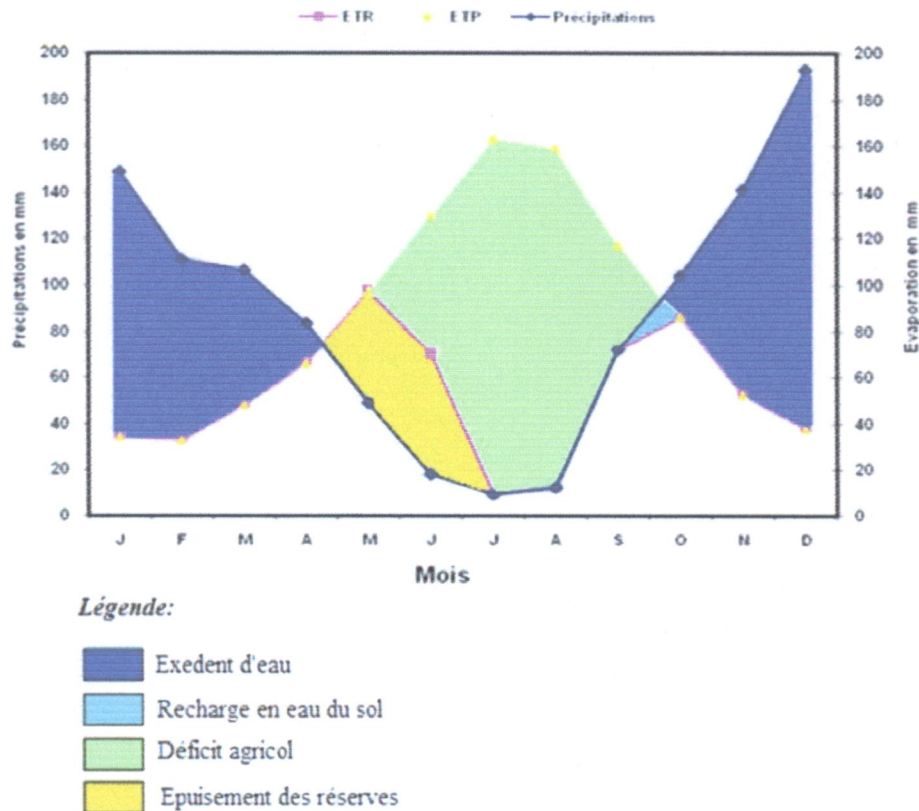


Fig. III.6: Graphe du Bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite

Le bilan hydrologique montre :

- Un excédent enregistré durant 6 mois où RFU atteint son maximum à partir du mois de Novembre jusqu'au mois d'Avril, avec une valeur maximale de 154.79 mm atteint au mois de Décembre.
- L'évapotranspiration réelle calculée est de l'ordre de 618.55 mm soit 59.0 % des précipitations.

III.3.4.4. Estimation du ruissellement et de l'infiltration

Le ruissellement est estimé à partir de la formule de **TIXERONT-BERKALOFF** ci-après:

$$R = \frac{P^3}{3.(ETP)^2}$$

Avec :

- R : Ruissellement superficiel en (mm).
- P : Précipitation moyenne annuelle (mm).
- ETP : Evapotranspiration potentielle d'après Thornthwaite en (mm).

D'après les données de la station d'Achouat on peut déduire :

$$P = 1047.5 \text{ mm}, \quad ETP_c = 1023.75 \text{ mm}$$

$$R = 365.56 \text{ mm} \text{ soit : } 34.90 \% \text{ des précipitations totales}$$

- Calcul de l'infiltration

L'infiltration représente la quantité d'eau qui pénètre dans le sol et le sous sol, elle alimente les eaux souterraines, eau de rétention, écoulement hypodermique, écoulement souterrain et la reconstitution des réserves aquifères.

Grâce à la formule du bilan on a :

$$P = ETR + R + I + W_a$$

Ou :

W_a : variation des réserves souvent négligeables

En aura alors:

$$P = ETR + R + I \Rightarrow I = P - ETR - R \quad \text{Ou} \quad I = EX - R$$

$$I = 63.39 \text{ mm soit } 6.05 \% \text{ des précipitations}$$

III.4. Conclusion

D'après l'étude climatologique, on constate que le climat de la région est tempéré due à l'influence méditerranéenne, caractérisé par des précipitations de l'ordre de 1047,5 mm/an et des températures moyennes mensuelles de l'ordre de 18,51 °C.

D'après le tableau III.5 le mois de Décembre est le plus pluvieux avec 192,5 mm et le mois le plus sec est Juillet avec 9,5 mm

D'après la répartition saisonnière des précipitations (voir tableau III.6), la saison la plus pluvieuse est celle de l'hiver avec 452,5 mm soit 43,20 % et l'Eté la saison la plus sèche avec 40,0 mm, soit 3,82 % des précipitations.

Les calculs réalisés à l'aide du bilan hydrologique, ont montrés que 63,39 mm participes à l'infiltration soit 6,05 % des précipitations, et 365,56 mm participes au ruissellement soit 34,90 % des précipitations totales.

Chapitre IV

*Caractérisation minéralogique
par diffraction au rayon X*

IV.1. Introduction

Les minéraux argileux peuvent être étudiés à différentes échelles, de l'atome au paysage avec des méthodes appropriées. L'observation de lames minces permet une approche micro-morphologique qui consiste à étudier la distribution des argiles dans la roche sédimentaire ou les sols. L'agencement des particules argileuses s'étudie via la microscopie électronique à balayage (MEB); la morphologie des particules s'observe plutôt au microscope à transmission (MET, TEM). La composition minéralogique des assemblages argileux est déduite par la diffraction des rayons X (DRX, XRD).

A l'exception de la DRX, les méthodes d'études ne s'appliquent généralement que sur des phases argileuses pures ou simples. Les résultats sur phase mixte, par exemple des assemblages argileux naturels de sols, sédiments ou roches sédimentaires, ne sont pas interprétables.

IV.2. Analyse par diffraction au rayon X

IV.2.1. Introduction

La diffraction des rayons X (DRX) est une méthode universellement utilisée pour identifier la nature et la structure des produits cristallisés. Cette méthode ne s'applique, jusqu'à récemment, qu'à des milieux cristallins (roches, cristaux, minéraux, argiles...) présentant les caractéristiques de l'état cristallin, c'est-à-dire un arrangement périodique et ordonné des atomes dans des plans réticulaires (x, y, z) tridimensionnels (figure IV.1). La diffraction des rayons X sur poudre est une méthode d'analyse de phases non destructive.

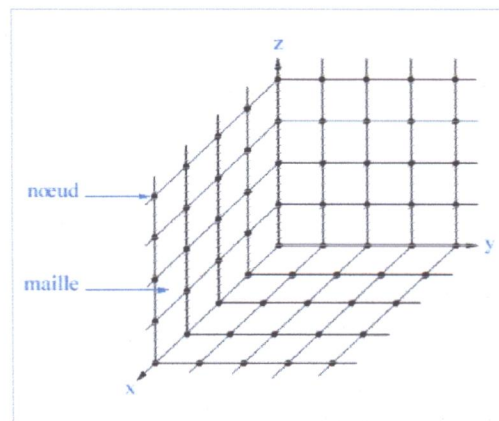


Fig. IV.1 : Organisation tri - périodique d'un cristal

IV.2.2. Principe

La diffraction des rayons X consiste à appliquer un rayonnement de la longueur d'onde des rayons X ($0,1 < \lambda < 10\text{nm}$) sur un échantillon argileux. Le rayonnement pénètre le cristal, où il y a absorption d'une partie de l'énergie et excitation des atomes avec émissions de radiations dans toutes les directions. Les radiations émises par des plans atomiques qui sont en phases vont engendrer un faisceau cohérent qui pourra être détecté. La condition pour que les radiations soient en phase s'exprime par la loi de Bragg (figure IV.2) :

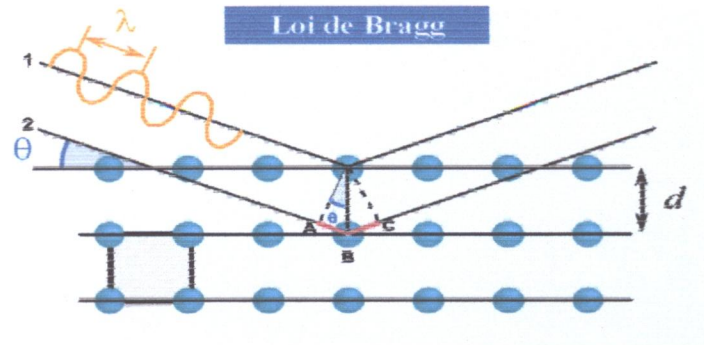


Fig. IV.2 : Loi de Bragg

Différence de chemin parcouru entre les ondes 1 et 2: $\delta = AB + BC = 2 AB$ ou $AB = d \sin \theta$
 donc : $\delta = 2 d \sin \theta$

Interférences constructives si différence de chemin parcouru = $n \lambda$ donc :

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

Où :

n : nombre entier correspondant à l'ordre de la diffraction ;

λ : longueur d'onde du rayonnement utilisé (μm) ;

d : espace basal (synonyme: espace atomique, ou inter-réticulaire), en angströms (\AA) ;

θ : angle de diffraction, en degré ;

Les faisceaux diffractés donnent un diffractogramme qui constitue une empreinte caractéristique de la structure des substances cristallines analysées. Le dépouillement des diffractogramme fournit une véritable carte d'identité des espèces analysées. Le signal de diffraction enregistré donne l'intensité du faisceau diffracté en fonction de θ . Le spectre est formé d'une série de raie correspondant aux réflexions des plans (hkl).

IV.3. Application de la DRX des échantillons du site de Harratène « POS N°03 »

IV.3.1. Objectifs et méthodologie

L'étude minéralogique des argiles issus des marnes postes nappes de la zone de Harratène (POS N°03) a pour but de déterminer les différentes phases minérales (essentiellement argileuse) présentes dans les échantillons prélevés.

La méthode de l'étude minéralogique est effectuée selon la méthode de la poudre totale désorientée, qui consiste à préparer une poudre de l'échantillon globale (analyse de toutes les phases cristallines existantes dans l'échantillon). Cette méthode a été appliquée d'une part faute de moyen de séparation de la fraction argileuse ($< 0,02 \text{ mm}$) présente dans l'échantillon global et d'autre part des produits chimiques indispensables pour l'orientation des minéraux argileux.

Cette technique comporte deux étapes qui sont respectivement : prélèvement et préparation des échantillons.

IV.3.2. Prélèvement des échantillons

La première étape pour l'étude des argiles est le prélèvement d'échantillons représentatifs au niveau de la zone d'étude. Pour ce faire, quatre échantillons ont été prélevés au niveau du site de Mezguitane plus précisément à la partie Nord-Ouest du site profitant des travaux de terrassement engagés par les entreprises de réalisation des 1000 Logts.



Fig. IV.3: Lieux de prélèvement des échantillons

On tient à signaler que les échantillons ont été prélevés sur différentes profondeurs au niveau des marnes et des argiles marneuse (figure IV.3), puis enchâssé dans des sachets hermétique et transportés au laboratoire de matériau pour analyse.

IV.3.3. Préparation des échantillons

Afin de rendre l'identification des minéraux argileux possibles, les échantillons prélevés ont subis des traitements préalables :

- Désagrégation de l'échantillon à la main en petits morceaux (éviter l'utilisation de marteau).
- Imbibition de l'échantillon dans un récipient d'eau à température ambiante, pendant au moins 24h. Cette méthode permettra de rendre l'échantillon plus maniable.
- Tamisage de l'échantillon à voie humide sur le tamis 0,063 mm (63 μm), afin de séparer une grande partie de la fraction $>$ à 0,063 μm et avoir le maximum de la fraction argileuse.
- Laisser l'ensemble en décantation pendant 24h, aucun additif destiné à accélérer le dépôt ni sans utilisation d'un procédé quelconque de centrifugation.
- L'eau claire du bac est Siphonnée sans entrainer de particules solides. L'eau excédentaire est évaporée à une température ne dépassant pas 50°C.

IV.4. Analyse diffractométrique des échantillons étudié

Dans le but de mettre en évidence les phases minéralogiques des échantillons traités, on a fait recours à une analyse par diffraction au rayon X réalisée au niveau du laboratoire de Technologie des Matériaux et du Génie des Procédés de l'université de Bejaia.

L'analyse s'est effectuée après séchage et broyage modéré à la main dans un mortier en agate des échantillons afin d'obtenir la poudre la plus fine possible. Pour pouvoir identifier et traiter

les phases présentes grâce aux intensités et aux positions angulaires de chaque raie de diffraction valeur 2θ , nous avons utilisé le logiciel X'Pert HighScore Plus. Cette identification a été faite en deux étapes : une étape de recherche à partir du logiciel PCPDFWin dans une base contenant tous les signatures possible (Fiches ASTM), puis une confrontation des valeurs 2θ de chaque pic du diffractogramme ou du spectre avec les fiches ASTM.

Grâce à cette analyse par diffraction des rayons X, nous avons obtenu une quantification des proportions de chaque phase présente dans les échantillons, avec détermination de chaque élément.

IV.4.1. Résultats des essais minéralogiques de rayons X (échantillon total)

Le diffractomètre aux rayons X a été utilisé pour déterminer les différents minéraux constituant les échantillons prélevés. L'appareil utilisé est un diffractomètre du laboratoire de Technologie des Matériaux et du Génie des Procédés de l'université de Bejaia couplé à un système informatique, permettant le traitement des résultats obtenus ainsi que le tracé des spectres (Figure IV.4, 5 et 6).

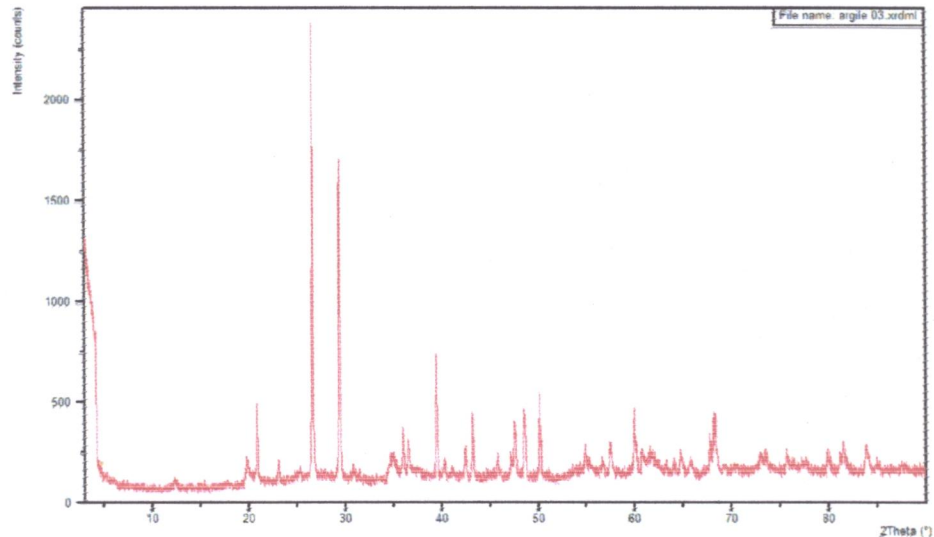


Fig.VI.4 : Résultat de l'analyse par RX d'échantillon total N°03, diffractogramme brut

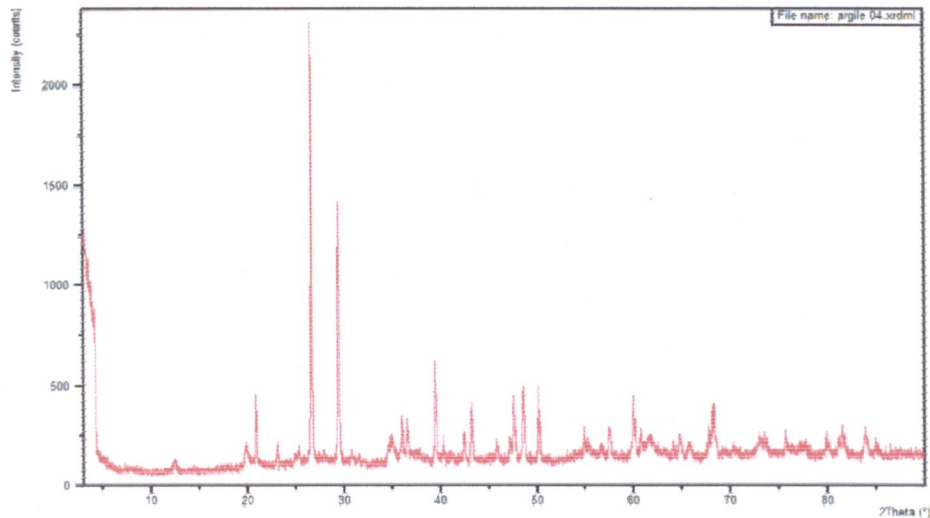


Fig.VI.5 : Résultat de l'analyse par RX d'échantillon total N°04, diffractogramme brut

D'après l'analyse des deux échantillons, est après superposition des deux spectres (figure IV.6), on a pu constater que les deux spectres présentent les mêmes allures et les mêmes raies malgré que les deux échantillons ont été prélevés à des endroits et à des profondeurs complètement différents. (argile 03 de profondeur 9 m et argile 04 de profondeur 10 m)

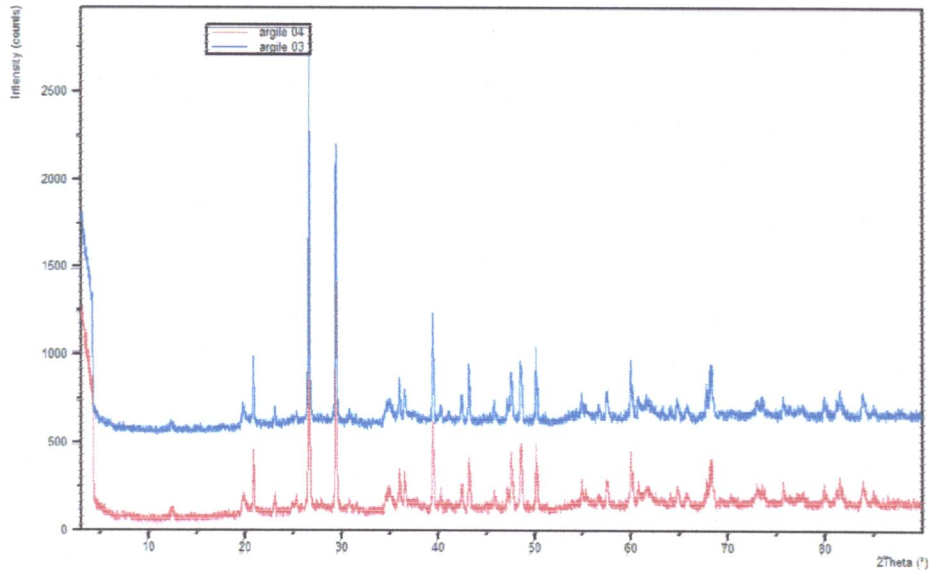


Fig. IV.6. : Résultats de superposition des spectres des deux échantillons

Alors, à l'image des résultats de traitement des deux échantillons, on constate que l'échantillon totale est composé de quartz, de calcite et essentiellement de kaolinite.

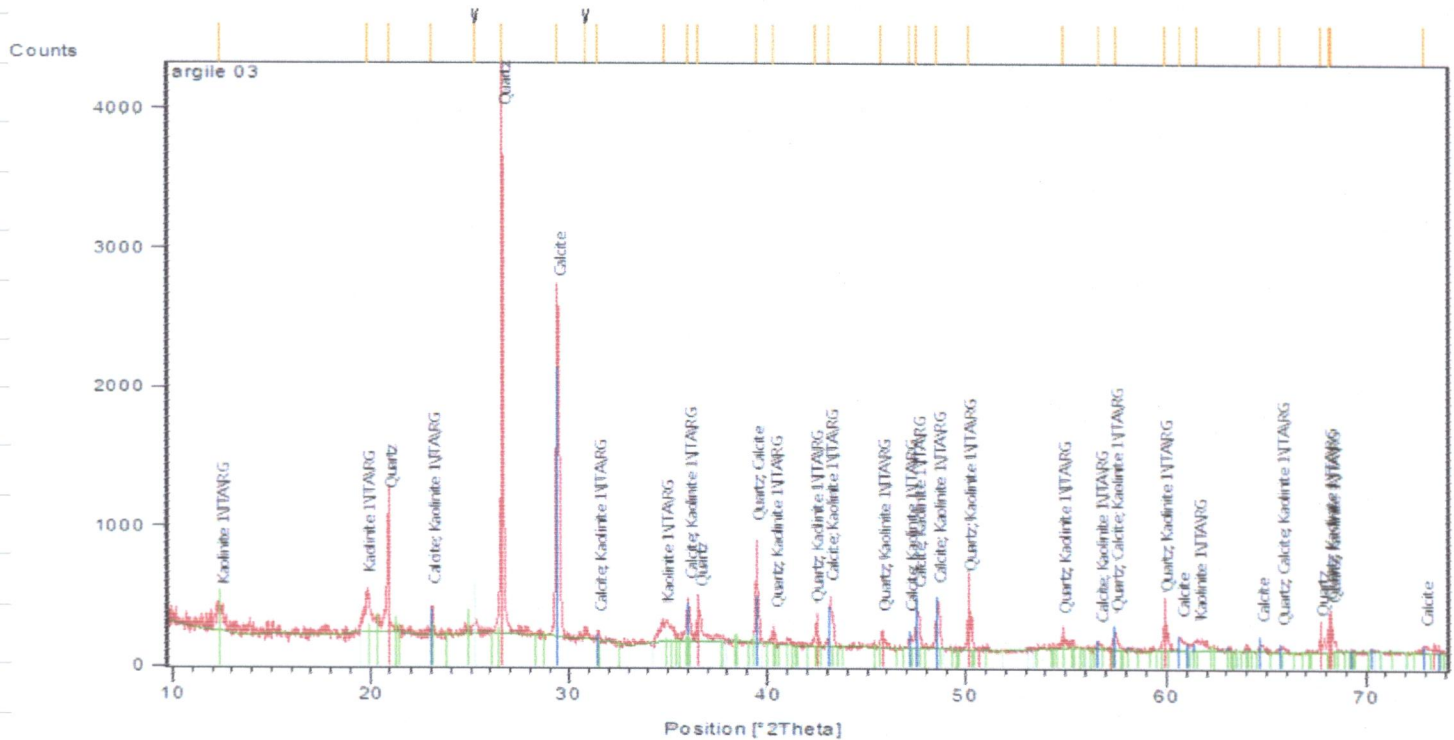


Fig. IV.7 : Résultat de l'analyse par DRX de l'échantillon N°3 après traitement

IV.5. Conclusion :

L'analyse aux rayons X des différents échantillons de ce site, a montré qu'il s'agit d'une roche marneuse constituée de calcite (CaCO_3), de quartz (SiO_2), et d'une argile représentée par de la kaolinite (figure IV.7). Cette dernière est reconnue stable vis-à-vis du phénomène retrait gonflement.

Chapitre V

*Etude géotechniques des
argiles*

V.1. Introduction

L'argile désigne tout matériau naturel, composé de grains fins, qui passe à l'état plastique en présence de teneurs en eau appropriées et durcit par séchage ou par chauffage, la plasticité étant l'aptitude du matériau à acquérir et conserver toute forme possible au façonnage. Les particules d'argile sont des aluminosilicates plus ou moins hydratés dont la structure est constituée d'un empilement de feuillets. Ces minéraux argileux appartiennent en majorité au groupe des phyllosilicates.

De point de vue géotechnique les matériaux susceptibles de gonfler sous l'action de l'eau sont les sols argileux naturels (suivant leur composition minéralogique, leur saturation et la composition chimique de l'eau), les sols argileux compactés, les marnes, les roches argileuses et les roches composées d'anhydrite. Les problèmes posés aux ouvrages de génie civil par le gonflement des sols et des roches sont largement répandus.

Le besoin de tester les sols et les roches en laboratoire par des essais, destinés à caractériser ce mode de comportement et à déterminer les paramètres associés utiles à la conception d'ouvrages neufs ou au confortement d'ouvrages existants, s'est donc fait sentir depuis longtemps.

V.2. Méthodologie d'étude

Dans le présent chapitre nous aborderons la détermination au laboratoire des caractéristiques physiques des échantillons prélevés (limites d'atterberg, masse volumique des particules solides et la valeur du bleu de méthylène), ainsi que la présentation des caractéristiques physico-mécaniques des formations du site de Harratène à partir des études réalisées dans le secteur.

V.2.1. Etablissement d'une banque de données géotechniques

Afin de pouvoir réaliser une étude géotechnique globale du site de Harratène, une banque de données géotechnique a été effectuée (voir annexe). Cette dernière comporte 25 projets, 150 sondages carottés et 08 paramètres géotechniques (C_C , C_g , P_C , W_L , W_P , I_P , C , ϕ). Tous les sondages ont été localisés avec détermination des coordonnées géographiques (Coordonnées WGS puis transformer en Coordonnées UTM) et élaboration de la carte d'implantation des sondages de reconnaissance (figure V.1) à partir d'un système d'information géographique (Arcgis10.0)

Elle a été réalisée à partir des campagnes géotechniques effectuées dans la zone d'étude rentrant dans le cadre de la réalisation de différentes structures telles que les équipements publics (Ecole, centre de santé ... etc.), ainsi que les programmes de logement sociaux.

V.2.2. Prélèvement des échantillons

Le prélèvement d'échantillons a été réalisé au niveau du site de Harratène, plus précisément dans la partie Nord-Ouest du site, profitant des travaux de terrassement engagés par les entreprises, dans le cadre de la réalisation du programme des 1000 Logts OPGI.

Les prélèvements ont été effectués directement dans les formations marneuses à argileux-marneuse du site sur différents profondeurs. En total quatre échantillons ont été effectués, et emballés dans des sachets en plastique hermétique permettant une sauvegarde totale des

échantillons, et sur lesquels une batterie d'essais d'identification a été programmée (tableau V.1).

Tab. V.1 : Essais d'identification physiques réalisés sur les échantillons prélevés

	Masse volumique réelle « ρ_r »	Limites d'aterberg « WL, WP »	Valeur du bleu de méthylène « V_B »
Nbrs d'essais	04	04	04

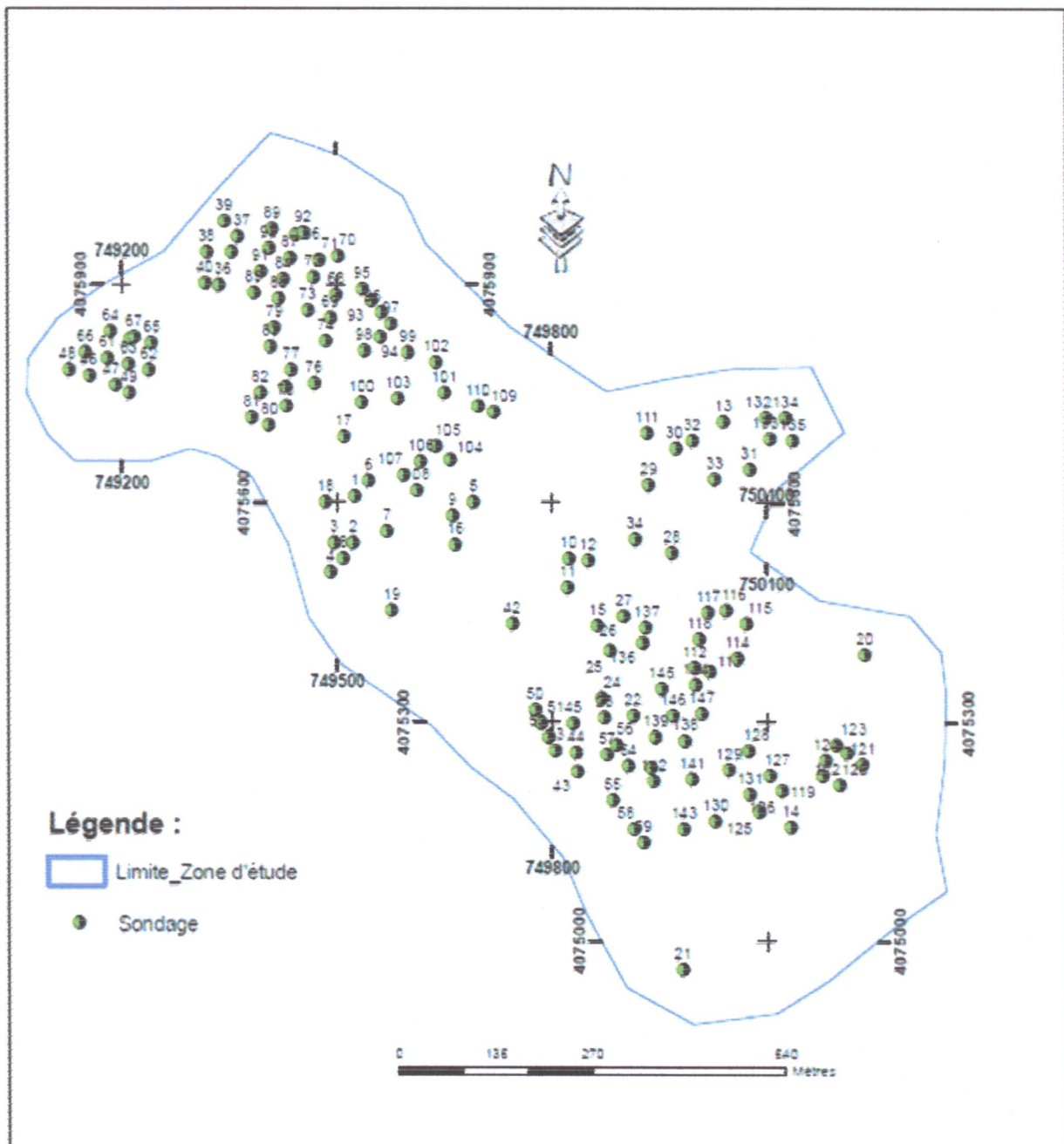


Fig. V.1 : Carte d'implantation des sondages de reconnaissance

V.3. Caractéristiques physiques

V.3.1. Détermination de la masse volumique des particules solides des sols « ρ_s » Méthode du pycnomètre à eau « P94-054 »

La masse volumique des particules solides du sol (ρ_s) est le quotient de la masse de ces particules solides (m_s) par leur volume (V_s),

$$\rho_s = m_s / V_s$$

La masse des particules solides est obtenue par pesage. Le volume est mesuré au pycnomètre.

L'échantillon de sol est séché à l'étuve puis pesé. Le volume des particules est déduit par pesée à l'aide d'un pycnomètre (figure V.2) en substituant de l'eau de masse volumique connue aux particules solides. La masse volumique des particules solides est déterminée à partir de la formule suivante :

$$\rho_s = \rho_w (m_2 - m_1) / (m_4 + m_2 - m_1 - m_3)$$

Avec :

- m_1 : masse du pycnomètre vide ;
- m_2 : masse du pycnomètre contenant la prise d'essai ;
- m_3 : masse du pycnomètre, du sol et de l'eau ;
- m_4 : masse du pycnomètre plein d'eau ;
- ρ_w : masse volumique de l'eau conventionnellement prise égale à 1 000 kg/m³ ;

Les masses volumiques s'expriment en t/m³, en kg/dm³ ou en gr/cm³.



Fig. V.2 : Mesure de la masse volumique des grains solides par la méthode du pycnomètre
(Laboratoire de matériaux, Département STU, 2013)

L'ensemble des résultats de mesure de la masse volumique réelle (ρ_s) des quatre échantillons prélevés sont récapitulés dans le tableau V.2 ci-dessous :

Tab. V.2 : Tableau récapitulatif des résultats de mesure de la masse volumique Réelle « ρ_r » des échantillons

Nature de l'échantillon	Masse volumique réelle en (t/m^3)				Valeur moyenne
	Echan 1	Echan 2	Echan 3	Echan 4	
Argile marneuse	2,64	2,58	2,63	2,62	2,62

D'après les résultats de mesure de la masse volumique réelle des échantillons prélevés, on constate qu'ils présentent des valeurs comprises entre 2,00 et 2,65 t/m^3 avec une moyenne de 2,62 tm^3 .

V.3.2. Limites d'Atterberg « NF P 94 – 051 »

Cet essai a pour but de déterminer la consistance d'un sol fin, qui varie de façon continue selon la teneur en eau lorsque celle-ci augmente, le sol passe successivement de l'état solide à l'état plastique, puis à l'état liquide (figure V.3). L'essai définit conventionnellement les limites entre ces états.

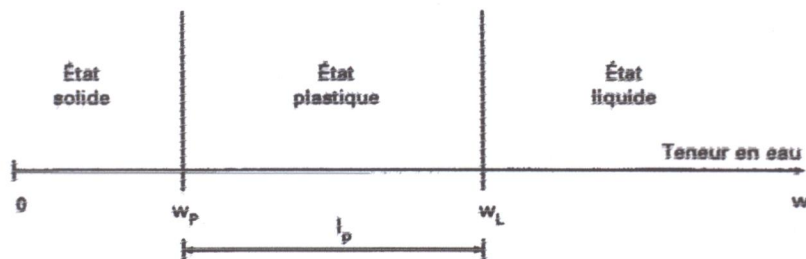


Fig. V.3 : Représentation des limites d'Atterberg (NF P-94-051)

a. Limite de liquidité (W_L)

L'échantillon de sol est mis en place dans la coupelle et on trace un sillon avec l'outil de rainure (voir figure V.04 et 07). La limite de liquidité est le teneur en eau du matériau qui correspond à une fermeture conventionnelle. Elle est donnée, en fonction du nombre de coups (N) pour obtenir cette fermeture par la formule :

$$W_L = W (N/25)^{0,121}$$

W : la teneur en eau de l'échantillon au moment de la fermeture de la lèvres.

N : nombre de coups correspondant à la fermeture de la lèvres.

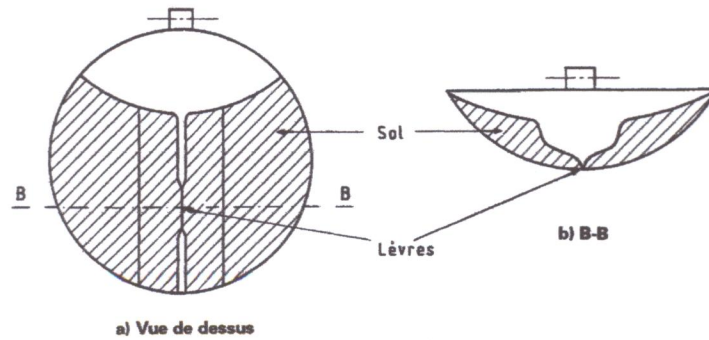


Fig. V.4 : fermeture de la rainure (NF P-94-051)

b. Limite de plasticité (W_p)

A partir d'une boulette d'échantillon qu'on roule sur un marbre à la main, ou avec une plaque, on forme un rouleau aminci progressivement jusqu'à 3 mm de diamètre et sur une largeur de 10 à 15 cm (voir figure V. 5 et 6).

La limite de plasticité est atteinte lorsque le rouleau, soulevé par le milieu se fissure en parties de 1 à 2 cm qui se brise au moment, elle est exprimée en pourcentage. A partir des limites d'Atterberg (W_L , W_p), on définit des indices qui sont largement utilisés en pratique.

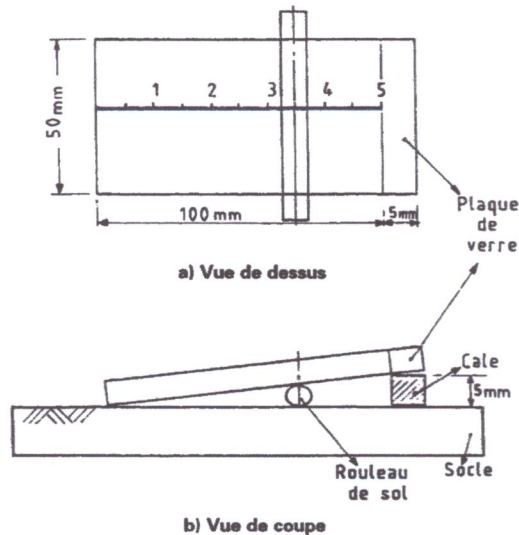


Fig. V.5 : Système d'évaluation du diamètre du rouleau de sol (NF P-94-051)

- **Indice de plasticité (I_p):**

$$I_p = W_L - W_p$$

Il reflète l'étendue de la zone pour laquelle le matériau est plastique.

- **Indice de consistance (I_c):**

$$I_c = (W_L - W) / I_p$$

W : la teneur en eau du sol dans son état naturel et ne comportant pas d'éléments supérieurs à 400 μm .



Fig. V.6 : Matériels utilisé dans la détermination des limites d'atterberg
 (Laboratoire de matériaux, Département STU, 2013)



Fig. V.7 : Détermination de la limite de liquidité à la coupelle, et la limite de plasticité au rouleau
 (Laboratoire de matériaux, Département STU, 2013)

Les PV de calcul des limites sont présentés en annexe, et les résultats trouvés sont récapitulés dans le tableau V. 3 et 4 ci-dessous (voir Annexe) :

Tab. V.3 : Résultats de détermination des limites d'Atterberg des échantillons prélevés

Echan 01			Echan 02			Echan 03			Echan 04		
W _L %	W _P %	I _P	W _L %	W _P %	I _P	W _L %	W _P %	I _P	W _L %	W _P %	I _P
38.8	18.32	20.48	40.2	19.30	20.90	38.90	18.71	20.19	38.50	17.49	21.01

Tab. V.4 : Résultats de détermination des limites d'Atterberg du site d'étude

Limites d'atterberg						
	Zone Nord			Zone Sud		
	W _L %	W _P %	IP	W _L %	W _P %	IP
Moy	42,04	20,48	21,54	56,26	25,89	30,57
Min	30,70	9,70	18,00	38,00	17,00	21,00
Max	64,00	29,30	34,70	69,40	33,40	37,40

L'indice de plasticité I_P permet de définir le degré de plasticité d'un sol comme le montre le tableau V. 5 ci-dessous :

Tab. V.5 : Classifications des sols en fonction de I_p

Indice de plasticité I _p	
0 < I_p < 5	Sol non plastique (sol peu sensible à l'eau)
5 < I_p < 10	Faiblement plastique
10 < I_p < 20	Moyennement plastique
20 < I_p < 40	plastique
I_p > 40	Très plastique

D'après les résultats de l'indice de plasticité « I_P », des échantillons prélevés et de la base de données géotechnique, on constate que la zone d'étude se subdivise en deux zones. Une zone Nord présentant un indice de plasticité moyen de 20.00, caractérisant un sol moyennement plastique et une zone sud faisant ressortir un indice de plasticité moyen de 30.00 et une valeur maximum de 37.00 caractérisant un sol plastique d'après le tableau V.04.

La classification du sol réalisée à partir de l'abaque de *CASAGRANDE* (voir figure V.08), faite à partir de 147 couple de (W_L, I_P), a permis de confirmer la première conclusion, avec une grande partie des échantillons caractérisant un sol argileux peu plastique « A_P » et une autre située au-dessus de la ligne W_L=50% caractérisant un sol très plastique « A_t ».

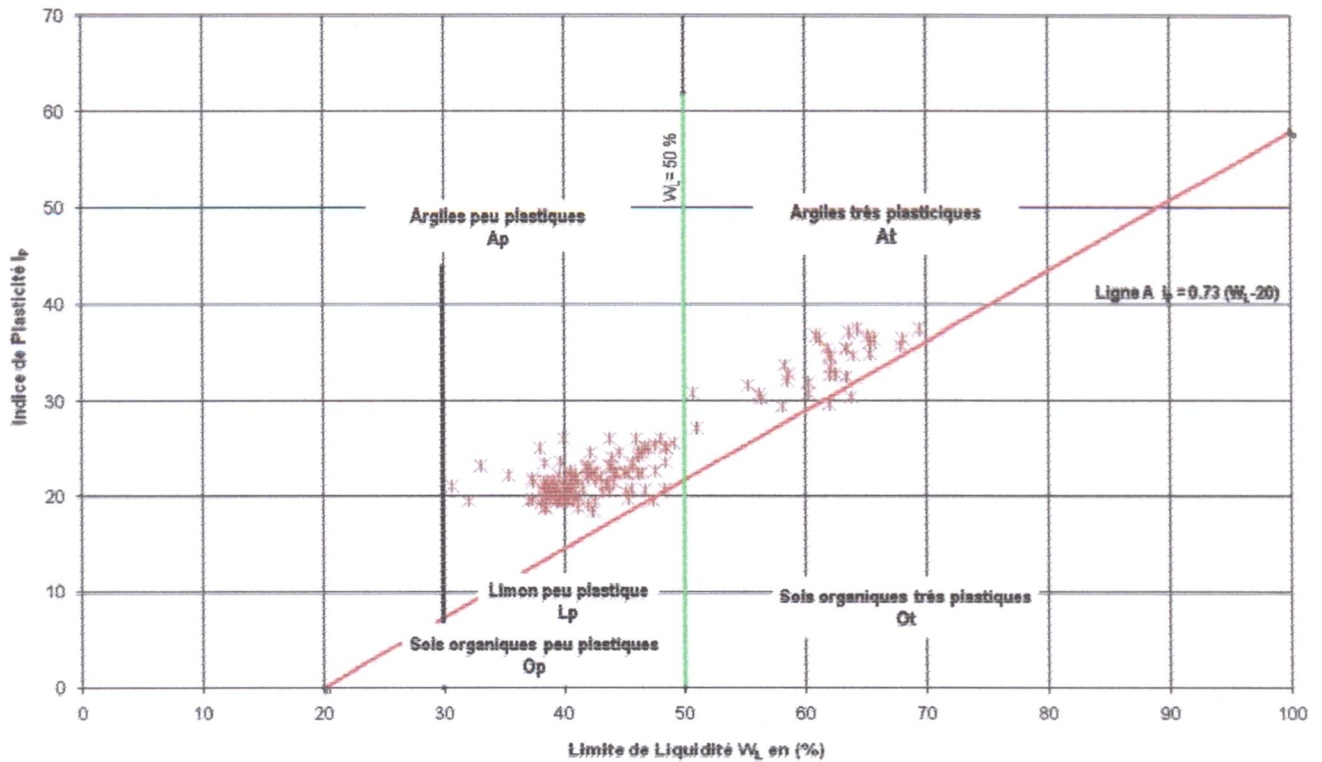


Fig. V.8: Diagramme de plasticité de CASAGRANDE

V.3.3. Mesure de la capacité d’adsorption de bleu de méthylène « P 94-068 »

La valeur de bleu de méthylène d’un sol (V_B) mesure la capacité d’adsorption d’un sol ou d’un matériau rocheux, cette dernière est fonction de la surface spécifiques des particules argileuses. A partir de cette définition, et des données classiques du tableau V.6, on peut déduire qu’un sol en solution aqueuse adsorbiera d’autant plus de bleu que sa teneur en argile est élevée et que ses argiles sont actives.

L’essai au bleu de méthylène, constitue donc un des paramètres d’identification de la classification des sols essentiellement argileux.

Tab. V.6 : Capacité d’échange de cations (CEC) et surface spécifique de quelques argiles (D’après Grim)

Argiles	CEC (meq/100 g)	Surface spécifique totale (m ² /g)
Montmorillonite :		
Ca ⁺⁺	80	300
Na ⁺	150	800
Illite	10-40	40-60
Kaolinite	3-15	5-20
Eléments non argileux		1-3

V.3.3.1. Principe de l’essai

L’essai consiste à mesurer par dosage la quantité de bleu de méthylène pouvant être adsorbée par le matériau mis en suspension dans l’eau. Cette quantité est rapportée par

proportionnalité directe à la fraction 0/50 mm du sol. La valeur de bleu du sol est directement liée à la surface spécifique des particules constituant le sol ou le matériau rocheux.

Le dosage s'effectue en ajoutant successivement différentes quantités de bleu de méthylène et en contrôlant l'adsorption après chaque ajout. Pour ce faire, on prélève une goutte de la suspension que l'on dépose sur un papier filtre, ce qui provoque la création d'une tache. L'adsorption maximale est atteinte lorsqu'une auréole bleu clair persistante apparaît à la périphérie de la tache (figure V.10).



Fig. V.9: Agitateur à ailettes

(Laboratoire de matériaux, Département STU, 2013)

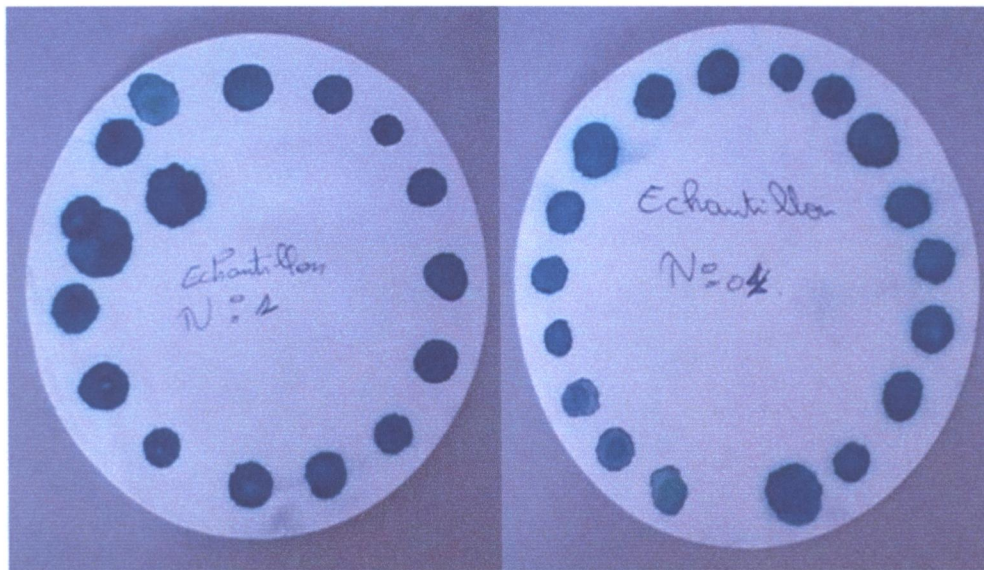


Fig. V.10 : Résultats d'essais de bleu de méthylène

(Laboratoire de matériaux, Département STU, 2013)

A partir du tableau V.7, une subdivision des différentes catégories de sol est faite en fonction de la valeur du bleu de méthylène.

Tab. V.7: Classification des sols en fonction de la valeur du bleu de méthylène « VB »

Valeur de bleu de méthylène (VB)	Catégorie de sol
$V_B < 0,1$	Sol insensible à l'eau
$0,2 < V_B < 1,5$	Sol sablo limoneux, sensible à l'eau
$1,5 < V_B < 2,5$	Sol sablo argileux, peu plastiques
$2,5 < V_B < 6,0$	Sol limoneux de plasticité moyenne
$6,0 < V_B < 8,0$	Sol argileux
$V_B > 8,0$	Sol très argileux

A partir des quatre (04) échantillons prélevés, des essais de bleu de méthylène ont été effectués conformément à la norme française « NF P 94-068 », et les résultats sont présentés dans le tableau V.08 ci-dessous :

Tab. V.8 : Résultats d'essais de bleu de méthylène

	Echant 1	Echant 2	Echant 3	Echant 4
Masse sèche Ms (g)	20	25	20	20
Volume total (cm ³)	80,00	100	80,00	85,00
Masse Bleu	0,80	1.00	0,80	0,85
Valeur « VB »	4,00	4.00	4,00	4,25

D'après les résultats trouvés, on constate que la valeur du bleu de méthylène est homogène pour les trois échantillons avec une moyenne de 4.00, caractérisant un sol argileux de plasticité moyenne d'après le tableau V.7 (résultats valable que pour les échantillons prélevés).

V.4. Caractéristiques mécaniques

V.4.1. Essai de cisaillement rectiligne à la boîte

Le cisaillement est la rupture du sol provoquée par un glissement, Cet essai nous permet d'étudier la rupture du sol et de tracer la courbe intrinsèque du matériau en mesurant un minimum de deux couples (σ_1, τ_1) et (σ_2, τ_2), la courbe ainsi obtenue est une droite, elle nous permettra de déterminer la cohésion (c) et l'angle de frottement interne (φ).

▪ Principe de l'essai

L'essai s'effectue sur une éprouvette de sol placée dans une boîte de cisaillement constituée de deux demi-boîtes indépendantes (voir figure V. 11). Le plan de séparation des deux demi-

boites constitue un plan de glissement correspondant au plan de cisaillement de l'éprouvette. Il consiste à :

- appliquer sur la face supérieure de l'éprouvette un effort vertical (N) maintenu constant pendant toute la durée de l'essai ;
- produire après consolidation de l'éprouvette sous l'effort (N) un cisaillement dans l'éprouvette selon un plan horizontal de glissement des deux demi-boites l'une par rapport à l'autre en leur imposant un déplacement relatif δl à vitesse constante.
- Mesurer l'effort horizontal de cisaillement (T) correspondant ;

On porte sur un papier millimètre gradué ; en abscisses, les contraintes normales et en ordonnées, les contraintes tangentielles correspondant à la rupture. Les couples (σ, τ) déterminent une droite appelée « courbe intrinsèque ».

$$\tau = C + \sigma \cdot \operatorname{tg}\varphi$$

C : cohésion.

φ : Angle de frottement

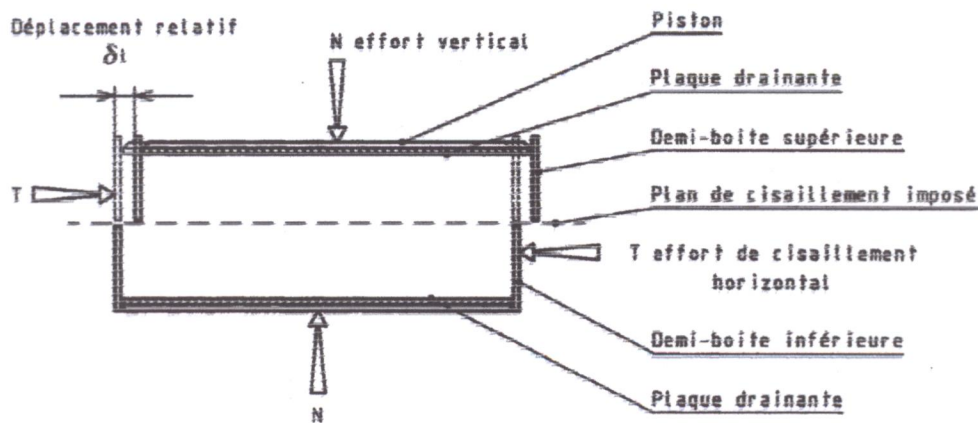


Fig. V.11 : Principe d'un essai de cisaillement rectiligne à la boîte (NF P94 -071-1)

Les valeurs du couple de cohésion C_u et de l'angle de frottement φ_u obtenu à partir de l'essai de cisaillement non consolidé non drainé (résultats voir l'annexe) sont représentés dans le tableau V.9 suivant :

Tab. V.9 : Résultats de détermination des caractéristiques intrinsèques (C et φ)

	Essai de Cisaillement			
	Zone Nord		Zone Sud	
	C (bars)	φ (degrés)	C (bars)	φ (degrés)
Moy	0,52	11,73	0,64	10,73
Min	0,15	3,90	0,29	5,41
Max	0,90	28,08	1,05	28,79

Les valeurs de la cohésion C_u obtenues varient de 0,15 à 1,05 bars avec une moyenne de 0,58 bars. Les angles de frottements ϕ_u sont compris entre 3,0 et 28,0°, pour les valeurs élevées ($>20^\circ$) elles correspondent aux argiles sableuses et les valeurs faibles ($<10^\circ$) correspondent aux argiles.

V.4.2. Essai œdométrique

L'essai de compressibilité à l'œdomètre s'applique sur les sols fins et matériaux fins cohérents, avec chargement par paliers.

▪ Principe

L'essai s'effectue sur une éprouvette de matériau placée dans une enceinte cylindrique rigide (œdomètre). 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 (voir figure V.12).

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.

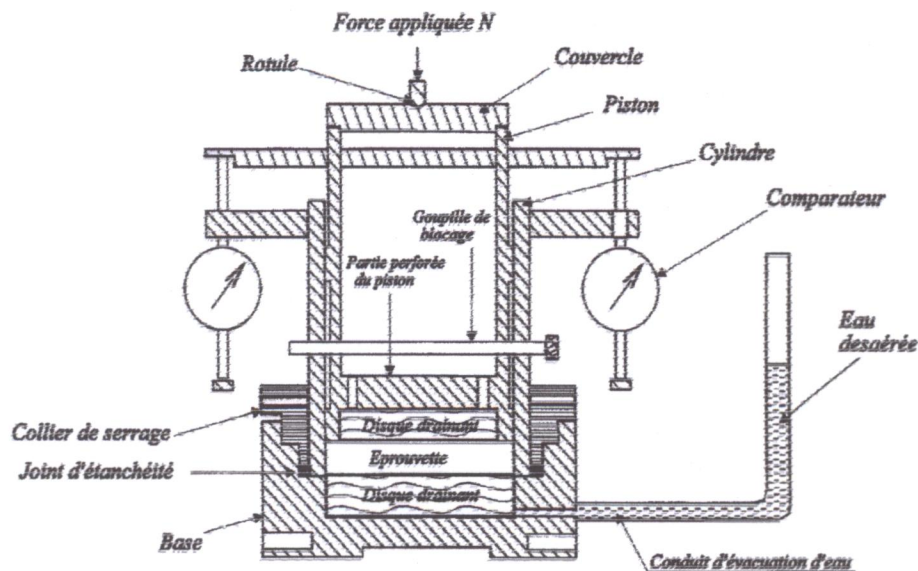


Fig. V. 12 : Cellule œdométrique type Terzaghi
(Norme française NF P 94-090-1)

▪ Expression des résultats

a. Graphiques

Tracer :

- la courbe œdométrique $[e, \lg \sigma_v]$ donnant les variations de l'indice des vides du sol en fonction de la contrainte effective verticale appliquée à l'éprouvette.
- Eventuellement les courbes de consolidation donnant la variation de hauteur de l'éprouvette ΔH_c en fonction du temps, tracés avec des échelles adaptées à la méthode utilisée pour la détermination du coefficient C_v .

b. Indice de compression (Cc)

C'est la pente de la tangente à la courbe vierge de chargement qui permet de préciser la sensibilité du sol au tassement le long de cette courbe.

$$C_c = - \Delta e / \Delta \log \sigma$$

e : indice des vides

σ : contrainte effective verticale

Une classification des sols a été faite suivant l'indice de compressibilité C_c (G. Philipponnat, 1979) :

Tab. V. 10 : Classification des sols en fonction du coefficient de compressibilité C_c

Indice de compressibilité	Degré de compressibilité
$C_c < 0.02$	Sol incompressible
$0.020 < C_c < 0.050$	Sol très peu compressible
$0.050 < C_c < 0.100$	Sol peu compressible
$0.100 < C_c < 0.200$	Sol moyennement compressible
$0.200 < C_c < 0.300$	Sol assez fortement compressible
$0.300 < C_c < 0.500$	Sol très compressible
$C_c > 0.500$	Sol extrêmement compressible

c. Indice de gonflement (Cg)

Il est défini par la pente de la droite de déchargement, soit :

$$C_g = - \Delta e / \Delta \log \sigma$$

La classification des sols en fonction de C_g est comme suite :

$$0,035 < C_g < 0,055 \Rightarrow \text{sol non gonflant}$$

$$C_g > 0,055 \Rightarrow \text{sol gonflant}$$

d. Pression de Consolidation (σ'_c) :

C'est la contrainte effective maximale sous laquelle le sol s'est déjà consolidé au cours de son histoire, elle est déterminée graphiquement selon la méthode de *CASAGRANDE*.

Si la pression de consolidation σ'_c est égale à la pression effective due au poids des terres actuelles ($\sigma'_o = \sum \gamma \cdot H$), on dit que le sol est normalement consolidé.

Si $\sigma'_c > \sigma'_o$, on dit que le sol est surconsolidé

Si $\sigma'_c < \sigma'_o$, on dit que le sol est souconsolidé

Les résultats des essais œdométriques obtenus à partir de la base de données sont récapitulés dans le tableau V.11 ci-dessous.

Tab. V.11 : Résultats des essais œdométrique

Essai de compressibilité						
	Zone Nord			Zone Sud		
	Cc (%)	Cg (%)	Pc (bars)	Cc (%)	Cg (%)	Pc (bars)
Moy	16,85	3,27	2,01	17,87	8,25	2,06
Min	7,70	0,80	1,35	2,70	1,94	0,72
Max	24,10	9,60	3,18	27,14	16,48	4,79

Les valeurs trouvés nous permettent de dire que les sols au niveau de la zone d'étude sont :

- Peu gonflant avec des valeurs moyennes de 3,27 pour la zone Nord, à gonflant avec une valeur moyenne de 8,25 pour la zone Sud ($C_{g_{max}} = 16,48$).
- Moyennement compressible à fortement compressible ($C_c = 16,48$ pour la zone Sud).
- Surconsolidé où $\sigma'_c > \sigma'_o$ (des valeurs de Pc varie de : $2,06 < Pc < 3,27$).

IV.5. Conclusion

La synthèse des résultats obtenue des travaux de reconnaissance géotechnique (base de donnée) et des essais au laboratoire, nous a permis de conclure que :

- le site d'étude est constitué essentiellement par des argiles marneuses brunâtres surmontées par des argiles limoneuses parfois graveleuses dans la partie Sud du site, et des argiles marneuse à marne friable surmontant des marnes grisâtre compacte en profondeur dont le tous et recouvert par des limons argileux parfois sableux.
- La masse volumique réelle des échantillons prélevés présentent des valeurs comprises entre 2,00 et 2,65 t/m³ avec une moyenne de 2,62 t/m³.
- L'analyse des résultats de limites d'atterberg a permet de subdiviser le secteur d'étude en deux zones, une zone Nord caractérisant des sols moyennement plastique (IP moyen de 20), et une zone Sud présentant des sols plastique à très plastiques avec des IP > 30. Cette subdivision a été confirmée par la classification des sols faite d'après l'abaque de CASAGRANDE, d'où on a trouvé qu'une partie des échantillons caractérisent des sols argileux peu plastique « A_p » et une autres située au-dessus de la ligne W_L=50% caractérisant des sols très plastique « A_t ».
- La caractérisation de la fraction argileuse par l'essai du bleu de méthylène a permet d'obtenir une valeur moyenne V_B=4.00, caractérisant un sol argileux de plasticité moyenne.
- L'analyse du potentiel de gonflement des sols par l'essai œdométrique, a mis en évidence des sols peu gonflants (C_g < 0,05 dans la zone Nord), et des sols extrêmement gonflent avec des valeurs de C_g > 16.0 dans la partie Sud. Des sols moyennement compressible à fortement compressible ($C_c = 16,48$ pour la zone Sud) et surconsolidé où $\sigma'_c > \sigma'_o$ (des valeurs de Pc varie de : $2,06 < Pc < 3,27$).

Chapitre VI

*Analyse de la variation
spatiale de l'aléa gonflement*

VI.1. Introduction

Qu'est-ce que le Retrait Gonflement d'Argile ?

L'aléa retrait gonflement concerne exclusivement les sols à dominante argileuse. Il est lié aux variations de teneur en eau de ces terrains qui gonflent en période humide et se dessèchent lorsqu'il fait chaud. Sous une construction, le sol est protégé de l'évaporation et sa teneur en eau varie peu à la différence du terrain qui l'entoure. Ces variations, importantes à l'aplomb des façades, vont donc provoquer des mouvements différentiels du sol notamment à proximité des murs porteurs et aux angles du bâtiment. Par ailleurs, la grande variation de composition minéralogique des formations argileuse est traduite par des propriétés physico-mécaniques assez variables.

L'étude géotechnique des paramètres qui influent directement sur le phénomène de gonflement des formations argileuse au niveau de la zone d'étude (région de Harratène) à permet de constater que ces formations présentent des variations de leurs propriétés d'un point à l'autre. Les variations autour des valeurs mesurées dans les essais créent des incertitudes sur l'estimation des valeurs des paramètres de calcul et par conséquent sur la prévision du comportement des ouvrages. La méthode d'analyse des variations spatiales est souvent fonction du schéma de calcul de l'ouvrage étudié.

Afin de tenter de délimiter les terrains susceptible au phénomène retrait gonflement dans la zone d'étude, il importe de cartographier l'aléa associé, ce qui revient à délimiter les secteurs *a priori* sensibles. Ce chapitre a pour but de présenter une méthode d'analyse des variabilités spatiales qui tiennent compte de la localisation des points de mesure.

VI.2. Matériel et méthodes

Afin de réaliser les cartes de reporting et de prévision, une méthode géostatistique a été retenue : le krigeage. On présentera brièvement cette technique de modélisation spatiale puis en exposera les données qui sont à disposition pour permettre de réaliser les cartes d'aléas de gonflement.

VI.2.1. Présentation du logiciel "ArcGis"

Le logiciel **ArcGis 10.0** est un système d'information géographique développé par la société **ESRI** (Environmental Systems Research Institute). C'est un outil pour gérer, visualiser, cartographier, interroger et analyser toutes les données disposant d'une composante spatiale. ArcGis se décline en trois licences aux fonctionnalités croissantes : **ArcView**, **ArcEditor** et **ArcInfo**.

ArcGis comprend une suite d'applications intégrées :



ArcMap



ArcCatalog



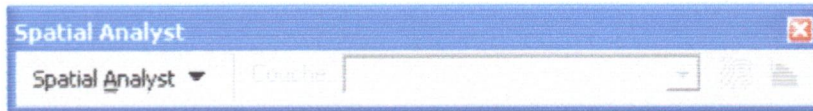
ArcToolbox

A l'aide de ces trois applications, vous pouvez effectuer toutes les tâches SIG, de la plus simple à la plus avancée, y compris la cartographie, la gestion des données, l'analyse géographique, la mise à jour des données et le géotraitement... etc.

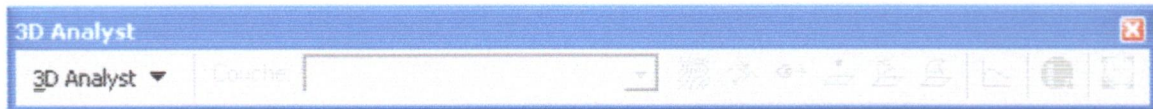
Pour le cas de notre étude l'application que nous avons utilisée est ArcMap. Elle est utilisée pour toutes les tâches de cartographie et de mise à jour ainsi que pour les analyses associées aux cartes.

Les extensions les plus connues d'ArcGis sont les suivantes :

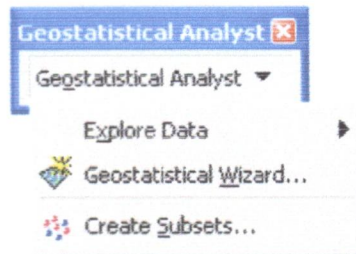
- **Spatial Analyst** : Modélisation spatiale avancée



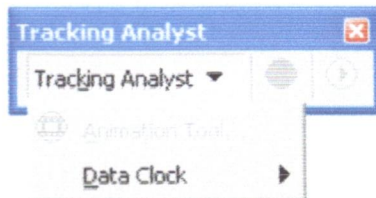
- **3D Analyst** : Modélisation 3D



- **GéoStatistical Analyst** : Analyses et cartographie avancée



- **Tracking Analyst** : Analyses de données temporelles



L'extension **GéoStatistical Analyst** que nous allons utiliser pour la détermination de la distribution spatiale de l'aléa retrait-gonflement.

ArcGIS Geostatistical Analyst est une puissante suite d'outils d'exploration de données spatiales et de génération de surfaces optimales basée sur des méthodes statistiques sophistiquées.

ArcGIS Geostatistical Analyst permet de créer une surface à partir des données mesurées sur une zone où il s'avèrerait difficile de collecter des informations pour toutes les localisations possibles.

ArcGIS Geostatistical Analyst permet à toute personne disposant de données spatiales d'explorer, de visualiser et de créer des surfaces optimales. Il permet d'exploiter ces outils et techniques dans une interface utilisateur conviviale et dynamique.

Avec ArcGIS Geostatistical Analyst on peut :

- Explorer la variabilité des données, rechercher des données annexes et examiner des tendances,
- Créer des prédictions, des prédictions d'erreur standard, des quantiles et des cartes de probabilité,

- Utiliser différentes représentations pour visualiser des surfaces, y compris des contours (isolignes), des contours pleins, des grilles normales (interpolation de blocs) et des ombrages,
- Etudier l'autocorrélation spatiale et la corrélation entre plusieurs jeux de données.

VI.2.2. Une méthode géostatistique : Le Krigeage

Le krigeage est une technique géostatistique de modélisation spatiale permettant, à partir de données dispersées, d'obtenir une représentation homogène des informations étudiées. Dans l'analyse du phénomène retrait gonflement, on ne dispose que d'un certain nombre de mesures (sondages) qui vont fournir les données. Le krigeage nous permettra donc, à l'aide des paramètres (I_p et C_g) obtenus au niveau des sondages, d'estimer les variations des paramètres hors sondages. Il sera alors possible de créer une carte étendant les mesures à tout l'espace. D'autres techniques géostatistiques permettent de faire ce travail mais le krigeage a l'avantage de prendre en compte les distances entre les données (les sondages), les distances entre les données et la cible (le point pour lequel on veut estimer la mesure) et la structure spatiale (grâce à l'analyse variographique).

Les méthodes statistiques classiques telles que la régression linéaire se basent sur une hypothèse fondamentale qui est l'indépendance des variables. Or, lorsqu'une variable est spatialement autocorrélée, cette hypothèse n'est plus vérifiée. Ainsi, le krigeage va se baser sur cette nouvelle hypothèse : l'autocorrélation spatiale des données. Concrètement, cela signifie que deux données rapprochées dans l'espace tendent à posséder des caractéristiques similaires.

Dans la théorie de l'interpolation spatiale, la région de l'espace géographique concernée par l'étude est appelée «champ», notée D . La variable régionalisée que l'on étudie est vue comme une réalisation d'une fonction aléatoire $\{Z(s), s \in D\}$ et toute valeur régionalisée $z(s_i)$ est considérée comme une réalisation d'une variable aléatoire $Z(s_i)$.

VI.2.2.1 Analyse variographique

Pour appliquer ce type d'interpolation par krigeage, il est nécessaire d'explorer la structure spatiale des données afin de vérifier si celles-ci sont bien autocorrélées. L'analyse variographique va nous permettre de mener cette étude à bien. L'outil principal permettant cette analyse est le semi-variogramme qui décrit l'évolution de la semi-variance en fonction de la distance entre les mesures et permet ainsi d'étudier le lien spatial entre les données. Il est défini de la manière suivante :

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \text{Var}(Z(s+h) - Z(s)) \quad \forall s \in D$$

Où :

- $Z(.)$ est la variable régionalisée étudiée
- s est le vecteur des coordonnées
- h est le vecteur distance
- D est le domaine géographique considéré.

Le graphique de la figure .1 expose un exemple de variogramme ainsi que les propriétés que l'on peut rencontrer.

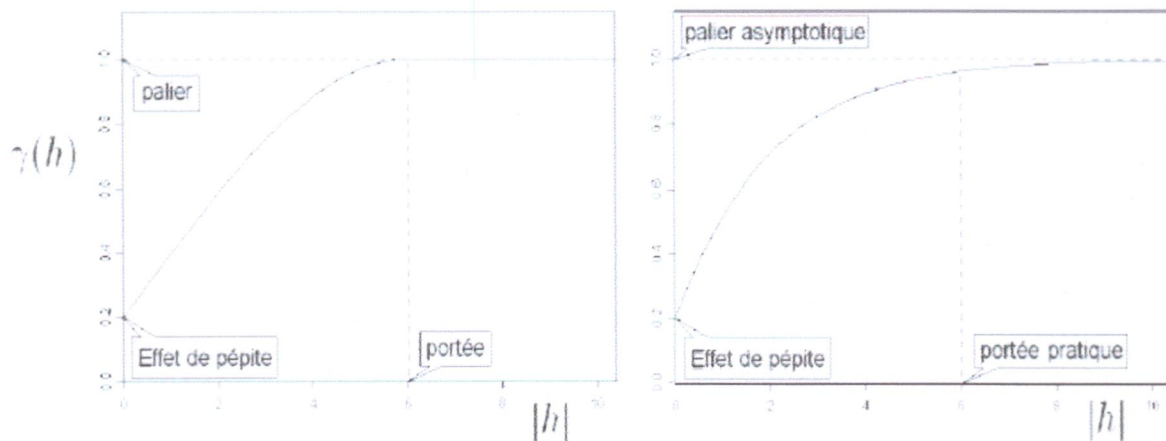


Fig.VI. 1: Propriétés d'un variogramme

Ces propriétés sont les suivantes :

• **Effet de pépité :**

L'effet de pépité correspond à la limite du variogramme en zéro. Elle représente donc la variation entre deux mesures très proches et peut donc provenir de trois effets :

- une variabilité naturelle du paramètre mesuré (dans le cas où il est mesuré à deux instants différents par exemple).
- une variabilité de l'instrument de mesure : la pépité mesure donc en partie l'erreur statistique de l'instrument de mesure.
- un réel effet pépité : une variation brutale du paramètre mesuré.

• **Portée et Palier :**

Lorsque h augmente, le variogramme (h) peut ou non atteindre un plateau. L'atteinte d'un plateau indique qu'à partir d'une certaine distance, il n'y a plus de dépendance spatiale entre les données.

Cette distance est nommée **portée** et le terme **palier** dénote la variance à laquelle le plateau se présente. Un palier peut n'être atteint qu'asymptotiquement. Dans ce cas, la portée réelle est infinie mais une portée pratique est définie par la distance à laquelle le variogramme atteint 95% de la valeur de son palier.

En pratique, l'analyse variographique va se dérouler en deux étapes :

• **Estimation du variogramme**

A l'aide des mesures obtenues sur les différents sondages, on estime le variogramme par la méthode des moments (méthode qui consiste à estimer l'espérance par la moyenne empirique). Cet estimateur est défini de la façon suivante :

$$\gamma(h) = \frac{1}{2|N(h)|} \sum_{N(h)} [z(s_i) - z(s_j)]^2$$

où :

- h correspond à une distance
- $z(s_j)$ correspond à la valeur de la variable régionalisée au point s_j
- $N(h) = \{(i, j) \text{ tel que } s_i - s_j = h\}$
- $|N(h)|$ est le nombre de paires distinctes de l'ensemble $N(h)$

Si les données sont réparties sur une grille régulière couvrant le champ D , $\gamma(\cdot)$ est estimable pour un petit nombre de distances, chacune associée à plusieurs couples de points. Toutefois, les données sont souvent réparties de façon irrégulière sur D . Dans ce rapport, nous serons dans ce cas, les stations de mesures étant irrégulièrement réparties sur le territoire.

Une notion de **pas**, noté p , est alors introduite. Le variogramme sera calculé seulement pour certaines distances $\{r_1 = p, r_2 = 2p, \dots, r_k = k_p, \dots, r_n = P\}$ où P est la **portée maximale** qui correspond à la distance maximale de prise en compte des mesures. L'ensemble $N(r_k)$ est ainsi redéfini par

$$N(r_k) = \{(i, j) \text{ tel que } r_{k-1} < |s_i - s_j| \leq r_k\} \text{ avec } r_0 = 0.$$

Le calcul du variogramme expérimental (variogramme estimé) requiert donc la spécification de ces deux paramètres. Une «mauvaise» spécification de ces derniers peut conduire à des variogrammes expérimentaux impossibles à interpréter et à modéliser. Un pas trop petit fera que peu de couples de stations seront pris en compte pour le calcul du variogramme alors qu'un pas trop grand générera un variogramme trop lisse.

Pour les besoins de la présente étude, nous utiliserons le logiciel Arcgis 10.0 pour estimer le variogramme expérimental. Les paramètres **pas** et **portée maximale** sont à fournir en degré.

• Modélisation du variogramme

Une fois le variogramme estimé, il convient de le modéliser par une fonction de référence (modèle exponentiel, sphérique...). Ce modèle aura alors toutes les propriétés requises pour effectuer un krigeage sur nos données.

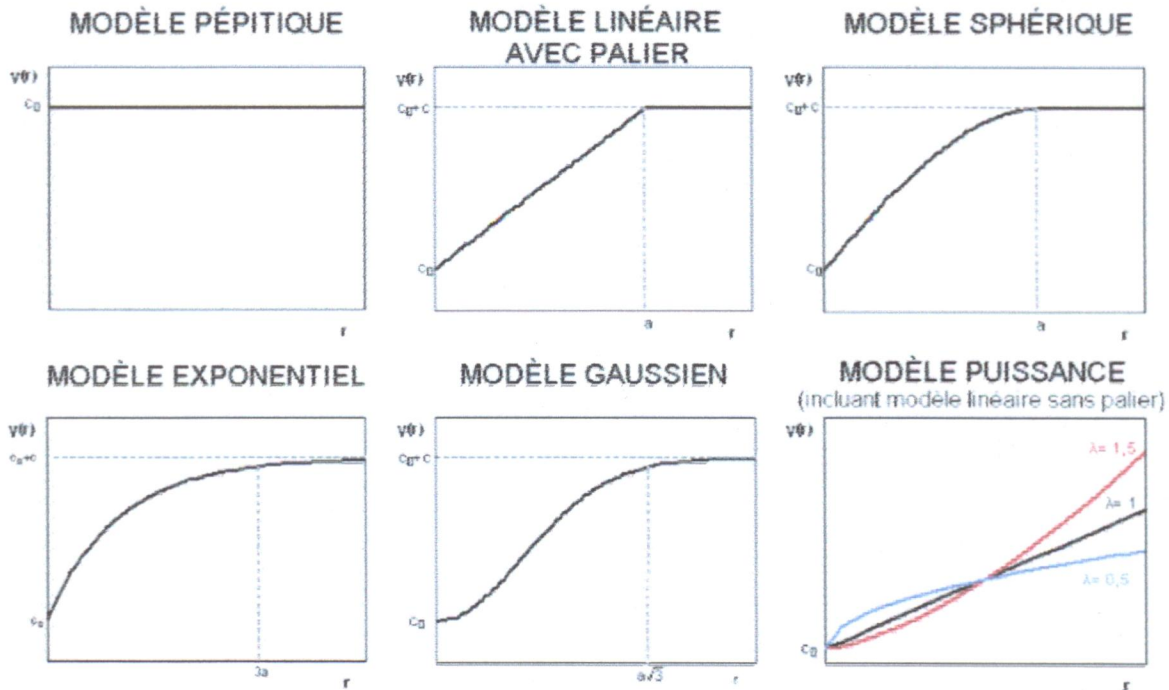


Fig.VI.2: Représentation des différents modèles de variogramme

Le modèle le plus couramment utilisé (et celui utilisé pour la présente étude) est le modèle *Sphérique* défini de la manière suivante :

$$\gamma(h) = \begin{cases} c_0 + c \left(\frac{3r}{2a} - \frac{1}{2} \frac{r^3}{a^3} \right) & \text{pour } 0 \leq r \leq a \\ c_0 + c & \text{pour } r > a \end{cases}$$

où :

- c_0 correspond à l'effet pépite
- $c_0 + c$ correspond au palier
- a correspond à la portée

VI.2.2.2. Le krigeage

Le modèle de base du krigeage a la même forme que le modèle de régression classique mais les erreurs sont maintenant supposées dépendantes spatialement. Il s'énonce de la façon suivante :

$$Z(s) = \mu(s) + \delta(s) \quad \forall s \in D$$

où :

- $\mu(\cdot)$ constitue la structure déterministe pour l'espérance de Z .
- $\delta(\cdot)$ est une fonction aléatoire stationnaire.

Pour formuler complètement le modèle, il faut spécifier la forme de la tendance $\mu(\cdot)$. C'est en fait cette tendance qui précise le type de krigeage effectué. Les quatre types classiques de krigeage sont les suivants :

- Le krigeage simple : $\mu(s) = m$ est une constante connue.

- Le krigeage ordinaire : $\mu(s) = \mu$ est une constante inconnue.
- Le krigeage universel : $\mu(s) = \sum_{j=0}^p f_j(s)\beta_j$ est une combinaison linéaire de fonctions de la position s .
- Le krigeage avec dérive externe : $\mu(s) = \sum_{j=0}^p f_j(\omega)\beta_j$ où $\omega = (\omega_1(s), \dots, \omega_p(s))$ est le vecteur des valeurs prises par les q variables régionalisées auxiliaires au point s . Ce type de krigeage consiste à interpoler la variable régionalisée $Z(.)$ en ajoutant des variables explicatives au modèle (appelées variables auxiliaires).

L'idée de base du krigeage est de prévoir la valeur d'une variable régionalisée z en un site non échantillonné s_0 par une combinaison linéaire des données ponctuelles adjacentes. On veut une estimation non biaisée et de variance minimale.

Remarque : Le type de krigeage utilisé pour la suite de cette étude est le krigeage dit ordinaire qui suppose que pour tout point du domaine s_i , la variable aléatoire $Z(s_i)$ a une espérance constante inconnue.

VI.2.3. Présentation des données

VI.2.3.1. Sondages de reconnaissance

La zone d'étude (région de Harratène) a connu ces dernières années une croissance considérable de point de vue agglomération par la réalisation d'un important programme de logement et d'équipement publics. A partir des différents travaux de reconnaissance géotechnique réalisés dans le site, nous avons pu établir une banque de données géotechnique englobant en tout 25 projets, plus de 150 sondages et 08 paramètres géotechniques.

Pour ce faire, la carte topographique (DJIDJELLI N° 3-4 à l'échelle 1/25 000) englobant la zone d'étude a été géoréférencée, et les sondages implantés après transformation des coordonnées WGS en coordonnées UTM.

Les valeurs de paramètres géotechniques (I_p et C_g) déterminés au niveau de chaque sondage constituent les données de départ pour effectuer le krigeage et réaliser les cartes attendues. En fonction du paramètre géotechnique étudié, différents sondages entreront en compte pour le krigeage. En effet, comme le montre la figure 3, il existe plusieurs sondages en fonction du paramètre à modéliser (147 sondages pour l'indice de plasticité et 128 sondages pour le coefficient de gonflement).

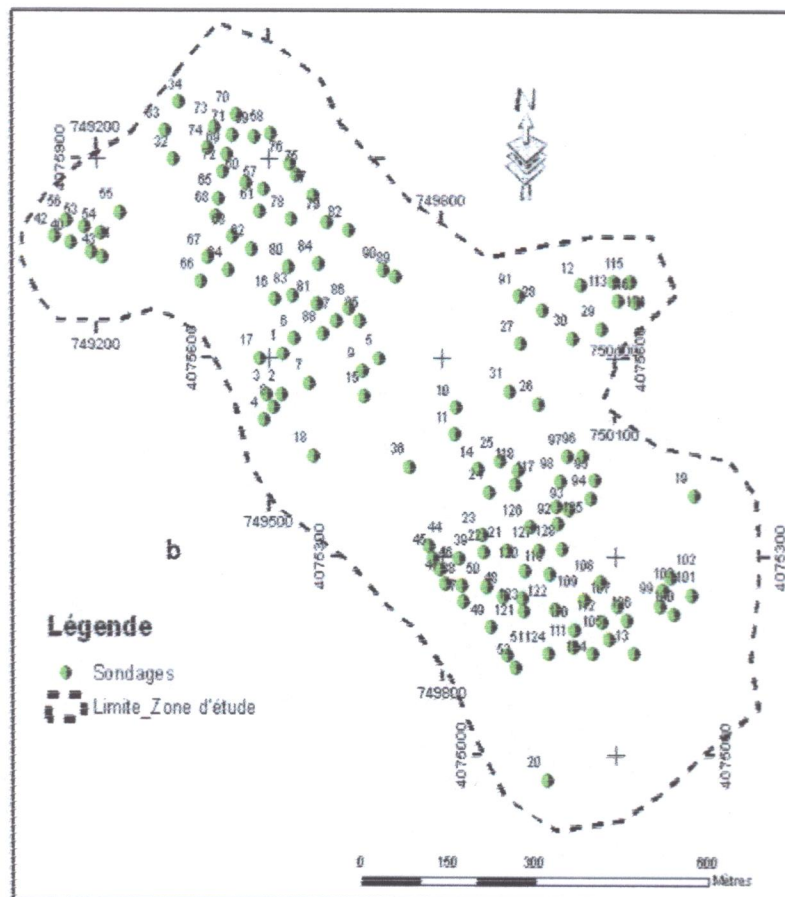
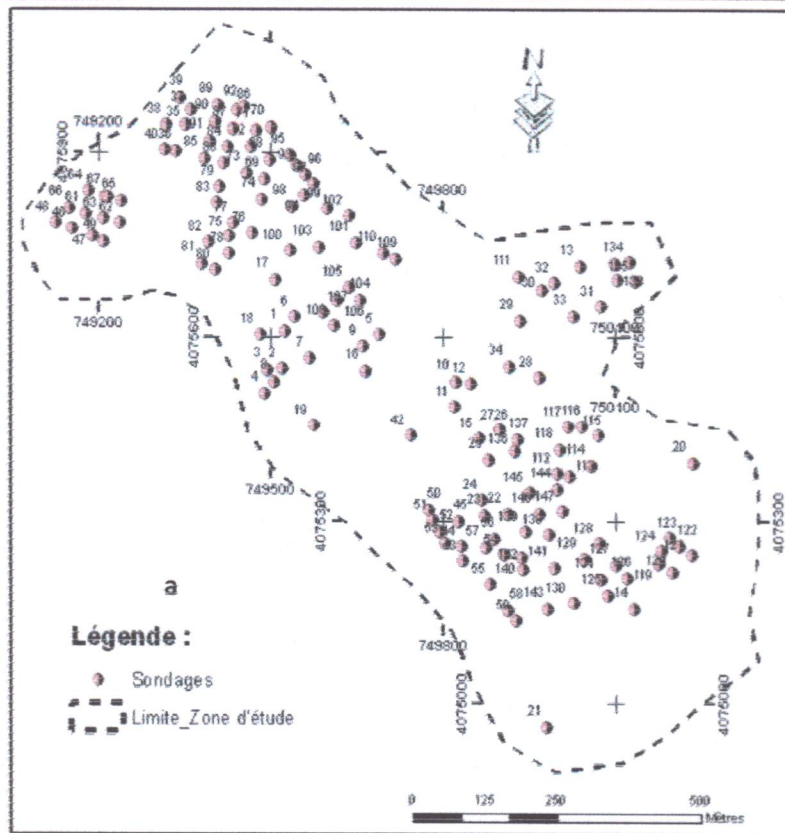


Fig.VI.3: Carte d'implantation des sondages de reconnaissance
(a) variation de l'indice de plasticité (b) Variation du coefficient de gonflement

VI.2.3.2. Les différents paramètres géotechniques étudiés

Le phénomène de retrait gonflement peut être quantifié par plusieurs essais (essai de gonflement, essai oedométrique, limites d'aterberg, valeurs au bleu de méthylène ... etc), et parmi les paramètres qui peuvent nous informés sur ce phénomène ces l'indice de plasticité « I_p » et le coefficient de gonflement « C_g » que nous allons les utilisées pour la présente étude.

Les spécifications de classification des sols en fonction de ces paramètres sont bien définies et fixe les seuils d'information et d'alerte des sols gonflant (voir chapitre V), elles représentent le document de base dans l'élaboration des projets de fondation afin d'éviter tous risque de problème de désordre dans le bâti.

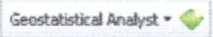


Pour la présente étude, deux cartes feront l'objet de réalisation, afin de pouvoir estimer le phénomène de retrait gonflement. La première présente la variation de l'indice de plasticité « I_p » et la deuxième c'est la variation du coefficient de gonflement « C_g ».

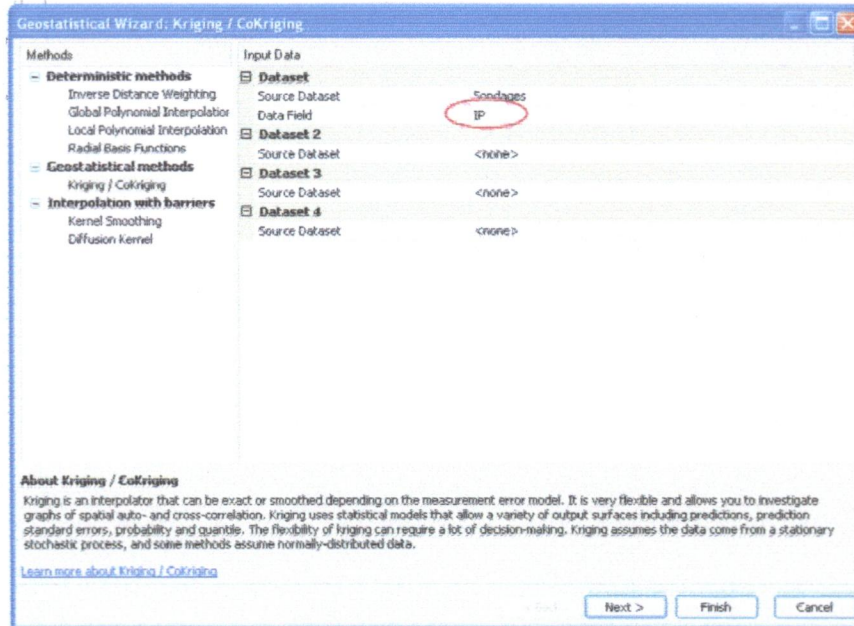
VI.2.4. Mise en œuvre du krigeage

Pour l'élaboration des cartes, les données de modélisation sont celles tirées de la base de données géotechnique (voir annexe), et le logiciel de modélisation utilisé et un système d'information géographique ArcGIS 10.0, dont l'extension *Geostatistical Analyst d'ArcGIS* propose des outils statistiques, y compris le Krigeage, pour analyser et représenter sur une carte de données continues et pour générer des surfaces. Des outils d'analyse exploratoire de données spatiales proposent différentes perspectives sur les données : leur répartition, les tendances globales, le niveau d'auto-corrélation spatiale et la variation entre des jeux de données multiples.

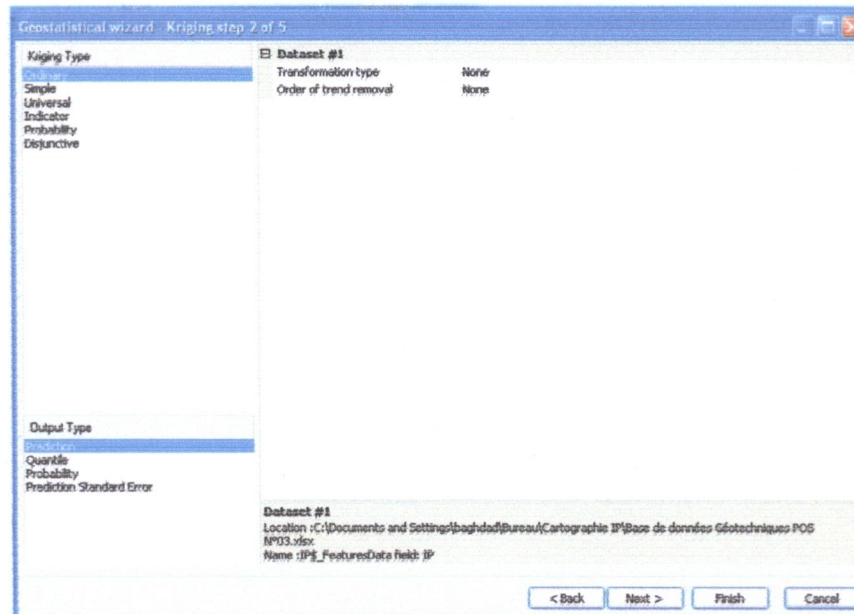
A des fins de représentation spatiale des sorties de modélisation une projection de type UTM « Transverse universelle de Mercator » a été choisie pour définir la grille de calcul. Pour des raisons de facilité de calcul sous ARcGIS, il a été choisi d'interpoler les sorties de modélisation sur une grille régulière en X/Y.

Les différentes étapes pour réaliser les cartes sont résumées sur le schéma ci-après.

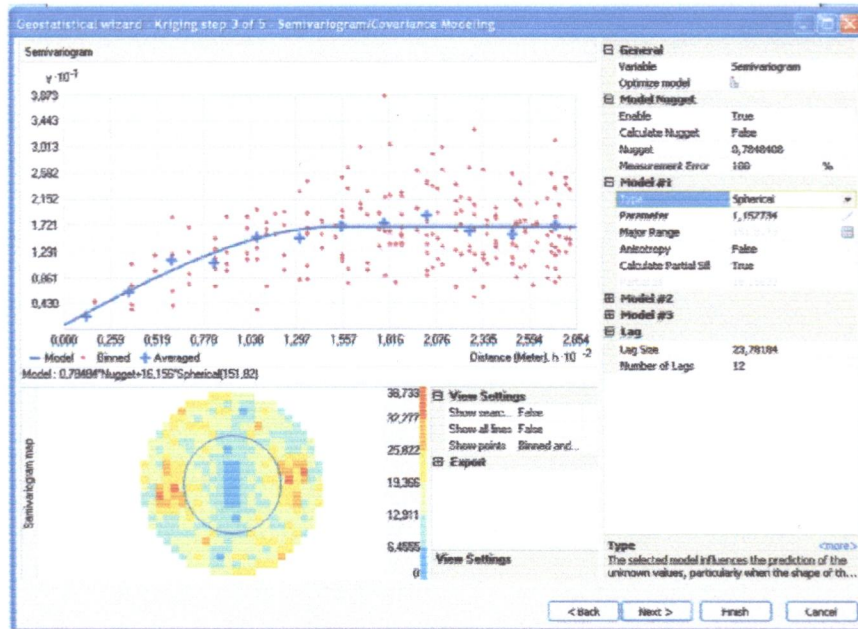
- ☞ Cliquez sur Geostatistical Analyst ⇒ Sélectionnez  Choisissez les paramètres de base : Sélectionnez la méthode statistique utilisée : "Kriging" ; Choisissez  Source Dataset  Sondages comme Input data ; Choisissez la variable à estimer (Attribute), dans ce cas c'est IP ⇒ Cliquez sur Next.



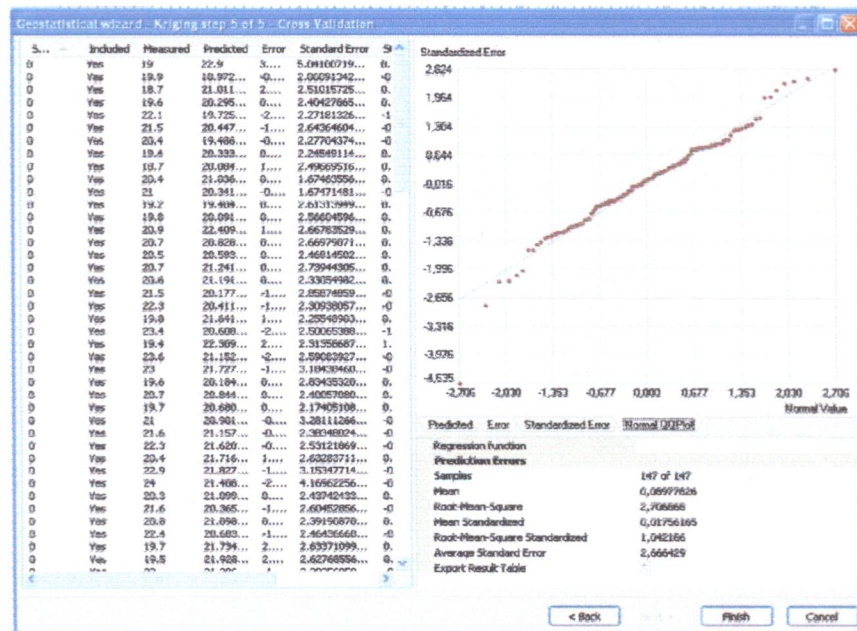
- ☞ Il existe plusieurs méthodes de Krigage, on va choisir ici le **Krigage ordinaire**: Ordinary Kriging ⇒ Choisissez **Prediction Map** comme Output et None comme Transformation ⇒ Cliquez sur Next.



- ☞ Selon nos besoins, nous pouvons modifier les paramètres affichés par défaut : Dans notre cas cochez la case "**Model 1**" ⇒ Sélectionnez "**Spherical**" ⇒ Cochez "**Anisotropy**" ⇒ lancer l'optimisation du modèle ⇒ Cliquez sur Next.



- ☞ Laissez par défaut l'étape 4 sur 5 (Searching Neighborhood) ⇒ Cliquez sur Next.
- ☞ Finir par valider le Krigeage en cliquant sur Finish ⇒ Une fenêtre de récapitulation (Method Summary) ⇒ Cliquez sur OK ⇒ La surface interpolée s'affiche.



VI.2.5. Présentation des résultats

L'objectif principal de cette procédure est de présenter les résultats de krigeage obtenus à l'aide du logiciel ArcGIS et d'en vérifier la validité ou tout au moins la cohérence.

Pour chaque paramètre géotechnique, les points de mesures pris en compte dans l'étude sont représentés sur une carte de manière à visualiser la distribution spatiale des mesures. Pour cela deux cartes ont été réalisées, l'une de variation de l'indice de plasticité « I_p » et l'autre pour la variation spatiale du coefficient de gonflement « C_g » (voire Figure 3 et 4).

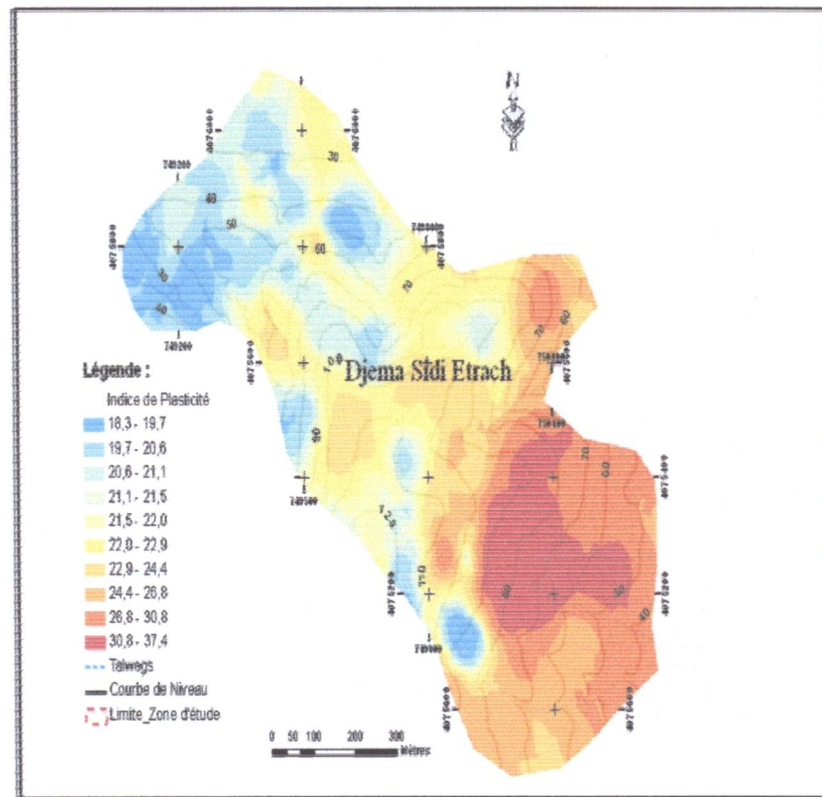
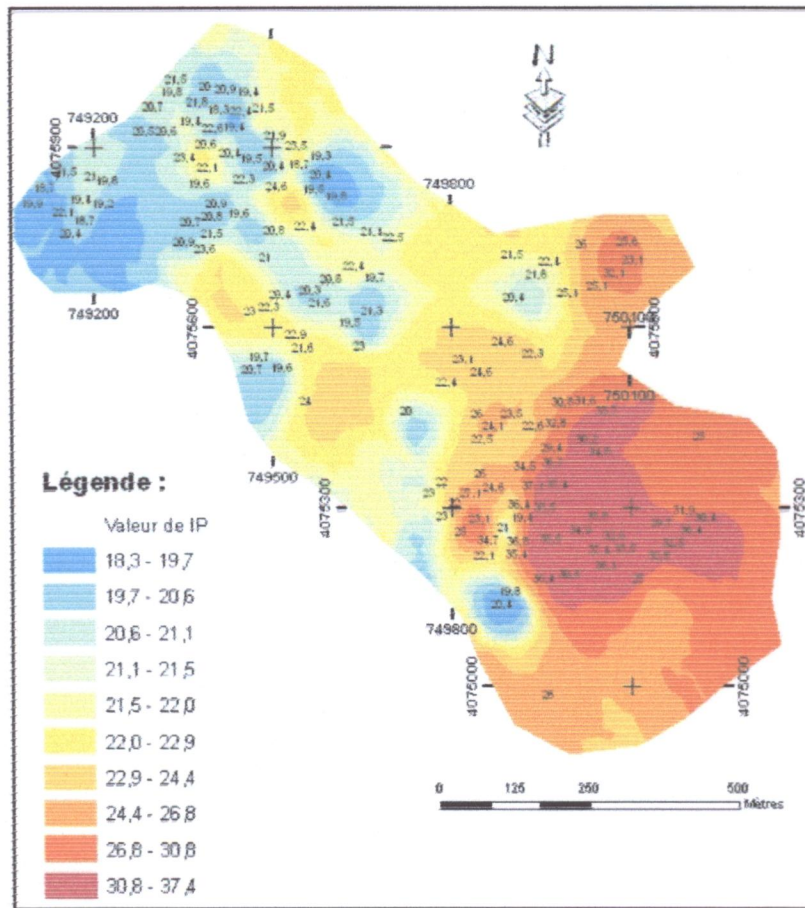


Fig.VI.4: Résultat de krigage du paramètre Indice de plasticité « I_p »

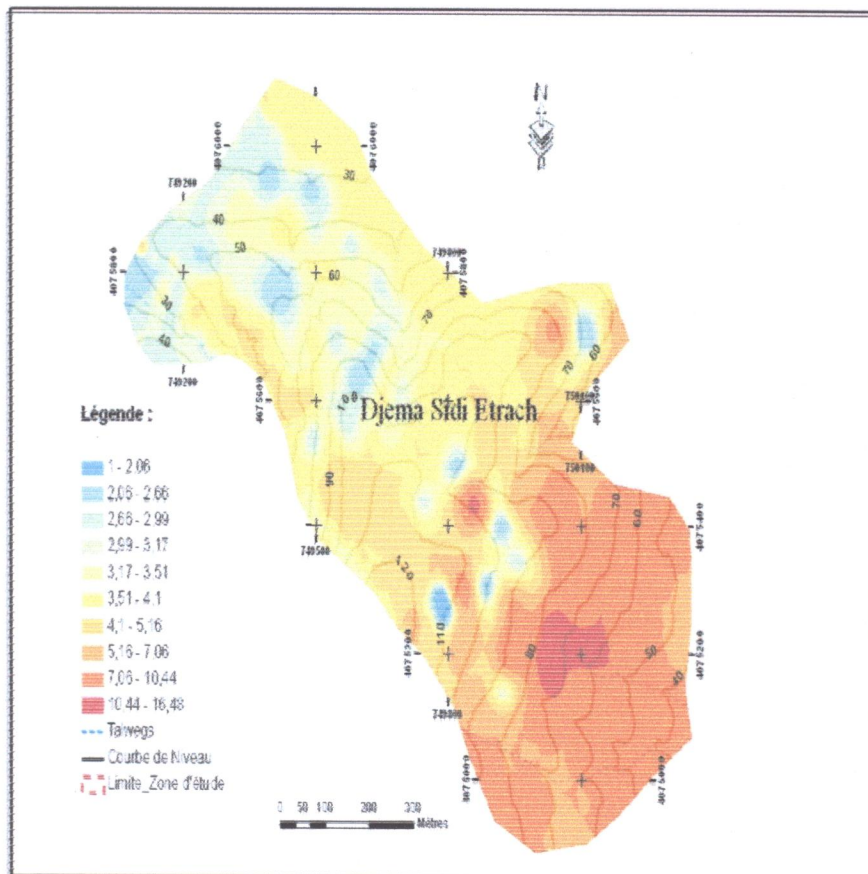
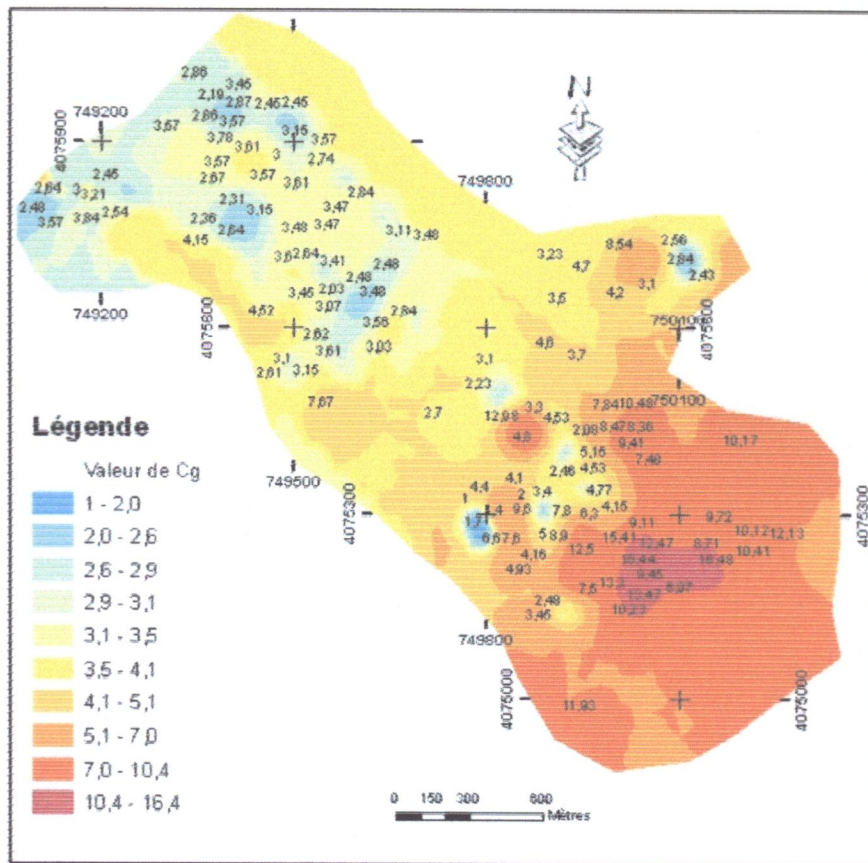


Fig.VI.5: Résultat de krigeage du paramètre coefficient de gonflement « Cg »

Sur les deux cartes de variation spatiale de « I_p » et « C_g », obtenues à l'aide des différents modèles, on remarque que les concentrations des sols présentant un potentiel de gonflement se trouvent au niveau de la rentrée de la zone de Harratène, plus précisément dans la partie Sud (à l'emplacement de Ecole Base 07, 173 Logts et lycée de Harratène).

On constate aussi que du point de vue topographique les sols potentiellement gonflant occupent les parties les plus basses de la zone d'étude, et qui présentent des épaisseurs appréciable de remplissage par les formations argileuse, aussi en note la proximité de la zone de l'oued Mecha qui draine un débit important d'eau.

VI.3. Conclusion

Pour chaque paramètre géotechnique (I_p , C_g), il a été possible de trouver un modèle de krigeage représentant la variation des paramètres caractérisant les sols potentiel de gonflement avec le logiciel ArcGIS. Les cartes ainsi obtenues se rapprochent fortement de la réalité et des données de la zone d'étude et présente une certaine cohérence.

L'interprétation des cartes obtenues, a permet de séparer une zone concentré dans la partie Sud de la zone d'étude qui présente un potentiel de gonflement avec des valeurs de $I_p > 35$ et $C_g > 16.0$ %. A partir de cette délimitation, on recommande de prendre toute les précautions nécessaires dans l'élaboration des projets de fondation dès la phase d'étude géotechnique par la réalisation d'essai spécifique aux sols gonflant comme les limites d'aterbeg, essai de gonflement, valeur au bleu de méthylène, essai oedométrique ... etc

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif de cette étude était de procéder à une identification géologique, minéralogique et géotechnique des argiles présents dans ces sols et d'établir une cartographie des zones sensibles au phénomène retrait-gonflement dans la zone de Harratène. Ces formations argileuses ou marneuses identifiées ont fait l'objet d'une analyse minéralogique de leur phase argileuse et leur comportement géotechnique (évalué principalement à partir des limites d'Atterberg, de la valeur de bleu et de l'essai de compressibilité).

Quatre échantillons représentatifs des formations du site ont subi des analyses minéralogiques de rayons X afin de déterminer la composition du sol ainsi que les minéraux argileux présents. Cette analyse a montré que la kaolinite est présente en très forte proportion.

Les valeurs des indices de plasticité varient de 18 % à 37 %. Ce qui dénote des argiles de plasticité moyenne à élevée.

La Valeur de Bleu de Méthylène (VB) qui traduit globalement la quantité et la qualité (activité) de la fraction argileuse du sol présente une moyenne de 4.0, ce qui témoigne qu'on est en présence de sols limoneux à argileux.

Essai de Compressibilité à l'oedomètre.

Pour l'évaluation des déformations sous les contraintes appliquées, les essais de compressibilité à l'oedomètre, ont montré que les sols en question sont:

- Surconsolidés P_c (bar) : $2,06 < P_c < 3,27$
- Moyennement compressibles à très compressibles C_c % : $07,70 < C_c < 27,14$
- Sol Gonflant C_g : $0,05 < C_g < 0,16$

Lors de l'établissement de la carte de susceptibilité au retrait-gonflement nous avons adopté une méthode géostatistique de modélisation spatiale qui est le « Krigeage », qui nous permettra à partir de données dispersées, d'obtenir une représentation homogène des informations étudiées. A l'aide des paramètres (I_p et C_g) obtenus au niveau des sondages, le krigeage nous a permis d'estimer les variations des paramètres hors sondages. Ce qui a conduit à l'établissement de cartes de susceptibilité vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement.

L'information géotechnique et sa visualisation sur support cartographique ont un grand intérêt pour l'établissement des cartes géotechniques spécifiques à chaque phénomène au fur et à mesure que les informations sur une région donnée progressent. Ces cartes permettent, par recoupement de l'information, d'anticiper sur la phase de reconnaissance préliminaire pour les futurs projets.

Nous avons présenté une approche d'analyse de variabilité des paramètres de gonflement pour la zone de Harratène en utilisant le S.I.G. Les résultats obtenus mettent en évidence le caractère expansif des argiles et argiles marneuses de cette zone essentiellement au niveau de la partie sud. Par conséquent, le recours à ces cartes peut faciliter la projection urbanistique tout en prenant en compte l'existence de ces marnes.

- **Atamnia, D., (2010)** : Minéralogie des argiles et phénomène de retrait-gonflement dans le bassin de Mila (nord constantinois), Thèse. Doct. Université Mentouri-Constantine, Algérie.
- **Baillargeon, S., (2005)** : Le krigeage : revue de la théorie et application à l'interpolation spatiale de données de précipitations, Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du grade de maître ès sciences, faculté des sciences et de génie, Université de Laval, Québec, pp 51-73.
- **Bouillin, J.P. & Raoult, J.F. (1971)** : Présence sur le socle kabyle du constantinois d'un olistostrome lié au charriage des flyschs; le Numidien peut être un néo-autochtone? Comptes Rendus : Somm. Soc. Géol. France, 7 :117.
- **Bouillin, J.P. (1977)** : Géologie Alpine de la Petite Kabylie dans les régions de Collo et d'El-Milia (Algérie), thèse Doct. Univ. P. & M. Curie, 511P.
- **Djellit, H. (1987)**: Evolution Tectono-métamorphique de socle kabyle et polarité de mise en place des nappes de flysch en Petite Kabylie occidentale (Algérie). Thèse doctorat d'état, université de paris- sud, centre d'Orsay.
- **Durand Delga, M. (1955)** : Etude géologique de l'Ouest de la chaîne Numidique. Thèse d'Etat. Paris, Publ. serv. Carte géol. Algérie, 24,533Paris, 206P.
- **Durand Delga, M. (1955)** :
- **Ehrmann, F. (1928)** : Résumé stratigraphique et tectonique sur la Kabylie des Babors et les régions voisines. (pp. 121-191).
- **Fougnot, J. (1990)** : Le magmatisme Miocène du littoral Nord constantinois. Thèse. Doct. INPL. Nancy.Paris.
- **Gombalet, J. (2004)** : Le gonflement des argiles et ses effets sur les ouvrages souterrains de stockage.
- **Gratton, Y., (2002)** : Le krigeage : la méthode optimale d'interpolation spatiale : cours de géostatistique, Institut national de la recherche scientifique, INRS-Eau-Terre-Environnement, Québec, Canada.
- **Holtz, W. G & Gibbs, H.J. (1991)** : " Introduction à la géotechnique ".Traduit par Lafleur, J, édition de l'école de polytechnique de Montréal, Canada, 794p.
- **Hennequi, M., (2010)** : Spatialisation des données de modélisation par Krigeage, Rapport de stage de 1ère année Master Statistique et Applications, Université de strasbourg, France, pp 7-13.
- **Léreau, J. (2005)** : Cours géotechnique chapitre I. Institut national des sciences appliquées de toulouse, France.
- **Moroux, P .Margron, P. & Claude, J. (1988)** : La construction économique sur sols gonflants. BRGM, (France).121p.
- **(ONM), Station de l'aéroport Farhat Abbas** (données climatologique 1971, 2011).

- **Philipponnat, G., (1979). Fondations et ouvrages en terre. Ed. Eyrolles. Paris, 402 p.**
- **Philipponnat, G. & Bertrand, H. (2003): Fondations et ouvrages en terre. Ed. Eyrolles. Paris, 548P**
- **Raoult, J.F. (1974):** Géologie du centre de la chaîne Numidique (Nord du Constantinois, Algérie). Mem. Soc. Géol. France, 53, 121, 163P.
- **Sanglerat, G. & Costet, J. (1981) :** Cours pratique de mécanique des sols, Tome I- Plasticité et calcul des tassements. 3e Ed. Dunod, Paris, 277 P.
- **Sanglerat, G. & Costet, J. (1983):** Cours pratique de mécanique des sols, Tome II- calcul des ouvrages. 3e Ed. Dunod, Paris, 447 P.
- **Verdel, T. (1993) :** Géotechniques et monuments historiques. Méthodes de modélisation appliquées à des cas égyptiens, Thèse de doctorat, Institut national polytechnique de Lorraine, laboratoire de mécanique des terrains de l'école des mines de Nancy.
- **Wildi, W., (1983) :** la chaîne Tello-rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie) : structure, stratigraphie, et évolution du Trias au Miocène REV. Géol. Dyn. Géographies ; 24.P201-297.

Les Normalisations Françaises:

- **Norme française NF P94-054 :** Détermination de la masse volumique des particules solides des sols : Méthode du pycnomètre, AFNOR, Oct, 1991.
- **Norme française NFP94-051 :** Détermination des limites d'Atterberg, Limite de liquidité à la coupelle – Limite de plasticité au rouleau, AFNOR, Mars 1993.
- **Norme française NFP94-068 :** Mesure de la capacité d'adsorption de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux : Détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux par l'essai à la tache, AFNOR, Oct, 1998.

**BASE DE DONNEE GEOTECHNIQUE
ZONE D'ETUDE : HARRATENE JIJEL**

N°	Coordonnées WGS		Coordonnées UTM		Profondeur	Lithologie	Essai Oedométrique			Essai de Cisaillement		Limites d'aterberg		
	Latitude	Longitude	X	Y			Cc (%)	Cg (%)	Pc (bars)	C (bars)	φ (degrés)	W _L %	W _p %	IP
Projet 1: 200 Logts Sociaux à Harratène														
1	36° 47.607'N	5° 47.793'E	749525,694	4075608,401	2,5/3,0	Marne Compacte	11,06	3,07	2,8	0,64	6,62	46,2	23,9	22,3
2	36° 47.574'N	5° 47.790'E	749523,017	4075547,239	2,5/3,0	Marne Compacte	12,31	3,61	2,56	0,68	6,05	42,6	21	21,6
3	36° 47.574'N	5° 47.772'E	749496,243	4075546,456	3,0/3,5	Marne Compacte	10,55	2,61	2,79	0,7	5,86	48,3	27,6	20,7
4	36° 47.553'N	5° 47.768'E	749491,429	4075507,443	2,0/2,5	Argile Mameuse	12,56	3,15	2,26	0,56	7,71	40,8	21,2	19,6
5	36° 47.601'N	5° 47.904'E	749691,125	4075602,137	3,0/3,5	Marne Compacte	12,82	2,84	2,7	0,61	7,01	43,6	22,3	21,3
6	36° 47.619'N	5° 47.806'E	749544,381	4075631,16	2,5/3,0	Marne Compacte	11,53	3,45	2,53	0,64	7,53	43,8	23,4	20,4
7	36° 47.582'N	5° 47.822'E	749570,183	4075563,427	3,5/4,0	Marne Compacte	10,23	2,62	2,41	0,58	8,45	41,8	18,9	22,9
8	36° 47.563'N	5° 47.780'E	749508,738	4075526,46	3,0/3,5	Marne Compacte	12,4	3,1	2,35	0,65	6,1	45,3	25,6	19,7
9	36° 47.591'N	5° 47.884'E	749661,917	4075582,771	4,5/5,0	Marne Compacte	11,56	3,56	2,82	0,55	6,8	47,4	27,9	19,5
Projet 2: CEM Base 06 à Harratène														
10	36° 47.558'N	5° 47.992'E	749824,349	4075526,443	1,2/2,4	Argile Mameuse	12,55	3,1	2,81	0,32	12,6	46,5	21,9	24,6
11	36° 47.536'N	5° 47.990'E	749822,566	4075485,668	1,1/1,7	Argile Mameuse	14,55	2,23	2,81	0,29	12,49	42,3	19,9	22,4
12	36° 47.556'N	5° 48.010'E	749851,232	4075523,529	1,0/2,0	Argile Mameuse	/	/	/	0,33	11,28	43,8	20,7	23,1
Projet 3: Etude Géotechnique d'urbanisation POS N° 03 Harratène Jijel														

36° 47.655'N	5° 48.141'E	750040,721	4075712,335	2,5/2,9	Argile	18,65	2,93	1,48	0,28	25,99	40	19	21
				5,6/5,9	Argile	19,93	5,71	2,07	/	/	48	22	26
				9,0/9,4	Argile mameuse	14,64	1,89	2,19	0,36	28,08	48	22	26
				13,0/13,03	Argile mameuse	18,99	8,54	1,53	/	/	46	22	24
36° 47.353'N	5° 48.192'E	750132,959	4075156,024	4,0/4,5	Argile	20,96	6,97	2,4	/	/	47	22	25
				9,7/10,0	Argile mameuse	20,96	6,01	3,11	/	/	45	21	24
36° 47.507'N	5° 48.017'E	749864,299	4075433,211	4,3/4,5	Argile	18,96	8,52	4,79	0,78	28,79	48	22	26
				9,7/10,0	Argile	24,98	12,98	1,7	0,62	10,56	43	19	24
36° 47.570'N	5° 47.886'E	749666,029	4075544,02	3,0/3,5	Argile	9,98	3,03	2,4	0,46	24	44	21	23
36° 47.652'N	5° 47.784'E	749509,872	4075691,235	7,2/7,5	Sable argileux	11,98	3,6	2,01	0,43	20	40	19	21
36° 47.604'N	5° 47.765'E	749484,208	4075601,635	6,0/6,2	Argile	12,98	4,52	2,93	/	/	42	19	23
				12,0/12,3	Marne schisteuse	/	/	/	0,19	20	42	20	22
36° 47.523'N	5° 47.824'E	749576,35	4075454,397	5,9/6,0	Argile	15,63	7,67	1,63	/	/	44	21	23
				8,5/9,0	Argile	15,63	6,01	2,33	1	18	46	22	24
36° 47.480'N	5° 48.266'E	750236,145	4075394,134	5,9/6,0	Marne	21,65	6,89	0,72	/	/	38	17	21
				8,5/9,0	Argile mameuse	20,62	10,17	2,43	/	/	46	21	25
				3,0/3,3	Argile	24,62	11,93	3,64	1,05	14	46	21	25
				7,6/9,0	Argile	24,28	9,15	3,32	/	/	45	22	23
36° 47.251'N	5° 48.087'E	749982,297	4074962,802	10,7/11,0	Argile	18,96	6,31	3,25	1,05	12	48	22	26
				14,0/14,30	Argile mameuse	19,98	7,96	1,88	/	/	45	21	24
Projet 4 : 500 logts Sociaux Harratène													
36° 47.440'N	5° 48.048'E	749914,041	4075310,648	2,5/3,0	Marne Altérée	/	/	/	0,42	10,9	46,5	24,1	22,4
				3,0/3,5	Marne Altérée	16,8	3,4	2,08	/	/	/	/	/
				4,5/5,0	Marne Compacte	/	/	/	0,73	6,75	/	/	/
36° 47.439'N	5° 48.021'E	749873,933	4075307,622	3,0/3,5	Marne Compacte	/	/	/	0,52	8	42,2	17,6	24,6
				3,5/4,0	Marne Altérée	17,3	2	2,16	/	/	/	/	/
36°	5° 48.019'E	749870,199	4075333,427	2,0/2,5	Argile	20,3	4,1	2,09	/	/	43,8	17,8	26

47.453'N						3,0/3,5	Argile	16,8	2,4	1,76	0,41	8	/	/	/
36° 47.488'N	5° 48.028'E	749881,69	4075398,55			4,5/5,0	Marne Altérée	/	/	/	0,41	10,2	/	/	/
36° 47.514'N	5° 48.042'E	749901,106	4075447,246			3,0/3,5	Marne Compacte	7,7	0,8	3,18	/	/	42,3	19,8	22,5
						3,5/4,0	Marne Compacte	/	/	/	0,68	6,16	/	/	/
						3,0/3,5	Marne Compacte	/	/	/	0,73	5,12	47,6	22,2	25,4
						3,5/4,0	Marne Compacte	19,8	3,3	2,96	/	/	/	/	/
						2,5/3,0	Marne altéré à concrétion calcaire	/	/	/	0,4	10,25	46,2	22,1	24,1
						2,0/2,5	Marne Altérée	24,1	3,7	1,8	/	/	45,3	23	22,3
						3,5/4,0	Marne Compacte	19,6	3,5	2,87	0,65	5,62	43,2	22,8	20,4
						2,5/3,0	Marne Compacte	22,1	4,7	2,35	/	/	40,9	19,1	21,8
						4,0/4,5	Marne Compacte	/	/	/	0,7	6,05	/	/	/
						3,5/4,0	Marne Compacte	18,6	3,1	3,04	/	/	48,4	23,3	25,1
						4,0/4,5	Marne Compacte	/	/	/	0,84	4,11	/	/	/
						4,0/4,5	Marne Compacte	/	/	/	0,9	3,9	44,2	21,8	22,4
						3,0/3,5	Marne Compacte	18,6	4,2	2,13	0,57	8,12	46,7	21,6	25,1
						2,0/2,5	Marne Compacte	21,3	4,6	2,5	0,64	9,56	46,2	21,6	24,6
Projet 5 : 140/1000 logs Harratène (CV 147)															
36° 47.791'N	5° 47.684'E	749353,613	4075943,958			3,0/3,5	Marne	/	/	/	0,49	8,84	42,3	20	22,3
36° 47.768'N	5° 47.671'E	749335,521	4075900,856			3,0/3,5	Marne	/	/	/	0,5	8,61	40,3	19,7	20,6
						4,5/5,0	Marne	19,94	3,57	1,86	/	/	/	/	/
36° 47.803'N	5° 47.690'E	749361,888	4075966,413			3,0/3,5	Marne	/	/	/	0,49	8,93	39,7	19,9	19,8
36° 47.791'N	5° 47.661'E	749319,403	4075942,958			4,0/4,5	Marne	17,61	2,41	1,76	0,57	9,15	41,5	20,8	20,7
36°	5° 47.678'E	749343,445	4075986,235			2,0/2,5	Marne	20,42	2,86	1,87	0,66	7,84	40,6	19,1	21,5

36° 47.708'N	5° 47.528'E	749126,066	4075783,673	4,0/4,5	Mame	17,34	2,48	1,54	0,54	9,45	39,7	19,8	19,9
36° 47.690'N	5° 47.584'E	749210,333	4075752,816	2,5/3,0	Mame	19,08	3,84	1,67	0,61	10,45	38,4	19,7	18,7
Projet 9 : 50 logts DGSN Harratène													
36° 47.446'N	5° 47.956'E	749776,867	4075317,736	1,5/2,0	Limon sableux	17,2	4,4	1,6	0,3	23	42	22	20
36° 47.436'N	5° 47.961'E	749784,846	4075299,46	3,2/3,5	Mame	16,9	2	1,8	0,3	21	44	22	22
36° 47.426'N	5° 47.968'E	749795,8	4075281,27	1,2/1,5	Limon sableux	17,5	1	1,7	0,4	23	42	23	19
36° 47.415'N	5° 47.974'E	749805,32	4075261,188	3,8/4,5	Mame	17,6	1,1	1,9	0,4	21	46	23	23
				1,6/2,0	Limon sableux	21,5	1,1	1,5	0,35	27	41	23	18
				3,1/3,5	Limon sableux	18,8	1,4	1,74	0,3	24	45	23	22
				1,5/2,0	Limon sableux	2,4	1,7	1,59	0,3	26	42	23	19
				4,2/5,7	Limon sableux	17,2	1	1,98	0,4	25	48	25	23
Projet 10 : 120 logts DGSN Harratène													
36° 47.403'N	5° 48.042'E	749907,121	4075241,957	3,0/3,5	Mame argileuse	19,1	5	1,96	0,45	9,93	30,7	9,7	21
36° 47.378'N	5° 48.026'E	749884,675	4075195,023	3,5/4,0	Mame	10,3	2,31	2,14	0,53	8,08	/	/	/
36° 47.418'N	5° 48.031'E	749889,946	4075269,219	2,5/3,0	Mame argileuse	19,35	4,93	1,84	0,49	11,56	35,4	13,2	22,1
36° 47.411'N	5° 48.022'E	749876,937	4075255,881	1,5/2,0	Argile limoneuse	/	/	/	0,51	7,72	32,1	12,7	19,4
36° 47.355'N	5° 48.045'E	749914,184	4075153,314	3,5/4,0	Mame argileuse	18,45	4,16	1,86	0,46	9,48	33,1	10	23,1
36° 47.345'N	5° 48.054'E	749928,114	4075135,212	2,5/3,0	Mame argileuse	16,48	3,45	2,18	0,64	10,36	38,4	17,9	20,4
				6,5/7,0	Mame argileuse	19,36	2,48	2,41	0,64	9,18	38,4	18,5	19,8
Projet 11 : 140/1000 logts Harratène (CV 153)													
36° 47.730'N	5° 47.586'E	749211,146	4075826,881	4,5/5,0	Mame	/	/	/	0,48	9,11	39,4	19	20,4
36° 47.715'N	5° 47.564'E	749179,234	4075798,183	3,0/3,5	Mame	20	3	1,86	0,48	9,03	40,5	18,4	22,1
36°	5° 47.603'E	749237,729	4075783,233	3,0/3,5	Mame	/	/	/	0,48	9,65	38,1	18,9	19,2

	47.706'N																						
	36° 47.710'N	5° 47.584'E	749209,253	4075789,805	4,0/4,5				Mame	18,23	3,21	1,78	0,56	10,56	42,6	23,2	19,4						
	36° 47.735'N	5° 47.568'E	749184,103	4075835,346	3,0/3,5				Mame	/	/	/	/	/	37,5	16	21,5						
	36° 47.726'N	5° 47.606'E	749241,111	4075820,353	2,0/2,5				Mame	16,48	2,45	1,69	0,86	9,78	39,6	19,8	19,8						
	36° 47.721'N	5° 47.544'E	749149,162	4075808,411	4,0/4,5				Mame	19,45	2,64	2,05	0,64	10,25	38,5	19,8	18,7						
4	36° 47.730'N	5° 47.590'E	749217,096	4075827,055	6,0/6,5				Mame	/	/	/	/	/	38,5	17,5	21						

Projet 12 : 100/1000 logs Harratène (CV 146)

	36° 47.758'N	5° 47.781'E	749499,674	4075887,146	4,5/5,0				Mame	/	/	/	0,49	8,74	45,2	24,8	20,4						
	36° 47.741'N	5° 47.775'E	749491,67	4075855,444	3,0/3,5				Mame	20	3	1,86	0,49	8,74	40,2	20,7	19,5						
	36° 47.786'N	5° 47.784'E	749502,622	4075939,061	6,0/6,5				Mame	18,26	2,45	1,97	0,54	10,58	38,4	16,9	21,5						
	36° 47.784'N	5° 47.766'E	749475,957	4075934,579	4,0/4,5				Mame	16,87	2,45	2,05	0,86	9,68	44,3	21,9	22,4						
	36° 47.770'N	5° 47.760'E	749467,79	4075908,426	2,0/2,5				Mame	/	/	/	/	/	39,5	20,1	19,4						
	36° 47.747'N	5° 47.754'E	749460,11	4075865,627	3,0/3,5				Mame	19,06	3,61	1,72	0,56	8,74	38,7	18,3	20,4						

Projet 13 : 120/1000 logs Harratène (CV 148)

	36° 47.723'N	5° 47.770'E	749485,207	4075821,937	4,5/5,0				Mame	19,94	3,57	1,86	0,49	8,74	40,5	18,2	22,3						
	36° 47.691'N	5° 47.731'E	749428,929	4075761,058	3,0/3,5				Mame	/	/	/	0,49	8,74	39,3	18,5	20,8						
	36° 47.693'N	5° 47.758'E	749468,981	4075765,931	2,5/3,0				Mame	18,62	3,15	1,69	0,65	9,87	37,4	17,8	19,6						
	36° 47.703'N	5° 47.737'E	749437,204	4075783,512	5,5/6,0				Mame	19,36	2,31	1,96	0,78	10,63	40,6	19,7	20,9						
	36°	5° 47.731'E	749429,74	4075733,316	6,5/7,0				Mame	16,48	2,64	1,48	0,46	9,16	38,6	17,1	21,5						

	47.676'N																		
Projet 14 : 120/1000 logts Harratène (CV 144)																			
	36° 47.735'N	5° 47.722'E	749413,162	4075842,042	4,5/5,0	Mame	19,94	3,57	1,86	0,46	8,19	39,6	17,5	22,1					
	36° 47.662'N	5° 47.714'E	749405,211	4075706,684	3,0/3,5	Mame	/	/	/	0,46	8,77	39,7	16,1	23,6					
	36° 47.668'N	5° 47.698'E	749381,088	4075717,085	2,0/2,5	Mame	15,14	4,15	1,48	0,36	9,15	40,6	19,7	20,9					
	36° 47.687'N	5° 47.707'E	749393,447	4075752,616	5,0/5,5	Mame	19,12	2,36	1,78	0,67	10,19	45,6	24,9	20,7					
	36° 47.721'N	5° 47.718'E	749407,97	4075815,976	6,0/6,5	Mame	16,37	2,67	1,59	0,45	9,48	37,4	17,8	19,6					
Projet 15 : 160/1000 logts Harratène (CV 141)																			
	36° 47.770'N	5° 47.732'E	749426,143	4075907,208	3,0/3,5	Mame	19,94	3,57	1,86	0,46	8,19	40,5	17,9	22,6					
	36° 47.761'N	5° 47.704'E	749384,983	4075889,345	3,0/3,5	Mame	/	/	/	0,46	8,77	38,4	15	23,4					
	36° 47.802'N	5° 47.745'E	749443,748	4075966,956	4,0/4,5	Mame	18,16	3,45	1,69	0,54	9,78	37,1	17,7	19,4					
	36° 47.786'N	5° 47.739'E	749435,689	4075937,103	2,0/2,5	Mame	16,49	2,87	1,87	0,67	8,49	42,4	24,1	18,3					
	36° 47.756'N	5° 47.727'E	749419,464	4075881,098	6,0/6,5	Mame	15,84	3,78	2,06	0,74	9,16	46,7	26,1	20,6					
	36° 47.807'N	5° 47.723'E	749410,755	4075975,246	5,0/5,5	Mame	/	/	/	/	/	38,9	18,9	20					
	36° 47.793'N	5° 47.719'E	749405,563	4075949,179	3,0/3,5	Mame	19,43	2,19	1,8	0,62	8,42	37,4	15,6	21,8					
	36° 47.776'N	5° 47.711'E	749394,584	4075917,391	4,0/4,5	Mame	16,79	2,86	1,72	0,52	9,16	40,2	20,8	19,4					
2	36° 47.804'N	5° 47.752'E	749454,052	4075970,959	4,0/4,5	Mame	/	/	/	/	/	40,2	19,3	20,9					
Projet 16 : 120/1000 logts Harratène (CV 145)																			
	36° 47.752'N	5° 47.814'E	749549,083	4075877,486	3,0/3,5	Mame	19,94	3,57	1,86	0,5	9,26	45,7	22,2	23,5					

36° 47.726'N	5° 47.821'E	749560,902	4075829,705	2,0/2,5	Mame	/	/	/	0,47	10,32	40,3	19,9	20,4
36° 47.761'N	5° 47.806'E	749536,697	4075893,782	4,0/4,5	Mame	16,35	3,15	1,58	0,53	8,47	43,1	21,2	21,9
36° 47.743'N	5° 47.823'E	749562,957	4075861,232	2,0/2,5	Mame	/	/	/	/	/	39,4	20,1	19,3
36° 47.735'N	5° 47.832'E	749576,776	4075846,828	5,0/5,5	Mame	18,25	2,74	1,64	0,61	9,14	41,2	22,5	18,7
36° 47.716'N	5° 47.806'E	749539,132	4075810,557	3,0/3,5	Mame	17,14	3,61	1,84	0,56	8,45	44,6	20	24,6

Projet 17 : 300 logs Harratène

36° 47.713'N	5° 47.847'E	749600,278	4075806,793	3,0/3,5	Mame	18,14	3,47	2,06	0,41	12,5	40,3	20,8	19,5
36° 47.677'N	5° 47.802'E	749535,293	4075738,255	2,0/2,5	Mame	16,54	3,48	1,84	0,56	15,48	39,4	18,6	20,8
36° 47.682'N	5° 47.880'E	749651,041	4075750,897	5,0/5,5	Mame	/	/	/	/	/	41,2	19,7	21,5
36° 47.647'N	5° 47.834'E	749584,514	4075684,164	2,0/2,5	Mame	15,26	3,41	1,75	0,61	16,47	/	/	/
36° 47.706'N	5° 47.873'E	749639,33	4075794,979	4,0/4,5	Mame	18,62	2,84	1,86	0,47	12,41	38,6	18,8	19,8
36° 47.654'N	5° 47.806'E	749542,487	4075695,891	3,0/3,5	Mame	17,02	2,64	1,68	0,78	9,33	/	/	/
36° 47.679'N	5° 47.836'E	749585,757	4075743,433	1,0/1,5	Mame	18,92	3,47	1,74	0,56	10,49	42,6	20,2	22,4

Projet 18 : 100 logs SOREST Harratène

36° 47.632'N	5° 47.883'E	749658,21	4075658,555	1,0/1,5	Mame	15,41	3,48	1,48	0,48	12,31	40,2	20,5	19,7
36° 47.643'N	5° 47.871'E	749639,765	4075678,377	2,0/2,5	Mame	12,48	2,48	1,59	0,59	11,56	45,1	22,7	22,4
36° 47.632'N	5° 47.856'E	749618,049	4075657,38	4,0/4,5	Mame	10,12	2,48	1,4	0,62	18,45	39,4	18,6	20,8
36° 47.622'N	5° 47.839'E	749593,304	4075638,145	3,0/3,5	Mame	19,15	2,03	2,08	0,45	17,69	38,7	18,4	20,3

36° 47.407'N	5° 48.247'E	750211,843	4075258,294	1,5/2,0	Argile	/	/	/	/	63,8	33,4	30,4
36° 47.414'N	5° 48.237'E	750196,588	4075270,804	3,0/3,5	Argile	19,12	9,72	2,07	0,67	60,3	28,4	31,9
36° 47.403'N	5° 48.227'E	750182,31	4075250,024	2,5/3,0	Argile	16,39	10,12	1,64	0,62	62	32,3	29,7
Projet 23 : 173 Logts Sud Harratène												
36° 47.354'N	5° 48.144'E	750061,503	4075155,78	2,5/3,0	Argile	18,32	10,23	1,69	0,62	/	12,23	/
36° 47.365'N	5° 48.163'E	750089,17	4075176,953	2,5/3,0	Argile8	16,02	9,45	1,47	0,47	65,4	29,3	36,1
36° 47.380'N	5° 48.185'E	750121,082	4075205,654	2,5/3,0	Argile	16,17	16,48	1,36	0,38	62,1	28,6	33,5
36° 47.392'N	5° 48.174'E	750104,069	4075227,368	2,5/3,0	Argile	12,66	12,47	2,05	0,81	62	29,4	32,6
36° 47.411'N	5° 48.155'E	750074,776	4075261,679	2,5/3,0	Argile	18,59	9,11	1,66	0,63	67,9	32,1	35,8
36° 47.398'N	5° 48.136'E	750047,218	4075236,807	2,5/3,0	Argile	17,03	15,41	1,36	0,45	65,4	30,5	34,9
36° 47.374'N	5° 48.123'E	750029,181	4075191,854	2,5/3,0	Argile	15,05	13,47	2,08	0,68	/	/	/
36° 47.359'N	5° 48.122'E	750028,507	4075164,068	2,5/3,0	Argile	16,93	13,3	2,04	0,44	60,3	29,5	30,8
36° 47.379'N	5° 48.155'E	750076,511	4075202,496	2,5/3,0	Argile	14,05	16,44	1,6	0,84	69,4	32	37,4
Projet 24 : 70 Logements sociaux Harratène Site A												
36° 47.657'N	5° 48.181'E	750100,11	4075717,778	2,9/3,5	Marne consistance très plastique	15,58	1,94	2,06	0,64	56,2	25,5	30,7
36° 47.642'N	5° 48.184'E	750105,385	4075690,167	1,5/2,0	Argile mameuse gypseuse	18,34	2,43	1,6	0,56	58,5	26,4	32,1
36° 47.657'N	5° 48.199'E	750126,883	4075718,564	2,5/3,0	Marne	19,21	2,56	1,68	0,68	49,1	23,5	25,6
36° 47.640'N	5° 48.205'E	750136,73	4075687,385	3,5/4,0	Marne	20,56	2,84	1,49	0,71	45,7	22,6	23,1

Projet 25 : 70 Logts sociaux Harratène Site B

36° 47.494'N	5° 48.059'E	749927,477	4075410,998	2,5/3,0	Marne consistance très plastique	11,06	2,08	1,32	0,4	9,32	47,6	25	22,6
36° 47.505'N	5° 48.062'E	749931,343	4075431,473	2,5/3,0	Argile mameuse gypseuse	27,14	3,69	1,52	/	/	48,4	24,9	23,5
				2,8/3,6		22,87	4,53	1,92	/	/	/	/	/

Projet 26 : 180 logts à Harratène

36° 47.420'N	5° 48.096'E	749986,525	4075275,751	2,5/3,0	Argile	20,2	6,3	1,9	/	/	63,4	27,9	35,5
				3,0/3,5	Argile schisteuse	/	/	/	0,59	10,82	/	/	/
36° 47.423'N	5° 48.068'E	749944,712	4075280,079	2,5/3,0	Argile schisteuse	21	7,8	1,7	/	/	61,2	24,8	36,4
				5,0/5,5	Argile schisteuse	/	/	/	0,55	11,97	/	/	/
36° 47.401'N	5° 48.063'E	749938,467	4075239,173	2,0/2,5	Argile schisteuse	17,5	8,9	2,05	0,54	10,39	63,4	28	35,4
				4,0/4,5	Argile schisteuse	/	/	/	0,73	7,45	/	/	/
36° 47.391'N	5° 48.101'E	749995,534	4075222,335	2,5/3,0	Argile schisteuse	9,5	10,0	3	/	/	61,8	26,3	35,5
				3,0/3,5	Argile schisteuse	/	/	/	0,58	8,85	/	/	/
36° 47.390'N	5° 48.065'E	749942,038	4075218,917	3,0/3,5	Argile schisteuse	9,8	12,5	2,6	/	/	60,9	24,1	36,8
				4,0/4,5	Argile schisteuse	/	/	/	0,81	7,08	/	/	/
36° 47.355'N	5° 48.092'E	749984,098	4075155,363	2,5/3,0	Argile	2,7	7,5	1,5	/	/	65,7	29,3	36,4
				3,5/4,0	Argile	/	/	/	0,29	10,66	/	/	/

Projet 27 : 50 logts Harratène

36° 47.460'N	5° 48.107'E	750000,719	4075350,209	2,5/3,0	Argile schisteuse	/	/	/	0,39	14,21	65,2	28,5	36,7
				4,5/5,0	Marne schisteuse	22,62	4,53	2,46	0,82	6,75	/	/	/
36° 47.458'N	5° 48.075'E	749953,228	4075345,115	3,0/3,5	Marne argileuse	/	/	/	0,56	7,66	62,1	27,6	34,5
				4,0/4,5	Marne schisteuse	17,29	2,46	2,11	/	/	/	/	/
36° 47.439'N	5° 48.085'E	749969,133	4075310,411	3,5/4,0	Marne schisteuse	22,37	4,15	2,14	/	/	63,6	26,5	37,1
				4,0/4,5	Marne schisteuse	/	/	/	0,72	5,41	/	/	/
36° 47.440'N	5° 48.112'E	750009,241	4075313,438	3,5/4,0	Marne argileuse	17,59	4,77	2,79	0,53	6,83	64,3	26,9	37,4
				4,5/5,0	Marne schisteuse	/	/	/	0,81	5,77	/	/	/

PROCES VERBAL D'ESSAI
DETERMINATION DES LIMITES D'ATTERBERGS
Conformément à la norme NF P 94-051

ECHANTILLON N°01								
W _L Limite de liquidité à la coupelle de Casagrande								
Essai N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Nbrs coups	18		25		29		35	
MTH + T	29,75	31,63	27,89	28,95	27,03	31,07	28,76	29,57
MTS+T	26,04	27,39	25,05	25,76	24,58	27,48	26,01	26,78
Poids Tare	17,96	18,12	18,03	17,98	18,13	17,9	17,97	18,08
PW	3,71	4,24	2,84	3,19	2,45	3,59	2,75	2,79
MS	8,08	9,27	7,02	7,78	6,45	9,58	8,04	8,7
W %	45,92	45,74	40,46	41,00	37,98	37,47	34,20	32,07
Moyenne	45,83		40,73		37,73		33,14	
Limite de liquidité W_L = 38,80 %								
Limite de plasticité W _P								
Essai N°	1	2	3	4				
Poid Tare (g)	17,96	17,9	18,13	18,12				
MTH + T	19,48	19,50	19,80	19,47				
MTS+T	19,24	19,25	19,55	19,26				
PW	0,24	0,25	0,25	0,21				
MS	1,28	1,35	1,42	1,14				
W %	18,75	18,52	17,61	18,42				
Moyenne	W_P = 18,32 %							
Indice de plasticité I _p								
I_p = W_L - W_P = 38,80 - 18,32 = 20,48								

PROCES VERBAL D'ESSAI
DETERMINATION DES LIMITES D'ATTERBERGS
Conformément à la norme NF P 94-051

ECHANTILLON N°02								
W _L Limite de liquidité à la coupelle de Casagrande								
Essai N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Nbrs coups	16		20		27		35	
MTH + T	31,26	35,71	31,49	29,77	37,33	37,33	29,67	28,99
MTS+T	27,27	32,16	27,51	26,34	30,38	30,38	26,43	25,95
Poids Tare	18,01	23,81	17,94	18,07	12,99	12,99	17,91	18,01
PW	3,99	3,55	3,98	3,43	6,95	6,95	3,24	3,04
MS	9,26	8,35	9,57	8,27	17,39	17,39	8,52	7,94
W %	43,09	42,51	41,59	41,48	39,97	39,97	38,03	38,29
Moyenne	42,80		41,53		39,97		38,16	
Limite de liquidité W_L = 40,20 %								
Limite de plasticité W _P								
Essai N°	1	2	3	4	5			
Poid Tare (g)	17,94	18,01	18,07	17,91	18,07			
MTH + T	20,17	20,37	20,66	20,45	20,65			
MTS+T	19,81	19,99	20,24	20,05	20,22			
PW	0,36	0,38	0,42	0,4	0,43			
MS	1,87	1,98	2,17	2,14	2,15			
W %	19,3	19,2	19,4	18,7	20,0			
Moyenne	W_P = 19,30 %							
Indice de plasticité I _P								
I_P = W_L - W_P = 40,2 - 19,3 = 20,90								

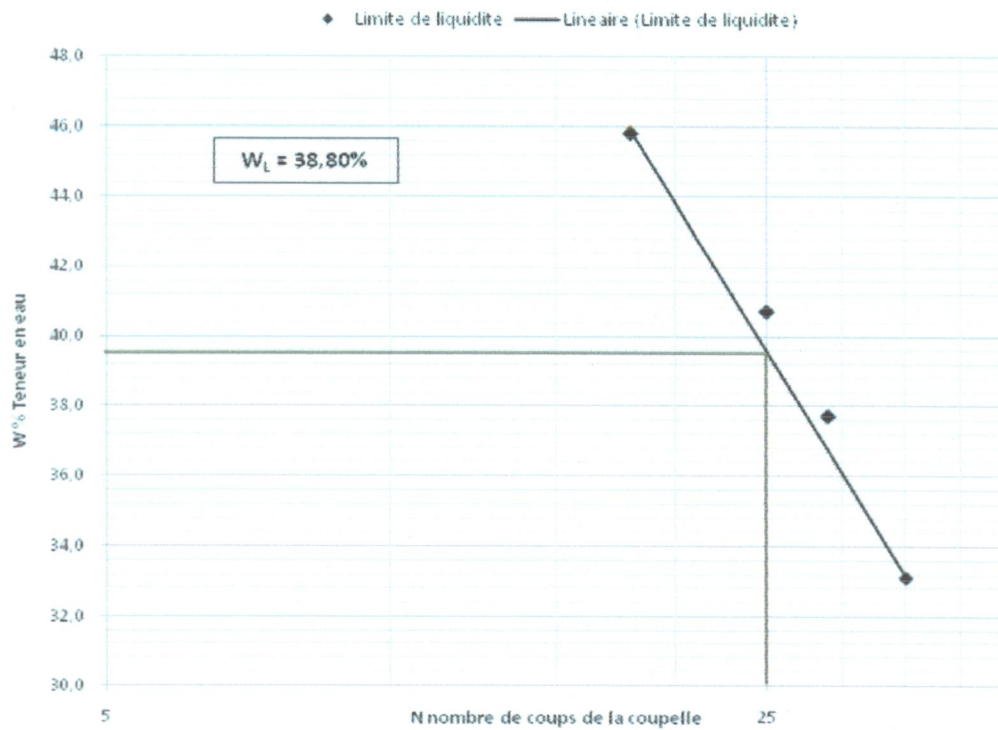
PROCES VERBAL D'ESSAI
DETERMINATION DES LIMITES D'ATTERBERGS
Conformément à la norme NF P 94-051

ECHANTILLON N°03								
W _L Limite de liquidité à la coupelle de Casagrande								
Essai N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Nbrs coups	15		20		28		35	
MTH + T	32,11	28,23	28,54	27,43	28,97	34,55	27,83	26,76
MTS+T	27,39	24,82	25,35	24,53	26,01	31,6	25,75	24,33
Poids Tare	17,94	18,01	18,07	17,91	18,07	23,81	17,94	18,01
PW	4,72	3,41	3,19	2,9	2,96	2,95	2,08	2,43
MS	9,45	6,81	7,28	6,62	7,94	7,79	7,81	6,32
W %	49,95	50,07	43,82	43,81	37,28	37,87	26,63	38,45
Moyenne	50,01		43,81		37,57		32,54	
Limite de liquidité W _L = 38,9 %								
Limite de plasticité W _P								
Essai N°	1	2	3	4	5	6		
Poid Tare (g)	17,94	18,01	18,07	17,91	18,07	23,81		
MTH + T	19,99	20,1	19,69	19,87	21,01	25,69		
MTS+T	19,65	19,79	19,43	19,58	20,53	25,39		
PW	0,34	0,31	0,26	0,29	0,48	0,3		
MS	1,71	1,78	1,36	1,67	2,46	1,58		
W %	19,88	17,42	19,12	17,37	19,51	18,99		
Moyenne	W _P = 18,71 %							
Indice de plasticité I _P								
I _P = W _L - W _P = 38,9 - 18,71 = 20,19								

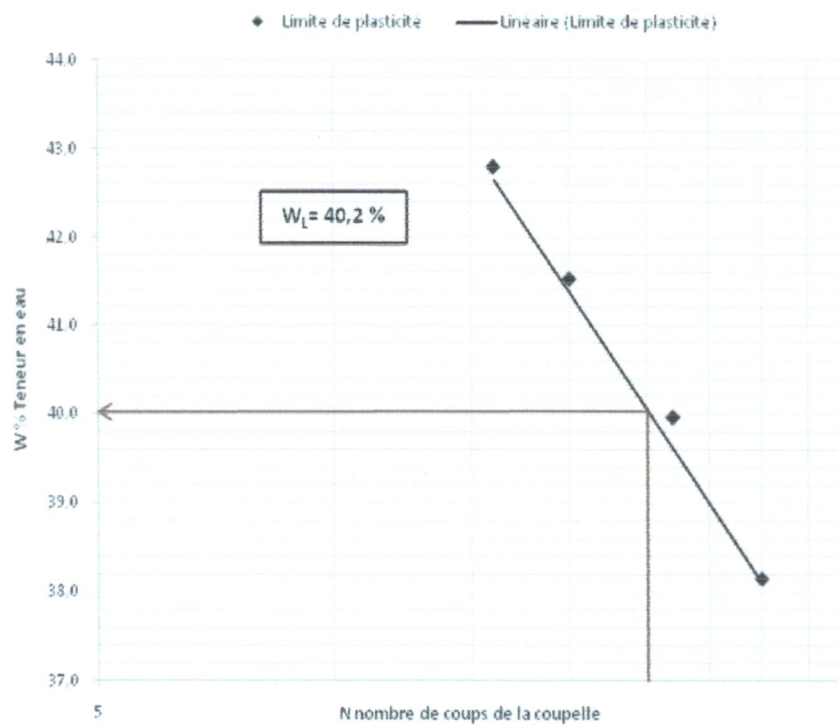
PROCES VERBAL D'ESSAI
DETERMINATION DES LIMITES D'ATTERBERGS
Conformément à la norme NF P 94-051

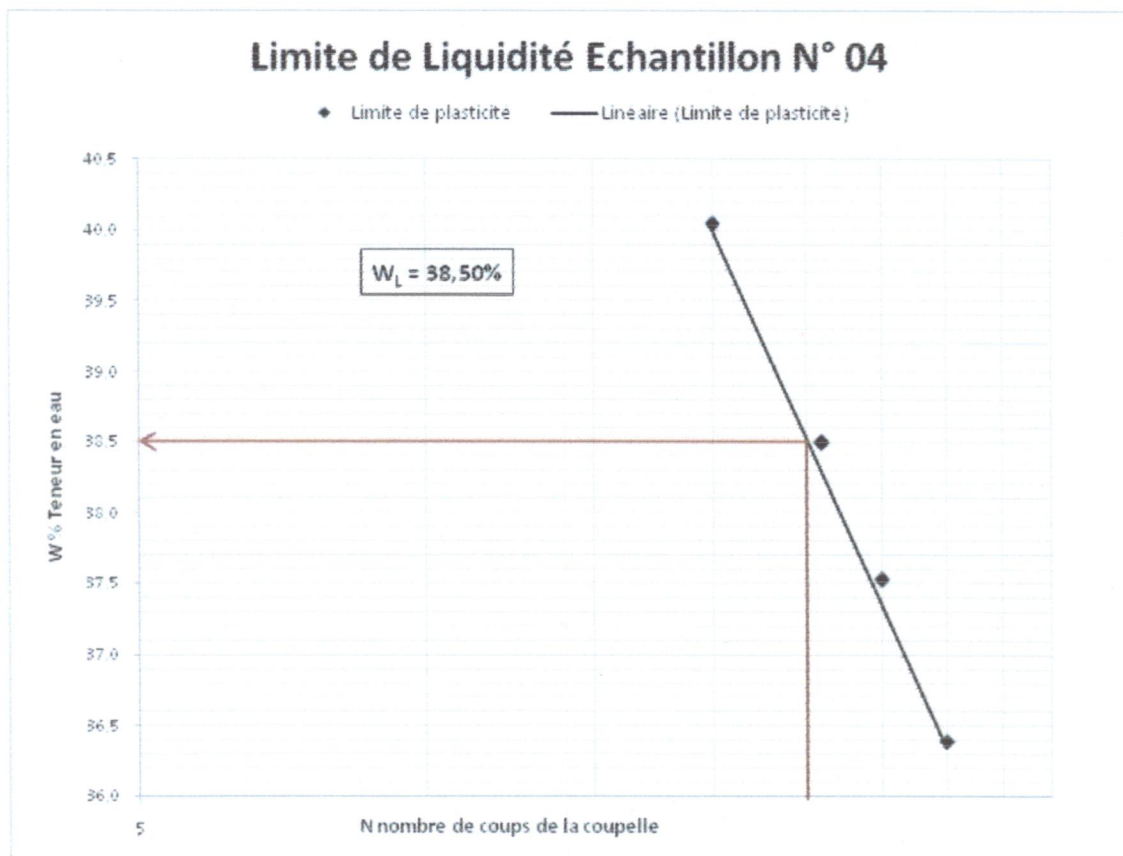
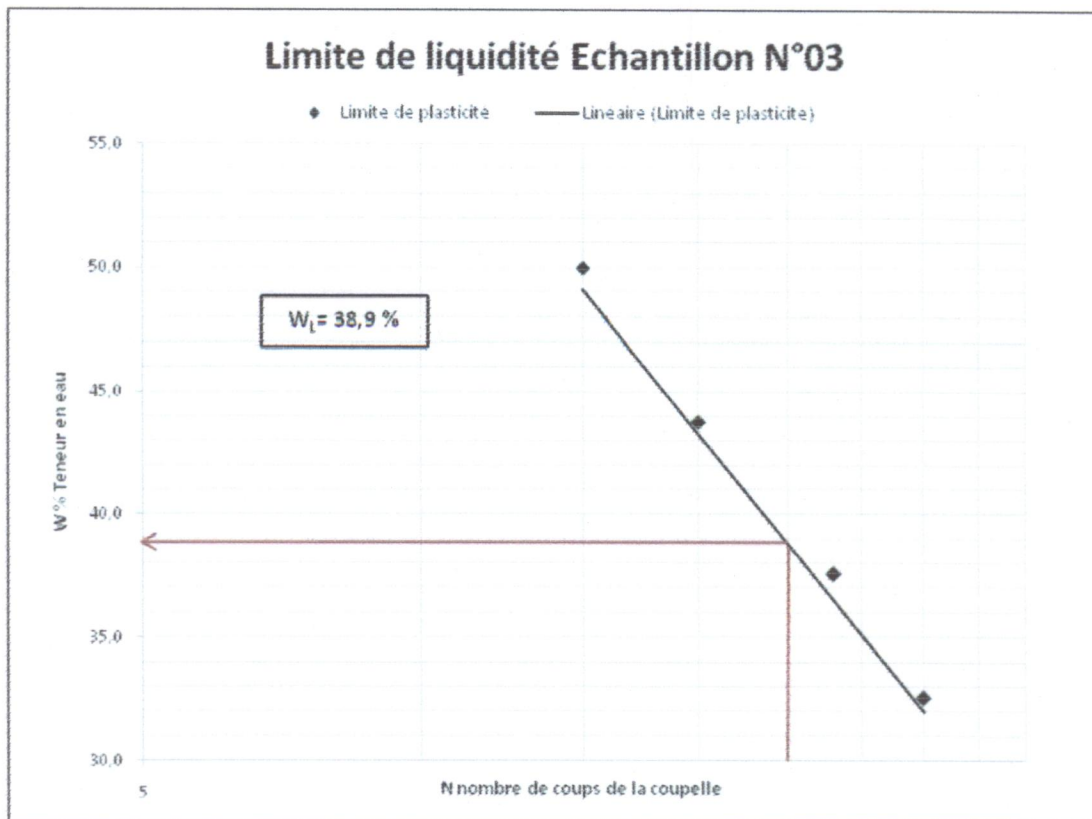
ECHANTILLON N°04								
W _L Limite de liquidité à la coupelle de Casagrande								
Essai N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Nbrs coups	20		26		30		35	
MTH + T	26,46	29,74	29,17	28,63	35,92	26,76	201,69	26,08
MTS+T	23,98	26,39	26,08	25,68	32,64	22,97	198,19	23,9
Poids Tare	17,89	17,88	18,05	18,02	23,81	12,97	188,49	17,96
PW	2,48	3,35	3,09	2,95	3,28	3,79	3,5	2,18
MS	6,09	8,51	8,03	7,66	8,83	10	9,7	5,94
W %	40,72	39,37	38,48	38,51	37,15	37,90	36,08	36,70
Moyenne	40,04		38,50		37,52		36,39	
Limite de liquidité W _L = 38,50 %								
Limite de plasticité W _P								
Essai N°	1	2	3	4	5			
Poid Tare (g)	17,89	18,05	17,88	18,02	17,96			
MTH + T	19,64	19,47	19,25	19,42	19,55			
MTS+T	19,38	19,25	19,04	19,22	19,32			
PW	0,26	0,22	0,21	0,2	0,23			
MS	1,49	1,2	1,16	1,2	1,36			
W %	17,45	18,33	18,10	16,67	16,91			
Moyenne	W _P = 17,49 %							
Indice de plasticité I _P								
I _P = W _L - W _P = 38,5 - 17,49 = 21,01								

Limite de liquidité Echantillon N° 01



Limite de Liquidité Echantillon N° 02





UNIVERSITE DE JIJEL
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences de la Terre et de l'Univers
Laboratoire matériaux

MESURE DE LA CAPACITE D'ADSORPTION DE BLEU DE
METHYLENE D'UN SOL OU D'UN MATERIAU ROCHEUX
P 94-068

Classe Granulaire en mm	Masse sèche de la prise d'essai en grs	Volume de bleu introduite en cm³	Masse de bleu introduite $B = V \times 0,01$	Valeur VBS	V_B Moyen (en %)
< 0.4 mm	20	80	0.80	4.00	4.06
< 0.4 mm	25	100	1.00	4.00	
< 0.4 mm	20	80	0.80	4.00	
< 0.4 mm	20	85	0.85	4.25	

UNIVERSITE DE JIJEL
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences de la Terre et de l'Univers
Laboratoire matériaux

DETERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE DES PARTICULES
SOLIDES DES SOLS P 94-054

Méthode du pycnomètre à eau

N° échantillon	Masse sèche de l'échantillon pour essai en grs	Masse du pycnomètre + échantillon en grs	Masse du pycnomètre + échantillon + eau en grs	Masse du pycnomètre plein d'eau en grs	Masse volumique réelle en t/m³
N° 01	53,62	732,85	1908,8	1875,5	2,64
N° 02	50,00	729,23	1906,1	1875,5	2,58
N° 03	50,00	729,23	1906,5	1875,5	2,63
N° 04	50,00	729,23	1906,4	1875,5	2,62
			Moyenne =		2,62