الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université de Jijel

جامعة جيجل

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

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de d'Ingénieur d'Etat en Géologie
Option : Géologie de l'Ingénieur

Thème

Etude géologique, géophysique, géotechnique et modélisation numérique du site du P.O.S. N°01 de la région de Texenna wilaya de Jijel.

Présenté par :

AOUKA Mohammed Tahar

KHELIFI Khalfa Nassim

Soutenu publiquement le : *27/06/2012*

Devant le jury composé de :

Président	: Mr. ZENNIR A.	Maitre de conférence « A », Université de Jijel
Encadreur	: Melle KHERROUBA H.	Maitre assistance « A », Université de Jijel
Examinateur	: Mr. MAHDID S.	Maitre assistance « A », Université de Jijel

Année Universitaire 2011/ 2012

Remerciements

Ce modeste travail, a été réalisé dans des conditions relativement assez favorables. C'est pourquoi nous remercions sincèrement en premier lieu **Allah** le tout puissant qui nous a donné la force, la volonté, et le courage pour accomplir ce travail.

Nous tenons à formuler notre gratitude, et notre profonde reconnaissance à l'égard de notre encadreur Melle ***KHERROUBA Hassiba***, qui nous a toujours accueilli avec bienveillance, et qui n'a ménagé ni son temps ni ses efforts pour nous guider.

Nous remercions également Monsieur ***ZENNIR Abdelmalek*** Maitre de conférence à l'université de Jijel d'avoir accepter d'honorer cette soutenance comme président de jury. Qu'il nous soit permis de lui exprimer notre plus haute considération.

Nous tenons à exprimer notre profond respect et notre reconnaissance à monsieur ***MAHDID Souhil*** qui a bien voulu examiner ce travail et d'être membres de jury.

Nous remercions également tous les enseignants du département des sciences de la terre, et en particulier monsieur ***BENZAID R.***, et monsieur ***TEKKOUK M.*** pour leurs aides précieuses…puisse **Allah** le tout puissant les récompense sur terre et sur cieux.

Nous tenons également à remercier le personnel du laboratoire **Aiche Géo-Sol**, de Sétif, Antenne de Jijel, de l'agence nationale des ressources hydrauliques (A.N.R.H.) (en particulier monsieur ***BABAY Kheireddine et TERKI Tarek***), et de la direction d'urbanisme et de construction pour avoir accepté de mettre à notre disposition les données nécessaires pour cette étude.

Nos sincères remerciements vont également à tous nos camarades étudiants collègues.

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

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

Dédicaces

Je dédie ce travail

A toute ma famille

A tous mes amis

Qui m'ont épaulé énormément aux moments les plus difficiles de ce travail.

Nassim

Dédicace :

Je dédie ce modeste travail :

*A mon chèr père : **Abdelkamel***

Pour son immense sacrifice et son dévouement, pour tout le soutien moral et matériel qu'il m'a apporté durant de très longues années d'études.

*A ma très chère mère : **Houria***

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

*A ma prestigieuse encadreur **Melle Kherrouba Hassiba** et le comité du*

département de sciences de la terre et de l'univers à l'université de Jijel.

*A mes frères : **Alaeddine et Chamseddine.***

*A mes sœurs : **Sabrina, Sara et Imen.***

*A mon collègue **Nassim***

Pour leur soutien et fidélité.

J'espère de tout mon cœur qu'ils seront heureux dans leur vie

*A toute ma nombreuse et merveilleuse famille et surtout ma chère tante **S. Saida** et le petit **Omar Ali***

A tous mes chèrs amis.

*A tous mes collègues de **la géologie de l'ingénieur et de master***

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

A. Med Tahar

SOMMAIRE

Résumé ..... *i*

PREMIERE PARTIE

CHAPITRE I ***Etude du milieu physique***

I.1 Introduction.....1
I.2 Climat 2
I.3 Orographie.....2
I.3.1 Les montagnes 2
I.3.2 Les dépressions.....2
I.4 Morphologie.....3
I.5 Végétation 5
I.6 le réseau hydrographique 5
I.7 Historique des travaux géologiques de la région 6
I.8 Problématique et méthodologie de travail.....6

CHAPITRE II ***Cadre Géologique locale***

II.1 Caractéristiques lithologiques de la région étudiée 7
II.1.1 Description des formations lithologiques de la région de Texenna.....7
II.1.1.1 Les formations cristallophylliennes du socle Kabyle.....7
II.1.1.2 Les formations du complexe volcano-sédimentaire de Texenna.....8
a) Un ensemble basal.....8
b) Un ensemble sommital.....8
II.1.1.3 Les formations de type flyschs.....8
a) Les formations du flysch massylien.....8
b) Les formations du flysch maurétanien.....8
II.1.1.4 Le Trias.....8
II.1.1.5 Les formations quaternaires 9
II.2 Caractéristiques géologiques du site du POS étudie.....9
II.2.1 Aspect structural.....9
a) Le socle Kabyle.....10
b) Sous le socle Kabyle.....10
c) Sur le socle Kabyle.....10
II.2.2 La tectonique.....10
a) Les charriages.....10
b) Déformations ductiles.....10
c) Déformations cassantes.....11
II.2.3 Aperçu sismique de la région d'étude 11
II.2.3.1 Règles parasismiques Algériennes (RPA) 11

III.1 *Introduction* 13
III.2 *Hydroclimatologie, Hydrologie et hydrogéologie de la région* 13
III.2.1 *Hydroclimatologie* 13
III.2.1.1 *Aperçu général sur le climat* 13
III.2.1.2 *Analyse des paramètres climatiques* 13
III.2.1.2.1 *Précipitations* 13
a) *Précipitations liquides* 14
1. *Variations mensuelles et annuelles* 14
1.1 *Séries anciennes* 14
❖ *Variations annuelles et comparaison entre les trois stations* 15
1.2 *Séries récentes* 15
1.3 *Comparaison entre les deux séries* 16
2. *Variations saisonnières* 16
2.1 *Série ancienne* 16
2.2 *Série Récente* 17
2.3 *Comparaison entre les deux séries* 18
3. *Intensité des chutes de pluies* 18
b) *Précipitations solides* 19
1. *Neige* 19
2. *Grêle* 19
3. *Gelée blanche* 19
III.2.1.2.2 *Températures* 20
III.2.1.2.3 *Synthèse climatique* 21
III.2.1.2.3.1 *Diagramme ombrothermique* 21
III.2.1.3 *Bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite* 22
III.2.1.3.1 *Calcul de l'évapotranspiration* 22
a) *Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP)* 22
b) *Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR)* 23
1. *Calcul de l'ETR* 23
2. *Calcul du déficit agricole (DA)* 23
III.2.1.3.2 *Renseignements du bilan hydrique de Thorntwaite* 24
III.2.1.3.3 *Ruissellements et infiltration* 25
a) *Ruissellement (R)* 25
b) *La lame infiltrée (I)* 25
III.2.1.3.4 *Interprétation du bilan hydrologique* 25
III.2.2 *Contexte hydrogéologique* 26
a) *Système aquifère amont* 26
b) *Système aquifère aval* 26

DEUXIEME PARTIE

IV.1 **Introduction** 27
IV.1.1 **Principe du sondage électrique** 27
IV.1.2 **Appareillages utilisés** 27
IV.2 **Présentation des résultats** 28
IV.2.1 **Interprétation des courbes de sondage électrique** 30
• **Sondage Parcours (n°01)** 30
• **Sondage Parcours (n°02)** 30
• **Sondage Parcours (n°03)** 31
• **Sondage Parcours (n°04)** 31
IV.2.2 **Réalisation des profils électriques** 32
a) **La coupe AA'** 32

b) la coupe BB' 33
c) La coupe CC' 34
d) La coupe DD' 35
IV.3 Conclusion 36

CHAPITRE V — Etude Géotechnique

V.1 Introduction 37
V.2 Campagne de reconnaissance géotechnique 37
V.2.1 Essais in-situ 40
V.2.1.1 Les sondages carottés 40
V.2.1.2 Essai de pénétration dynamique 41
V.2.2 Essais de laboratoire 43
V.2.2.1 Paramètres physiques 43
V.2.2.2 Les limites d'Atterberg 44
V.2.2.3 Les Analyses chimiques 45
V.2.2.4 Les propriétés mécaniques 46
V.2.2.4.1 Essai de cisaillement rectiligne 46
V.2.2.4.2 Essai de compressibilité à l'oedomètre 47
❖ **Calcul de la compressibilité 48**
V.2.2.4.3 Essai de compression simple 49
V.3 Calcul de fondations 50
V.3.1 Contraintes admissibles du sol de fondation 50
V.3.1.1 Capacité portante à partir des essais de pénétration dynamique. 50
V.3.1.2 Capacité portante à partir des résultats des essais de laboratoire 51
V.3.2 Calcul du tassement 52
V.3.2.1 Calcul des tassements par les résultats de l'essai oedométrique.... 52
V.4 Zoning géotechnique du site étudie 53
V.4.1 Zoning d'après la topographie 54
V.4.2 Zoning d'après la lithologie 54
V.4.3 Zoning d'après après les caractéristiques des essais de pénétration dynamiques 55
V.4.4 Zoning d'après les caractéristiques physiques et mécaniques. 55
V.4.5 Zoning selon l'aptitude des sols aux fondations 56

CHAPITRE VI — ETUDE DE STABILITE

VI.1 Introduction 57
VI.2 Type et origine de la rupture des sols 59
a. Action mécanique 59
b. Action chimique 59
VI.3 Principaux facteurs des mouvements de terrain du P.O.S n°01 59
VI.4 Analyse de stabilité 59
VI.4.1 Calcul de stabilité 60
VI.4.2 Hypothèse de calcul : DLO (Disposition optimale des discontinuités) 60
VI.4.3 Simulation numérique par le logiciel Limit-State : GEO-V 2. (2011) 61
VI.4.4 Description générale 61
VI.4.5 Notion du coefficient : AF (Adequacy Factor) et des facteurs de sécurité partiels 62
VI.5 Vérification de stabilité au niveau du P.O.S étudie 62
VI.6 Mesures de sécurité générale contre les glissements de terrain du site étudie 64
VI.6.1 Drainage 64
VI.6.2 Terrassements 64
VI.6.3 Les masques drainants 65
VI.6.4 Les murs de soutènement 65
VI.7. Etablissement de la carte ZERMOS (Zones Exposées aux Risques de Mouvement des Sols) 66

VII.1. Conclusion générale.....67
1- Agressivité : 67
2- Résistance dynamique: 67
3- Portance : 67
4- Tassements : 67
5- Stabilité : 67
VII.2. **Recommandations et technique de confortement** 68

Références bibliographiques

Annexes

Liste des figures

Fig. I.1 : Situation géographique du site du P.O.S.N°01 sur la carte topographique de Texenna 1/25000.....1
Fig. I.2 : Situation géographique du P.O.S N°01 de Texenna sur image satellitaire 2
Figure. I.3: Carte des Pentes du site étudie.....4
Figure. I.4: Réseau hydrographique de la région de Texenna.....5
Figure.II.1: Coupe geologique N-S passant de jijel a temesguida.....7
Figure. II.2: Coupe géologique de la transversale Texenna-M'cid Echta. (Kherrouba .H, 2008).....9
Figure. II.3: Carte géologique de la région d'étude (Djellit .H; 1987.....9
Figure. II.4 : Carte sismique de l'Algérie selon le RPA version 2003.....12
Figure. III.1 : Carte pluviométrique de la wilaya de Jijel, (A.N.R.H, 1996).....14
Figure.III.2 : Evolution annuelle de la pluviométrie corrigée pour la période 1960 – 1991 (stations de Jijel, Taher et Texenna).....15
Figure III.3 : Comparaison des variations mensuelles de pluies entre la série ancienne et récente de la station de Texenna 16
Figure.III.4 : Comparaison des variations saisonnières de la série ancienne et récente des stations de Texenna et Chedia 18
Figure. III.5 : Données des Températures moyennes mensuelles (Station Texenna, période 2001/2011).....21
Figure.III.6 : Diagramme Ombrothérmique de la station de Texenna (Période 2001/2011)..... 22
Figure.III.7 : Bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite De la période (2001-2011), [Station de Texenna].....24
Figure.III.8 : Relation Amont -aval des systèmes aquifères du sous bassin versant d'El Agrem.....26
Figure. IV .1 : Dispositif de mesure de Schlumberger.....27
Figure. IV.2 : Carte d'implantation des sondages électriques verticaux.....29
Figure. IV.3 : Coupe Géo-électrique AA'.....33
Figure. IV.4 : Coupe Géo-électrique BB'.....34
Figure. IV.5 : Coupe Géo-électrique CC'.....35
Figure. IV.6 : Coupe Géo-électrique DD'.....36
Figure. IV.7 : la gamme de résistivité.....36
Figure. V.1:Carte d'implantation des essais de reconnaissance géotechnique (Géo-Sol ,2011).....39
Figure .V.2: Diagramme de classification des sols fins de Casagrande.....45
Figure. V.3 : Carte de zoning géotechnique proposée pour une profondeur de 1,5 à 2 m.....54
Figure. VI.1: Désordres affectant le glissement 1.....58

Figure. VI.2: Désordres affectant le glissement 2.....58
Figure. VI.3: Implantation des profiles de glissements proposés.....60
Figure. VI.4: profil n° 01.....62
Figure. VI.5: profil de glissement 1.....63
Figure. VI.6: profil de glissement 2.....63
Figure. VI.7: Schéma du masque drainant au niveau du glissement 2.....63
Figure. VI.8: Schéma du masque drainant et de gabionnage au niveau du glissement 2.....64
Figure. VI.9: Schéma du solutions adoptées (Reprofilage du talus et murs de soutènement) au niveau du glissement 3.....65

Liste des tableaux

Tableau III.1 : Caractéristiques de la station pluviométrique de Texenna(A.N.R.H)..... 14
Tableau III.2 : Moyennes mensuelles des précipitations (station de Texenna, 1961-1991).....15
Tableau III.3 : Moyennes mensuelles des précipitations des séries récentes (station de Texenna, 2001-2011 (A.N.R.H, 2012).....16
Tableau III.4 : Taux des précipitations saisonnières (1961-1991).....17
Tableau III.5 : Taux de participation des saisons dans les hauteurs des pluies annuelles, Station de Texenna et Chedia (2001-2011).....17
Tableau III.6 : Nombres de jours des pluies "torrentielles" (P.Seltzer, 1913/1938).....18
Tableau.III.7 : Répartition de la neige (P.Seltzer, 1946).....19
Tableau.III.8 : Nombre des jours de grêle (Station Aéroport F.Abbès de Taher, période 1996/2006)..... 19
Tableau.III. 9 : Nombre moyen des jours de la gelée blanche (P.Seltzer.1913/1938).....20
Tableau III.10 : Données des Températures moyennes mensuelles(Station Texenna, période 1996/2006).....20
Tableau.III.11 : Paramètres du diagramme Ombrothermique (Station de Texenna, période 2001/2011) 21
Tableau.III.12 : Résultats de calcul de l'évapotranspiration potentielle (Station de Texenna, période2001/2011.....23
Tableau.III.13 : Résultats de calcul de l'évapotranspiration réelle (Station de Texenna, période 2001/2011)....24
Tableau III.14 : Perméabilité des différentes formations de la région d'étude.....26
Tableau V.1 : Résultats des sondages carottés (Géosol, 2011).....39
Tableau. V.2 : Résultats des résistances à la pointe (Rp) à partir des résultats des essais de pénétration dynamique.....41
Tableau V.3 : Valeurs minimales des principaux paramètres physiques mesurés.....43
Tableau V.4 : Valeurs des limites d'Atterberg (Géo-Sol, 2011).....44
Tableau V.5 : Résultats des analyses chimiques (Geo-Sol, 2011).....46
Tableau V.6 : Valeurs des caractéristiques intrinsèques (C_u) et (φ_u) mesurés (Géo-Sol, 2011).....47
Tableau V.7 : Valeurs d'essai de compressibilité à l'oedomètre (Géo-Sol, 2011).....48
Tableau. V.8 : Résultats de calcul de la compressibilité à l'odomètre.....49
Tableau. V.9 : Résultats de l'essai de compression simple.....50
Tableau. V.10 : Calcul de la contrainte admissible du sol de fondation à partir des résultats desessais de pénétration dynamique..... 51
Tableau. V.11 : Calcul des contraintes admissibles du sol de fondation à partir des résultats des essais de laboratoire.....52
Tableau. V.12 : Valeurs des tassements en fonction de la charge transmise à la fondation.....52
Tableau VI.1 : Valeurs du coefficient AF.....62
Tableau VI.2 : Valeurs du coefficient AF avant renforcement.....62
Tableau VI.3 : Valeurs du coefficient AF aprés renforcement.....63

Liste des photos

Photo. II.1 : Photo illustrant un affleurement de Trias au niveau de l'oued Djen-Djen.....9
Photo. II.2: Photo illustrant les plissements N-S visibles dans les formations du flysch massylien.....10
Photo. II.3: Photo illustrant les plissements E-W visibles dans les formations du flysch massylien.....10
Photo. II.4: Photo illustrant les déformations cassantes visibles dans les formations du flysch massylie.....11
Photo. IV .1 : Appareillage utilisé.....29
Photo. V.1 : Photo illustre la lithologie rencontrée dans notre zone d'étude.....41
Photo VI.1: Déformation du gabionnage en amont de la route.....57

Résumé

Le site du POS № 01 localisé dans le centre ville de Texenna wilaya de Jijel, s'étend sur une superficie de 34.85 Ha. Sur le plan topographique, la forme du terrain est caractérisée par deux versants et une cuvette au centre. Les observations des données topographiques relevées, montrent assez bien des changements brusques des pentes. La globalité du site présente une topographie irrégulière, elle varie entre de 10 à 60 %.

La géologie du site du POS étudié est dominée par les formations du complexe volcano-sédimentaire et les formations cristallophylliennes du socle Kabyle.

Sur le plan hydrogéologique, la région de Texenna est caractérisée par des sources d'eau qui s'alimente d'une lointe nappe souterraine connecté avec des fissures dans les roches.

L'examen de l'ensemble des sondages électriques a montré que le site est caractérisé par deux gammes de résistivités, la première comprise entre 35 à 120 Ωm sur une épaisseur de 1 à 14 mètres et la deuxième comprise entre 220 à 550 Ωm, apparaît entre 2 et 20 mètres de profondeur.

Sur le plan géotechnique, les résultats des essais d'identification du sol et des essais mécaniques ont mis en évidence une qualité du sol semi-dense à dense et une résistance des sols qui augmente avec la profondeur.

La combinaison des données géologiques, morphologiques, hydrogéologiques et géotechniques ont permis de faire ressortir deux zones principales : une zone favorable à la construction et une autre moyennement favorable en raison du facteur de pente.

Nous avons traitées les données géotechnique avec le logiciel « LimitState : GEO 2.0 ». Les traitements réalisés ont permis de calculer les coefficients de stabilité « adequacy factor, AF ».

Les solutions proposées pour stabiliser ces terrains consistent :

- Des ouvrages poids (gabionnage, masque drainant) ;
- Drainage (tranchées drainantes, caniveaux, éperons drainants) ;
- Reprofilage du talus.

Les calculs effectués en appliquant ces solutions donnent toujours des coefficients de stabilité « AF » toujours supérieurs à 1.

Mots clefs :

Texenna, P.O.S., Géophysique, Mouvements de terrain, LimitState, zoning.

ملخص

يقع مخطط شغل الاراضي رقم01 في وسط مدينة تاكسنة ولاية جيجل، بمساحة قدرها 34,85 هكتار. من حيث المخطط الطبوغرافي شكل المنطقة يتميز بمرتفعين و منخفض في الوسط . الملاحظات المأخودة من البيانات الطبوغرافية تبين أن هنالك تغيرات مفاجئة في المنحدرات. بالمنظور العام تتميز طبوغرافية المنطقة بتنوعها الشديد، و تكون محصورة مابين 10 و 60%.

في ما يخص جيولوجية منطقة م.ش.أ. رقم 01 فهي تتكون في معظمها من تكوينات المعقد البركاني-الرسوبي و تكوينات cristallophylliennes من socle Kabyle.

من حيث المخطط الهيدروجيولوجي، تتميز تاكسنة بمنابع للمياه تغذيها مجاري مائية تحت التربة من مسافة بعيدة متصلة فيما بينها بواسطة الشقوق والانكسارات الموجودة في ما بين الصخور.

استعراض جميع المقاطع الكهربائية يبين أن المنطقة تنقسم إلى اثنتين من حزم المقاومية، الأولى محصورة مابين 35 إلى Ωm120 على عمق 1 إلى 14م و الثانية محصورة ما بين 220 إلى Ωm550، على عمق 2 إلى 20م.

من حيث المخطط الجيوتقني، نتائج اختبارات التعرف على التربة و خصائصها الميكانيكية، قد أظهرت أن نوعية التربة متوسطة الكثافة إلى كثيفة، أما صلابة التربة فتزداد مع العمق.

عملية تركيب البيانات الجيولوجية،المورفولوجية، الهيدروجيولوجية و الجيوتقنية مكنتنا من تشكيل منطقتين أساسيتين: منطقة صالحة للبناء و أخرى متوسطة بسبب عامل الانحدار المرتفع.

لقد تم معالجة المعطيات الجيوتقنية ببرنامج .« LimitState : GEO 2.0 ». المعالجات المنفذة تسمح بحساب معاملات الأستقرار.

الحلول المقترحة لتثبيت هده المناطق تتمثل في:

- **منشآت ثقل,**
- **تسريب المياه,**
- **إعادة تخطيط المنحدر.**

حسابات الثبات المنفذة بتطبيق هذه الحلول قدمت معاملات استقرار دائما أعلى من الواحد.

الكلمات الدلالية :

تاكسنة ، م.ش.أ. ، الجيوفيزياء،، إنزياحات كتلية ، LimitState.

Abstract

The site of POS № 01 located in downtown Texenna Jijel, covers an area of 34.85 Ha. Topographically, the terrain is characterized by two slopes and a bowl in the center. The observations recorded topographic data show fairly abrupt changes of slopes. The whole site has an irregular topography; it varies between 10 to 60%.

The geology of the site of the POS is dominated by complex volcano-sedimentary formations and crystallophyllian of Kabyle socle formations.

From a hydrogeological, the region of Texenna is characterized by water sources that feeds a groundwater connected with cracks in rocks.

The examination of all electrical surveys showed that the site is characterized by two lines the first resistivities is between 35 to 120 Ω m into a depth of 1-14 meters and the second is between 220 to 550 m Ω, appears between 2 and 20 meter deep.

Geotechnically, the results of soil identification tests and mechanical tests revealed a soil quality, semi dense to dense and soil resistance which increase with depth.

The combination of geological, morphological, hydrogeological and geotechnical helped to highlight two main areas: an area conducive to the construction and another moderately favorable due to the slope factor.

We processed the data with geotechnical software "LimitState: GEO." The treatments have made it possible to calculate the coefficients of stability "Adequacy factor, AF".

The solutions proposed to stabilize these lands are to:

- Works weight (gabionade, draining mask);
- Drainage (drainage ditches, culverts, drainage spurs);
- Reshaping the slope;

The calculations made in applying these solutions give stability coefficients "AF" always higher than 1.

Key words:

Texenna, P.O.S., Geophysics, ground movements, LimitState, Zoning.

Première partie

1. Etude du milieu physique
2. Cadre Géologique locale
3. Synthèse Hydroclimatologique et hydrogéologique

I. Etude du milieu physique

I.1 Introduction

La ville de Texenna, chef-lieu de la commune de même nom a été crée lors du découpage administrative de 1984. Elle se situe à 20 km au Sud-Est de la ville de Jijel sur la RN77 qui relie cette dernière à Sétif. Ses coordonnées Lambert sont :

- *Longitude : 776-778.*
- *Latitude : 377-379.*

La ville de Texenna est limitée administrativement par les communes suivantes :

- Au Nord par la commune de Kaous.
- Au Sud par la commune d'Erraguen et Benyadjis.
- A l'Est par la commune d'Oudjana et Emir Abdelkader.
- A l'Ouest par la commune d'El Aouana et Selma benziada.

Le terrain du P.O.S N°01 ayant une superficie de **34.85 ha**, occupant la partie Sud-Ouest de l'agglomération chef-lieu de Texenna et plus précisément le centre de la ville, caractérisé par un tissu urbain hétérogène aussi bien typologique qu'architectonique il est limité par :

- Le POS 04 au Nord.
- Le massif montagneux boisé à l'Ouest.
- Un Terrain en pente et des constructions individuelles dans la partie Sud.
- Le POS N°02 et le POS №O3 à l'Est.

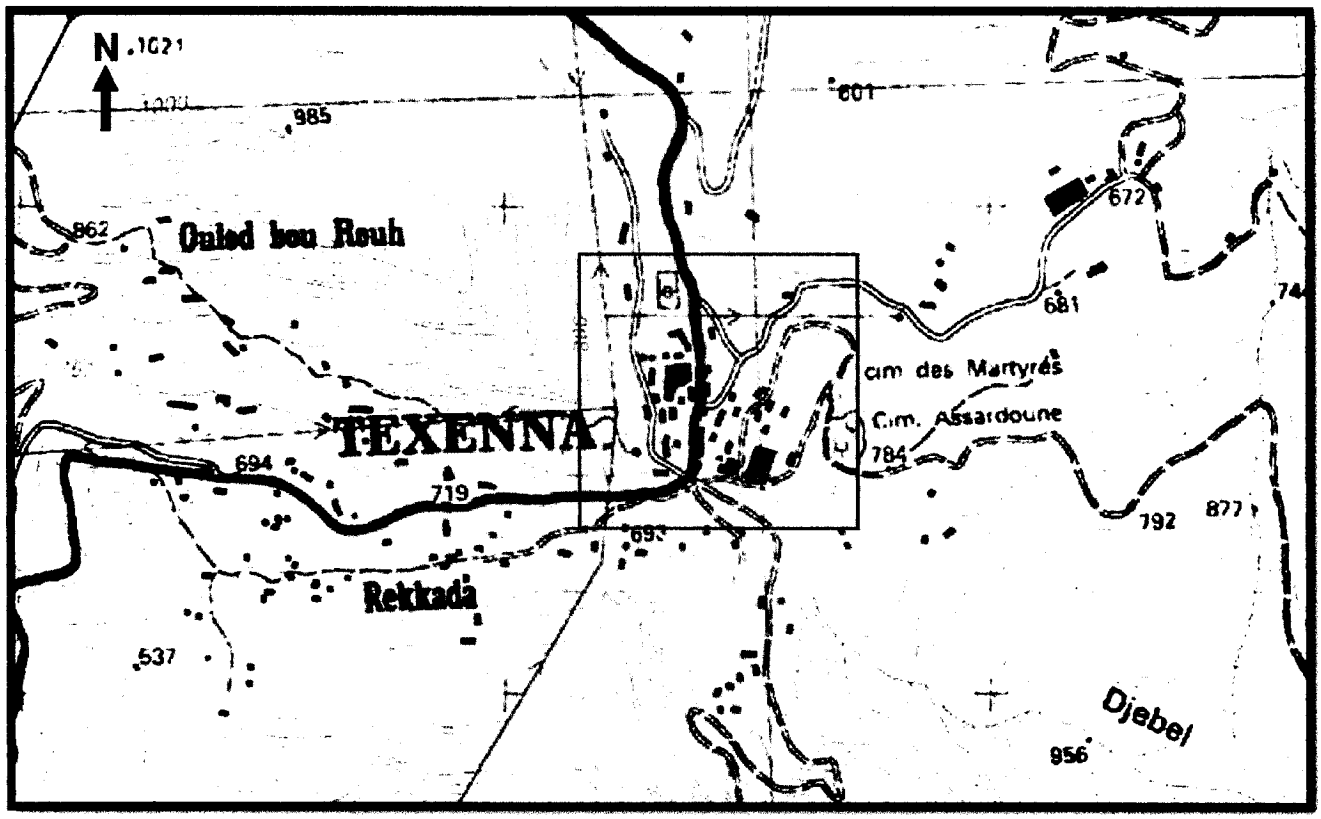


Fig. I.1 : Situation géographique du site du P.O.S.N°01 sur la carte topographique de Texenna 1/25000.

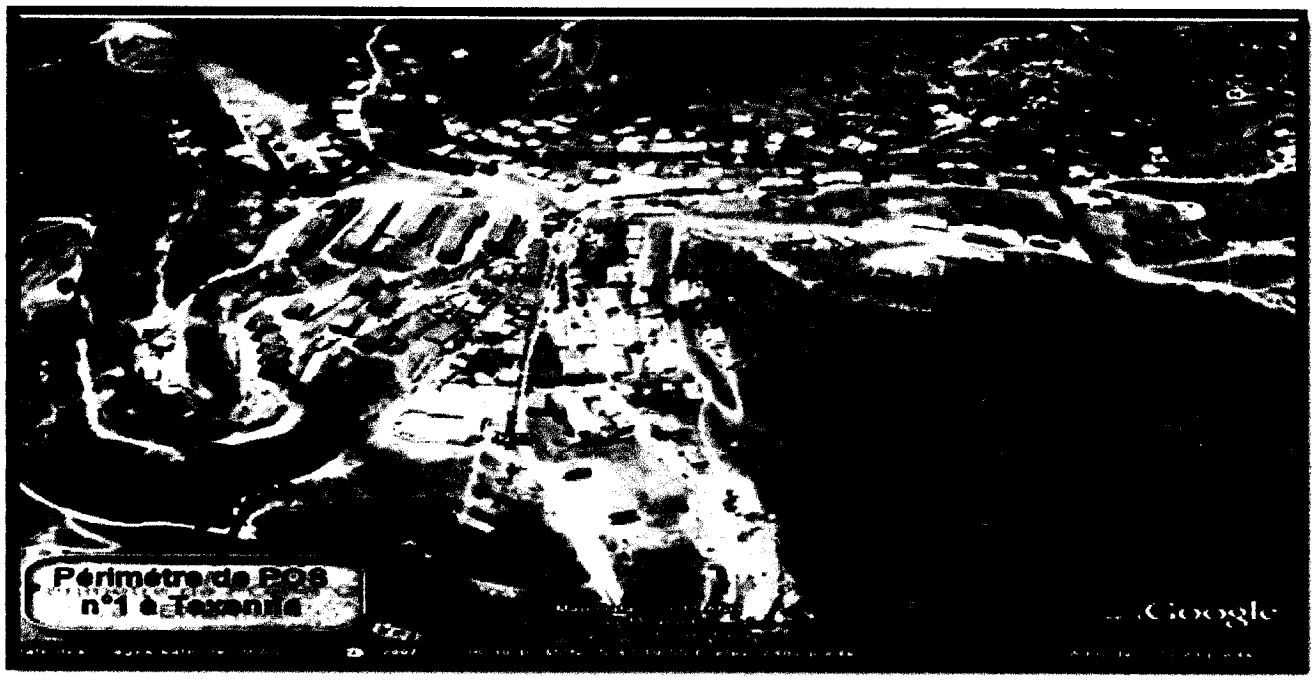


Fig. I.2 : Situation géographique du P.O.S N°01 de Texenna sur image satellitaire

I.2 Climat

La région d'étude est caractérisée par un climat méditerranéen subissant l'influence de la mer méditerranéenne au Nord, et des reliefs au Sud. Ces deux raisons font que le climat de la région est tempéré, avec des températures élevées en été et basse en Hiver.
Les précipitations d'eau annuelles varient entre 900 et 1200 mm/an. Cette pluviométrie classe cette région parmi les zones les plus arrosées d'Algérie. Cette dernière révèle un potentiel hydrique très important.
Ce potentiel hydrique se manifeste par l'émergence de nombreuses sources d'eau de très bonne qualité. En plus d'une importante pluviométrie, la région d'étude est souvent recouverte par d'importantes quantités de neige.

I.3 Orographie

Le relief dans la région de Texenna est le résultat de l'histoire géologique de la région, il est marqué par de grands contrastes topographiques. Les principales formes de reliefs qu'on rencontre sont:

I.3.1 Les montagnes

Ils se présentent en deux chaînons, l'un se trouve à l'Est et l'autre à l'Ouest avec des altitudes qui peuvent dépasser les 1000 m (Djebel Sendouah).

I.3.2 Les dépressions

Situées entre les chaînes de montagne, ce sont des zones basses où se concentrent la plupart des agglomérations et mechtats. Cette zone s'étend jusqu'au limite de la commune de Kaous au Nord et la pente de ces terrains varie entre 0-12% et l'altitude de cette zone varie entre 400 et 800 m. elle est composée de terres cultivables le long des oueds qui arrosent la zone et se dirigeant du Sud vers le Nord.

I.4 Morphologie

L'examen de la carte topographique de la région étudié, fait apparaitre que la commune de Texenna est caractérisée par des pentes fortes, car elle appartient à la zone des montagnes au sud de Jijel.

Le POS étudie se présente, en grande partie, sous une forme polygonale, la forme du terrain est caractérisée par deux versants et une cuvette au centre, les observations des données topographiques relevées, montrent assez bien des changements brusques des pentes. La globalité du site présente une topographie irrégulière.

Nous distinguons de ce fait, et sur la base des valeurs de pentes mesurées, que le terrain du POS est subdivisé en cinq zones (*Fig.I.3*) qui sont :

- **La zone de pente A: de 0 à 10% :**

Cette zone de pente est qualifiée comme faible, elle réside au centre du POS, il s'agit d'une cuvette occupant une grande partie du site, cette zone occupe l'agglomération de la commune de Texenna.

- **La zone de pente B: de 10 à 20 % :**

C'est une classe qui occupe des petits terrains répartis sur l'Est et l'Ouest et le Nord de l'agglomération principale. Cette classe est caractérisée par des pentes moyennes.

- **La zone de pente C, de 20 à 30 % :**

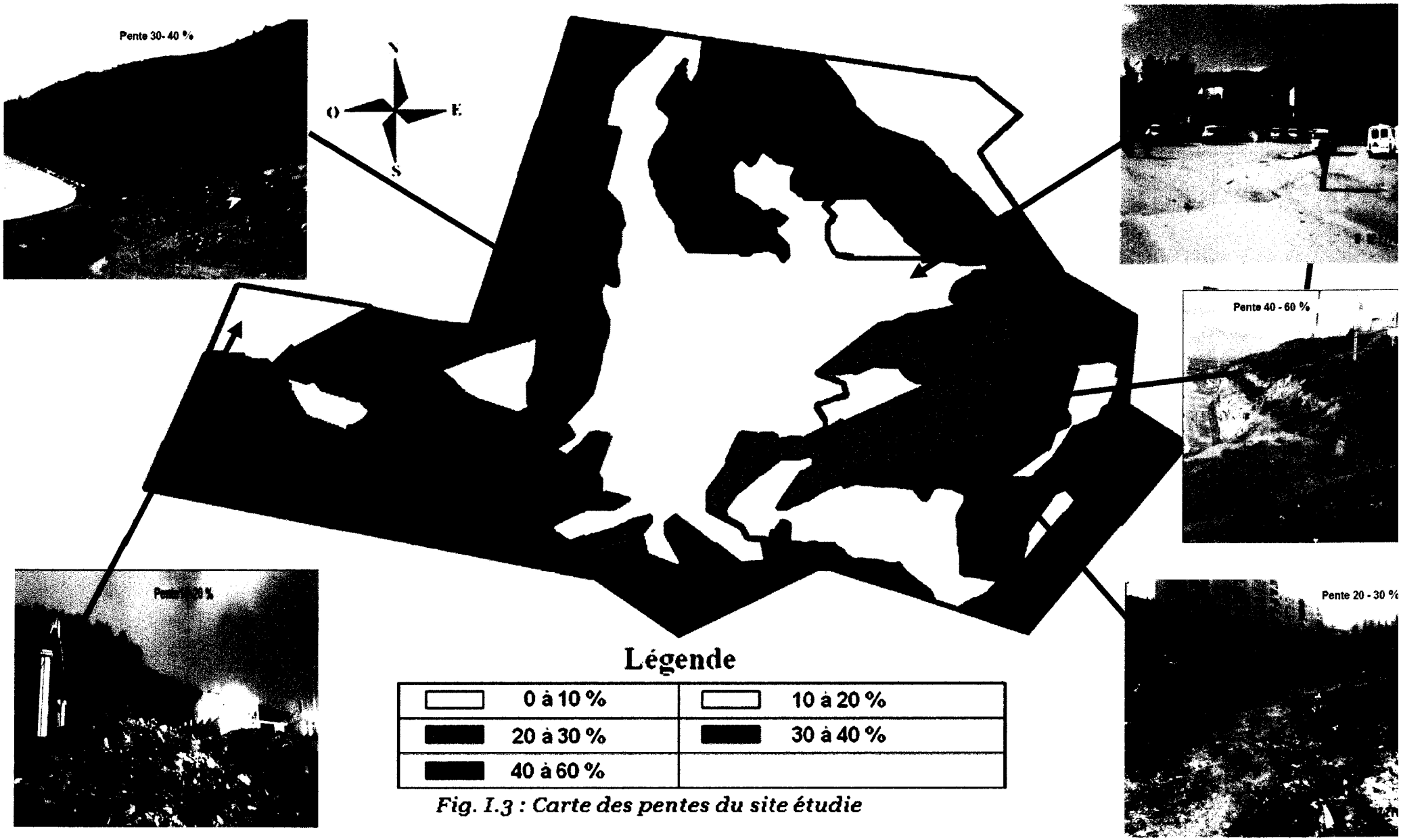
Cette zone intéresse plusieurs parcelles inégales, dont la majorité est à l'Est, elle s'étend sur des petits versants, dans cette zone de pente les risques de glissements sont à craindre, l'aménagement dans cette zone doit être conçus avec des précautions.

- **La zone D:pente 30 à 40% :**

Elle occupe des versants, qui sont caractérisés par de fortes déclivités. Cette zone intéresse plusieurs parcelles inégales, dont la majorité est à l'Est et l'Ouest. Dans cette zone, les risques potentiels de mouvement de terrain qui ne manqueraient de se produire lors des travaux d'aménagement, sont réels.

- **La zone D:pente 40 à 60% :**

Elle occupe la partie surélevée des versants qui contour la ville de Texenna, cette dernière est caractérisée par des pentes très fortes.



Légende

0 à 10 %	10 à 20 %
20 à 30 %	30 à 40 %
40 à 60 %	

Fig. I.3 : Carte des pentes du site étudie

I.5 Végétation

La région d'étude est caractérisée par une couverture végétale assez dense. La végétation couvre une grande partie du territoire de la commune 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, du chêne-zen, des broussailles, et autres arbres fruitiers. En général, ce potentiel forestier confère à la région une vocation agricole et forestière. Est qui joue un rôle important dans la stabilisation des terrains.

I.6 le réseau hydrographique

La région d'étude est caractérisée par un réseau hydrographique assez important ***(Fig. I.3)*** en relation surtout avec la lame d'eau précipitée durant l'année. Ce réseau est représenté par les différents drains, alimentés surtout par les sources et le ruissellement des surfaces en liaison surtout avec la fonte des neiges des reliefs élevés. Ces différents drains alimentent les principaux Oueds de la région (Oued Djen-Djen et Oued El-Agrem).

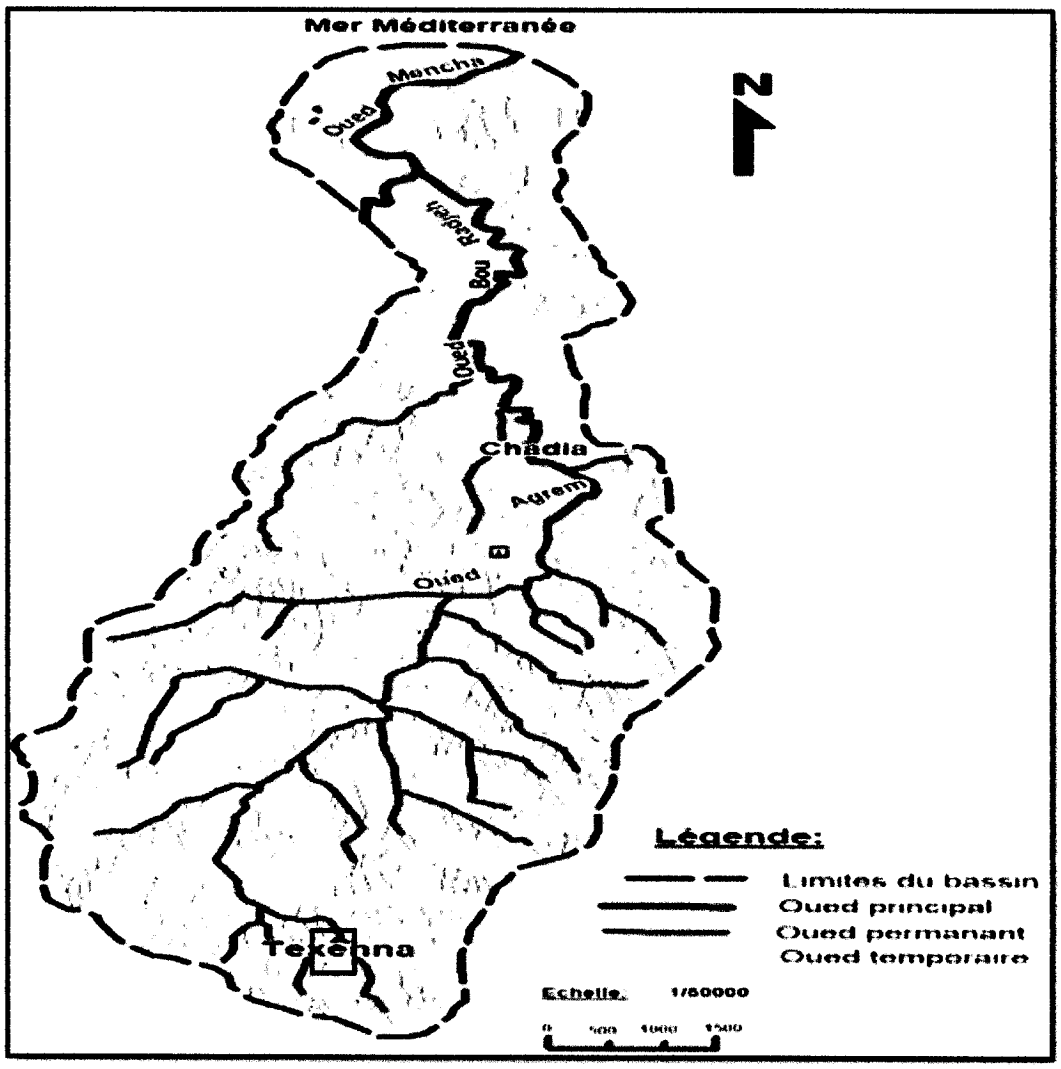


Fig. I.4 : Réseau hydrographique de la région de Texenna.

I.7 Historique des travaux géologiques de la région

La région de Texenna 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 réalisés dans cette région on peut citer :

- **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.
- **Djellit (1987)** : portant sur l'évolution tectono-métamorphique du socle Kabyle et polarité de mise en place des nappes de flysch en Petite Kabylie occidentale (Algérie).
- **Kherrouba(2008) :** portant sur l'étude géologique et géotechnique des zones instables de la région de Texenna-Djimla.

I.8 Problématique et méthodologie de travail

Le plan d'occupation des sols **№ 01** établit pour la ville de Texenna rentre dans le cadre de développement de la wilaya de Jijel. Pour ce but, la Direction de l'Urbanisme et de la Construction (DUC) de la wilaya de Jijel a demandé de réaliser une étude géotechnique sur le site du POS. Cette dernière a été effectuée en 2011 par le laboratoire Géo-sol (Unité de Jijel).

Cette étude nous fournit toutes les informations nécessaires sur les conditions du site (morphologiques, géologiques, hydrologiques et mécaniques) qui ont été confirmés par la géophysique (sondages électriques verticaux). Pour qu'on puisse finalement d'apprécier la qualité du site du POS et son aptitude à la construction.

A cet effet, et dans l'optique de contribuer à une étude géologique, géophysique et géotechnique de ce secteur, et afin de mieux comprendre et cerner les risques probables sur le site, l'étude de ce secteur nous a été confié.

A ce propos nous avons pensé de subdiviser notre manuscrit en deux grandes parties qui touchent les différents aspects :

- **Une première partie**

Sera consacrée à l'étude géologique de la région, elle traitera les traits relatifs à la géologie locale. Celle-ci sera complétée par un aperçu sismique de la région. Une analyse hydro-climatologique et hydrogéologique sera aussi abordée.

- **Une seconde partie**

Sera à son tour consacrée à l'étude géophysique et géotechnique du site étudie. L'approche géophysique consiste à traiter les données géophysiques disponibles de résistivité électrique, l'exploitation de ces données nous a permet de réaliser des profils de sondages électriques à l'aide du logiciel QWSLEN, à la base de ces résultats on a réalisé des coupes géo-électriques en utilisons le logiciel COREL–DRAW.

Cette approche géophysique a pour but de déterminer la nature lithologique, la profondeur de la nappe aquifère, et la profondeur de la rupture associée à certains glissements de terrain.

L'étude géotechnique nous permet de savoir le comportement mécanique du sol face à différentes sollicitations par le traitement des différents paramètres obtenues à partir des essais réalisés

en place et en laboratoire, le calcul des fondations pour les constructions projetées, et le calcul des tassements, avec une approche purement géotechnique (essais et calculs).

- **La partie pratique**

Cette partie a été effectuée par un calcul de stabilité par le logiciel ***Limit-State***, le calcul de stabilité a été effectué suivant Trois profils proposés sur site par l'utilisation de **la méthode "DLO".** Il est également conçu pour fonctionner avec les codes de conception modernes tels que **l'Eurocode 7**, en fournissant un soutien complet pour les coefficients partiels et la capacité à résoudre de multiples scénarios de ruptures.
La proposition de solutions pour remédier à ces mouvements doit impérativement prendre en considération les facteurs d'instabilité avec la réalisation d'une carte des zones exposées aux risques des mouvements des sols
Après ce traitement, l'étude géotechnique sera complétée par une conclusion qui prendra en compte les mesures des essais afin de tenter de dégager un zoning géotechnique du site étudié, et enfin de proposer des recommandations pour lutter contre les risques qui peuvent menacés le site dans le futur.

II. Géologie locale

II.1 Caractéristiques lithologiques de la région étudiée

D'après les travaux de ***Durand Delga (1955)***, et ***Djellit (1987)*** dans la région de Texenna, les différents termes lithologiques de cette région et leur dispositif structural peuvent être résumé comme suit :

Du Nord vers le Sud ***(Fig. II.1)*** on peut distinguer :

- Les formations cristallophylliennes du socle Kabyle.
- Les formations du complexe volcano-sédimentaire de Texenna.
- Les formations de type flysch.
- Les formations évaporitiques du Trias.
- Les formations quaternaires.

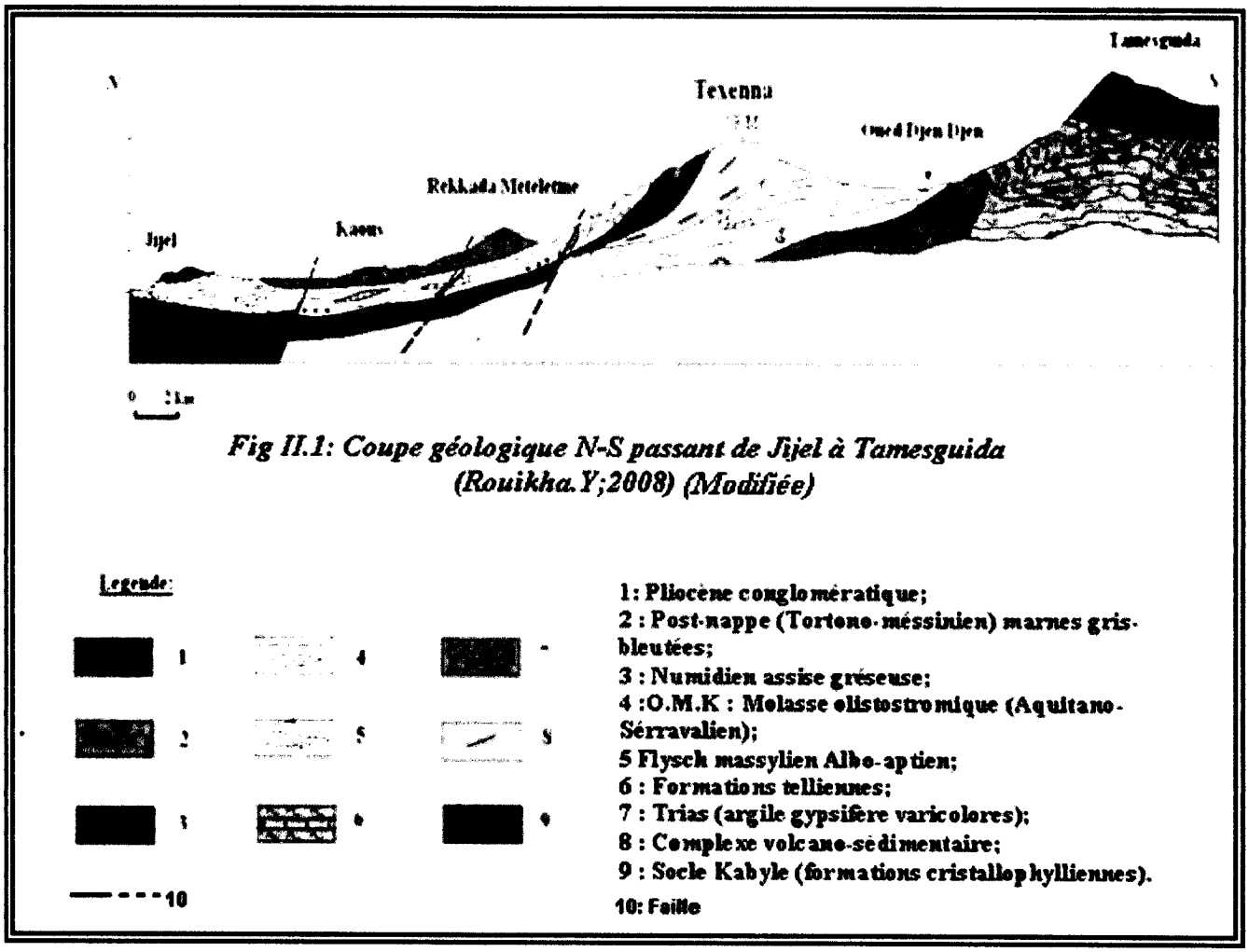


Fig II.1: Coupe géologique N-S passant de Jijel à Tamesguida (Rouikha.Y;2008) (Modifiée)

II.1.1 Description des formations lithologiques de la région de Texenna

II.1.1.1 Les formations cristallophylliennes du socle Kabyle

Les formations cristallophylliennes du socle Kabyle sont représentées dans la région de Texenna par des gneiss oeillées, et des phyllades. Ils forment la plus basse unité géologique de la région. L'âge Précambrien probable est attribué à ces formations ***(Durand Delga ; 1955).***

II.1.1.2 Les formations du complexe volcano-sédimentaire de Texenna

Ces formations reposent par un contact anormal sur les formations du flysch massylien. Pour ***Bouillin (1979),*** le « **complexe volcano-sédimentaire** » de Texenna représente le substratum Jurassique du flysch maurétanien. Il comporte de bas en haut :

a) ***Un ensemble basal :*** d'une épaisseur allant de 200 m à 300 m, il est composé d'un empilement de roches volcaniques à textures variables. Ces roches sont d'épaisseur métrique, foliées et s'organisent en niveaux parallèles entre eux. Cet ensemble débute localement par des Pillow-lava auxquels sont associées des radiolarites recristallisées.

b) ***Un ensemble sommital :*** d'une épaisseur de 200 m environ, il est divisé en deux termes :

- Le premier terme est constitué d'une série volcano-sédimentaire (50m d'épaisseur) contenant des niveaux quartzo-pélitiques et des basaltes, passant à des dolérites, ou encore des parasinites, et des gabbros dioritiques à amphiboles brunes.
- Le deuxième terme est essentiellement constitué d'une alternance de calcaires Centimétriques à décimétriques. On rencontre cet ensemble éruptif à Djebel Sendouah (Texenna), ***(Djellit ; 1987).***

II.1.1.3 Les formations de type flyschs

a) Les formations du flysch massylien

Ce type de flysch est d'âge Albo-Aptien, il est caractérisé par une alternance des schistes et des bancs de grés quartzitiques décimétriques, parfois centimétriques, surmontées par des microbrèches calcaires à ciment pélitique et des marnes. Il contient par endroits à des phtanites de couleur noir (le long de la route vers l'oued Djen-Djen on remarque une importante barre de phtanites), ***(Durand Delga ; 1955).***

b) Les formations du flysch maurétanien

Dans la région étudiée, elles sont représentées par l'unité de Guerrouch, formé essentiellement par des bancs de grés homométrique à cassure verdâtre. L'âge Eocène supérieur-Oligocène est attribué à ces formations.
Ce type de flysch occupe largement la région de M'cid-Echta au Sud-Ouest de Texenna. ***(Fig.II.2).***

II.1.1.4 Le Trias

Le long de l'oued Djen-Djen on rencontre parfois du Trias diapirique comportant du gypse, des marnes gypsifères, des argiles bariolées, et des argiles de couleur lie de vin ***(Photo.II.1).*** Ces formations triasiques chevauchent les formations telliennes. ***(Kherrouba .H, 2008)***

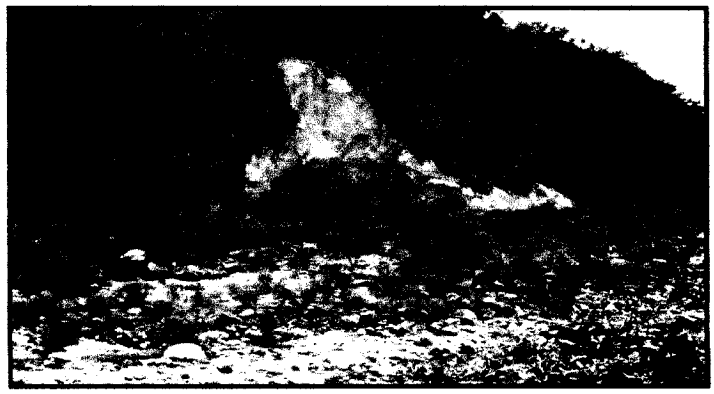


Photo. II.1 : Photo illustrant un affleurement de Trias au niveau de l'oued Djen-Djen.

II.1.1.5 Les formations quaternaires :

En majorité, elles sont représentées par une tranche de terre végétale, parfois des argiles blocs, galets ainsi que des éboulis des piémonts ou élluvions.

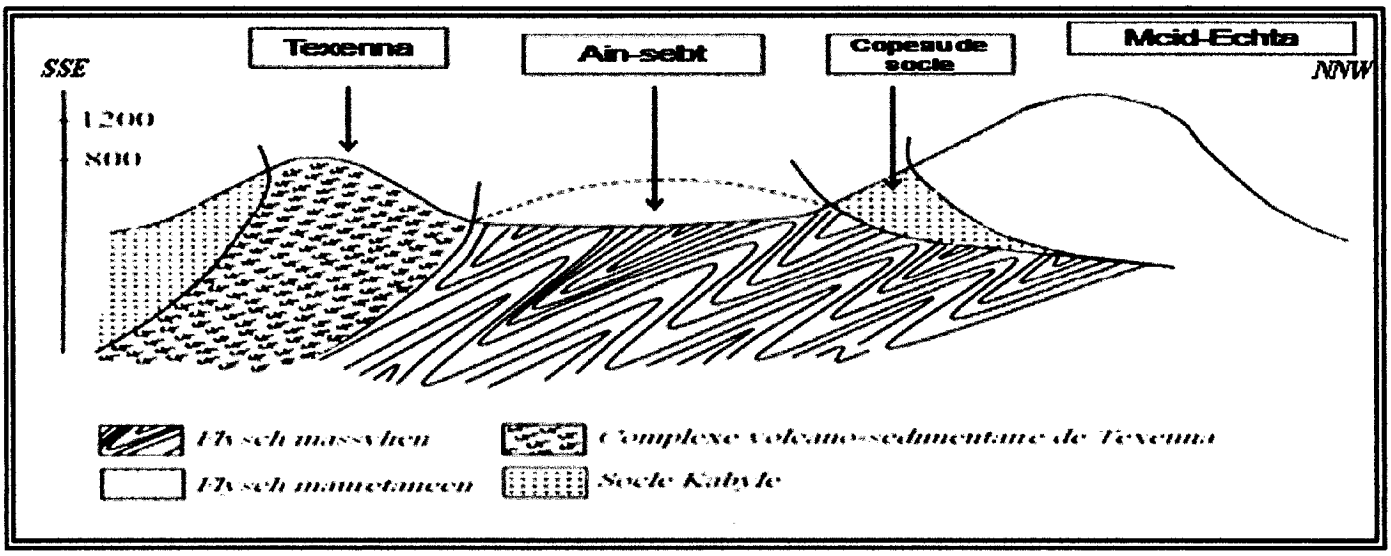


Fig. II.2 : Coupe géologique de la transversale Texenna-M'cid Echta. (Kherrouba .H ; 2008)

II.2 Caractéristiques géologiques du site du POS étudie

La géologie du site du POS étudie est dominée par les formations du complexe volcano-sédimentaire et les formations cristallophylliennes du socle Kabyle.

II.3.1 Aspect structural

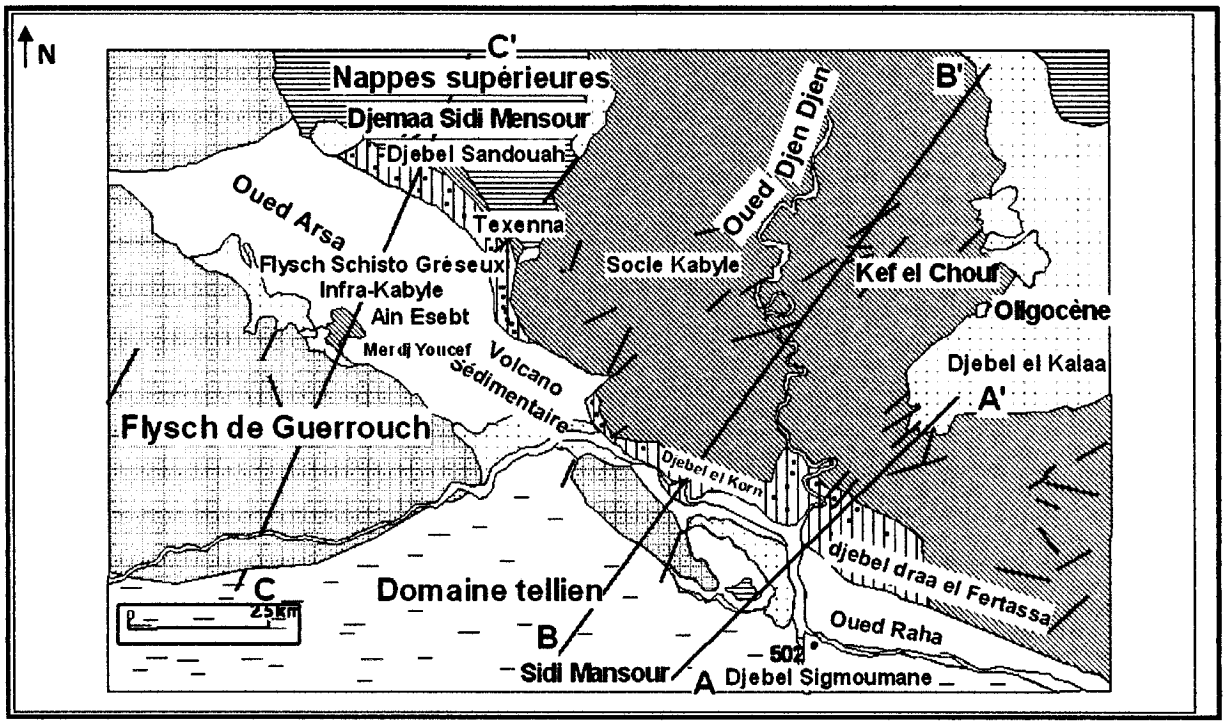


Fig. II.3 : Carte géologique de la région d'étude (H. Djellit ; 1987)

L'édifice structural de la région d'étude se présente comme suit :

a) Le socle Kabyle

Le socle Kabyle dans la région d'étude est composé d'un substratum gneissique, un complexe phylladique, un ensemble de psammites, ainsi que calcaires.

- Le substratum gneissique est d'âge anté-Cambrien.
- Le complexe phylladique est d 'âge Cambro-Ordovicien.
- Les psammites et calcaires sont d'âge Silurien à Dévonien inférieur à moyen.

Le socle Kabyle chevauche vers le Sud les unités frontales schistosées.

b) Sous le socle Kabyle

Le complexe volcano-sédimentaire : débité en écailles, Cet ensemble chevauche vers le Sud les zones externes telliennes.

c) Sur le socle Kabyle

Un ensemble de nappes, comportant à la base un olistostrome surmonté par le flysch de Guerrouch. Ces nappes sont scellées par des dépôts du Miocène terminal puis par le Pliocène.

II.3.2 La tectonique

Au niveau de la région d'étude qui constitue la terminaison occidentale de la Petite Kabylie, plusieurs événements tectoniques ont conduit à la structure actuelle. Les différents aspects tectoniques régionaux sont les charriages, les déformations ductiles et les déformations cassantes.

a) Les charriages

Affectant les différentes nappes : flyschs, socle Kabyle,et tellien.

b) Déformations ductiles

Elles sont matérialisées par les plissements E-W ***(Photo. II.2)***, et N-S ***(Photo. II.3)*** visibles dans les formations du socle Kabyle et les formations du flysch massylien, et celles de la couverture sédimentaire.

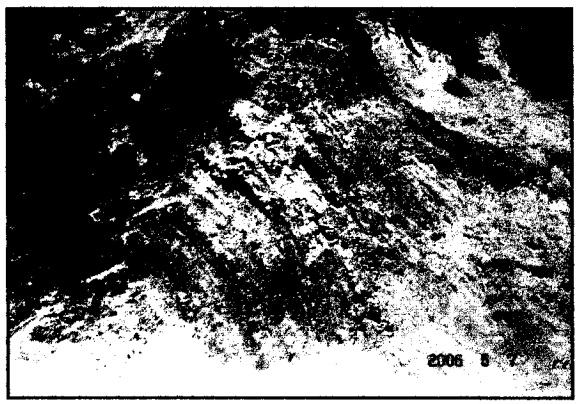


Photo. II.2 : Photo illustrant les plissements N-S visibles dans les formations du flysch massylien.

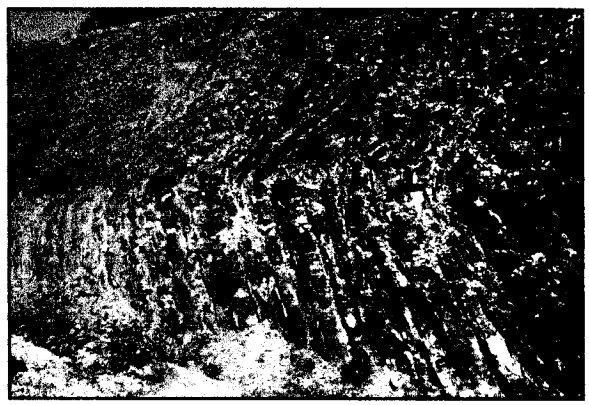


Photo. II.3 : Photo illustrant les plissements E-W visibles dans les formations du flysch massylien.

c) Déformations cassantes

Elles sont marquées par les enjeux de grands accidents tectoniques d'ampleur régionale, animées par des déplacements faibles et horizontaux (décrochements), ***(Photo. II.4)***. Les directions dominantes de ces accidents sont : N-S, E-W, NE-SW, et NW-SE, et affectent aussi bien le socle Kabyle que les formations récentes.

Ces accidents ont engendrés des dislocations et le broyage des formations affectées. Un intense réseau de fracturation accompagné à ces grands accidents tectoniques.

Photo. II.4: Photo illustrant les déformations cassantes visibles dans les formations du flysch massylien

II.3.3 Aperçu sismique de la région d'étude :

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 localisées entre Bejaia et Sétif dans la zone des Bibans et des Babors. Cet axe sismique parait présenter une activité qui s'atténue vers l'Est, où les structures en nappes viennent buter sur les contreforts du socle.

Les données historiques relatives à la sismicité font état d'un évènement majeur survenu le ***21 Août 1856*** au large de Jijel (ex.Djedjelli). Les autres foyers sismiques sont situées à plus de 50Km du côté Est du barrage d'El-Agrem. Le dernier séisme ressenti dans la région est celui de Texenna 2009.

Les études les plus récentes réalisées par ***Yelles et al (1999)*** montrent l'existence d'une faille supposée active dans la zone de la pente continentale au large de Jijel.

II.3.3.1 Règles parasismiques Algériennes (RPA)

Selon **RPA 99** ***(version 2003)*** le territoire Algérien est divisé en quatre zones de sismicité décroissante de 0 à III ***(Fig. II.4)***:

- 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 IIa).

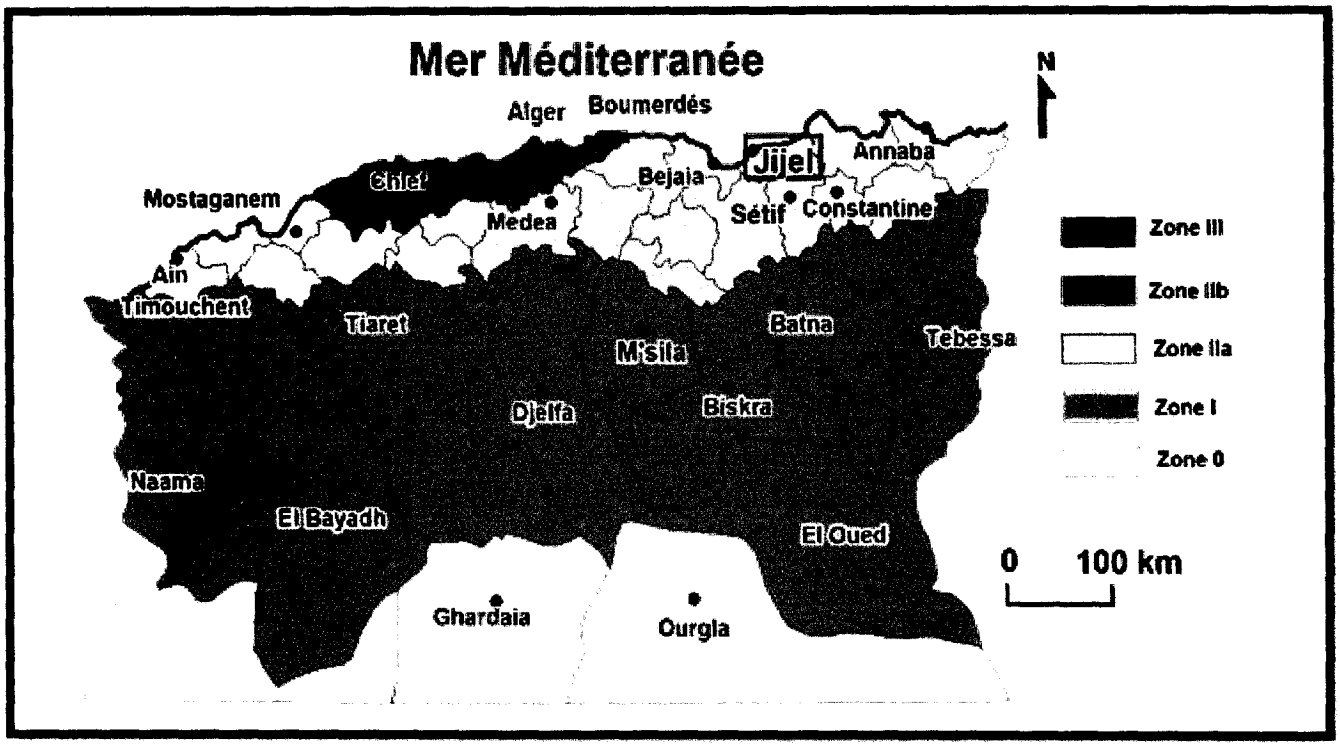


Fig. II.4 : Carte sismique de l'Algérie selon le RPA version 2003.

III. Synthèse Hydroclimatologique et hydrogéologique

III.1 Introduction

L'eau joue un rôle important dans la déstabilisation des terrains vu sa capacité d'altérer les formations géologiques et sa pression interstitielle qui diminue la résistance des roches. Pour cela nous avons opté pour une analyse hydrologique de la zone d'étude. Dans cette étude, on s'attachera plus particulièrement à déterminer les apports d'eau (précipitation, évapotranspiration, infiltration et ruissellement), le bilan hydrologique, le régime caractéristique du fonctionnement du système hydrologique et les formations géologiques potentielles à construire des aquifères.

III.2 Hydroclimatologie, Hydrologie et hydrogéologie de la région

III.2.1 Hydroclimatologie

III.2.1.1 Aperçu général sur le climat

Le climat Algérien est caractérisé par la variation de la répartition des précipitations et des températures. Cette variation est due à l'influence de la mer méditerranée ainsi qu'à la morphologie générale du pays. La région de Jijel fait partie du littoral Est-Algérien, elle est caractérisée par un climat méditerranéen, doux et humide en hiver, chaud et sec en été.

III.2.1.2 Analyse des paramètres climatiques

III.2.1.2.1 Précipitations

Le terme précipitation englobe toutes les eaux météoriques, et la hauteur de la lame d'eau recueillie par le pluviomètre, quelque soit l'origine de cette eau, pluie, neige, grêle, ou autres formes de condensation.

Cette étude s'intéresse aux précipitations **liquides**, (***Fig. III.1)*** (pluies), qui constituent le facteur principal dans le comportement hydrologique de la région. Elles sont relativement moins importantes, variables et irrégulières.

Cependant le changement de température ou pression provoqueront ces précipitations **solides** (neige, grêle, gelée blanche).
La région de Texenna est considérée parmi les régions qui reçoivent les précipitations les plus importantes en Algérie. L'étude de ces précipitations sert à évaluer la quantité d'eau tombée qui a une influence directe sur le niveau des eaux souterraine et superficielle dans la région étudiée.

a) Précipitations liquides

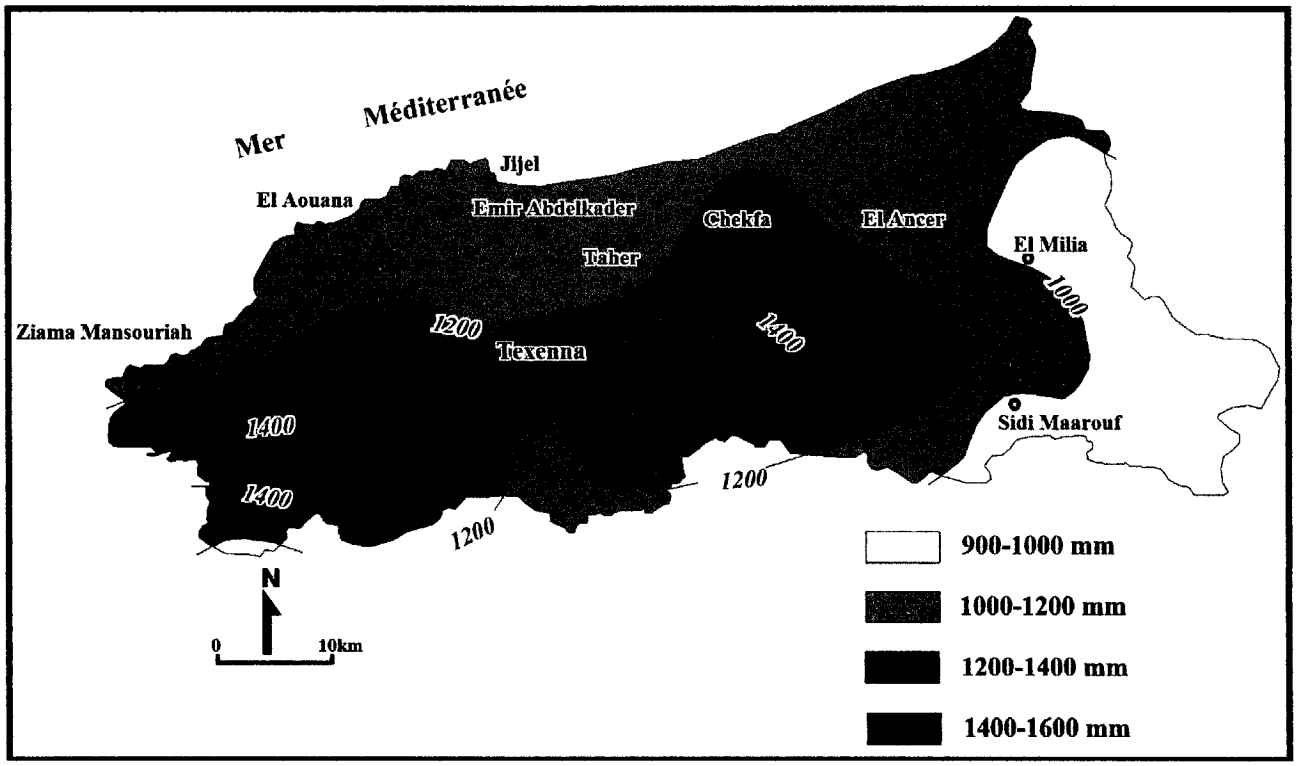


Fig. III.1 : Carte pluviométrique de la wilaya de Jijel, (A.N.R.H, 1996)

Les précipitations liquides sont continues et de longue durée.Ainsi, leur étude est réalisée à partir des données des stations pluviométriques. La carte pluviométrique de la région de Jijel montre que la moyenne annuelle des pluies enregistrée à Texenna est dans l'intervalle **[1200 - 1400 mm]**.

Les données de la station météorologique de Texenna montrent que la région de Texenna reçoit annuellement de **1299 mm/an**. La variation des principaux paramètres permet de définir le régime pluviométrique de la région : quantité de pluie annuelle, quantité de pluie mensuelle et saisonnière. Le tableau ci-dessous montre les caractéristiques de la station ainsi que la pluie moyenne annuelle.

Tableau III.1 : Caractéristiques de la station pluviométrique de Texenna. (A.N.R.H)

Code et nom de la station	*Altitude (m)*	*longitude*	*latitude*	*Pluies moyen annuelles (mm)*	*Période d'observation (années).*
03-03-02 Texenna	*725*	*E5°47'*	*N36°33'*	*1299*	*50*

1. Variations mensuelles et annuelles

La répartition mensuelle des précipitations dans l'année et ses variations conditionnent (avec les facteurs thermiques et lithologiques), l'écoulement, le régime des cours d'eau et celui des nappes aquifères qui en sont liées.

1.1 Série ancienne

On utilise dans cette étude les données anciennes de la série qui s'étend de **(1961-1991)** pour la station de Texenna.

Tableau III.2 : Moyennes mensuelles des précipitations (station de Texenna, 1961-1991)

Station de Texenna [1961-1991]												
Precipitations (mm)	**Mois**											
	S	**O**	**N**	**D**	**J**	**F**	**M**	**A**	**M**	**J**	**J**	**A**
Mensuelle	40,1	137,5	221,6	**264.4**	169,7	119,2	109,9	77,.5	60,5	15,7	8,1	**5,2**
Annuelle	**1229.4**											

Les données climatologiques anciennes montent que :

- Le maximum des précipitations est observé au mois de **Décembre** : **264,4 mm**.
- Le minimum au mois d'**Août** : **5,2 mm.**
- Le **total** annuel est estimé à : **1229,4 mm**.

Le régime pluviométrique de la région est déterminé en fonction des pluies annuelles et mensuelles observées dans la station pluviométrique de Texenna et les stations les plus proches d'elle dans la wilaya de Jijel.

❖ ***Variations annuelles et comparaison entre les trois stations***

La répartition annuelle **(1961-1991)** des précipitations dans les stations pluviométriques de Jijel, Taher et Texenna est présentée dans la **figure III.2** ci-dessous :

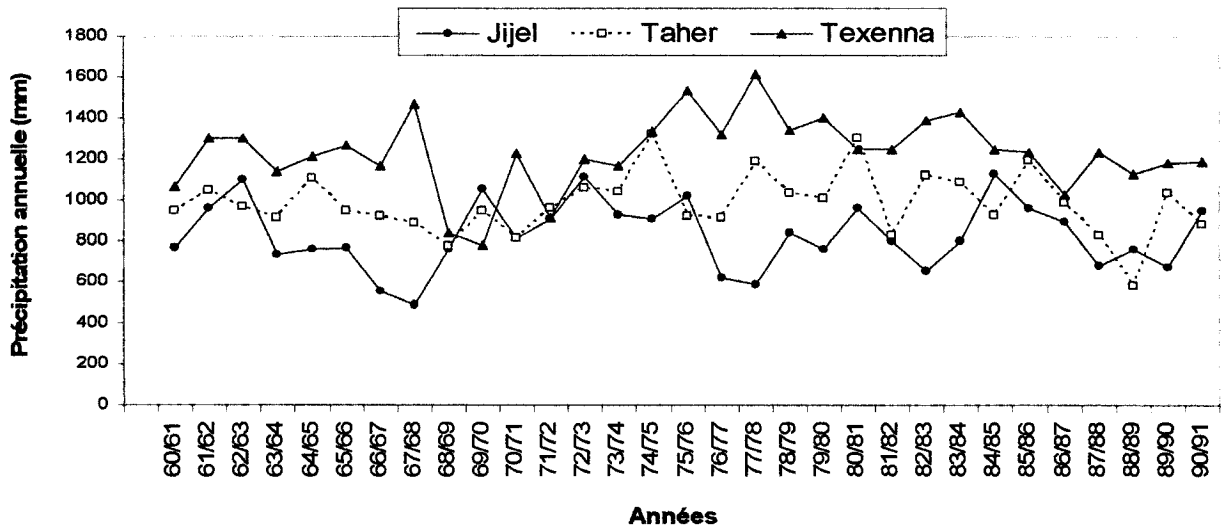


Fig.III.2 : Evolution annuelle de la pluviométrie corrigée pour la période 1960 – 1991 (stations de Jijel, Taher et Texenna)

Cette figure montre que la station de Texenna présente la pluviométrie la plus importante avec une moyenne annuelle de 1229 mm.

1.2. Série récente

Pour les précipitations de la série récente on prend des données de **(2001-2011)** pour la même station.

Tableau III.3 : Moyennes mensuelles des précipitations des séries récentes (station de Texenna, 2001-2011) (A.N.R.H, 2012)

Station de Texenna [2001-2011]												
Precipitations (mm)	**Mois**											
	S	**O**	**N**	**D**	**J**	**F**	**M**	**A**	**M**	**J**	**J**	**A**
Mensuelles	83.0	81.9	183.4	**238.0**	138.7	133.9	114.2	122.0	70.0	16.1	12.8	**10.4**
Annuelles	**1204.3**											

D'après les données du tableau on constate que :

- ✓ **Décembre** est le mois le plus pluvieux (238.0 mm).
- ✓ **Aout** et le mois le moins pluvieux (10.4 mm).

1.3. Comparaison entre les deux séries

Diminution du total annuel passant de 1229.4 mm à 1204.3 mm.

La ***Figure III.3*** illustre bien les changements dans les variations mensuelles de la station de Texenna pendant les deux séries:

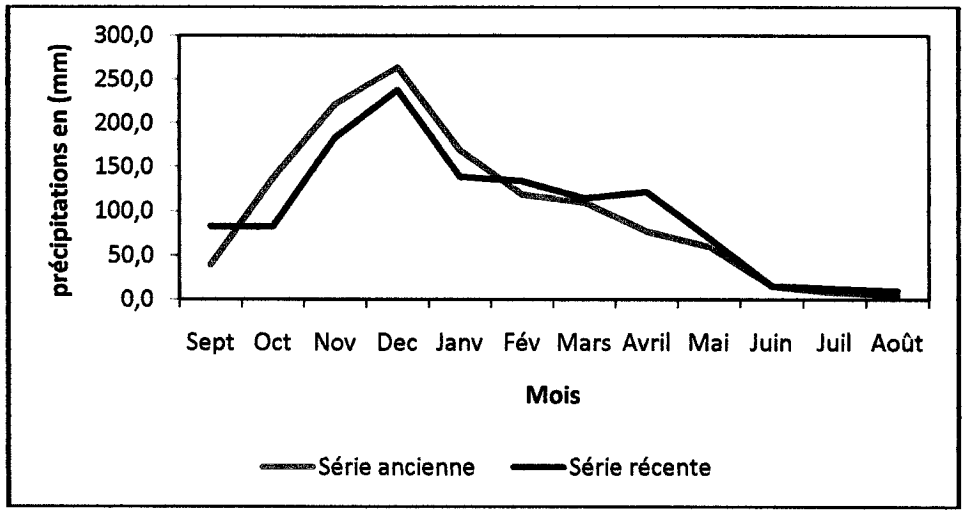


Figure III.3 : Comparaison des variations mensuelles de pluies entre la série ancienne et récente de la station de Texenna

Il y a une diminution des valeurs des précipitations de la série récente dans les mois d'Octobre, Novembre, Décembre et Janvier par rapport à la série ancienne. Au contraire on remarque une augmentation des précipitations au mois Février, Mars, Avril et Mai.

2. Variations saisonnières

2.1. Série ancienne

A partir du ***Tableau III.4,*** on remarque que dans les deux stations, l'ordre est le même, en effet, nous avons du plus fort au plus faible taux de précipitations la succession suivante:

-Hiver.
-Automne.
-Printemps.
-Eté.

A partir du *Tableau III.4* on remarque que dans les deux stations (Chedia et Texenna), l'ordre est le même, en effet, nous avons du plus fort au plus faible taux de participations la succession suivante: l'hiver, l'automne, le printemps et l'été.

Tableau III.4 : Taux des précipitations saisonnières (1961-1991)

Station / Saisons	Chedia P(%)	Texenna (%)
Hiver	**52.7 %**	**45.0 %**
Automne	**30.2 %**	**32.5 %**
Printemps	**15.2 %**	**20.1 %**
Été	**1.9 %**	**2.3 %**
Total	**100 %**	**100 %**

2.2. Série Récente

Le *Tableau III.5* montre la réparation saisonnière des précipitations de la série récente concernant la station de Texenna et Chedia (2001-2011)

Tableau III.5 : Taux de participation des saisons dans les hauteurs des pluies annuelles, Station de Texenna et Chedia (2001-2011)

Station / Saisons	Chedia P(%)	Texenna (%)
Hiver	**46.84 %**	**42.4 %**
Automne	**27.88 %**	**28.92 %**
Printemps	**22.41 %**	**25.41 %**
Été	**2.83 %**	**3.26 %**
Total	**100 %**	**100 %**

A partir de ce tableau on constate que :

- L'hiver reste la saison la plus pluvieuse avec des taux de 46.84% pour Chedia et 42.4% pour Texenna.
- L'été reste la saison la moins pluvieuse avec des taux de 2.83% pour Chedia et 3.26% pour Texenna

2.3. Comparaison entre les deux séries

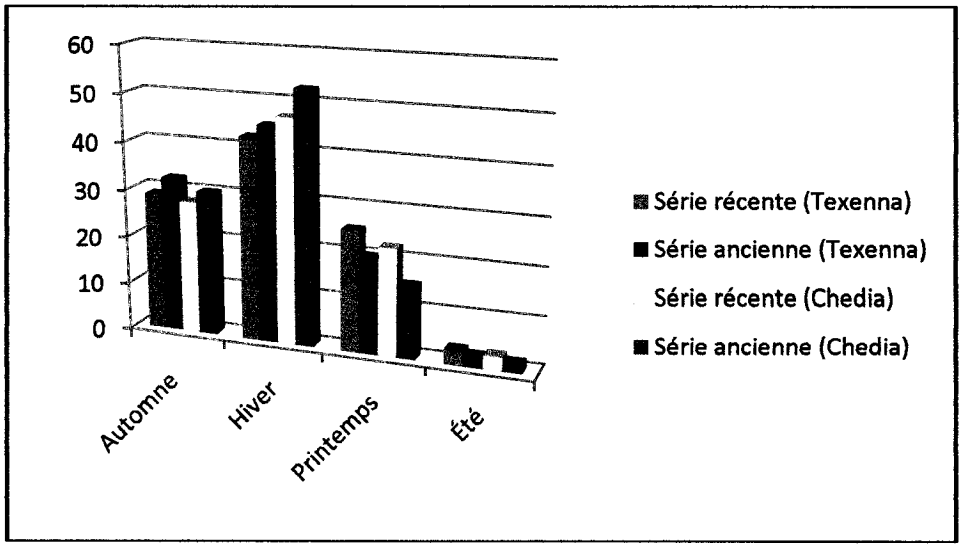


Figure.III.4 : Comparaison des variations saisonnières de la série ancienne et récente des stations de Texenna et Chedia.

A partir de la *Figure.III.4* on constate qu'il existe une **migration aux niveaux des saisons** dans les taux des précipitations des saisons dans les pluies annuelles :

- Diminution du taux d'Hiver dans la série récente par rapport à l'ancienne (de 45% à 42.4% à Texenna et de 52.7% à 46.86% à Chedia).
- Diminution du taux d'Automne dans la série récente par rapport à l'ancienne (de 32.5% à 28.92% à Texenna et de 30.2% à 27.88% à Chedia).
- Augmentation des taux dans les séries récentes par rapport à l'ancienne station dans les autres saisons.

3. 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 taux pluviométriques journaliers ou mieux encore des averses.

Selon les hydrologues, l'averse torrentielle s'identifie aux averses qui donnent une hauteur d'eau de **30 mm** ou plus en 24 heures. Ce caractère est relatif car il exprime l'intensité moyenne en 24 heures.

Tableau III.6 : Nombres de jours des pluies "torrentielles" (P.Seltzer, 1913/1938)

	Répartition Annuelle												Total
Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	
Nombre des pluies torrentielles par mois	17	27	40	55	64	52	26	31	21	5	0	2	340

	Répartition des intensité (mm / 24 h)			
Intervalle d'intensité	30 - 50 (mm)	50 - 70 (mm)	70 - 100 (mm)	> 100 mm
Nombre des pluies torrentielles	231	75	31	3
Hauteur max. obs. (mm / 24h)	133			

Le *Tableau III.6* montre que :

- les mois de Décembre et Janvier étant les plus pluvieux de la région dont 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.
- la classe d'intensité la plus représentative des pluies torrentielles dans notre région est entre 30 et 50 mm, avec un nombre de 231 pluies.
- la hauteur maximale observée en 24 heures est de l'ordre de 133 mm.

b) Précipitations solides

1. Neige :

L'importance de la neige réside dans le fait qu'elle imbibe le sol d'une façon continue et le laisse s'humecter profondément pendant la période de fusion ; l'enneigement se fait seulement au début de l'hiver sur les hautes altitudes de Texenna **(800 m)**.
L'altitude exerce donc une influence prépondérante sur les chutes de neige.Ainsi, nous avons d'après P.Seltzer le tableau suivant :

Tableau.III.7 : Répartition de la neige (P.Seltzer, 1946).

Enneigement / Neige	Nombre de jours où il a neigé.	Nombre de jours d'enneigement.
Texenna	3	2

Jusqu'à 1500 mètres 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.

2. Grêle :

Tableau.III.8 : 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

La **grêle** se forme dans les orages particulièrement forts lorsque l'air est très humide et que les courants ascendants sont puissants. D'après le ***Tableau.III.8,*** on constate que les épisodes de grêle les plus fréquents sont connus en hiver.

3. Gelée blanche :

En plus des anciennes données de **P.Seltzer (1946),** nous avons pour les stations de Taher (port et aéroport Ferhat Abbés) une série des données plus récente.
Nous donnons dans le ***Tableau.III. 9*** (extrait des travaux réalisés par **Tekkouk (2005)**) toutes les données relatives à la gelée blanche à la station de Texenna.

La gelée est fréquente dans notre région d'étude. On remarque qu'elle s'accroît avec l'altitude. Elle vaut 2,1 à 5,95 à Jijel, et atteint 9 jours par an à Texenna

Tableau.III. 9 : Nombre moyen des jours de la gelée blanche (P.Seltzer.1913/1938).

Stations / Mois	Texenna
	Données de P.Seltzer 1913/1938
Septembre	0,0
Octobre	0,1
Novembre	0,3
Décembre	2,1
Janvier	3,6
Février	1,9
Mars	0,6
Avril	0,4
Mai	0,0
Juin	0,0
Juillet	0,0
Août	0,0
Moyenne Annuelle	**9,0**

Ce tableau montre que la gelée blanche est plus importante pendant les mois de décembre, janvier et février. Durant cette période, elle peut présenter un apport d'eau supplémentaire à la pluie.

III.2.1.2.2 Températures

La température est un facteur ayant une grande influence sur l'évapotranspiration et de ce fait elle joue un rôle important dans le comportement des sols vis-à-vis des eaux météoriques.
Le tableau ci-dessous donne la répartition mensuelle de la température pour la période récente (2001-2011).

Tableau III.10 : Données des Températures moyennes mensuelles (Station Texenna, période 1996/2006).

Station	Température (°C)												
	Sep	**Oct**	**Nov**	**Déc**	**Jan**	**Fév**	**Mar**	**Avr**	**Mai**	**Jui**	**Jul**	**Aou**	**Total**
Station de texenna	23.57	21.04	16.09	11.72	11.43	11.85	13.59	16.21	19.17	23.24	26.36	26.44	18.37
	20.23			11.67			16.32			25.35			
	Automne			Hiver			Printemps			Eté			

Le tableau indique que la saison la plus froide est l'hiver avec une valeur de température moyenne saisonnière de (11.67°C) et par contre l'été représente la saison la plus chaude avec une valeur de température moyenne saisonnière de (25.35°C).

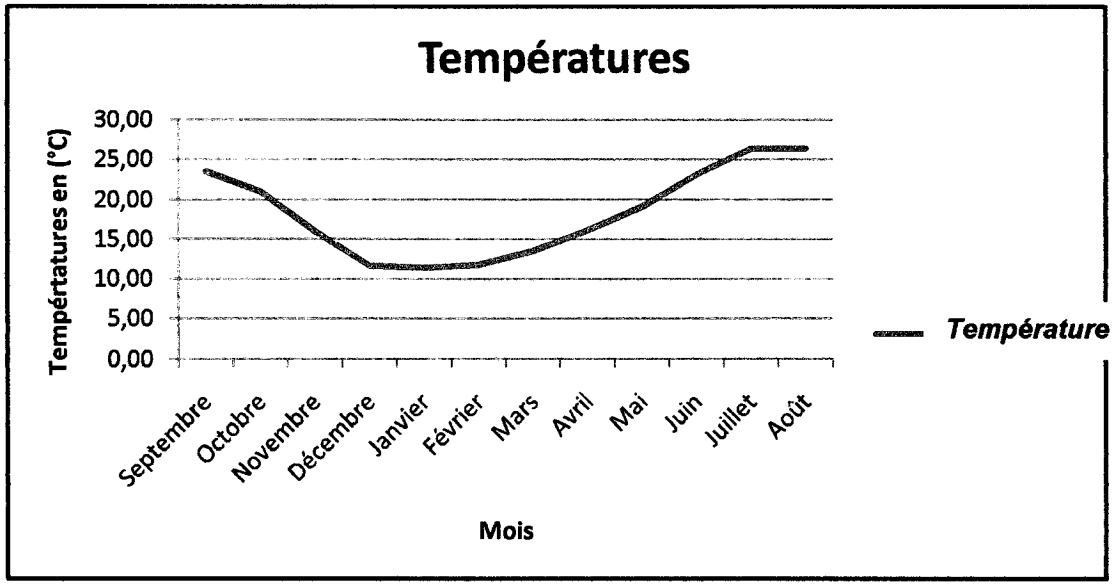


Figure. III.5 : Données des Températures moyennes mensuelles (Station Texenna, période 2001/2011)

III.2.1.2.3 Synthèse climatique

III.2.1.2.3.1 Diagramme ombrothermique

Un diagramme ombrothermique est un type particulier de diagramme climatique représentant les variations mensuelles sur une année des températures et des précipitations selon des gradations standardisées : une gradation de l'échelle des précipitations correspond à deux gradations de l'échelle des températures **(P = 2T)**. Il a été développé par ***H.Gaussen*** et ***F.Bagnouis*** pour mettre en évidence les périodes de sécheresse définies par une courbe des précipitations se situant en dessous de la courbe des températures. Ces diagrammes permettent de comparer facilement les climats de différents endroits d'un coup d'œil du point de vue pluviosité.

Tableau.III.11 : Paramètres du diagramme Ombrothermique (Station de Texenna, période 2001/2011)

Station de Texenna [2001-2011]												
Mois	**S**	**O**	**N**	**D**	**J**	**F**	**M**	**A**	**M**	**J**	**J**	**A**
P (mm)	82.97	81.90	183.45	237.96	138.73	133.89	114.17	121.97	69.96	16.05	12.80	10.41
T (°C)	23.57	21.04	16.09	11.72	11.43	11.85	13.59	16.21	19.17	23.24	26.36	26.44

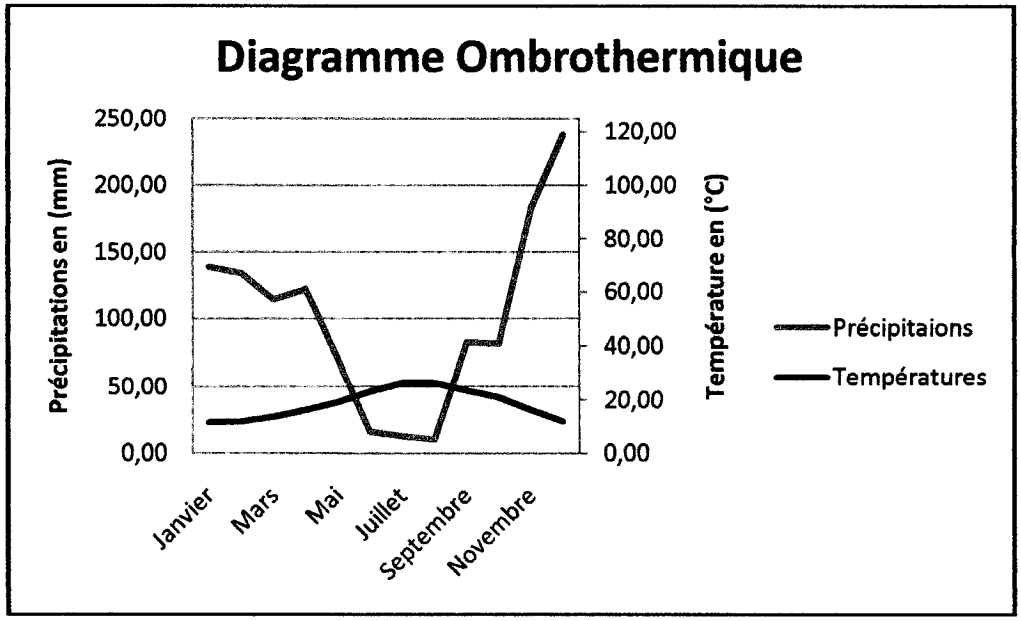


Figure.III.6 : Diagramme Ombrothérmique de la station de Texenna (Période 2001/2011).

A partir de ce diagramme on constate que la période de **sécheresse** s'étale entre la fin du **Mai** et le début de **Septembre**.

III.2.1.3 Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite

L'établissement du bilan hydrologique selon **Thornthwaite** est primordial pour l'évaluation des réserves d'eau transmises ou emmagasinées dans une région. Il est exprimé par la formule suivante :

$P = ETR + R + I + Wa$

Avec :

P : Précipitations moyennes annuelles en mm

ETR : Evapotranspiration réelle en mm

R : Ruissellement en mm

I : Infiltration moyenne en mm

Wa : Variation des réserves (terme souvent négligeable)

III.2.1.3.1 Calcul de l'évapotranspiration

L'évapotranspiration est un transfert de l'eau de la terre vers l'atmosphère par évaporation des eaux de surface et du sol et par transpiration de la végétation.

a) Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP)

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

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

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

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

Où : T : température moyenne mensuelle exprimé en °C.

K : facteur de correction mensuelle.

I : indice thermique annuel égal à :

$I = \sum_{i=1} i$ avec: $i = (T/5)^{1.514}$ i : indice thermique mensuel.

a : exposant climatique défini ainsi: $a = 0.016(I) + 0.5$

$ETP_C = ETP.\ K$

Avec : ETP_C : évaporation potentielle mensuelle corrigée.

D'après les données du tableau suivant on trouve que : **a=1.9252**

Tableau.III.12 : Résultats de calcul de l'évapotranspiration potentielle (Station de Texenna, période 2001/2011)

Station de Texenna, (2001/2011)													
Mois	**SEP**	**OCT**	**NOV**	**DEC**	**JAN**	**FEV**	**MAR**	**AVR**	**MAI**	**JUI**	**JUIL**	**AOUT**	**Tot-annuel**
T°C	23,57	21,04	16,09	11,72	11,43	11,85	13,59	16,21	19,17	23,24	26,36	26,44	220.71
I	10,45	8.80	5.86	3,63	3,49	3.69	4.54	5.93	7.64	10.23	12.38	12.44	89.08
ETP non Corrigé (mm)	104.16	83.70	49.94	27.13	25.85	27.71	36.08	50.66	69.97	101.37	129.19	129.95	835.71
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 Corrigé (mm)	107.28	81.18	42.94	22.78	22.48	23.55	37.16	55.72	84.66	123.67	160.19	150.74	**912.35**

b) Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR)

L'Evapotranspiration réelle désigne la quantité d'eau réellement perdue sous forme de vapeur d'eau par le couvert végétal **L'ETR** traduit l'ensemble des interactions: sol, plante, climat.

1. Calcul de l'ETR

Pour calculer **l'E.T.R** on utilise la méthode de **Thornthwaite** :

1) Si les précipitations du mois (P) sont supérieures à l'évapotranspiration potentielle : L'évapotranspiration réelle est égale à l'évapotranspiration potentielle.
2) Si les précipitations du mois (P) sont inférieures à l'évapotranspiration potentielle on a deux cas :
   a) Si P + RU > ETP ⇒ ETR = ETP
   b) Si P + RU < ETP ⇒ ETR = P+RU

2. Calcul du déficit agricole (DA)

Le déficit d'eau (water deficiency) que l'on appelle parfois le déficit agricole égale à la différence entre l'évapotranspiration potentielle et l'évapotranspiration réelle.

$$DA = ETP - ETR$$

Il représente la quantité d'eau supplémentaire qui aurait pu être utilisée par les plantes (et les sols) si les disponibilités en eau avaient pu être artificiellement complétées par un système d'irrigation.

III.2.1.3.2 Renseignements du bilan hydrologique de Thornthwaite

Tableau.III.13 : Résultats de calcul de l'évapotranspiration réelle (Station de Texenna, période 2001/2011)

Station de Texenna (2001-2011)													
Mois	**S**	**O**	**N**	**D**	**J**	**F**	**M**	**A**	**M**	**J**	**J**	**A**	**Tot-Annuel**
P	83.0	81.9	183.4	**238.0**	138.7	133.9	114.2	122.0	70.0	16.1	12.8	**10.4**	**1204.3**
ETP Corrigé (mm)	107.28	81.18	42.94	22.78	22.48	23.55	37.16	55.72	84.66	123.67	**160.19**	150.74	**912.35**
P-ETP (mm)	-24.28	0.72	140.46	215.22	116.22	110.35	77.04	66.28	-14.66	-107.57	-147.39	-140.34	
RU (mm)	0	0	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	
ETR (mm)	83.0	81.9	42.94	22.78	22.48	23.55	37.16	55.72	70.0	16.1	12.8	10.4	**478.83**
DA (mm)	24.28	0.72	0	0	0	0	0	0	14.66	107.57	147.39	140.34	**434.96**
WS (mm)	0	0	140.46	215.22	116.22	110.35	77.04	66.28	0	0	0	0	**725.57**

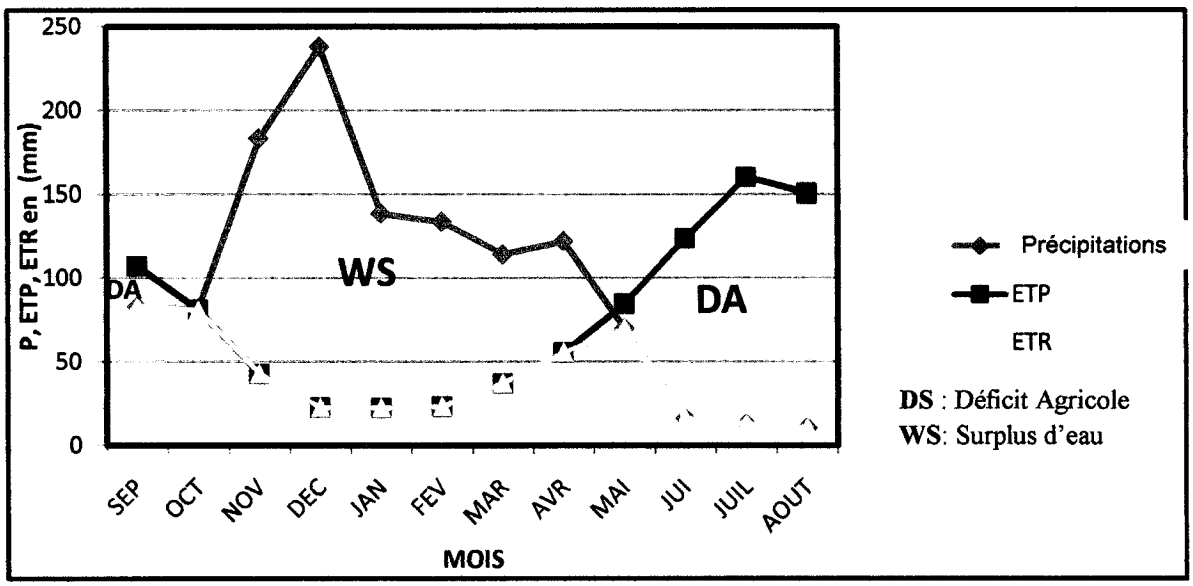


Figure.III.7 : Bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite de la période (2001-2011), [Station de Texenna]

D'après la *Figure.III.7* on peut tirer les remarques suivantes :

- Les hauteurs de précipitations atteignent leur maximum ou l'ETP atteint son minimum.
- En Juillet où les hauteurs de précipitations atteignent leurs minimums
- Le déficit agricole s'étale au long de la période sèche de l'année.
- La constitution de la RU s'étend du Novembre à Mai.
- Les écoulements deviennent important à partir du mois de Novembre jusqu'au moi de Mai

III.2.1.3.3 Ruissellements et infiltration

a) Ruissellement (R)

Habituellement, la formule de Tixeront Berkaloff est la plus utilisée en Algérie, pour estimer empiriquement le ruissellement, mais dans notre cas cette formule n'est pas applicable, vu que les précipitations sont supérieures à 600 mm/an. Pour cela, nous tentons d'estimer le ruissellement par la formule de D.G.R.E. (Direction Générale Des ressources en eau Tunisienne) et élaborée par A.GHORBEL et appliquée pour l'extrême Nord Tunisien. Cette dernière formule a été aussi appliquée pour la région de Séraïdi wilaya d'Annaba.

Pour résoudre ce problème, **A.Ghourbel** a tenté une corrélation entre le pourcentage cumulé des formations de quaternaire et des alluvions et l'écart entre lame d'eau ruisselée observées, celle calculée par la formule caractérisant le deuxième groupe (Re = 0.26 P)
Cette corrélation peut améliorer l'estimation du ruissellement en faisant une correction des valeurs calculées. Les corrections des lames d'eaux écoulées à partir de cette corrélation sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau III.14 : Valeurs des corrections (C) des lame écoulées (Re) Re = 0.26P + C

Quaternaire et alluvions %	0	1-2	3-5	5-7	7-22	22-26	26-30	>30
C	+150	+120	+80	+40	+6	-20	-30	-80

Dans notre région d'étude, nous avons estimé que les alluvions et le quaternaire présentent environ 1 à 2%. Cela implique que la formule qui sera utilisée dans notre cas pour estimer le ruissellement est la suivante :
R = 0.26 P + 120 ⇒ R = 0.26 * 1204.3 + 120
R=433.11 mm/an ⇒ Donc : **35.96%** des précipitations

b) La lame infiltrée (I)

La lame infiltrée Représente la quantité d'eau absorbée par le sol et le sous-sol, pour constituer l'eau de rétention, des eaux souterraines et des écoulements souterrains, et reconstitution des réserves souterraines. A partir de la formule du bilan hydrologique :
P = ETR + R + I
I = P – (ETR + R) ⇒ I= 1204.3 – (478.83 + 433.11)
I=292.35 mm
Donc : **24.27 %** des précipitations.

III.2.1.3.4 Interprétation du bilan hydrologique

L'observation des données du tableau hydrologique précédent (***Tableau.III.13***) et les résultats de la courbe du bilan hydrologique (***Figure.III.7***) permet d'en déduire les résultats suivants :

- Les précipitations atteignent leurs maximums au mois de Décembre (**238.0 mm**), Période durant laquelle l'évapotranspiration potentielle (ETP_C) atteint son minimum au mois de Janvier (22.48mm).
- L'évapotranspiration potentielle (ETP_C) atteint son maximum (**160.19 mm**) au cours de la période sèche, plus précisément au mois de juillet (plus le climat est sec plus l'ETPC est importante).
- L'excédent d'eau est rédigé de mois d'Novembre jusqu'à le mois d'Avril .L'accroissement du volume d'eau durant cette période (saturation du sol) dont le rapport de ruissèlement au niveau de

station Texenna est de l'ordre de **35.96%** des précipitations, ainsi que l'infiltration et de l'ordre de **24.27 %** des précipitations.

- Le déficit agricole s'étale sur la durée sèche de l'année, de la fin de Mai jusqu'à la mi-octobre.

III.2.2 Contexte hydrogéologique

La perméabilité des différentes formations existantes dans notre région d'étude est donnée dans le tableau ci-dessous, extrait Des travaux de M. Tekkouk (2005), vu la ressemblance de nos formations géologiques :

Tableau III.15 : Perméabilité des différentes formations de la région d'étude

Formations lithologiques		Perméabilité
Superficielle	Argiles, limons	Impérmeables
	Argile, sable + bloc	Semi-perméables
	Argiles + sables	Imperméables
	Alluvions	Perméabilité d'interstice
Profonde	Grés	En grand + interstice
	Schistes	Semi-perméables
	Marnes, argile	Imperméables
	Poudingues, brèches	Semi-perméables

Deux unités hydrogéologiques ou systèmes aquifères bien nets peuvent être distinguées :

a) Système aquifère amont

Il s'agit de réservoir qui constitue toute la partie amont du bassin versant. Il est constitué par toutes les formations des Olistostromes, du socle Kabyle et les formations de type flysch.

Ce type de réservoir se caractérise essentiellement par la perméabilité en grand de ses différentes formations.

L'abondante fracturation (macrofissures, microfissures et diaclases) et les joints de stratification des différentes formations géologiques assurent un rôle hydrologique très important. Ils peuvent en certains endroits provoquer des pertes.

b) Système aquifère aval

On peut aussi l'appeler réservoir à porosité inter-granulaire ou d'interstice, plaine ou nappe alluviale tout simplement.

Il englobe toute la partie avale du bassin. Les formations qui le constituent sont essentiellement de nature détritique (consolidées ou non) et que nous avons regroupé (pour l'essentiel) sous l'appellation de formations superficielles.

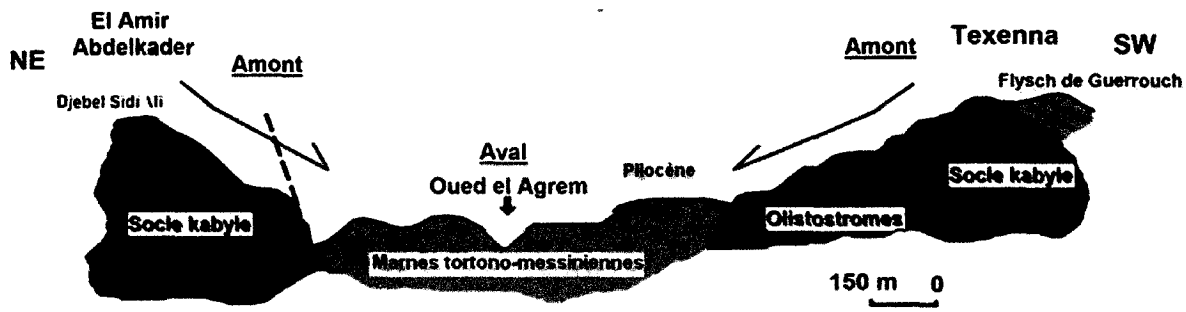


Figure.III.8 : Relation Amont -aval des systèmes aquifères du sous bassin versant d'El Agrem.

Deuxième partie

4. Etude géophysique
5. Etude géotechnique
6. Etude de stabilité

IV. Etude Géophysique

جامعة جيجل
مكتبة الكلية
كلية العلوم الدقيقة وعلوم الطبيعة والحياة

IV.1 Introduction

La compagne de prospection géophysique électrique est une technique non destructive très répondue en géologie de l'ingénieur, elle permet une investigation rapide et peu coûteuse d'un grand volume de sols et elle est capable de caractériser différents sols des surfaces étendues, éventuellement de détecter les variations latérales et horizontales à l'échelle du site. La prospection électrique devienne alors un outil extrêmement puissant pour optimiser les campagnes de forage et réduit leur coût des ouvrages.
Le bureau d'étude ***Géo-Sol*** a effectué (36) Sondages Electriques Verticaux (SEV) de type Schlumberger sur le site du P.O.S étudie.

IV.1.1 Principe du sondage électrique

La prospection électrique est une méthode géophysique classique s'appuyant sur la mesure de la résistivité électrique du sol. Elle permet de déterminer la résistivité du sous-sol à partir de mesures effectuées en surface.

Le bureau d'étude ***Géo-Sol*** a utilisé dans cette investigation un dispositif Schlumberger (Figure IV.1).La profondeur d'investigation dépend de la longueur d'émission *AB* qui n'est autre que l'écart entre les électrodes *A* et *B* d'émission du courant électrique continu. Elle reste évolutive durant les opérations d'acquisition tout en n'excèdent pas sa valeur maximale qui est de 400 à 600 m. La distance entre les électrodes de réception *M* et *N* est variable elle doit être égale ou inferieur à AB\5 ce qui explique que cette dernière restera faible comparativement aux électrodes A et B.

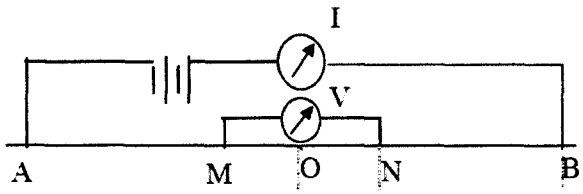


Fig. IV.1 : Dispositif de mesure de Schlumberger

La source d'énergie est assurée par une batterie permettant l'émission d'un courant continu à travers les électrodes *A* et *B*. La mesure de la résistance (Ω) du sous-sol, traversé par des filets de courant, au centre des électrodes *M* et *N* on mesure une différence de potentiel V qui nous permettra par la suite de calculer la résistivité apparente des différents terrains grâce à la relation :

$$\boxed{\rho = K\frac{\Delta V}{I}}$$

Avec :

K : Coefficient qui dépend de l'espacement entre A B et M N,
V : Différence de potentiel électrique (Milli-Volt),
I : Intensité du courant (Milli-Ampère).

IV.1.2 Appareillage utilisé

L'équipement géophysique utilisé pour mesurer la résistivité apparente du sous-sol est composé de:

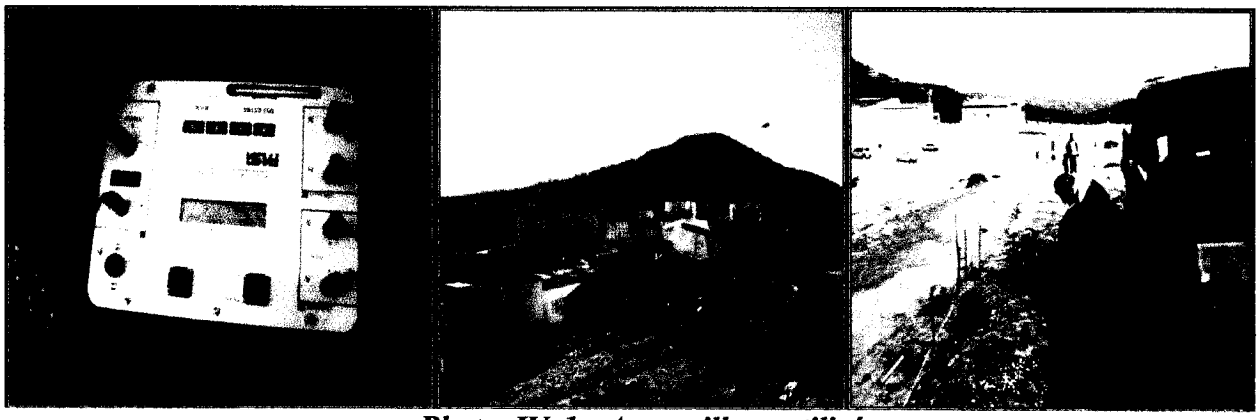


Photo. IV.1 : Appareillage utilisé

- *Un Résistivimètre PASI modèle 16-GL*
- *Booster (batterie)*
- *Des électrodes de courant AB (aciers)*
- *Des électrodes de potentiel MN (cuivre)*
- *Enrouleurs (Câbles) et accessoires*

IV.2 Présentation des résultats

Pour traiter les valeurs des résistivités apparentes, nous avons utilisé le logiciel QWSELN, il permet d'établir des courbes de sondages électriques verticaux des différents dispositifs.

Les résultats obtenus grâce à ces sondages électriques montrent des valeurs plus au moins semblable à ce qui permutera de distinguer deux couches principales de même caractéristiques lithologiques.

Lors de l'interprétation des 36 sondages nous avons mis l'accent sur 4 sondages qu'on a jugés représentatifs de notre zone d'étude.

La figure ci-dessous présente l'implantation des différents sondages électriques verticaux dans notre zone d'étude :

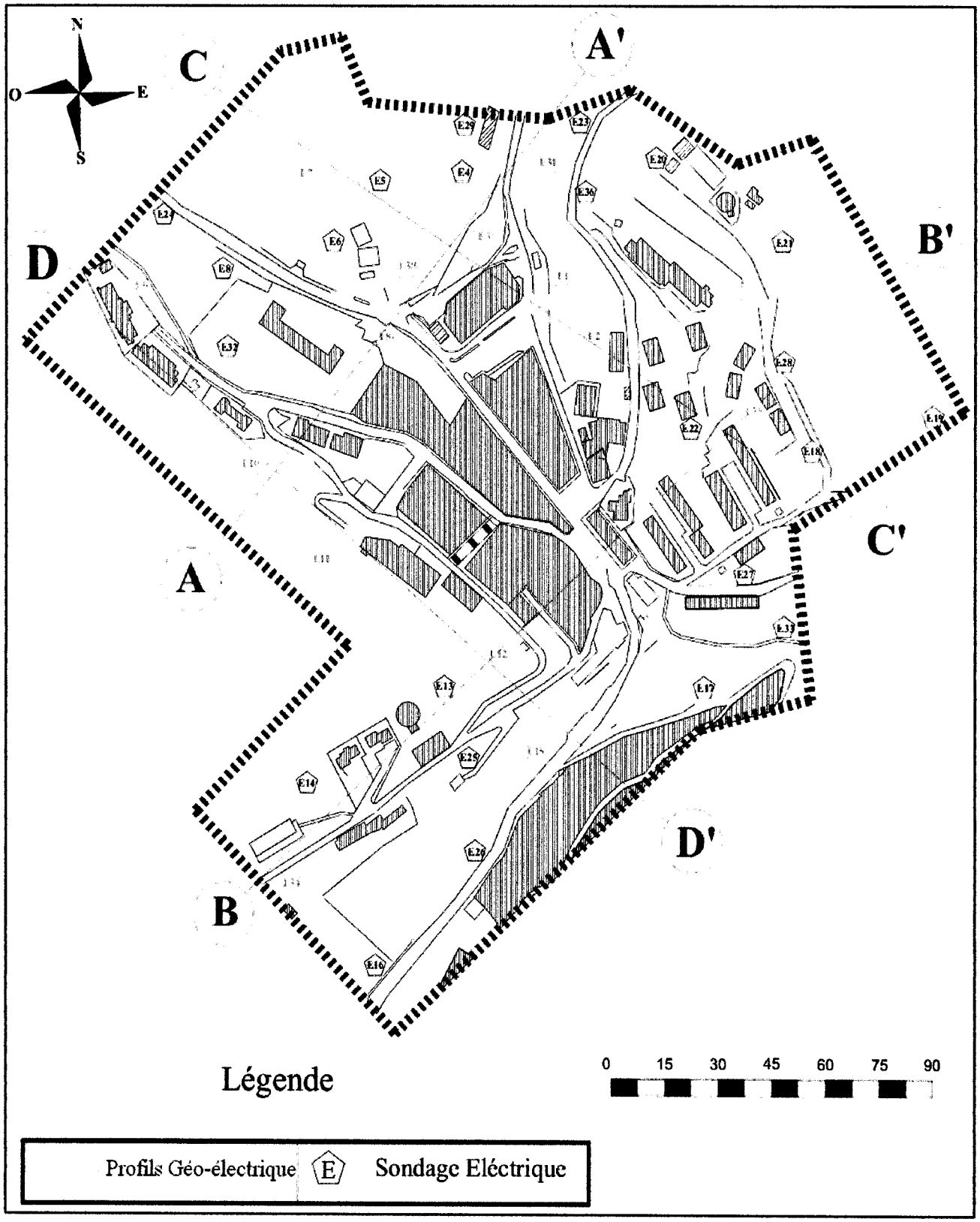


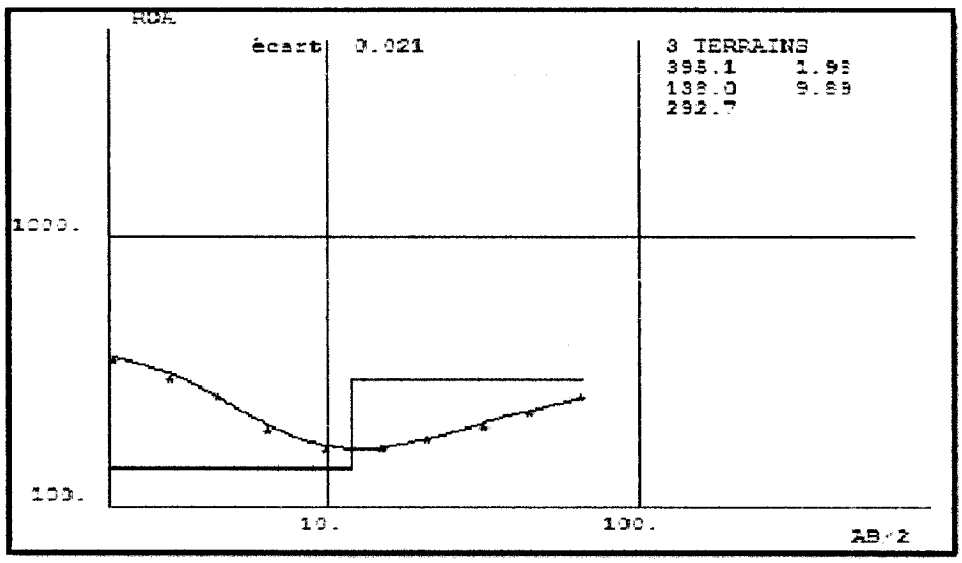
Fig. IV.2 : Carte d'implantation des sondages électriques verticaux

IV.2.1 Interprétation des courbes de sondage électrique

Grâce aux données de la compagne géophysique électrique et l'utilisation du logiciel QWSELN nous avons obtenu les parcours des sondages suivants :

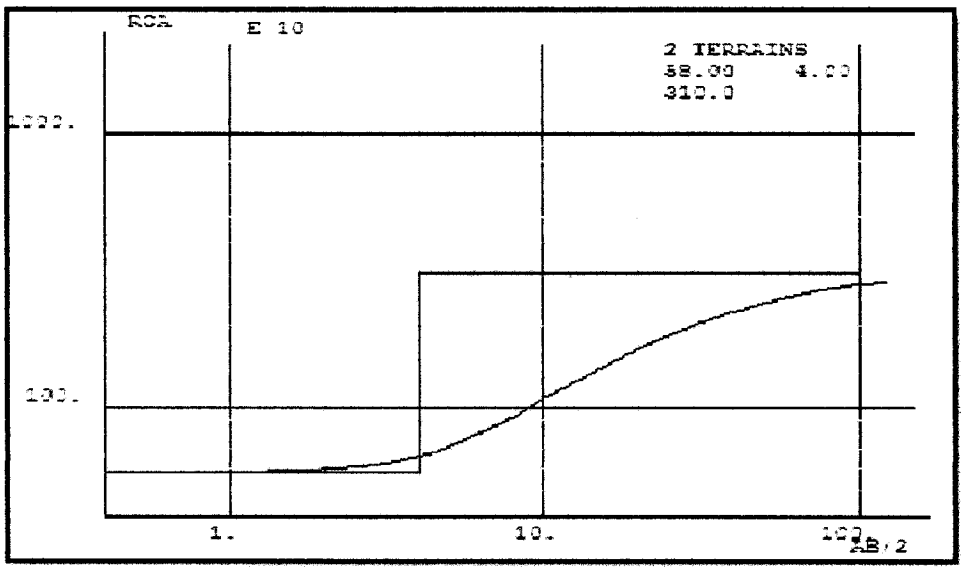
Sondage Parcours (n°01), En se basant sur la forme de la courbe du sondage électrique obtenu et en corrélation avec les résultats des sondages carottés réalisés sur le site d'étude, on a déterminé une structure géologique a trois terrains de moyen résistivité. Cette structure comprend de haut en bas les niveaux suivants :

- Un niveau superficiel d'une résistivité forte de l'ordre de 395 Ω.m, constitué des schistes de l'épaisseur de 2 m.
- Un niveau intermédiaire ayant une résistivité de 138 Ω.m, constitué des schistes altéré, épais de 10 m.
- Et enfin un niveau constitué de schiste avec une résistivité de 290 Ω.m.



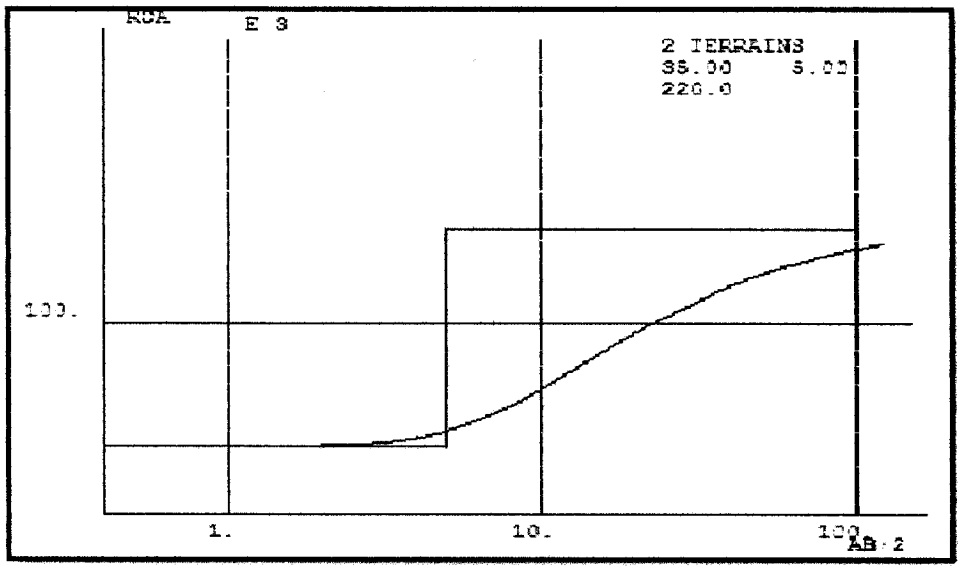
Sondage Parcours (n°02), On relève l'existence d'une structure composée de Deux couches, Elle comprend de haut en bas les niveaux suivants :

- Un niveau superficiel ayant une résistivité de 58 Ω.m constitué de Limon argileux, épais d'environ 4 m,
- Un niveau inférieur ayant une résistivité forte de l'ordre de 310 Ω.m constitué de schiste, dont l'épaisseur est supérieure à 20 m,



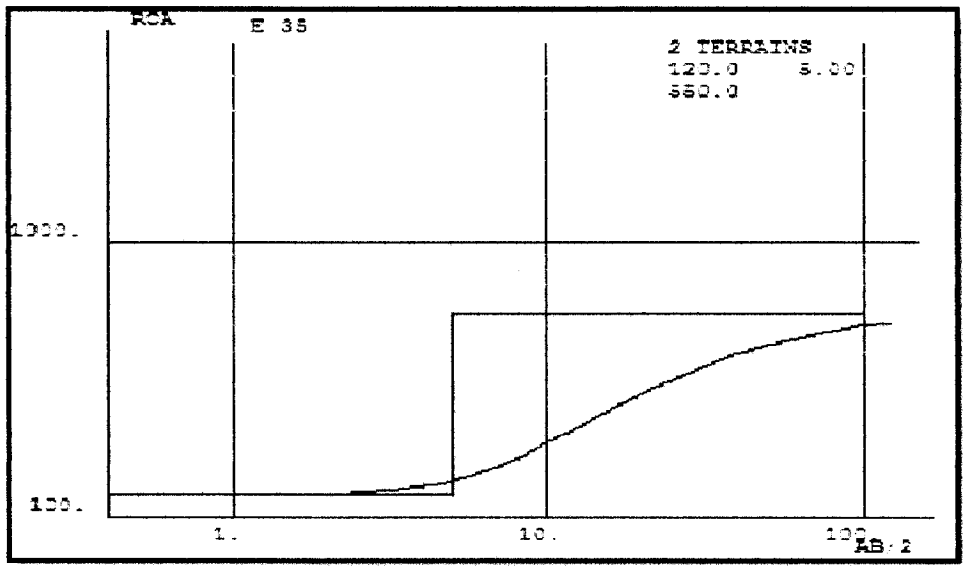
Sondage Parcours (n°03), On relève l'existence d'une structure composée de Deux couches, Elle comprend de haut en bas les niveaux suivants :

- Un niveau superficiel ayant une résistivité de 35 Ω.m constitué de Limon argileux, dont l'épaisseur est de 5 m,
- Un niveau inferieur ayant une résistivité forte de 220 Ω.m constitué de schiste, dont l'épaisseur est supérieure à 20 m,



Sondage Parcours (n°04), On relève l'existence d'une structure composée de Deux couches, Elle comprend de haut en bas les niveaux suivants :

- Un niveau superficiel ayant une résistivité de 120 Ω.m constitué de Limon argileux, dont l'épaisseur est de 5 m,
- Un niveau inferieur ayant une résistivité forte de 550 Ω.m constitué de schiste, dont l'épaisseur est supérieure à 20 m,

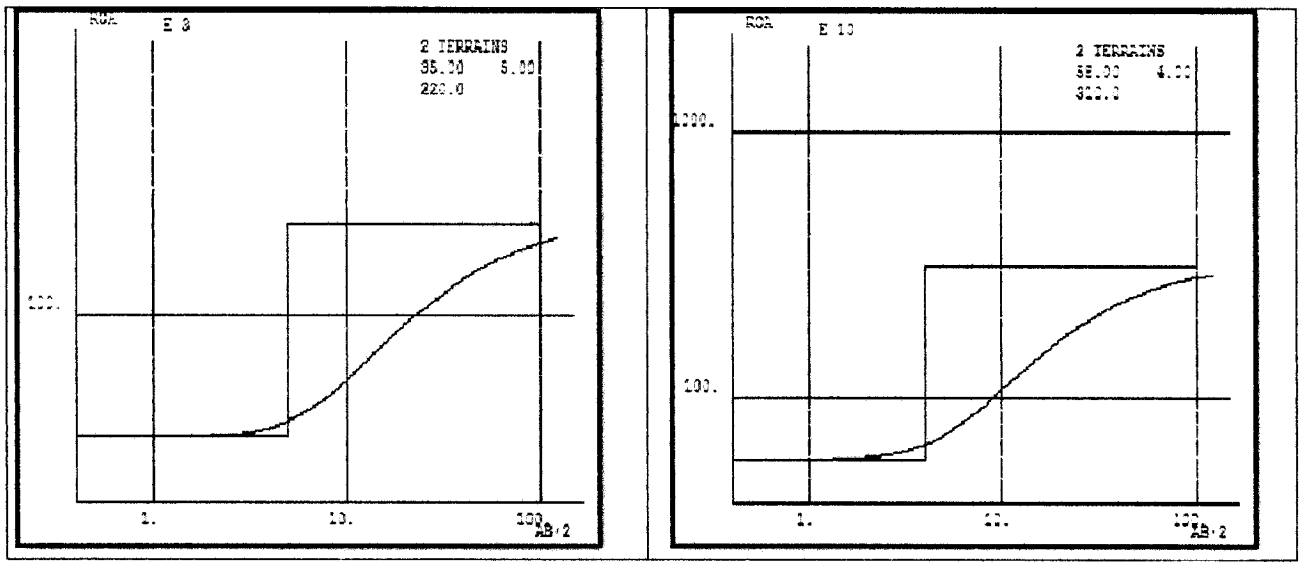


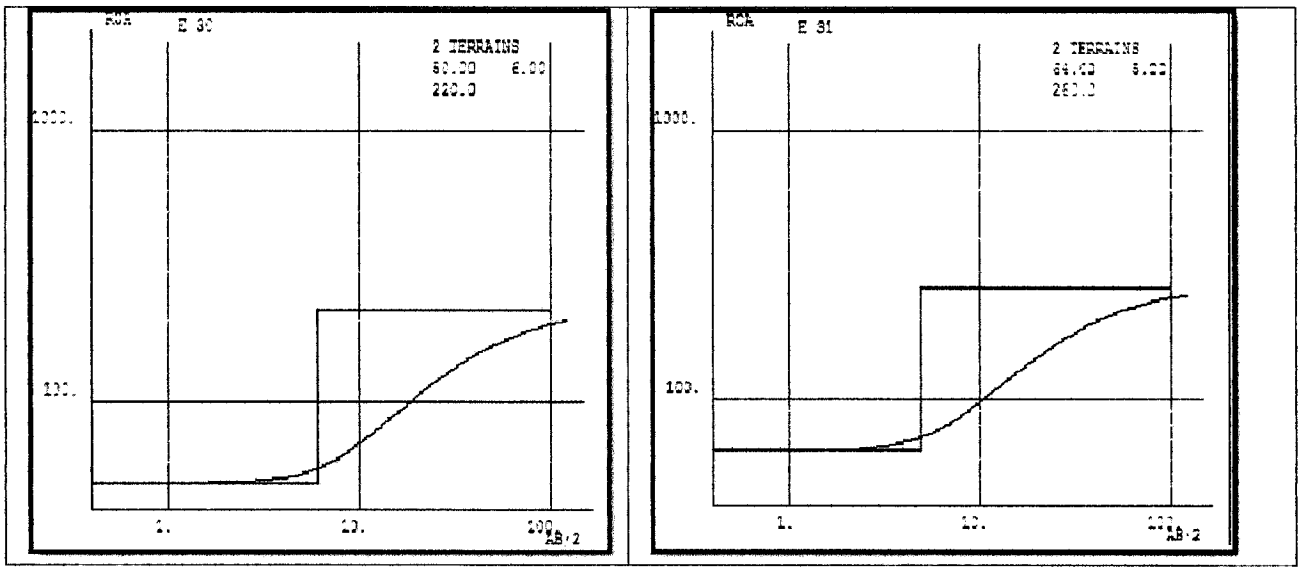
IV.2.2 *Réalisation des profils électriques*

Suite au nombre considérable des sondages électriques verticaux (36) effectués par la compagne géophysique on a choisi (14) sondages pour la réalisation des coupes géo-électriques, par l'utilisation du logiciel COREL DRAW nous avons obtenu (4) coupes qui indiquent la variation de la résistivité apparente dans notre site étudie. Ces coupes sont présentées ci-dessous :

a) La coupe AA'

La coupe AA' a été réalisée suite au traitement des courbes sondages électriques verticaux suivant : **SEV (3, 10, 30, 31)**





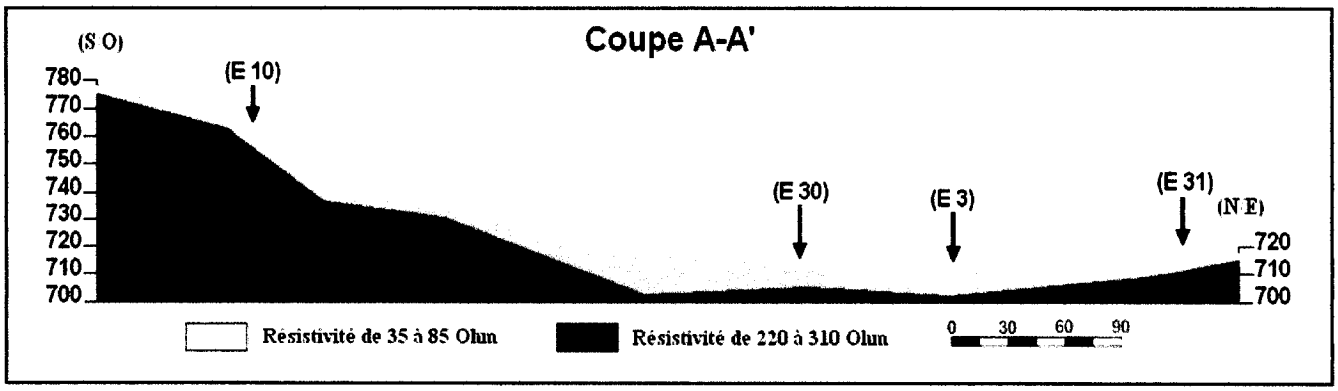
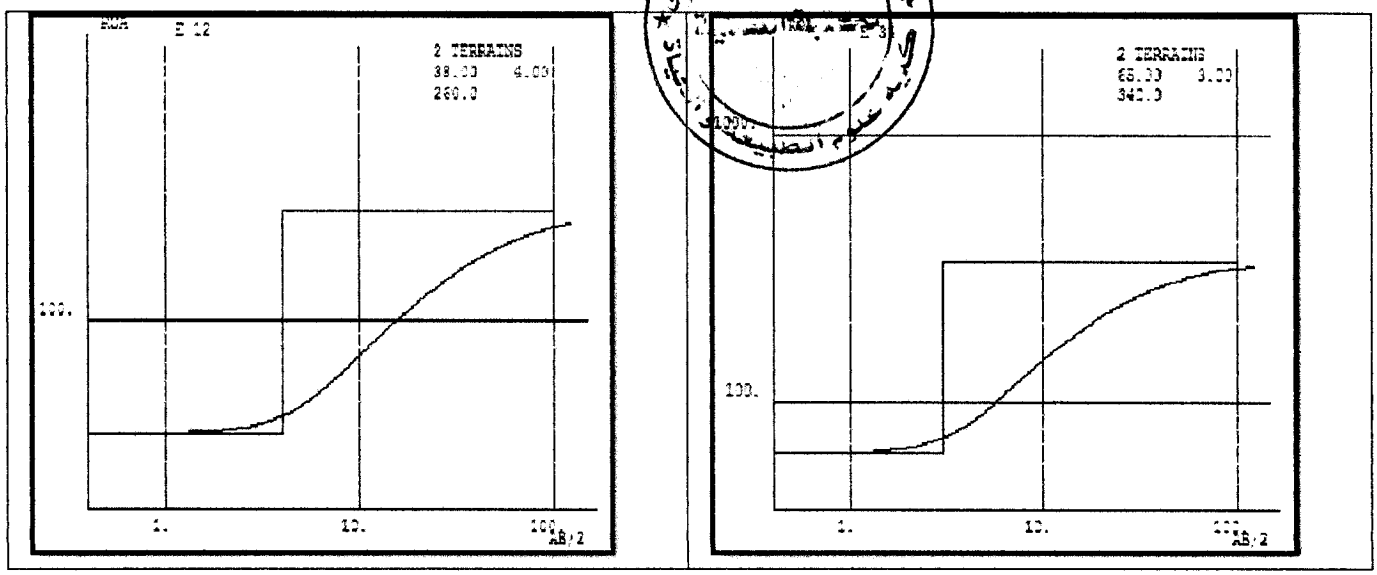


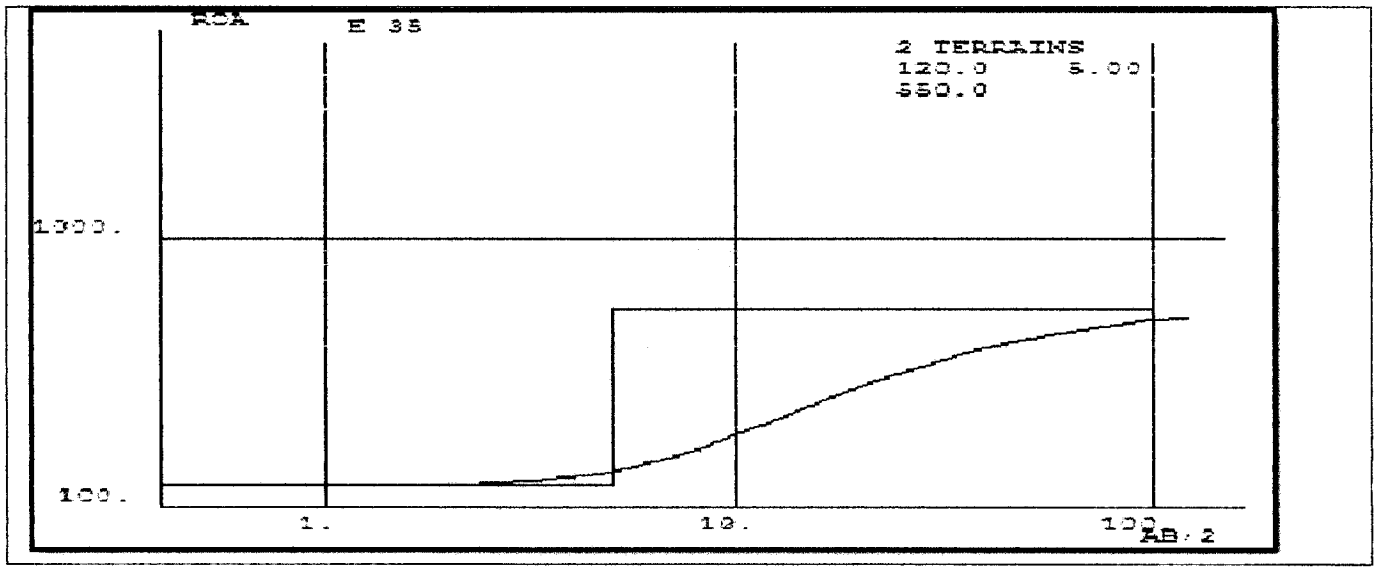
Fig. IV.3 : Coupe Géo-électrique AA'

b) La coupe BB'

La coupe BB' a été réalisée à partir des résultats des résistivités apparentes des sondages électriques verticaux suivants :

SEV (12, 34, 35)





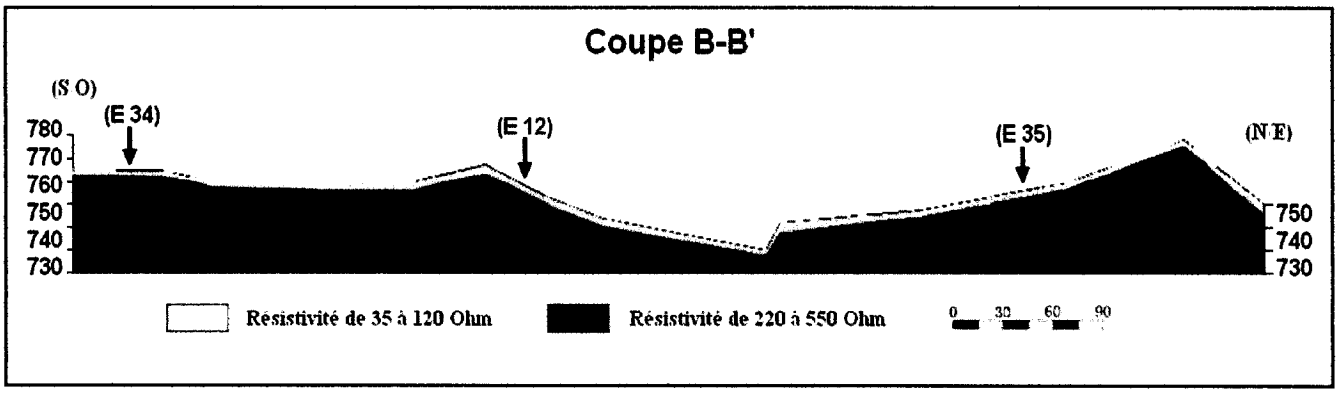
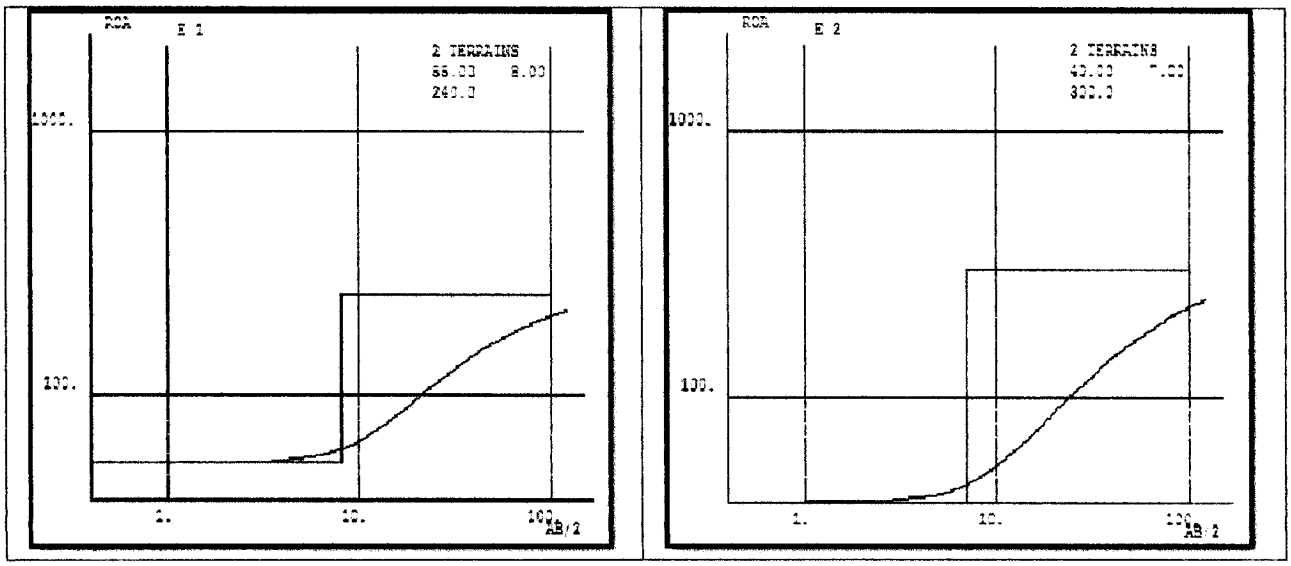


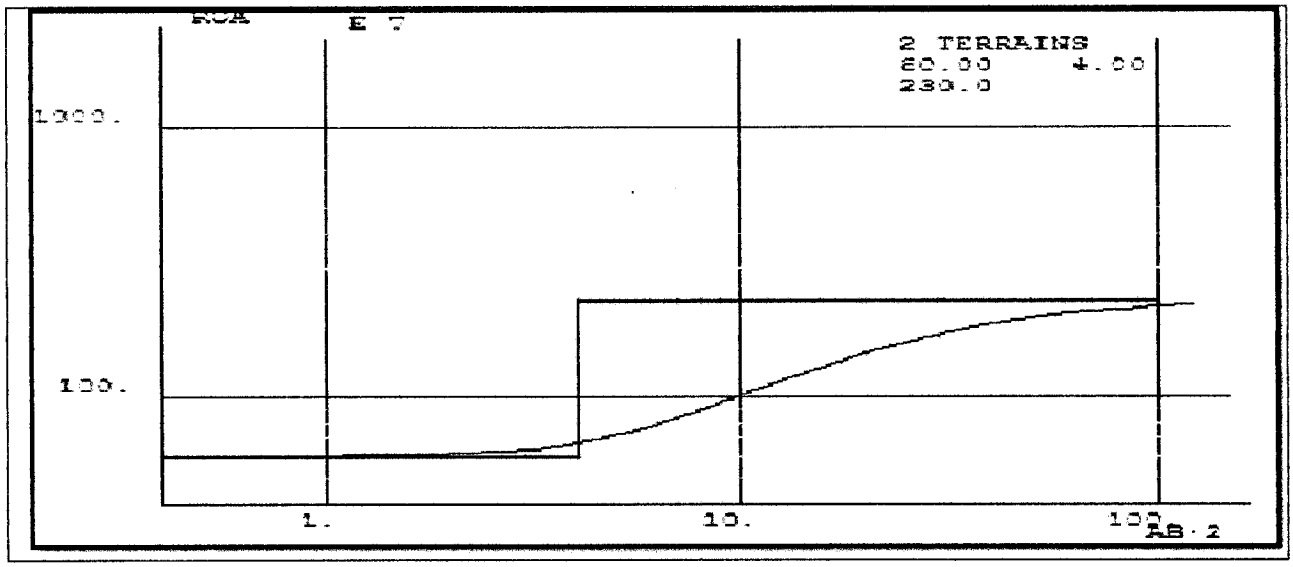
Fig. IV.4 : Coupe Géo-électrique BB'

c) La coupe CC'

La coupe CC' a été réalisée à partir du traitement des courbes des sondages électriques verticaux suivants :

SEV (1, 2, 3, 7, 35)





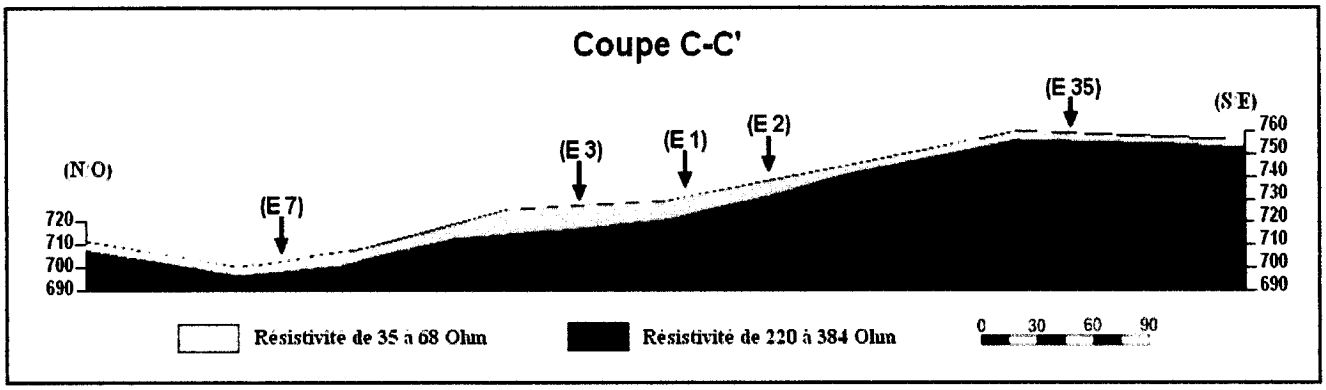
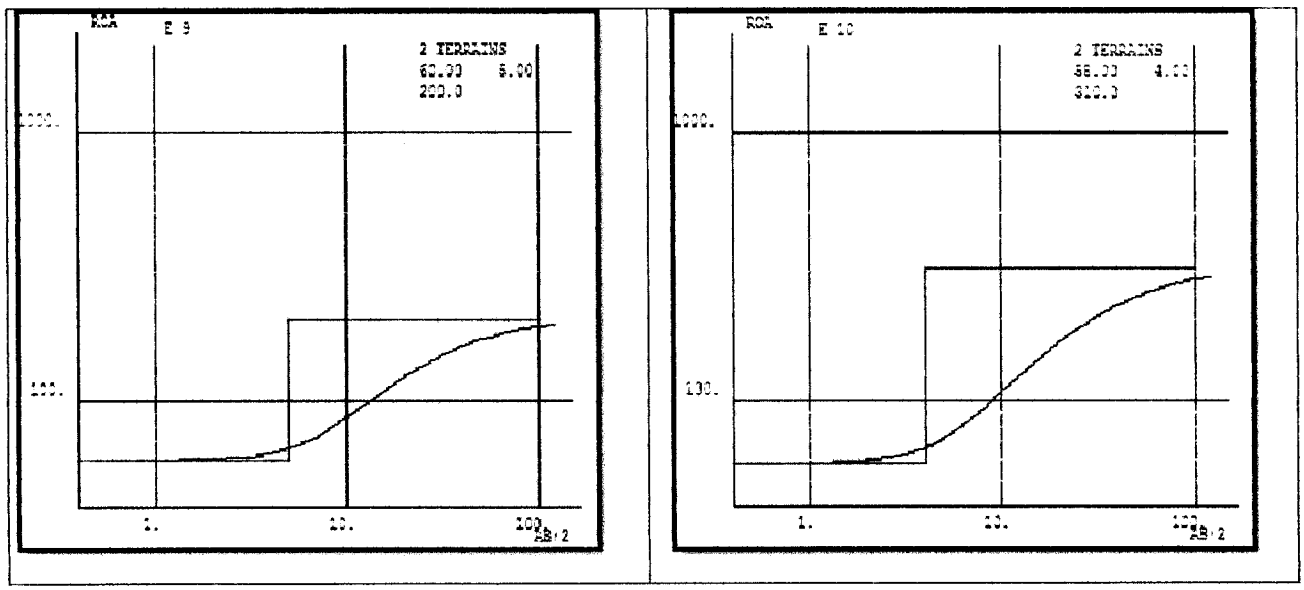


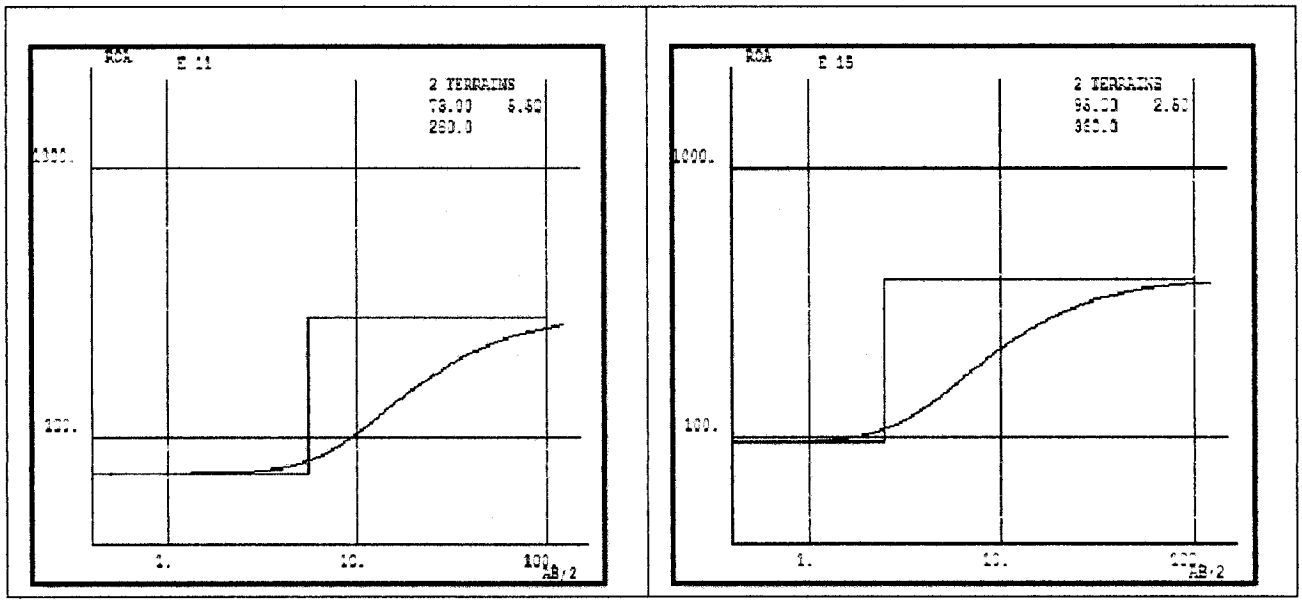
Fig. IV.5 : Coupe Géo-électrique CC'

d) La coupe DD'

La coupe DD' a été réalisée à partir des résultats des résistivités apparentes des sondages électriques verticaux suivants :

SEV (9, 10, 11, 12, 15)





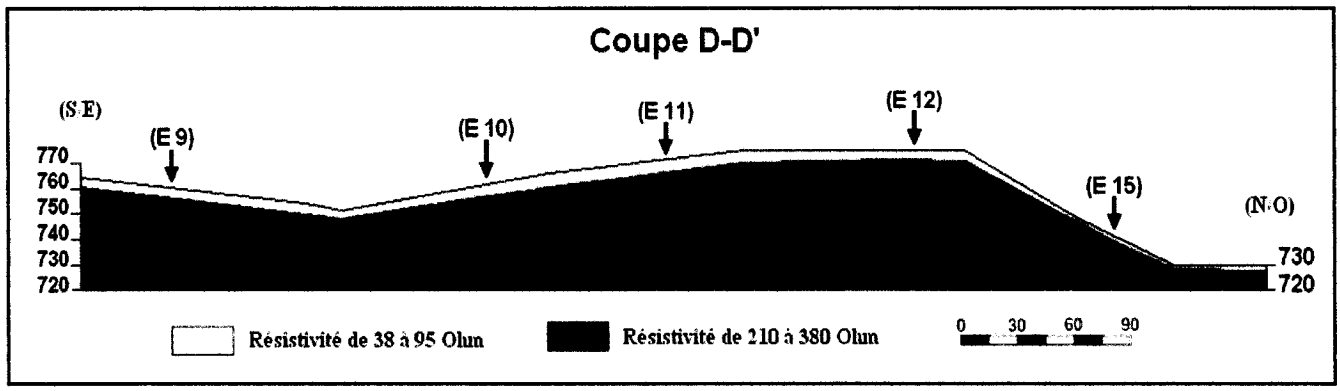


Fig. IV.6 : Coupe Géo-électrique DD'

IV.3 Conclusion

L'examen de l'ensemble des sondages électriques a montré que le site étudié est caractérisé par deux gammes de résistivités :

- La première gamme de résistivité apparente qui comprise entre 35 à 120 Ωm, avec une épaisseur de 1 à 14 mètres, correspond à la formation de limon argileux renfermant des cailloux et de gravillons et des blocs.
- La seconde gamme, atteint des résistivités apparentes de l'ordre de 220 à 550 Ωm, apparaît entre 2 et 20 mètres de profondeur.

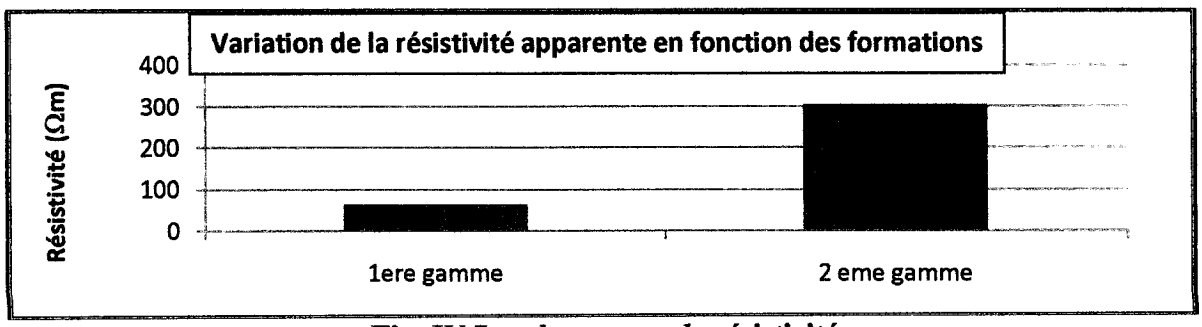


Fig. IV.7 : la gamme de résistivité

V. Etude Géotechnique

V.1 Introduction

Indépendamment, des lois obligeant les maîtres de l'ouvrage publics ou privés à exécuter des études géologiques et géotechnique avant d'entamer la réalisation de l'ouvrage, tout constructeurs doit, dans son propre intérêt, prendre en compte la nature du sous-sol, l'aptitude du sol pour adapter son projet en conséquences, définir le système de fondation de l'ouvrage avec le meilleur rapport **sécurité /coût** et se garantir contre les effets de la réalisation des travaux sur les constructeurs voisin ***(G. Philipponnat ; 2003).***

V.2 Campagne de reconnaissance géotechnique

Le bureau d'étude ***Géo-Sol en (2011)*** a effectué une campagne de reconnaissance géotechnique sur le site du POS №01 de Texenna. Cette campagne à portée sur la réalisation de :

- 18 sondages carottés ayant des profondeurs varient entre 11 et 14 m ces sondages carottés ont été effectuées par une sondeuse de type **ABYSS III.** Des échantillons de sol ont été récupérés et transférés au laboratoire pour identification et analyses.
- 36 pénétromètres dynamiques près des sondages carottés ont été effectués au pénétromètre dynamique type **TECOINSA et** enfoncés jusqu'à 20 m de profondeur

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

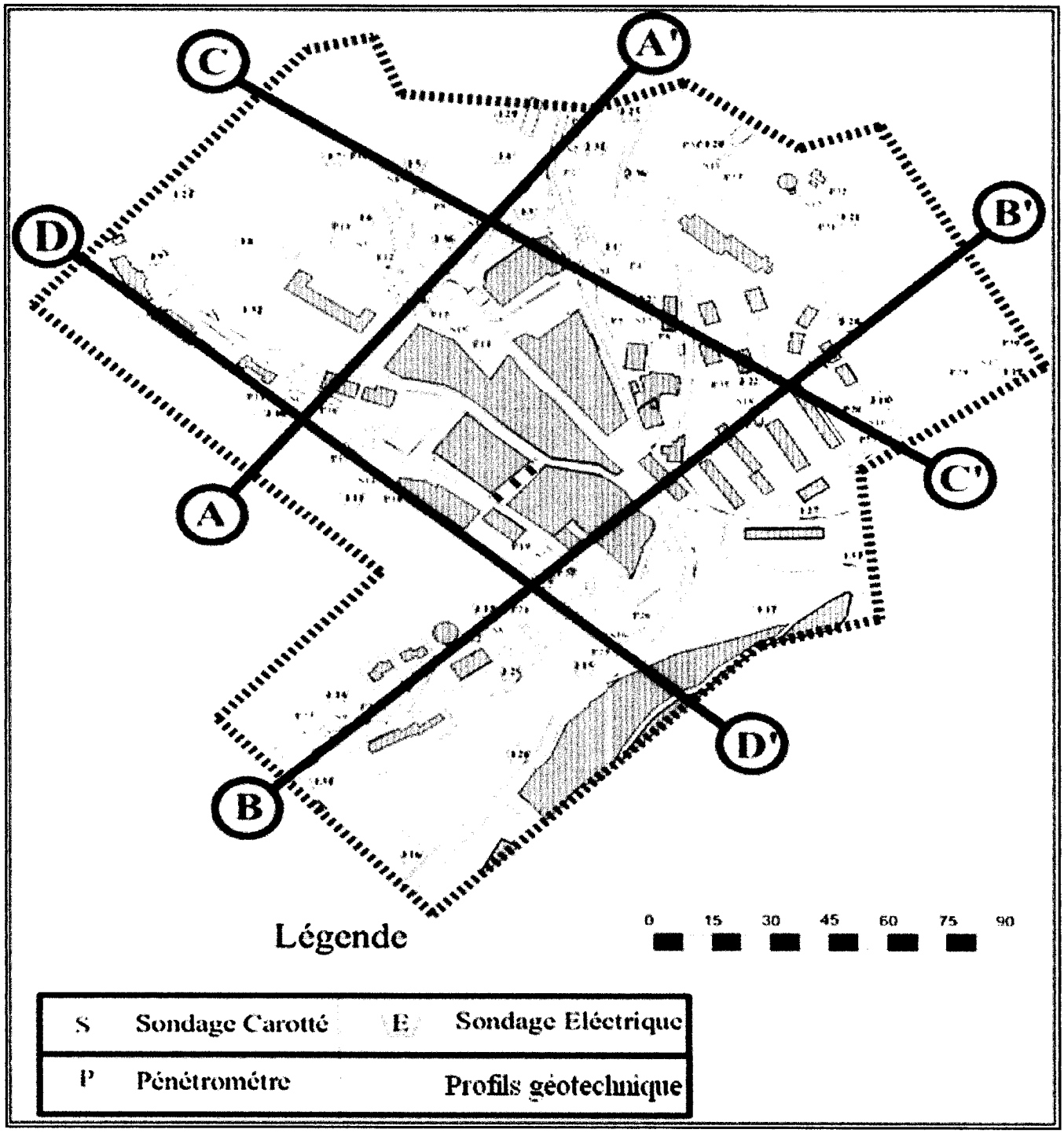


Fig. V.1:Carte d'implantation des essais de reconnaissance géotechnique (Géo-Sol ,2011)

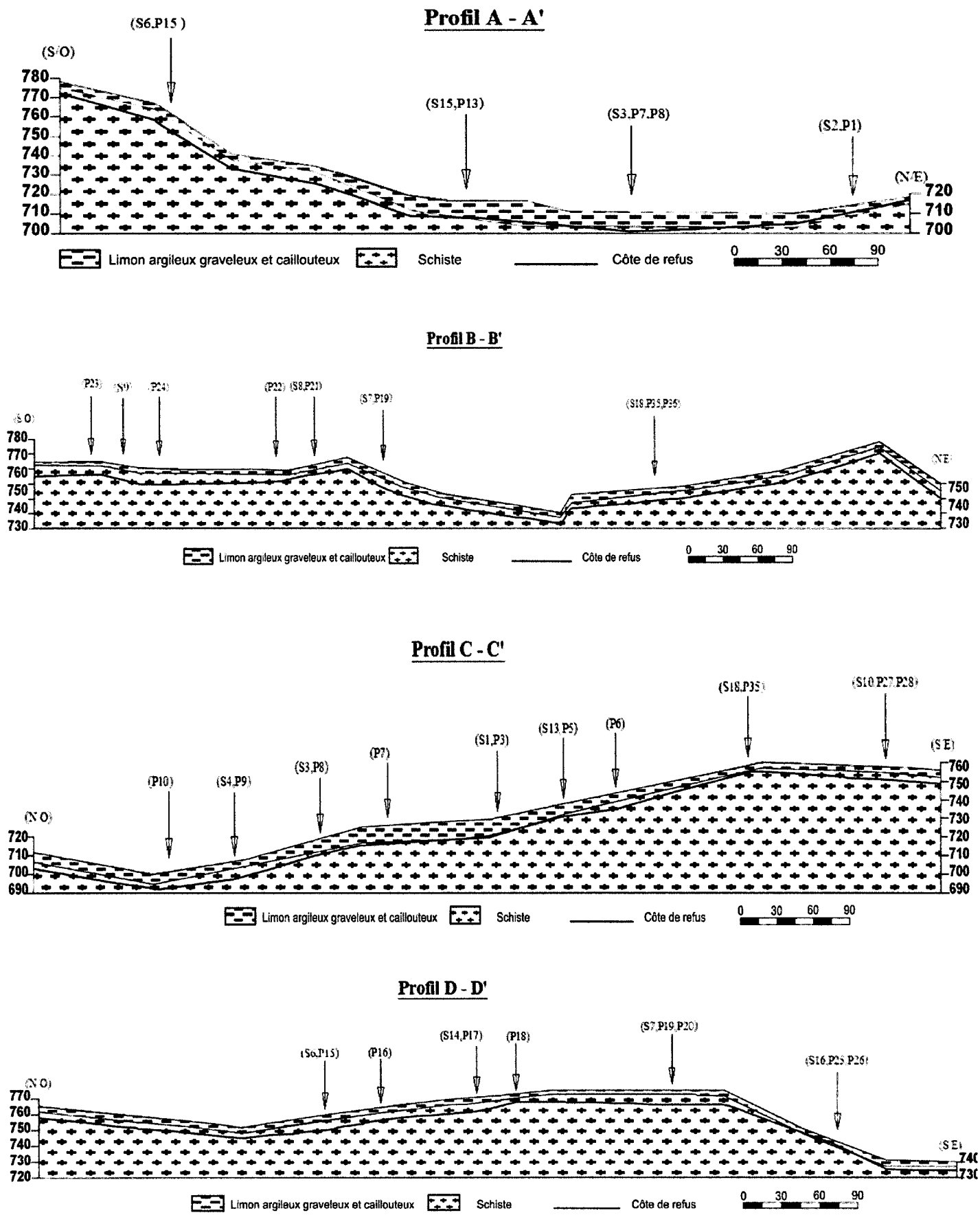


Fig. V.1:Profils géotechnique

V.2.1 Essais in-situ

V.2.1.1 Les sondages carottés

Dix-huit (18) sondages carottés ont été réalisés sur le site du P.O.S № O1 de Texenna) à une profondeur qui varie entre 11 et 14m, ces sondages ont été implantés de manière à couvrir toute la superficie du site en vue de mettre en évidence les différentes couches constituants le terrain et de déterminer leurs épaisseurs. Les résultats obtenus par ces sondages sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau V.1 : Résultats des sondages carottés (Géosol, 2011)

Sondages	Profondeur	Lithologie
SC № 01	0.0/9.0 9.0/15	Limon argileux graveleux Schiste
SC№ 02	0.0/5.0 5.0/13	Limon argileux graveleux Schiste
SC№ 03	0.0/4.0 4.0/7.0 7.0/12	Remblai Limon argileux graveleux Schiste
SC№ 04	0.0/4.0 4.0/7.0 7.0/14	Limons argileux graveleux et caillouteux Schiste altéré Schiste
SC№ 05	0.0/1.5 1.5/5.0 5.0/12	Limon graveleux Limon argileux graveleux Schiste
SC№ 06	0.0/3.0 3.0/7.5 7.5/14	Limon argileux graveleux et caillouteux Schiste altéré Schiste
SC№ 07	0.0/2.5 2.5/6.5 6.5/14	Limons argileux graveleux et caillouteux Schiste altéré Schiste
SC№ 08	0.0/3.0 3.0/5.0 5.0/12	Limon argileux graveleux et caillouteux Schiste altéré Schiste
SC№ 09	0.0/2.0 2.0/7.0 7.0/11	Limon argileux graveleux et caillouteux Schiste altéré Schiste
SC№ 10	0.0/2.4 2.4/13	Limon argileux graveleux et caillouteux Schiste
SC№ 11	0.0/1.3 1.3/14	Limons argileux graveleux et caillouteux Schiste
SC№ 12	0.0/0.8 0.8/12	Limons argileux graveleux et caillouteux Schiste
SC№ 13	0.0/6.0 6.0/14	Limon argileux graveleux et caillouteux Schiste
SC№ 14	0.0/3.5 3.5/7.5 7.5/12	Limon argileux graveleux et caillouteux Schiste altéré Schiste

SC№ 15	0.0/13 13/15	Limon argileux graveleux et caillouteux Schiste
SC№ 16	0.0/3.5 3.5/12	Limons argileux graveleux et caillouteux renfermant des blocs Schiste
SC№ 17	0.0/1.5 1.5/12	Limon argileux graveleux et caillouteux Schiste
SC№ 18	0.0/3.0 3.0/12	Limon argileux graveleux et caillouteux Schiste

Sur la base des résultats de ces sondages carottés, on peut conclure que la lithologie du terrain est représentée essentiellement par des schistes de consistance variable ayant un pendage irrégulier, altéré au sommet et compact en profondeur, recouvert par un limon argileux graveleux et caillouteux renfermant parfois des blocs, et ayant une épaisseur variable allant de 1 à 13 m de profondeur. Les épaisseurs les plus élevées sont détectés dans la cuvette au milieu du POS, par contre les épaisseurs les faibles sont révélées dans les deux versants.

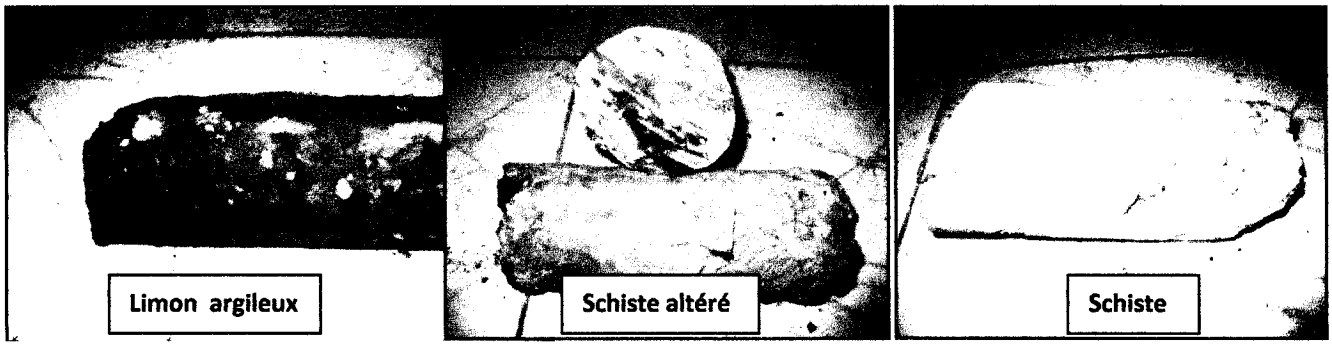


Photo. V.1 : Photos illustrant la lithologie rencontrée dans notre site d'étude

V.2.1.2 Essai de pénétration dynamique

Trente-six essais de pénétration ont été exécutés, les résultats de ces essais sont représentés sous forme de courbes indiquant la résistance dynamique du sol "Rd" en fonction de la profondeur. Ces résultats sont récapitulés dans le tableau suivant:

Tableau. V.2 : Résultats des résistances à la pointe (Rp)

Essai	valeur Rp min	valeur Rp max	cote de refus	Appréciation
P1	100 bars	650 bars	2.0 m	Forte
P2	100 bars	650 bars	1.8 m	Forte
P3	60 bars	500 bars	6.2 m	Moyenne
P4	75 bars	500 bars	9.6 m	Moyenne
P5	65 bars	500 bars	6.8 m	Moyenne
P6	50 bars	500 bars	8.0 m	Moyenne
P7	20 bars	500 bars	9.8 m	Faible
P8	50 bars	500 bars	7.2 m	Moyenne
P9	40 bars	500 bars	9.6 m	Moyenne
P10	45 bars	500 bars	8.6 m	Moyenne
P11	55 bars	500 bars	7.4 m	Moyenne
P12	60 bars	500 bars	5.2 m	Moyenne
P13	60 bars	500 bars	5.6 m	Moyenne

P14	55 bars	500 bars	7.0 m	Moyenne
P15	50 bars	500 bars	9.4 m	Moyenne
P16	55 bars	500 bars	8.6 m	Moyenne
P17	50 bars	500 bars	9.8 m	Moyenne
P18	65 bars	500 bars	5.4 m	Moyenne
P19	60 bars	500 bars	9.4 m	Moyenne
P20	55 bars	500 bars	9.6 m	Moyenne
P21	60 bars	500 bars	6.2 m	Moyenne
P22	55 bars	500 bars	8.2 m	Moyenne
P23	60 bars	500 bars	8.8 m	Moyenne
P24	50 bars	500 bars	10.6 m	Moyenne
P25	100 bars	650 bars	1.4 m	Forte
P26	100 bars	650 bars	1.8 m	Forte
P27	60 bars	500 bars	5.2 m	Moyenne
P28	60 bars	500 bars	6.4 m	Moyenne
P29	100 bars	650 bars	1.4 m	Forte
P30	100 bars	650 bars	1.8 m	Forte
P31	100 bars	650 bars	2.4 m	Forte
P32	100 bars	650 bars	1.8 m	Forte
P33	100 bars	500 bars	4.6 m	Forte
P34	100 bars	650 bars	2.0 m	Forte
P35	100 bars	600 bars	2.8 m	Forte
P36	100 bars	600 bars	3.0 m	Moyenne

L'analyse des pénétrogrammes obtenus montre que le sol accuse en général une résistance au battage assez bonne à moyenne.

L'examen de ces derniers laisse apparaître les éléments d'appréciation suivants :
Les essais *(P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14)*sont implantés dans la cuvette au milieu du POS donnent des résistances variables faible à forte, cependant la résistance minimale est comprise entre 20 et 100 bars, les valeurs les plus élevés sont détectés dans la zone des remblais compactés, tandis que la résistance maximale de refus est de l'ordre de 500 à 650 bars, ces refus sont observé à des côtes variables, elles sont comprise entre 2 et 10m, ces refus sont dus à la forte compacité des schistes révélés en profondeur.

Par contre, les essais *(P15, P16, P17, P18, P19, P20, P21, P22, P23, P24, P25, P26, P27, P28, P29, P30, P31, P32, P33, P34, P35, P36)*sont implantés dans les deux versants du POS.
Ces essais donnent des refus variables, elles sont comprises entre 1 et 10 m de profondeur, ces refus sont dus à la forte compacité des schistes.
Les résistances minimales sont aussi variables, elles sont comprises entre 50 et 100 bars. Par contre les résistances des refus supérieures sont de l'ordre de 500 bars.
Ces essais caractérisant un sol de compacité moyenne du point de vue résistance à la pénétration dynamique. 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.

V.2.2 Essais de laboratoire

V.2.2.1 Paramètres physiques

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

Tableau V.3 : Valeurs des principaux paramètres physiques mesurés (Géo-Sol, 2011)

Sondages		Propriétés physiques			
№ du Sondage	Profondeur en(m)	W (%)	γ (t/m³)	γd (t/m³)	Sr (%)
SC1	3.5/4.0	28	1.95	1.5	97
	8.5/9.0	10	2.1	1.9	64
SC4	3.0/3.5	21	1.85	1.5	75
	5.0/5.5	25	1.90	1.5	96
	10/10.5	15	2.0	1.7	86
SC6	4.0/4.5	27	1.95	1.55	95
	8.5/9.0	9	2.05	1.88	59
SC7	4.5/5.0	27	1.95	1.5	96
SC8	4.5/5.0	26	1.9	1.5	95
	10/10.5	13	1.90	1.65	54
SC9	5.0/5.5	29	1.95	1.5	95
	10/10.5	9	2.2	2	72
SC10	4.0/4.5	10	2.0	1.8	58
SC12	3.5/4.0	7	2.25	2.1	48
SC15	5.0/5.5	15	1.80	1.55	72
SC17	4.0/4.5	8	2.2	2.05	49
SC18	5.0/5.5	10	2.2	2.0	55

Il en ressort de ces résultats que :

- Les valeurs de la teneur en eau **(W)** sont variables, elles sont très élevées dans le versant Ouest du POS, et moyenne à faible dans le versant Est, les valeurs sont comprises ainsi :
  - Pour les limons argileux de 20 % à 29 %
  - Pour les Schistes altérés de 25% à 30%
  - Pour les Schistes sains de 9% à 15%.

- Les valeurs du degré de saturation montrent des résultats élevées :
  - 75 à 97% pour les limons argileux révélant un sol humide à très humide
  - 95 à 97% pour les schistes altérés, ces valeurs indiquant un sol très humide et proche à la saturation
  - 48 à 60% pour les schistes sains en profondeur.

- Les valeurs des densités sèches varient de 1.5 à 1.55 t/m³pour les schistes altérés et les limons argileux. Par contre les schistes en profondeur sont plus meilleurs, elles varient entre 1.65 et 1.9 t/m³.

Pour les densités humides les valeurs concernant les schistes altérés et les limons argileux sont comprises entre 1.85 et 1.95 t/m^{3}et de 2 à 2.1 t/m^3 pour les schistes sains.
Les valeurs des densités obtenues indiquent que nous sommes en présence d'un sol a une densité moyenne (Limon argileux et schistes altérés) à élevée (Schistes sains).

V.2.2.2 Les limites d'Atterberg

Ces essais de limites d'Atterberg ont été également réalisés par Géo-Sol (2011) selon la norme NF P94-051 et ont donnés les résultats suivants :

Tableau V.4 : Valeurs des limites d'Atterberg (Géo-Sol, 2011).

paramètres Sondages / Prof (m)		Nature lithologique	Limite de liquidité W_L (%)	Limite de Plasticité W_p (%)	Indice de plasticité I_p
Sc01	**3.5/4.0**	Limon argileux graveleux	38	28	10
Sc04	**3,3-3,6**	Limons argileux graveleux et caillouteux	41	30	11
	5.0/5.5	Schiste altéré	46	22	24
Sc06	**4.0/4.5**	Schiste altéré	47	22	25
Sc07	**4.5/5.0**	Schiste altéré	45	21	24
Sc08	**4.5/5.0**	Schiste altéré	47	21	26
Sc09	**5.0/5.5**	Schiste altéré	46	21	25
Sc15	**5.0/5.5**	Limon argileux graveleux et caillouteux	38	28	10

D'après les résultats des essais des limites d'Atterberg, les limons argileux, ont donné des valeurs de limite de liquidité comprises entre 38 et 41% et des indices de plasticité comprises entre 10 et 11 %.
L'abaque de plasticité range les sols en question dans la catégorie des limons peu plastiques, notés (Lp) selon la classification L.C.P.C.
Concernant les Schistes altérés, les valeurs de la limite de liquidité sont plus élevées, elles varient entre 45 et 47%, l'indice de plasticité est de l'ordre 24 à 26%. D'après l'abaque de Casagrande il s'agit à des argiles peu plastiques notées (Ap) selon la classification L.C.P.C.

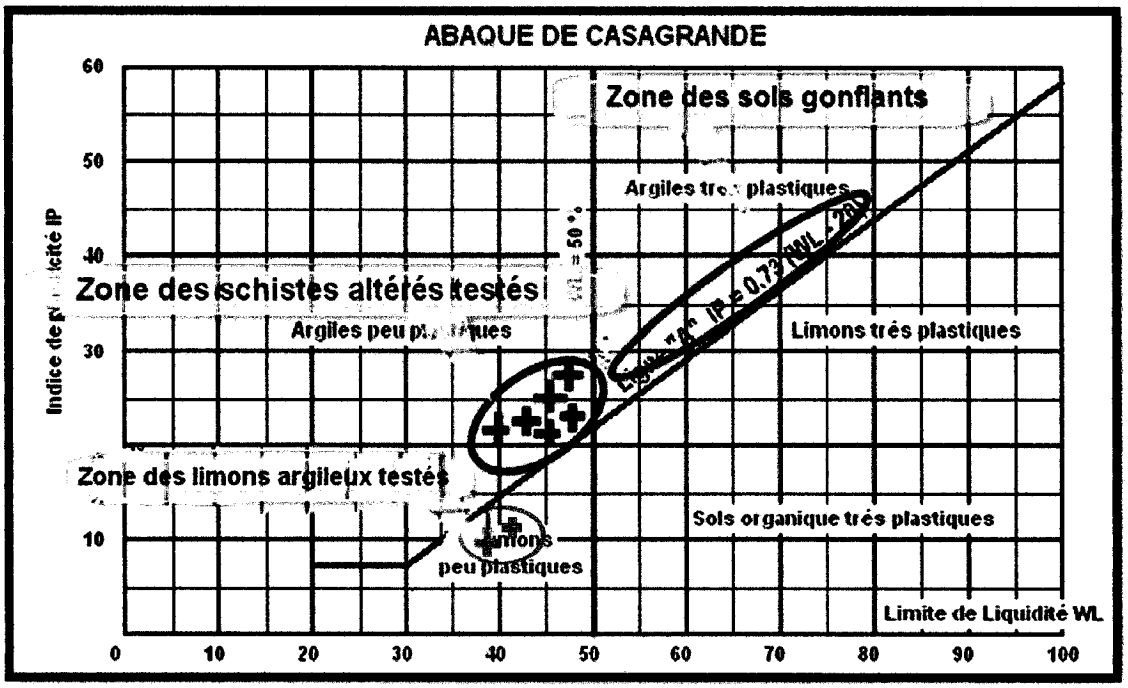


Fig. V.2: Diagramme de classification des sols fins de Casagrande.

V.2.2.3 Les Analyses chimiques

L'analyse chimique des échantillons carottés permet de donner des indications sur les teneurs en carbonates, gypses et en sulfates et par conséquent, le degré d'agressivité des sols étudiés. Les résultats des analyses chimiques des sols du site étudié sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau V.5 : Résultats des analyses chimiques (Géo-Sol, 2011).

paramètres / Sondages / prof (m)		% de carbonates $CaCo_3$	% de gypses $CaCo_4 2H_2O$	Sulfates $SO4^{-}10^3$ mg/kg
SC01	3.5/4.0	11	néants	néants
	8.5/9.0	7.5	néants	néants
SC04	3.0/3.5	10	néants	néants
	5.0/5.5	5	néants	néants
SC06	8.5/9.0	8	néants	néants
SC08	10/10.5	5	néants	néants
SC09	3.5/4.0	6	néants	néants
SC10	4.0/4.5	7	néants	néants
SC12	3.5/4.0	8	néants	néants
SC15	5.0/5.5	12	néants	néants
SC17	4.0/4.5	5	néants	néants
SC18	5.0/5.5	5	néants	néants

Les analyses chimiques ont décelé une présence faible de carbonates, elles sont inférieure à 10 %. Selon la norme **NF P 18-011** du **06-92**, **l'agressivité** des sols est **faible**. Donc, l'utilisation de tous types de ciment pour l'infrastructure est possible.

V.2.2.4 Les propriétés mécaniques

Les paramètres mécaniques permettent d'accéder, directement à la capacité portante des sols, compatibles avec une déformation (tassement) acceptables.

Trois types d'essais ont été exécutés pour déterminer les paramètres mécaniques des sols étudies qui sont :

- L'essai de cisaillement à la boite de Casagrande.
- l'essai de compressibilité à l'œdomètre.
- L'essai de compression simple pour les échantillons de Schistes sains.

V.2.2.4.1 Essai de cisaillement rectiligne

Les caractéristiques intrinsèques (c, φ) ont été mesurées par Géo-Sol (2011) dans les couches des limon-argileux et les Schistes altérés, selon les conditions de cisaillement, non consolidé, non drainé à partir d'essai de cisaillement à la boite de Casagrande à l'aide de la machine de cisaillement rectiligne à une vitesse de 2 mm/min. Les valeurs obtenues sont reportées dans le tableau :

Tableau V.6 : Valeurs des caractéristiques intrinsèques (C_u) et (φ_u) mesurés (Géo-Sol, 2011).

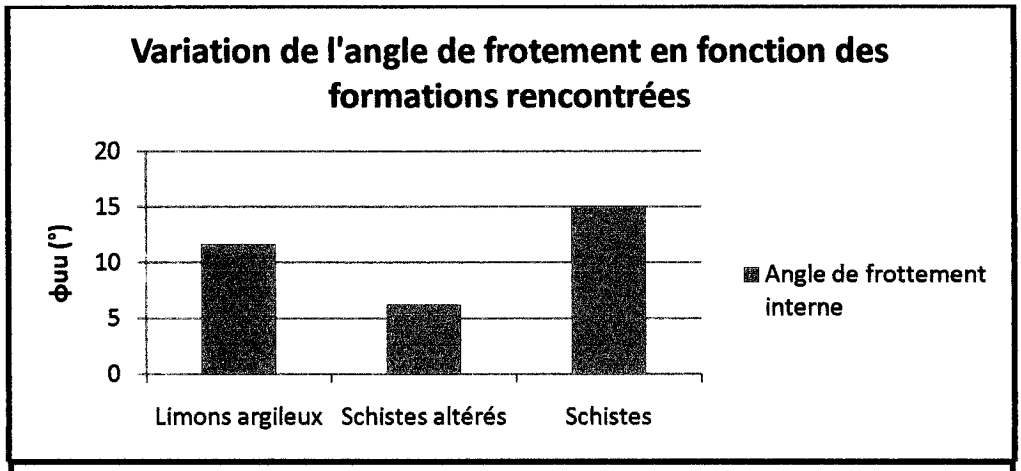
Paramètres				
Sondage №	***Prof(m)***	***Nature du sol***	***Angle de frottement Interne φ(°)***	***Cohésion C (bars)***
Sc01	**3.5/4.0**	Limons argileux	11	0.28
Sc04	**3.0/3.5**	Limons argileux	12	0.3
	5.0/5.5	Schistes altérés	8	0.21
	10/10.5	Schistes	15	0.4
Sc06	**4.0/4.5**	Schistes altérés	5	0.24
	8.5/9.0	Schistes	16	0.49
Sc07	**4.0/4.5**	Schistes altérés	5	0.30
Sc08	**4.5/5.0**	Schistes altérés	6	0.19
	10./10.5	Schistes	18	0.46
Sc09	**3.5/4.0**	Schistes altérés	7	0.30
	10/10.5	Schistes	10	0.51
Sc10	**4.0/4.5**	Schistes	16	0.48
Sc15	**5.0/5.5**	Limons argileux	12	0.37

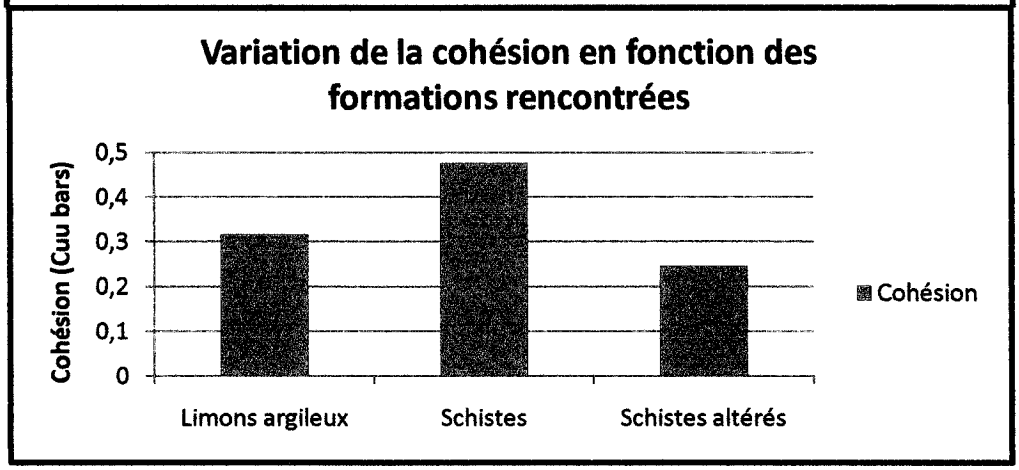
D'après le tableau ci-dessus :

Les valeurs de la cohésion pour les limons argileux sont comprises entre 0.2 et 0.4 bars, les valeurs de l'angle de frottement varient entre 11 et 12°.
Pour les Schistes altérés et les Schistes sain, les caractéristiques intrinsèques sont les suivantes :

- C_{uu} varie 0.1 à 0.3 bars Φ_{uu} varie entre 5 à 8°
- C_{uu} varie 0.4 à 0.5 bars Φ_{uu} varie entre 10 à 18°

Les valeurs des cohésions **(C)** obtenues sont assez faibles. Elles varient de **0,00** à **0,50 bars.** Quant aux angles de frottement internes sont élevées et sont en rapport avec l'état induré des sols. Ces résultats sont caractéristiques d'un sol **cohérent, et moyennement résistant au cisaillement.**





V.2.2.4.2 Essai de compressibilité à l'oedomètre

Ces résultats sont donnés sous forme des courbes indiquant la variation de l'indice des vides du sol en fonction du log σ.

A partir de ces courbes, on déduit graphiquement le coefficient de compressibilité(C_c), et le coefficient de gonflement(C_g) et la contrainte de pré-consolidation (σc). Les résultats obtenus par ***Géo-Sol (2011)*** selon la norme NF P94-090-1 sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau V.7 : Valeurs d'essai de compressibilité à l'oedomètre (Géo-Sol, 2011).

Paramètres					
Sondage N° / *Profondeur(m)*		*Nature lithologique*	*Pression de consolidation σc (bars)*	*Coefficient de Compressibilité Cc (%)*	*Coefficient de Gonflement Cg(%)*
Sc01	3.5/4.0	Limons argileux	1.57	29	3.7
Sc04	3.0/3.5	Limons argileux	1.63	24	2.8
	5.0/5.5	Schistes altérés	1.43	28	3.8
	10/10.5	Schistes	/	/	/

Sc06	4.0/4.5	Schistes altérés	1.59	28	3.8
	8.5/9.0	Schistes	/	/	/
Sc07	4.0/4.5	Schistes altérés	1.95	30	3.9
Sc08	4.5/5.0	Schistes altérés	1.53	27	3.6
	10/10.5	Schistes	/	/	/
Sc09	3.5/4.0	Schistes altérés	1.66	22	2.2
	10/10.5	Schistes	/	/	/
Sc10	4.0/4.5	Schistes	/	/	/
Sc15	5.0/5.5	Limons argileux	1.92	24	3.2

Selon les valeurs du tableau précédent, on peut dire que :

- Pour les Limons argileux :
  - 1.5bar $<\sigma_c<$1.9bars : Sols **sur-consolidés**.
  - 24%<Cc<29% : Sols **moyennement compressibles**.
  - Cg<4.5% : Sol **non gonflants**.

- Pour les Schistes altérés :
  - 1.4bar $<\sigma_c<$ 1.95 bars : Sols **sur-consolidés**.
  - 22%<Cc< 30% : Sols **moyennement compressibles**.
  - 2.2%<Cg< 3.8% : Sol **non gonflants**.

❖ **Calcul de la compressibilité**

Le tableau suivant donne les résultats de calcul de la compressibilité à l'oedomètre

Tableau. IV.8 : Résultats de calcul de la compressibilité à l'odomètre

Sondage №	*Profondeur(m)*	*Nature lithologique*	*Coefficient de Compressibilité Cc (%)*	eo+1	Cc/1+e0	*Compressibilité Du sol*
SC №01	1,5 - 1,8	Limon argileux graveleux	29	1,782	16.27	Moyennement compressible
	1,8 - 3,6		29	1,777	16.31	Moyennement compressible
	3,6 - 5,4		29	1,772	16.36	Moyennement compressible
	5,4 - 7,2		29	1,768	16.40	Moyennement compressible
	7,2 - 9		29	1,765	16.43	Moyennement compressible
SC №04	1,5 - 2	Limons argileux graveleux et caillouteux	28	1,469	19.06	Moyennement compressible
	2 - 4		28	1,46	19.17	Moyennement compressible
	4 - 7	Schiste altéré	28	1,405	19.92	Moyennement compressible
	7 - 9	Schiste	0	1,999	/	Moyennement compressible
	1,5 - 1,6	Limon argileux graveleux et	28	1,837	15.24	Moyennement compressible

SC №06	1,6 - 3,2	caillouteux	28	1,832	15.28	Moyennement compressible
	3,2 - 4,8	Schiste altéré	28	1,827	15.32	Moyennement compressible
SC №08	1,5 - 1,6	Limon argileux graveleux et caillouteux	27	1,482	18.21	Moyennement compressible
	1,6 - 3,3		27	1,478	18.26	Moyennement compressible
	3,3 - 5	Schiste altéré	27	1,473	18.32	Moyennement compressible
SC №09	1,5 - 1,7	Limon argileux graveleux et caillouteux	22	1,289	17.06	Moyennement compressible
	1,7 - 3,5	Schiste altéré	22	1,286	17.10	Moyennement compressible
	3,5 - 5,2		22	1,283	17.14	Moyennement compressible
SC №15	1,5 - 2	Limon argileux graveleux et caillouteux	24	1,429	16.79	Moyennement compressible
	2 - 4		24	1,421	16.89	Moyennement compressible

De ces résultats en peut classer le sol dans la catégorie des sols de moyenne compressibilité et relativement gonflant.

V.2.2.4.3 Essai de compression simple

En raison de l'état compact de schiste sain détecté en profondeur, il n'a pu être effectué qu'un essai de résistance à la compression simple, sur des carottes du sol.

- La résistance à la compression est donnée par l'équation suivante :

$$fc = \frac{F}{Ac}$$

L'essai de la compression simple (Rc) a été substitué à l'essai de cisaillement à la boite pour déterminer les deux paramètres intrinsèques du sol, soient la cohésion et l'angle de frottement. Déduite de la valeur de Rc,

Cuu = Rc/2.

Le tableau suivant donne les résultats de la résistance à la compression

Tableau. V.9 : Résultats de l'essai de compression simple

Sondage		*Compression simple*
Sondage N°	*Profondeur(m)*	*Rc (bars)*
№04	**12/12.5**	**80**
№06	**10/10.5**	**100**
№07	**8.0/8.5**	**85**
№08	**11/11.5**	**75**

№09	12/12.5	65
№10	9.0/9.5	125
№12	3.5/5.0	90
№17	4.0/4.5	75
№18	5.0/5.5	65

V.3 Calcul des fondations

V.3.1 Contraintes admissibles du sol de fondation

V.3.1.1 Capacité portante à partir des essais de pénétration dynamique

La contrainte admissible d'une fondation superficielle est égale au à (α) de la valeur de la résistance dynamique en pointe minimale déduite de la formule de battage des Hollondais exprimée :

$$Q_{adm} = R_p\, min/\alpha$$

Avec :

Q_{ad} : Contrainte admissible de la fondation superficielle.

R_d min : Résistance dynamique minimale de la pointe.

α : Coefficient variant de 20 à 30.

Les valeurs de la contrainte admissible obtenues pour des niveaux d'ancrage de la fondation compris entre 1,5 et 3m de profondeur sont reportées pour chaque essai dans le tableau suivant :

Tableau. V.10 : Calcul de la contrainte admissible du sol de fondation à partir des résultats des essais de pénétration dynamique.

Essai № / Profondeur d'ancrage de 2,00m	Rp (bars)	Contrainte admissible (bars)
1	100	3.3
2	100	3.3
3	60	3.0
4	75	2.5
5	65	2.1
6	5O	1.6
7	50	1.6
8	50	1.6
9	40	1.3
10	45	1.5
11	55	1.8
12	60	2.0
13	60	2.0
14	50	1.8
15	50	1.6
16	55	1.8
17	50	1.6
18	65	2.1

19	60	2.0
20	55	1.8
21	60	2.0
22	55	1.8
23	60	2.0
24	50	1.6
25	100	3.3
26	100	3.3
27	60	2.0
28	60	2.0
29	100	3.3
30	100	3.3
31	100	3.3
32	100	3.3
33	100	3.3
34	100	3.3
35	100	3.3
36	100	3.3

V.3.1.2 Capacité portante à partir des résultats des essais de laboratoire

Le calcul par la méthode de laboratoire considère une fondation à base horizontale, encastrée dans un sol homogène et supportant une charge verticale centrée. Pour cela la formule suivante est utilisée pour le calcul de la contrainte admissible « Q_{ad} » :

$$Q_{adm} = \gamma_d + \frac{0{,}4\gamma B N_\gamma + \gamma D(N_q - 1) + 1{,}2C.N_c}{F}$$

On prend : B=1.5m et D=2m

Les résultats obtenus pour des semelles carrées ancrées à 2m de profondeur pour tous les sondages, sont reportés sur le tableau suivant :

Tableau. V.11 : Calcul des contraintes admissibles du sol de fondation à partir des résultats des essais de laboratoire.

Sondage	Q_{ad}(bars)
S_{C1}	1.0
S_{C4}	1.7
S_{C6}	1.2
S_{C8}	1.1
S_{C9}	1.4
S_{C10}	1.85
S_{C12}	2.0
S_{C15}	1.8
S_{C17}	2.3
S_{C18}	2.1

Selon les résultats des travaux et essais in-situ, nous proposons comme solution d'assise des fondations superficielles type **semelles isolées** de largeur minimale **1,50m.**

V.3.2 Calcul du tassement

V.3.2.1 Calcul des tassements par les résultats de l'essai oedométrique

La méthode utilisée pour l'évaluation des tassements consiste à subdiviser le terrain sollicité en tranches. Puisque le sol est surconsolidé on a donc utilisé la formule suivante :

$$\Delta H = H \cdot \frac{C_g}{1+e_0} \log\left(\frac{\sigma'_p}{\sigma'_{v0}}\right) + H.\frac{C_c}{1+e_0} \log.\left(\frac{\sigma'_{v0}+\Delta\sigma}{\sigma'_p}\right) \quad \sigma'_{v0}+\Delta\sigma \succ \sigma'_v$$

Le tassement total sera la somme des tassements élémentaire de chaque couche

$$\Delta H = \Sigma \Delta H_i$$

Avec :

- ΔH : tassement total.
- H : hauteur de la couche concernée par le tassement.
- e_0 : indice des vides initial qui correspond à $\sigma_0.H_0$
- σ_{v_0} : Contrainte verticale initiale à la profondeur (Z) corresponde au tassement moyen $\sigma_{v0} = \Sigma\gamma_i.h_i$

Les résultats des tassements obtenus pour tous les sondages sont reportés dans les tableaux suivant :

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

Sondage №01 : **Contrainte de service = 1 bars**								
Prof (m)	**Cc (%)**	**eo+1**	**Cc/1+e0**	**Pc (bars)**	**Δσ (bars)**	**σo (bars)**	**Iz**	**ΔH (cm)**
1,5 - 1,8	29	1,782	16.27	1,57	1	0,14	1	0,553
1,8 - 3,6	29	1,777	16.31	1,57	0,606	0,2	0,606	2,259
3,6 - 5,4	29	1,772	16.36	1,57	0,16	0,28	0,16	0,737
5,4 - 7,2	29	1,768	16.40	1,57	0,077	0,35	0,077	0,317
7,2 - 9	29	1,765	16.43	1,57	0,045	0,43	0,045	0,16
Tassement total = 4.02 cm								
Sondage №04 : **Contrainte de service = 1.7 bars**								
Prof (m)	**Cc (%)**	**eo+1**	**Cc/1+e0**	**Pc (bars)**	**Δσ (bars)**	**σo (bars)**	**Iz**	**ΔH (cm)**
1,5 - 2	28	1,469	19.06	1,63	1,632	0,32	0,96	2,14
2 - 4	28	1,46	19.17	1,63	0,763	0,55	0,449	1,955
4 - 7	28	1,405	19.92	1,43	0,183	1,02	0,108	0,58
7 - 9	0	1,999	/	5	0,076	1,51	0,045	0
Tassement total= 4.67 cm								
Sondage №04 : **Contrainte de service = 1.4 bars**								
Prof (m)	**Cc (%)**	**eo+1**	**Cc/1+e0**	**Pc (bars)**	**Δσ (bars)**	**σo (bars)**	**Iz**	**ΔH (cm)**
1,5 - 2	28	1,469	19.06	1,63	1,343	0,32	0,96	0,92
2 - 4	28	1,46	19.17	1,63	0,628	0,55	0,449	1,711
4 - 7	28	1,405	19.92	1,43	0,151	1,02	0,108	0,484
7 - 9	0	1,999	/	5	0,063	1,51	0,045	0
Tassement total= 3.11 cm								
Sondage №06 : **Contrainte de service = 1.2 bars**								

Prof (m)	Cc (%)	eo+1	Cc/1+e0	Pc (bars)	Δσ (bars)	σo (bars)	Iz	ΔH (cm)
1,5 - 1,6	28	1,837	15.24	1,59	1,2	0,14	1	0,247
1,6 - 3,2	28	1,832	15.28	1,59	0,67	0,19	0,559	2,199
3,2 - 4,8	28	1,827	15.32	1,59	0,286	0,26	0,239	1,07
Tassement total= 3.15 cm								

Sondage №08 :
Contrainte de service = 1.1 bars

Prof (m)	Cc (%)	eo+1	Cc/1+e0	Pc (bars)	Δσ (bars)	σo (bars)	Iz	ΔH (cm)
1,5 - 1,6	27	1,482	18.21	1,53	1,1	0,15	1	0,372
1,6 - 3,3	27	1,478	18.26	1,53	0,614	0,19	0,559	2,496
3,3 - 5	27	1,473	18.32	1,53	0,262	0,27	0,239	1,19
Tassement total= 4.05 cm								

Sondage №09 :
Contrainte de service = 1.4 bars

Prof (m)	Cc (%)	eo+1	Cc/1+e0	Pc (bars)	Δσ (bars)	σo (bars)	Iz	ΔH (cm)
1,5 - 1,7	22	1,289	17.06	1,66	1,367	0,15	0,977	0,424
1,7 - 3,5	22	1,286	17.10	1,66	0,667	0,2	0,477	1,874
3,5 - 5,2	22	1,283	17.14	1,66	0,312	0,28	0,223	0,957
Tassement total= 3.25cm								

Sondage №15 :
Contrainte de service = 1.8 bars

Prof (m)	Cc (%)	eo+1	Cc/1+e0	Pc (bars)	Δσ (bars)	σo (bars)	Iz	ΔH (cm)
1,5 - 2	24	1,429	16.79	1,92	1,9	0,31	0,96	1,91
2 - 4	24	1,421	16.89	1,92	0,889	0,54	0,449	1,902
Tassement total= 3.81 cm								

Le tassement absolu est de l'ordre de **3** à **4cm** donc on peut dire que le sol étudié tasse d'une manière qu'on peut qualifier d'**admissible**.

V.4 Zoning géotechnique du site étudie

A partir des travaux géologiques et géotechniques on peut subdiviser notre site d'étude en deux zones pour un ancrage des fondations dans le sol de 1,5m à 2,0 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 étudie, qui impliquera l'appréciation de l'aptitude des terrains aux fondations, donc leur capacité portante compatible avec les déformations (tassements) admissibles.

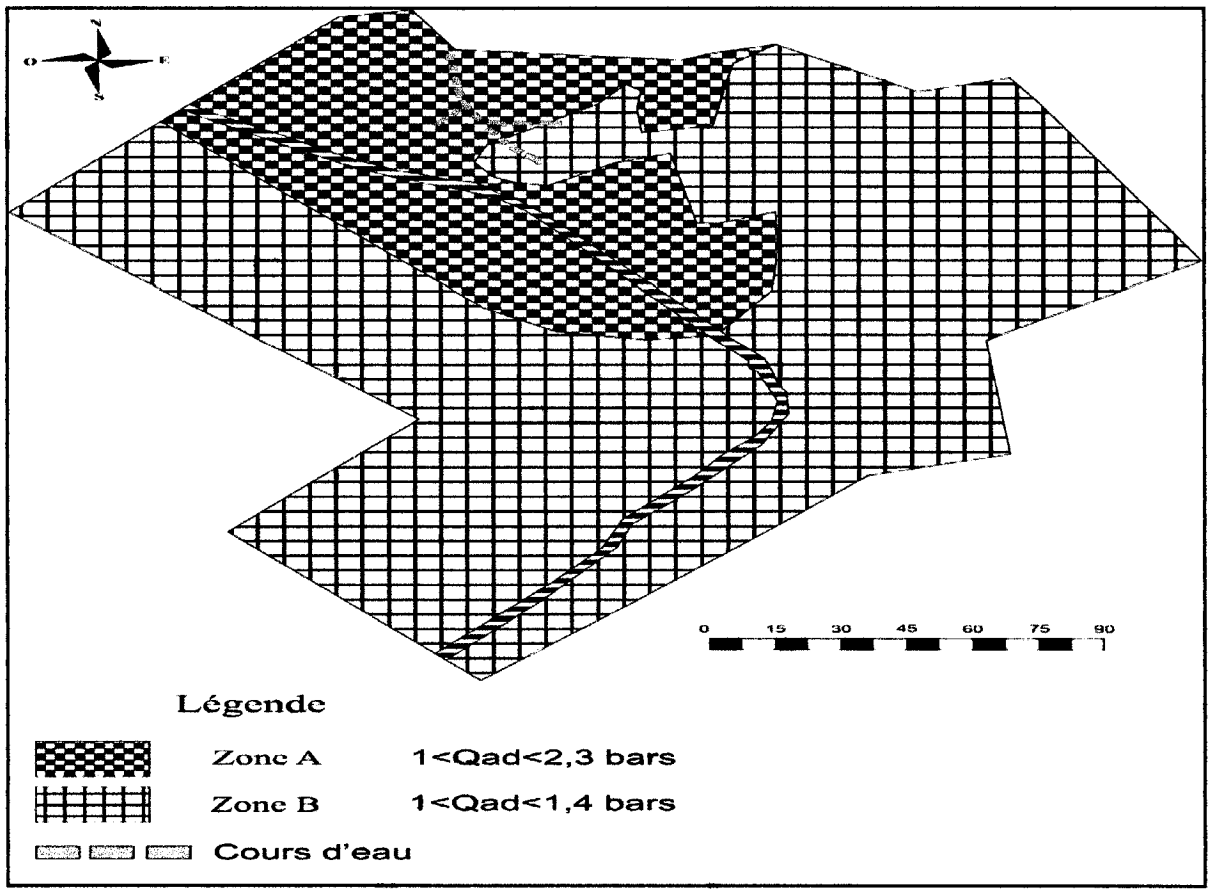


Fig. V.3 : Carte de zoning géotechnique proposée pour une profondeur de 1,5 à 2 m.

Zone A : elle occupe les deux versants du POS, elle s'allonge sur 24.2 ha, elle occupe les parties hautes du POS.
Zone B : elle occupe la cuvette du POS au milieu, elle s'étend sur une superficie de 10.65 ha du POS

V.4.1 Zoning selon la topographie

Le POS est caractérisé par une déclivité variable allant globalement entre 0 et supérieure à 60 %, elles sont réparties globalement en deux zones, A et B comme suit :
Zone A : cette zone occupe les deux versants du POS, les valeurs des pentes variant entre **10 – 20%, 20 – 30%, 30 – 40%, et 40 - 60 %,** la majorité de ces fourchettes nécessitent des travaux d'aménagement en vue de dégager des plates-formes (assiettes) devant recevoir le site à des constructions.
Zone B : elle occupe la partie centrale du POS, dans la cuvette, la pente est douce à moyenne, dont les valeurs varient entre **0 – 10 %** et de **10 – 20 %**.

V.4.2 Zoning selon la lithologie

La lithologie du POS №01 de Texenna, est constituée par un substratum homogène le long du site, il s'agit d'un Schiste sur une grande profondeur, cette formation est recouverte par un limon argileux ayant des épaisseurs variables allant de 1 à 13 m, donc le site peut être scindé en deux zones A et B à savoir :
Zone A : elle est constituée par un Schiste recouvert par une mince couche de limon, dont l'épaisseur est l'ordre de 1 à 3 m.
Zone B : elle est constituée par des limons argileux moyennement épaisse, reposant à partir de 3 à 13m sur un substratum de Schiste sain.

V.4.3 Zoning selon les caractéristiques des essais de pénétration dynamiques

C'est le même zonage que la lithologie dans la mesure où les essais de pénétration sont accouplés avec des sondages.
Zone A : Les essais de pénétration dynamique ont données des résistances moyennes à fortes, elles sont comprises entre 50 et 100 bars. Par contre les résistances des refus sont supérieures à 500 bars.
Des refus à des côtes variables, elles sont comprises entre 1 et 10 m de profondeur, ces refus sont dus à la forte compacité du Schiste révélée en profondeur.

V.4.4 Zoning selon les caractéristiques physiques et mécaniques

L'analyse détaillée des paramètres physiques et mécaniques des échantillons prélevés dans les sondages a fait ressortir d'écarts notables de valeurs, elles sont représentées ainsi.

Zone A :

- ***Paramètres physiques***

Les analyses physiques effectuées ont montré que les Schiste altéré possèdent des valeurs de densités sèches, elles sont comprises entre 1.5 et 1.55 t/m^3, les teneurs en eau sont relativement élevées, et caractérisent des sols très humides et proches de la saturation, avec des grandeurs de degré de saturation comprises entre 95 et 97%.

Les valeurs de la limite de liquidité sont moyennes, elles varient entre 45 et 47%, l'indice de plasticité est de l'ordre 24 à 26%. D'après l'abaque de Casagrande il s'agit des argiles peu plastiques.

- ***Paramètres mécaniques***

Les caractéristiques intrinsèques UU des Schistes altérés ont donnés des valeurs de cohésion relativement faibles, elles sont comprises entre 0.4 et 0.5 bars, s'agissant de l'angle de frottement interne, les essais ont donnés des valeurs variant entre 5°à 8°.
S'agissant de la compressibilité, les valeurs de la pression de pré-consolidation (σc) pour les Schistes altérés sont comprises entre 1.4 et 1.95 bars. Les valeurs du coefficient de compressibilité (Cc) sont comprises entre 22 et 30%, ce qui montre que cette formation est fortement compressible. Les indices de gonflement (Cg) ont donné des valeurs inférieures au seuil de 4%, il s'agit donc des sols non gonflants.
Pour les Schistes sains en profondeur les données de la compression simple ont montré que cette formation est rigide.

- ***Paramètres chimiques***

Les analyses chimiques ont donné des taux faibles de carbonates, Ils sont inférieures à 10 %. De plus ces analyses n'ont décelé aucune présence des sulfates dans le sol.

Zone B :

- ***Paramètres physiques***

Les mesures en laboratoire effectuées sur les limons argileux et les Schistes altérés en profondeur de cette zone, ont donné des valeurs de teneur en eau un peu moindres, elles sont de l'ordre de 20 à 29%,

ces valeurs caractérisant un sol humide à très humide, les densités sèches caractérisant un sol semi dense, les valeurs sont de l'ordre de 1.5t/m^3.
Les valeurs de la limite de liquidité sont un peu faibles, elles varient entre 38 et 40%, l'indice de plasticité est de l'ordre 20 à 21%. D'après l'abaque de Casagrande il s'agit des limons peu plastiques.

- ***Paramètres mécaniques***

Les caractéristiques intrinsèques UU de limon argileux ont donné des valeurs de cohésion comprises entre 0.2 et 0.4.bars, s'agissant de l'angle de frottement, les essais ont donnés les valeurs varient entre 11 à 12°.
Les valeurs des essais oedométriques pour le limon argileux, caractérisant une formation sur-consolidée, moyennement compressible et non gonflante.

- ***Paramètres chimiques***

Les analyses chimiques ont donné des taux de carbonates faibles, Ils sont compris entre 10 à 12%. De plus ces analyses n'ont décelé aucune présence de sulfates.

V.4.5 Zoning selon l'aptitude des sols aux fondations

Les deux zones A et B, présentent des aptitudes différentes à recevoir des fondations ordinaires, en effet :
La zone A : qui est constituée par des Schistes proche de la surface, renfermant une couche altéré épaisse dans le versant Ouest, de cette Zone la capacité portante est variable, elle est faible dans le versant Ouest, et forte dans le versant Est.
Les fondations seront de type superficielles isolées dans le versant Est, et de type filante dans le versant Ouest.
Les valeurs de la contrainte admissibles sont comprises entre 1 à 1.4 bars dans le versant Ouest et de 1.9 à 2.3 bars dans le versant Est.

La Zone B : elle est constituée par une couche de limon argileux reposant à partir de 3 à 13 m sur des Schistes, cette zone offre une capacité portante faible à moyenne, les valeurs de la contrainte admissible du sol sont comprises entre 1 et 1.4 bars.

VI. Etude De Stabilité

VI.1 Introduction

Les problèmes de stabilité des pentes se rencontrent fréquemment dans la construction des routes, des canaux, des digues et des barrages. En outre certaines pentes naturelles sont ou peuvent devenir instables. Une rupture d'un talus peut être catastrophique. Elle provoque des pertes en vie humaine ainsi que des dégâts naturelles considérables, comme celle que connait la région de Texenna, wilaya de Jijel. Une cartographie à différentes échelles, reste à réaliser afin d'assurer une meilleure prise en charge de ces phénomènes.
L'étude réalisée dans la région étudiée s'est basée sur des investigations de terrain. Ces derniers ont permis de caractériser les sites affectés par les mouvements de sols et les calculs de stabilité afin de situer la courbe réelle de rupture. A cet effet l'étude géologique et géotechnique de ce secteur nous a été confiée.

Les travaux géologiques de terrain nous ont permis de relever plusieurs zones instables, particulièrement le glissement de terrain qui se trouve au prés de la gare de bus de Texenna (voir ***Figure VI.1)***. Parmi les dégradations observées en cite entre autre :
- Affaissement très important de la chaussée au sud du village de Texenna avec des fissurations et rupture de sol surtout au niveau des zones de Faiblesse (***Photo VI.1).***

Photo VI.1: Déformation du gabionnage en amont de la route

- Le gabionnage mis en place en amont de la route a été endommagée ***(Photo VI.1)*** ce qui incite à dire que le mouvement est toujours actif, et aussi l'importance des poussées des terres.

- Présence d'indices d'instabilités qui se matérialisent par des nets affaissements, et présence de bourrelets ; on y relève également des fissures et inclinaison des arbres vers le bas de la pente ***(Figure. VI.1)***

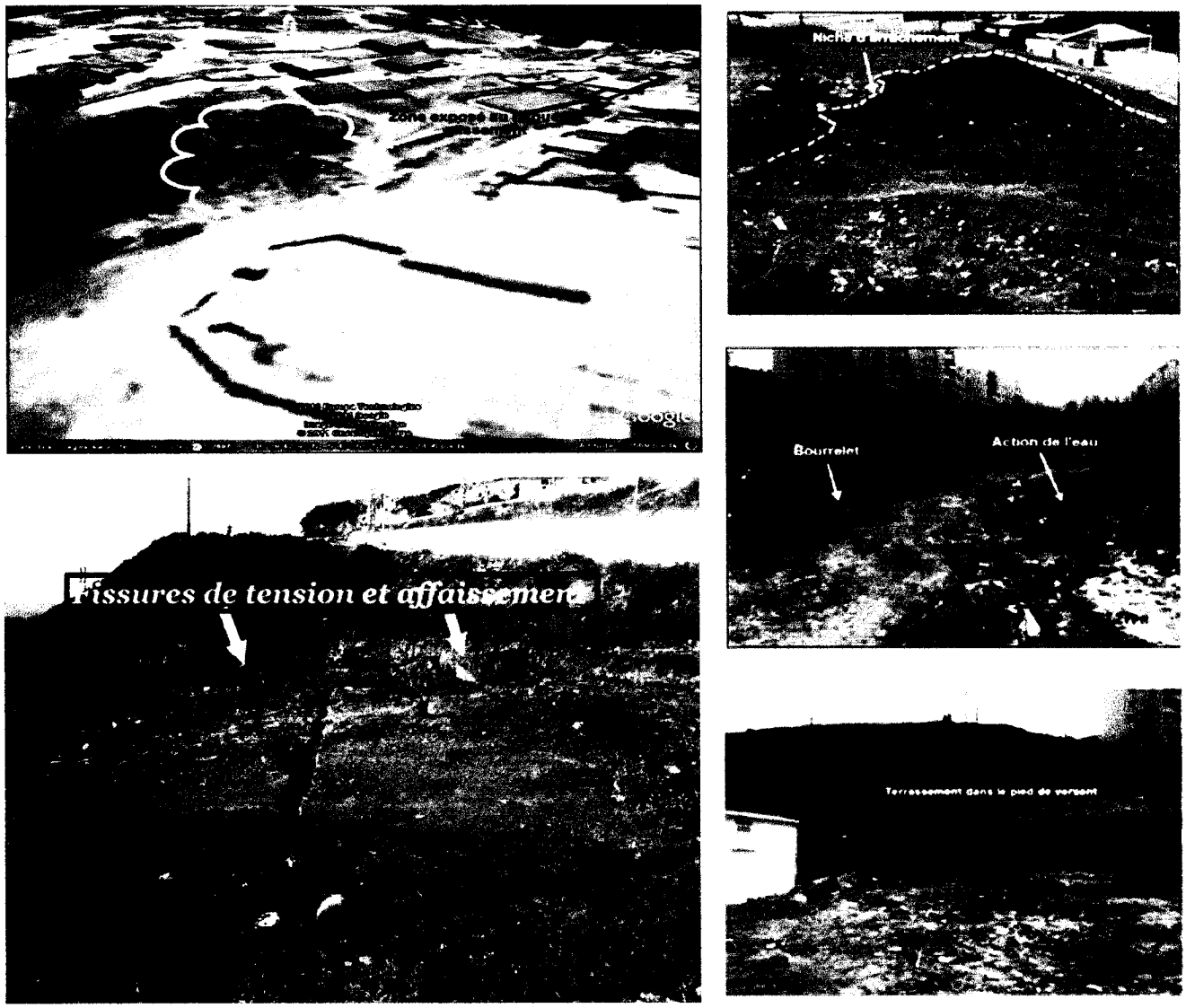


Figure. VI.1: Désordres affectant le glissement 1

- Des constructions ont été touchées par ces mouvements de terrain

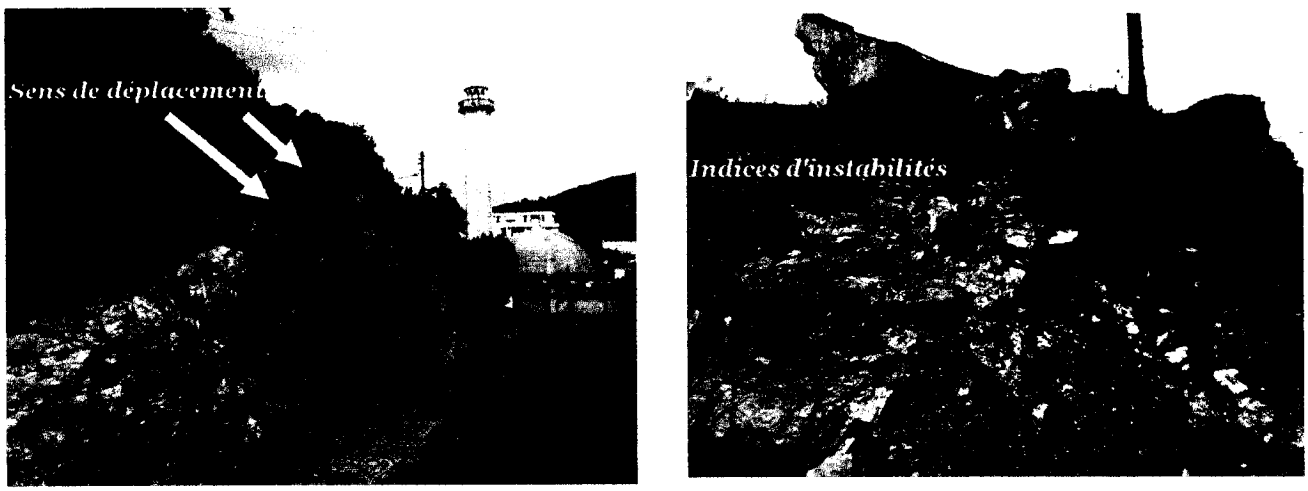


Figure. VI.2: Désordres affectant le glissement 2

VI.2 Type et origine de la rupture des sols

La sensibilité des schistes à l'action de l'eau joue un double rôle dans la dégradation du sol :

a. Action mécanique

L'eau circulant dans les fissures agit d'abord d'une façon uniquement mécanique par des alternances « humidification – dessiccation ». Ainsi, à partir des fissures principales se forme progressivement un réseau de plus en plus serré qui pénètre profondément et abouti à une désagrégation complète de la frange concernée en petits blocs unitaires ou feuillets de plus en plus réduits.

b. Action chimique

L'action chimique provoque l'altération de la périphérie des blocs unitaire. En effet cette action est surtout importante lorsque les matériaux schisteux subi une surface de plus en plus grande au contact des eaux circulants dans les fissures. Ainsi du point de vue géotechnique, l'altération s'accompagne de la variation des paramètres suivants : l'augmentation de l'indice de plasticité, l'augmentation du passant à 2µ, la diminution de la densité et l'augmentation de l'indice des vides, la diminution de la résistance notamment au cisaillement. Les caractéristiques physico-chimiques décroissent rapidement lorsque le degré de saturation augmente. La conséquence du changement du comportement du terrain est l'apparition de rupture. Ces sols sont notamment les schistes, selon la classification géotechnique sont répertories dans les matériaux évolutifs, il peut passer d'un comportement de plus satisfaisant à un comportement catastrophique.

VI.3 Principaux facteurs des mouvements de terrain du P.O.S n°01 étudié

La combinaison de plusieurs facteurs est à l'origine du déclenchement de ces mouvement de terrain tell que :
- *La nature lithologique du site :* La lithologie du site est représentée par des Schistes.
- *La pente topographique :* La pente moyenne du talus varie entre 10° et 30°.
-*Causes d'origine naturelle :* la forte pluviométrie et eaux de ruissellement, la couverture neigeuse, favorise elle aussi, lors de sa fonte lente l'imbibition des terrains qu'elle recouvre, avec la présence d'une nappe phréatique superficielle.
- *Causes d'origine anthropiques :* suite à des travaux de terrassement (surcharge en tête du talus déjà instable, décharge en pied supprimant une butée stabilisatrice, rejet d'eaux).

VI.4 Analyse de stabilité

La recherche par voie manuelle du cercle critique (cas ou la rupture est probablement circulaire), nécessite souvent le calcul de plusieurs cercles, ce qui est une opération compliquée et lente, alors que dans le cas ou la rupture est non circulaire le calcul sera très difficile.

Des calculs de vérification de stabilité ont été effectués au niveau du P.OS étudie pour de nombreux profils proposés. On utilise dans cette vérification le calcul automatique par le logiciel LimitState. La ***Figure VI.2.*** L'implantation des profils proposés de vérification de stabilité est présentée ci-dessous.

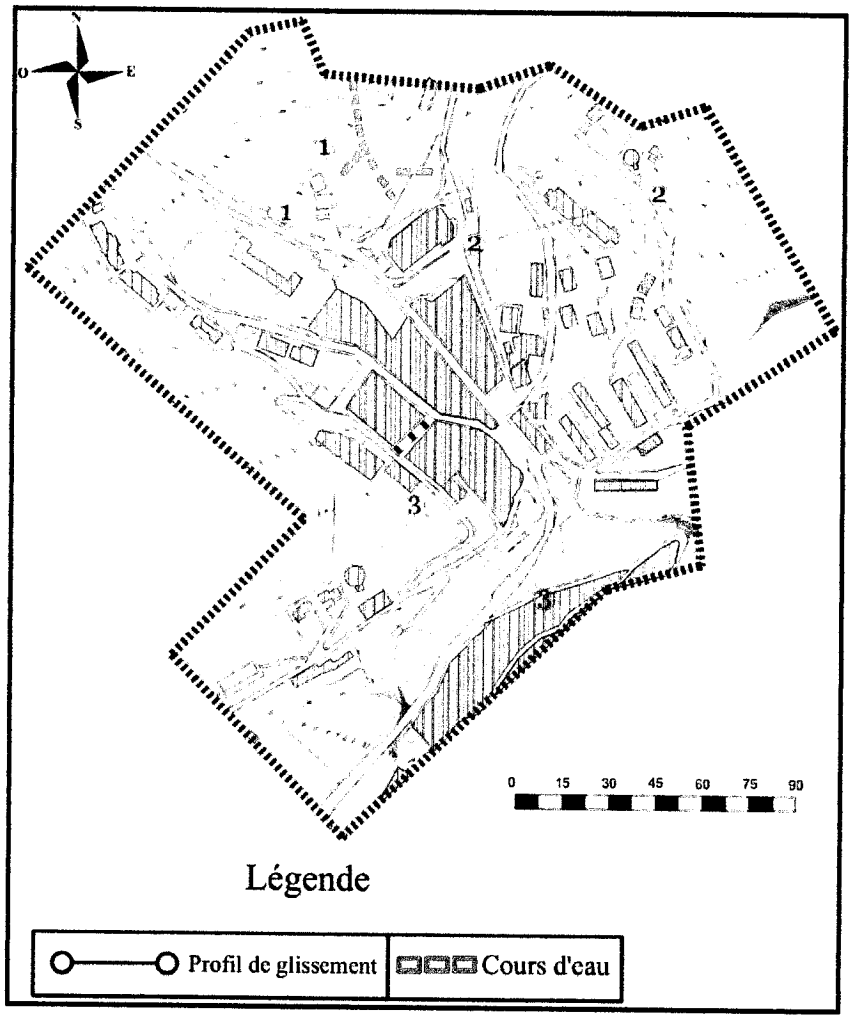


*Figure. VI.3: **Implantation des profiles de glissements proposés***

VI.4.1 Calcul de stabilité

Il est clair que chacune des hypothèses simplificatrices énoncées dans les méthodes de calcul théorique peut être discutée. Avec un programme de calcul, on peut admettre des simplifications moins importantes et prendre en compte par exemple l'intercalation entre les différents paramètres, les surfaces de rupture non circulaires, voir même le calcul à trois dimensions.

L'usage des programmes informatiques facilite l'analyse de la stabilité des talus. Le principal avantage de l'outil informatique est la possibilité de tester à coût très faible, un très grand nombre de surfaces de rupture en temps minimum et de déterminer celle qui est la plus critique.

On peut également faire varier les conditions géométriques, géotechniques et hydrauliques le long d'une même surface et comparer l'influence des différents facteurs. Cela permet, par exemple d'évaluer en modifient les conditions aux limites, quels sont les résultats à attendre des travaux de stabilisation ***(Benaissa, 2003).***

VI.4.2 Hypothèse de calcul : DLO (Disposition optimale des discontinuités)

La théorie des états limites est une approche déjà ancienne des calculs justificatifs des ouvrages. Elle est devenue obligatoire et les différents textes réglementaires s'y référent. Les états limites ultimes (ELU) correspondent à un événement qui n'a qu'une très faible probabilité de se produire. L'objectif

de la justification aux ELU est d'éviter la ruine de l'ouvrage en question ***(G. Philipponnat; et H. Bertrand; 2003).***

La méthode DLO est une nouvelle méthode d'analyse limite, extraite de la théorie (ELU) développée à l'Université de Sheffield et récemment publiée dans les actes de « Royal Society » (Smith et Gilbert, 2007). Cette méthode vise à définir la disposition optimale des discontinuités c'est à dire les lignes de glissement qui conduisent à une rupture d'où l'identification efficace du mécanisme critique de translation du bloc glissant.

La méthode (DLO) prévoit les mécanismes de rupture avec des prévisions satisfaisantes de la marge de sécurité.

VI.4.3 Simulation numérique par le logiciel Limit-State : GEO-V 2. (2011)

L'analyse de la stabilité des pentes, objet de ce chapitre se fait à l'aide du logiciel, LimitState: GEO.V2. Le choix de ce logiciel a été motivé par sa disponibilité et sa souplesse d'utilisation, ainsi que par ses performances du fait qu'il est fondé sur le théorème de "DLO". Par ailleurs ce logiciel donne des résultats satisfaisants comparés à d'autres logiciels de calcul (ex. Géostudio.2007).

VI.4.4 Description générale

Limit-State : GEO est un programme conçu pour analyser rapidement l'état limite ultime (ELU) pour une grande variété des problèmes géotechniques (y compris les pentes, les murs de soutènement, les fondations, les tunnels...etc.) en utilisant la méthode "DLO". Il est également conçu pour fonctionner avec les codes de conception modernes tels que l'Eurocode 7, en fournissant un soutien complet pour les coefficients partiels et la capacité à résoudre de multiples scénarios de ruptures.

Dans une analyse de stabilité des pentes conventionnelle (par exemple en utilisant la méthode des tranches) une surface de glissement prédéterminée est étudiée et la stabilité de la masse de sol à est évaluée en comparant les moments résistants et moteurs selon une approche ou une formule donnée. Habituellement de nombreuses surfaces sont étudiées et les plus critiques sont sélectionnées. Cela nécessite généralement la spécification d'une zone de recherche, les points d'entrée et de sortie, et peut être très sensible à la forme des surfaces de glissement adoptées (par exemple, circulaires ou non circulaires).

En revanche, la procédure d'analyse limite utilisée par Limit-State: GEO n'exige pas à l'entrée la forme du mécanisme de rupture de la problématique.

Le logiciel utilise un algorithme simple mais robuste et très efficace qui permet d'identifier le mécanisme de rupture critique à partir d'un très grand nombre de possibilités.

Le logiciel LimitState présente une interface graphique simple, qui permet aux utilisateurs de conduire facilement l'analyse. Au lancement du sous programme « Slope stability project » un menu s'affiche à l'écran demandant l'entrée du nom de fichier et une série de données complémentaires nécessaires à son exécution. L'admission des paramètres par défaut rend l'utilisateur ligoté, car ne lui permet pas de modéliser le problème tel qu'il est en réalité. Cependant les options dans la barre de menu, éditeur de géométrie et éditeur de propriétés, offrent la liberté de modifier la géométrie du talus, les conditions aux limites, de modéliser les couches du sol, de modéliser les matériaux et enfin de modifier le nombre et le type de combinaisons de charges et des coefficients de sécurité partiels (scénario de calcul) à exécuter. Le logiciel contient déjà des modèles de comportement mécaniques tel que:

- Mohr-Coulomb.
- Mohr-Coulomb (dérivé).
- Tension et / ou compression.
- Rigide...etc.

En outre, ces modèles de comportement peuvent être combinés pour décrire des situations plus complexes.

VI.4.5 Notion du coefficient : AF (Adequacy Factor) et des facteurs de sécurité partiels

La notion du coefficient AF « Adequacy factor » qui découle de l'application des principes de la méthode numérique (DLO) qui est une méthode d'éléments finis. De ce fait l'Adequacy factor ne peut être jamais comparable au facteur de sécurité calculé par la méthode des tranches. En général :

Si AF Adequacy factor > 1,0 le talus est stable.

Si AF Adequacy factor <1,0 le talus est instable.

L'application des coefficients de sécurité partiels est évidente par rapport à la démarche de coefficient de sécurité global qui masque le poids relatif aux différents paramètres. Cependant l'usage des coefficients de sécurités partiels permet de mieux prendre en compte le risque acceptable en fonction de chaque cas particulier.
En effet, dans une analyse de stabilité des pentes, l'introduction des facteurs de sécurité partiels sur les caractéristiques du sol (C', φ', Cu) a pour but de réduire la résistance du sol au moment de la rupture. Ces facteurs représentent l'exigence de sécurité sur la résistance du sol. Avec ces nouvelles conditions défavorables on cherche le coefficient AF qui donne le mécanisme critique de rupture.
Limit-State: GEO respecte pleinement l'utilisation des facteurs de sécurité partiels unifiés dans l'Eurocode 7.

VI.5 Vérification de stabilité au niveau du P.O.S étudie

Tableau VI.1 : Valeurs du coefficient AF.

Profils	AF (*Adequacy Factor*) selon l'Eurocode 7
Profil N°01	1.066

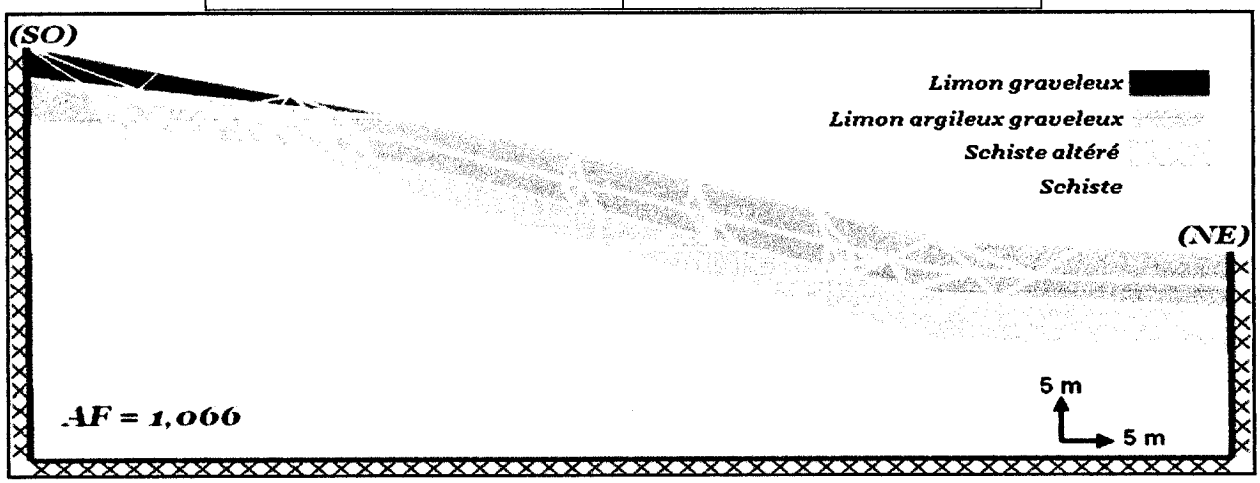


Figure. VI.4: profil n° 01

Tableau VI.2 : Valeurs du coefficient AF avant renforcement.

Les profils des glissements	AF (*Adequacy Factor*) selon l'Eurocode 7
Glissement 2	0.3382
Glissement 3	0.7048

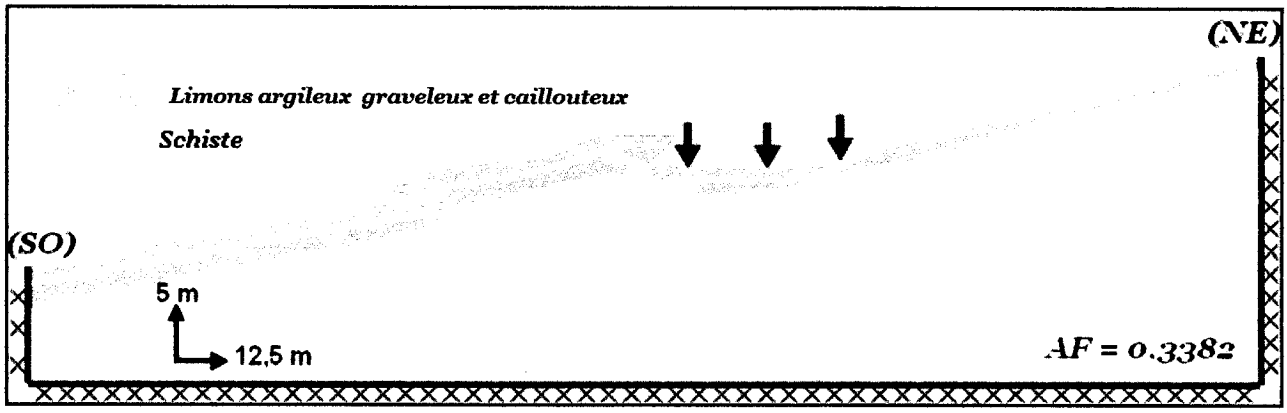


Figure. VI.5: profil de glissement 1

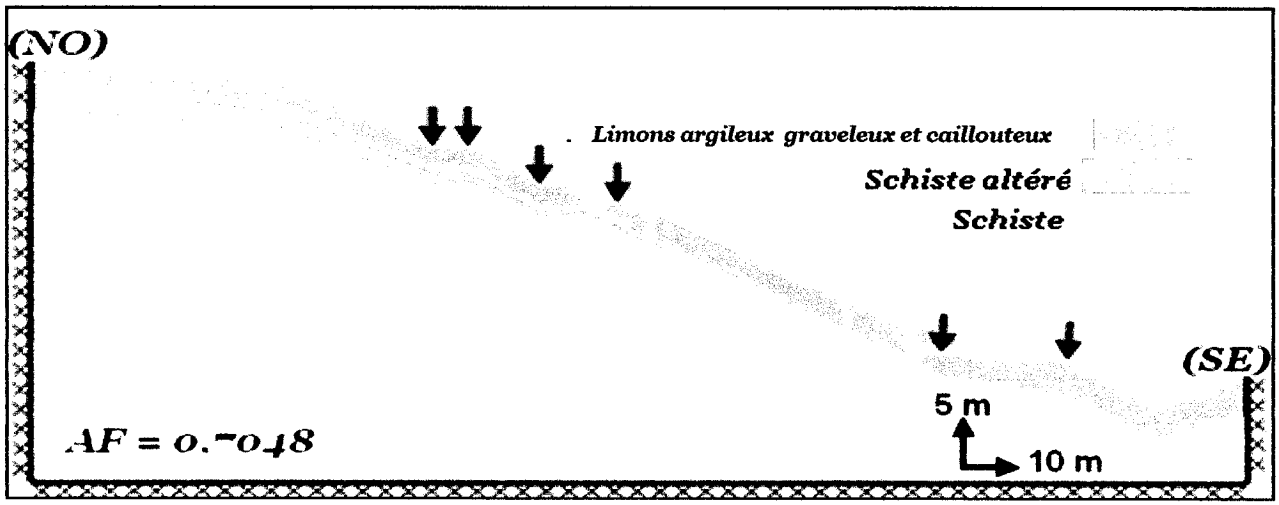


Figure. VI.6: profil de glissement 2

Tableau VI.3 : Valeurs du coefficient AF aprés renforcement.

Les profils des glissements	Techniques de confortement	AF (*Adequacy Factor*) selon l'Eurocode 7
Glissement 2	Masque drainant	0,9129
	Gabionnage	1,245
Glissement 3	Mur de soutènement	1.01

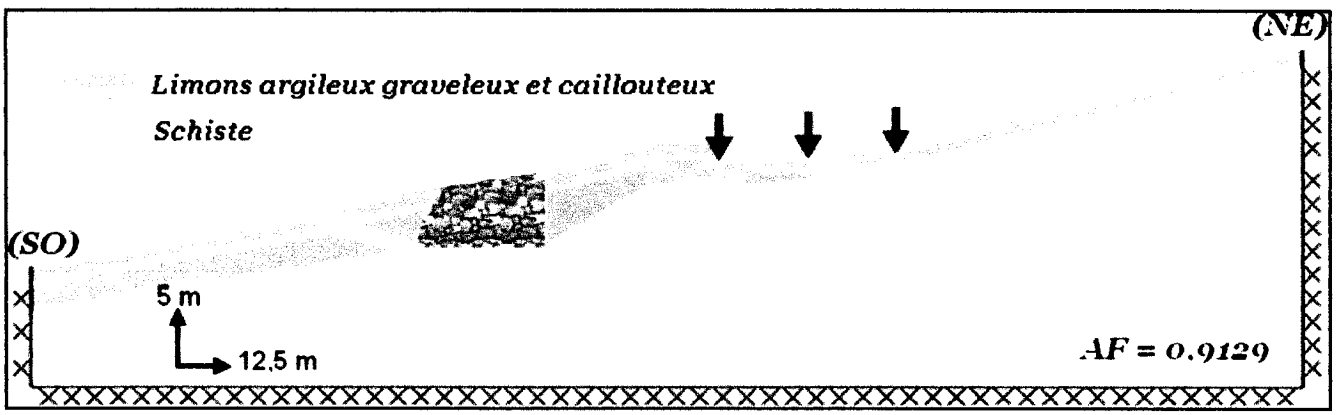


Figure. VI.7: Schéma du masque drainant au niveau du glissement 2

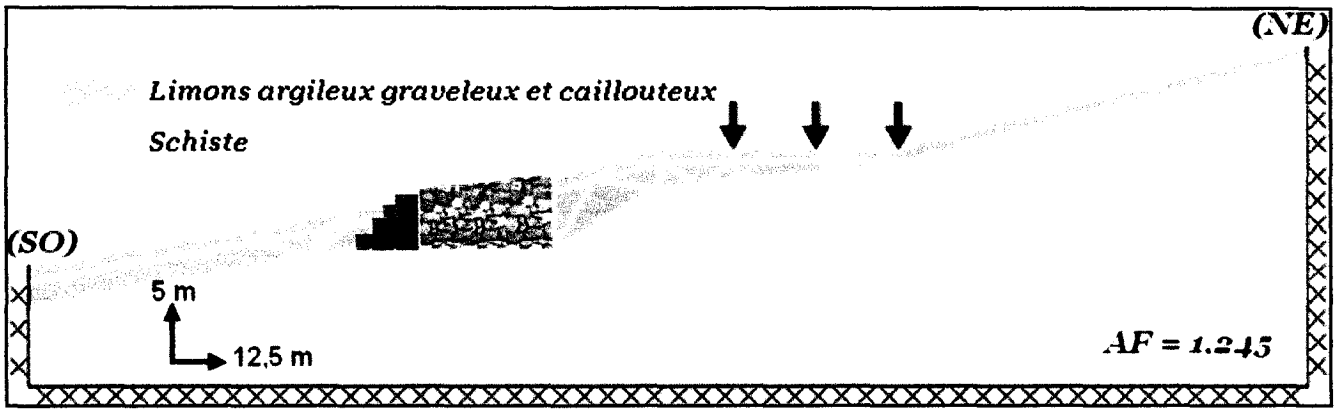


Figure. VI.8: Schéma du masque drainant et de gabionnage au niveau du glissement 2

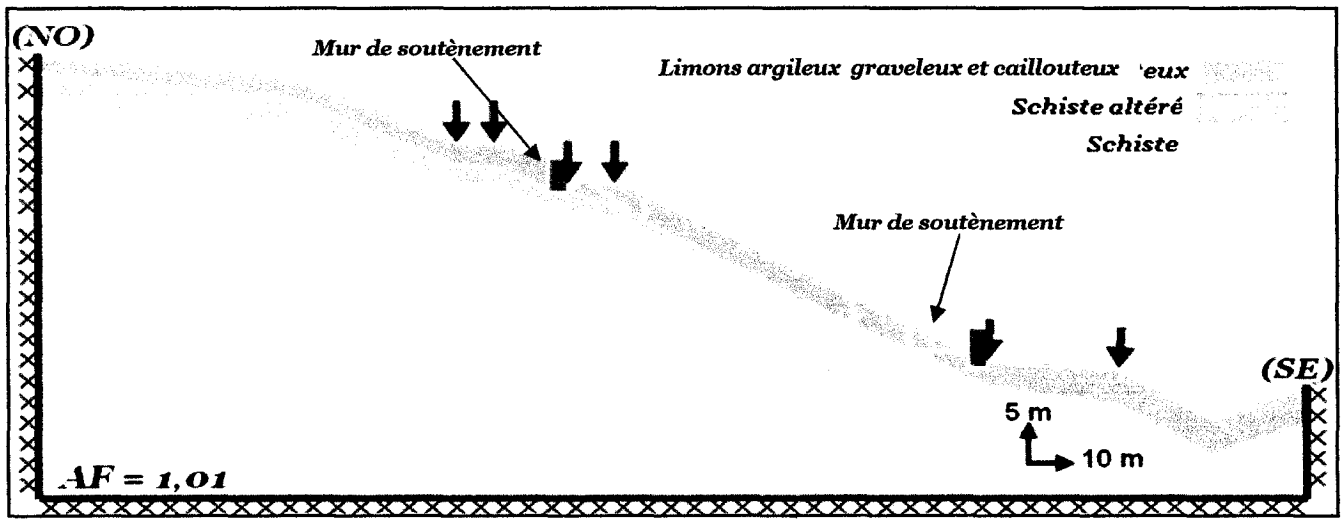


Figure. VI.9: Schéma du solutions adoptées (Reprofilage du talus et murs de soutènement) au niveau du glissement 3

VI.6. Mesures de sécurité générale contre les glissements de terrain dans le site étudie

1/ Drainage : Prévoir un système de drainage :

a. *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.
b. *Profond :* pour abaisser le niveau de la nappe avant toute construction. Ce dernier doit être d'une profondeur de un (1) mètre au minimum au-dessous des fondations.
c. Prévoir un système d'assainissement très efficace.

2/ Terrassements :

- Effectuer les terrassements en gradins, et que chaque parcelle doit être équipée d'un système de drainage efficace et propre à ses spécificités.
- Les terrassements devront débuter des parties sommitales pour diminuer les moments moteurs.
- Les matériaux de déblais doivent être évacués loin de l'emprise, et jetés à l'aval.
- Les sols sont très sensibles à l'eau, où leur saturation entraîne une chute de portance, est une pression interstitielle plus importante, il est donc préférable d'effectuer les terrassements et l'ouverture des fouilles par saison sèche où en période climatique favorable.

3/ Les masques drainants

Les masques drainants sont des ouvrages en matériaux granulaires grossiers mis en place comme parement sur le talus. Leur rôle est d'annuler la pression interstitielle dans la portion correspondante du terrain, mais leurs caractéristiques mécaniques élevées (angle de frottement) apportent également un gain de stabilité.
La solution qui semble être efficace pour stabiliser le glissement 2 est la réalisation d'un masque drainant. Le masque drainant proposé est constitué de matériaux drainant (enrochement 100 - 400 mm) mise en place sur le talus sous forme de butée faiblement ancrée. Le drainage à l'interface masque - sol se fait à l'aide d'un tapis drainant constitué de deux couches, la couche inférieure réalisée de 20 cm de sable alluvionnaire propre (ES > 65%) et la couche supérieure de 20 cm en tout venant 0/50 mm propre (ES > 65%)

4/ Les 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 de rupture muni de tous le système de drainage.

VI.7. Etablissement de la carte ZERMOS (ZERMOS** = Zones **E**xposées aux **R**isques de **M**ouvement des **S**ols) **(Figure. VI.10)

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

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

- 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. VI.10)***

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

❖ **Principe et Méthodologie**

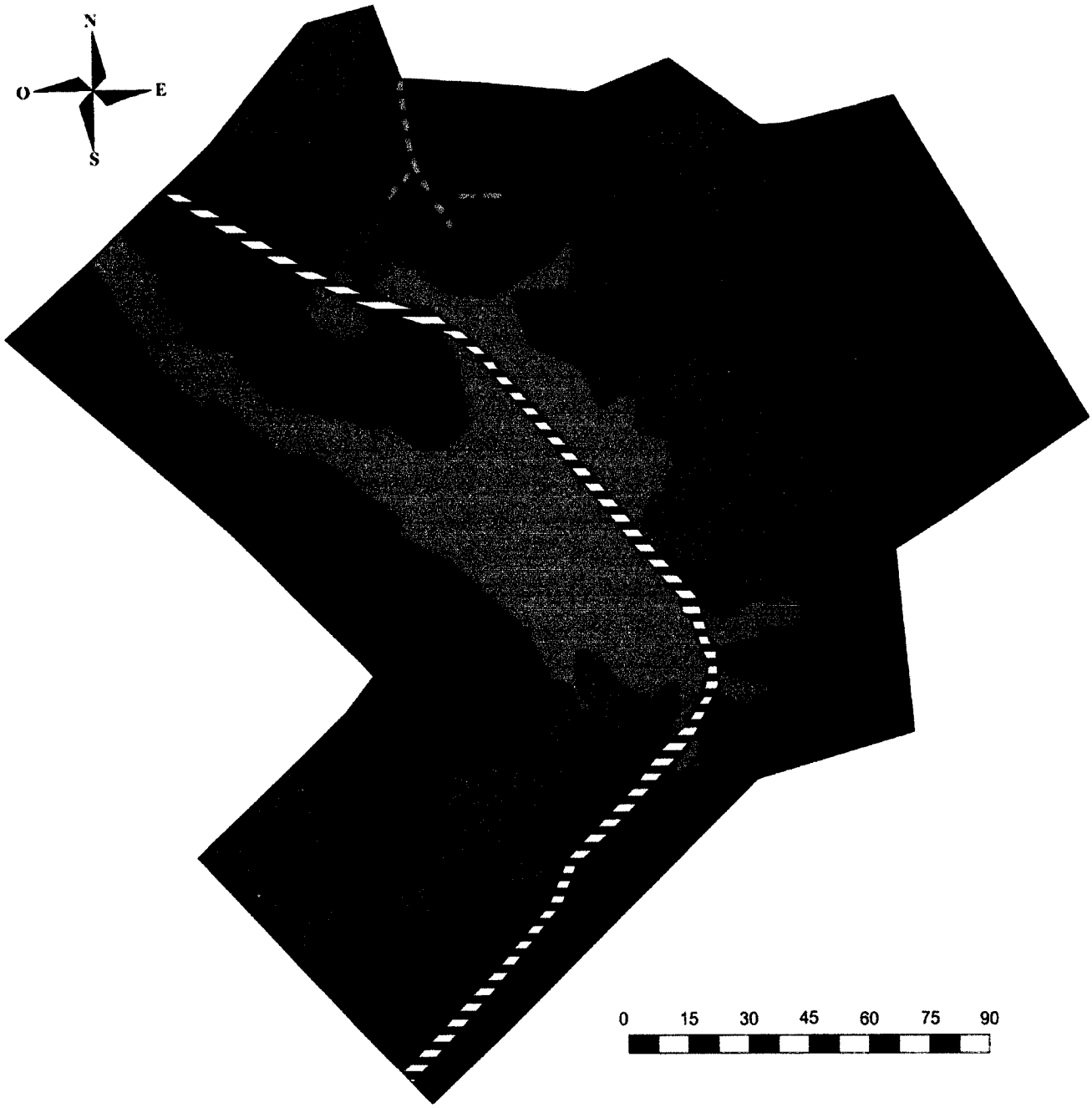
Les deux démarches qui présentent la cartographie ZERMOS sont:

✓ **Phase analytique**

Localisation probable et nature des instabilités.

✓ **Phase de synthèse**

-Conception de zonage.
-Localisation probable et nature des instabilités.



Zone rouge : Halte!Danger!...Il faut renoncer à construire.

Zone orange : Attention!...Des aménagements sont possible ; mais il ya des précautions à prendre.

Zone verte : La vie est libre...Pas des contraintes particulières liées à des mouvements de terrain.

***Figure. VI.10: Carte ZERMOS (Zones Exposées aux Risques des Mouvements de Sols) du site du POS* №1 de la region de Texenna wilaya de Jijel.**

VII. Conclusion générale et recommandation

VII.1. Conclusion générale

La synthèse des résultats des travaux obtenus, essais in-situ et essais de laboratoire ainsi que le calcul relatif aux fondations, permettent de tirer les conclusions suivantes :

Le POS n°1 de Texenna, concerne l'agglomération principale de la commune de Texenna, il possède une superficie de 34.85 Ha.
Sur le plan topographique, la forme du terrain est caractérisée par deux versants et une cuvette au centre, les observations des données topographiques relevées, montrent assez bien des changements brusques des pentes. La globalité du site présente une topographie irrégulière, elle varie entre 10 et 60%.

Sur le plan hydrologique, l'intensité de ce dernier est presque nulle car le réseau hydrographique est caractérisé par une petite ravine dans la partie Nord.

La région de Texenna est caractérisée par plusieurs sources d'eaux utilisés pour l'alimentation des populations en eau potable, ces sources d'eau qui s'alimente d'une lointe nappe souterraine connecté avec des fissures dans les roches, l'eau apparaît un moment puis disparaît dans quelques sources.

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

1- Agréssivité :

Selon la norme NFP 18-011 du 06/92, l'analyse chimique des sols présente une agressivité nulle vis-à-vis le béton.

2- Résistance dynamique:

Les essais au pénétromètre dynamique lourd type ***TECOINSA*** ont donné des valeurs de résistance dynamique de la pointe assez bonnes à moyennes en général dès les premiers mètres.

3- Portance :

Le calcul de la contrainte admissible du sol Q_{ad} effectué à partir des essais in-situ et ceux de laboratoire révèlent en général un sol de résistance moyenne à partir de 1,5m de profondeur par rapport au terrain naturel.

4- Tassements :

Les tassements obtenus à partir des essais de laboratoire demeurent admissibles dans la limite fixée à la contrainte admissible et ce pour les fondations en semelles isolées ou filantes.

5- Stabilité :

La vérification de stabilité réalisée par le logiciel LimitState donne des coefficients de sécurité variant de **0.3382** à **1.066** ce qui indiquent l'instabilité de terrain.

VII.2. Recommandations et techniques de confortement :

- ☞ Eloigner les constructions des bords des talwegs.
- ☞ L'urbanisation du POS doit être orientée vers les zones à faibles pentes. La stabilité des terrains doit être vérifiée pour chaque étude de sols et la poussé des terres doit être prise en compte dans le calcul de ces fondations.
- ☞ Aménager le terrain sous forme des banquettes suffisamment larges
- ☞ .Assurer la stabilité des banquettes par des ouvrages confortatifs
- ☞ Projeter les constructions à partir des pieds du versant.
- ☞ .Prévoir un système de drainages dans les parties amonts
- ☞ .Prévoir des collecteurs d'eau de ruissellement

❖ **Techniques de confortement proposées :**

⇒ **Drainage**

⇒ **Terrassements**

⇒ **Les ouvrages de soutènement**

⇒ **Reboisement du talus**

⇒ ***Masque drainant***

Annexes

ANNEXE A

Partie n°01

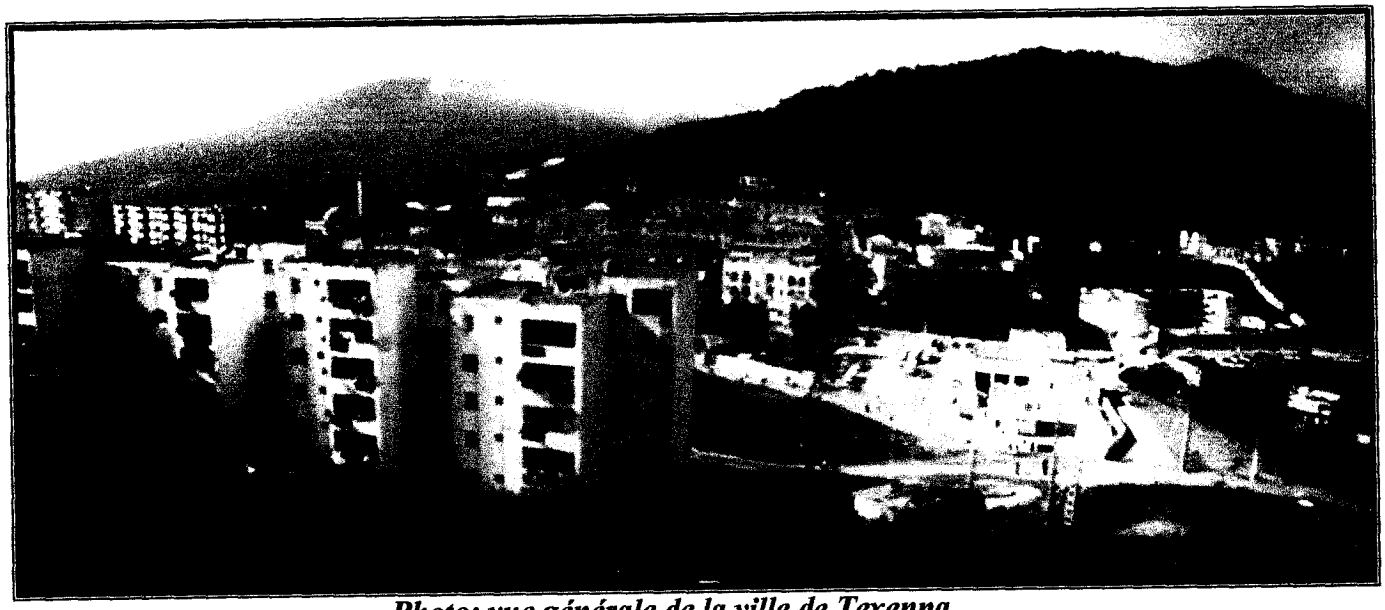


Photo: vue générale de la ville de Texenna

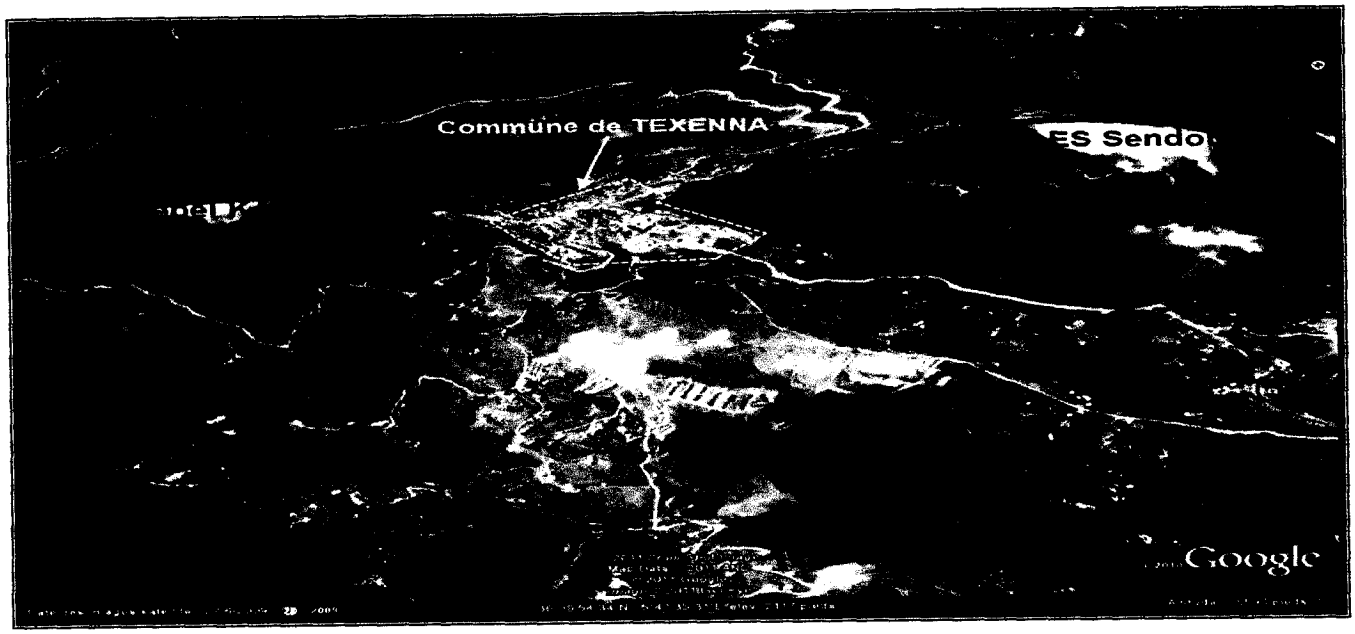


Photo: Situation géographique de la ville de Texenna sur image satellitaire

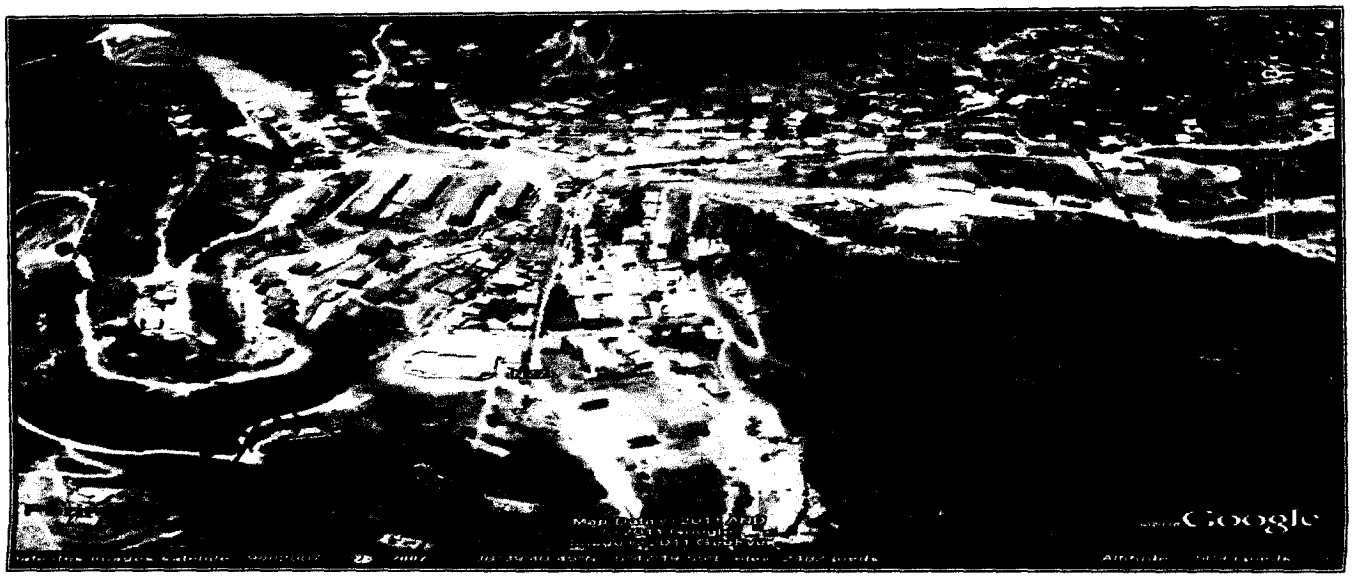


Photo: Situation géographique du P.O.S N°01 de Texenna sur image satellitaire

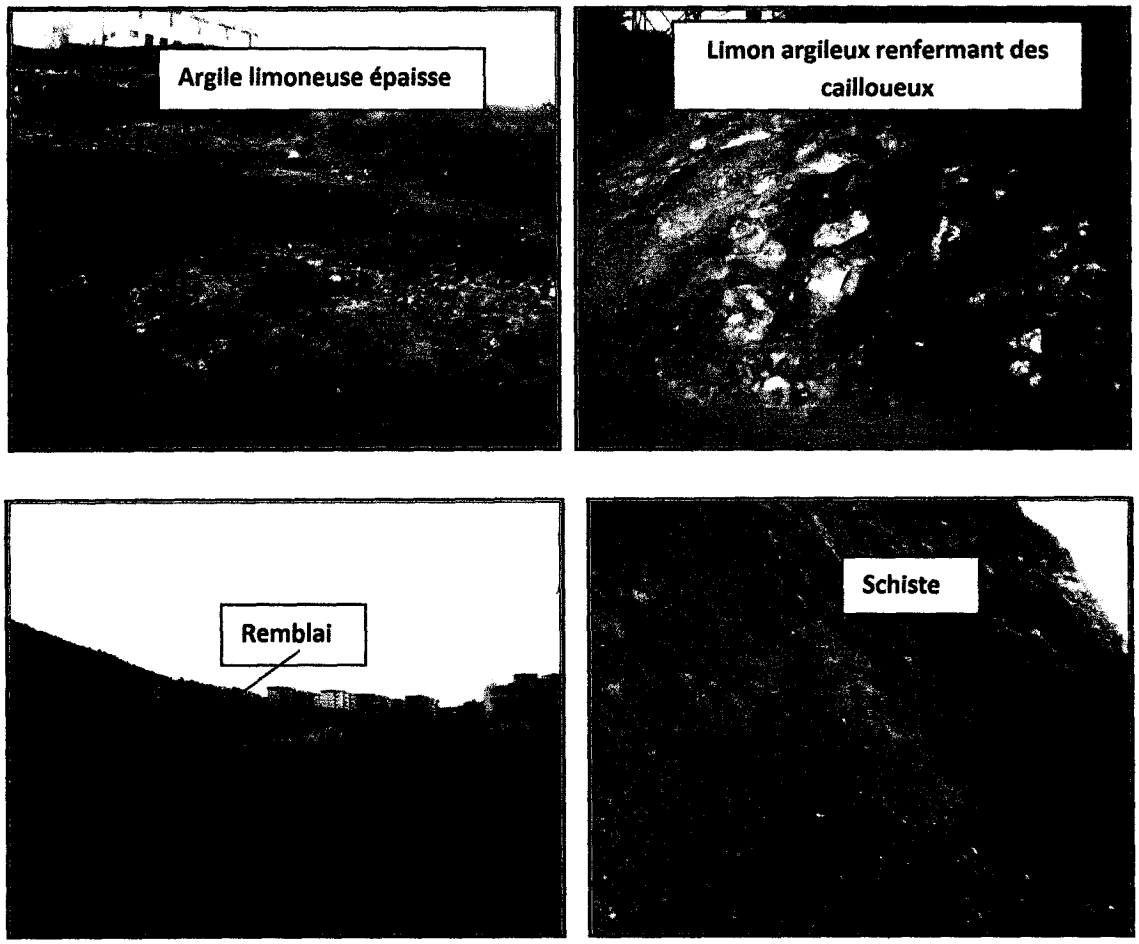
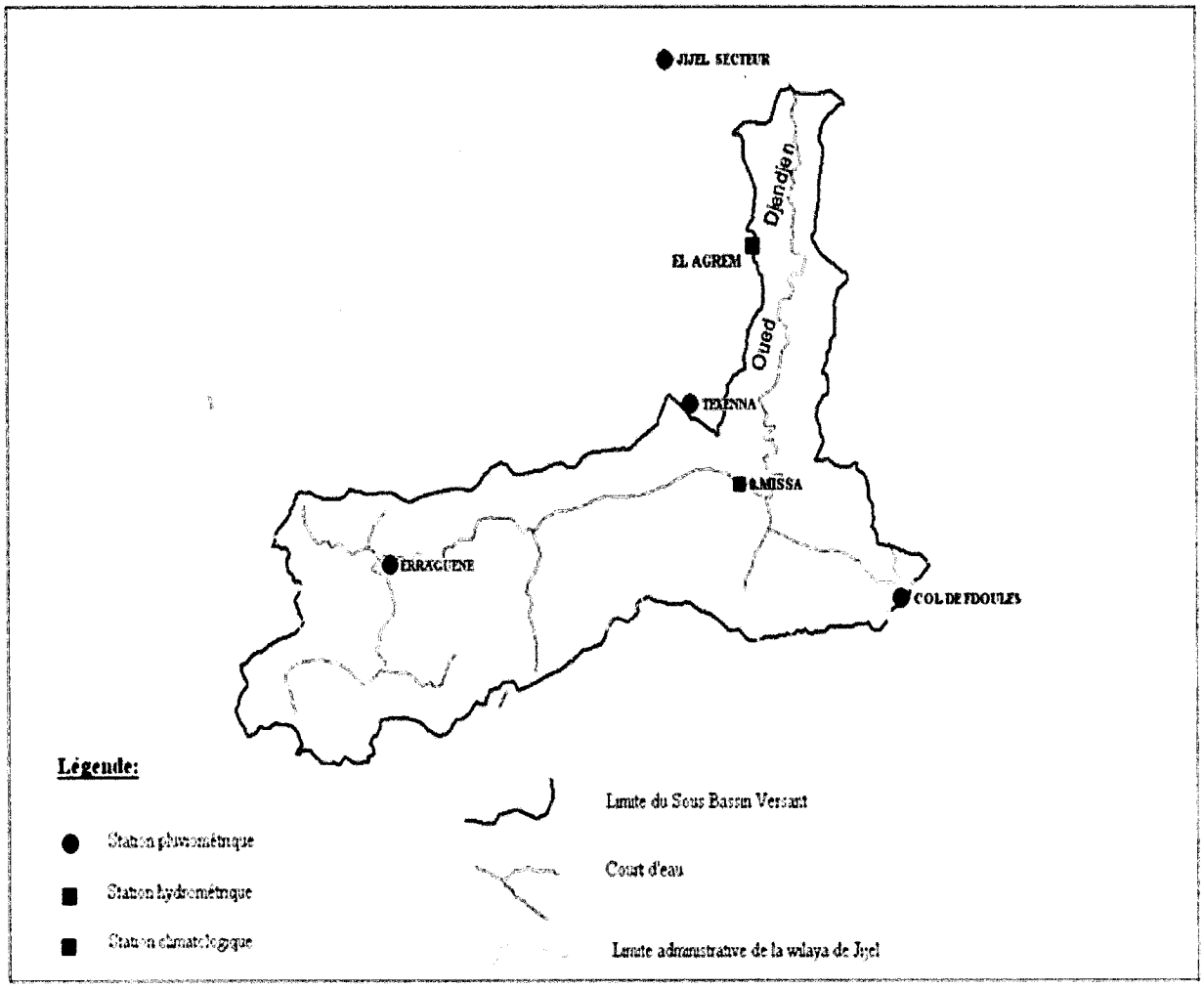


Photo : Illustration de la lithologie rencontrée dans notre zone d'étude

ANNEXE A

Partie n°02



Le positionement des station hydroclimatologiques (A.N.R.H)

Température (1/10 °C)	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	An
2001 - 2002													
Moyenne	231.00	235.00	174.00	108.00	114.00	124.00	141.00	156.00	194.00	234.00	250.00	238.00	18
2002 - 2003													
Moyenne	225.00	202.00	161.00	140.00	111.00	109.00	140.00	161.00	180.00	262.00	289.00	289.00	18
2003 - 2004													
Moyenne	240.00	210.00	167.00	15.00	107.00	126.00	129.00	147.00	163.00	208.00	226.00	252.00	16
2004 - 2005													
Moyenne	232.00	214.00	134.00	122.00	85.00	80.00	121.00	153.00	194.00	233.00	254.00	249.00	17
2005 - 2006													
Moyenne	236.00	212.00	165.00	119.00	102.00	115.00	146.00	189.00	213.00	247.00	273.00	256.00	18
2006 - 2007													
Moyenne	240.00	226.00	182.00	135.00	132.00	136.00	131.00	165.00	204.00	232.00	265.00	281.00	19
2007 - 2008													
Moyenne	240.00	200.00	152.00	125.00	127.00	134.00	134.00	170.00	193.00	226.00	269.00		
2008 - 2009													
Moyenne	246.00	204.00	147.00	120.00	114.00	109.00	129.00	145.00	206.00	243.00	286.00	273.00	18
2009 - 2010													
Moyenne	233.00	198.00	171.00	151.00	126.00	137.00	146.00	159.00	177.00	216.00	262.00	264.00	18
2010 - 2011													
Moyenne	234.00	203.00	156.00	137.00	125.00	115.00	142.00	176.00	193.00	223.00	265.00	278.00	18

Donnée de la température de la station de Texenna

Code station : 030302
Nom station : TEXENNA
X : 776,2
Y : 377,85
Z : 700 m

Pluvio (mm)	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Annuel
2001 - 2002	70.8	21.7	85.6	106.9	110.3	156.9	32.1	74.8	20.1	1.3	117.5	71.9	869.9
2002 - 2003	51.6	49.5	415.5	476.3	403.8	162.6	66.4	244.1	65.1	0.0	0.0	0.0	1934.9
2003 - 2004	127.6	85.1	89.6	399.6	128.0	31.0	84.2	124.0	79.5	85.5	0.0	3.5	1237.6
2004 - 2005	98.7	29.9	251.2	164.7	45.0	25.0	39.8	152.9	119.8	0.0	0.0	12.2	939.2
2005 - 2006	25.9	11.5	105.3	187.1	139.6	199.4	65.2	73.4	119.8	0.0	0.0	0.0	927.2
2006 - 2007	17.9	34.2	39.3	225.3	21.8	129.3	357.5	83.2	0.0	33.9	0.0	0.0	942.4
2007 - 2008	50.1	152.7	275.7	382.5	17.6	140.2	229.1	120.4	134.8	0.0	0.0	0.0	1503.1
2008 - 2009	124.7	47.9	212.4	187.4	290.9	201.9	86.9	150.2	53.4	0.0	0.0	16.5	1372.2
2009 - 2010	222.8	90.0	146.4	178.8	171.8	34.7	125.7	60.0	65.9	24.6	5.6	0.0	1126.3
2010 - 2011	39.6	296.5	213.5	71.0	58.5	257.9	54.8	136.7	41.2	15.2	4.9	0.0	1189.8
2001-2011	83.0	81.9	183.4	238.0	138.7	133.9	114.2	122.0	70.0	16.1	12.8	10.4	1204.3

Donnée Pluviométrique de station de la Texenna

Nom station : Barrage
El Agrem

Code station : 03 03 03

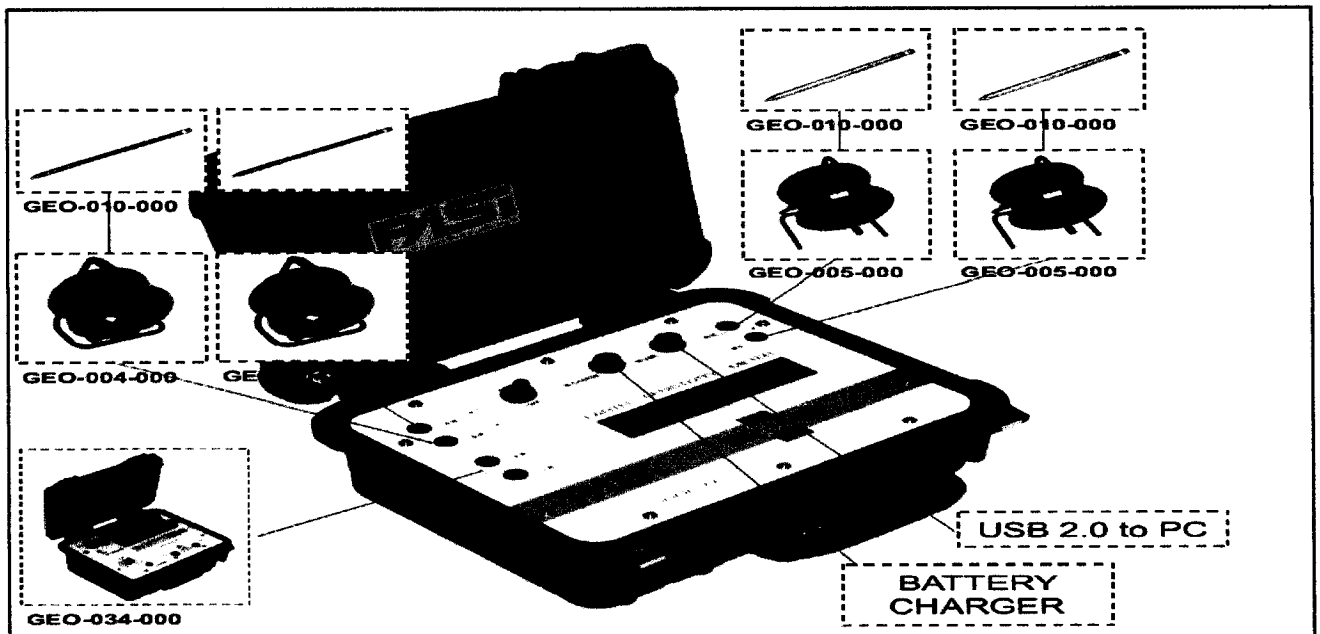
Coordonnées géographiques
Longitude : 05° 50' 11"
Latitude : 36° 44' 06"

Pluviométrie (mm)	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Annuel
2001 - 2002	57.9	0.0	133.1		65.1	91.3	36.3	41.5	8.2	0.0	36.0	49.0	861.2
2002 - 2003	50.8	73.4	31.6	342.8	372.1	117.2	29.7	134.3	50.4	0.0	2.0	0.0	1204.30
2003 - 2004	123.9	51.6	130.5	281.2	177.6	88.3	65.9	109.3	82.3	61.3	0.0	0.0	1171.90
2004 - 2005	78.3	25.6	199.7	201.9	272.8	218.6	88.8	193.0	13.3	0.0	0.6	8.5	1301.10
2005 - 2006	80.1	40.4	164.2	208.0	188.0	189.0	70.3	45.7	41.8	2.6	0.0	18.9	1049.00
2006 - 2007	54.3	51.7	36.0	243.5	11.7	83.9	271.1	74.7	4.0	27.1	4.4	4.0	866.40
2007 - 2008	83.4	129.6	211.7	307.4	19.8	27.7	199.2	36.0	128.2	4.8	0.0	0.0	1147.80
2008 - 2009	136.2	30.4	161.5	136.6	331.4	109.6	87.7	162.1	26.5	0.0	0.5	7.7	1190.20
2009 - 2010	136.0	88.4	162.6	180.9	165.4	81.0	112.2	58.1	65.9	46.9	1.8	1.1	1100.30
2010 - 2011	58.4	271.7	190.3	110.3	102.3	216.1	78.4	90.9	40.1	31.1	0.5	0.0	1190.10

Donnée Pluviométrique de station d'El Agrem

ANNEXE B

Partie n°01



Technical Specifications:

Energization curve:	may be customized by the following parameters: positive and negative wave length: 0,1 – 9,9 sec (impl. at 25 sec.) time between positive and negative wave: 0,1 – 9,9 sec intercycle time: 1 – 99 sec no of cycles: 1 – 99
Resolution:	610 nV, 126,8nA
Display:	16 x 2 characters, background lighting
N° of readout per wave	3 readouts of voltage and 3 readouts of current, consecutively and at wave term
Voltage range for VMN	from +/-20mV to +/-1280 V (automatically selected)
Display of measures	datum and time sequence number V, I and V/I (already mediated)
Memory:	up to 18000 measures
External data ports:	USB 2.0
Max power imput	1000 V — 1 A
Noise suppression:	superior to 98 db at 50-60 Hz
Power supply:	2x internal rechargeable battery 6V - 4A/h
Autonomy:	more than 50 h, with low battery alarm indicated on display
Operating temperature:	0 ÷ 60°C
Storage temperature:	-20°C ÷ +80°C
Physical dimension:	38 x 27 x 15 cm (shock proof case)
Weight:	5,4 Kg

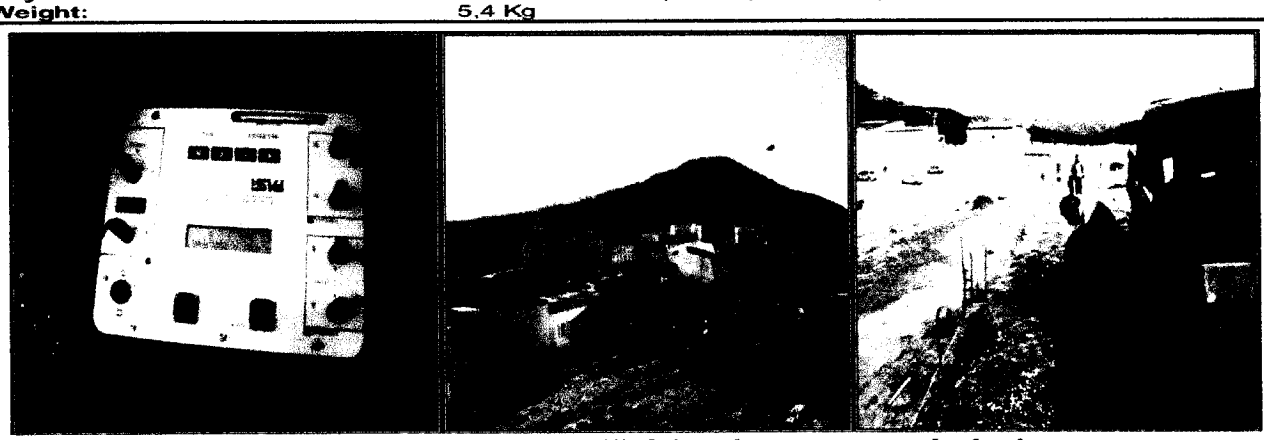


Photo : Appareillage utilisé dans la compagne géophysique

Sondage électrique verticale E1

Profondeur	Résistivité (Ωm)	Formation
0.0.-.8.0 m	55	Limon argileux
8.0.-.20 m	240	Micaschiste

Sondage électrique verticale E2

Profondeur	Resistivité (Ωm)	Formation
0.0.-.7.0 m	45	Limon argileux
7.0.-.20 m	300	Micaschiste

Sondage électrique verticale E3

Profondeur	Résistivité (Ωm)	Formation
0.0.-.10 m	35	Limon argileux
10.-.20 m	220	Micaschiste

Sondage électrique verticale E7

Profondeur	Résistivité (Ωm)	Formation
0.0.-.4.0 m	60	Limon argileux
4.0.-.20 m	230	Micaschiste

Sondage électrique verticale E9

Profondeur	Résistivité (Ωm)	Formation
0.0.-.5.0 m	60	Limon argileux
5.0.-.20 m	200	Micaschiste

Sondage électrique verticale E10

Profondeur	Résistivité (Ωm)	Formation
0.0.-.4.0 m	58	Limon argileux
4.0.-.20 m	310	Micaschiste

Sondage électrique verticale E11

Profondeur	Résistivité (Ωm)	Formation
0.0.-.5.5 m	73	Limon argileux
5.5.-.20 m	280	Micaschiste

Sondage électrique verticale E12

Profondeur	Résistivité (Ωm)	Formation
0.0.-.4.0 m	38	Limon argileux
4.0.-.20 m	260	Micaschiste

Sondage électrique verticale E15

Profondeur	Résistivité (Ωm)	Formation
0.0.-.2.5 m	95	Limon argileux
2.5.-.20 m	380	Micaschiste

Sondage électrique verticale E30

Profondeur	Résistivité (Ωm)	Formation
0.0.-.6.0 m	50	Limon argileux
6.0.-.20 m	220	Micaschiste

Sondage électrique verticale E31

Profondeur	Résistivité (Ωm)	Formation
0.0.-.5.0 m	64	Limon argileux
5.0.-.20 m	260	Micaschiste

Sondage électrique verticale E34

Profondeur	Résistivité (Ωm)	Formation
0.0.-.3.0 m	65	Limon argileux
8.0.-.20 m	340	Micaschiste

Sondage électrique verticale E35

Profondeur	Résistivité (Ωm)	Formation
0.0.-.0.5 m	120	Limon argileux
0.5.-.20 m	550	Micaschiste

Sondage électrique verticale, Parcours (n°01)

Etude : Prospection électrique dans la zone P.O.S n°01 Texenna

Date : 27/09/2011.

Sondage : parcours 01

'Opérateur : (A.N.R.H)

Coordonnées : x= N36°39'43.4'', E5°47'16.5''

Cote : z= 772 m

Avec : $\rho = k\frac{\Delta V}{I}$ et $k = \frac{AM.AN}{MN}\pi$

N°	AB/2 (m)	MN/2 (m)	P (Ω.m)
1.1	2.1	0.5	360
2.1	3.2	0.5	305
3.1	4.5	0.5	302
4.1	6.5	0.5	195
5.1	10	0.5	189
6.1	15	0.5	
6.2	15	3	159
7.2	21	3	189
8.2	32	3	202
9.2	45	3	
9.3	45	12	194
10.3	65	12	261
11.3	100	12	
12.3	150	12	
12.4	150	60	
13.3	210	12	
13.4	210	60	
14.3	350	12	
14.4	350	60	
15.4	500	60	
16.4	700	60	
17.4	1000	/	/

ANNEXE B

Partie n°02

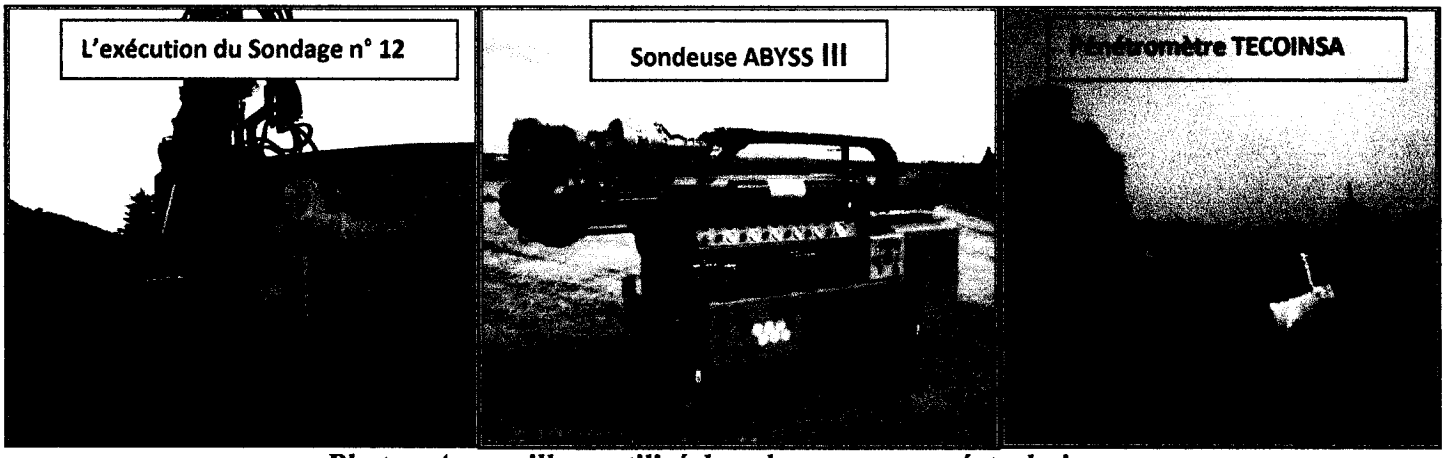
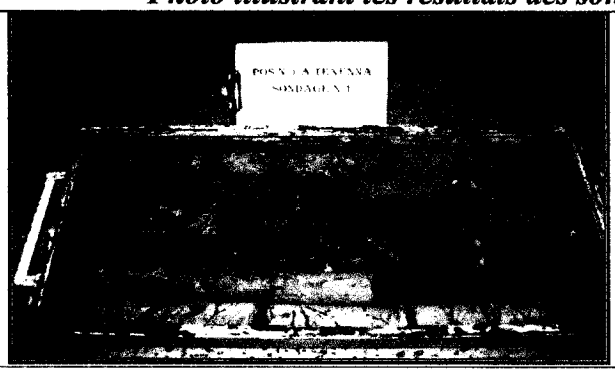
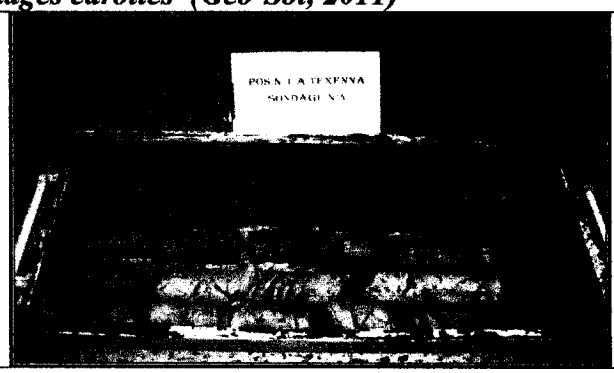
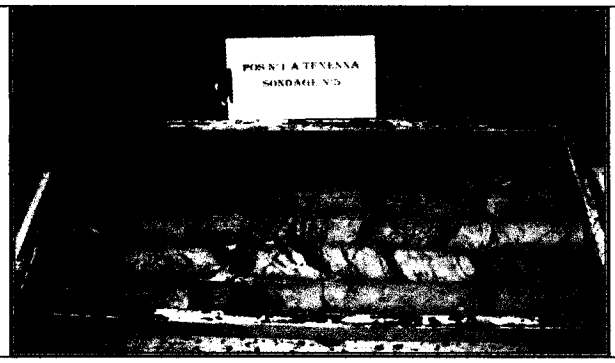
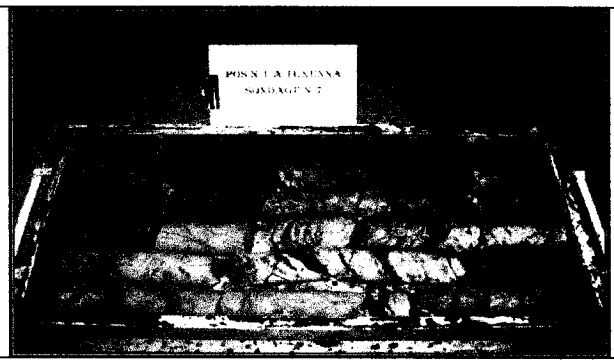
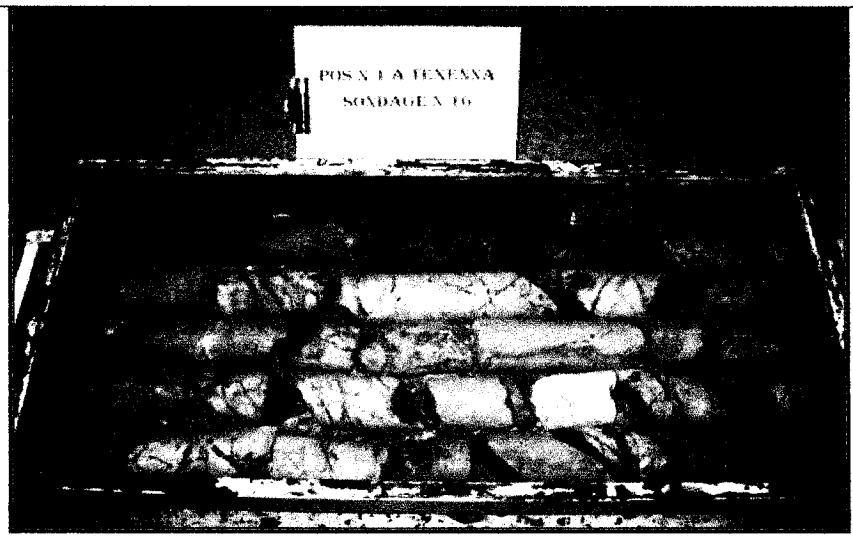


Photo : Appareillage utilisé dans la compagne géotechnique

Photo illustrant les résultats des sondages carottés (Géo-Sol, 2011)

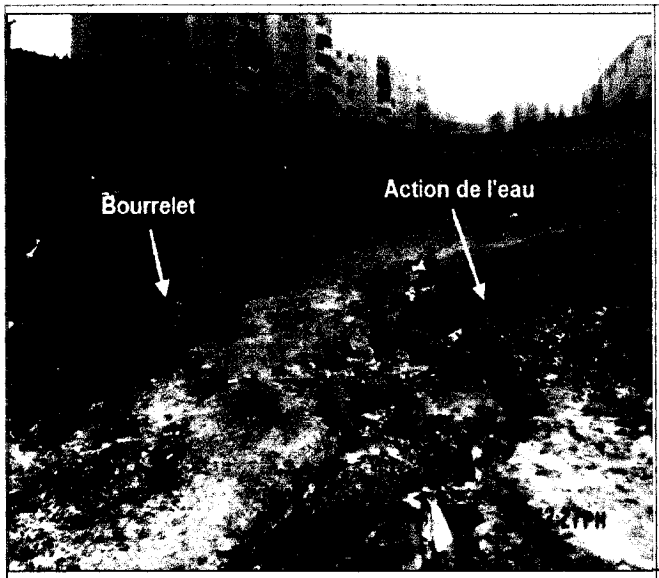
	
Sondage N°1 : 0.0/9.0m – Limon argileux graveleux. 9.0/15 m – Shiste	**Sondage N°4 :** 0.0/4.0m – Limon argileux graveleux et caillouteux. 4.0/7.0m – Schiste altéré 7.0/14 m – Schiste
	
Sondage N°5 : 0.0/1.5m – Limon graveleux. 1.5/5.0m – Limon argileux graveleux. 5.0/12 m – Schiste	**Sondage N°7 :** 0.0/2.5m – Limon argileux graveleux et caillouteux. 2.5/6.5 m – Schiste altéré 6.5/14 m – Schiste



Sondage N°16 :

0.0/3.5m – Limon argileux graveleux et caillouteux renfermant des blocs.

3.5/12 m – Schiste



Profil de glissement 1 avant le renforcement

Profil de glissement 1au cours de renforcement

Profil de glissement 2

Profil de glissement 2