

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

جامعة جيجل
Université de Jijel

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



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

جامعة محمد الصديق بن يحيى
كلية علوم الطبيعة و الحياة
المكتبة
رقم الجرد : 1781

MEMOIRE

*Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master 2
Option : Génie Géologique*

Thème

***Contribution à l'élaboration de la carte géotechnique et
de la carte ZERMOS de la région de Djimla
Wilaya de Jijel. Algérie.***

Présenté par :

**- Chihoub Ilhem.
-Amiour Hedjila.**

Soutenu publiquement le : 30 /06 /2011

Devant le jury composé de :

Président : Mr. Bouftouha .Youcef.

Encadreur : M^{lle}. Kherrouba Hassiba.

Examineur : M^{elle}. Bouhenouna Amel.



REMERCIEMENTS

Tous d'abord nous tenons à exprimé nos remerciements les plus chaleureux à *M^{lle} Kherrouba Hassiba* notre encadreur, de nous avoir confier ce sujet intéressant, ainsi que pour l'assistance pleine et entière qu'elle n'a cessé de nous apporter tout au long de ce projet de fin d'études. Nous portons ici le témoignage de notre reconnaissance envers sa modesties, et sa compétences.

Nous tenons à exprimer notre profonds respects et notre reconnaissances à : *Mr. Bouftouha Youcef*, professeur à l'université de Jijel d'avoir accepté de juger se travail, nos remerciement vont aussi à *M^{lle} Bouhenouna Amel* qui a bien voulu examiner ce travail et d'être membre de jury.

Nous tenons à remercier également toux ceux qui nous ont aidé et encouragé de prés ou de loin durant la réalisation de ce projet particulièrement: *M^{lle} Boubazine Leila* .

Nos sincères remerciements vont également à tous les enseignants du département des sciences de la terre et à tous nos camarades étudiants collègues de notre promotion mastère .

Nous ne serions bien sur jamais là sans l'aide et le soutien de nos familles.
Merci à nos parents pour avoir toujours cru en nous.

Ilhem

Hedjila

Dédicace :

Je tien à dédié ce travail

A mes adorables parents : Kamel et Wahiba

A mes chères sœurs : Amel, Rym, Lemya et Ismahen

A mes adorables neveux : Mohamed et Yasmine

A mon fiancé et toute sa famille

A mon binôme : Hedjila

A mes copines : Fatima, Nawel et Amina

A tous mes amis (es)

A tous ceux que j'aime et qui m'aiment

Ilhem

Dédicace :

Je tien à dédié ce travail

A mes adorables parents : Mohamed et Farida

A mes chères sœurs : Fatiha, Lamia, et Dalila

A mes frères : Salim, Amar, Omar

A mon adorable nièce : Chames elassil

A mon marie et toute sa famille

A mon binôme : Ilhem

A mes copines : Randa, Amel, Wassila

A tous mes amis (es)

A tous ceux que j'aime et qui m'aiment

Hedjila

Sommaire

Résumé
Summary
ملخص

Chapitre I : Etude du milieu physique

I.1. Situation géographique de la région étudiée.....	1
I.2.Morphologie (relief)	2
I.3.Réseau hydrographique	4
I.4. Climat et couvert végétal.....	4
I.4.1. Climat.....	4
I.4.2. Couvert végétal	4
I.5.Historique des travaux géologiques de la région.....	4
I.6.Problématique et méthodologie de travail.....	5

Chapitre II : Cadre géologique local

II.1. Caractéristiques lithologiques de la région étudiée.....	7
1.1. Les formations cristallophylliennes du socle kabyle	11
1.2. Les formations de type flyschs	11
1.3. Les formations du trias	11
1.4. Les formations telliennes	11
1.5. Les formations du flysch numidien	12
1.6. Les formations du quaternaire	12
II.2. La tectonique.....	13
II.3. Sismotectonique	13
a)Aperçu sismique	13
II.4. Carte sismique de la région de Jijel.....	14
I.4. Classes des secousses ressenties dans la région de Jijel.....	15
I.5. Analyse sismo-tectonique	15

Chapitre III: Synthèse hydrologique et hydrogéologique

III.1. Introduction.....	17
III.2. Hydroclimatologie.....	17
2.1. Aperçu général sur le climat.....	17
2.2 Analyse des paramètres climatiques	17
2.2.1. Précipitations	17
2.2.1.1. Estimation des précipitations à partir des données des stations pluviométriques voisines de la région de Djimla.....	17
a. Variations mensuelles	18
b. Variations saisonnières	19
c. Intensité des chutes de pluies	22
d. Précipitations solides	23
d.1) La neige	23
d.2) La grêle.....	23
2.2.2 Les températures	24
2.2.3. Diagramme ombrothermique	24
2.2.4. Bilan hydrologique	25
2.2.4.1. Evapotranspiration potentielle	25
2.2.4.2. L'évapotranspiration réelle	26
1) Interprétation du bilan d'eau de Thornthwaite	28
2) Exploitation du bilan hydrologique.....	28
a. Ruissellements (R)	28
b. Infiltration (I).....	28
III.3. Hydrogéologie.....	29
III.4. Conclusion	29

Chapitre IV: Etude géotechnique

IV.1. Caractéristiques géologiques de la région de Djimla.....	30
IV.2. Campagne de reconnaissance géotechnique	30
2.1. Les essais in situ	32
1) Sondages carottés.....	32
2) Résultats issus des essais de pénétration dynamique	32

2.2. Essai de laboratoire	35
2.2.1. Interprétation des résultats.....	36
1) Les propriétés physiques.....	36
a) La teneur en eau naturelle (W) et degré de saturation (S_r).....	36
b) Densité sèche (γ_d) et densité humide (γ_h)	37
c) Limites d'Atterberg.....	37
2) Propriétés mécaniques	38
a) Essai de cisaillement rectiligne	38
b) Essais de compressibilité à l'odomètre.....	40
b.1) Calcul de compressibilité.....	41
IV.3. Analyses chimiques	42
IV.4. Contrainte admissible du sol de fondation	42
4.1. Capacité portante à partir des essais de pénétration dynamique	42
4.2. Calcul de la capacité portante à partir des résultats des essais de laboratoire.....	45
4.3. Exemple de calcul (<i>Sondage N° 09</i>)	47
IV.5. Calcul des tassements à partir de résultats de l'essai oedométrique	49
5.1. Exemple de calcul (<i>sondage N°09</i>).....	50
IV.6. Stabilité du site et risques probables.....	53
6.1. Risque des mouvements de terrain.....	53
6.2. Cause probables des mouvements de terrain de la région de Djimla.....	55
a) La nature lithologique	55
b) La pente topographique	55
c) Les diverses formes d'action de l'eau	55
d) Accidents tectoniques	55
e) Facteurs anthropiques	55
6.3. Constatations.....	56
6.4. Proposition de quelques mesures de sécurité générale contre les mouvements de terrain de la région étudié.....	56
1. Drainage.....	56
2. Terrassements	56
1. Allègement en tête	56
2. Reprofilage	57
3. Les ouvrages de soutènement	57
	59

1 .Gabionnage	57
2. Murs de soutènement	57
4. Reboisement du talus	57
IV.7. Carte de zoning proposée pour la région de Djimla(Fig.IV.6).....	57
IV.8. Etablissement de la carte ZERMOS.....	59
8.1. Principe et Méthodologie.....	59

Chapitre VI: Conclusion générale et recommandations

VI. Conclusion générale et recommandations	61
1- Du point de vue lithologique.....	61
2- Du point de vue hydrologique.....	61
3- Du point de vue hydrogéologique.....	61
4- Du point de vue géotechniques	61
5- Du point de vue de la portance.....	62
6- Du point de vue stabilité.....	62
VI.2. Fondation sur sol en pente.....	63
Liste des tableaux	65
Liste des figures.....	67
Liste des photos.....	68
Références bibliographiques.....	69

Résumé :

La région de Djimla montre plusieurs zones instables engendrées par d'importants mouvements de terrain. Ces derniers ont causées de graves préjudices aux infrastructures routiers notamment la RN77, et aux habitants de cette région.

L'objectif de notre travail est de contribuer à l'élaboration de la carte géotechnique, et de la carte des risques de cette région.

Ce travail à été entrepris par la définition des principales causes des instabilités : les facteurs géologiques, géomorphologiques, hydrogéologiques, et géotechniques. L'étude à montrer que la plupart des zones instables de cette région est liée essentiellement à la lithologie (argiles avec des blocs de grés surmontés des marnes), ainsi qu'aux pentes des talus très raides, une pluviométrie très importante, et la couvertures neigeuses en hiver.

Les travaux géologiques (hydrogéologie, tectonique, cartographie lithologique de détail.....), et les travaux géotechniques permettent de cartographier les zones potentiellement instables de cette région.

Le bon diagnostic de ces mouvements permet l'adoption des solutions mieux appropriées.

Mots clefs :

Djimla, zones instables, mouvement de terrain, lithologie, tectonique.

Summary:

The area of Djimla shows several unstable zones generated by significant movements of ground. The latter caused serious road injuries with the infrastructures in particular the RN77, and with the inhabitants of this area.

The objective of our work is to contribute to the development of the geotechnical chart, and the chart of the risks of this area.

This work was undertaken by the definition of the principal causes of instabilities: factors geological, geomorphological, hydrogeologic, and geotechnics. The study to show that the majority of the unstable zones of this area are primarily related to lithology (clays with blocks of likings overcome by marls), like with the slopes of the very stiff slopes, a very significant pluviometry, and snow-covered covers in winter.

Work geological (hydrogeology, tectonics, lithological cartography of detail.....), and work geotechnics makes it possible to chart the potentially unstable zones of this area.

The good diagnosis of these movements allows the adoption of the better suitable solutions.

Key Word:

Djimla, unstable areas, ground movements, lithology, tectonic.

ملخص:

تعرف منطقة جيملة عدة مناطق غير مستقرة ناتجة عن إنزياحات كتلية معتبرة تسببت في إصابات البنى التحتية للطرق والطريق الوطني 77 على وجه الخصوص ، وكذا سكان هذه المنطقة.

الهدف من عملنا هو الوصول إلى تطوير التخطيط الجيوتقني ، والتخطيط للمخاطر في هذا المجال.

هذا العمل تأسس بتعريف الأسباب الرئيسية لعدم الاستقرار : ، الجيومورفولوجية الجيولوجية والهيدرولوجية و العوامل الجيوتقنية. هذه الدراسة بينت في المقام الأول أن الغالبية العظمى من المناطق غير المستقرة في هذه المنطقة مرتبط أساسا بالخصائص الحجرية (الطين مع كتل من الحجر الرملي تعلوالتراب الكلسي) ، كما هو الحال مع سفوح المنحدرات الشديدة جدا ، حيث كمية التساقط كبيرة جدا ، كما تغطيها الثلوج في فصل الشتاء.

العمل الجيولوجي (الهيدروجيولوجيا ، تكتونية ، ورسم الخرائط الصخرية من التفصيل.....)، والعمل الجيوتقني يجعل من الممكن رسم المناطق الغير مستقرة المحتملة في هذه المنطقة.

التشخيص الجيد لهذه الحركات يسمح باعتماد حلول أفضل مناسبة

الكلمات الرئيسية :

جيملة، مناطق غير مستقرة ، علم الخصائص الحجرية، التكتونية .

Chapitre I

Etude du milieu physique

I.1. Situation géographique de la région étudiée

La commune de Djimla se situe à environ 45Km au Sud - Est de la ville de Jijel. Elle est traversé par la RN77 Jijel – Mila. Le village de Djimla comporte une partie Nord totalement occupée par d’anciens bâtis du village, et une partie Sud partiellement bâtie.

Djimla est limité au Nord par Djebel Sidi Bou Azza ; au Sud par la foret de Djimla, et l’Ouest par Oued El Mers. (*Fig. I.1*)

Notre étude vise une contribution de l’étude géologique et géotechnique du P.O.S (1,2 et 3) dont les coordonnées Lambert de chaque P.O.S sont comme suit :

P.O.S N° 01 :

$X_1 = 758153.53$ $Y_1 = 4052167.57$ $Z_1 = 626m$

$X_2 = 758193.48$ $Y_2 = 4051632.83$ $Z_2 = 732m$

P.O.S N° 02:

$X_1 = 758260.68$ $Y_1 = 4052815.14$ $Z_1 = 518.52m$

$X_2 = 758500$ $Y_2 = 4052497.50$ $Z_2 = 582.5m$

$X_3 = 758089.12$ $Y_1 = 4052473.83$ $Z_1 = 588.03m$

$X_4 = 758241.43$ $Y_2 = 4052135.81$ $Z_2 = 636.84m$

P.O.S N° 03:

$X = 5^{\circ}45'$

$Y = 36^{\circ}10'$

$Z = +1650m$

Le village de Djimla s’étend sur une superficie de 104,36 hectares correspondant les 3 P.O.S :

P.O.S N° 01 vers le Sud avec une superficie de 32.70ha.

P.O.S N° 02 vers le Nord avec une superficie de 27.02ha.

P.O.S N° 03 vers l’Est avec une superficie de 44.64ha.

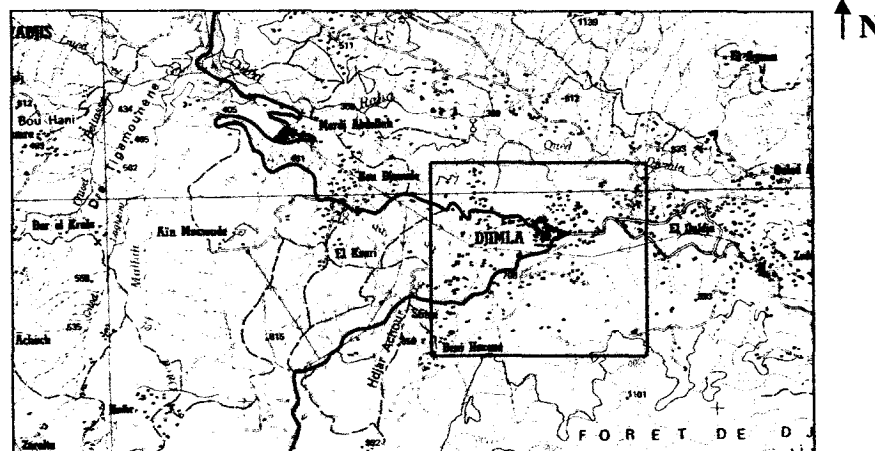


Fig. I-1 - Situation géographique du site étudié, carte topographique de Djimla (1/25000)

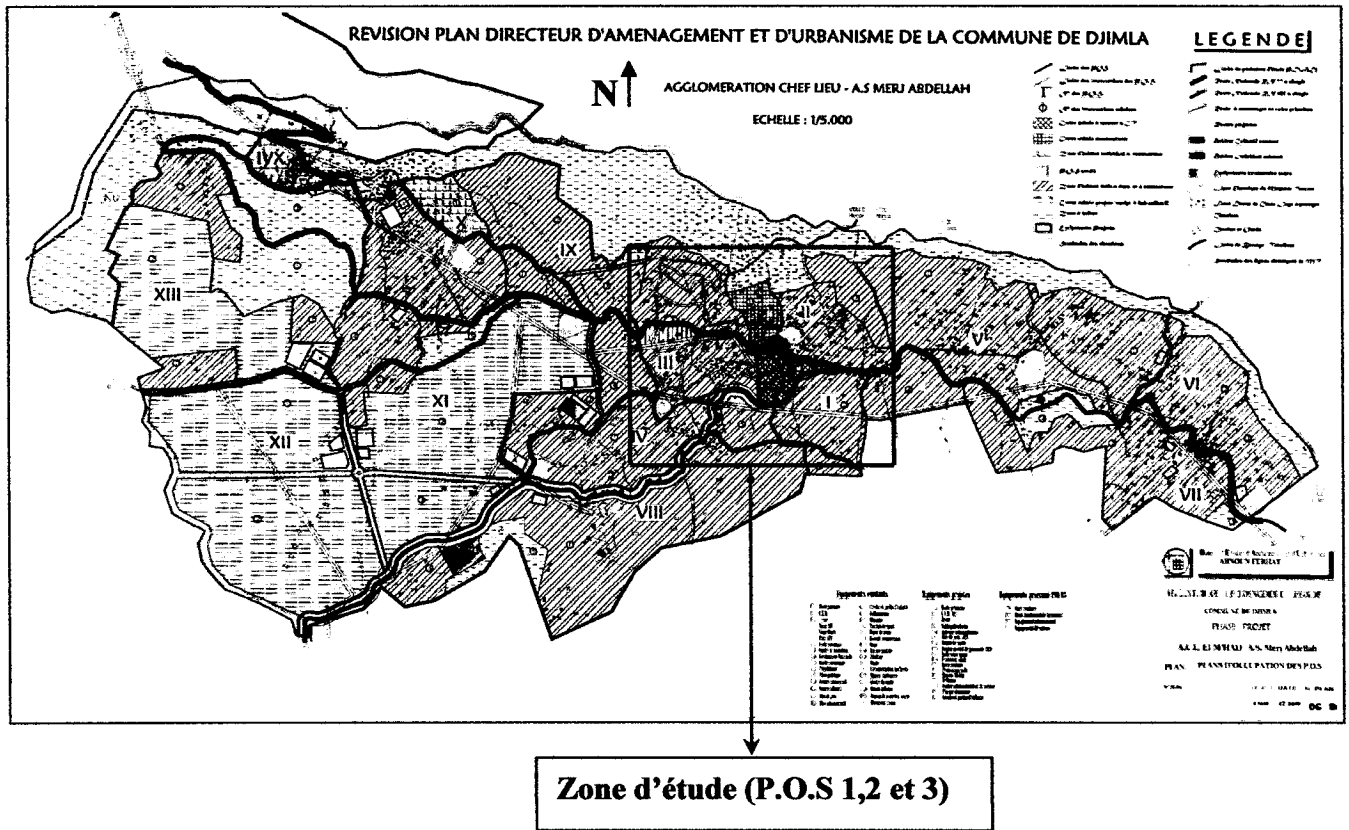


Fig.I.2 : Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme de la région de Djimla (1/5.000)

I.2. Morphologie (relief)

La région de Djimla est le résultat d'une histoire géologique qui est marquée par de grands contrastes topographiques.

Les principales formes de relief qu'on rencontre sont les suivants :

- ❖ **Les montagnes** : culminantes à plus de 1248 m pour djebel Sidi-Bou Azza au Nord, et un pic de 1205 m pour djebel Bou-Affroune au Sud.
- ❖ **Les dépressions**: situées entre les chaînes de montagnes, ce sont des zones basses où se concentrent la plupart des agglomérations.

L'essentiel de ces agglomérations est concentré de part et d'autre de la RN77.

Sur le terrain les observations de détail montrent assez bien de brusques changements de pentes d'un endroit à l'autre permettant de diviser le site en trois grandes zones (**Fig. I. 3**) :

- **Une première zone** : pente faible de 0-10%.
- **Une deuxième zone** : pente moyenne de 10-20%.
- **Une troisième zone** : pente forte à élevée de >20%.

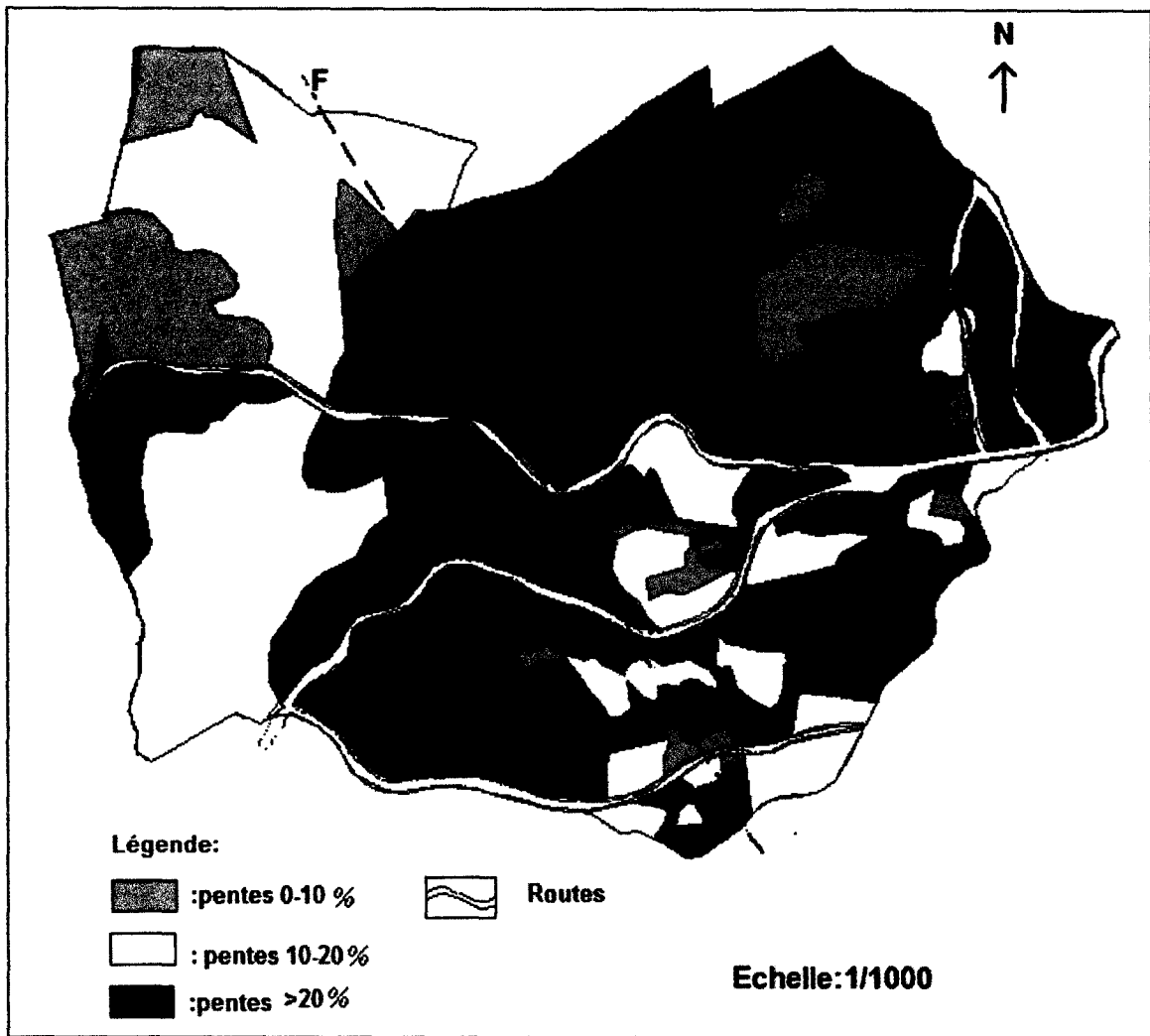


Fig.I.3 : Carte des pentes de la région de Djimla

I.3. Réseau hydrographique

Le territoire de la commune de Djimla est traversé par un ensemble d'Oueds, de chaabats et de talwegs qui descendent des montagnes (*Fig. I-1*).

Parmi les Oueds de cette région on a :

- ❖ Oued El-Mers ;
- ❖ Oued Djimla ;
- ❖ Oued Reha.

Oued El-Mers est l'élément le plus important dans l'hydrologie de la région.

Ces Oueds sont caractérisés par un écoulement permanent.

I.4. Climat et couvert végétal

I.4.1. Climat

La région d'étude est caractérisée par un climat méditerranéen subissant l'influence de la mer méditerranée au Nord et des reliefs au Sud. Ces deux raisons font que le climat de la région de Djimla est tempéré, avec des températures élevées en Eté et basses en Hiver.

Les précipitations d'eaux annuelles varient entre 1200 et 1395 mm/an. Cette pluviométrie classe cette région parmi les zones les plus arrosées en Algérie. Cette dernière révèle un potentiel hydrique très important.

En plus d'une importante pluviométrie, la commune de Djimla est souvent recouverte par d'importantes quantités de neige.

Quant à l'influence du relief sur le climat, ce dernier joue le rôle de barrière face aux masses saturées en humidité et froides qui donnent d'importantes précipitations.

I.4.2. Couvert végétal

La région d'étude est caractérisée par une couverture végétale assez dense. Cette dernière est favorisée par l'importance des précipitations. Les conditions climatiques et la nature des terrains de la région ont permis le développement de forêts très denses. Ces forêts sont représentées essentiellement par du chêne-liège, des chêne-zen, des broussailles, et autres arbres fruitiers. En général, ce potentiel forestier confère à la région une vocation agricole et forestière.

I.5. Historique des travaux géologiques de la région :

Le massif de la Petite Kabylie avait depuis longtemps attiré l'attention des géologues. En effet, cette région montagneuse est caractérisée par un contraste géologique assez important, qui a fait d'elle un sujet de recherche pour de nombreux géologues. Parmi les travaux géologiques anciens on peut citer :

- Les travaux de plusieurs auteurs (**Pouillon, Boblaye, Renou et Fournel ; 1830-1860**) : ces auteurs ont réalisés des études sommaires sur la région, et se sont également intéressés de façon générale à d'autres régions (bassin Constantinois, et la région de Annaba).

- D'autres auteurs (**Savornin, Blumenthal, Fallot ... ; 1930-1946**) ont effectué des travaux sur la région de la Petite Kabylie (cartes au 1/100.000^e 1/500.000^e).
- Les travaux d'**Ehrman (1928)** : ont porté sur les grands traits géologiques de la partie occidentale de la Petite Kabylie.
- **Durand Delga (1955)** : a réalisé les levées de la région de Jijel (ex.Djedjelli). Dans les monographies stratigraphiques dressées par ce dernier, on trouve une étude régionale portant sur la partie Ouest de la chaîne numidique avec commentaire d'une cartographie détaillée.

Ces études se sont poursuivies par d'autres études notamment celles de **Durand Delga (1955), Raoult (1974,1975), et Bouillin (1977)**. Ces derniers ont largement contribué à l'identification des grands traits géologiques du massif de la Petite Kabylie.

Parmi les travaux géologiques récents on peut citer :

- Les travaux de **Bouillin, Kornprobst, et Raoult (1977)** : qui ont porté sur les données préliminaires sur le complexe volcano-sédimentaire de Rekkada Metletine (région de Texenna) en Petite Kabylie.
- Les travaux de **Bouillin (1977)** : ont porté sur la géologie Alpine de la Petite Kabylie dans la région de Collo et d'El-Milia.
- **Baudelaut, Bouillin, Coiffait (1981)** : découverte de l'Ordovicien inférieur, daté par les Acritarches dans l'Ouest de la Petite Kabylie (Algérie). Conséquences structurales.
- **Djellit (1987)** : portant sur l'évolution tectono-métamorphique du socle Kabyle et polarité de mise en place des nappes de flyschs en Petite Kabylie occidentale (Algérie).
- **Fougnot (1990)** : portant sur le magmatisme miocène du littoral Nord Constantinois.
- **Mahdjoub (1991)** : portant sur la cinématique des déformations et évolution P-T, anté-Alpine en Petite Kabylie (Algérie Nord oriental).
- **Amri (1996)** : portant sur la cinématique des déformations ductiles et fragiles de la région de Beni Blaïde -Oued Zhor (Petite Kabylie).
- **Kehal (1998)** : portant sur l'altération hydrothermales et minéralisations à Sn, Ta, Nb... liées aux Pegmatites.
- **Drareni (1998)** : portant sur les datations par géochronologiques: Rb/Sr et U/Pb un exemple d'application choisi dans le massif de la Petite Kabylie.
- **Kherrouba (2008)** : portant sur l'étude géologique et géotechnique des zones instables de la région de Texenna-Djimla.

I.6. Problématique et méthodologie de travail

La région de Djimla est une zone exposée aux risques des mouvements de terrain et des tassements différentiels importants. Ces derniers ont causées de graves préjudices aux infrastructures routières notamment la RN77, et aux habitations de cette région.

Compte tenu de l'hétérogénéité de terrain et la variation des caractéristiques physiques et mécaniques des sols d'un endroit à un autre, il est nécessaire avant l'implantation de tout ouvrage d'établir des études géotechniques détaillées, notamment dans les zones considérés comme peu favorable pour la construction (zones à risques).

Le présent travail porte sur une contribution à l'élaboration de la carte géotechnique et de la carte des risques (ZERMOS) de la région de Djimla du point de vue constructibilité.

A cet effet, l'étude géologique et géotechnique de cette région nous a été confiées.

A ce propos, et afin de mieux comprendre la dynamique des mouvements de terrain marquants la région de Djimla et de proposer des solutions, nous avons essayé de subdiviser notre manuscrit en deux grandes parties touchant différents aspects :

- **Première partie** : consacrée à l'étude géologique de la région, elle traitera les traits relatifs à la géologie locale. Celle-ci est complétée par un aperçu sismo-tectonique de la région. Ainsi qu'une analyse hydroclimatologique et hydrogéologique de la région.
- **Deuxième partie** : consacré à l'étude géotechnique, cette partie traitera le problème posé sur le site : mouvement de terrain, calcul des fondations pour les constructions projetées, et le calcul des tassements, avec une approche purement géotechnique (essais et calculs). Après ce traitement, une cartographie de détail sera réalisée. Enfin cette partie sera clôturée par une conclusion, ainsi que des mesures à prendre pour essayer de maîtriser le phénomène de mouvement de terrain et ses dangers sur les constructions environnantes.
- **Troisième partie** : sera réservée aux conclusion et aux recommandations.

Chapitre II

Cadre géologique locale

II.1. Caractéristiques lithologiques de la région étudiée

La région de Djimla, dont fait partie les POS étudiés (1,2 et 3), se trouve dans la zone de transition du domaine interne, représenté par les formations cristallophylliennes du socle Kabyle et le domaine externe, représenté par les formations de type flyschs et les formations telliennes. Selon une transversale Nord-Sud, passant par le village de Djimla on rencontre du Nord au Sud les formations suivantes :

- Les formations du socle Kabyle.
- Les formations de type flysch.
- Les formations telliennes.
- Les formations du flysch numidien.
- Les formations quaternaires

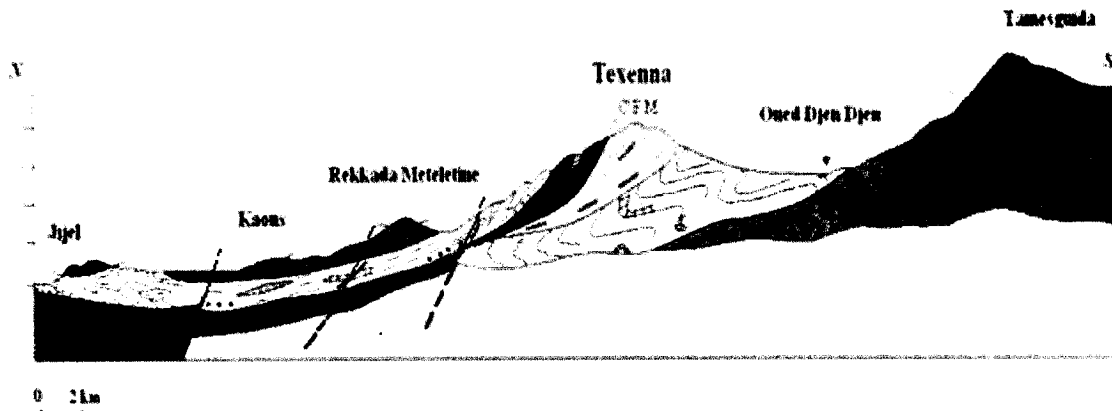


Fig II.1: Coupe géologique N-S passant de Jijel à Tamesguida (Rouikha, Y;2008) (Modifier)

<u>Légende:</u>			
1	4	-	1: Pliocène conglomératique;
2	5	8	2 : Post-nappe (Tortonno-messinien) marnes gris-bleutées;
3	6	9	3 : Numidien assise gréseuse;
10			4 : O.M.K : Molasse olistostromique (Aquitano-Serravalien);
			5 Flysch massylien Albo-aptien;
			6 : Formations telliennes;
			7 : Trias (argile gypsifère varicolores);
			8 : Complexe volcano-sédimentaire;
			9 : Socle Kabyle (formations cristallophylliennes).
			10: Faille

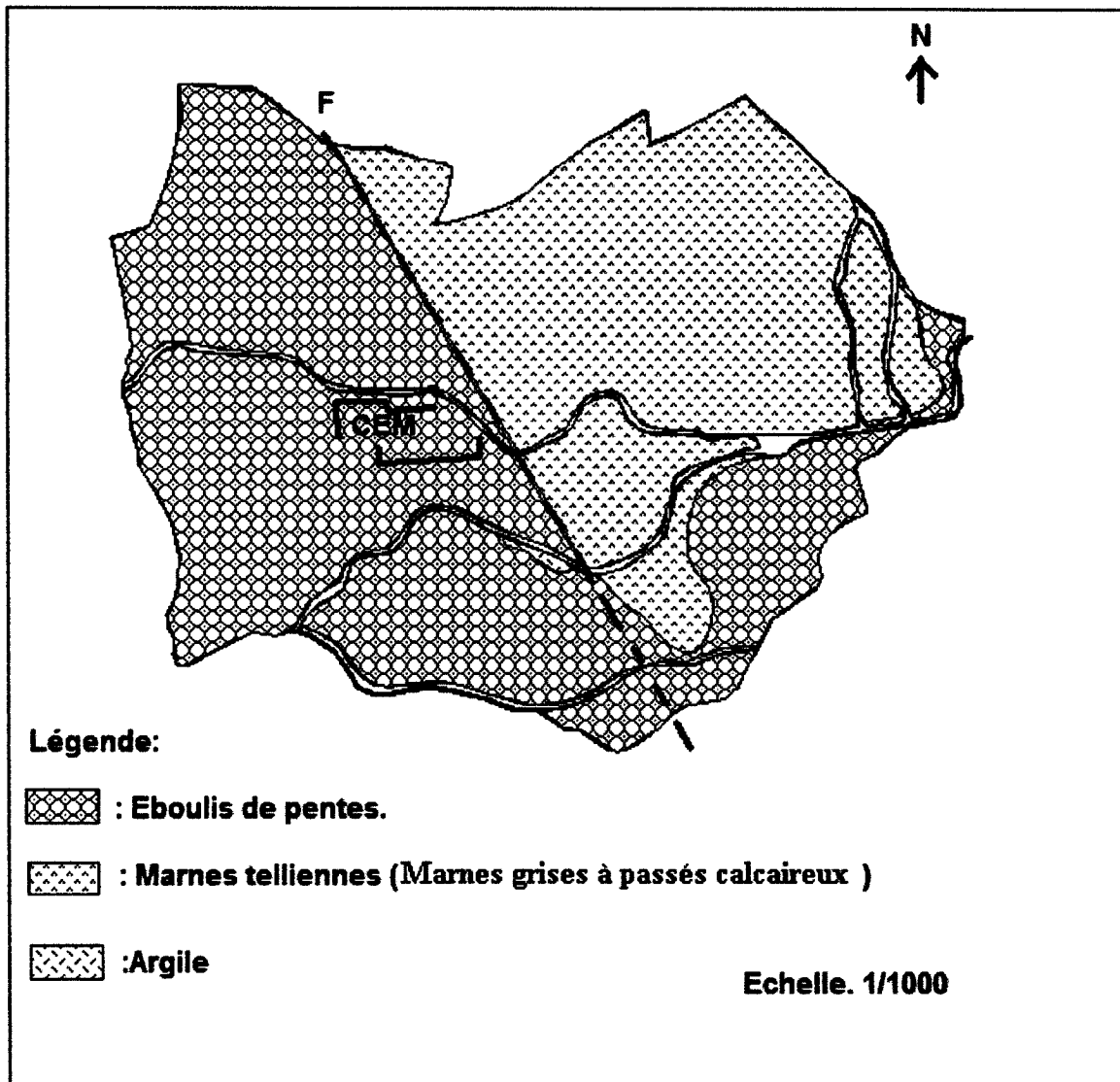


Fig.II.2 : Carte géologique de la région de Djimla.

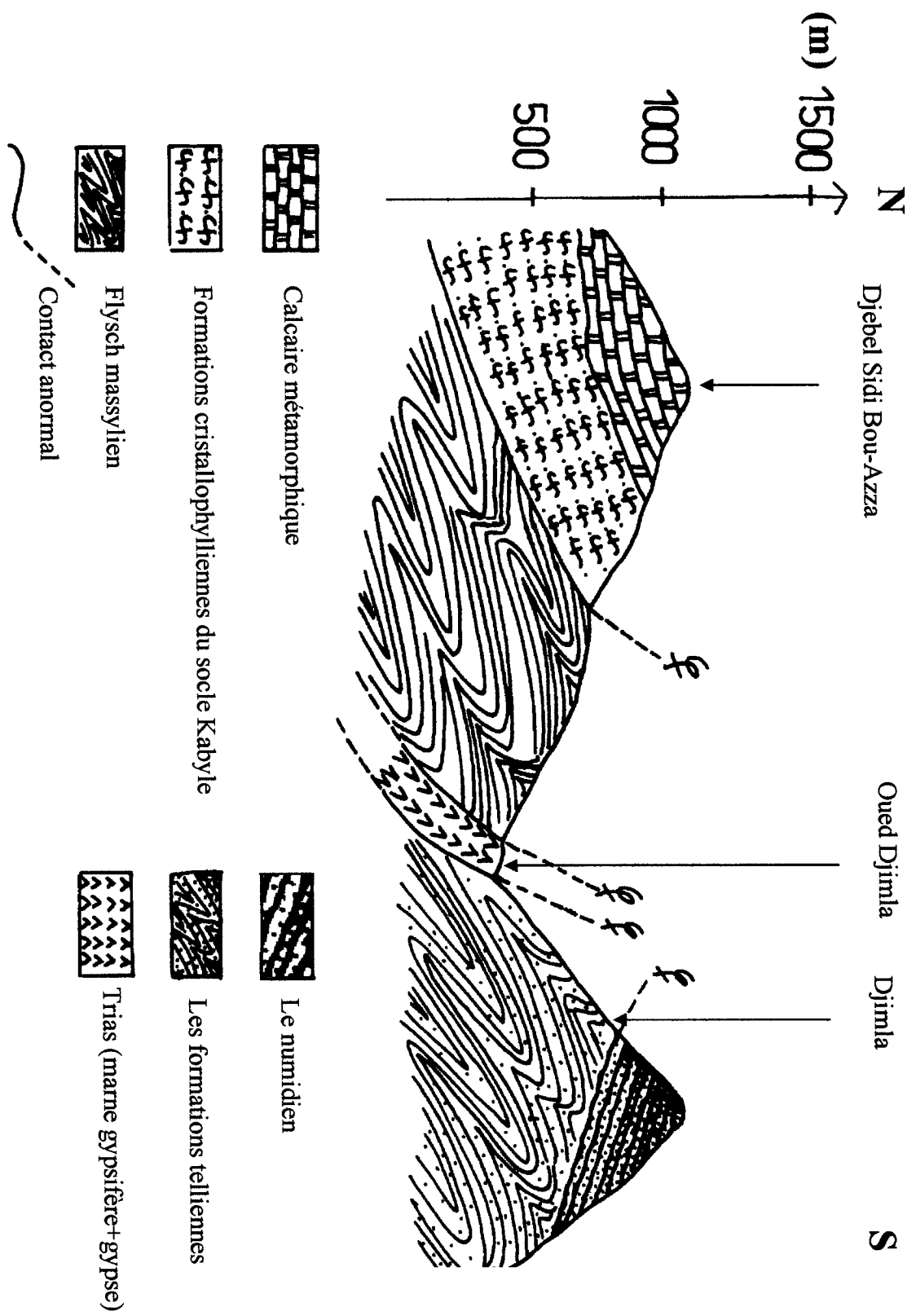


Fig.II.3. : Coupe géologique Nord-Sud passant par le village de Djimla, (Kherrouba.H ;2008).

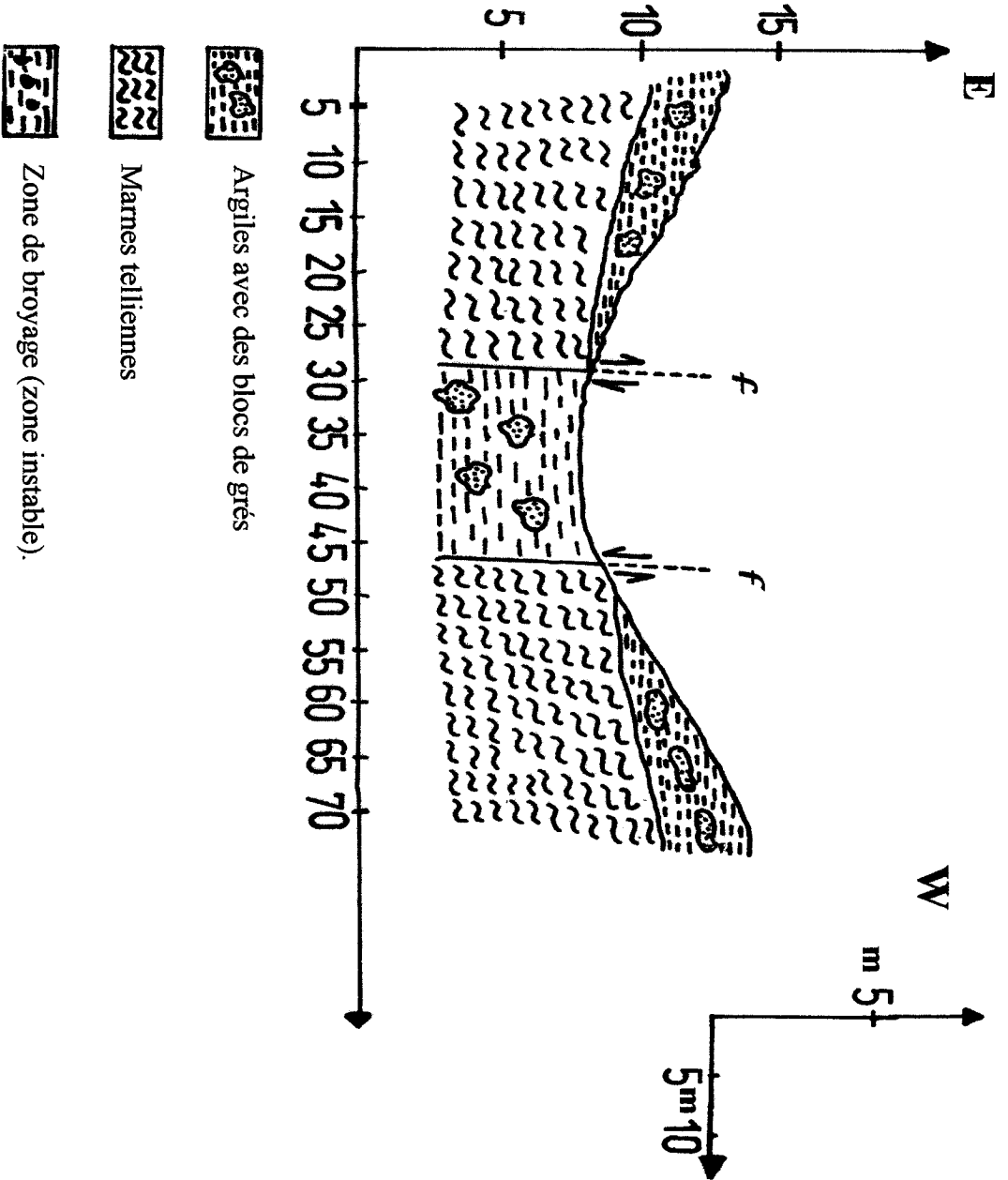


Fig. II.4. : Coupe géologique Est-Ouest au niveau du village de Djimla, (Kherrouba.H ; 2008).

1.1. Les formations cristallophylliennes du socle kabyle

Au Nord de Djimla les formations du socle Kabyle sont représentées d'une part par les formations du complexe volcano-sédimentaire du Djebel Draa El-Fertassa, et d'autre part les formations cristallophylliennes du socle Kabyle, regroupant une puissante assise de calcaire métamorphique, reposant sur des micaschistes et/ou des gneiss. Ces micaschistes et/ou gneiss sont par endroits, traversées par d'épaisses lames de porphyroïdes (pegmatites) à Djebel Sidi-Bouaza

Les formations du socle kabyle sont charriées vers le Sud sur les formations des flysch massylien.

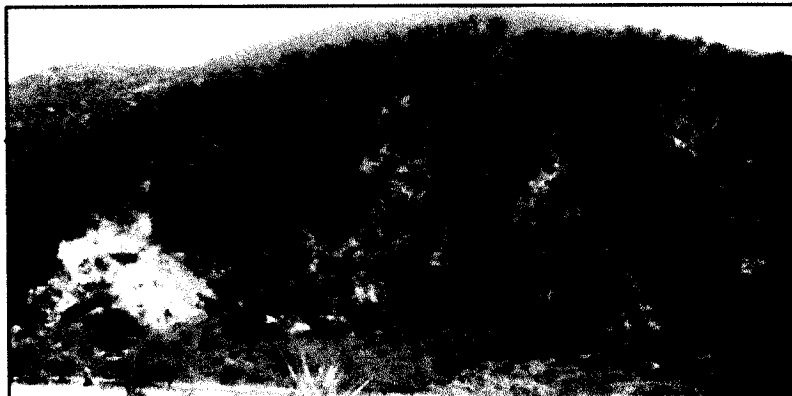
Le contact de chevauchement est situé à environ 250m au Nord de l'oued Djimla.

1.2. Les formations de type flysch

Sous les formations cristallophylliennes du socle kabyle apparaissent les formations du flysch massylien, représentées par une alternance des niveaux de quartzites et des niveaux de schistes d'épaisseur centimétriques à décimétriques. Ces formations du flysch massylien sont charriées sur les formations telliennes.

1.3. Les formations du trias

Le long de l'oued Djimla, un important pointement de Trias, comportant du gypse, des marnes gypsifères, des argiles bariolées et des argiles de couleur lie de vin perce les formations telliennes et les formations du flysch massylien.



*PhotoII.1: Photo illustrant des formations triasiques
(À Oued Djimla) prise en 2007.*

1.4. Les formations telliennes

Elles sont représentées par des marnes grises, admettant en intercalation des lentilles de calcaire.

1.5. Les formations du flysch numidien

La nappe numidienne, représentée dans la région de Djimla par une base d'argiles, dites argiles sous numidiennes ou encore argiles bariolées à tubotomaculum, surmontée par une puissante assise gréseuse en bancs métriques.

La nappe numidienne, se repose en discordance sur les marnes telliennes, cette nappe forme l'unité la plus haute du dispositif structural de la région.

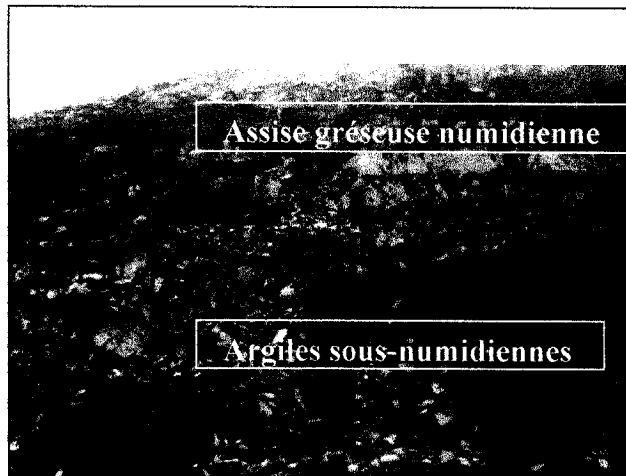


Photo.II.2: Photo illustrant des formations numidiennes le long de la RN77A au Sud du village de Djimla (prise en 2007).

1.6. Les formations du quaternaire

Dans la région de Djimla, les formations du Quaternaire sont représentées principalement par des éboulis de pente, ces derniers, couvrant de vastes surfaces et forment la couverture des marnes telliennes qui représentent le substratum géotechnique des POS.

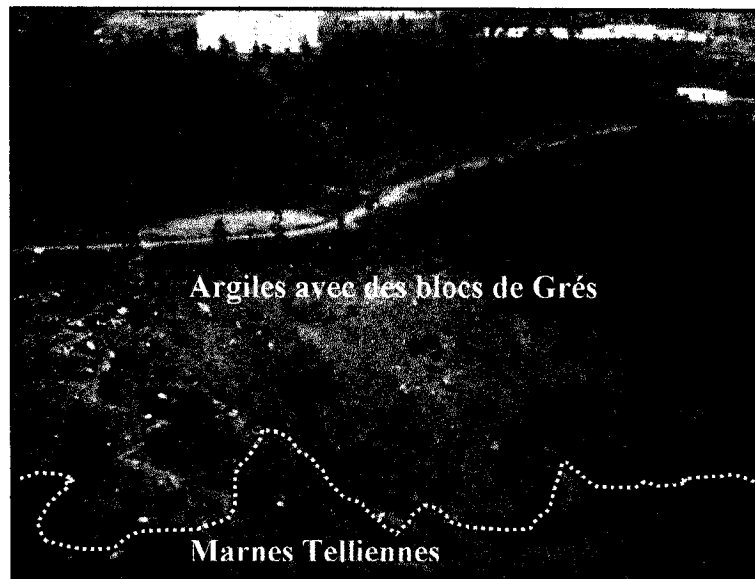


Photo. II.3: Photo illustrant la superposition des argiles limono-sableuse et des marnes telliennes formant le substratum au Nord du village de Djimla (prise en 2007).

II.2. La tectonique

Les différents aspects tectoniques régionaux sont les charriages, les déformations ductiles et les déformations cassantes

La configuration morpho-structurale actuelle de la région de Djimla est le résultat de la tectonique post-nappes. Cette tectonique est bien matérialisée dans l'assise gréseuse de la nappe numidienne qui affleure dans la partie Sud du village de Djimla. En effet de grands accidents de direction (NE - SW), (N-S) et (E-W) affectent la nappe numidienne. Ces accidents sont une conséquence du rejeux des grands accidents tectoniques du socle.

Ces accidents tectoniques ont engendrés d'importantes dislocation et broyage des formations affectées. Par ailleurs, un intense réseau de fracturation à accompagné ces accidents tectoniques. (*Bouftouha.Y; 2005*)

II.3. Sismotectonique

a)Aperçu sismique

La région de Jijel est située dans une région sismique classée d'après (*Bockel ,1999*), comme région pouvant subir des secousses supérieures à l'intensité 8, les épicentres de la plupart des secousses ressenties sont localisés entre Bejaia et Sétif dans la région des Bibans et des Babors.

Cet axe sismique parait présenter une activité qui s'atténue vers l'Est, ou les structures en nappes viennent buter sur les contreforts du socle.

Selon **RPA 99 (Règles Parasismique Algérienne)** (*version 2003*) le territoire Algérien est divisé en quatre zones de sismicité décroissante de 0 à III (*Fig.II.5*):

- 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)

Cependant, la présence de grands accidents tectoniques dans la région de Jijel fait augmenter le risque sismique. En effet, des secousses peuvent être engendré par les réajustements tectoniques des grands accidents affectant la région.

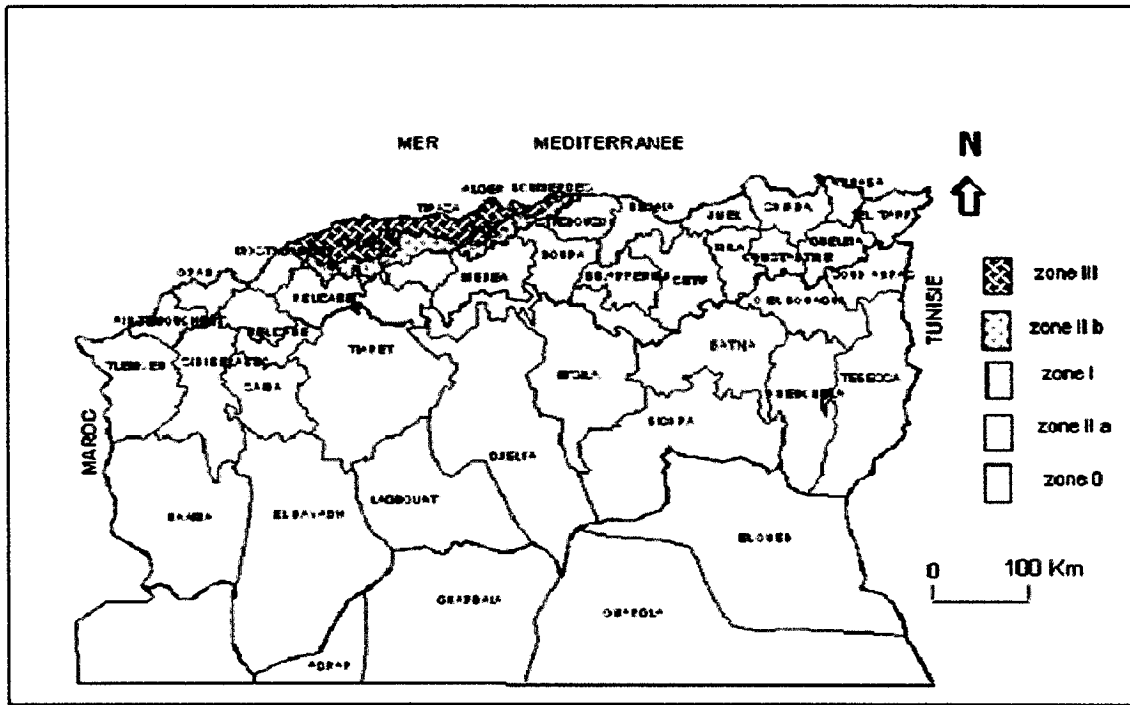


Fig.II.5: Carte sismique de l'Algérie selon la RPA version 2003.

II.4. Carte sismique de la région de Jijel

La carte sismique au 1/5.000.000 de la région de Jijel réalisée par le C.R.A.A.G (centre de recherche en astronomie, astrophysique, et géophysique) en 1971 montre les différents fronts des nappes de charriage, les alignements des failles majeures, et les épïcêtres de la région.

Une première observation nous permet de constater les grandes lignes sismiques qui coïncident avec l'alignement des failles. La plus forte est la plus proche concentration d'épïcêtres par rapport à Jijel et Béjaia se trouve au Sud-Ouest, il s'agit de Kherrata et de ces environs (partie intégrante des Babors) ; (*Fig.II.6*).

Exemple : le séisme de Benyadjis voisine de la région de Djimla (Willaya de Jijel) qui avait une magnitude de 4,3 a l'échelle Richter en 2010.

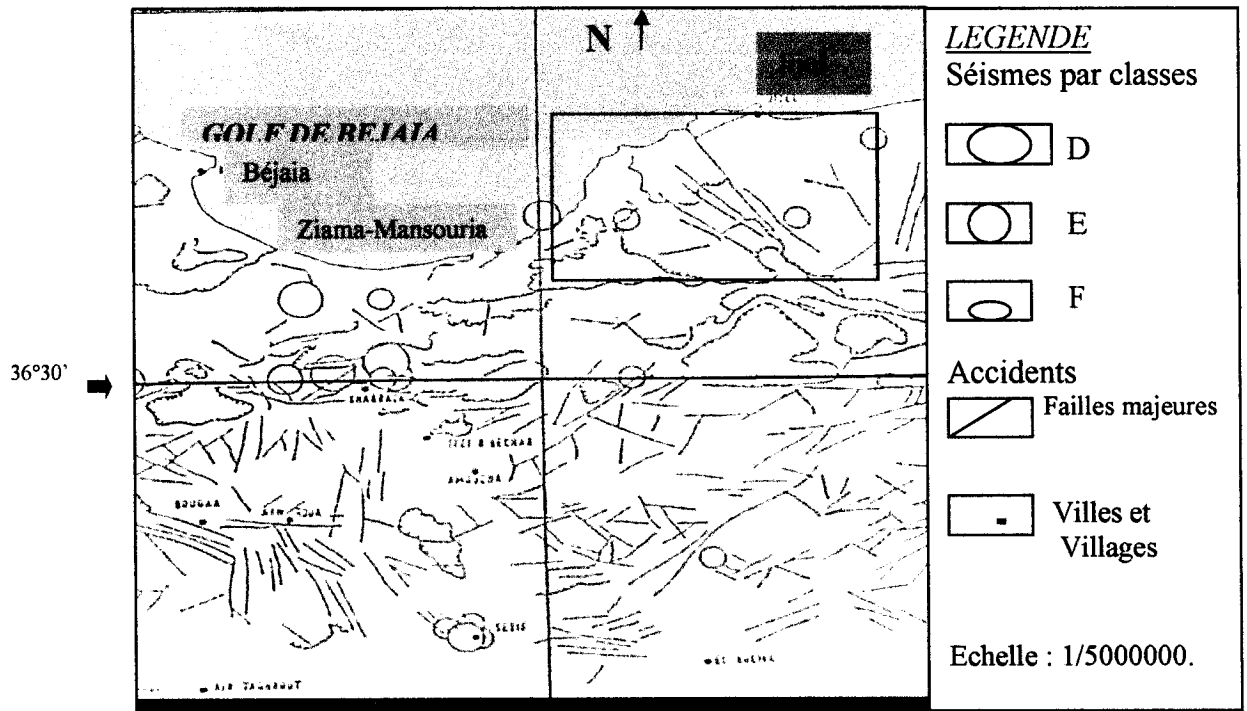


Fig.II.6: Contexte sismo-tectonique de la région Jijel – Bougie (C.R.A.A.G ; 1971).

I.4. Classes des secousses ressenties dans la région de Jijel :

Aujourd'hui tout le monde sait que l'échelle de **Richter** est une échelle ouverte et que les séismes pouvant atteindre une magnitude de 9 et peut être même plus. La classification de l'époque, selon **Gutenberg** et **Richter** concernait quatre classes de séismes qui sont :

- Classe c : magnitude allant de 6,0 et 6,9.
- Classe d : magnitude allant de 5,3 à 5,9.
- Classe e : magnitude allant de 4,0 à 5,2.
- Classe f : magnitude inférieur à 4,0.

Les Babors sont périodiquement secoués par ces quatre classes. Les différentes classes sismiques concernant la partie Nord de l'Algérie sont représentées sur la carte de la **Figure.II.6**.

I.6. Analyse sismo-tectonique

La carte sismo-tectonique du (CRAAG ; 1971), (**Fig.I.6**) permet de distinguer quatre (4) grandes familles de failles qui sont :

1) Failles Nord Est - Sud Ouest :

La région de Jijel, au Nord comme au Sud présente cet alignement de failles :

- L'alignement Nord, part de Jijel, traverse Kherrata et va jusqu'à l'Ouest de Bougâa (Bibans). On peut compter 8 foyers de séismes.
- L'alignement Sud quant à lui part du Sud de Jijel pour disparaître à l'Est de Bougâa, ce dernier comptabilise 03 foyers.

2) Failles Nord Ouest- Sud Est :

Le Nord - Ouest de la carte de la figure II.6 est par excellence, la région où l'on remarque un réseau très développé de failles. Cette direction privilégiée réapparaît du côté Sud-Ouest aux environs de Bougâa et Ain Roua. Ailleurs, dans la carte, cette même famille de failles existe, elle est moins dense et présente des failles de moindre importance que celles des environs de Jijel et de Bougâa.

3) Failles Est- Ouest :

Un axe passant par le Nord de Ziamma Mansouriah (mer) et s'étalant jusqu'au Sud de Jijel semble s'aligner sur l'axe très net Est - Ouest qui passe par Kherrata et où les foyers longent le tracé des fronts de charriages de la région.

Au Sud de Kherrata, l'axe Bougâa/Ain Roua présente ce même alignement (Est- Ouest) ; la carte ne mentionne aucun foyer.

4) Failles Nord -Sud :

La zone des Bibans (Ain Roua et Amoucha) est la seule à présenter discrètement cet alignement. Kherrata et Ziamma Mansouriah situées au Nord sont dans le prolongement immédiat de ce réseau de failles.

Chapitre III

Synthèse hydrologique et hydrogéologique

III.1. Introduction

D'une façon très générale, l'hydrologie peut se définir comme l'étude du cycle de l'eau et l'estimation de ses différents flux.

Cette eau joue un rôle important dans la déstabilisation des terrains de n'importe quel nature et le rôle primordial qu'elle joue dans ces instabilités de terrain nous mène à réaliser une analyse hydrologique de la région étudiée.

On parlera plus particulièrement dans ce chapitre des apports d'eau dans cette région d'étude, (précipitation, évapotranspiration, infiltration et ruissellement), le bilan hydrologique, le régime caractéristique du fonctionnement du système hydrologique.

Pour l'hydrogéologie nous essayerons de caractériser les formations potentiellement aquifères

III.2. Hydroclimatologie

2.1. Aperçu général sur le climat

Les aires climatiques algériennes sont très diversifiées et le climat varie du type méditerranéen au type saharien. Au Nord, les hivers sont pluvieux et froids, les étés chauds et secs. Le climat, le long de la côte, est adouci par la présence de la mer.

L'Est algérien est une région plus pluvieuse que l'Ouest, cette variation est fonction des influences méditerranéennes et sahariennes et des irrégularités topographiques.

En ce qui concerne notre région d'étude qui fait partie du littoral Est Algérien, le climat est de type méditerranéen. Il est caractérisé par une période hivernale douce et humide, caractérisée par une pluviométrie élevée en hiver suivie d'une période estivale chaude.

2.2 Analyse des paramètres climatiques

2.2.1. Précipitations

Notre étude s'intéresse aux précipitations liquides (pluies), et aux précipitations solides (neige, grêle) qui constituent un facteur primordial dans le comportement hydrologique de la région.

2-2-1-1- Estimation des précipitations à partir des données des stations pluviométriques voisines de la région de Djimla

L'étude des précipitations moyennes annuelles s'est effectuée à partir des données anciennes de la série qui s'étend de (1961-1991) pour les stations de Texenna et celle du col de Fedoulès, et des données récentes de la série qui s'étend de (2000-2010) pour la station de l'Aéroport F.Abbès de Taher.

Les données de la station météorologique de Texenna montrent que cette région reçoit annuellement **1299mm** par an, alors que la station du col de Fedoulès indique une moyenne de **1395mm** par an pour la région de Djimla.

Tableau III.1 : Caractéristiques des stations pluviométriques dans (voisine) de la région de Djimla.

Code et nom de la station	Altitude (m)	Longitude	Latitude	Pluies moyennes annuelles (mm)	Période d'obs. (années)
03.03.02 Texenna	725	547 E	3639 N	1229,4	50
10.02.07 Col de Fedoulès	843	557 E	3633 N	1395,0	50
03.05.04 Taher	56	554E	3646 N	981	50
Aéroport F.Abbès	8	553E	3648N	865	4

a) Variations mensuelles :

La répartition mensuelle des précipitations durant l'année et ses variations conditionnent (avec les facteurs thermiques et lithologiques), l'écoulement et le régime des cours d'eau, ainsi que des nappes alluviales. Le tableau III.2 qui suit donne les moyennes mensuelles des différentes stations pour la période (1961-1991).

Tableau III.2 : Moyennes mensuelles des précipitations de la période (1961-1991).

Station Mois	Taher	Texenna	Col de Fedoulès
S	37,2	40,1	48,2
O	79,3	137,5	201,6
N	180,1	221,6	231,5
D	269,7	264,4	296,6
J	153,4	169,7	181,2
F	94,1	119,2	139,4
M	74,6	109,9	112,9
A	52,9	77,5	94,7
M	21,5	60,5	56,5
J	11,2	15,7	16,2
J	3,9	8,1	9,3
A	3,3	5,2	6,9
Total	981,2	1229,4	1395

On remarque que:

Toutes les stations donnent un maximum pluviométrique durant les mois de Novembre, Décembre, et Janvier.

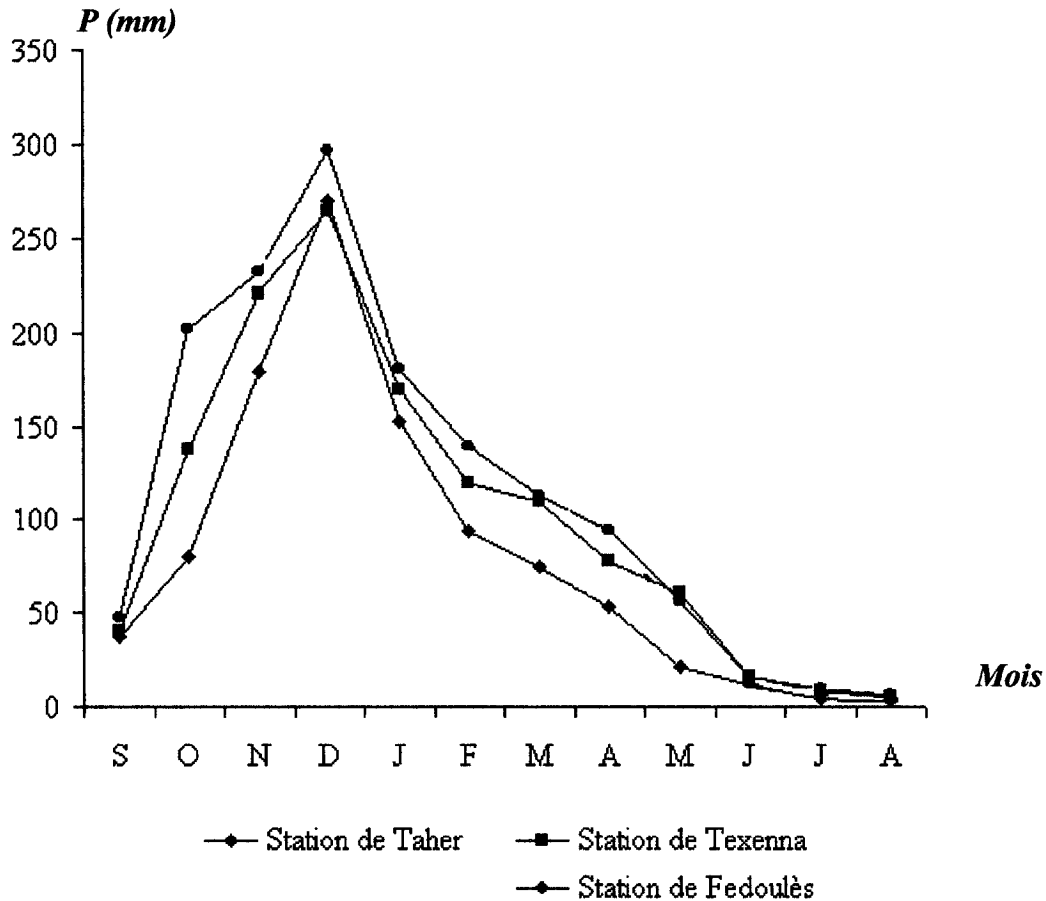


Fig. III.1: Graphes exprimant les moyennes mensuelles des précipitations de la période 1961/1991 (au niveau des stations : Taher, Texenna, et Col de Fedoulès).

b) Variations saisonnières

Pour les précipitations de la série récente, et à cause de l'absence d'une station professionnelle au niveau de la région d'étude, les données relatives à la station Jijel, Taher et Texenna ont été prises en considération. Vu que ces stations correspondent approximativement aux mêmes conditions, et le même régime climatique que la région étudiée. Le tableau (III.3) représente les moyennes mensuelles des précipitations de la période 2000-2010.

**Tableau III.3: Données moyennes mensuelles des précipitations
(Station de Jijel, Taher et Texenna période 2000/2010).**

Station Et mois	Précipitations en (mm)											
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Jijel	59,57	62,83	171,84	205,74	166,82	105,25	92,85	81,96	47,56	12,84	1,33	10,24
Taher	79,78	59,78	153,07	195,89	165,12	103,03	91,40	82,62	46,22	3,57	16,34	16,34
Texenna	80,04	63,06	170,10	242,06	165,69	116,89	109,99	117,89	71,86	14,53	12,30	11,49

D'après les résultats obtenus dans le tableau précédent, on peut constater que Décembre est le mois le plus pluvieux, par contre Juillet est le mois le plus sec. En général, l'évolution des précipitations dans le temps est croissante d'Août à Décembre.

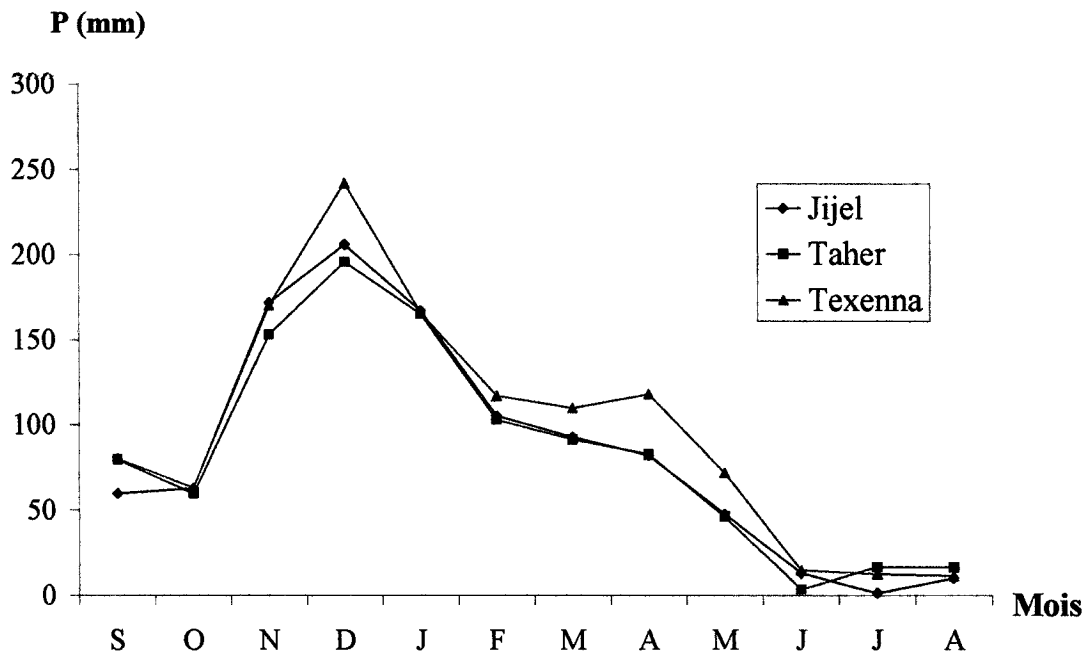


Fig.III.2: La distribution de la pluviométrie moyenne mensuelle (Période 2000/2010).

Afin de connaître la pluviométrie saisonnière au niveau de ces régions (Jijel, Taher et Texenna), nous avons dressé le tableau III.4 suivant :

Tableau III.4 : Données moyennes saisonnières des précipitations (Station Jijel, Taher et Texenna période 2000/2010).

Saison Période	Station	Pluviométrie moyenne	Hiver	Printemps	Eté	Automne
			2000-2010	Jijel	P.M.S (mm)	477,81
		P.M.S (%)	47,78	22,23	2,44	29,42
2000-2010	Taher	P.M.S (mm)	464,04	220,24	36,25	292,63
		P.M.S (%)	46,40	22,02	3,62	29,26
2000-2010	Texenna	P.M.S (mm)	524,64	299,74	38,32	313,2
		P.M.S (%)	52,46	29,97	3,83	31,32

On remarque que presque la moitié de la lame d'eau reçue dans les régions étudiées (Jijel, Taher et Texenna) se manifeste en Hiver. Ainsi l'alimentation des cours d'eau et des nappes souterraines par les précipitations est donc considérable en saison hivernale.

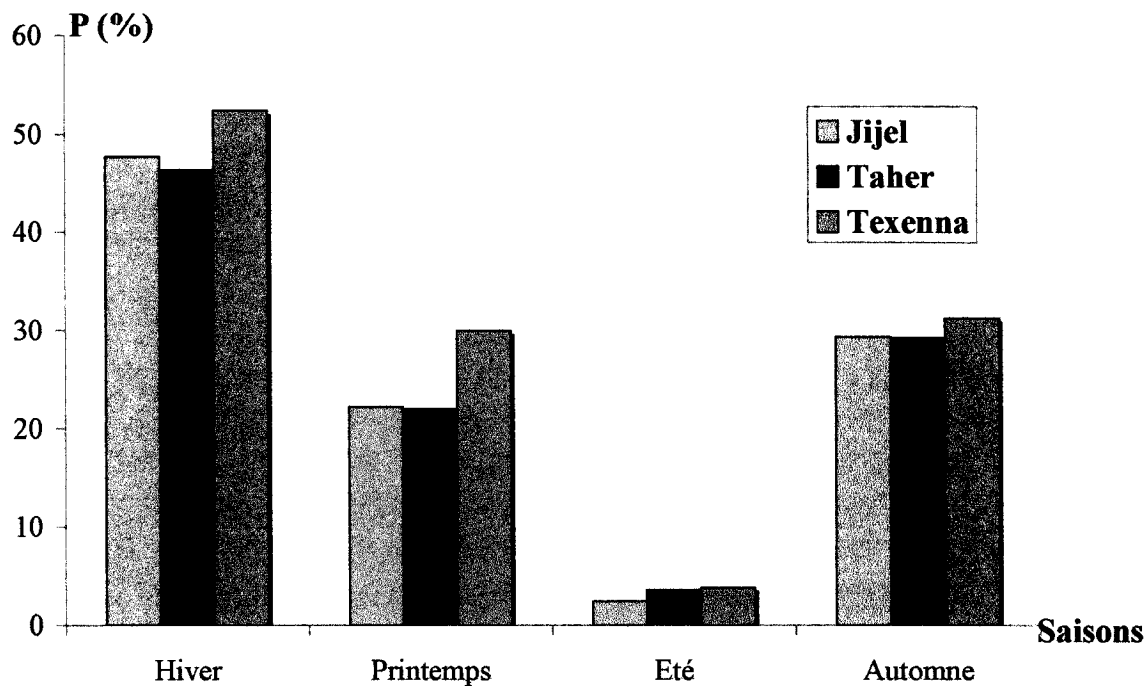


Fig.III.3: Répartition saisonnière de la pluie enregistrée aux stations Jijel, Taher et Texenna période 2000/2010.

c) Intensité des chutes de pluies

Pour éclairer le caractère externe de l'écoulement fluvial ayant trait aux crues, nous devons descendre à une échelle temporelle encore plus fine dans l'analyse des précipitations, à l'échelle des totaux pluviométriques journaliers ou mieux encore des averses.

Selon les hydrologues, l'averse torrentielle s'identifie aux averses qui donnent une hauteur d'eau de 30mm ou plus en 24 heures.

Ce caractère est relatif, car il exprime l'intensité moyenne en 24 heures, elle est différente de l'intensité instantanée. Cette dernière est toujours plus élevée, car les averses qualifiées d'intenses ou de torrentielles ne tombent pas d'une manière continue pendant les 24 heures.

Les données de la période (1913-1938) de *P.Seltzer* pour les stations de Taher et de Texenna sont enregistrées dans le tableau III.5 ci-après :

Tableau III.5 : Nombres de jours des pluies "torrentielles" (P.Seltzer, 1913/1938).

Répartition Annuelle											Répartition par intensité (mm/24h)				
S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	30/50	50/70	70/100	>100
12	36	35	35	39	36	13	15	12	6	1	1	181	42	15	3
Total=241 Station de Taher.											Hauteur max. obs. (mm/24h). 136				
17	27	40	55	64	52	26	31	21	5	0	2	231	75	31	3
Total=340 Station de Texenna.											Hauteur max. obs. (mm/24h). 133				

Du littoral *Taher* aux hauteurs de *Djimla*, le nombre de jours de pluies torrentiels pour la période 1913/1938 croit. La fréquence la plus forte est enregistrée au niveau de la région d'étude.

Les hauteurs maximales observées en 24 heures sont à peu près les mêmes pour les deux stations (Taher, Texenna). Un écart de faible importance nous permet de classer les deux stations dans un même groupe, avec une valeur moyenne de 131mm/24h.

Les mois de Décembre et Janvier étant les plus pluvieux des deux régions Taher et Texenna, et les fréquences les plus hautes de pluies torrentielles coïncident avec ces deux mois.

Les mois de sécheresse (Juin, Juillet, Août) connus dans la région, coïncident eux aussi avec les plus basses fréquences des pluies torrentielles. Les quelques rares renseignements mentionnés au tableau III.5 précédent, correspondant aux averses sporadiques de l'Été.

d) Précipitations solides

d.1) La neige :

L'importance de la neige réside dans le fait qu'elle imbibe le sol d'une façon continue et le laisse donc s'humecter profondément pendant la période de fusion ; l'enneigement se fait seulement au début de l'Hiver sur les hautes altitudes des Babors (2004m), et de Djimla (1300m).

L'altitude exerce donc une influence prépondérante sur les chutes de neiges, ainsi nous avons d'après (*P.Seltzer, 1946*) le tableau *III.6* suivant :

**Tableau III.6 : Répartition de la neige
(P.Seltzer, 1946).**

Neige \ Enneigement	Nombre de jours ou il a neigé	Nombres de jours d'Enneigement
Texenna	3	2

Jusqu'à 1500mètres d'altitude, la neige commence à fondre aussitôt tombée (*P.Seltzer ; 1946*). Sur les sommets, la fusion est retardée ou interrompue momentanément par la gelée.

L'imbibition des matériaux est liée à la vitesse de la fusion. Une fusion lente, permet une infiltration importante qui alimenterait les réservoirs à perméabilité en grand.

d.2) La grêle

Comme pour l'étude de la neige et de l'enneigement, nous avons exploité les données de P.Seltzer de 1946. Le tableau *III.7* donne pour la station de Taher le nombre de jours de chute de grêle par mois et par an.

La région littorale reçoit de la grêle de Novembre à Avril (pendant la période humide). Cette chute est rarement observée entre Mai et Octobre. Entre 9 à 10 jours en moyenne de grêle sont enregistrés par an.

**Tableau III.7 : Nombre des jours de grêle
(Station Aéroport F.Abbès de Taher, période 1996/2006).**

Station Aéroport Ferhat Abbès	Chute de grêle [1996-2006]												Moyenne annuelle
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	
	0,1	0,1	0,5	1,3	2,1	2,1	1,3	0,3	0,2	0,1	0,0	0,0	8,7

2.2.2. Les températures

La température est un facteur qui contrôle le bilan hydrologique ; et permet l'estimation de l'évapotranspiration. Le tableau **III.8** représente les températures moyennes mensuelles de la station de l'aéroport F.Abbès, durant la période (2000 – 2010).

Tableau III.8 : Répartition des températures moyennes mensuelles (Station aéroport F.Abbès de Taher, période 2000/2010).

Station	Températures en (C°) [2000-2010]												Moyenne
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	
Aéroport Ferhat Abbès	23,67	20,71	15,18	12,97	11,32	11,65	13,55	15,76	18,83	21,62	26,21	26,23	18,13 C°
	19,85			11,98			16,04			24,68			

La série 2000/2010 des données des températures de la station de l'aéroport F.Abbès nous a permis de conclure que les températures sont basses en Hiver (Décembre, Janvier et Février), et élevées en Été (Juin, Juillet et Août), et que :

- Le mois le plus frais est : Février avec une moyenne de 11,32C°.
- Le mois le plus chaud est : Août avec une moyenne de 26,23C°.

2.2.3. Diagramme ombrothermique

Le diagramme ombro-thermique est établi selon la règle de Gaussen et Bagnoulis, ce diagramme est dressé selon le rapport des précipitations sur les températures (P/T) ; appelé également « indice de Gaussen et Bagnoulis ».

Les températures reportées à l'échelle double des précipitations permettent de déterminer la période sèche durant laquelle la moyenne mensuelle des précipitations du mois est inférieure ou égale au double de la température ($P < 2T$). Les données sont regroupées dans le tableau **III.9** :

Tableau III.9 : Données moyennes mensuelles des précipitations et des températures (Station Aéroport F.Abbès de Taher, période 2000/2010).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P (mm)	79,78	59,78	153,07	195,89	165,12	103,03	91,40	82,62	46,22	3,57	16,34	16,34
T(C°)	23,67	20,71	15,18	12,97	11,32	11,65	13,55	15,76	18,83	21,62	24,21	26,23
P/T	3,37	2,88	10,08	15,10	14,58	8,84	6,74	5,24	2,45	0,16	0,67	0,62

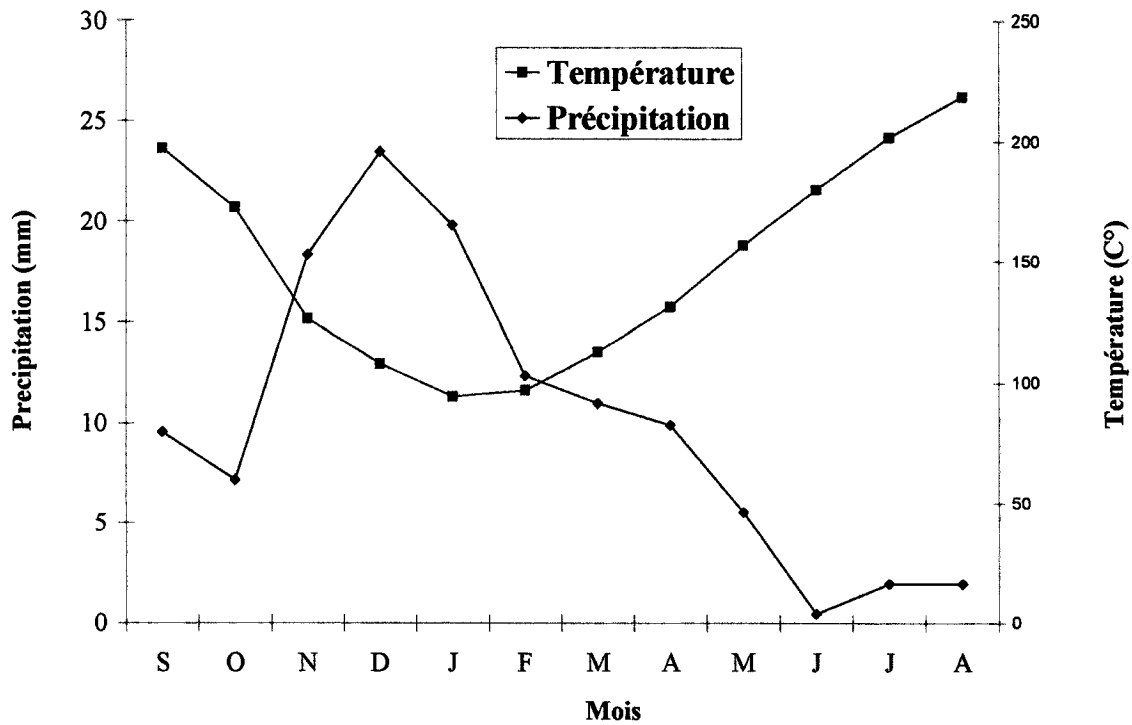


Fig.III.4 : Diagramme ombrothermique (Période 2000/2010)

D'après le diagramme ombro-thermique (**Fig.III.4**) (courbe pluvio-thermique) la période de sécheresse s'étale entre mi- Mai et la mi-Septembre.

2.2.4. Bilan hydrologique

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

$$P = ETR + R + I + Wa \dots\dots\dots \text{(Penman-Monteith ; 1965)} \dots\dots [1]$$

Avec:

P : précipitations moyennes annuelles en mm.

ETR : évapotranspiration réelle en mm.

I : infiltration en mm.

Wa : variation des réserves (négligeable).

2.2.4.1. Evapotranspiration potentielle

On calcule l'évapotranspiration potentielle (ETP), on utilisant la formule suivante établie par (**Thornthwaite ; 1944**) :

$$ETP = 16 \left(\frac{10T}{i} \right)^a \dots\dots\dots [2]$$

Avec :

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

$$i = \left\{ \frac{T}{5} \right\}^{1,514}$$

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

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

K : coefficient d'ajustement de la formule de Thornthwaite en fonction de l'altitude.

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

Le tableau III.10 donne la répartition de l'évapotranspiration potentielle par la méthode de Thornthwaite, avec K facteurs de corrections par lesquelles il faut multiplier la valeur de ETP non corrigée pour obtenir l'évapotranspiration corrigée (la série 2000-2010), source Aéroport F.Abbès).

Tableau III.10 : Résultats de calcul de l'évapotranspiration potentielle (Station Aéroport F.Abbès de Taher, période 2000/2010).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total annuel
T°C	23,67	20,71	15,18	12,97	11,32	11,65	13,55	15,76	18,83	21,62	24,21	26,23	214,0
i	10,52	8,59	5,37	4,23	3,44	3,59	4,52	5,68	7,44	9,17	10,89	12,29	I=85,73
ETP non corrigée	106,88	83,25	46,57	34,70	26,90	28,39	37,66	49,95	69,68	90,22	111,48	129,51	815,19
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	110,08	80,75	40,05	29,14	23,40	24,13	38,78	54,94	84,31	110,06	138,23	150,23	884,1

L'évapotranspiration potentielle calculée est de l'ordre de **884,1mm**.

2.2.4.2. L'évapotranspiration réelle

Pour estimer l'évapotranspiration réelle, nous utilisons encore une fois la méthode de (Thornthwaite, 1944).

Lorsque les précipitations moyennes mensuelles (P) sont supérieures à l'évapotranspiration potentielle ; l'évapotranspiration réelle est égale à l'évapotranspiration potentielle ETR=ETP. Et lorsque le volume des précipitations mensuelles est inférieur à l'ETP, l'ETR sera aussi égal tant que les réserves en eau du sol seront capables d'équilibrer la balance, au-delà il aura un déficit.

Dans ces calculs, Thornthwaite, 1944 admet l'utilisation d'une réserve en eau utile (RU) de 100mm. Si malgré l'apport de réserve facilement utilisable est toujours inférieur à l'ETP, à ce moment il existe un déficit agricole (DA).

$$DA = ETP - ETR \dots\dots\dots [3]$$

Si la réserve facilement utilisable est remplie, le reste va contribuer ce qu'on appelle le **Water-surplus (Ws)**.

Tableau III.11 : Résultats de calcul de l'évapotranspiration réelle (Station Aéroport F.Abbès de Taher, période 2000/2010).

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total annuel
P	79,78	59,78	153,07	195,89	165,12	103,03	91,40	82,62	46,22	3,57	16,34	16,34	1013,16
ETP corrigée	110,08	80,75	40,05	29,14	23,40	24,13	38,78	54,94	84,31	110,06	138,23	150,23	884,1
P-ETP	-30,3	-20,97	113,02	166,75	141,72	78,9	52,62	27,68	-38,09	-106,49	-121,89	-133,89	
RU	0,00	0,00	100	100	100	100	100	100	0,00	0,00	0,00	0,00	
ETR	79,78	59,78	40,05	29,14	23,40	24,13	38,78	54,94	46,22	3,57	16,34	16,34	432,47
DA	30,3	20,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	38,09	106,49	121,89	133,89	451,63
Ws	0,00	0,00	13,02	66,75	41,72	78,9	52,62	27,68	0,00	0,00	0,00	0,00	280,69

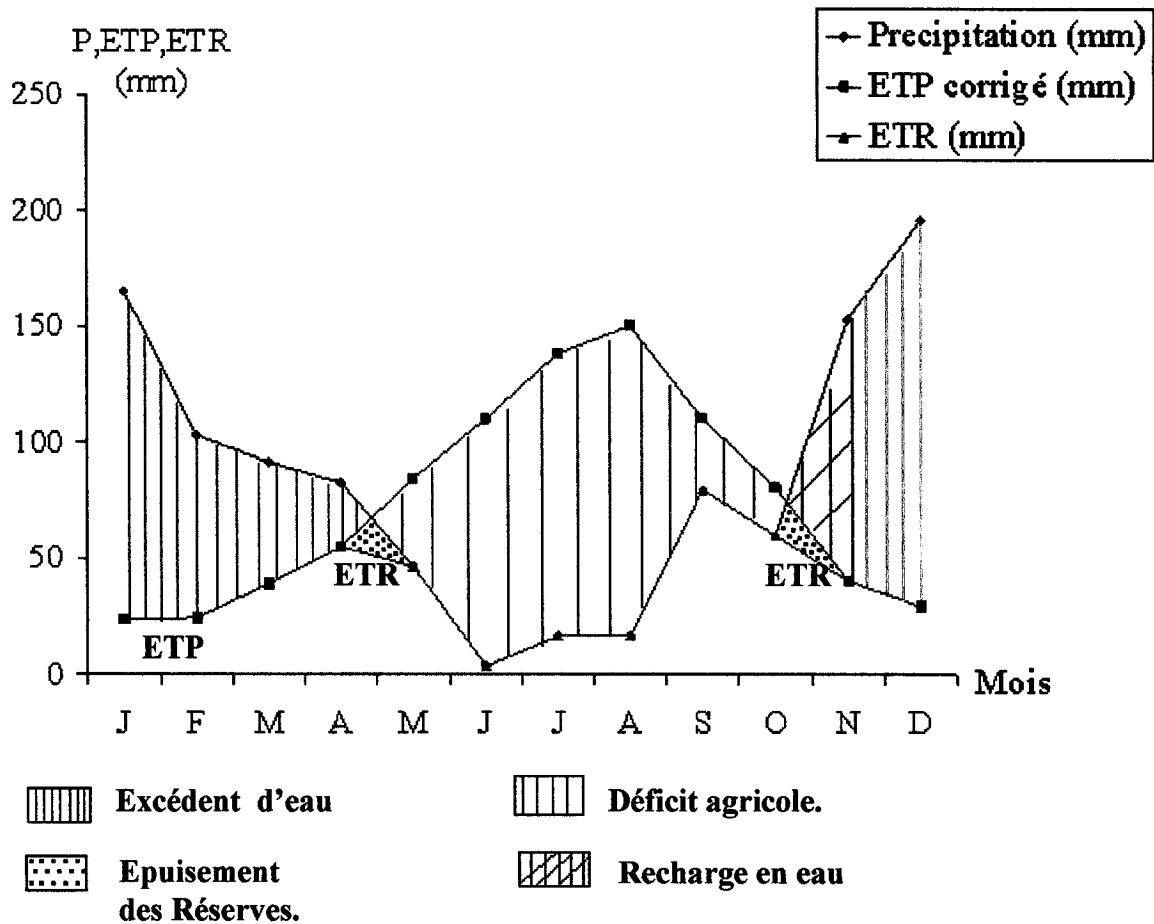


Fig.III.5 : Bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite de la période (2000-2010) ;[Station Aéroport F.Abbès.Taher].

1) Interprétation du bilan d'eau de Thornthwaite

- Le graphique de la figure III.6 permet de faire les observations suivantes:
- Les hauteurs des précipitations atteignent leur maximum en Décembre, là où l'ETP corrigée atteint son minimum.
 - L'ETP corrigée atteint son maximum au mois d'Août, là où les précipitations atteignent leurs minimum.
 - le déficit agricole s'étend sur la période sèche de l'année.
 - les écoulements deviennent importants à partir de la mi-Septembre et s'étalent jusqu'au le mois de Mai.

2) Exploitation du bilan hydrologique

Pour le calcul des ruissellements, et des infiltrations on utilise :

Evapotranspiration potentielle :	ETP= 884,1mm.
Précipitations moyennes annuelles :	P= 1013,16mm.
Lame évapotranspirée :	ETR= 432,47mm.

a. Ruissellements (R)

La formule de Tixeront-Berkaloff, 1956 que nous donnons ci-après permet d'évaluer le ruissellement :

$$R = \frac{P^3}{3(ETP)^2} \dots\dots\dots [4] \text{ (Tixeront-Berkalof ;1956f)}$$

$$R = \frac{(1013,16)^3}{3(884,1)^2} \Rightarrow R = 443,51mm$$

L'application numérique de la formule donne un ruissellement égal à **0,443m** ou encore **443,51mm**, soit environ **44,35 %** des précipitations.

b. Infiltration (I)

$$P = ETR + (R + I) \pm \Delta W \dots \dots \text{ (Penman-Monteith ; 1965)}$$

Avec :

Δw : lames des variations des réserves de la nappe (mm) (négligeable).

L'application numérique de la formule donne :

$$1013,16 = 432,47 + (443,51 + I)$$

$$I = 1013,16 - 875,98 \Leftrightarrow I = 137,18mm$$

$\Rightarrow I = 13,71 \%$ des précipitations.

III.3. Hydrogéologie

Au niveau de la région de Djimla aucun aquifère profond n'est à noter. Les formations carbonatées telliennes en profondeur peuvent constituer un aquifère potentiel.

A faible profondeur les terrains quaternaires par la nature lithologique de leur formation (Eboulis de pentes à matrice argilo-sableuse) constituent des nappes superficielles dont le potentiel hydrique varie selon les saisons.

De nombreux particuliers exploitent des puits traditionnels dont les niveaux piézométriques varient de 0 à 13 mètres de profondeur. A cette nappe s'ajoute par endroit, dans les zones de broyage une nappe souterraine dans les formations marneuses

III.4. Conclusion

Après cette étude hydrologique et hydrogéologique nous avons estimé qui suit :

- ✓ la région d'étude est caractérisée par un climat humide avec une température moyenne de **18,13°C**, les précipitations annuelles sont de l'ordre de **1013,16mm** ; **44,35 %** de ces précipitations sont des ruissellements, et **13,71 %** de ces précipitations sont en forme des infiltrations.
- ✓ La quantité importante des précipitations joue un rôle primordial dans l'accélération des mouvements de terrain. Elle contribue remarquablement à l'alimentation des nappes aquifères.
- ✓ L'infiltration est très importante, elle est de l'ordre de **137,18mm** d'où l'importance de son rôle dans l'instabilité de la zone étudiée, que se soit par l'alimentation des nappes ou par gonflement des sols fins imperméables. on n'oublie pas le rôle du ruissellement, surtout en cas de forte crue le phénomène de sape attaque les pieds des versants, ce qui dérange leurs stabilités.

Les facteurs hydrologiques et hydrogéologiques jouent un rôle important dans la dynamique des zones instables de la région d'étude.

Chapitre IV

Etude géotechnique

IV.1. Caractéristiques géologiques de la région de Djimla

Il convient tout d'abord de signaler que la géologie de la région de Djimla est représentée essentiellement par des formations telliennes d'âge Lutétien à Préabonien, et les formations du flysch numidien, ainsi que des formations du quaternaire représentés par des éboulis de pente.

IV.2. Campagne de reconnaissance géotechnique

La campagne de reconnaissance géotechnique du site étudié a porté sur la réalisation de :

- **Vingt six (26)** sondages carottés de profondeur d'investigation de **10,00m** avec pose de quelques piézomètres, des échantillons de sol ont été récupérés et transférés au laboratoire pour identification et analyses.
- **Soixante sept (67)** essais pénétrométriques effectués au ***pénétromètre dynamique*** PDL type lourd « BORRO ».

La carte ci-dessous représente l'implantation des différents essais de reconnaissance (***Fig.IV.1***).

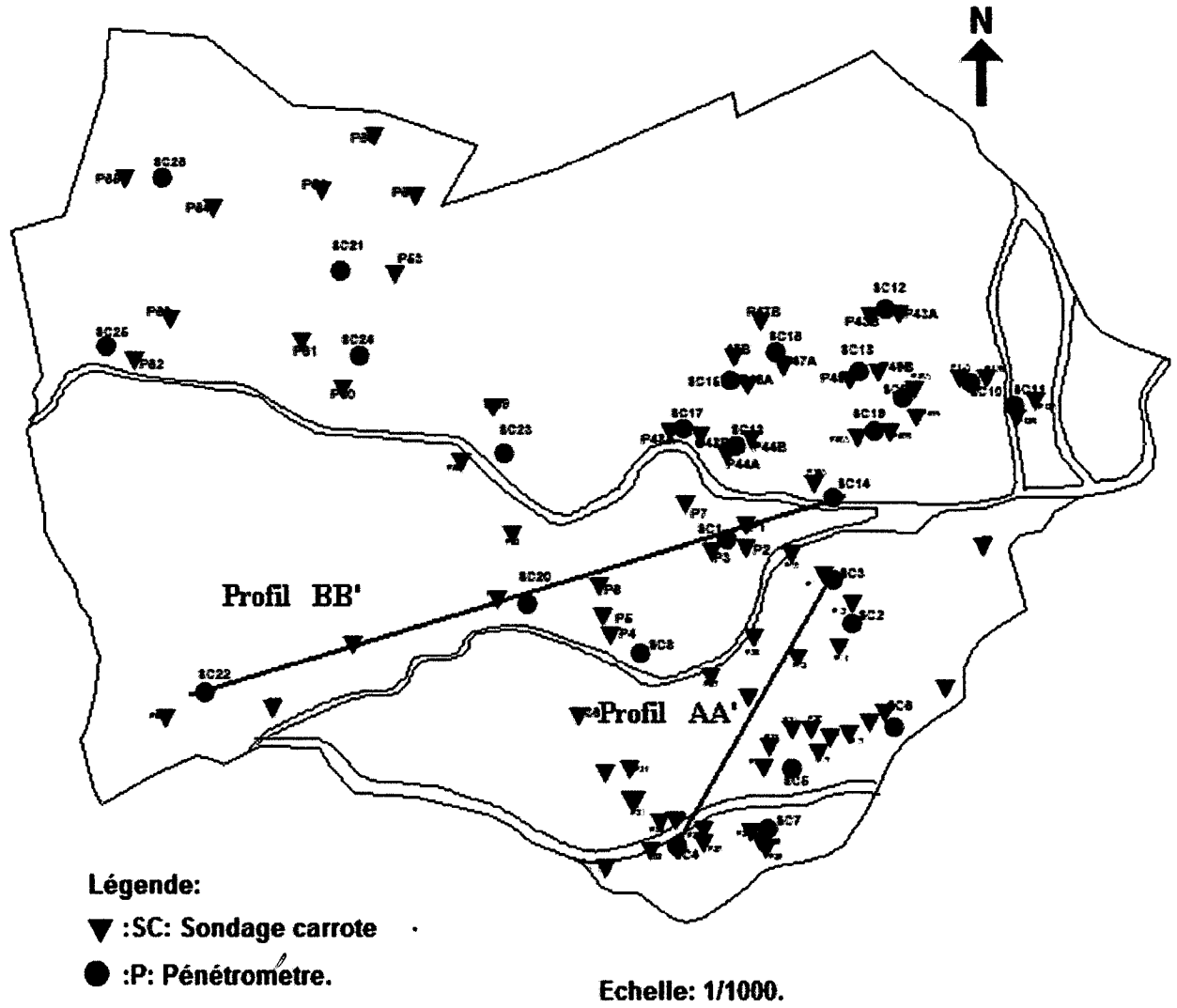


Fig.IV.1: Carte d'implantation des différents sondages de reconnaissance dans la région de Djimla

2.1. Les essais in-situ

1) Sondages carottés

Vingt-six (26) sondages carottés profonds de 10,00m ont été exploités, ces derniers ont été implantés de manière à couvrir toute la superficie du site en vue de mettre en évidence les différentes couches constituant le terrain et de déterminer leurs épaisseurs.

Les données de ces sondages montrent que le terrain est constitué généralement par :
Un substratum marneux de couleur grisâtre parfois jaunâtre à passage de grés fin de faible dimension (centimétrique à décimétrique). Ces marnes telliennes sont surmontées par des argiles de teinte brun-jaune souvent limono-sableuses, parfois graveleuses avec la présence des blocs de grés numidien. En surface, nous trouvons une couche de terre végétale dont l'épaisseur varie entre 1,00m et 2,00m.

Les coupes géotechniques établies à partir des données de sondages donnent une image assez claire de la géométrie des couches sous-jacentes et leurs extensions latérales, et en profondeur, c'est un sous-sol relativement homogène avec des passages lenticulaires gréseux et sableux (*Fig.IV.2* et *Fig.IV.3*).

D'après le LNHC (2003), le niveau statique de la nappe aquifère au niveau de Djimla est de 8m de profondeur.

2) Résultats issus des essais de pénétration dynamique

Les résultats des essais sont représentés sous forme de courbes indiquant la résistance dynamique du sol "Rd" en fonction de la profondeur.

L'analyse des pénétrogrammes obtenus montre que les contraintes admissibles sont variables, on remarque aussi qu'il y a dans quelques diagrammes un refus superficielle cela n'est dû qu'à la présence des blocs de grés grossiers.

L'ensemble de ces résultats permet d'affirmer que les sols testés présentent des caractéristiques géotechniques variables d'un point à l'autre ; mais dans l'optique de la constructibilité, sont considérés comme des sols susceptibles d'offrir une bonne assise de fondation si les critères de stabilité sont vérifiés.

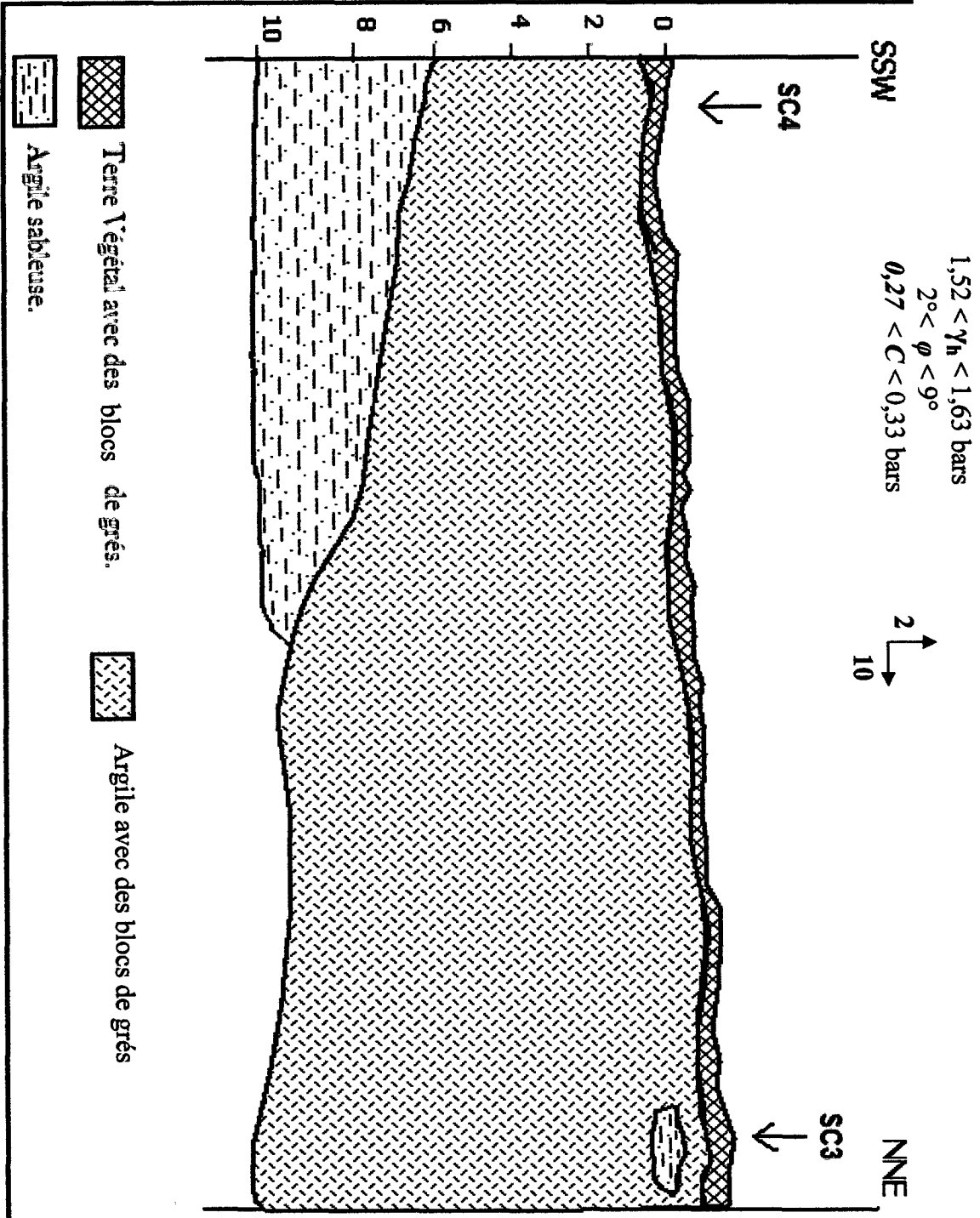


Fig.IV.2 : (Profil AA') Coupe géotechnique NNE-SSW au niveau du POS 1 de la région de Djimla

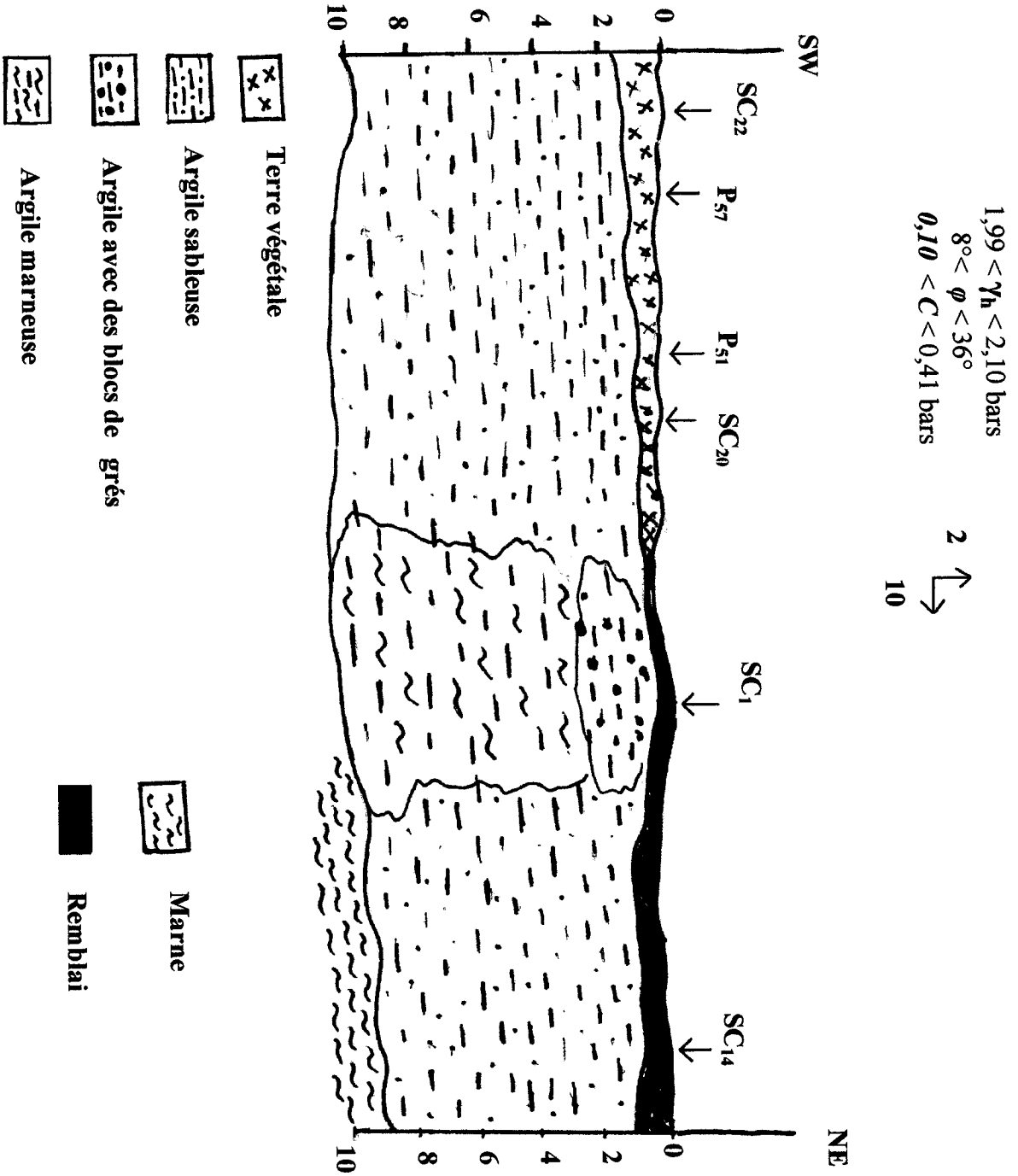


Fig.IV.3: (Profil BB') Coupe géotechnique NE-SW passant par Djimla

2.2. Essais de laboratoire

Les valeurs des principaux paramètres physiques mesurés pour les formations rencontrées sont représentées dans le tableau IV.1 :

**Tableau IV.1: Valeurs des principaux paramètres physiques des sols
(LNHC ;2003 ,Fondasoil ;2010)**

Sondages	Profondeur en (m)	Densité sèche (γ_d)	Densité humide (γ_h)	Teneur en eau (W) %	Degré de saturation (Sr) %
SC ₁	2,4 – 2,9	1,98	1,52	30,36	100
	3,6 – 4,0	1,99	1,58	25,98	99,61
SC ₂	1,5 – 1,9	2,08	1,77	17,44	89,97
SC ₃	1,7 - 2	1,98	1,57	26,59	99,28
	2,15 – 2,6	1,96	1,52	28,56	100
	3 – 3,5	2,07	1,65	25,20	100
SC ₄	5 – 5,5	2,03	1,63	24,36	100
	5,7 - 6	1,99	1,64	22,21	91,74
	7,7 - 8	2,07	1,71	21,57	100
SC ₅	1,8 – 2,1	2,09	1,75	19,49	97,69
	3 – 3,5	2,03	1,61	26,04	100
	4,8 – 5,3	2,08	1,71	21,38	100
SC ₆	2,5 – 2,8	2,03	1,71	18,89	88,09
	3,65 – 3,9	2,08	1,72	20,87	99,36
SC ₇	1,7 - 2	2,01	1,61	25,09	100
	3,3 - 4	2,02	1,58	27,61	100
SC ₈	4,0 – 4,5	2,07	1,70	21,57	100
	6,0 – 6,4	2,00	1,57	27,79	100
	6,8 – 7,3	2,00	1,55	28,46	100
SC ₉	4,6 - 5	1,91	2,18	15,41	90,61
	8,8 - 9	1,85	2,15	16,12	94,90
SC ₁₀	1,5 – 1,95	1,70	2,06	20,28	96,75
	6,0 – 6,45	1,69	2,05	21,73	97,90
SC ₁₁	3,5 – 3,8	1,66	2,01	21,84	92,56
SC ₁₂	3,3 – 3,6	1,62	2,02	24,87	101,01
	6,2 – 6,8	1,77	2,11	19,46	100,66

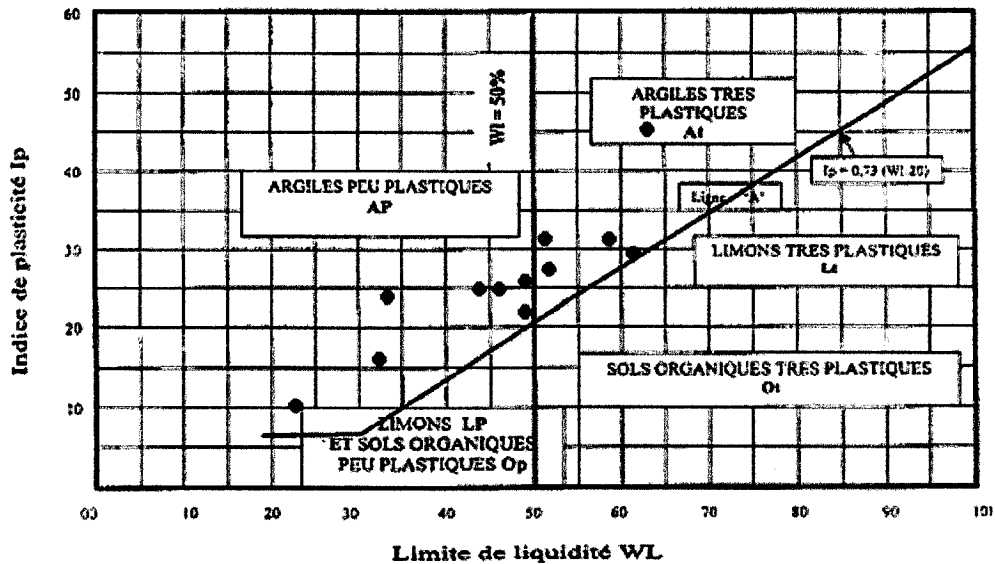


Fig.IV.4 : Diagramme de classification des sols fins de Casagrande.

D'après cette classification on peut dire qu'on est en présence d'une argile moyennement plastique.

2) Les propriétés mécaniques

a) Essai de cisaillement rectiligne

Des essais de cisaillement ont été effectués sur des échantillons de sols, les caractéristiques intrinsèques (C) et (ϕ) ont été déterminées par un essai de cisaillement de type non drainé non consolidé (UU) mesuré à la boîte de Casagrande. Les valeurs obtenues sont représentées dans le tableau IV.5 :

Tableau. IV.5: Valeurs des caractéristiques intrinsèques (c) et (ϕ)
(LNHC ;2003 ,Fondasoil ;2010)

sondages	Prof, (m)	C_{UU} (bars)	$(\phi)_{UU}^{\circ}$
SC ₁	2,4 – 2,9	0,41	8
	3,6 – 4,0	0,56	12
SC ₂	1,5 – 1,9	0,84	16
SC ₃	2,15 – 2,69	0,89	9
	3,0 – 3,5	0,33	24
SC ₄	5,0 – 5,4	0,27	9
	5,7 – 6,0	0,51	2
SC ₅	1,8 – 2,1	0,47	7
	3,0 – 3,5	0,54	32
	4,8 – 5,3	0,65	7

SC ₆	2,5 – 2,8	0,00	22
	3,65 – 3,9	0,51	37
SC ₇	1,7 – 2,0	0,38	10
	3,3 – 4,0	0,35	2
SC ₈	4,0 – 4,5	1,02	3
	6,8 – 7,3	0,37	23
SC ₉	2,4 – 2,8	0,85	13
	4,6 - 5	1,59	10
	8,8 - 9	0,35	22
SC ₁₀	1,5 – 1,95	0,09	9
	6 – 6,45	0,87	9
SC ₁₁	3,5 – 3,8	1,07	18
SC ₁₂	3,3 – 3,6	0,14	16
SC ₁₃	3,4 – 3,95	1,28	2
	8,4 – 8,8	0,04	9
SC ₁₄	1,6 – 2,0	-	-
SC ₁₅	4,3 – 4,8	0,65	14
SC ₁₆	2,5 – 2,8	0,75	13
SC ₁₇	3,0 – 3,5	0,71	4
SC ₁₈	4,70 – 5,0	0,94	6
SC ₁₉	2,0 – 2,5	0,15	8
SC ₂₀	2,5 – 2,8	0,12	13
	7,6 – 7,9	-	-
SC ₂₂	2,0 – 2,5	0,10	36
SC ₂₃	3,5 – 3,8	-	-
SC ₂₅	2,1 -2,4	0,50	32
	4,7 – 5,1	0,20	36
SC ₂₆	2,0 – 2,3	0,12	19

Les valeurs des cohésions (C) obtenues sont assez faibles. Elles varient de **0,00 à 1,59 bars**. Quant aux angles de frottement internes sont élevées et sont en rapport avec l'état induré des sols. Les valeurs extrêmes sont:

$$2^{\circ} < \varphi < 37^{\circ}$$

$$0,00 < C < 1,59 \text{ bars}$$

Ces résultats sont caractéristiques d'un sol cohérent, et moyennement à fortement résistant au cisaillement dont son état est plastique à ferme.

b) Essais de compressibilité à l'oedomètre

Les résultats obtenus sont exprimés dans le tableau IV.6 :

Tableau IV.6: Valeurs d'essai de compressibilité (LNHC ;2003 ,Fondasoil ;2010)

Sondages	Prof. (m)	(Pc) en bars	(Cc) en %	(Cg) en %
SC ₄	5,7 -6,0	1,20	12,41	2,17
	7,7 - 8,0	2,70	23,43	4,75
SC ₅	4,8 - 5,3	1,6	23,93	5,35
SC ₈	6,0 - 6,8	1,9	13,15	2,10
	6,8 - 7,2	1,9	16,43	5,27
SC ₉	4,6 - 5	1,67	15,17	2,68
SC ₁₀	1,5 - 1,95	2,30	15,17	2,68
	6,6 - 6,45	1,65	18,14	1,52
SC ₁₁	3,5 - 3,8	2,70	22,47	1,52
SC ₁₂	3,3 - 3,6	1,5	18,01	3,33
SC ₁₃	3,4 - 3,95	2,80	13,87	1,17
SC ₁₄	-	-	-	-
SC ₁₅	4,30 - 4,8	1,80	26,57	10,69
SC ₁₆	2,5 - 2,8	1,40	19,93	7,71
SC ₁₇	3,0 - 3,5	1,20	17,86	1,80
SC ₁₈	4,7 - 5,0	2	28,69	18,39
SC ₁₉	2,4 - 2,8	1,80	7,29	3,82
SC ₂₀	2,0 - 2,5	1,90	13,80	4,5
SC ₂₁	2,0 - 2,3	-	-	-
SC ₂₂	2,5 - 2,8	1,20	11,50	2,40
	7,6 - 7,9	-	-	-
SC ₂₃	2,0 - 2,5	3,00	20,70	5,90
SC ₂₄	3,5 - 3,8	-	-	-
SC ₂₅	2,1 - 2,4	2,90	14,00	5,10
	4,7 - 5,1	2,75	12,80	7,00
SC ₂₆	2,0 - 2,3	2,00	19,60	7,20

A partir du tableau on a :

Pression de consolidation (**Pc**) : $1,20 < \mathbf{Pc} < 3,00$ bars.

Coefficient de compressibilité (**Cc**) : $7,29 < \mathbf{Cc} < 28,69$ %.

Coefficient de gonflement (**Cg**) : $1,17 < \mathbf{Cg} < 18,39$ %.

Selon ces résultats ces sols sont classés dans la catégorie des sols **surconsolidés, moyennement compressibles, et faiblement gonflants.**

b.1) Calcul de la compressibilité

Les résultats des essais de compressibilités sont récapitulés dans le tableau *IV.7* :

Tableau IV.7: Valeurs de calcul de la compressibilité du sol.

Sondages	Prof. (m)	$1+e_0$	$\frac{C_c}{1+e_0}$	Compressibilité du sol
SC ₄	5,7 – 6,0	1,524	8,14	Moyennement compressible
SC ₅	4,8 – 5,3	1,418	16,87	Moyennement compressible
SC ₈	6,0 – 6,8	1,615	8,14	Moyennement compressible
SC ₉	4,6 – 5,0	1,482	10,23	Moyennement compressible
SC ₁₀	1,5 – 1,95	1,481	8,96	Moyennement compressible
	6,0 – 6,45	1,519	11,94	Moyennement compressible
SC ₁₁	3,5 – 3,6	1,844	12,18	Moyennement compressible
SC ₁₂	3,3 – 3,6	1,573	11,44	Moyennement compressible
SC ₁₃	3,4 – 3,95	1,508	9,19	Moyennement compressible
SC ₁₄	1,60 – 2,0	-	-	-
SC ₁₅	4,30 – 4,8	1,991	13,34	Moyennement compressible
SC ₁₆	2,5 – 2,8	1,810	11,04	Moyennement compressible
SC ₁₇	3,0 – 3,5	1,652	10,81	Moyennement compressible
SC ₁₈	4,70 – 5,0	1,683	17,04	Moyennement compressible
SC ₁₉	2,4 – 2,8	1,523	12,07	Moyennement compressible
SC ₂₀	2,0 – 2,5	1,67	8,26	Moyennement compressible
SC ₂₂	2,5 – 2,80	1,49	7,71	Moyennement compressible
SC ₂₃	2,0 – 2,5	1,787	11,58	Moyennement compressible
SC ₂₅	2,20 – 2,40	1,730	8,092	Moyennement compressible
	4,7 – 5,1	1,593	8,035	Moyennement compressible
SC ₂₆	2,0 – 3,0	1,689	11,604	Moyennement compressible

D'après les résultats précédents on peut classer ces sols dans la catégorie des sols moyennement compressibles et non gonflants.

IV.3. Analyses chimiques

Un certain nombre d'échantillons de sol a été soumis à des analyses chimiques afin de mesurer le potentiel d'ions agressifs présents dans le terrain. Les résultats d'analyse chimique des sols des trois POS de Djimla sont donnés dans le tableau IV.8:

**Tableau. IV.8: Résultats des analyses chimiques
(LNHC ;2003 ,Fondasoil ;2010)**

Sondage №	Profondeur en (m)	Sulfates (SO ₄)	Carbonates (Ca CO ₃)	Chlorures (Cl)	Agressivité
Sc ₂	1,9 – 2,0	1,40	-	-	Nulle
Sc ₆	3,4 – 4,0	-	4,01	-	Nulle
Sc ₇	1,5 – 1,8	2,00	-	-	Nulle
Sc ₈	2,0	1,90	-	-	Nulle
Sc ₉	2,0 – 3,5	-	1,23	-	Nulle
Sc ₁₂	0,0 – 1,0	-	1,00	-	Nulle
Sc ₁₅	1,5 – 3,0	-	1,64	-	Nulle
Sc ₁₈	4,7 – 5,0	1,90	-	-	Nulle
Sc ₁₉	2,4 – 2,8	1,50	-	-	Nulle
	2,4 – 2,8	0,20	-	-	Nulle
Sc ₂₀	2,0 - 2,5	Traces	0,16	0,14	Nulle
Sc ₂₁	2,00/3,00	Traces	0,16	0,14	Nulle
Sc ₂₂	2,50/2,80	Traces	0,16	0,18	Nulle
Sc ₂₃	2,00/2,50	Traces	0,16	0,80	Nulle
Sc ₂₄	3,50/3,80	0,07	0,16	0,18	Nulle
Sc ₂₅	2,10/2,40	0,07	0,08	0,21	Nulle
Sc ₂₆	4,70/5,10	0,05	0,08	0,21	Nulle

$$0,05 < \text{SO}_4 < 2$$

$$0,08 < \text{CaCO}_3 < 4,01$$

$$0,14 < \text{Cl} < 0,80$$

Selon la norme *NF P 18-011 du 06-92*, l'agressivité des sols est **nulle**. Donc, l'utilisation de tous types de ciment pour l'infrastructure est possible.

IV.4. Contraintes admissibles du sol de fondation

4.1. Capacité portante à partir des essais de pénétration dynamique

Pour l'évaluation de la contrainte admissible d'une fondation superficielle les hollandais ont recommandé une formule pour une fiche de fondation au moins égale à la largeur de la fondation, dans les sols pulvérulents ou purement cohérents c'est de prendre :

$$Q_{ad} = \frac{R_d \min}{20} \dots\dots\dots [5] \text{ (R.Frank; 2003).}$$

Avec un coefficient de sécurité égale à trois (03).

Où

- Q_{ad} : contrainte admissible de la fondation superficielle.
- $R_d \min$: résistance dynamique minimale de pointe sur une couche d'épaisseur pratique de l'ordre de $(3B/2)$ sous la fondation.

Les valeurs de la contrainte admissible obtenues pour des niveaux d'ancrage pris entre 1.5m, et 3m, de profondeur sont reportées pour chaque essai dans le tableau IV.9:

Tableau IV.9: Calcul de la contrainte admissible du sol de fondation à partir des résultats des essais de pénétration dynamique

N° essai	Contrainte admissible Q_{ad} (bars)			
	D = 1,5m	D = 2m	D = 2,5m	D = 3m
P ₁	3	2	2	3,25
P ₂	2	1,25	2,5	1,5
P ₃	3,75	2,5	2,4	1,5
P ₄	3	2,5	2,5	3,75
P ₅	2,5	3	3,75	3,5
P ₆	Refus	Refus	Refus	Refus
P ₇	4,5	3,75	3,5	2,75
P ₈	4	3,75	Refus	Refus
P ₉	7	3,75	8,75	Refus
P ₁₀	10,5	5,5	3	3,5
P ₁₁	3,75	3,5	3,75	3,25
P ₁₂	3,25	3,35	3	2,75
P ₁₃	7,25	9	4	4
P ₁₄	4,25	8	Refus	Refus
P ₁₅	2	2,5	2,25	3,4
P ₁₆	3	2,5	3,5	5,75
P ₁₇	4	3,75	4	8,75
P ₁₈	2,5	4,25	8,75	4
P ₁₉	1,75	2,5	3	4
P ₂₀	2,5	1,65	2,5	3

P₂₁	2,25	2	1,5	2,25
P₂₂	3,25	2	3,5	2,75
P₂₃	2,75	2,5	1,75	2,75
P₂₄	2	1,25	2,5	2,25
P₂₅	1,5	2,5	2,5	1,75
P₂₆	1,5	3	2,4	2,75
P₂₇	2,25	2	2,9	2,4
P₂₈	3	2,5	3,5	3,75
P₂₉	3	3,5	3	5
P₃₀	5	7,25	6,75	7,4
P₃₁	8,25	3	1,25	2,25
P₃₂	1,5	9,25	9,25	3
P₃₃	2,75	3,5	1,75	2,75
P₃₄	4,25	2,5	1,75	4,5
P₃₅	10	Refus	Refus	Refus
P₃₆	2,5	3,5	Refus	Refus
P₃₇	6	5,5	10	19
P₃₈	Refus	Refus	Refus	Refus
P₃₉	4	2,5	4	8,5
P₄₀	3,75	4	6	13,5
	4	5	5,25	6
P₄₁	2,75	1,75	3	2,75
	2,25	2	2,5	3,25
P₄₂	Refus	Refus	Refus	Refus
	13,25	18,75	50	Refus
P₄₃	52,5	Refus	Refus	Refus
	4,5	7,25	7,75	12,5
P₄₄	5	18,75	10	5,75
	2,5	6	5,5	8
P₄₅	4,5	3	6,75	5
	2,75	3	4	4,5
P₄₆	3,75	2,5	3,25	4,75
	3,75	3	4,75	2,75

P ₄₇	4,75	3,75	3,75	3,75
	4,25	2,5	3,75	2,75
P ₄₈	10	2,5	3,25	7,25
	6,75	8,25	3,5	4,5
P ₄₉	3	2	4	2,75
	2	1,75	3,5	4
P ₅₀	2,25	1	1,5	3,5
	1,75	2,25	2	2,75
P ₅₁	1,75	18,75	Refus	Refus
P ₅₂	3,5	5,75	4,11	4,83
P ₅₃	1,25	1,5	2,5	4,83
P ₅₄	2,18	10	6,25	8,25
P ₅₅	10	7,18	7	Refus
P ₅₆	Refus	Refus	Refus	Refus
P ₅₇	3,38	Refus	Refus	Refus
P ₅₈	3,38	2,90	3	3,75
P ₅₉	2,18	2,5	3	3,75
P ₆₀	Refus	Refus	Refus	Refus
P ₆₁	17,5	Refus	Refus	Refus
P ₆₂	7,5	6,75	2,5	3,75
P ₆₃	1,25	2	3,75	16
P ₆₄	1,25	16,75	10,5	3
P ₆₅	1,25	2	2,25	1,5
P ₆₆	3,25	1,25	3	4,25
P ₆₇	2	1,5	3,25	2,75

4.2. Calcul de la capacité portante à partir des résultats des essais de laboratoire

Le calcul par la méthode classique (basé sur les résultats des essais de laboratoire) considère une fondation à base horizontale, encastrée dans un sol homogène et supportant une charge verticale centrée.

- pour une semelle carrée:

$$Q_{ad} = \gamma_1 \cdot D + \frac{(1 - 0.2B/L)\gamma_2 \cdot B/2 \cdot N_\gamma + \gamma_1 \cdot D \cdot (Nq - 1) + (1 + 0.2B/L) \cdot C \cdot N_c}{F_s} \dots [6] \dots (G. Sanglerat, J. Costet; 1981)$$

- pour une semelle filante:

$$Q_{ad} = \gamma_1 \cdot D + \frac{\gamma_2 B/2 \cdot N_\gamma + \gamma_1 \cdot (Nq - 1) \cdot D + C \cdot N_c}{F_s} \dots [7] \text{ (G. Sanglerat, J. Costet; 1981)}$$

Avec :

γ_1 : poids volumique apparent du sol au-dessus de la fondation (T/m^3)

γ_2 : poids volumique apparent du sol au-dessus de la fondation (T/m^3)

D : Ancrage de la fondation (m).

B, L : dimension de la fondation, largeur et longueur (m).

C : cohésion du sol (T/m^2)

N_γ, N_φ, N_c : coefficients dépendants de l'angle de frottement interne du sol " φ " avec:

N_γ : facteur de portance du aux poids des terres.

N_q : facteur de portance du à la surcharge.

N_c : facteur de portance du à la cohésion.

Le tableaux IV.10 : extrait du D.T.U 13.12 regroupe les valeurs des facteurs de portances en fonction de (φ).

F_s : coefficient de sécurité pris égal à 3.

Tableau IV.10: Valeurs des facteurs de portance (extrait du D.T.U 13.12)

φ°	N_γ	N_q	N_c	φ°	N_γ	N_q	N_c
0	0,00	1,0	5.14	30	21.8	18.4	30.1
5	0,00	1.56	6.47	31	25.5	20.6	32.7
10	1,00	2.49	8.45	32	29.8	23.2	35.5
11	1,20	2.71	8.80	33	34.8	26.1	38.7
12	1,43	2.97	9.29	34	40.9	29.4	42.2
13	1,69	3.26	9.80	35	48.0	33.3	46.1
14	1,99	3.59	10.4	36	56.6	37.8	50.6
15	2,33	3.94	11.0	37	67.0	42.9	55.7
16	2,72	4.33	11.6	38	79.5	48.9	61.4
17	3,14	4.77	12.3	39	94.7	56.0	67.9
18	3,69	5.25	13.1	40	113.0	64.2	75.4
19	4,29	5.80	13.9	41	133.0	73.9	83.9
20	4,97	6.40	14.8	42	164.0	85.4	93.7
21	5,76	7.07	15.8	43	199.0	99.0	105.0
22	6,68	7.83	16.9	44	244.0	115.0	118.0
23	7,73	8.66	18.1	45	297.0	135.0	135.0
24	8,97	9.60	19.3	46	366.0	159.0	152.0
25	10,4	10.7	20.7	47	455.0	187.0	174.0
26	12,0	11.8	22.2	48	570.0	223.0	199.0
27	13,9	13.2	24.0	49	718.0	265.0	230.0
28	16,1	14.7	25.8	50	914.0	319.0	267.0
29	18,8	16.4	27.9				

4.3. Exemple de calcul (Sondage N° 09)

➤ *Semelle carrée :*

$$B=L=1\text{m}; D=1\text{m}; F_s=3.$$

$$\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_d = 1,85 \text{ T/m}^3$$

$$C = 0,35 \text{ bars} = 3,5 \text{ T/m}^3$$

$$\varphi = 10^\circ \Rightarrow \begin{cases} N_\gamma = 1 \\ N_q = 2.49 \\ N_c = 8.45 \end{cases}$$

$$Q_{ad} = \gamma_1 \cdot D + \frac{(1 - 0.2B/L)\gamma_2 \cdot B/2 \cdot N_\gamma + \gamma_1 \cdot D \cdot (N_q - 1) + (1 + 0.2B/L) \cdot C \cdot N_c}{F_s}$$

$$Q_{ad} = 1.85 \cdot 1 + \frac{[(1 - 0.2) \cdot 1.85 \cdot 1 / 2 \cdot 1] + (1.85 \cdot 1 \cdot (2.49 - 1)) + [(1 + 0.2) \cdot 3.5 \cdot 8.45]}{3}$$

$$Q_{ad} = 14.8 \text{ T/m}^3 = 1.48 \text{ bars}$$

$$\boxed{Q_{ad} = 1.48 \text{ bars}}$$

➤ *Semelle continue :*

$$B = 1\text{m}; D = 1\text{m}; F_s = 3.$$

➤ Pour une semelle filante:

$$\text{On a: } \frac{L}{B} > 5 \text{ on pose: } \frac{L}{B} = 10 \Rightarrow L = 10$$

$$Q_{ad} = \gamma_1 \cdot D + \frac{\gamma_2 B/2 \cdot N_\gamma + \gamma_1 \cdot (N_q - 1) \cdot D + C \cdot N_c}{F_s}$$

$$Q_{ad} = 1.85 \cdot 1 + \frac{(1.85 \cdot 1 / 2 \cdot 1) + (1.85 \cdot (2.49 - 1) \cdot 1) + 3.5 \cdot 8.45}{3}$$

$$Q_{ad} = 12.9 \text{ T/m}^3 = 1.29 \text{ bars}$$

$$\boxed{Q_{ad} = 1.29 \text{ bars}}$$

Les résultats obtenus pour des semelles carrées et filantes, ancrées à 1m, 1.5m, 2m, 2.5m et 3m de profondeur pour tous les sondages, sont reportés sur le tableau IV.11:

Tableau. IV.11: Valeurs de la capacité portante du sol de fondation.

Sondages	Ancrage	D = 1m	D = 1,5m	D = 2m	D = 2,5m	D = 3m
	Type de fondation B = 1m	Q _{ad} bars	Q _{ad} bars	Q _{ad} bars	Q _{ad} bars	Q _{ad} bars
SC ₁	Carrée	1,24	1,33	1,43	1,50	1,59
	Filante	1,06	1,51	1,21	1,32	1,41
SC ₂	Carrée	4,36	4,55	4,74	4,92	5,11
	Filante	3,70	3,88	4,07	4,26	4,44
SC ₃	Carrée	1,03	1,12	1,21	1,30	1,39
	Filante	0,89	0,98	1,07	1,16	1,25
SC ₄	Carrée	0,71	0,79	0,88	0,96	1,04
	Filante	0,62	0,70	0,78	0,86	0,95
SC ₅	Carrée	1,40	1,50	1,59	1,69	1,78
	Filante	1,20	1,29	1,31	1,49	1,58
SC ₆	Carrée	0,71	0,99	1,27	1,55	1,83
	Filante	0,75	1,03	1,31	1,59	1,87
SC ₇	Carrée	0,87	0,95	1,03	1,11	1,19
	Filante	0,75	0,83	0,91	0,99	1,19
SC ₈	Carrée	0,91	0,99	1,07	1,14	1,22
	Filante	0,78	0,86	0,94	1,02	1,09
SC ₉	Carrée	1,48	1,62	1,76	1,89	2,03
	Filante	1,29	1,43	1,57	1,70	1,84
SC ₁₀	Carrée	0,60	0,72	0,85	0,98	1,10
	Filante	0,53	0,69	0,78	0,91	1,04
SC ₁₁	Carrée	6,02	6,22	6,42	6,62	6,82
	Filante	5,17	5,37	5,57	5,77	5,97
SC ₁₂	Carrée	1,05	1,22	1,39	1,56	1,73
	Filante	0,95	1,12	1,29	1,46	1,64
SC ₁₃	Carrée	0,30	0,40	0,50	0,58	0,70
	Filante	0,28	0,38	0,48	0,56	1,04

SC ₁₅	Carrée	3,08	3,25	3,41	3,58	3,75
	Filante	2,64	2,81	2,97	3,14	3,31
SC ₁₆	Carrée	3,24	3,37	3,51	3,64	3,78
	Filante	2,76	2,89	3,03	3,16	3,30
SC ₁₇	Carrée	2,02	2,11	2,20	2,29	2,38
	Filante	1,71	1,80	1,89	1,99	2,08
SC ₁₈	Carrée	2,63	2,72	2,83	2,93	3,03
	Filante	2,22	2,32	2,42	2,52	2,62
SC ₁₉	Carrée	0,77	0,89	1,02	1,14	1,26
	Filante	0,69	0,82	0,94	1,06	1,19
SC ₂₀	Carrée	0,78	0,91	1,05	1,19	1,33
	Filante	0,71	0,84	0,98	1,12	1,26
SC ₂₂	Carrée	5,52	6,63	7,74	8,86	9,97
	Filante	6,62	7,73	8,85	9,96	11,08
SC ₂₅	Carrée	4,91	5,62	6,32	7,03	7,74
	Filante	4,61	5,31	6,02	6,72	7,43
SC ₂₆	Carrée	1,18	1,39	1,60	1,81	2,03
	Filante	1,09	1,30	1,52	1,73	1,94

Nous remarquons que les valeurs des capacités portantes augmentent avec la profondeur, donc nous proposons comme solution d'assise des fondations superficielles type semelles isolées de largeur minimale de 1m à 1,5m.

IV.5. Calcul du tassement à partir des résultats de l'essai oedométrique

Pour le calcul des tassements du sol étudié, nous avons utilisé la formule suivante :

$$\Delta H = H \cdot \frac{\Delta e}{1 + e_0} \dots \dots \dots [8]$$

Avec:

$$\Delta e = e_0 - e_f$$

e_0 : Indice des vides initial correspondant: σ_{v0}

e_f : Indice des vides final correspondant : $\Delta\sigma_{v0} + \sigma_{v0}$

ΔH : Tassement total (cm).

H : Hauteur de la couche concernée par le tassement.

Δe : Variation de l'indice des vides.

σ_{v_0} : Contrainte vertical initial moyenne du sol à une profondeur donnée:

$$\sigma_{v_0} = \sum \gamma_i \cdot h_i$$

$\Delta\sigma_z$: Accroissement de la contrainte vertical a une profondeur donnée

D= 1,5m, H= 3B = 3m, B= 1mb Z = 3B/2 = 1, 25m.

5.1. Exemple de calcul (sondage N°09)

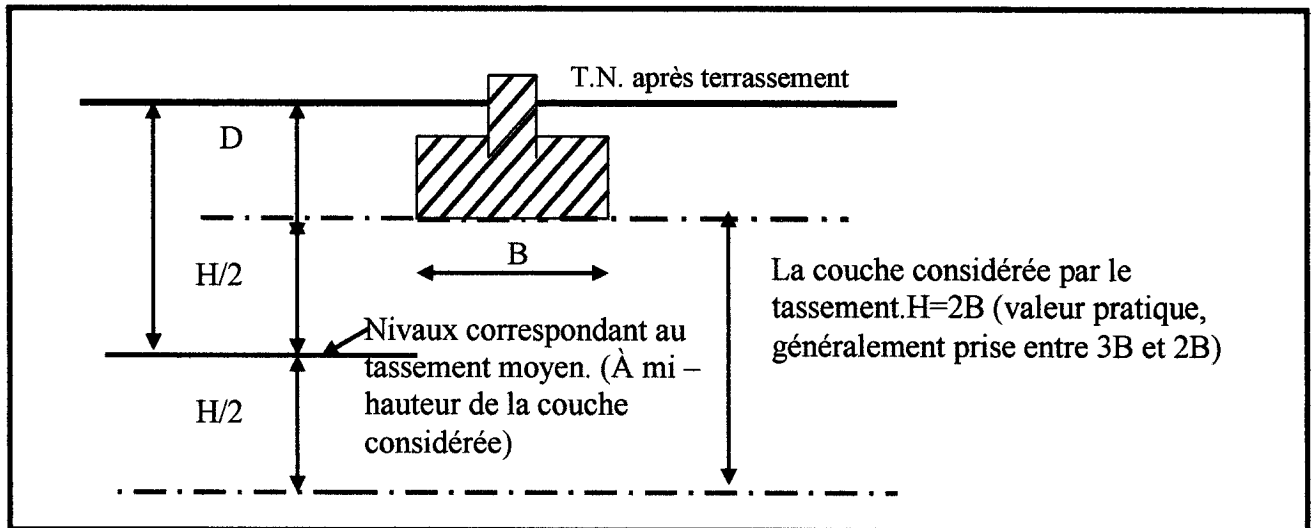


Fig.IV.5 : Tassement au dessous d'une fondation superficielle

$$\Delta H = H \cdot \frac{\Delta e}{1 + e_0} \text{ Avec :}$$

$$D = 1,5\text{m}$$

$$H = 3B = 3\text{m}$$

$$B = 1\text{m}$$

$$Z = 3B/2 = 1.5\text{m}$$

$$\sigma_{v_0} = \sum \gamma_i h_i$$

$$\sigma_{v_0} = 1,85 \times (1,5 + 1,5) = 5,55 \text{ T/m}^3$$

➤ Semelle carrée :

$$\Delta H = H \cdot \frac{\Delta e}{1 + e_0}$$

$$B = 1\text{m} \quad , \quad L = 1\text{m}$$

$$Q = Q_{ad} = 1.62 \text{ bars} = 16.2 \text{ T/m}^2$$

$$\Delta\sigma_z = \frac{qLB}{(Z + B)(L + Z)}$$

$$\Delta\sigma_z = \frac{1,62 \times 1 \times 1}{(1,5+1)(1+1,5)} = 0,2592 \text{ Kg/cm}^3$$

$$\Delta\sigma_z = 2,592T / m^3$$

$$\Delta\sigma_z + \sigma_{v0} = 2,592 + 5,55 = 8,142T / m^3$$

$$\Delta\sigma_z + \sigma_{v0} = 0,8142 \text{ kg / cm}^2$$

De la courbe oedométrique:

$$\left. \begin{array}{l} e_0 \longrightarrow 0,482 \\ e_f \longrightarrow 0,472 \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta e = 0,01$$

$$\Delta H = \frac{0,01}{1,482} \times 3 \text{ m} = 0,0202 \text{ m} = 2,02 \text{ cm}$$

➤ *Semelle continue :*

Si: L = 10m

$$\Delta\sigma_z = \frac{1,29 \times 10 \times 1}{(1,5+1)(10+1,5)} = 4,97T/m^3$$

$$\Delta\sigma_z + \sigma_{v0} = 4,97 + 5,55 = 10,52T / m^3$$

$$\Delta\sigma_z + \sigma_{v0} = 0,1052 \text{ kg / cm}^2$$

$$\left. \begin{array}{l} e_0 \longrightarrow 0,482 \\ e_f \longrightarrow 0,468 \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta e = 0,014$$

$$\Delta H = \frac{0,014}{1,482} \times 3 \text{ m} = 0,0283 \text{ m} = 2,83 \text{ cm}$$

Les résultats obtenus pour les tassements des semelles carrées, ancrées à 1,5m et 3,0m de profondeur pour tous les sondages sont reportés dans le tableau IV.12:

Tableau. IV.12: Valeurs des tassements en fonction de la charge transmise à la fondation

Ancrage		D=1m	D=1,5m	D=2m	D=2,5	D=3m
Sondages	Type de fondation B=1m	ΔH (cm)	ΔH (cm)	ΔH (cm)	ΔH (cm)	ΔH (cm)
SC ₄	Carrée	0	0	0,39	0,59	0,78
	Filante	1,57	2,36	2,75	2,95	3,01
SC ₅	Carrée	3,17	3,59	4,01	4,44	4,86
	Filante	8,46	8,67	4,65	9,73	9,76

SC ₈	Carrée	0,55	1,30	1,35	1,48	1,67
	Filante	3,52	3,71	3,71	4,64	5,01
SC ₉	Carrée	0,20	2,02	2,22	2,83	3,84
	Filante	2,22	2,83	3,84	4,45	5,26
SC ₁₀	Carrée	0,20	0,40	0,81	1,21	1,41
	Filante	0,40	0,81	1,21	1,41	2,22
SC ₁₁	Carrée	1,95	2,60	3,45	3,74	4,22
	Filante	4,88	5,85	6,50	6,83	6,99
SC ₁₂	Carrée	4,51	5,83	6,59	7,72	8,47
	Filante	6,59	7,72	8,47	9,22	10,35
SC ₁₃	Carrée	0	0,19	0,20	0,99	1,40
	Filante	0,19	0,39	1,00	1,39	1,98
SC ₁₅	Carrée	3,76	4,67	4,97	5,87	7,68
	Filante	6,47	7,98	8,89	10,09	10,39
SC ₁₆	Carrée	4,97	5,63	5,96	6,96	7,95
	Filante	7,95	8,61	9,28	10,60	11,27
SC ₁₇	Carrée	4,72	5,44	6,17	6,89	7,62
	Filante	6,17	6,90	7,62	9,44	10,16
SC ₁₈	Carrée	1,60	2,13	2,83	3,38	4,09
	Filante	3,38	4,63	5,52	6,06	8,02
SC ₁₉	Carrée	1,18	1,77	2,36	2,95	3,54
	Filante	1,77	2,36	3,54	3,93	4,53
SC ₂₀	Carrée	-	1,61	-	-	2,33
	Filante	-	2,33	-	-	3,23
SC ₂₂	Carrée	-	8,65	-	-	9,66
	Filante	-	10,06	-	-	11,87
SC ₂	Carrée	-	2,68	-	-	5,87
	Filante	-	5,70	-	-	11,08
SC ₂	Carrée	-	6,00	-	-	6,09
	Filante	-	9,7	-	-	10,76
SC ₂	Carrée	-	2,82	-	-	5,65
	Filante	-	4,24	-	-	6,36

Les tassements déterminés sous l'effet des contraintes appliquées aux sols de fondation sont différentiels pour une profondeur d'ancrage de 1m et 1,5m, et des tassements totaux pour une profondeur d'ancrage de 3,0mètres.

IV.6. Stabilité du site et risques probables

6.1. Risque des mouvements de terrain

La région de Djimla est une zone exposée aux risques de tassement différentiel et de glissement de terrain; ainsi que des coulées boueuses importantes.

Les travaux géologiques de terrain nous ont permis de relever plusieurs zones instables, notamment celles où se sont déclarés les glissements de terrain de l'année 2005 qui se trouvent au centre et au Sud du village de Djimla le long de la route nationale 77A, reliant Jijel à Mila.

Parmi les dégradations observées en cite entre autres :

- Affaissement très important de la chaussée au Sud du village de Djimla avec des fissurations et rupture de sol surtout au niveau des zones de faiblesse (*Photo7*).

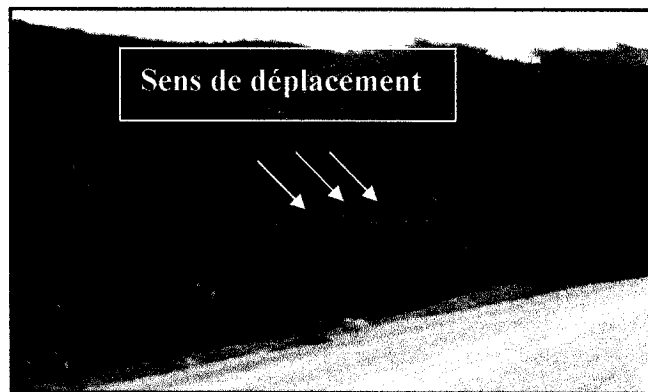


Photo.IV.1: Illustration d'un glissement de terrain au niveau d'une zone de broyage orienté Sud-Nord au Sud du village de Djimla, prise en 2007.



Photo.IV.2 : Illustration de l'incurvation et la déformation du mur de soutènement (prise en 2011).

- Présence d'indices d'instabilités matérialisées par de nets Affaissements, et présence de bourrelets ; on y relève également des fissures et inclinaison des arbres, et poteaux électriques vers le bas de la pente.
- Le gabionnage mis en place en amont de la route nationale 77A a été endommagé (*PhotoIV.6*) ce qui incite à dire que le mouvement est toujours actif, et aussi l'importance des poussées de terres (*Photo.IV.3*).

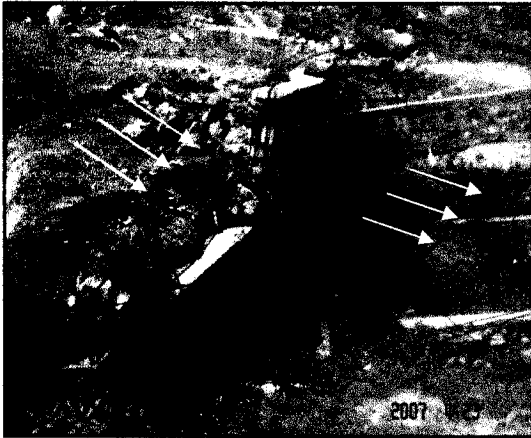


Photo.IV.3: Déformation du mur de soutènement (Importance des poussées) prise en 2007.



Photo.IV.4: Illustration du mur en 2007 totalement détruit en 2011, prise en 2011



Photo.IV.5: Destruction du mur de soutènement (Importance des poussées), prise en 2011.



Photo.IV.6: Déformation du gabionnage en amont de la route nationale 77A, prise en 2011.

- Des constructions ont été touchées par ces mouvements de terrain (*Photo.IV.7*). La maison R+0 (*Photo.IV.8*) qui se trouve au Sud du village de Djimla est un exemple type de déplacement latéral sur le versant. Puisque la poussée des terres est importante, la maison en question est détruite complètement

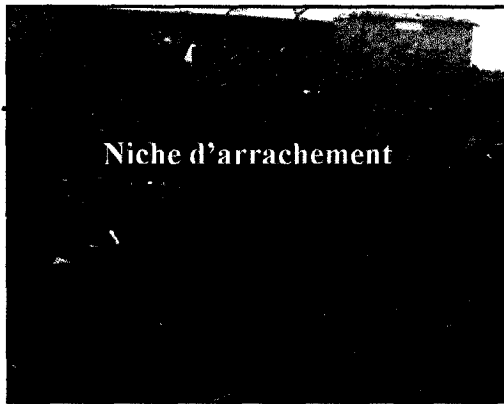


Photo.IV.7: Maison menacée par un mouvement de terrain (prise en 2007).



Photo.IV.8: Illustration de dégât engendré par un mouvement de terrain (prise en 2007)

6.2. Causes probables des mouvements de terrain de la région de Djimla

Avant tout mouvement, il existe un état d'équilibre entre les différents facteurs, les causes des mouvements doivent donc être recherchés dans les variations possibles de ces facteurs. Un mouvement de terrain a été le résultat de l'action conjointe de différents facteurs naturels à savoir :

a) La nature lithologique

Les sondages réalisés sur le site de Djimla montrent des formations essentiellement argileuses à caractère limono-sableux avec des blocs de grés reposant sur un substratum de marnes grises telliennes. Donc ce terrain est très favorable aux glissements.

b) La pente topographique

Si on taille un talus trop raide, il s'y produit inévitablement des ruptures. La pente représente donc un paramètre qui conditionne la stabilité.

c) Les diverses formes d'action de l'eau

Le secteur d'étude est caractérisé par une pluviométrie importante, présentée par les fortes précipitations, ainsi que la couverture neigeuse en hiver qui entraînent une augmentation des pressions interstitielles dans la région, avec la présence d'une nappe phréatique, et qui est en plus alimentées par les eaux d'infiltrations.

d) Accidents tectoniques

Axes principaux des zones instables.

e) Facteurs anthropiques

Suite à des travaux de terrassements (surcharge en tête du talus déjà instable, décharge en pied supprimant une butée stabilisatrice, rejet d'eaux... etc.).

6.3. Constatations

Ces mouvements de sols apparaissent dans les argiles à bloc de grés lorsque leur teneur en eau augmente de manière importante. La mise en mouvement de ces matériaux a pour origine une perte brutale de cohésion.

Ces mouvements de sols consistent en la *propagation de matériaux sans cohésion ou ayant perdu leur cohésion dès la mise en mouvement*, matériaux intimement mélangés à une quantité d'eau telle que la masse en mouvement a franchi sa limite de liquidité. L'eau peut pénétrer au sein des matériaux par infiltration avant le déclenchement des glissements superficiels et des coulées boueuses au moment de la rupture par concentration des eaux de ruissellement, et de la morphologie.

Parmi les facteurs prédominant pour l'occurrence des coulées boueuses et des glissements superficiels, il s'agit :

- De la faible cohésion du matériau,
- Du fort degré de remaniement,
- De l'augmentation de la teneur en eau et des pressions interstitielles.

6.4. Proposition de quelques mesures de sécurité générale contre les mouvements de terrain de la région étudié

1. Drainage

Prévoir un système de drainage :

- Superficiel** : pour limiter l'infiltration des eaux en profondeur (tranchée, fossé) afin d'imperméabiliser au maximum ces terrains. On peut signaler que les chaabats constituent des zones favorables pour la confection des drains superficiels.
- Prévoir un système d'assainissement très efficace.

2. Terrassements

Les conditions de stabilité étant directement liées à la pente du terrain, le terrassement reste le moyen d'action le plus naturel. On propose deux groupes de méthodes de stabilisation par terrassement:

- les actions sur l'équilibre des masses : allègement en tête.
- les actions sur la géométrie de la pente : Reprofilage.

a) Allègement en tête :

L'allègement en tête de glissement consiste à venir terrasser dans la partie supérieure. Il en résulte une diminution du poids moteur et, par conséquent, une augmentation du coefficient de sécurité. La méthode de dimensionnement consiste en un calcul de stabilité le long de la surface de rupture déclarée en prenant en compte la modification de géométrie en tête.

b) Reprofilage :

Les conditions de stabilité d'un talus étant directement liées à sa pente, on peut tout simplement augmenter la sécurité par retalutage du terrain naturel. Dans ce sens, le procédé s'apparente à l'allègement en tête : il consiste en un adoucissement de la pente moyenne. Ce type de traitement est particulièrement bien adapté aux talus en déblais et il est de pratique courante. Notons que l'exécution de risbermes a l'avantage d'améliorer la stabilité par rapport à une pente unique et de créer des voies d'accès pour l'entretien ou des travaux complémentaires. L'adoucissement de la pente est généralement mal adapté aux versants naturels instables car il met en jeu des volumes de sol très importants.

3. Les ouvrages de soutènement

a) Gabionnage :

En contre bas de la route, construire un mur en gabions en cinq rangées et en cascades, et ancré à 1,00m de profondeur. Cet ouvrage agisse par leur propre poids.

b) Murs de soutènement :

Il faut réaliser des murs de soutènements au niveau de la zone instable, avec un dimensionnement dépendant des caractéristiques mécaniques des matériaux en place, et un ancrage situé au-delà de la surface du glissement muni de tous le système de drainage.

4. Reboisement du talus

Boiser le talus avec des arbres consommant beaucoup d'eau et ayant un réseau de racines dense (Eucalyptus par exemple).

IV.7. Carte de zoning proposée pour la région de Djimla (Fig.IV.6)

A partir des travaux géologiques et géotechniques on peut subdiviser notre site d'étude en trois zones pour un ancrage des fondations dans le sol de 1,5m à 3,0 m. Ce zoning est basé sur les paramètres suivants :

- Les conditions géomorphologiques, hydrologiques et hydrogéologiques qui influent sur la stabilité de ces zones.
 - Selon les caractéristiques générales, dans l'optique de la constructibilité du site étudié, qui impliquera l'appréciation de l'aptitude des terrains aux fondations, donc leur capacité portante compatible avec les déformations (tassements) admissibles :
- **Zone 1 :** (couleur verte) **zones constructible**, fondations superficielles ancrées à une profondeur de 1,5 à 3m par rapport à la côte du terrain naturel.
 - **Zone 2 :** (couleur jaune) zones constructible mais avec **prise de mesures de sécurité** (murs de soutènements, pieux.....tec.), pour une fondation superficielles ancrées à une profondeur de 1,5 à 3m par rapport à la côte du terrain naturel.
 - **Zone 3 :** (couleur rouge) zones **inconstructible**, car c'est une zone de faille.

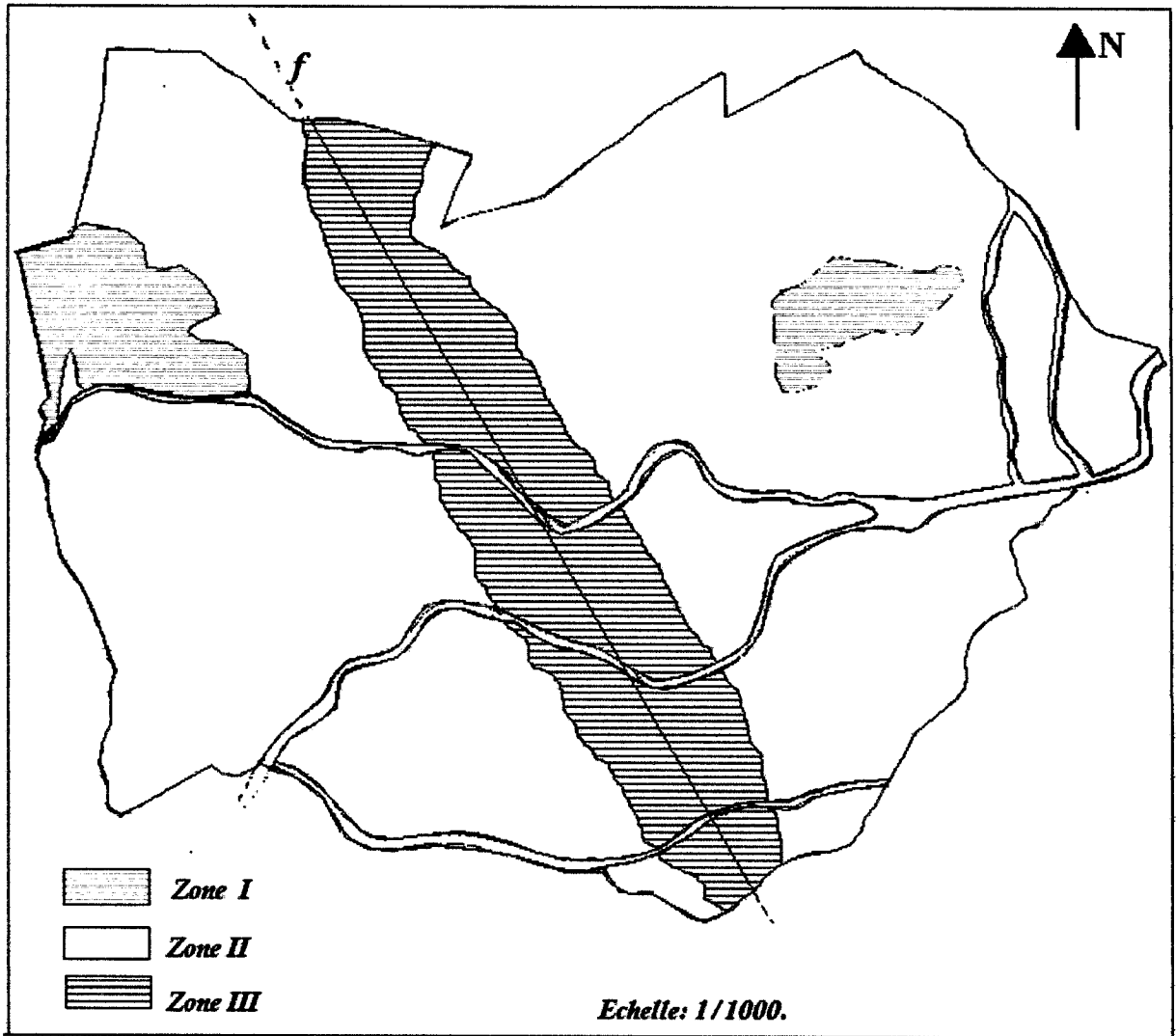


Fig. IV.6 : Carte de zoning géotechnique de la région de Djimla

IV.8. Etablissement de la carte ZERMOS (ZERMOS = Zones Exposées aux Risques de Mouvement des Sols) (Fig.IV.7)

Pour établir la carte ZERMOS il faut passer par les phases suivantes :

- 1- Enquête historique sur les mouvements passés.
- 2- Recherche sur le terrain des indices des mouvements actifs avec l'appui des photographies aériennes et des levés topographiques
- 3- Etablissement de la carte de facteur (carte morphologique, carte des pentes, carte géologique et la carte des formations superficiels ...etc.) d'où sont tirés après examen des conditions propres en mouvement actuels, les facteurs déterminant dans le déclenchement de tel ou tel type de mouvement.
- 4- À partir de ces données, on construit la carte de synthèse qui est la carte ZERMOS. Elle fournit deux types de renseignements :

- **Sous forme de symboles** signes, lettres, la localisation des indices de mouvement et les caractéristiques. On y ajoute éventuellement certaines données géologiques ou hydrogéologiques liées à ces mouvements (contact entre deux formations, niveau de nappe d'eau).

- **Sous forme de couleur (figure IV.7)**

- ✓ **Zone rouge** : halte! Danger !...Il faut renoncer à construire.
- ✓ **Zone orange** : attention!...Des aménagements sont possible ; mais il y a des précautions à prendre.
- ✓ **Zone verte** : la vie est libre... Pas de contraintes particulières liées à des mouvements de terrain

8.1. Principe et Méthodologie

Les deux démarches qui présentent la cartographie ZERMOS sont:

- ✓ **Phase analytique**

Localisation probable et nature des instabilités.

- ✓ **Phase de synthèse**

-Conception de zonage.

-Localisation probable et nature des instabilités.

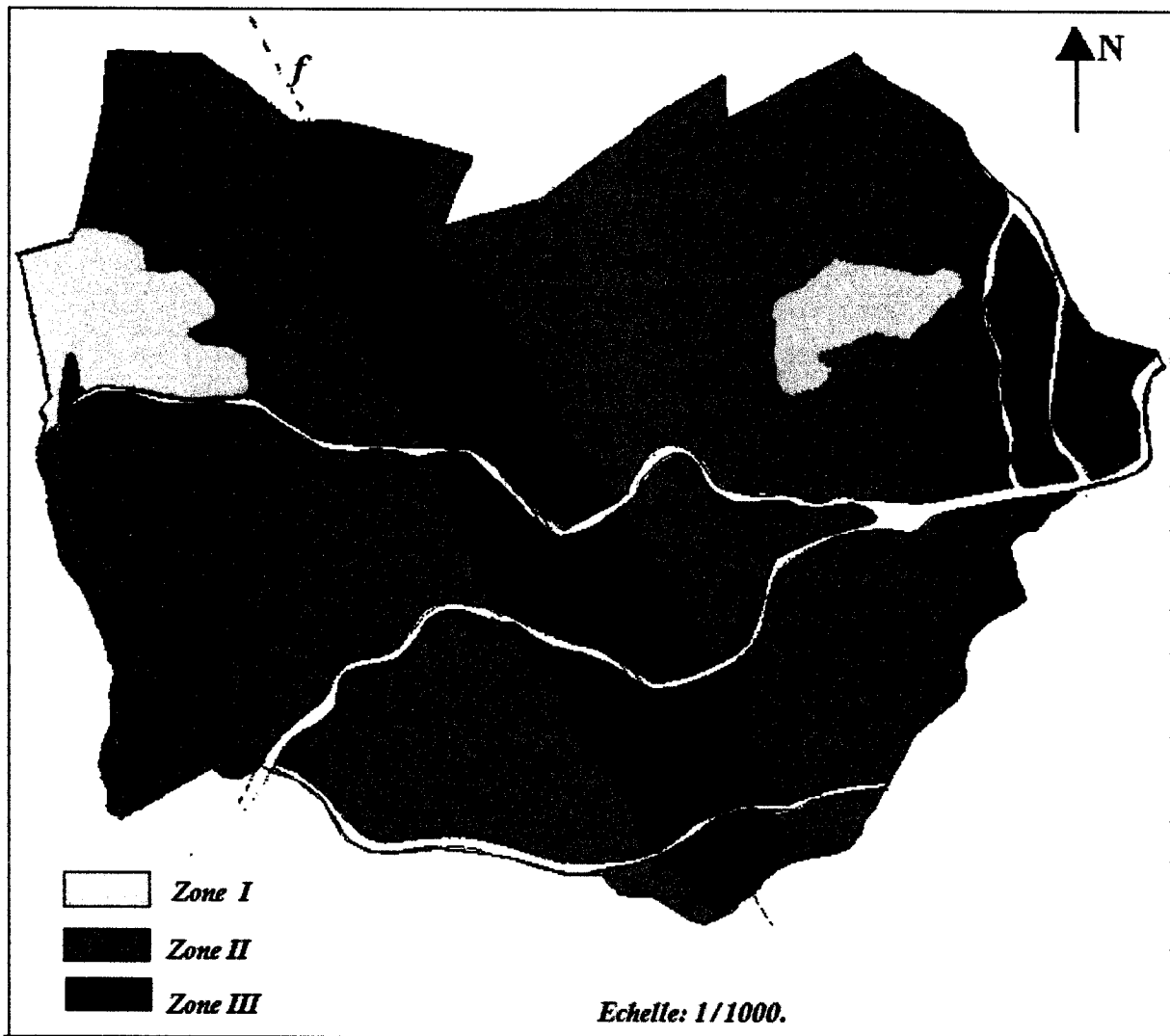
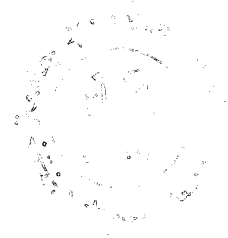


Fig. IV.7 : Carte ZERMOS (Zones Exposées aux Risques des Mouvements de Sols) de la région de Djimla

Chapitre V



Conclusion générale et recommandation

V.1. Conclusion générale et recommandations

Notre site d'étude Djimla, est situé à environ 45Km au Sud-Est du chef lieu de la wilaya de Jijel, le long de la route nationale 77 reliant Jijel à Mila. Elle s'étend sur une superficie de 104,36hectares, et présente une topographie très contrastée, avec une pente d'orientation Sud-Nord en général.

La région de Djimla appartient à la partie occidentale du massif de la Petite Kabylie qui fait partie intégrante des Maghrébides. Elle est située sur la transversale Nord-Sud Jijel-Djimla, formée essentiellement par les formations du socle Kabyle, les formations de l'O.M.K, les formations du flysch massylien, et celle du flysch numidien. La région est affectée par de grands accidents tectoniques, ces derniers ont des directions : E-W, NW-SE, NE-SW, et N-S.

Les résultats obtenus à partir des reconnaissances effectuées révèlent que le terrain présente les caractéristiques suivantes :

1- Du point de vue lithologique

Le terrain est constitué de deux horizons lithologiques qui sont :

- Un horizon supérieur essentiellement représenté par des argiles limono-sableuses contenant des blocs de grés.
- Un horizon inférieur représenté par des marnes grises telliennes, formant le substratum.

L'ensemble des terrains est recouvert par une couche de terre végétale.

2- Du point de vue hydrologique

Le site est traversé par un réseau hydrographique dense, présenté par une série de chaâbets à écoulement permanent, est limité dans la partie aval par l'Oued Djimla.

3- Du point de vue hydrogéologique

Des mesures piézométriques révèlent l'existence d'une nappe phréatique de faible profondeur, alimenté par les eaux de ruissellement au cours des talwegs, et la forte pluviométrie qui caractérise cette région.

4- Du point de vue géotechniques

- Les densités sont moyennes à élevées.
- Les sols sont humides à détrempés.
- Les sols sont peu plastiques (argiles brun-noirâtre).
- Moyennement compressibles à compressibles.
- Faiblement à peu gonflants.
- Les cohésions sont faibles et les angles de frottement internes sont assez forts.

5-Du point de vue de la portance

Les essais au pénétromètre dynamique lourd type BORRO ont donné des valeurs de résistance dynamique de pointe assez élevées, les refus sont dus à la présence des éléments grossiers.

6- Du point de vue stabilité

Deux types de mouvements de terrain peuvent être distingués :

- a) Des mouvements de faible ampleur (mouvement superficiel ou relativement superficiel, profondeur de la surface de rupture métrique à décimétrique), liés au contexte géologique, géomorphologique, hydrologique et hydrogéologique. Ce type de mouvements est caractérisé en général par des glissements superficiels et des coulées boueuses importantes.
- b) Des mouvements de grande ampleur (mouvement profond, surface de rupture à une profondeur d'ordre pluridécimétrique, volume de la masse instable mesuré en millions de m^3), localisés le long des axes de grands accidents tectoniques. Ces mouvements semblent être en liaison directe avec la circulation des eaux dans ces zones de faiblesse. En effet le lessivage des matériaux fins causé par l'action des eaux circulant dans ces zones de faiblesse s'accompagnent par une fragilisation de la base des formations superficielles, chose qui se traduit par des effondrements et des tassements en profondeurs accompagnés en surface par des déplacements de masse.

Nous recommandons

- ✓ Déterminer le poids relatif des facteurs déterminants, dans le déclenchement des mouvements de terrains.
- ✓ Réactualisation des données de terrain du point de vue géologique, géotechnique et géophysique afin : d'examiner tous les mécanismes et les facteurs qui influencent l'instabilité.
- ✓ Mettre au point des outils méthodologiques rigoureux (appareillage expérimental, modèles, etc.), un système d'information géographique notamment, pour la mesure de la vulnérabilité de la région aux risques naturels et la prévision dans le temps.
- ✓ Les données géologiques mettent en évidence que les zones instables de cette région correspondent aux zones de broyages des grands accidents tectoniques, notamment les accidents de direction E-W. L'étude réalisée par le L.N.H.C et L.T.P.Est n'a pas bien diagnostiqué les zones de broyages, correspondant aux axes de glissements de terrain. A ce propos, il est recommandé de faire une étude géologique et géotechnique ponctuelle de ces zones de broyages.
- ✓ Prendre des mesures de sécurité lors de la construction des ouvrages on utilisons des murs de soutènement avec un dimensionnement dépendant des caractéristiques mécaniques des matériaux en place, et un ancrage situé au-delà de la surface du glissement muni de tous le système de drainage.

V.2. Fondation sur sol en pente

L'urbanisation des POS doit être orientée vers les zones à faibles pentes. La stabilité des terrains doit être vérifiée pour chaque étude de sols et la poussée des terres doit être prise en compte dans le calcul de ces fondations. C'est notamment le cas des terrains en pente où les semelles supérieures peuvent exercer une poussée sur les semelles inférieures ce qui peut provoquer un glissement d'ensemble (*Fig.VI.1* et *Fig.VI.2*). Il est nécessaire tout d'abord de s'assurer de la stabilité d'ensemble de l'ouvrage, puis de vérifier la stabilité de la fondation vis-à-vis du glissement d'ensemble.

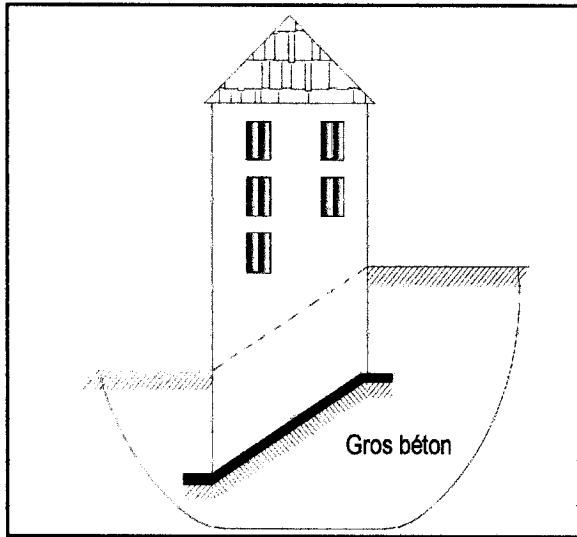


Fig.V.1: Ouvrage construit sur une pente

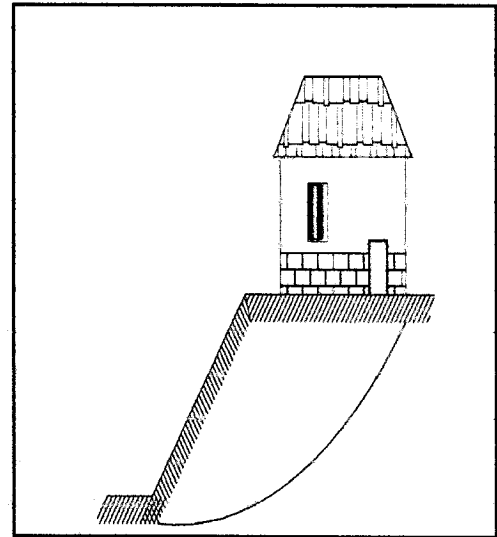


Fig.V.2 : Ouvrage construit en tête d'un talus

Dans les terrains en pente il faut disposer les niveaux des fondations de telle sorte qu'une maximale de $\frac{2}{3}$ relie les arêtes inférieures des semelles les plus voisines (*Fig.VI.3*).

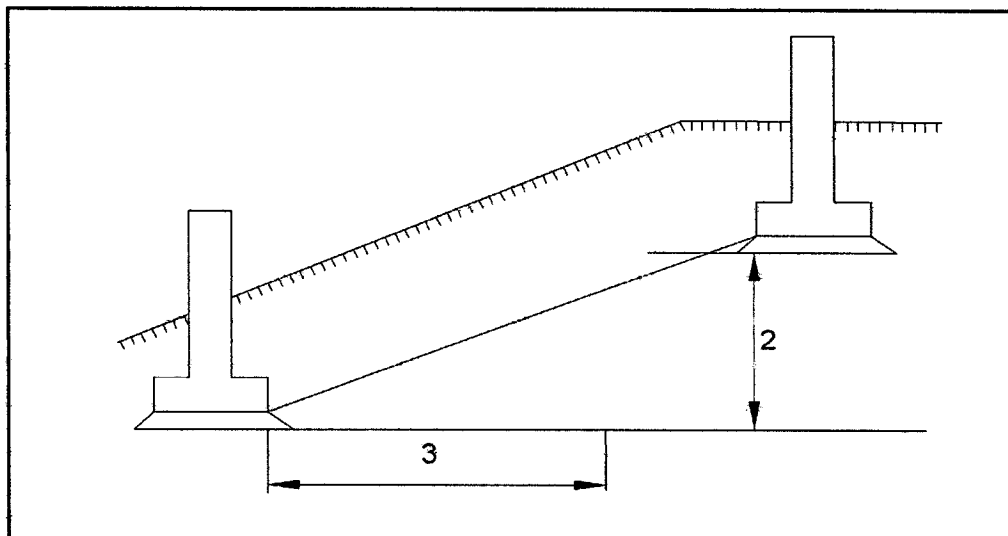


Fig.V.3: Disposition des niveaux de fondations dans un lieu à un glissement d'ensemble.

A base de ces données, on peut conclure que le site du village de Djimla est un site exposé aux risques de tassement et de glissement de terrain; en raison de la nature des terrains superficiels (argileux), Ainsi que la pente importante du terrain.

Liste des tableaux

Tableau III.1 : Caractéristiques des stations pluviométriques dans (voisine de) la région de Djimla...	18
Tableau III.2 : Moyennes mensuelles des précipitations de la période (1961-1991).....	18
Tableau III.3 : Données moyennes mensuelles des précipitations (Station de Jijel, Taher et Texenna période 2000/2010).....	20
Tableau III.4 : Données moyennes saisonnières des précipitations (Station Jijel, Taher et Texenna période 2000/2010).....	21
Tableau III.5 : Nombres de jours des pluies "torrentielles" (P.Seltzer, 1913/1938).....	22
Tableau III.6 : Répartition de la neige (P.Seltzer, 1946).....	23
Tableau III.7 : Nombre des jours de grêle (Station Aéroport F.Abbès de Taher, période 1996/2006)	23
Tableau III.8 : Répartition des Températures moyennes mensuelles (Station Aéroport F.Abbès de Taher, période 2000/2010).....	24
Tableau III.9 : Données moyennes mensuelles des précipitations et des températures (Station Aéroport F.Abbès de Taher, période 2000/2010).....	24
Tableau III.10 : Résultats de calcul de l'évapotranspiration potentielle (Station Aéroport F.Abbès de Taher, période 2000/2010).....	26
Tableau III.11 : Résultats de calcul de l'évapotranspiration réelle (Station Aéroport F.Abbès de Taher, période 2000/2010).....	27
Tableau IV.1 : Valeurs des principaux paramètres physiques des sols (LNHC ; 2003, Fondasoil ; 2010).....	35
Tableau IV.2 : Classification des sols suivant la teneur en eau naturelle.....	36
Tableau IV.3 : Classification des sols suivant l'indice de plasticité.....	37
Tableau IV.4 : Les valeurs des limites d'Atterberg (LNHC ; 2003, Fondasoil ; 2010).....	37
Tableau IV.5 : Valeurs des caractéristiques intrinsèques (c) et (ϕ) (LNHC ; 2003, Fondasoil ; 2010).....	38
Tableau IV.6 : Valeurs d'essai de compressibilité (LNHC ; 2003, Fondasoil ; 2010).....	40
Tableau IV.7 : Valeurs des calculs de l'essai de compressibilité, du sol.....	41
Tableau IV.8 : Résultats des analyses chimiques (LNHC ; 2003, Fondasoil ; 2010).....	42
Tableau IV.9 : Calcul de la contrainte admissible du sol de fondation à partir des résultats des essais de pénétration dynamique.....	43

TableauIV.10 :Valeurs des facteurs de portance (extrait du D.T.U 13.12).....	
TableauIV.11 :Valeurs de la capacité portante du sol de fondation.....	48
Tableau.IV.12 : Valeurs des tassements en fonction de la charge transmise à la fondation.....	51

Liste des figures

Fig.I.1 : Situation géographique du site étudié, carte topographique de Djimla (1/25000).....	1
Fig. I.2 : Plan Directeur d'aménagement et d'urbanisme de la région de Djimla(1/5.000).....	2
Fig. I.3: carte des pentes de la région de Djimla	3
Fig. II.1: Coupe géologique N-S de la région d'étude (Rouikha. Y, 2008).....	7
Fig. II.2 : Carte géologique du site étudié.....	8
Fig. II.3 : Coupe géologique Nord-Sud passant par le village de Djimla (Kherrouba. H, 2008).....	9
Fig. II.4: Coupe Est-Ouest au niveau du village de Djimla (Kherrouba. H, 2008).....	10
Fig.II.5. : Carte sismique de l'Algérie selon le RPA version 2003.....	14
Fig. II.6 : Contexte sismo-tectonique de la région Jijel – Bougie (C.R.A.A.G ; 1971).....	15
Fig.III.1: Graphes exprimant les moyennes mensuelles des précipitations de la période ,1961/1991 (au niveau des stations : Taher, Texenna, et Col de Fedoulès).....	19
Fig.III.2 : La distribution de la pluviométrie moyenne mensuelle (Période 2000/2010).....	20
Fig.III.3: Répartition saisonnière de la pluie enregistrée aux station de Jijel, Taher et Texenna période2000/2010.....	21
Fig. III.4: Diagramme ombrothermique (Période2000/2010).....	25
Fig.III.5 : Bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite de la période (2000-2010) ; [Station Aéroport F.Abbès.Taher]	27
Fig.IV.1 : Carte d'implantation des différents sondages de reconnaissance	31
Fig.IV.2: (Profil (AA')) Coupe géotechnique NNE – SSW au niveau du POS 1 de la région de Djimla.....	33
Fig.IV.3: (Profil (BB')) Coupe géotechnique NE – SW passant par Djimla.....	34
Fig.IV.4: Diagramme de classification des sols fins de Casagrande.....	38
Fig.IV.5 : Tassement au dessous d'une fondation superficielle.....	50
Fig.IV.6 : Carte de zoning géotechnique de la région de Djimla.....	58
Fig.IV.7 : Carte ZERMOS (Zones Exposées aux Risques des Mouvements de Sols) de la région de Djimla.....	60
Fig.V.1 : Ouvrage construit sur une pente	64
Fig.V.2 : Ouvrage construit en tête d'un talus.....	64
Fig.V.3: Disposition des niveaux de fondations dans un lieu à un glissement d'ensemble.....	64

Liste des photos

<i>Photo.II.1:</i> Photo illustrant des formations triasiques (À Oued Djimla).....	14
<i>Photo.II.2:</i> Photo illustrant des formations numidiennes le long de la RN77 A au Sud du village de Djimla.....	12
<i>Photo. II.3:</i> Photo illustrant la superposition des argiles limono-sableuse et des marnes telliennes formant le substratum au Nord du village de Djimla.....	12
<i>Photo.IV.1:</i> Illustration d'un glissement de terrain au niveau d'une zone de broyage orienté Sud-Nord au Sud du village de Djimla.....	53
<i>Photo.IV.2 :</i> Illustration de près du bombement du mur de soutènement.....	53
<i>Photo.IV.3:</i> Déformation du mur de soutènement (Importance des poussées).....	54
<i>Photo.IV.4 :</i> Illustration du mur en 2007 totalement détruit en 2011.....	54
<i>Photo.IV.5:</i> Destruction du mur de soutènement (Importance des poussées).....	54
<i>Photo.IV.6:</i> Déformation du gabionnage en amont de la route nationale 77A.....	54
<i>Photo.IV.7:</i> Maison menacée par un glissement de terrain.....	55
<i>Photo.IV.8:</i> Illustration de dégât engendré par un glissement de terrain.....	55