

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة محمد الصديق بن يحيى  
مكتبة علوم الطبيعة والحياة  
المكتبة  
1876  
رقم الجرد : .....

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

جامعة جيجل  
Université de Jijel



كلية العلوم الدقيقة  
و علوم الطبيعة و الحياة  
قسم علوم الأرض و الكون

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'Etat en géologie  
Option : géologie de l'ingénieur

Thème

ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE  
D'UNE ZONE A RISQUES AU SEIN DU POS  
N°2 OULED BOUNAR-JIJEL, (CAS DES 250  
LOGEMENT)

Présenté par :

- Chekirou Amina

Soutenu publiquement le : 27.06.2012

Devant le jury composé de :

Président : Mr.M.Tekkouk

Encadreur : Mr.Y.Rouikha

Examineur : Mr.R.Benzaid

\*Année Universitaire 2011/ 2012\*



## *Remerciements*

*Avant tout, louange à DIEU ALLAH, Le Tout Puissant qui m'à guidée aidée à terminer ce modeste travail de recherche.*

*Mes remerciements et aussi à mes chers parents qui n'ont cessé de veiller à ma bonne conduite et ma réussite.*

*Mes sincères remerciements vont aussi à Monsieur **ROUIKHA YUCEF**, mon encadreur dans l'élaboration de ce travail de recherche que j'entame pour la première fois de mon cursus.*

*Sans oublier les nombres du jury qui ont accepté de juger ce modeste travail.*

*Nous remercions également tous les enseignants du département des Sciences de la Terre, et en particulier monsieur **Benzaid. R**, et monsieur **M.Tekouk** pour leurs aides précieuses.*

*Nous tenons également à remercier le personnel de la direction d'urbanisme et de construction (en particulier **Lila Boubazine**), pour avoir accepté de mettre à notre disposition les données nécessaires pour cette étude.*

*A tous ceux qui m'ont aidé de près ou loin dans mes effets, collègue ... surtout (**Sabrine et Sarah, Widad et Djamila ,tahar, fouad,ziad,nassim**).*

*❖ Amina*

## **Résumé :**

Les immeubles devant contenir les 250 logements sur le territoire de la commune de Jijel sis à Ouled Bonnar n'ont toujours pas été livrés aux locataires .Des désagréments d'ordre géotechnique liés à la nature du sol perturbent la cadence des travaux, limitent la marge de manœuvre des entreprises sur site et menacent même l'abandon pur et simple du projet de construction.

Le site ré-ausculté pour la seconde fois en moins de deux années après l'ouverture du chantier à livre tous les aspects géologiques, géotechniques et géo- mécaniques du sol classé manifestement en zone défavorable à la construction.

Plusieurs tentatives de stabilisation ont été projetées sur le site, mais aucune n'a livré de solution optimiste.

## ملخص :

المباني التي تضم 250 مسكن في منطقة اولاد بوالنار ببلدية جيجل لم يتم تسليمها بعد للمستأجرين لأسباب جيوتقنية تتعلق بنوعية التربة التي تعطل وتيرة العمل, وحدثت من عمل الشركات في الموقع وقامت بتهديد صريح بالتخلي عن مشروع البناء.

الموقع أعيد فحصه للمرة الثانية في اقل من عامين بعد فتح ورشة العمل لتقديم كل المظاهر الجيولوجية و الجيوتقنية والجيوميكانية للتربة مصنفة في منطقة غير صالحة للبناء .

تم القيام بعدة محاولات لتحقيق الاستقرار على الموقع، ولكن أيا منها لم تسفر عن حل متفائل.

**Summary:**

Buildings to contain the 250logements the territory of the commune of Jijel located at Ouled Bonnar have still not been delivered to tenants. To cause inconvenience for geotechnical related to soil type disrupt the pace of work, limited the flexibility of on-site businesses and even threaten the outright abandonment of the construction project. The site re-auscultated for the second time in less than two years after the start of construction to deliver all the geological, geotechnical and geo-mechanical soil classified obviously unfavorable to the construction area. Several attempts at stabilization were planned on the site, but none has yielded optimistic solution.

## **Problématique :**

L'étude géotechnique effectuée à Ouled Bounar (POSN°2) entre dans le cadre de l'avant projet de construction des 250 logements sociaux participatifs. Cependant il s'est avéré plus tard que l'implantation des sondages de reconnaissance du sol n'a pas tenu compte de la complexité géologique de cette zone fortement tectonisée.

Les résultats géotechniques obtenus reflètent ceux d'une roche dure compétente hautement favorable à la construction.

Toute la problématique du sujet que nous traitons dans ce mémoire réside dans le fait que ces résultats satisfaisant pour un type de faciès (grés durs) ont été généralisés à tout le territoire et classé à priori totalement favorable et sans réserve aucune.

La zone qui devait recevoir les 250 logements est géologiquement caractérisée par un graben (zone d'effondrement) comblé par plus de 10mde remblais naturels (sable, Cailloux, bloc de grés..) le tout emballé dans une matrice argilo-silteuse incohérente et meuble.

Ce n'est qu'au moment de la réalisation du projet qu'ont surgit les problèmes de déstabilisation de cette zone étroite (moins de 100m de largeur) .Une deuxième campagne de reconnaissance à été effectuée dont les résultats ont surpris les responsables du secteur qui auparavant, avaient sous-estimé l'importance du critère géologique et son impact sur le comportement du sol une fois l' ouvrage réalisé .

Les résultats de la 2<sup>ème</sup> campagne sont éloquentes. Les immeuble ont été purement et simplement implantés sur du remblai et,les éboulis non compactés et présentant une forte pente topographique.

Le basculement de cette ouvrage ne s'est pas fait trop attendre. À ce problème surgissant, on essayera de trouver une solution adéquate pour conforter le ou les immeubles menacés.

# *Introduction*

## **Introduction :**

De nos jours, les contraintes environnementales et démographiques nous obligent à construire sur des sites de moindre qualité ce qui demande une vigilance et une attention particulière de la part du géotechnicien.

Mais pour construire sur ce type de sol et afin d'assurer la durabilité de l'ouvrage et sa sécurité maximale, il faut bien comprendre le comportement du sol vis-à-vis de l'ouvrage qu'il est appelée à supporter.

Le cas de figure que nous allons traiter dans ce mémoire concerne un projet d'urbanisation implanté sur une zone vulnérable d'une part et mal ausculté d'autre part.

Au moins un bloc des bâtiments érigés sur cette zone souffre d'une instabilité manifeste (basculement, fissuration des murs portants) et érosion au niveau du substratum des semelles. Une auscultation tardive du site à été engagée. Les résultats de cette 2<sup>ème</sup> campagne sont exposés au sein de ce mémoire, ainsi que les actions suivant une assistance technique pour la maîtrise de l'ouvrage.

Tous nos efforts sont consentis dans l'espoir de trouver une solution et remédier aux désordres et sinistres couvant derrière ce projet.

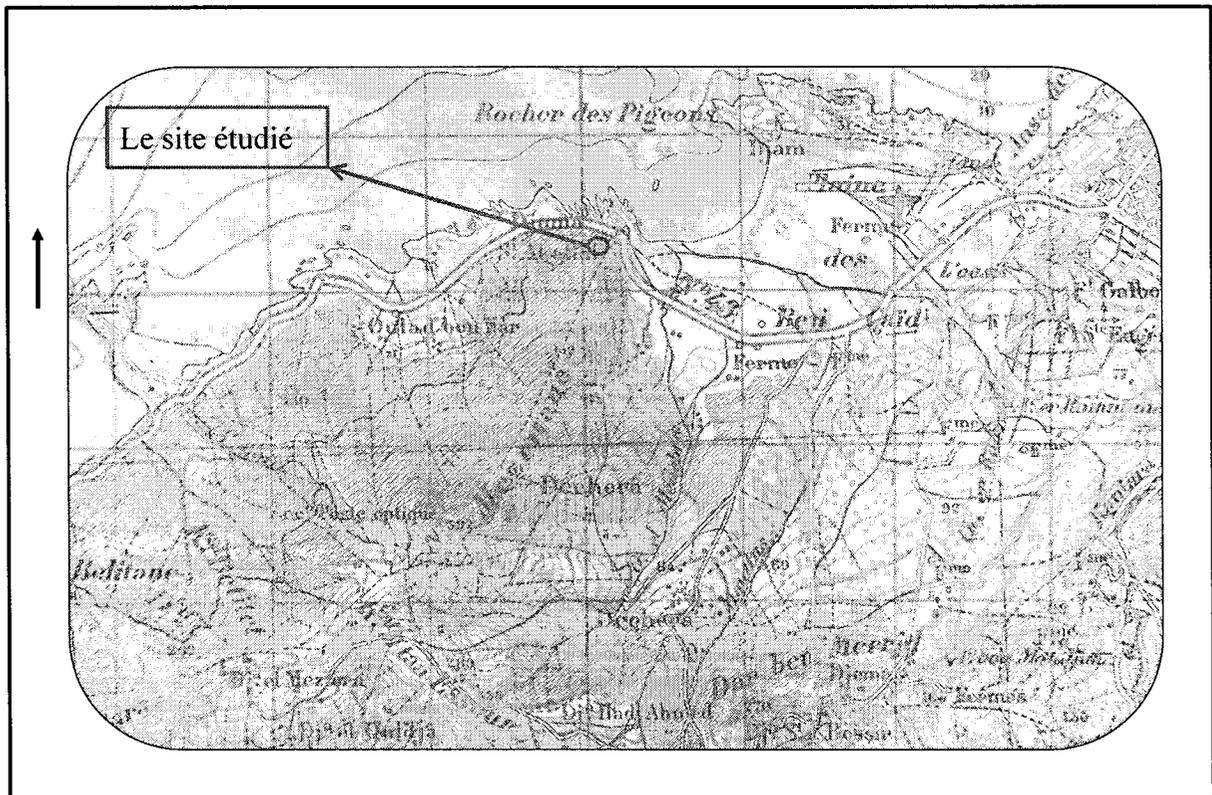
# *Chapitre I :*

## *Généralités*

## I. Généralités :

### I .1. Situation géographique du site étudié :

La cité des 250 logements est située à l'Ouest de la ville de Jijel sur la route nationale N°43 menant vers Bejaia au lieu dit Mazghitane. Elle fait partie d'une zone nouvellement urbanisée intégrée dans le POS n°2 (Voir Figure I-1 et Photo I-1) :



**Figure I-1:** localisations du site étudié



**Photo I-1 : Situation du site d'après la photo prise Google Earth.**

## **I.2 .La morphologie du site étudié :**

La zone étudiée est située sur une portion topographiquement haute à l'Est du POS n°2 sis à Ouled Bounnar .Cette partie du POS n°2 est limitée à l'Ouest par la dépression de Ouled Bounnar et à l'Est par la dépression d'El Aarayech .L'altitude moyenne de site est entre 10m et 100m

La carte des pentes (Figure I-2) a permis de diviser le site en cinq classes:

Classe 1:pente <8%.

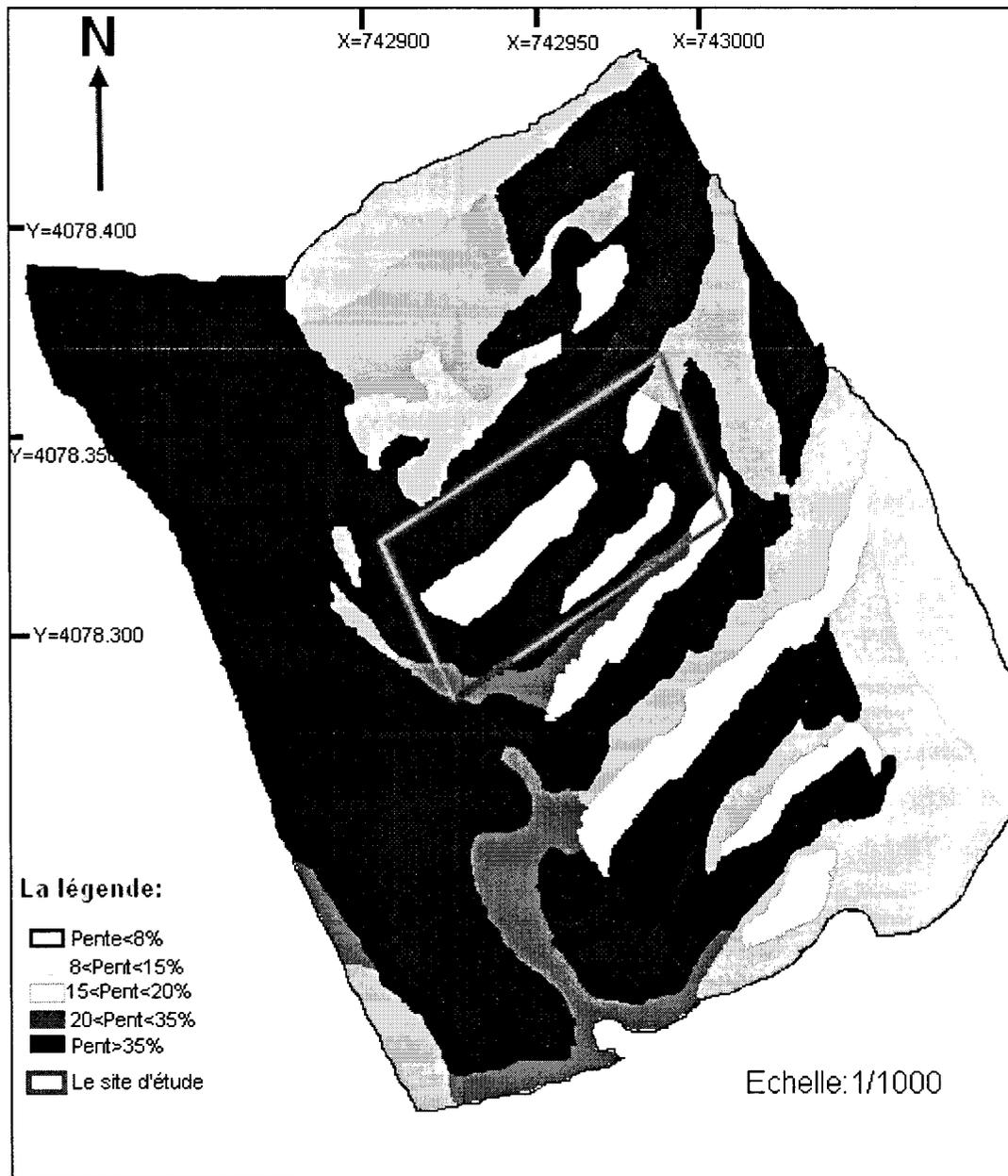
Classe 2:pente entre 8%-15%.

Classe 3: pente entre 15%-20%.

Classe 4: pente entre 20%-35%.

Classe 5:pente >35%.

D'après l'examen de la carte des pentes réalisée sur un fond topographique à échelle 1/1000, le secteur d'étude est caractérisé dans sa majorité par une forte pente (> 35 %) soit 47.90 % de la totalité de la surface.



**Figure I-2: Carte des pentes de la zone d'étude, établie à partir de la carte topographique de Jijel au 1/ 1000.**

### **I.3. Climat :**

Comme toutes les régions du littoral algérien, la région de Jijel, dont fait partie le site d'étude se particularise par un climat tempéré, marqué par un hiver doux et pluvieux avec une pluviométrie moyenne annuelle, variant entre 900 mm/an et 1200 mm/an et un été chaud et sec, avec une température moyenne de 18.32°C. La région est classée parmi les régions les plus arrosées d'Algérie (ANRH 1996, Jijel).

#### I.4. Végétation :

Le couvert végétal de la région où se situe le site d'étude est relativement faible, et constitue des broussailles, de quelques arbustes.

#### I.5. Réseau hydrographique :

Le territoire de la commune de Jijel est traversé par un nombre d'Oueds et Chaabates. Dont les plus importants sont de Ouest en Est de la région (Voir Figure III-1) :

Oued Kissir, Oued Medabegh, Oued Moûtas, Oued El-Kantara et Oued Mencha.

#### I.6. Sismicité :

D'après le canevas des règles parasismiques Algériennes RPA (version 2003) le territoire Algérien est subdivisé en quatre zones de sismicité décroissante :

- ❖ Zone 0 : Séismicité négligeable.
- ❖ Zone I : Séismicité faible,
- ❖ Zone II : Séismicité moyenne
- ❖ Zone III : Séismicité forte.

La région de Jijel est classée dans la zone de moyenne sismicité (zone II).

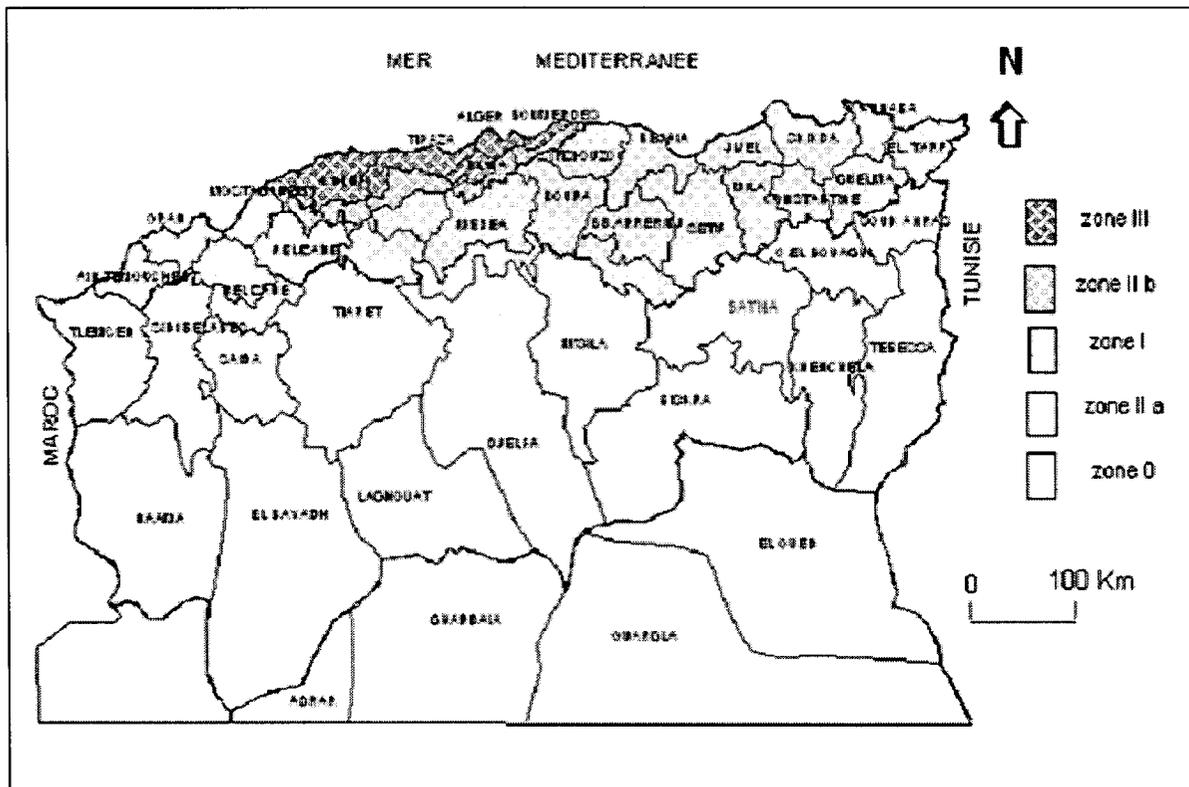


Figure I-3 : Carte de la règle parasismique Algérienne RPA (version 2003). établie par GRAAG .

*Chapitre II :*  
*Contexte géologique*

## II -1 Introduction :

Le site étudié est situé dans le bassin néogène de Jijel qui est limité au Sud par l'arête montagneuse du massif de Béni-Khettab, à l'Est par l'arête montagneuse de Seddat, à l'Ouest par le massif volcanique d'El-Aouana, le massif de Guerrouche et au Nord par la mer Méditerranée.

### II.2 Les formations du bassin néogène de Jijel :

Le substratum du bassin néogène de Jijel est constitué par les formations cristallophylliennes de socle kabyle sur lesquelles reposent en discordance des conglomérats de base surmontés des grés micacés dont l'épaisseur dépasse les 200m. La molasse olistostromique termine le comblement du bassin sur laquelle viennent reposer les formations dites post-nappes.

#### II.2.1 Les formations de l'oligo- Miocène Kabyle (OMK):

Il forme la couverture sédimentaire transgressive et discordante du socle kabyle (Raoult 1974, 1975), (Bouillin 1977).

Les formations de l'OMK sont constituées par des faciès détritiques comportant à la base des conglomérats grossiers polygéniques remaniant des éléments de socle et au sommet des grés micacés. Ces formations sont largement développées dans le bassin de Jijel. (Conglomérat d'Oudjana et grés lithiques de la plage de Jijel).

#### II.2.2 La molasse olistostromique :

Les olistostromes sont des formations tectono-sédimentaires à débris de flyschs maurétanien, massylien et numidien ainsi que de panneaux du flysch nummulitique noyés dans des formations marneuses jaunâtres parfois grisâtres avec quelques passées de grés légèrement carbonatés. La puissance de cette formation molassique dépasse les quelques 300m par endroits.

- **Lithologie des différents olistolites : souvent appelés « flyschs dissociés H.Djellit 1987 ».**

##### a- Le flysch à caractère maurétanien :

Cette formation démarre à la base par une alternance de marnes et de calcaire suivi d'une assise de bancs gréseux homométriques à patine verte attribués à l'Albo-Aptien et des conglomérats datés de l'Eocène supérieur-Oligocène. Ce flysch est présent sur la rive Est de Oued Kissir (Bouillin .J.P et al 1979) .

##### b- Le flysch à caractère nummulitique :

Ainsi dénommé par J.F Bouillin, Ce flysch grés micacé de couleur brun tabac est localement microconglomératique formant la couverture nummulitique du flysch mauritanien. (D'après Bouillin, 1977 et Djallit, 1987) . Il afflue dans la région de djebel Talouda, Bouyouadar, Sidi saidet se prolonge vers le Sud -Est de la ville de Jijel.

### c- Le flysch à caractère massylien :

Il est caractérisé essentiellement par des alternances des bancs de quartzites fines vert olivatre, d'argiles schistosées brun-noirâtre, des marnes allant du Néocomien à l'Albien supérieur et des phanites noires du Cénomanién supérieur (**Raoult, 1969**). (Région de Tahar Mazeghitane et Hadada).

### d- Le flysch à caractère numidien :

Ce flysch affleure sur l'ensemble de Dj Mezghitane où trois termes lithologiques y sont représentés de bas en haut:

- A la base les argiles aux teintes variantes 50m : vertes, jaunes et grises, à intercalations calcaro-gréseuses à glauconies. et renfermant des tubotomaculums (Ouled Damoun).
- 10 à 20 m d'une alternance de péllites à intercalations gréseuses décimétriques, (pré flyschs ou Nord de la carrière de kissir).
- Un ensemble (150 à 200m) gréseux sommital en bancs épais (2 à 8m), à faciès Numidien de teinte jaune blanc ((rouillé à l'altération), à dragées de quartz). (Grés de mezghitane).

## II.2.3 Les dépôts marneux dits Post-nappes :

### II.2.3.1 Tortono-messinien :

Ces dépôts sont représentés par des séries marneuses bleues, parfois jaunâtres par endroits, à passées calcareuses discontinues renfermant des miches calcaires jaune ocre d'ordre décimétrique, parfois métrique, datés du Tortono-messinien transgressives sur la molasse OMK.

La limite occidentale des affleurements du post-nappe est située au Sud de Djebel Talouda. Elle s'étale sur le territoire des Beni Caids et Ech chemechma passe par Zbiria et ce termine dans le Domaine Adouane à l'Est. Ces faciès affleurent sur les collines de Harratene, Boukhertoum et Thourate. (D'après Rouikha, 2008).

A l'Est, sur le site de Harratene ces dépôts présentent plutôt un aspect jaunâtre à passées calcareuses parfois blanchâtres. La présence d'horizons plus ou moins oxydés donne l'aspect rubané à ces marnes.

Par contre au Sud Ouest, cette série est plutôt grise à bleue très épaisse est fortement ravinée (Boukhanous et Djarf).

La puissance de la série marneuse du Tortono-messinien peut atteindre quelques 300m d'épaisseur (d'après Djellit. H, 1987).

### **II.2.3.2 Les terrasses anciennes d'âge Pliocène :**

Elles sont représentées par des microconglomérats grossiers et hétérogènes à blocs arrondis et bien roulés pouvant atteindre 1m de diamètre.

Ces conglomérats reposent généralement sur les marnes bleues post-nappes du Tortono-messinien ils forment des chapelets circonscrits dans la région de Thourat à l'Est de la ville de Jijel.

### **II.2.4 Les dépôts Quaternaire :**

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

Les plus vastes recouvrements occupent les zones basses, comme le littoral de la ville de Jijel, les berges des cours d'eau (Oued Kissir et oued Mencha) où les terrasses récentes constituent de vastes plaines alluviales cultivables. On distingue trois types de dépôts quaternaires :

- Les sables côtiers : dunaires parfois consolidés.
- Les terrasses récentes.
- Les argiles de recouvrement : limons rouges.

### **II-3 Aspect structural de la Petite Kabyle occidentale:**

La structuration géologique du massif de la Petite Kabyle occidentale est le résultat de plusieurs phases tectoniques.(Bouillin 1977, Djellit 1987).

La tectonique du massif de la Petite Kabylie s'est manifestée par plusieurs styles tectoniques :

#### **A. Déformations cassantes :**

La tectonique cassante est principalement marquée par de grands accidents tectoniques par des failles normales décrochantes formant généralement deux réseaux de fracture suborthogonaux dont l'un à une orientation approximative N10 à N20.

Le réseau subméridien N10 est responsable du compartimentage N-S du socle métamorphisé. Par contre le réseau N110 est responsable de l'effondrement de certaines zones formant des chaînons d'Est en Ouest.

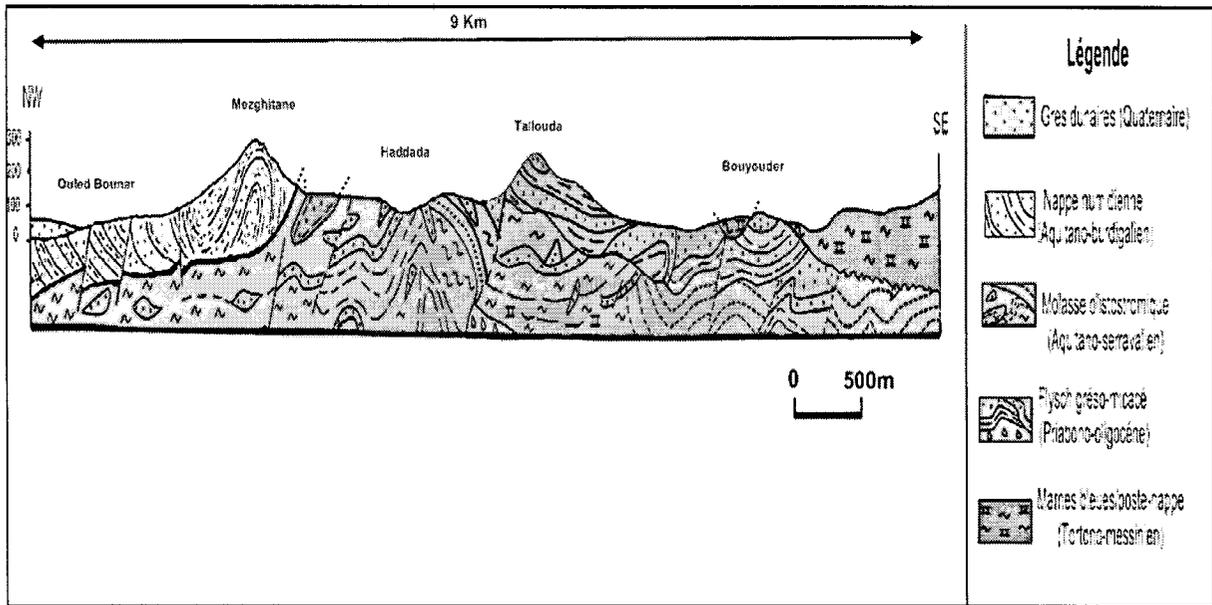
Le réseau hydrographique suit les zones d'effondrement issues de ces fractures profondes qui ont certainement rejoué durant l'orogène alpine (D. Delga, 1971) .

En effet le bassin des flyschs d'orientation E-O qui est largement chevauché par le socle kabyle selon un contact frontalier majeur serait le témoin certain de la dynamique récente de ces anciennes cicatrices.

#### **B. Déformations ductiles :**

Elles sont matérialisées par des plissements de différentes directions, visibles dans les formations du Socle Kabyle et celles des couvertures sédimentaires.

Sur le plan paléogéographique, la partie occidentale du massif de la Petite Kabylie est marquée (Durand Delga (1955) par le retrait de la mer de la plus grande partie des terres immergées les invasions marines ne vont atteindre que des aires limitées, notamment les dépressions côtières (bassin de Jijel, bassin de Oued Zhor et d'El-Milia), où vont se déposer les marnes bleues du Miocène terminal. Les zones montagneuses immergées ont subi une intense érosion et modelage qui leur ont donné l'aspect actuel.



**Figure II-1 : Coupe géologique du bassin néogène de Jijel**

*(D'après I. Khalfa et W. Chouial, 2008), modifiée.*

## **II-4 la géologie du site étudié :**

Le site des 250 logements sujet de cette étude est situé au niveau de la zone dénommée POS d'Ouled Bounar à l'Ouest de la ville de Jijel.

La lithologie du site est monotone étant donné que le projet tout entier est implanté sur un terrain où affleurent uniquement les grés du numidiens en général sans omettre de signaler la zone à éboulis (lieu du projet).

### **II-4-1 Description lithologique :**

Ce sont des grés blancs à la cassure, durs et résistants à grains moyens légèrement grossiers sur certains bancs et renfermant des dragées de quartz millimétriques.

Ces bancs de grés de puissance métrique à plurimétrique sont séparés par des passées argileuses noires et schistosées parfois varicolores interrompant ainsi la monotonie stratigraphique des bancs de grés.

Au niveau du site en question qui est situé dans un graben comblé de colluvions rocheux de nature numidienne et de taille variée, blocs décimétriques, cailloux galets et sables sont mêlés dans une matrice arglo-silteuse de couleur ocre à jaunâtre à consistance meuble.

L'épaisseur de ces remblais naturels dépasse les 15m d'après les sondages mécaniques de la 2<sup>ème</sup> compagnie d'investigation.

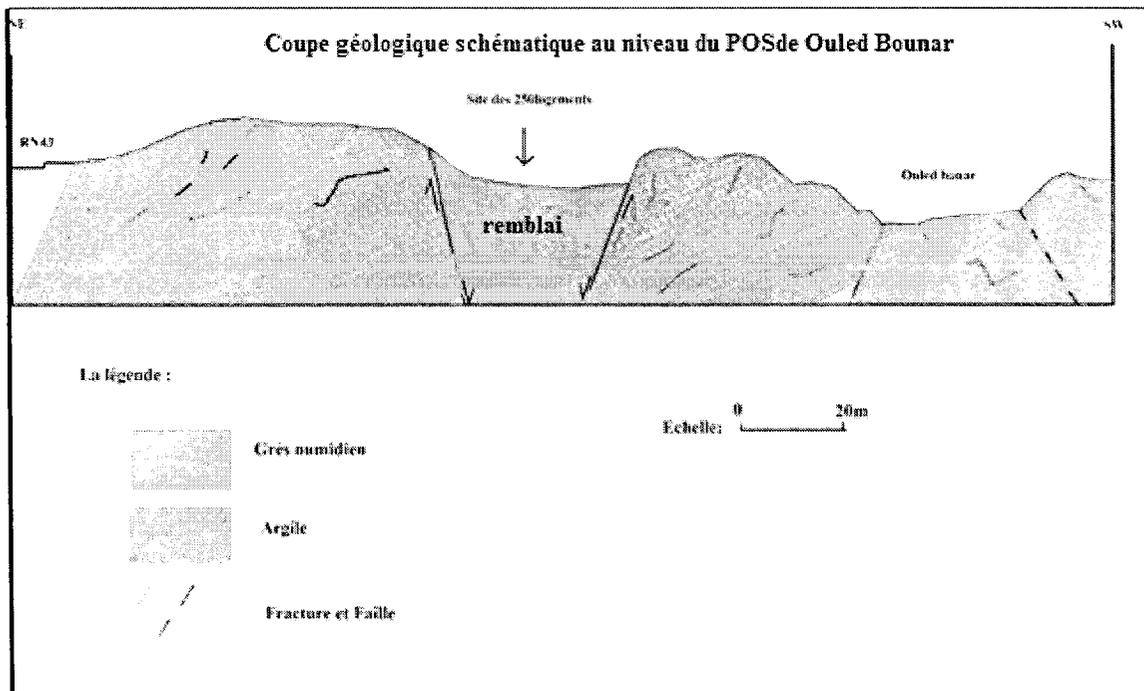
### **II-4-2 Structure géologique de la zone :**

En général, les grés numidiens de Mazghitane sont très tectonisés, leurs puissances ne permettent pas un plissement de couches mais nombreux sont les basculements, les dislocations du massif, les failles et fractures locales ont plusieurs directions notamment N10 et N150°.

Les bâtiments des 250 logements sont implantés sur un fossé ou graben limité par deux failles orientées sensiblement N-S et dont l'une est à miroir vertical visible.

Ces 2 failles limitant le site à l'ouest comme à l'Est sont responsables de l'enfoncement et effondrements des barres gréseuses (voir coupe géologique N°II-2).

Cette structure géologique responsable de tous les problèmes géotechniques actuels que connaît le site n'a pas été approché attentivement ni prise au sérieux par une étude minutieuse lors de la première compagnie d'investigation.



**Figure II-2 : Coupe géologique schématique au niveau du POS d'Ouled Bounar.**

*Chapitre III :*

*Synthèse hydrologique*  
*et hydrogéologique*

### III.1- Introduction

L'eau joue un rôle important dans la déstabilisation des terrains de toute nature. Pour cela nous avons opté pour une analyse hydrologique de la région étudiée dans laquelle on s'attachera plus particulièrement à déterminer le taux des quantités d'eau infiltrées dans le sol, ceci afin d'obtenir les informations nécessaires sur le régime hydrologique de la zone.

### III-2. Hydrologie du bassin versant de Oued Medabegh:

La topographie de la région de Jijel dont fait partie le site étudié représente un bon indicateur des potentiels gravitaires, mis en jeu dans le processus des écoulements de surface.

Toutes les eaux issues de la pluviométrie sont canalisées par les talwegs (Oueds et Chaabats) selon un réseau qui est représenté sur la carte ci-dessous (voir figure III-1).

Le secteur d'étude est limité d'Ouest en Est par deux frontières naturelles à charges constantes, l'Oued Kessir à l'Ouest au Sud Ouest et l'Oued Medabegh à l'Est.

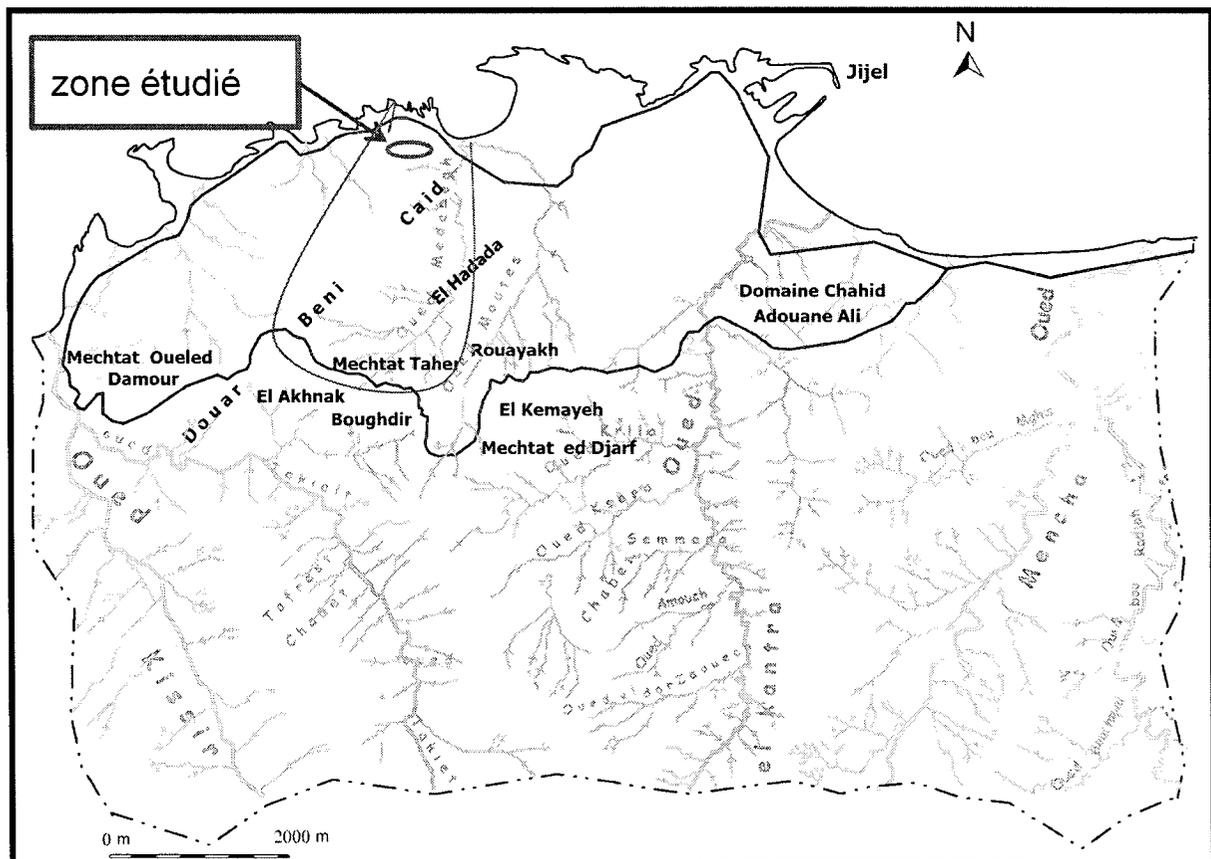


Figure III-1 : Chevelu hydrographique de la région de Jijel

### III.3. Aspect climatologique :

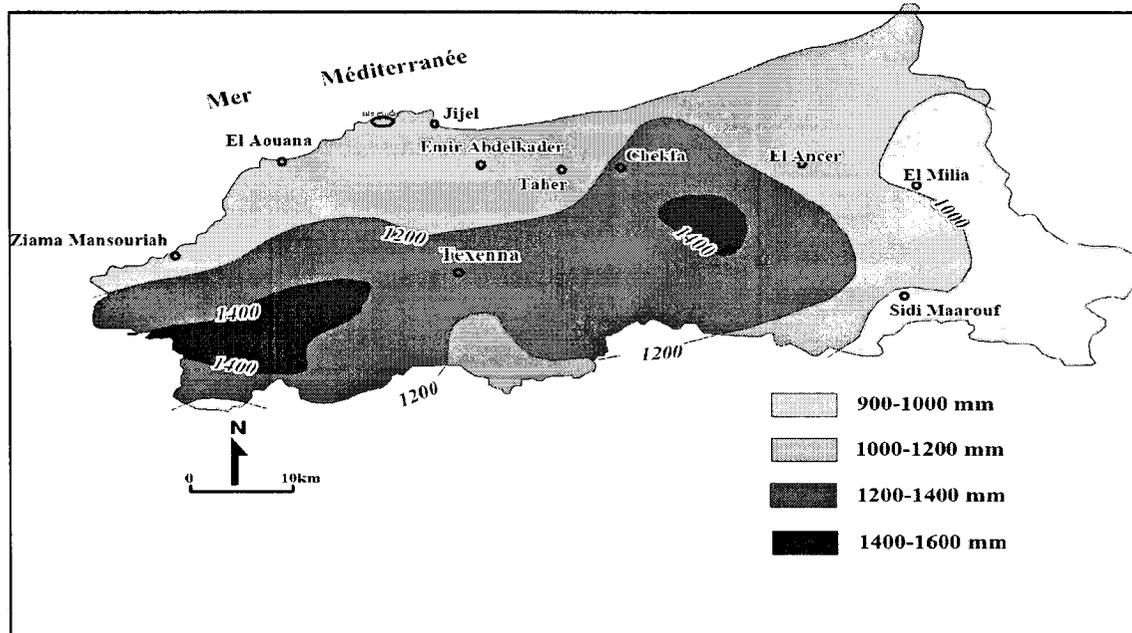
En Algérie, la forte variation de la répartition des précipitations est fonction des influences méditerranéennes et sahariennes, des irrégularités topographiques c'est-à-dire l'altitude et l'orientation des chaînes montagneuses des Atlas Tellien et Saharien. Ces reliefs jouent le rôle des barrières en face des vents désertiques du Sud, alors que subsiste l'influence des vents chargés d'humidité venant du Nord.

Le site des 250 logements de Mazeghitane sis à Ouled Bounnar est caractérisé par un climat de type méditerranéen à hiver doux et humide et à été sec et chaud.

### III. 4 : Analyse des paramètres climatiques :

#### III. 4.1 : Précipitations :

Notre étude s'intéresse aux précipitations liquides (pluies), qui constituent un facteur primordial dans le comportement hydrologique de la région. (voir figure III-2)



*Figure III-2 : Carte pluviométrique de la wilaya de Jijel (ANRH, 1996).*

*Durant la période 1970-1996.*

#### a. Précipitation moyennes annuelles :

L'étude des précipitations moyennes annuelles s'est effectuée à partir des données des séries récentes qui s'étendent de 1998 à 2011 pour la station de Jijel Aéroport El Achouat :

Années	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Précipitations (mm)	94,4	77,6	52,7	65,6	90,8	99,5	89,4	90,8	69,3	100,7	64,6	93,1	91,69	99,18

**Tableau III-1 : Précipitations moyennes annuelles période 1998-2011.**

**(Station Jijel aéroport).**

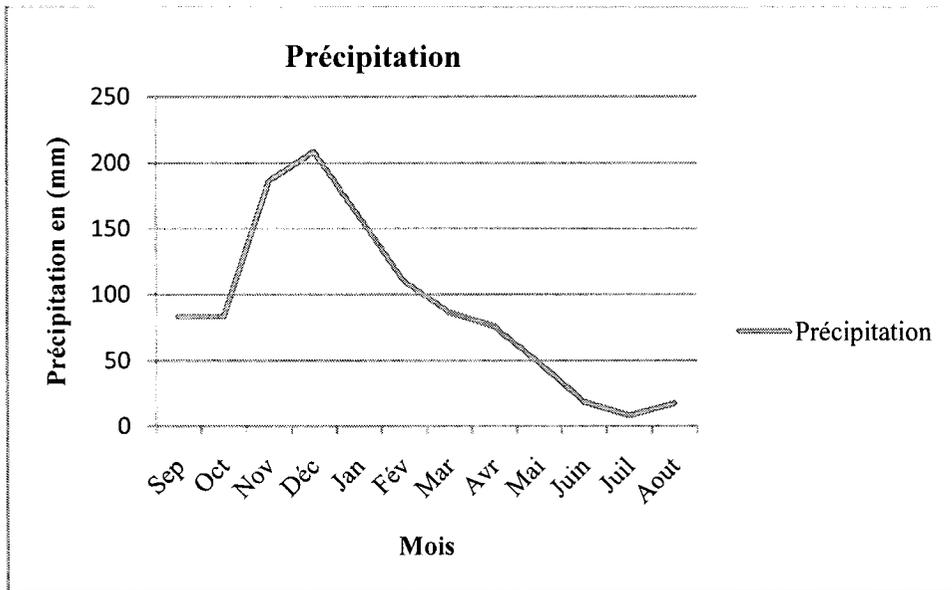
Les variations des précipitations présentent des fluctuations (1998, 2000, 2001), de faible ampleur sauf pour l'année 2000 (déficit de 50% des précipitations) (Voir tableau III-1).

**b. Précipitations moyennes saisonnières :**

La répartition mensuelle et saisonnière des précipitations annuelles et ses variations conditionnent (avec les facteurs thermiques et lithologiques), l'écoulement et le régime des cours d'eau, celui des nappes. Le tableau III-2 donne les moyennes mensuelles et saisonnières de la station de Jijel aéroport pour la période (1998-2011) :

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.	Aout.
Moyenne mensuelle (mm)	83.3	83.15	186.45	208.75	159.8	110.25	86.57	76.1	48.5	18.55	8.21	17.5
Moyenne saisonnière (%)	31.32			44.78			19.75			4.13		
Saison	Automne			Printemps			Hivers			Eté		

**Tableau III-2 : Précipitations moyennes mensuelles et saisonnières, période 1998-2011. (Station Jijel aéroport)**



**Figure III-3 : Précipitations moyennes mensuelles et saisonnières, période (1998-2011), Station Jijel Aéroport.**

Les données climatologiques montrent que (voir Figure III-3 et Tableau III-2):

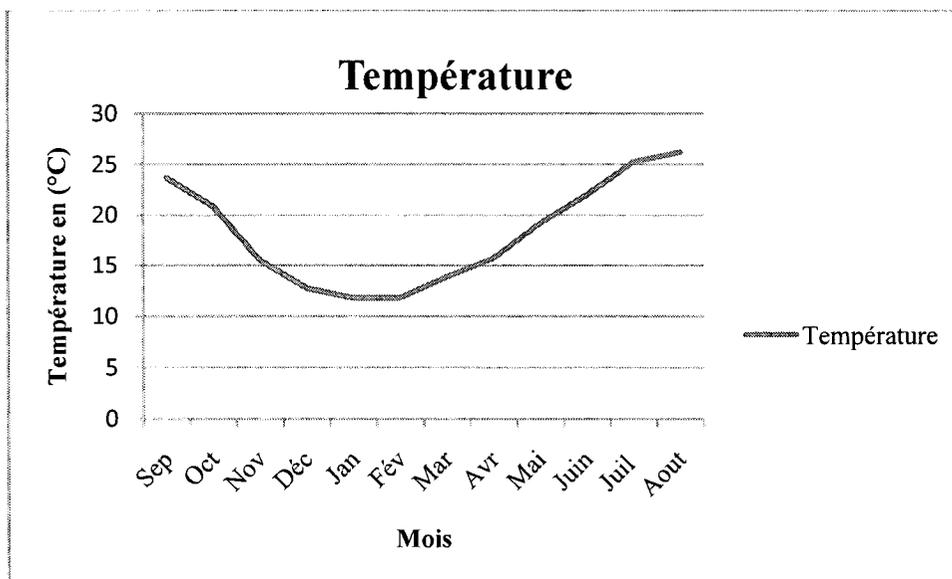
- le maximum des précipitations est observé au mois de décembre avec 208.75mm.
- Le minimum des précipitations est observé au mois de Juillet 8.21 mm.
- Le total annuel est estimé à : 1087.13mm.

#### **III.4.2 Température :**

La température est un facteur qui contrôle le bilan hydrologique et permet l'estimation de l'évapotranspiration. Le tableau III-3 présente les températures moyennes mensuelles et saisonnières de la station de Jijel l'aéroport, durant la période (1998/2011).

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil.	Aout
Moyenne mensuelle (°C)	23.74	20.86	15.49	12.75	11.80	11.84	13.89	15.70	19.19	22.03	25.23	26.21
Moyenne saisonnière (°C)	20.03			12.13			16.24			24.59		
Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté		

**Tableau III-3 : Température moyennes mensuelles et saisonnières, période (1998-2011), Station Jijel Aéroport.**



**Figure III-4 : Température moyennes mensuelles et saisonnières, période (1998-2011), Station Jijel Aéroport.**

La série (1998/2011) des données des températures de la station de Jijel Aéroport nous a permis de conclure que les températures sont basses en Hiver (Décembre, Janvier, et Février), et élevées en Eté (Juin, Juillet, et Août), avec :

- Un minimum au mois de Janvier avec une moyenne de 11,80°C.
- Un maximum au mois d'Août avec une moyenne de 26,21°C.

### III.4.3 Relation températures-précipitations :

- **Diagramme ombrothermique :**

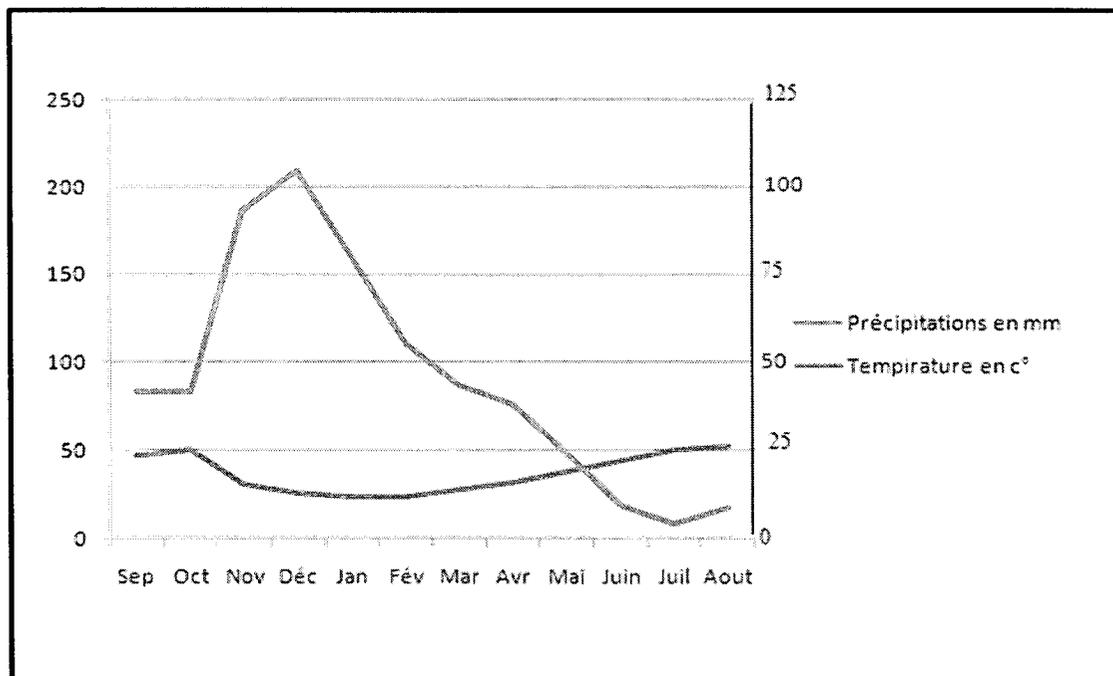
Le diagramme ombrothermique résulte de la combinaison de deux paramètres climatiques principaux, en l'occurrence les précipitations et les températures. Cette relation permet d'établir un graphique ombrothermique sur lequel les températures sont portées à l'échelle double des précipitations.

Le diagramme ombrothermique permet de déterminer les mois les plus secs correspondants selon la définition de **Gausse** et **Bagnoulis** au mois où les précipitations moyennes sont inférieures ou égales au double de la température moyenne ( $P \leq 2T$ ).

Les données sont regroupées dans le tableau III-4 :

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
<b>Précipitations (mm)</b>	83.3	83.15	186.45	208.75	159.8	110.25	86.57	76.1	48.5	18.55	8.21	17.5
<b>Température (°C)</b>	23.7	20.86	15.49	12.75	11.80	11.84	13.89	15.70	19.19	22.03	25.23	26.21

*Tableau III-4 : Répartition des précipitations et des températures moyennes mensuelles. Durant la Période (1998-2011) (Station de Jijel Aéroport).*



*Figure III-5: Diagramme ombrothermique.*

### III.4.4 L'aridité :

L'aridité est exprimée par l'indice d'aridité d'E. Martonne (*Beltrando, 1995*) selon la formule :

$$I = \frac{P}{T_{moy} + 10} \dots\dots\dots(1)$$

Avec :

I : indice d'aridité de E. Martonne.

P : précipitations moyennes annuelles (mm).

T<sub>moy</sub> : Température moyenne annuelle (C°).

L'indice est d'autant plus bas que le climat est plus aride soit :

I < 10 : région très aride.

I < 20 : région aride.

I < 30 : région humide.

I > 30 : région très humide.

Dans notre cas d'étude, la valeur de l'aridité est égale à 33.8, donc la région est classée : Très humide.

### III.4.5 Le bilan hydrologique :

L'établissement d'un bilan hydrologique est indispensable à l'évaluation des réserves d'eau transmise ou emmagasinée dans une région. Il est représenté par la formule suivante :

$$P = ETR + R + I + Wa \dots\dots\dots(2)$$

Avec:

P : Précipitations moyennes annuelles en mm ;

ETR : Evapotranspiration Réelle en mm ;

I : Infiltration en mm.

R : Ruissellement en mm ;

Wa : Variation des réserves (terme souvent négligeable).

### III.4.5.1 Calcul de l'Évapotranspiration :

L'évapotranspiration est un transfert de l'eau de la terre vers l'atmosphère par évaporation des eaux de surface et du sol et par transpiration de la végétation. Nos résultats de calcul sont consignés dans le tableau III-5 .

#### A. Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP) :

C'est la quantité d'eau nécessaire à la transpiration non ralentie d'un tapis végétal couvrant entièrement et alimenté régulièrement en eau.

La formule générale utilisée pour le calcul d'ETP selon **Thornthwaite** est la formule suivante :

$$ETP = 16 \left( \frac{10T}{I} \right)^a$$

$$ETP \text{ corrigée} = 16 \frac{10T}{i} \cdot K \dots\dots\dots(3)$$

Avec :

T : la température moyenne mensuelle par le truchement « i » (indice thermique mensuelle) d'où :

$$i = \left\{ \frac{T}{5} \right\}^{1.154}$$

i : indice thermique annuel calculé selon la formule ci-après;

$$I = \sum_{i=1}^{12} i$$

a : Coefficient d'ajustement de la formule de Thornthwaite en fonction de l'altitude.

$$a = 0,016I + 0,5 .$$

D'après les données de la station de Jijel Aéroport : **I = 87.6 et a = 1.90.**

Le tableau suivant donne la répartition de l'évapotranspiration potentielle par la méthode de Thornthwaite, avec K facteurs de corrections par lesquelles il faut multiplier la valeur d'ETP non corrigée pour obtenir l'évapotranspiration corrigée (la série 1998-2011, source Aéroport F.Abbès).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total annuel
P (mm)	83.3	83.15	186.45	208.75	159.8	110.25	86.57	76.1	48.5	18.55	8.21	17.5	1087.13
T(C°)	23,74	20,86	15,49	12,75	11,80	11,84	13,89	15,70	19,19	22,03	25,23	26,21	22.17
I	10,57	8,69	5,45	4,12	3,67	3,69	4,70	5,65	7,66	9,44	11,59	12,28	I=87.6
ETP non corrigée (mm)	106,35	83.69	47.25	32.64	28.17	28.35	38.40	48.47	70.99	92.27	119.39	128.36	824.33
K	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	-
ETP corrigée (mm)	109.55	80.69	40.64	27.42	24.51	24.10	39.56	53.32	85.90	112.57	148.05	148.90	895.21

**Tableau III-5 : Calcul de l'Evapotranspiration Potentielle (ETP), période (1998/2011), station Jijel Aéroport**

L'évapotranspiration potentielle calculée est de l'ordre de **895.21mm**.

#### **B. Calcul de l'Evapotranspiration Réelle (ETR) :**

Par définition l'*ETR* est la quantité d'eau évaporée ou transpirée selon les conditions climatique réelles .l'*ETR* est fonction de l'*ETP* et de la quantité d'eau présente dans le sol.

- 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*), dans ce cas, Thornthwaite admet l'utilisation d'une Réserve Facilement Utilisable (RFU) de 100 mm.

$ETR = \sum p_i + RFU$ ; celle-ci est supposée mobilisée comme suit :

**a)** si la RFU antérieure est assez forte pour combler l'insuffisance des précipitations ;  
 $ETR=ETP$

**b)** si la RFU est insuffisante pour satisfaire l'évapotranspiration potentielle, l'*ETR* reste inférieure à celle-ci et est égale à la somme des précipitations du mois et des RFU.

Si malgré l'apport des réserves facilement utilisable l'*ETR* est toujours inférieur à l'*ETP*, à ce moment il existe un déficit agricole (DA).

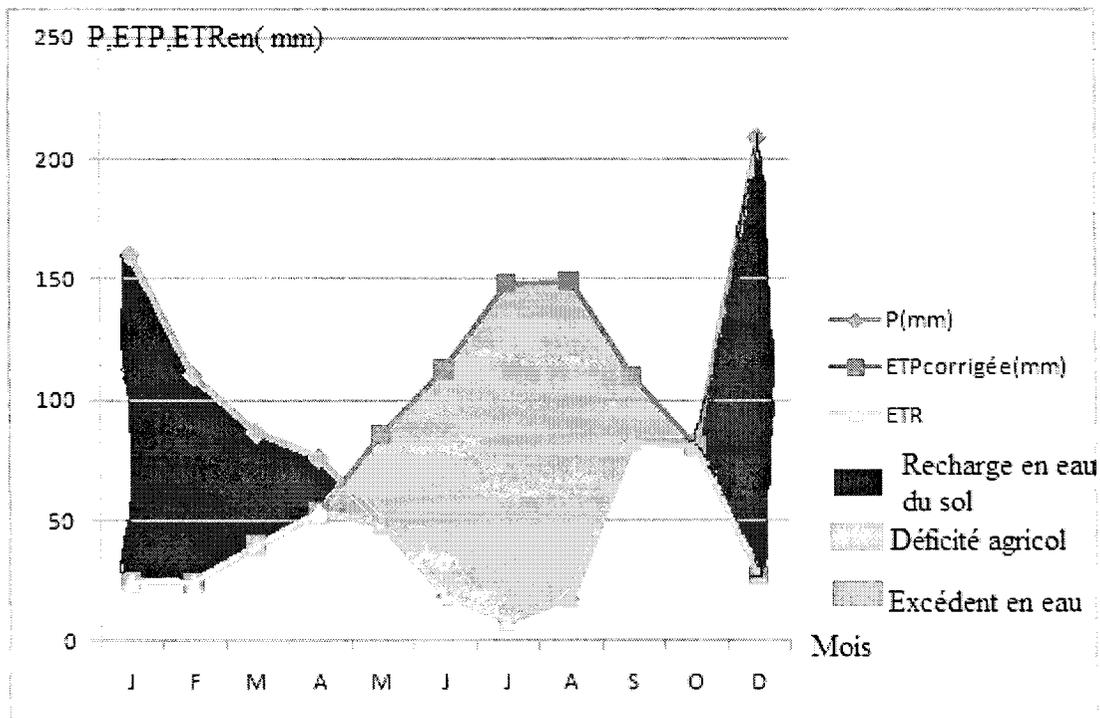
$$DA = ETP - ETR \dots \dots \dots (4).$$

**Ws : Excédent d'eau (Water-surplus),**

Les résultats de calcul du Ws sont présentés dans le tableau III-6 :

MOIS	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total Annuel
<b>P (mm)</b>	83.3	83.15	186.45	208.75	159.8	110.25	86.57	76.1	48.5	18.55	8.21	17.5	<b>1087.13</b>
<b>ETP corrigée (mm)</b>	109.55	80.69	40.64	27.42	24.51	24.10	39.56	53.32	85.9	112.57	148.05	148.9	<b>895.21</b>
<b>P-ETP</b>	-26.25	2.46	145.81	181.33	135.29	86.15	47.01	22.78	-37.4	-94.02	-139.84	-131.4	-
<b>RU</b>	0.00	100	100	100	100	100	100	100	00,00	0,00	0,00	0,00	-
<b>ETR</b>	83.3	80.69	40.64	27.42	24.51	24.10	39.56	53.32	48.5	18.55	8.21	17.5	<b>466.3</b>
<b>DA</b>	26.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	37.4	94.02	139.84	131.4	<b>428.91</b>
<b>Ws</b>	0.00	2.46	145.81	181.33	135.29	86.15	47.01	22.78	00.00	0.00	0.00	0.00	<b>620.83</b>

**Tableau III- 6 : Calcul de l'Evapotranspiration Réelle (ETR) (période 1998/2001 station Jijel Aéroport)**



**Figure III-6 : Représentation graphique du bilan hydrologique.(Jijel 1998-2011)**

### ➤ Interprétations des résultats de bilan hydrologique

L'examen des données récapitulées dans le tableau et le graphe du bilan hydrologique permettent de déduire que les précipitations atteignent leur maximum au mois de décembre, période durant laquelle l'évapotranspiration potentielle (ETP) atteint son minimum. Cette dernière (ETP) atteint son maximum au cours de la période sèche plus précisément au mois de juillet (plus le climat est sec, plus l'ETP est importante). Quant au déficit agricole, il s'étend sur la période sèche de l'année où un épuisement des réserves est observé. Cet épuisement est bien prononcé durant la période sèche (de mi-mai à octobre), est un déficit agricole important durant cette période.

#### III.4.5.2 Estimation du ruissellement et de l'infiltration :

Pour le calcul des ruissellements et des infiltrations on utilise :

Evapotranspiration potentielle.	ETP= 895.21 mm.
Précipitations moyennes annuelles.	P= 1087.13 mm.
Lame évapotranspirée.	ETR= 466.3mm.

#### A. lame d'eau ruisselée (R) :

La lame d'eau ruisselée est estimée à partir de la formule **Tixeront-Berkaloff**, son expression est comme suit:

$$R = \frac{P^3}{3(ETP)^2} \dots\dots\dots(5).$$

Avec :

$R$  : ruissellement superficiel en mm ;

$P$  : précipitation moyenne annuelle en mm;

$ETP$  : l'évapotranspiration potentielle d'après **Thornthwaite** en mm.

$$R = \frac{(1087.13)^3}{3(895.21)^2} = 534.4 \text{ mm}$$

$$R\% = \frac{R(534.4\text{mm}) \times 100}{P(1087.13\text{mm})} \Rightarrow R = \frac{534.4 \times 100}{1087.13}$$

$$R = 49.15\%$$

Donc le ruissellement représente 49.15% des précipitations.

Pour caractériser la capacité d'un bassin versant à ruisseler, un indice est souvent calculé : le coefficient de ruissellement  $C_r$ , qui est défini comme suit :

$$C_r = R / P$$

$$C_r = \frac{534.4}{1087.13} = 0.49$$

$C_r$  varie en général entre 0 et 1 mais peut être supérieur à 1 dans le cas d'échanges entre bassins en milieux karstiques. Il est fortement influencé par la couverture du sol.

### B. lame d'eau infiltrée (I) :

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.

L'excédent des précipitations engendre l'infiltration vers la nappe quand la Réserve Facilement Utilisable ou *RFU* est maximale. Donc on peut estimer l'infiltration à partir de l'équation du bilan suivante :

$$P = ETR + R + I + Wa \Rightarrow I = P - (E + R)$$

Avec:  $Wa$  variation des réserves souvent négligeable.

$$I = 1087.13 - (895.21 + 534.40) \\ = 86.43 \text{ mm}$$

$$I\% = \frac{I(\text{mm}) \times 100}{P(\text{mm})} \Rightarrow I = \frac{86.43 \times 100}{1087.13} = 7.95\%$$

	Période	P(mm)	ETP(mm)	ETR(mm)	R(mm)	Cr(mm)	I(mm)
Jijel Aero port	1998-2011	1087.13	895.21	466.3	534.4	0.49	86.43

**Tableau III-7: Valeurs des termes du bilan hydrologique.**

### III-6 Hydrogéologique du site :

#### III-6-1 Lectures des niveaux piézométriques :

Le relevé des niveaux piézométriques effectué durant la période allant de Janvier à mars 2012 s'échelonne sur 6 lectures.

Les résultats de la campagne piézométrique sont consignés dans le tableau n°III-8 suivant :

**Remarque :** les sondages S1, S2, S3 ont fait office de piézomètres et ont servi ainsi au suivi du niveau d'eau. La côte absolue étant 37, 5, le niveau piézométrique est le suivant :

Piézomètre	Cote absolue	Profondeur piézométrique en(m)	Cote piézométrique (eau) en m
S1	37,5	1,40	36,1
		1,31	36,19
		1,25	36,25
		1,22	36,28
		1,20	36,30
		1,18	36,32
S2	37,5	0,80	36,7
		0,72	36,78
		0,65	36,85
		0,64	36,86
		0,63	36,87
		0,63	36,87
S3	37,5	0,40	37,1
		0,25	37,25
		0,20	37,3
		0,20	37,3
		0,18	37,5
		0,17	37,6

**Tableau III-8 : Relevés piézométriques des puits S1, S2, S3 (période Janvier-Mars 2012, d'après les données de laboratoire)**

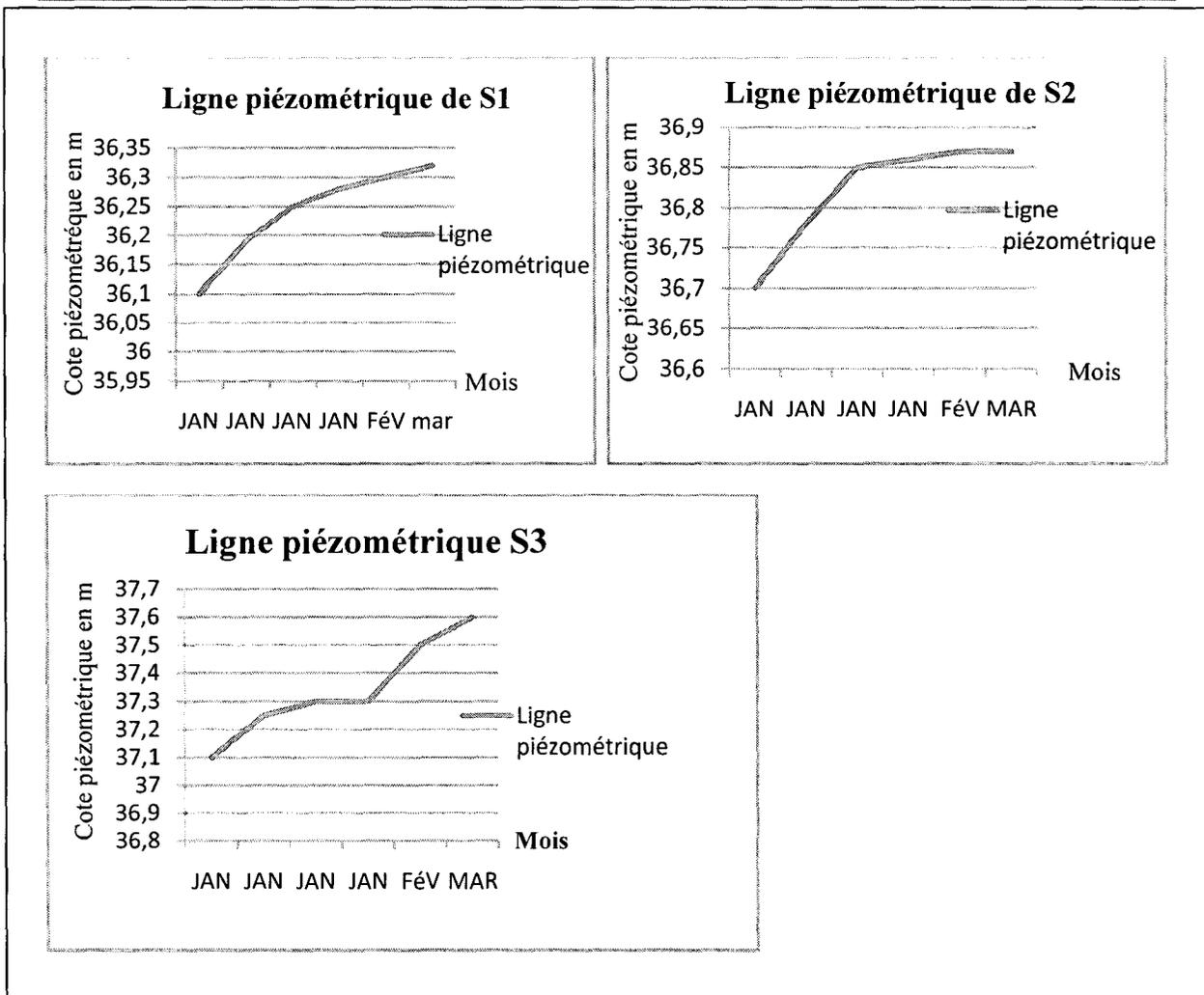


Figure III-7 : Courbes piézométriques (période Janvier- Mars 2012, d’après les données de laboratoire)

**III-6-2 Interprétation des résultats :**

Les figure III-7 montrent un comportement identique pour les 3 sondages, en effet, les lignes piézométriques tracées sont parfaitement concordantes .L’allure des courbes indique l’existence d’une nappe limitée dans l’espace effondré et dont la continuité hydraulique est vérifiée.

Notons par ailleurs que la nature lithologique du site constituée par des formations perméables et hétérogène permettent aux eaux pluviales de s’infiltrer et de stagner à l’intérieure de ces formations.

**Conclusion :**

Donc on conclue qu'une quantité d'eau soit 7.95% des précipitations annuelles sur les versants s'infiltré dans le sol, alors que l'autre partie est partagée entre le ruissellement avec 49.15% et l'évapotranspiration avec 42.89%.

Le pourcentage d'infiltration quoique faible joue un rôle important dans l'instabilité du terrain qui dans notre cas, cette eau circule dans un terrain meuble et incohérent et favorise l'érosion interne des fines donc la création des vides supplémentaire accélère le phénomène de liquéfaction des sables et limon sous l'action des vibrations journalières des engins des travaux publics.

Nous pansons que tous ces paramètres et causes (naturels et anthropiques) sont suffisantes pour rendre le site très vulnérable et hautement défavorable à la construction et nécessite un traitement préalable.



# *Chapitre IV :*

## *Contexte géotechnique*



### IV-1 Introduction :

Toute assiette foncière devant recevoir un projet de construction ou à l'implantation d'autres infrastructures de base (route, barrage, pont.. )doit impérativement faire l'objet d'une auscultation géotechnique minutieuse de la part des géotechniciens responsables du projets.

Si la géologie est en mesure de qualifier un affleurement de roche ou de sol et donne un avis sur la recevabilité de tel ou tel projet, la géotechnique doit se prononcer sur l'interaction sol-projet de la façon la plus détaillée.

Ainsi le comportement ultérieur d'un projet, sa stabilité, sa durée de vie eu égard aux différents aléas (géologiques et sismiques), sont du ressort du géotechnicien et de sa spécialité.

Dans le cas de notre projet nous essayerons de donner les raisons pour lesquelles la géologie et la géotechnique présentent les mêmes degrés d'intérêt dans une construction de quelque nature qu'elle soit.

Le cas de 250logements de Mezghitane (voir photo IV-1) construits sur une zone géologiquement très tectonisée et instable se trouve dans une impasse en panne de solution.

Les données géotechniques sur lesquelles se sont basés les responsables du projet ne reflétaient pas la réalité du terrain.

Sur la base des nouvelles données nous proposerons des solutions adéquates répandant le plus possible à la dynamique de cette zone.

Pour cela, notre étude sera menée comme suit :

- 1-La nouvelle campagne des reconnaissances géotechniques(2012).
- 2-L'annecien Compagne des reconnaissances géotechnique (2003).
- 3-Comparaissant entre les deux compagnes.
- 4-Les solutions qui proposent.

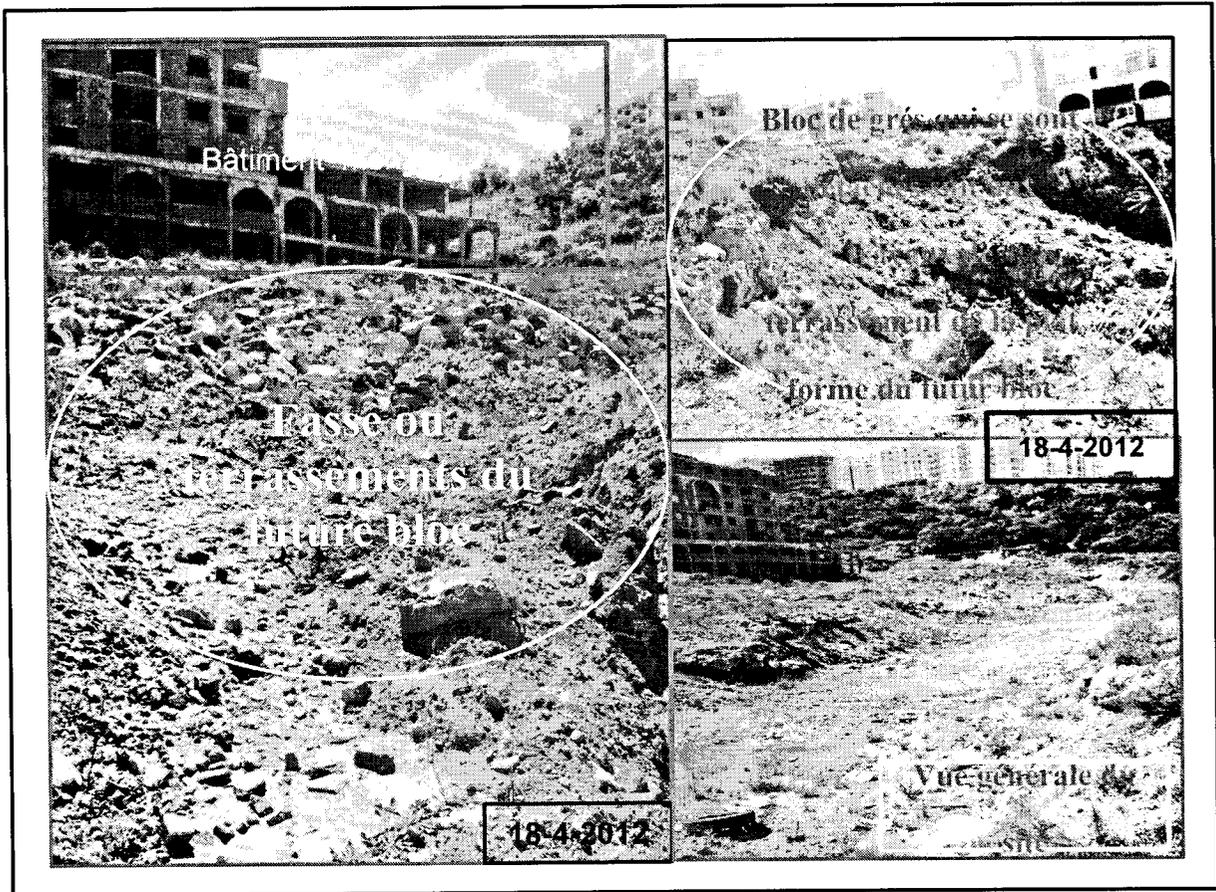
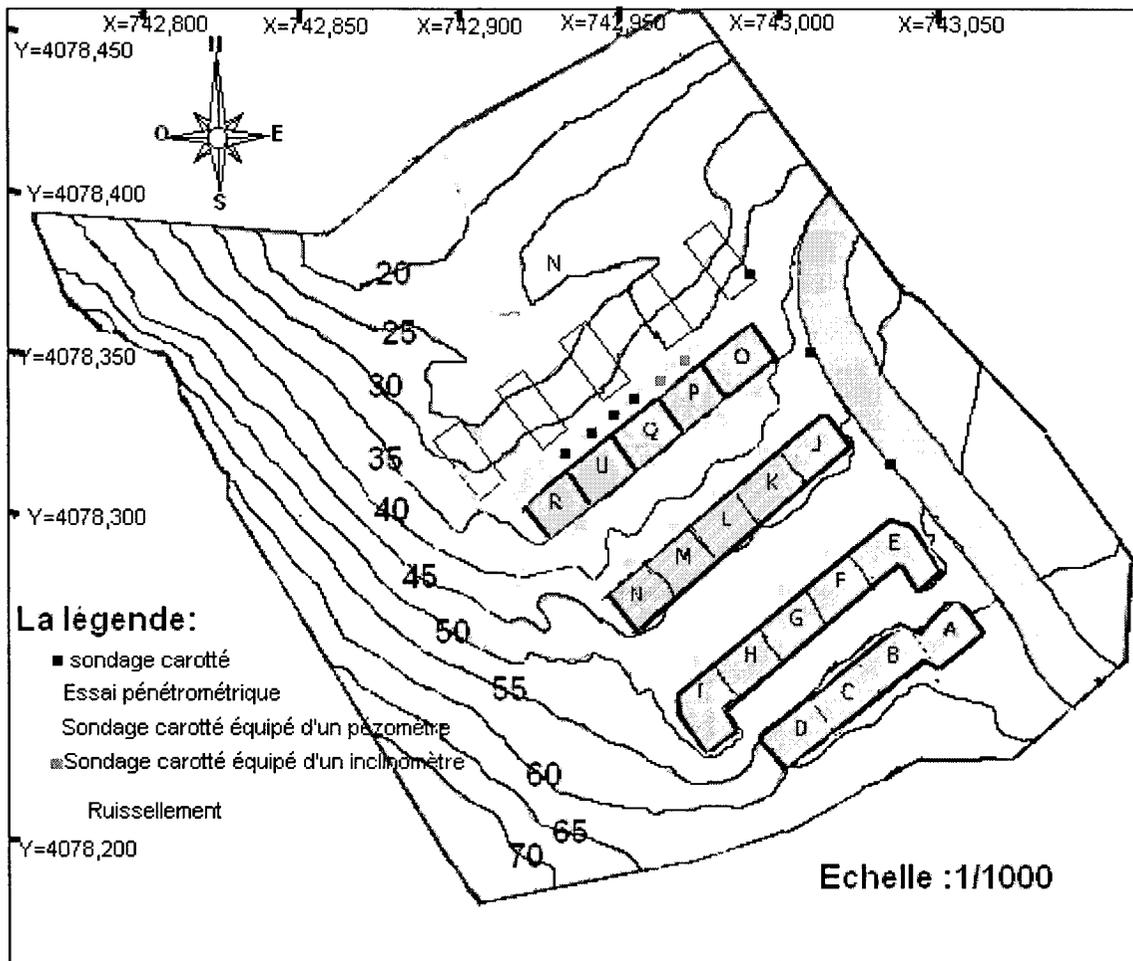


Photo IV-1 : Vue générale du site des 250 logements.

#### IV-2. Campagne des reconnaissances géotechniques (laboratoire de géologie et géotechnique Sétif BUIBAOUNE Lakhdar 2012)

La nouvelle campagne des reconnaissances géotechniques du site étudié a porté sur la réalisation de 09 sondages carottés à 15.00 m de profondeur, 18 essais de pénétromètre dynamique, ainsi que les essais de laboratoire (voir figure IV-1).

Remarque : 4 inclinomètres prévus pour la surveillance du projet n'ont pas fait l'objet des résultats jusqu'à présent.



**Figure N°IV-1 : Lieux d'implantation des essais des sondages carottés et essais DPT (laboratoire géologie et géotechnique Sétif BUIBAOUNE Lakhdar).**

#### VI-2.1 Les essais in situ :

Le but de ces essais est de définir les caractéristiques géotechniques des formations traversées et d'en préciser les profondeurs.

##### IV-2-1.1 Les sondages carottés :

09 sondages carottés ont été réalisés sur le site étudié de 15 m de profondeur soit 135m linéaires lesquels ont bien précisé la lithologie du terrain et son épaisseur.

D'après ces sondages carottés le terrain est constitué généralement par des matériaux d'apport (remblais, blocs gréseux dans une matrice argileuse très plastique) d'épaisseur

variant entre 3,70 et 9,20m emballés dans une matrice argilo-silteuse jaunâtre rouillée. Localement, on trouve des passées d'argile noire schistosée de faible puissance (dm).

Sondages	Profondeur	Lithologie
<b>Sc 01</b>	0.00 - 5.10m	Matériaux d'apport
	5.10-8.30m	Grés massifs très fracturés.
	8.30-10.50m	Pélite schisteuse grise
	10.50-15.00m	Grés massifs à grains fins
<b>Sc 02</b>	0.00 - 8.30 m	Matériaux d'apport.
	8.30 - 9.00 m	Pélite schisteuse.
	9.00 - 11.20 m	Grés massifs très fracturés.
	11.20 - 13.80 m	Pélite schisteuse.
	13.80 - 15.00 m	Grés massifs à grains fins.
<b>Sc 03</b>	0.00 - 3.70 m	Matériaux d'apport.
	3.70 - 10.80 m	Pélite schisteuse.
	10.80 - 15.00 m	Alternance des bancs gréseux avec des bancs péliteux.
<b>Sc 04</b>	0.0 - 2.10 m	Matériaux d'apport
	2.10 - 9.70 m	Pélite schisteuse
	9.70 - 12.10 m	Alternance des bancs gréseux avec des bancs péliteux .
<b>Sc 05</b>	0.0 - 8.90 m	Matériaux d'apport.
	8.90 - 12.20 m	Pélite schisteuse.
	12.20 - 15.00 m	Alternance des bancs gréseux avec des bancs péliteux .
<b>Sc 06</b>	0.0 - 9.20 m	Matériaux d'apport
	9.20 - 10.20 m	Pélite schisteuse.
	10.20 - 15.20 m	Alternance des bancs gréseux avec des bancs péliteux d

Sc 07	0.00 - 8.90 m	Matériaux d'apport
	-8.90 - 9.90 m	Pélite schisteuse
	9.90 - 15.00 m	Alternance des bancs gréseux avec des bancs péliteux
Sc 08	0.0 - 6.50 m	Matériaux d'apport
	6.50 - 7.30 m	Pélite schisteu
	7.30 - 8.70 m	Grés massifs à grain fins
	8.70 - 15.00 m	Alternance des bancs gréseux avec des bancs péliteux
Sc 09	00 - 4.60 m	Matériaux d'apport.
	4.60 - 6.50 m	Pélite schisteuse
	6.50 - 7.70 m	Grés massifs à grain fins.
	7.50 - 10.50 m	Pélite schisteuse.
	10.50 - 12.70 m	Grés massifs à grain fins.
	12.70 - 15.00 m	Alternance des bancs gréseux avec des bancs péliteux

*Tableau IV-1 Résultats des sondages carottés (2<sup>ème</sup> campagne 2012)*

#### IV-2.1.2 Pénétromètre dynamique :

Il permet la détermination de la **résistance dynamique d'un sol**. Une pointe métallique portée par un train de tiges pénètre dans le sol par battage successif. On mesure ensuite à intervalles d'enfoncement régulier, l'énergie nécessaire correspondante.

L'appareil consiste en une enclume de masse M tombant d'une hauteur fixe H, et avec une vitesse initiale nulle. Le mouton frappe l'enclume solidaire du train de tiges et produit ainsi l'enfoncement de la pointe. On relève le nombre de coups (Nd) nécessaire pour faire pénétrer la pointe sur une hauteur h. Les résultats sont généralement exprimés sous la forme de diagramme en barre ( $Q_{ad}$  en fonction de la profondeur) et peuvent ainsi être plus facilement exploitables par recoupement sur un même profil d'essais "in situ" de nature différente (type sondage à la tarière).

### ➤ **Interprétation des résultats :**

Les dix huit (18) essais pénétrométriques ont été implantés et réalisés suivant quatre profils selon des déférentes cordonnées.

Les pénétromètres mis en évidence la présence de deux horizons :

Le premier horizon est caractérisé par des valeurs de faible résistance à la pointe comprises entre 0 et 30 bars. Le deuxième horizon est caractérisé par des valeurs de résistance à la pointe supérieure à 30 bars.

Les valeurs pénétrométriques font apparaitre une zone de forte résistance à la pointe caractérisant la zone saturée en eau, dans la partie Ouest, le refus a été obtenu à plus de 7 m de profondeur.

### **Remarque :**

La profondeur du refus à 7m ne reflète pas la lithologie du site d'après les sondages carottés

### **IV-2.2 Les essais de laboratoire :**

Les échantillons prélevés au niveau du site étudié ont été soumis à des essais d'identification physique et de comportement mécanique. Les valeurs des principaux paramètres physiques, mécaniques et chimiques mesurés pour chaque sondage à différentes profondeurs se résument en :

#### **IV-2.2.1 Les paramètres physiques :**

Sur les échantillons prélevés, les essais physiques réalisés se résument aux paramètres suivants :

- ❖ La détermination des teneurs en eau naturelles et des degrés de saturation.
- ❖ L'analyse de la granulométrie et la sédimentométrie.
- ❖ La mesure de la masse volumique sèche  $\gamma_d$ .
- ❖ La mesure des limites d'Atterberg (WL, WP, Ip)

#### ➤ **Essais d'identification du sol:**

##### **Teneur en eau naturelle W :**

C'est le rapport exprimé en pourcentage, du poids d'eau que le sol contient au poids de ses éléments secs, après dessiccation à l'étuve à 105°C (60°C dans le cas des sols contenant des éléments organiques).

La connaissance de la teneur en eau d'un sol est très importante car elle permet avec d'autres caractéristiques d'apprécier l'état de consistance dans lequel se trouve ce sol.

##### **Le degré de saturation $S_r$ :**

C'est le rapport du volume de l'eau au volume des vides d'un sol, exprimé en %.

### Le poids volumiques :

- ❖ Le poids volumique du sol humide (ou apparent)  $\gamma_h$  : c'est le rapport du poids total d'une certaine quantité de sol à son volume.
- ❖ Le poids volumique du sol sec  $\gamma_d$  : c'est le rapport du poids du matériau sec contenu dans une certaine quantité de sol au volume de ce même sol.

Les valeurs des principaux paramètres physiques sont représentées sur le tableau IV-2 (Les essais de laboratoire ont été réalisés selon la norme XP CEN ISO/TS 17892-1 Aout 2005) :

Paramètre	Teneur en eau naturelle W(%)			Degré de saturation Sr			Masse volumique apparente $\gamma_d$ (t/m <sup>3</sup> )		
	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max
Le sol	15,64	17,23	18,69	81,43	89,35	94,62	1,73	1,77	1,83

*Tableau IV-2 : Les Valeurs des principaux paramètres physiques du sol (D'après les résultats du laboratoire géologie et géotechnique Sétif BUIBAOUNE Lakhdar2012)*

Il ressort de ces résultats ce qui suit :

- Le sol est dense à **très dense**.
- Les valeurs obtenues concernant la teneur en eau naturelle montrent que le sol est **moyennement humide**.
- Les valeurs du degré de saturation montrent que le **sol est très saturé en eau**.
- **Analyse granulométrique :**

L'analyse granulométrique a pour but de déterminer les pourcentages des différents diamètres des grains du sol.

Cet essai granulométrique a été, également réalisé selon les normes (XP CEN ISO/TS 17892-4 Aout 2005 et NF P 94-057-1992). Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant :

tamisât cumulés%	Ø ouverture des tamis	S1	S2	S3	S4	S4	S5	S6	S6	S7	S8	S8	S9
	200mm	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	60mm	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	2mm	85	85	84	87	89	88	87	89	88	85	83	81
	0.060mm	60	58	60	62	64	62	72	72	71	64	64	64
	0.002mm	36	36	36	38	39	38	44	44	44	39	39	38

**Tableau IV-3 : Résultat des tamisât cumulés (essai granulométriques)**

Il ressort de ces résultats ce qui suit :

- ❖ Le pourcentage de sable (2 mm- 0.060mm) = 23.00 %
- ❖ Le pourcentage de limon (0.060mm – 0.002mm) = 25.16%
- ❖ Le pourcentage d'argile (<0.002 mm) = 51.84 %

D'après le diagramme de la « Public Roads Admenistration » d'identification des sols, le sol est classé dans la catégorie « I » caractérisant une argile.

➤ **Les limites d'Atterberg :**

Pour un sol fin, elles mettent en évidence l'influence de la teneur en eau sur la consistance du matériau (Filliat, 1981) .La limite de liquidité est la teneur en eau au dessus de laquelle le sol se comporte comme un semi-liquide et s'écoule sous son propre poids.

L'indice de plasticité représente les teneurs limite entre lesquelles les matériaux sont aptes à se déformer sous l'action des facteurs externes comme la gravité ou la pression.

Le tableau IV-4 présente les résultats des limites d'Atterberg :

	Limite de liquidité WL%	Limite de plasticité WP%	Indice de plasticité IP	Indice de consistance Ic
Valeur max	51.80	26.45	25.35	1.30
Valeur min	35.75	18.58	17.17	0.87
Valeur moy	43.37	22.51	21.25	1.08

**Tableau IV-4: Les résultats des limites d'Atterberge (laboratoire géologie et géotechnique Sétif BUIBAOUNE Lakhdar )**

Selon ces résultats le sol appartient à la classe des **argiles minérales de moyenne plasticité à forte plasticité** (selon le diagramme de plasticité de Casagrande)

#### IV-2-2-2 Paramètres mécaniques :

##### IV-2-2-2-1. Essai de cisaillement rectiligne :

Le principe est de mesurer les composants tangentiels et normaux de la contrainte critique provoquant la rupture d'un échantillon cisailé suivant un plan imposé.

A partir de la droite de coulomb :  $(\tau = C + \sigma \operatorname{tg}\varphi)$ , nous déterminons les paramètres de la résistance au cisaillement à savoir : la cohésion « C » et l'angle de frottement interne «  $\varphi^\circ$  ». Les caractéristiques intrinsèques (C,  $\varphi$ ) ont été déterminé par des essais de cisaillement non-consolidés non-drainés (UU) à l'aide de la boîte de casagrande sur des échantillons de sol étudié.

N° de sondage	Profondeur de l'échantillon (m)	Cisaillement à la boîte de Casagrande (uu) (max)		Cisaillement à la boîte de Casagrande (uu) (Résiduelles)	
		Cu (bar)	$\varphi$ (°)	Cu (bar)	$\varphi$ (°)
S01	8.30-9.30m	0.68	6.81	0.65	6.14
S02	11.20-12.20m	0.66	6.84	0.63	6.11
S03	6.70-7.70m	0.67	6.81	0.65	5.94
S04	9.70-10.70m	0.80	2.52	0.72	2.38
S05	9.20-10.20m	0.80	2.52	0.71	2.12
S06	9.20-10.20m	0.78	2.29	0.69	3.49
S07	8.90-9.90m	0.77	1.95	0.67	3.55
S08	9.30-10.30m	0.78	2.00	0.67	3.38
S09	7.70-8.70m	0.79	1.83	0.69	3.46

**Tableau IV-5 : Valeurs des caractéristiques intrinsèque(C) et ( $\varphi^\circ$ ) mesurées (d'après le laboratoire géologie et géotechnique Sétif BUIBAOUNE Lakhdar)**

D'après le tableau les valeurs de Cu varient entre 0.6 et 0.8 et représentent des valeurs faibles. Les angles de frottement interne sont faibles et varient entre 1.83-6.84°.

Ces résultats montrent que le sol est **cohérent de moyenne résistante au cisaillement**.

##### IV-2-2-2-2. Essai de compressibilité à l'oedomètre :

Le principe de l'essai consiste à mesurer la variation de hauteur de l'éprouvette de sol pendant l'application de la charge. L'application de l'essai en laboratoire se fait à l'aide d'un appareil appelé «oedomètre»,

L'essai de compressibilité à l'oedomètre a pour but d'étudier la consolidation d'un échantillon de sol intact, ou remaniés soumis à des charges verticales, drainés suivant cette direction et maintenus latéralement par une paroi rigide.

Ces résultats sont présents sous forme des courbes indiquant la variation de l'indice des vides du sol en fonction du  $\log \sigma$ .

A partir de ces courbes, on déduit graphiquement le coefficient de compressibilité ( $C_c$ ), et le coefficient de gonflement ( $C_g$ ) permettant d'évaluer les tassements du sol.

Les résultats obtenus selon la norme XP CEN ISO/TS 17892- 5 et 10 Aout 2005 sont représentés dans le tableau IV-6:

N° de sondage	Profondeur de l'échantillon (m)	Compressibilité à l'odomètre		
		Pc (bar)	Cc (%)	Cg (%)
S01	8.30-9.30m	2.77	15.28	1.64
S02	11.20-12.20m	3.26	15.61	2.23
S03	6.70-7.70m	3.73	15.28	3.27
S04	9.70-10.70m	2.78	12.95	1.58
S05	9.20-10.20m	2.22	12.62	1.82
S06	9.20-10.20m	1.61	19.24	1.53
S07	8.90-9.90m	2.73	21.26	1.32
S08	9.30-10.30m	0.98	18.60	1.83
S09	7.70-8.70m	1.11	18.60	1.70

**Tableau IV-6: Résultats des essais oedométriques.**

Selon les valeurs du tableau IV-6, on peut dire que ces sols sont :

- des sols moyennement compressibles  $C_c(\%)$  :  $12.62 < C_c < 21.26$
- indice de gonflement des sols :  $1.32 < C_g < 3,27$  donc ce sont des sols non-gonflants.

➤ **Calcul de la compressibilité :**

La compressibilité se calcule à partir des valeurs de  $C_c$  et  $e_0$  selon la relation  $C_c/1+e_0$  :

**Exemple de calcul :** sondage N°08 (profondeur (9.3-10.3) m)

$$1 + e_0 = 1 + 0.398 = 1.398.$$

$$\frac{C_c}{1+e_0} = \frac{0.1860}{1+0.398} = 0.13$$

Le tableau IV-7 donne les résultats des calculs de la compressibilité à l'odomètre :

Sondage et profondeur	$C_c$	$e_0$	$C_c/1+e_0$
S01 (8.30-9.30m)	0.1528	0.398	0.11
S02 (11.20-12.20m)	0.1561	0.365	0.114
S03 (6.70-7.70m)	0.1528	0.363	0.112
S04 (9.70-10.70m)	0.1295	0.181	0.10
S05 (9.20-10.20m)	0.1262	0.187	0.11
S06 (9.20-10.20m)	0.1924	0.374	0.14
S07 (8.90-9.90m)	0.2126	0.377	0.15
S08 (9.30-10.30m)	0.1860	0.398	0.13
S09 (7.70-8.70m)	0.1860	0.346	0.14

**Tableau IV-7 : Résultats des calculs de la compressibilité à l'odomètre**

Donc,  $0.05 < (C_c/1+e_0) > 0.2$  ce qui indique que le sol est **moyennement compressible**. [Philliponnat].

#### IV-2.3 Analyses chimiques du sol :

L'analyse chimique des échantillons de sol permet de donner des indications sur les teneurs en sulfates et par conséquent, le degré d'agressivité du sol étudié. Les résultats des analyses chimiques des sols du site étudié ont montré que le sol a une agressivité faible au béton, dont les valeurs des ions  $SO_4^{--}$  sont comprises entre 2043 et 3581 mg/Kg et les carbonates ( $CaCO_3$ ) ont des valeurs constantes de 6.66 %.

### IV.3.3.1 Paramètres physiques :

Les valeurs extrêmes des principaux paramètres physiques mesurés sont représentées sur le tableau IV-8 :

Paramètres Lithologie	W (%)	Sr (%)	$\gamma_d$ (T/m <sup>3</sup> )	$\gamma_h$ (T/m <sup>3</sup> )	W <sub>L</sub> (%)	I <sub>p</sub>	I <sub>c</sub>
<b>Limons argileux</b>	11-14	72-93	1,83-2,01	2,12-2,22	39-45	21-24	1,29-1,33
<b>Argiles sableuses</b>	14-23	69-84	1,55-1,86	1,92-2,12	41-45	21-28	1,00-1,28
<b>Marnes</b>	8-12	78-94	2,02-2,12	2,26-2,29	37-43	20-24	1,29-1,45

*Tableau IV-8: Valeurs minimales et maximales des principaux paramètres physiques du sol*

*(Site Ouled Bounnar)*

**D'après ce tableau en remarque que :**

Les limons argileux et la marne sont caractérisés par une densité sèche moyenne, qui correspond à des teneurs en eau faibles.

- Les limites d'Atterberg permettent de classer ces deux faciès dans la zone des argiles inorganiques peu plastiques (selon le diagramme de plasticité de Casagrande).
- Les argiles sableuses sont peu denses, et moyennement plastiques.

### IV-3-3 .2 Paramètres Mécaniques :

➤ **Essais de cisaillement rectiligne :**

Les résultats obtenus dans le tableau suivant :

Paramètres Lithologie	C (bar)	$\phi$ <sup>o</sup>
<b>Limons argileux</b>	0,24 - 1,60	14 – 28
<b>Argiles sableuses</b>	0,55 - 0,81	12 – 17

*Tableau IV-9: Valeurs des caractéristiques intrinsèques(c) et ( $\phi$ ) mesurées.*

➤ **Essais de compressibilité à l'oedomètre :**

Les résultats obtenus sont représentés au tableau IV -10:

<b>Paramètres</b> <b>Lithologie</b>	<b>Cg (%)</b>	<b>Cc (%)</b>
<b>Limons argileux</b>	1,6 - 6,8	9,6 - 13,3
<b>Argiles sableuses</b>	2,1 - 8,5	11,7 - 20,3
<b>Marnes</b>	1,8 - 4,0	8,3 - 9,6

*Tableau IV-10 : résultats de l'essai de compressibilité à l'oedometre*

Les valeurs obtenues montrent que Les limons argileux et la marne présentent un caractère non gonflant alors que les argiles sont en général gonflantes. Elles sont non gonflantes au droit du sondage S<sub>13</sub>. Coordonnées de sondage

\* calculs de la compressibilité :

Elle se calcule à partir des valeurs de Cc et e<sub>0</sub>.

$$\text{Sondage n° 04 : } Cc / 1+ e_0 = 0,2029 / 1+ 0,649 = 0,12$$

$$\text{Sondage n° 05 : } Cc / 1+ e_0 = 0,1331 / 1+ 0,427 = 0,09$$

$$\text{Sondage n° 07 : } Cc / 1+ e_0 = 0,1098 / 1+0,386 = 0,08$$

$$\text{Sondage n° 08 : } Cc / 1+ e_0 = 0,0965 / 1+ 0,431 = 0,07$$

$$\text{Sondage n° 09 : } Cc / 1+ e_0 = 0,1031 / 1+ 0,464 = 0,07$$

$$\text{Sondage n° 11 : } Cc / 1+ e_0 = 0,1999 / 1+ 0,688 = 0,12$$

$$\text{Sondage n° 12 : } Cc / 1+ e_0 = 0,1198 / 1+ 0,374 = 0,09$$

$$\text{Sondage n° 13 : } Cc / 1+ e_0 = 0,1331 / 1+ 0,524 = 0,09$$

Donc,  $0,05 < Cc / 1+e_0 < 0,2$  ce qui indique que le sol est moyennement compressible. [Philliponnat ].

#### **IV-3.4 Analyses Chimiques du Sol :**

Un certain nombre d'échantillons du sol a été soumis à des analyses chimiques (réalisées et commentées par L.N.H.C unité de Rouïba) afin de mesurer le potentiel d'ions agressifs présents dans le terrain.

Le tableau IV-11 montre les résultats obtenus :

Sondage N°	Profondeur (m)	Sulfates SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Chlorures Cl <sup>-</sup>	Carbonates Ca Co <sub>3</sub>
1	3 – 3,5	0,11	Traces	Traces
4	2 – 2,4	0,17	0,17	1,94
5	1,7 – 2	Traces	Traces	0,88
	6,2 – 6,4	0,18	0,12	1,41
7	3 – 3,3	0,20	Traces	Traces
	5 – 5,3	0,15	Traces	0,53
8	2,5 - 2,8	0,12	Traces	1,58
9	1,7 – 2	Traces	Traces	0,70
10	3,5 – 3,8	Traces	0,11	0,35
13	2,5 – 2,7	0,21	Traces	1,94
	5 – 5,3	0,19	Traces	1,94
	8 – 8,5	0,16	Traces	Traces

**Tableau IV-11: Résultats des analyses chimiques réalisées sur des échantillons de sol prélevés au niveau du site(2003)**

Les sulfates sont présents en faible quantité ou en traces, ce qui révèle une agressivité nulle selon la norme NFP 18-011 du 06 / 92.

## IV-4 Comparaison entre les compagnes des reconnaissances :

Paramètres	Lithologie	Capacité portante	Essais d'identifications des sols				Limites d'Atterberg (Wl, Wp, Ip)
			Wn(%)	Sr(%)	$\gamma_d(T/m^3)$	Analyse granulométrique	
La 1 <sup>ère</sup> compagne	Limons argileux	le sol est de bonne résistance à la pointe, donc de bonne résistance dynamique Rd.	Les limons argileux sont caractérisés par une densité sèche moyenne et un teneur en eau faible.				Classés dans la zone des argiles inorganiques peu plastiques.
	Argiles sableuses		Les argiles sableuses sont peu denses.				Les argiles sableuses sont moyennement plastiques.
	Marnes		Les marnes sont caractérisées par une densité sèche moyenne et un teneur en eau faible.				Classées dans la zone des argiles inorganiques peu plastiques.
La 2 <sup>ème</sup> compagne	matériaux d'apport, des pélites schisteuses grises, des blocs de grés avec matrice argilo-silteuse	Le sol est de faible résistance à la pointe donc de faible capacité portante.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Le sol est dense à très dense.</li> <li>-Le sol est moyennement humide.</li> <li>-Le sol est saturé en eau.</li> <li>-le sol est classé dans la catégorie « I » caractérisant une argile.</li> <li>-Mauvais sol</li> </ul>				Le sol est une argile minérale de moyenne plasticité à forte plasticité

Tableau IV-12 : Comparaison des paramètres physiques des deux compagnes.

Paramètre	Paramètres mécaniques		L'analyse chimique
	Donné	Essai de cisaillement rectiligne	
1 <sup>ère</sup> campagne	Le sol est non cohérent et de fort résistance au cisaillement.	le sol est moyennement compressible. Les limons argileux et la marne présentent un caractère non gonflant alors que les argiles sont en général gonflantes.	Les sulfates sont présents en faible quantité ou en traces, ce qui révèle une agressivité nulle.
2 <sup>ème</sup> campagne	le sol est non cohérent et de faible résistante au cisaillement.	des sols sous consolidés à sur consolidé (sol très hétérogène) -des sols moyennement compressibles. - des sols non –gonflants	le sol à une agressivité faible au béton.

**Tableau IV-13 : Comparaison des paramètres mécanique et chimique des deux compagnes.**

➤ **Les critiques :**

D'après les résultats des sondages consignés dans le tableau précédent on constate que :

**-La lithologie** décrite comme étant une série stratifiée lors de la 1<sup>ère</sup> campagne de reconnaissance nous correspond pas à la réalité de terrain (site). En effet aucune couche géologique n'a été traversée par aucun des sondages de la 2<sup>ème</sup> campagne.

**-La capacité portante** : la 1<sup>ère</sup> campagne révèle une bonne capacité portante du sol alors que les résultats de la 2<sup>ème</sup> campagne confirment une mauvaise capacité portante.

**-Les essais d'identifications** : les résultats avancés relatifs à la 1<sup>ère</sup> campagne ne reflètent pas la réalité de terrain classé mauvais sol.

#### IV-5 Les causes de l'instabilité du site :

##### IV-5-1 les causes naturelles :

Le site de 250logement se trouve géologiquement sur une zone d'effondrement comblée de plus de 15m de remblais naturels (sable, Cailloux, bloc de grés ..) le tout emballé dans une matrice argilo-silteuse. Incohérent et meuble et de mauvaises caractéristiques physiques et mécaniques, avec une pente topographique de plus de 35%et la présence des grandes quantités d'eau ce sol présente déjà des risques naturels de glissement, tassement et érosion.

##### IV-5-2 Les causes humaines (anthropiques) :

Le mauvais choix des profils des sondages lors de l'exécution de la 1<sup>ère</sup> campagne de reconnaissance géotechnique qui ont été implanté sur un site favorable à la construction (grés numidien) alors que la construction du bâtiment est projetée sur un remblai. La généralisation très maladroite des résultats géotechniques d'un bon sol à un terrain hétérogène s'est avéré très néfaste pour le projet et préjudiciable pour le constructeur.

De même les travaux d'excavations et de déblaiement entamés en aval du projet ont accéléré la déstabilisation du site des 250logements situés à quelques 20m en amont de d'une plate forme réalisé pour accueillir un nouveau bâtiment (voir photo IV-2etIV-3).

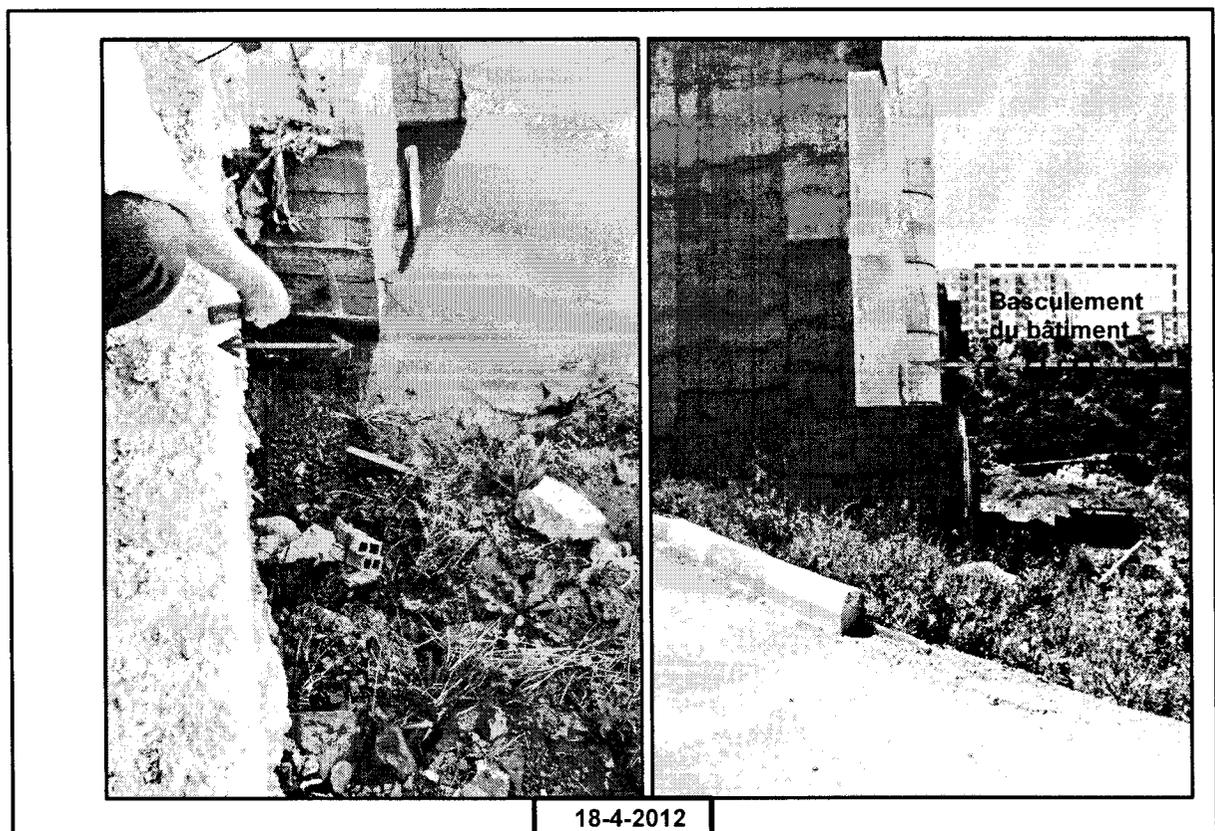


Photo IV-2 : Ampleur du décalage au niveau des parois murales du bâtiment.



**Photo IV-3 : Cause anthropique accélérant la déstabilisation du bâtiment.**

### IV-6 Les méthodes de confortement du sol :

Pour le confortement d'un terrain en mouvement et afin d'augmenter sa stabilité, nous suggérons l'exécution d'un mur de soutènement en béton armé (voir figure IV-2).

#### IV-6-1 Les murs de soutènement :

Les murs de soutènement sont exécutés dans le cas d'un terrain en équilibre instable.

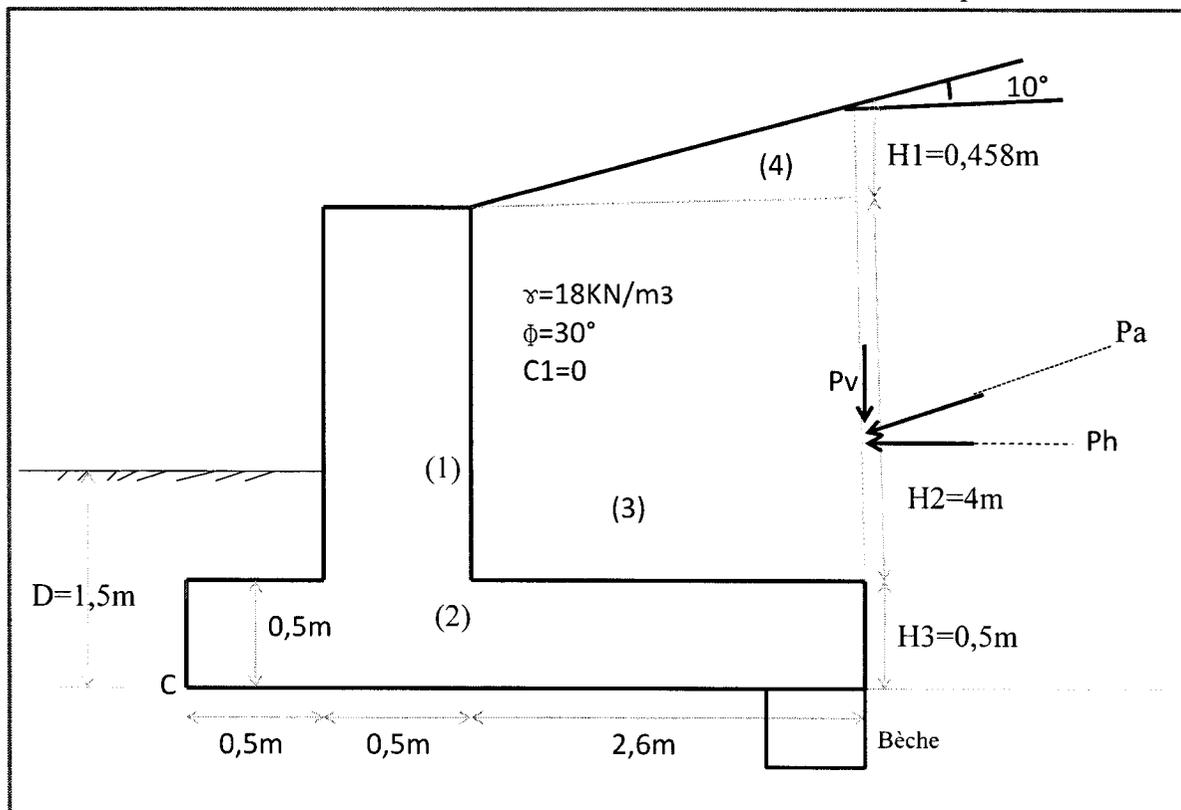


Figure IV-2 : chemin de mur de soutènement.

#### IV-6-1 Les étapes de calcul :

- Calcul des forces de poussée.
- Calcul de l'excentricité de la résultante générale des forces.
- Vérification de la stabilité du mur.
  - à l'enfoncement.
  - au renversement.
  - au glissement.
- Si le mur ne vérifie pas l'une des trois stabilités, on change les dimensions qui ont été données au départ en tenant compte des dimensions usuelles des murs poids.

**IV-6-2 Stabilité d'un mur de soutènement au béton armé :**

Dans notre cas, nous avons utilisé les données relatives au terrain étudié.

**Note :**  $\gamma_{\text{béton}} = 23,58 \text{ KN/m}^3$

**Ka = 0,350** (coefficient de poussé des terres active).

- **Calcul de la hauteur total :**

$$H' = H_1 + H_2 + H_3 = 2,6 \text{ m} + 0,5 \text{ m} + 0,458 \text{ m}$$

$$: \quad H' = 4,96 \text{ m}$$

- **Calcul la poussé active des terres :**

De la relation  $P_a = 1/2 K_a * \gamma_l * H'^2$

$$P_a = 0,5(18) (4,96)^2(0,35) = 77,56 \text{ KN/m.}$$

- **La composante vertical de la poussé :**

$$P_v = P_a * \sin \alpha = 77,56 \sin (10^\circ) = 13,46 \text{ KN/m.}$$

- **La composante horizontale de la poussé :**

$$P_h = P_a * \cos \alpha = 77,56 \cos (10^\circ) = 76,38 \text{ KN/m.}$$

**IV-6-2 -1 Calcul du coefficient de sécurité vis à vis du renversement du mur:**

Le tableau suivant regroupent les moments de reversement du mur :

Zone	Surface (m <sup>2</sup> )	Poids de 1 ml du mur (KN /m)	Bars de levier des moments (m)	Moment renversement par apport au point (C)
1	4*0,5=2	47,16	0,75	35,37
2	3,6*0,5=1,8	42,44	1,80	74,29
3	4*2,6=10,4	187,20	2,30	430,56
4	0,5 * 2,6*0,458=0,6	10,72	2,73	29,30
		P <sub>v</sub> =13,46	3,6	48,46
		∑V=300,46		∑617,98

- **Moment de renversement :**

$$M_o = Ph. (H'/3) = 76,38(4,96/3) = 126,28 \text{ KNm.}$$

- Facteur de sécurité vis-à-vis le renversement :

$$F_s (\text{renversement}) = \sum M_R / M_o = 617,98 \text{ KNm} / 126,28 \text{ KNm} = 4,89 > 2.$$

#### VI-6-2 -2 Calcul de coefficient de sécurité vis-à-vis du glissement sur sa base :

- Des deux relation suivante :

$$K_p = \tan(45 + \Phi/2) ; \text{ coefficient de poussé passive des terres.}$$

$$P_p = 1/2 K_p * \gamma_2 * D^2 + 2C_2 * D / K_p ; \text{ buté des terres.}$$

En remplacent  $K_p = 1,15$  et  $D = 1,5 \text{ m}$ .

$$P_p = 24,64 \text{ KN/m.}$$

De la relation :

$$F_s (\text{glissement}) = (\sum v) \tan(K_1 \Phi^2) + B * K_2 * C_2 + P_p / Pa \cos \alpha. \text{ Avec } k_1 = K_2 = 2/3.$$

$$F_s (\text{glissement}) = (300,46) \tan(2 * 4/3) + 3,6 * (2/3) + 0,7 + 24,64 / 76,38 .$$

$F_s (\text{glissement}) = 21,01 + 2,52 + 0,32 = 23,84 / 76,38 = 0,31 < 1,5$ . la stabilité vis-à-vis le glissement n'a pas vérifié pour résoudre ce problème vas réaliser une bèche arrière du mur.

#### IV-6-2 -3 Calcul du coefficient de sécurité vis-à-vis de la capacité portante du sol support :

Cette vérification s'appelle aussi la stabilité vis-à-vis le poinçonnement du sol support :

- L'excentricité de la résultants des fores se calcul comme suit :

$$e = B / 2 - \frac{\sum M_R - \sum M_o}{\sum v} = 3,6 / 2 - 617,98 - 126,28 / 300,46 = 0,16 \text{ m} < B/6 = 0,60 \text{ m.}$$

- Les contraintes et max et min au niveau de sol de fondation sera :

$$q_{\max} = \frac{\sum V}{B} * (1 + 6e/B) = 300,46 / 3,6 * (1 + 6 * 0,16 / 3,6) = 105,72 \text{ KN/m}^2.$$

$$q_{\min} = \frac{\sum V}{B} * (1 - 6e/B) = 300,46 / 3,6 * (1 - 6 * 0,16 / 3,6) = 79,75 \text{ KN /m}^2.$$

#### ➤ Capacité portante du sol support:

$$q_u = \gamma_1 * D + f * \gamma_2 * N_{\square} + \gamma_1 * D (N_q - 1) + C' * N_c.$$

$$q_u = 18 * 1,5 + 18 * 1,5(1,56 - 1) + 0,7 * 6,47 = 46,65 \text{ KN /m}^2.$$

Calcul du facteur de sécurité  $F_s$  de sol :

$$F_s = q_u / q_{\max}$$

$F_s = 46,65 / 105,72 = 0,44 < 3$  Le sol s'est avéré de faible capacité portante et nécessite la réalisation des micro-pieux (à titre d'exemple) pour améliorer sa capacité portante ou d'autre technique de renforcement des sols, le renforcement du sol par injection (ciment, chaux, colonnes ballastées .....).



### **Conclusion :**

Au terme de cette étude concernant l'implantation des bâtiments à usage d'habitation (250 logements) sur une zone effondrée, nous avons démontré combien il est nécessaire et impératif de bien mener dans le détail une campagne de reconnaissance géotechnique préalable.

La moindre négligence de la donnée géologique s'avère fatale, voire irréparable.

L'amélioration urbanistique d'un site et son épanouissement laisseront la place alors aux seuls désordres et sinistres (technique et financiers).

Nous avons essayé tout au long de notre travail de trouver une solution appropriée pour stopper la dynamique menaçant le projet que nous défendons, mais en vain.

Les résultats obtenus à partir des calculs de stabilité ne sont guère encourageants pour l'ensemble des variantes géotechniques.

Les décisions qui devraient être prises pour sécuriser la région dépasse le rôle de notre travail que nous venons d'exposer dans ce mémoire.

# *Sommaire*

## **Chapitre I : Généralités**

<b>I.1. Situation géographique du secteur étudié.....</b>	<b>1</b>
<b>I.2.La morphologie du site .....</b>	<b>2</b>
o Carte des pentes du site étudié.....	3
<b>I.3.Climat.....</b>	<b>3</b>
<b>I.4.Végétation.....</b>	<b>4</b>
<b>I.5. Réseau hydrographique.....</b>	<b>4</b>
<b>I.6. La sismicité.....</b>	<b>4</b>

## **Chapitre II : Contexte géologique**

<b>II.1.Introduction.....</b>	<b>5</b>
<b>II.2. Les formations de la couverture sédimentaire de bassin néogène de Jijel .....</b>	<b>5</b>
II.2.1 Les formations de l'Oligo-Miocène Kabyle.....	5
II.2.2 La molasse olistostromique .....	5
▪ Lithologie des différents olistolites : souvent appelés « flyschs dissociés H.Djellit 1987 » .....	5
a- Le flysch à caractère maurétanien.....	5
b- Le flysch à caractère nummulitique .....	6
c- Le flysch à caractère massylien .....	6
d-Le flysch à caractère numidien .....	6
II.2.3 Les dépôts marneux dits Post-nappes (Tortonno-messinien et Pliocène) .....	6
II.2.3.1Tortonno-messinien .....	6
II.2.3.2Les terrasses anciennes d'âge Pliocène .....	7
II.2.4Les dépôts Quaternaire .....	7

<b>II-3 Aspect structural de la Petite Kabyle occidentale.....</b>	<b>8</b>
A. Déformations cassantes .....	8
B. Déformations ductiles.....	8
<b>II-4 la géologie du site étudié .....</b>	<b>10</b>
II.4.1 Description lithologique .....	10
II-4-2 Structure géologique de la zone .....	10

### **Chapitre III : Synthèse hydrologique et hydrogéologique**

<b>III.1- Introduction .....</b>	<b>12</b>
<b>III-2.Hydrologie du bassin versant de Jijel.....</b>	<b>12</b>
<b>III.3. Aspect climatologique .....</b>	<b>13</b>
<b>III. 4 : Analyse des paramètres climatiques.....</b>	<b>13</b>
III. 4.1 : Précipitations .....	13
a- Précipitation moyennes annuelles.....	14
b. Précipitations moyennes saisonnières.....	14
III.4.2 Température .....	15
III.4.3 Relation températures-précipitations .....	17
• Diagramme ombrothermique.....	17
III.4.4 L'aridité .....	18
III.4.5 Le bilan hydrologique .....	18
III.4.5.1 Calcul de l'Evapotranspiration .....	19
A. Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP) .....	19
B. Calcul de l'Evapotranspiration Réelle (ETR) .....	20
➤ Interprétation de bilan hydrologique.....	22

III.4.5.2 Estimation du ruissellement et de l'infiltration .....	22
A. Lamé d'eau ruisselée (R) .....	22
B. lame d'eau infiltrée (I) .....	23
<b>III-5 Hydrogéologique du site .....</b>	<b>23</b>
III-6-1 Lectures des niveaux piézométriques .....	23
III-6-2 Interprétation des résultats .....	25
<b>III-6 Conclusion .....</b>	<b>26</b>

## **Chapitre VI : Contexte géotechnique**

<b>IV-1 Introduction .....</b>	<b>27</b>
<b>IV-2. Compagne des reconnaissances géotechniques (laboratoire géologie et géotechnique Sétif BUIBAOUNE Lakhdar 2012).....</b>	<b>29</b>
<b>IV-2.1 Les essais in situ.....</b>	<b>29</b>
IV-2-1.1 Les sondages carottés .....	29
IV-2.1.2 Pénétromètre dynamique .....	30
➤ Interprétation des résultats .....	31
<b>IV-2.2 Les essais de laboratoire .....</b>	<b>32</b>
<b>IV-2.2.1 Les paramètres physiques .....</b>	<b>32</b>
➤ Essais d'identification du sol.....	32
➤ Analyse granulométrique .....	33
➤ Les limites d'Atterberg .....	34
<b>IV-2-2-2 Paramètres mécaniques .....</b>	<b>35</b>
IV-2-2-2.1 Essai de cisaillement rectiligne .....	35
IV-2-2-2.2 Essai de compressibilité à l'oedomètre .....	35
➤ Calcul de la compressibilité .....	36
<b>IV-2.3 Analyses chimiques du sol .....</b>	<b>37</b>

<b>IV-3 Campagne de reconnaissance géotechnique réalisée au niveau du POSN°2 d'Ouled Bounnar (mémoire Chine .H&amp;Marouf, M 2006)</b> .....	38
<b>IV-3.1 La lithologie du POSN°2 d'Ouled Bounnar</b> .....	38
<b>IV-3-2 Résultats des pénétromètres</b> .....	39
<b>IV -3. 3 Essais de laboratoire</b> .....	39
<b>IV.3.3.1 Paramètres physiques</b> .....	39
<b>IV-3-3 .2 Paramètres mécaniques</b> .....	40
➤ Essais de cisaillement rectiligne .....	40
➤ Essais de compressibilité à l'oedomètre .....	40
<b>IV-3.4 Analyses chimiques du Sol</b> .....	40
<b>IV-4 Comparaison entre les différents compagnes des reconnaissances</b> .....	42
➤ Les critiques .....	43
<b>IV-5 Les causes de l'instabilité du site</b> .....	44
IV-5-1 les causes naturelles.....	44
IV-5-2 Les causes humaines (anthropiques) .....	44
<b>IV-6 Les méthodes de confortement le sol</b> .....	45
IV-6-1 Les murs de soutènement .....	45
IV-6-1 Les étapes de calcul .....	45
<b>IV-6-2 Stabilité d'un mur de soutènement au béton armé</b> .....	46
IV-6-2 -1 Calcul du coefficient de sécurité vis à vis du renversement du mur.....	47
IV-6-2 -2 Calcul de coefficient de sécurité vis-à-vis du glissement sur sa base .....	47
IV-6-2 -3 Calcul du coefficient de sécurité vis-à-vis de la capacité portante de sol support...48	
<b>Conclusion générale</b> .....	50
<b>Références bibliographies</b>	

## *Liste des figures*

<b>Figure I-1:</b> localisation du site étudié.....	1
<b>Figure I-2:</b> la carte des pentes de la zone d'étude, établie à partir de la carte topographique de Jijel au 1/ 1000.....	3
<b>Figure I-3 :</b> Carte de la règle parasismique Algérienne RPA (version 2003).....	4
<b>Figure II-1:</b> Coupe géologique du bassin néogène de Jijel (d'après I. Khalfa et W. Chouial, 2008), modifiée.....	9
<b>Figure II-2 :</b> Coupe géologique schématique au niveau du POS d'Ouled Bounar.....	11
<b>Figure III-1 :</b> Chevelu hydrologique de la région de Jijel.....	12
<b>Figure III-2 :</b> Carte pluviométrique de la wilaya de Jijel (Durant la période 1970-1996). .....	13
<b>Figure III-3 :</b> Précipitations moyennes mensuelles et saisonnières, période (1998-2011), Station Jijel Aéroport.....	15
<b>Figure III-4 :</b> Température moyennes mensuelles et saisonnières, période (1998-2011), Station Jijel Aéroport.....	16
<b>Figure III-5:</b> Diagramme ombrothermique.....	17
<b>Figure III-6 :</b> Représentation graphique du bilan hydrologique.....	21
<b>Figure III-7 :</b> Courbes piézométriques (période Janvier- Mars 2012, d'après les données de laboratoire).....	25
<b>Figure IV-1 :</b> Carte d'implantation des essais de reconnaissance géotechnique (laboratoire géologie et géotechnique Sétif BUIBAOUNE Lakhdar).....	29
<b>Figure IV-2 :</b> chemin de mur de soutènement.....	47

## *Liste des tableaux*

<b>Tableau III-1 : Précipitations moyennes annuelles (période 1998-2011. Station Jijel aéroport).....</b>	<b>14</b>
<b>Tableau III-2 : Précipitations moyennes mensuelles et saisonnières, (période 1998-2011. Station Jijel aéroport).....</b>	<b>14</b>
<b>Tableau III-3 : Température moyennes mensuelles et saisonnières, période (1998-2011), Station Jijel Aéroport).....</b>	<b>16</b>
<b>Tableau III-4 : Répartition des précipitations et des températures moyennes mensuelles...20</b>	
<b>Tableau III-5 : Calcul de l'Evapotranspiration Potentielle (ETP), période (1998/2011), station Jijel Aéroport.....</b>	<b>21</b>
<b>Tableau III- 6 : Calcul de l'Evapotranspiration Réelle (ETR) (période 1998/20011station Jijel Aéroport).....</b>	<b>21</b>
<b>Tableau III-7: Relevé des termes du bilan hydrologique .....</b>	<b>24</b>
<b>Tableau III-8 <i>Résultat piézométriques des puits S1, S2, S3 (période Janvier-Mars 2012, d'après les données de laboratoire).....</i></b>	<b>25</b>
<b>Tableau IV-1 Résultats des sondages carottés (2<sup>ème</sup> campagne) .....</b>	<b>32</b>
<b>Tableau IV-2 : Les Valeurs des principaux paramètres physiques du sol (D'après le laboratoire géologie et géotechnique Sétif BUIBAOUNE Lakhdar2012).....</b>	<b>34</b>
<b>Tableau IV-3 : <i>Valeurs des tamisât cumulés (essai granulométriques).....</i></b>	<b>34</b>
<b>Tableau IV-4: Les valeurs des limites d'Atterberge.....</b>	<b>34</b>
<b>Tableau IV-5 : Valeurs des caractéristiques intrinsèque(C) et (<math>\varphi^{\circ}</math>) mesurées (d'après le laboratoire géologie et géotechnique Sétif BUIBAOUNE Lakhdar géotechnique Sétif BUIBAOUNE Lakhdar ).....</b>	<b>35</b>
<b>Tableau IV-6: Résultats des essais oedométriques.....</b>	<b>37</b>
<b>Tableau IV-7 : Résultats du calcul de la compressibilité à l'odomètre.....</b>	<b>37</b>

**Tableau IV-8: Valeurs minimales et maximales des principaux paramètres physiques du sol (Site Ouled Bounnar).....39**

**Tableau IV-9: Valeurs des caractéristiques intrinsèques(c) et ( $\phi$ ) mesurées.....40**

**Tableau IV-10 : résultats de l'essai de compressibilité à l'oedomètre.....41**

**Tableau IV-11: Résultats des analyses chimiques réalisées sur des échantillons de sol prélevés au niveau du site(2003).....42**

**Tableau IV-12 : Comparaison des paramètres physiques des deux compagnes.....43**

**Tableau IV-13 : Comparaison des paramètres mécanique et chimique des deux compagnes.....44**

## ***Liste des photos***

<b>Photo I-1 : Situation du site d'après la photo prise Google Earth.....</b>	<b>2</b>
<b>Photo IV-1 : Vue générale du site des 250 logements.....</b>	<b>28</b>
<b>Photo IV-2: Ampleur du décalage au niveau des parois murales du bâtiment.....</b>	<b>45</b>
<b>Photo IV-3 : Cause anthropique accélérant la déstabilisation du bâtiment .....</b>	<b>46</b>

## *Références bibliographiques*

**Bouillin, J.P. 1977:** Géologie Alpine de la Petite Kabylie dans les régions de Collo et d'El-Milia (Algérie), thèse Doct. Uni. P. & M. Curie, 511P.

**Bouillin, J.P.1979:** La transversale de Collo et d'El-Milia (Petite Kabylie): une région- clef pour l'interprétation de la tectonique Alpine de la chaîne littorale d'Algérie. Thèse. Paris. Mém. Soc. Géol. France. Nouv. Série. L VII, n°135,84P.

**Djellit, H.1987:** Evolution tectono-métamorphique du socle Kabyle et polarité de mise en place des nappes de flyschs en Petite Kabylie occidentale (Algérie).Thèse Doct. Univ d'Orsay Paris, 206P

**Durand Delga, M.1955:** Etude géologique de l'Ouest de la chaîne Numidique. Thèse d'Etat. Paris, Publ. serv. Carte géol. Algérie, 24,533P.

**Khalfa, I.2008:** contribution à l'élaboration de la carte géotechnique de la commune de Jijel .Mém d'ingénieur d'état en géologie de l'ingénieur Univ. de Jijel.

**Rouikha .Y.2008 :** études géologiques et géo mécaniques des roches carbonatées de la région Elchekfa, El chahna, sidi bouaza, mémoire de magistère 2008 Univ.Jijel.Algérie.79P.

**Raoult, J.F. 1969 c:** Relation entre la dorsale Kabyle et les flyschs sur la transversale de Dj. Rhédir, phase tangentielle Eocène, paléogéographie (Nord Constantinois, Algérie). Bull. Soc. Géol. France (7), XI, Paris. P523-543.

**Marouf, M &Chine, H. 2006 :** Contribution à l'étude géologique du POSN°2Ouled Bounnar –Jijel .Mémoire d'ingénieur .Univ.Jijel.Algérie.79P .

**Philipponnat, G. & Bertrand, H. 2003:** Fondations et ouvrages en terre. Ed. Eyrolles. Paris, 548P.

**Rapports de sols, laboratoire géologie et géotechnique Sétif 2012 :** Etude géologique et géotechnique de site des 250logement de Mazghitane du POSN°2 D'Ouled Bonnar, commune de Jijel, wilaya de Jijel.

**Roger, F.2003 :** Calcul des fondations superficielles et profondes. Ed. Techniques de L'ingénieur (TI). Paris, 141P.

**Raoult J.F.1974 :** Géologie du centre de la chaîne Numidique (Nord du Constantinois, Algérie). Mem. Soc. Géol. France, pp 53, 121, 163.

**Raoult J.F.1975:**Évaluation paléogéographique et structurale de la chaîne Alpine entre le golf de Skikda et Constantine (Algérie orientale). Bull. Soc. Géol. France (7), XVIIIn°03, Paris., pp 394-409.

**Sanglerat, G ., Olivari, G ., & Camboer, B .1983:** Problèmes pratiques de mécanique des sols et de fondations. 2<sup>e</sup> Ed. Dunod, Paris, Tome II, 263 P.

Chelli Sihem,Bansakhria Nawel.2011 :Contribution de l'analyse de l'instabilité des fondations des quatre bâtiments de la cité des 50 logements ,site de Mazghitane ,Wilaya de JIJEL,Univ.Jijel,Algérie,73p.