



République Algérienne Démocratique et populaire
Ministère de l'Enseignement supérieur et la Recherche Scientifique
Université de L'arbi Tébessi-Tébessa Faculté des Sciences Exactes
et des sciences de la Nature et de la Vie



Département : Science de la Terre et l'Univers

MEMOIRE DE MASTER

Domaine : Science de la Terre et l'Univers

Filière : Géologie

Option : Géologie de l'Ingénieur et Géotechnique

THEME :

**Surveillance des glissements de terrain par télédétection : Application
de la technique PCI géomatica sur la région de souk Ahras (N-E
Algérien)**

Présenté par :

AOUADI Feriel

SACI Takwa

Devant le jury :

<u>Boumazbeur Abderrahmane</u>	Professeur	Université de Tébessa	Président
<u>Atamnia Djamel</u>	Professeur	Université de Tébessa	Examineur
<u>Fehdi Chemss Eddine</u>	Professeur	Université de Tébessa	Rapporteur

Date de soutenance : 15-06-2022

اهداء

مرت قاطرة البحث بكثير من العوائق، ومع ذلك حاولت
أن أخطاها بفضل من الله الذي ألهمني الصحة والعافية
والعزيمة والثبات،

فالحمد لله حمدا كثيرا، والصلاة على الحبيب المصطفى اما
بعد

عائتي الجميلة أهدي تخرجي وأرسم على وجوههم البسمة
من بهجتي وأقول لهم شكراً على وقوفكم الدائم معي وتعبيكم
من أجلي

شكرا

الى الأستاذ الفضيل شمس الدين فهدي .

الى الدكتورة قرايدية نور الهدى

على كل ما قدمه لي من توجيهات ومعلومات قيمة كما
نتقدم بجزيل الشكر الى اعضاء لجنه مناقشه الموقرة

اهداء

نحمد الله عزوجل الذي وفقنا في اتمام هذا البحث العلمي والذي الهمنه الصحة والعافية
والعزيمة فالحمد لله حمدا كثيرا

اهدي ثمرة جهدي هذا

الى اعز واغلى انسانة في حياتي التي اثارت دربي بنصائحها الي من زينت حياتي بضياء
الى من منحني القوة والعزيمة لمواصلة الدرب وكانت سببا في مواصلة دراستي البدر
الى من علمتني الصبر والاجتهاد الي الغالية على قلبي (امي)

الى صاحب الوجه الطيب والافعال الحسنة، لم يبخل على طيلة حياته (والدي العزيز)

الى اخي (فارس) واخواتي (سلمى، هديل ووصال) حفظهم الله

الى جدتي رحمها الله وكل العائلة الكريمة وزملاء الدراسة واصدقائي متمنية لهم التوفيق

الى الاستاذ الدكتور الفضيل شمس الدين فهدي والدكتورة قرايدية نور الهدى على كل ما
قدموه لنا من توجيهات ومعلومات قيمة ساهمت في اطار

موضوع دراستنا في جوانبها المختلفة

كما نتقدم بجزيل الشكر الي اعضاء لجنة الموقرة والاساتذة قسم الجيولوجيا

وبما ان هذا اخر عمل في مسيرتي الدراسة اغتتم الفرصة لأهديه الي كل استاذ درسني من
الابتدائي الي الجامعة واتقدم

لهم بشكر الجزيل

REMERCIEMENT

REMERCIEMENT

Après les louanges et les remerciements à Dieu Tout-Puissant qui nous a aidés à faire cet humble travail dans ces circonstances morales difficiles à la suite de cette épidémie.

Je profite de l'occasion pour remercier tout particulièrement notre promoteur, le professeur Fehdi Chems Eddine, pour avoir accepté de nous encadrer dans cette étude. Je le remercie pour son implication, son soutien et ses encouragements tout au long de ce travail salutaires, pour lui, pour tous les précieux conseils, les analyses riches qui montrent des grandes connaissances.

Sans oublier de remercier la doctorante Melle Gueraidia Nour El Houda pour tout ce qu'elle nous a apporté lors de l'élaboration de notre mémoire.

Mes remerciements aux membres des jurys pour les efforts qu'ils ont fournis pour examiner notre travail et pour le juger.

Je n'oserais oublier de remercier tout le Corp. professoral de notre département, pour le travail énorme qu'il effectue pour créer les conditions les plus favorables au bon déroulement de nos études.

Table Des Matières

Introduction générale 01

CHAPITRE I

LE CONTEXTE GENERAL

I Présentation de la zone d'étude 04
1.1 Situation géographique 04
II Topographie 06
III Le réseau hydrographique.....07
IV Population.....08
V la végétation de la région 08
VI Agriculture09

GEOLOGIE

I Introduction11
II La litho stratigraphie de la zone d'étude 11
1 Litho stratigraphie 11
1.1 Secondaire..... 12
1.1.1 Trias12
1.1.2 Crétacé inférieur et moyen 13
1.1.3 Crétacé supérieur.....13
1.2 Tertiaire13
1.2.1 L'Eocène13
1.2.2 L'Oligocène 13
1.2.3 Miocène inférieur 14
1.2.4 Miocène supérieur..... 14
1.2.5 Miopliocène continental..... 14
1.3 Quaternaire 14
1.3.1 Les formations anciennes 14
1.3.2 Les formations récentes 14
1.3.3 Les formations actuelles 15
1.3.4 Les terrasses 15
III Contexte géologique de la zone d'étude 18
IV Sismicité de la région..... 18

HYDROCLIMATOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE

I Climatologie

1 Introduction.....19
2. Station climatique.....19
3. Caractéristiques climatiques de la région.....19

3.1 La température.....	20
3.2 L'humidité.....	22
3.3 Les vents	23
3.4 Etude de l'évaporation	23
3.5 Etude de la pluviométrie	24
3.5.1 Variations saisonnières des précipitations.....	26
3.6 Diagramme pluviothermique	28
3.7 Détermination des indices climatiques	28
3.7.1 Climagramme d'Emberger.....	28
3.7.2 Calcul de l'indice d'aridité	29
3.7.2.1 L'indice climatique de DE MARTONE 1923.....	29
3.8 Etude de l'évapotranspiration.....	30
3.8.1 Evapotranspiration réelle annuelle moyenne (ETR).....	31
3.9 Estimation de la recharge par la méthode du bilan de G.W.Thornthwaite.....	32
3.10 commentaire sur le bilan hydrique	35

II Hydrologie et Hydrogéologie

4 .Hydrologie de surface et organisation du réseau hydrographique	35
4.1 Définition d'un bassin versant	35
4.2 Le bassin versant la Medjerda.....	35
4.3 Caractéristiques morphométriques du bassin versant.....	38
4.3.1 Introduction.....	38
4.3.2 Caractéristiques géométriques.....	38
4.3.3 Le réseau hydrographique.....	40
4.3.3.1 Les principaux oueds.....	40
5 Aperçu sur les aquifères.....	41
5.1 Les principaux aquifères.....	41
5.1.1 Horizons aquifères dans les massifs de diapirs.....	41
5.1.2 Horizons aquifères dans le calcaire des étages campanien et Maastrichtien.....	41
5.1.3 Horizons aquifères dans les sédiments du miocène et du pliocène.....	42
5.1.4 Les Sources thermales.....	42
5.2 Zone des affleurements Triasiques.....	43
5.2.1 Estimation des réserves des nappes.....	44
5.3 Le synclinal de Taoura.....	44
5.3.1 Localisation.....	44
5.3.2 Description de l'aquifère.....	44
5.3.3 Les ressources potentielles.....	45
6 Conclusion	45

CHAPITRE II

I. Introduction.....	47
1. Les glissements de terrains.....	47
1.1 Définition.....	47

1.2	Eléments descriptifs du phénomène.....	48
1.3	Dimensions d'un glissement de terrain	49
1.3.1	Le volume de glissement.....	49
1.3.2	La vitesse de glissement.....	49
II.	Les types de glissement de terrain.....	50
III.	Les facteurs déclenchant d'un glissement.....	51
1.	Facteur de prédisposition	51
IV.	Les paramètres influençant l'aléa.....	51
a)	Les paramètres naturels.....	51
b)	Les paramètres anthropiques.....	51
V.	Phénomènes aggravants pouvant résulter de glissements de terrain.....	52
VI.	Méthodologie d'étude de glissement de terrain.....	52
1-	Repérage de la zone instable	53
a)	Etablissement d'un plan topographique à grande échelle.....	53
b)	Piquetage du site.....	53
c)	Repérage des traits caractéristiques des glissements.....	53
2-	Examen du contexte géologique du site.....	53
3-	Etude hydrologique et hydrogéologique	53
a)	Pluviométrie de la région.....	53
b)	L'hydrologie de surface.....	54
c)	Hydrogéologie du site.....	54
4-	Investigation par sondages et essais géotechniques.....	54
a)	Les essais de laboratoire.....	55
b)	Les essais in situ.....	56
c)	Valorisation des sondages.....	56
5	Application des méthodes géophysiques.....	58
VII.	Présentation de la région d'étude.....	58
1-	Historique des glissements dans la zone d'étude	58
1.1.	Définition de la télédétection.....	59
1.2.	Principes de base de la télédétection	59
1.3.	Les principales étapes de la télédétection.....	61
1.4.	Les bases physiques de la télédétection.....	62
a)	Le rayonnement électromagnétique (Soudani K., 2005).....	62
b)	Le spectre électromagnétique.....	62
c)	Signatures spectrales.....	63
1.5	Satellites SAR (Synthetic Aperture Radar).....	64
b.	Description des logiciels utilisés dans ce travail	66
2.1	Le logiciel ENVI.....	66
a.	Présentation du logiciel ENVI.....	66
2-2	Le logiciel Géomatica PCI.....	67
a).	Méthode de travail.....	68
2.3	SIG.....	69

a. Mise en page	70
IX. Conclusion.....	7
CHAPITRE III	
I. Introduction.....	72
II. Situation des secteurs d'étude.....	72
III. Etude géotechnique.....	75
I. L'étude géotechnique Glissement RN 81 PK 137+000.....	73
1.2 Situation du site.....	75
1.2.1. Nature géologique.....	75
1.3Travaux de prospection.....	75
1.4Contexte géologique locale.....	75
1.5niveau piézométrique.....	76
1.6Essai pressiométrique.....	77
1.7les essais en laboratoire.....	77
A. Essais physiques	77
A.1granulométrie.....	77
A/teneur en eau.....	78
B /Essais mécanique.....	78
II. Glissement RN81 PK138 hamem tassa.....	78
2. investigation (programme géotechnique).....	78
2.1. In-situ.....	78
2-1-1 sondage carotte.....	78
2 1-2 forages pressiométrique.....	78
2.2. Au laboratoire	78
2.2.1 Essai d'identification.....	78
2.2.2 Essais préssiométriques.....	79
3- Les Résultats	79
3-1- Forage pressiométriques.....	79
3-1-1Essais préssiométriques.....	79
III. Glissements RN16 PK 82+000 machroha.....	79
3.1Situation du site.....	79
3.1.1 Description morphologique du terrain.....	79
3.2 Nature géologique.....	80
3.3 Travaux de prospection.....	80
3.4 Contexte géologique.....	80
3.5 Niveau piézométrique.....	81
3.6 Résistance dynamique.....	81
3.7 les essais en laboratoire	81
a. Essais physique	81
a 1. Granulométrie.....	81
a 2. Teneur en eau.....	81
b. Essais mécanique.....	81

Table des matières

IV. Télédétection.....	82
V. Conclusion.....	87
Conclusion Générale.....	89
Recommandations.....	90

Liste des figures

CHAPITRE 1

1.1	Situation géographique de la zone d'étude.....	05
1.2	Carte des altitudes de souk ahras	06
1.3	La carte topographie de la région d'étude. (Google maps).....	06
1.4	Le réseau hydrographique de la wilaya de souk ahras (modifié par surfer).....	07
1.5	Extrait de la carte de couverture végétale de l'Est algérien (d'après la cart internationale du tapis végétal au 1/1000 000 feuilles Tunis –Sfaxet Alger).....	08
1.6	Carte répartition de la S.AU par grande zone agricole.....	09
1.7	Carte des types de sol de la Wilaya de Souk-Ahras (modifié par surfer).	11
1.8	Carte géologique de la région de Souk Ahras.....	15
1.9	Coupe géologique de la région de Souk Ahras.....	16
1.10	Stratigraphique de la région de Souk-Ahras montrant les différents Phases Orogéniques (D'après David. L).....	17
1.11	Classification des zones sismiques et la région d'étude.....	18
1.12	Carte bioclimatique de l'Algérie (Cote M., 1998).....	19
1.13	Température moyenne annuelle de l'Est algérien et la région d'étude.....	20
1.14	Variation des moyennes mensuelle des températures (1980-2015).....	21
1.15	Variation des moyennes saisonnières des températures 1980-2015.....	21
1.16	Variation des températures interannuelles (1980-2015).....	21
1.17	Variation des moyennes mensuelles de l'humidité relative (en %)(1980-2015)..	22
1.18	Variation des moyennes saisonnières de l'humidité relative (en %)(1980-2015)..	23
1.19	Variation de l'évaporation mensuelle interannuelle en mm (1980-2010).....	24
1.20	Cartes des précipitations annuelles médianes « normales» (établie d'après A.N.R.H., 1993 données moyennes de 60 ans, périodes du 1er septembre 1921 au 31 août 1960 et du 1er septembre 1968 au 31 août 1989).....	25
1.21	Variation des précipitations moyennes mensuelles de la région d'étude.....	26
1.22	Variation des précipitations saisonnière de la région d'étude	26
1.23	Isohyètes moyennes annuelles au niveau de la wilaya de Souk-Ahras (modifier par surfer).....	27
1.24	Carte pluviométrique de la région de Souk Ahras (modifier par surfer).....	27
1.25	Diagramme pluvio-thermique de la station de Souk Ahras (1980 - 2015).....	28
1.26	Représentation du climat de la zone d'étude sur le climagramme d'Emberger.....	29
1.27	Abaque de l'indice d'aridité annuel de de martone 1923.....	30
1.28	Situation géographique du bassin versant de Medjerda et zone d'étude (modifier par surfer).....	36
1.29	Situation géographique du bassin versant de Medjerda et la zone d'étude (modifier par surfer).....	37
1.30	Réseau hydrographique du bassin versant de Medjerda.....	41
1.31	Carte hydrogéologique de la wilaya de Souk Ahras(modifier par surfer).....	43

CHAPITRE 2

2.1	Répartition mondiale du nombre de morts dus aux glissements de terrain pour l'année 2007.....	47
2.2	Éléments descriptifs d'un glissement.....	49
2.3	Dimensions d'un glissement de terrain.....	50
2.4	Les types de glissements.....	50
2.5	Différents types de sondages (D'après G.Filliat,1981).....	55

2.6	Repérages de surface de glissement par la technique de diagraphie (G.Filliat, 1981).....	56
2.7	Diagramme clinométrique d'un forage (G.Filliat, 1981).....	57
2.8	Principe de base de la télédétection.....	59
2.9	Les sept étapes de la télédétection.....	60
2.10	Représentation de l'onde électromagnétique.....	61
2.11	Détails des domaines spectraux.....	62
2.12	Signatures spectrales de quelques minéraux et roches.....	63
2.13	Quelques paramètres du faisceau radar.....	63
2.14	L'étalonnage radiométrique en niveau de l'ENVI	66
2.15	Geomatica toolbar	66
2.16	Présentation du flux de travail interférométrique	68
2.17	Exemple de mise en page en niveau de SIG.....	69
CHAPITRE 03		
3.1	Carte de situation géographique des secteurs d'étude (modifier par surfer).....	72
3.2	Les glissements de terrain de Hammam Tassa	73
3.3	Glissement de Zaarouria RN 16 (photo sautillée 2015).....	74
3.4	Glissements de Mechroha RN 16 Pk81+400.....	74
3.5	L'étape sarigest au niveau de PCI Geomatica.....	82
3.6	L'étape INSCOREG au niveau de PCI Geomatica.....	83
3.7	L'étape Insraw au niveau de PCI Geomatica.....	81
3.8	La carte de déplacement de produit résultante (Résultat exporté vers Google Earth).....	84
3.9	L'interférométrie produit résultant de Souk Ahras Lindslides.....	85
3.10	La carte interférométrique du produit obtenu	86

Liste des Tableaux

CHAPITRE 01

01	Répartition des superficies agricoles dans la région d'étude en (Ha).	10
02	Représentation de l'échelle stratigraphique.	12
03	Coordonnée de station de mesure.	19
04	Températures moyennes mensuelles en (T°C) à la station de Souk Ahras (1980-2010).	20
05	Températures moyennes saisonnières en (T°C) à la station de Souk Ahras (1980-2010).	21
06	Humidité relative moyenne en % à la station de Souk Ahras	22
07	Evaporation en mm et en % à la station météorologique Souk Ahras pour la Période 1980-2010.	24
08	Moyenne mensuelle des précipitations de la région d'étude.	25
09	Bilan hydrique de la station de Souk Ahras.	34
10	Caractéristiques géométriques du bassin de Souk Ahras	39
11	Longueurs des principaux oueds du bassin versant de Medjerda.	40

CHAPITRE 02

01	Les caractéristiques de ALOS 2 POLSAR.	64
02	Les options d'étalonnage disponibles par type de capture	65

Absrtact

Landslides are natural hazard with fatal impact to people who lives in mountain area, and they are sometimes caused by deep slope under heavy rains The understanding of the characteristics of the landslides are important to prevent the hazardous accidents. The movement characteristic of the slope is one of the most important indicator factor of the landslide

Applications of Earth Observation for cultural heritage have rapidly increased in the last years. A review of the available literature indicates a growing interest in the exploitation of active satellite sensors with particular emphasis on the use of synthetic aperture radar

A high quality surface displacement field of landslides is important to provide insights into their geometries and mechanical properties. Therefore, monitoring its surface motion over a wide area of space is a key challenge in order to quantify any potential landslide risk . Landslide inventory databases and maps are documenting the identification of landslide processes including the spatial distribution and characteristics such as geometry, volume, total length of area, causal factors, temporal frequencies,andsliding rates of different types of past landslide activities.

Keywords:

Linéaments, extraction of linéaments, Arc map, Landsat sat 8, Algeria, Souk-Ahras

RESUME

Les glissements de terrain sont un danger naturel avec un impact mortel pour les personnes qui vivent dans la zone de montagne, et ils sont parfois causés par une pente profonde sous de fortes pluies. La compréhension des caractéristiques des glissements de terrain sont importantes pour prévenir les accidents dangereux. La caractéristique de déplacement de la pente est l'un des indicateurs les plus importants du glissement de terrain.

Les applications de l'observation de la Terre pour le patrimoine culturel ont rapidement augmenté ces dernières années. Un examen de la littérature disponible indique un intérêt croissant pour l'exploitation des capteurs satellites actifs, avec un accent particulier sur l'utilisation de radars à ouverture synthétique.

Un déplacement de surface de haute qualité field de glissements de terrain est important pour fournir des aperçus de leurs géométries et propriétés mécaniques. Par conséquent, la surveillance de son mouvement de surface sur une vaste superficie est un défi clé pour quantifier tout risque potentiel de glissement de terrain. Les bases de données et les cartes d'inventaire des glissements de terrain documentent l'identification des processus des glissements de terrain, y compris la distribution spatiale et les caractéristiques telles que la géométrie, le volume, la longueur totale de la zone, les facteurs causaux, les fréquences temporelles, et les taux de glissement des différents types d'activités de glissement de terrain passées.

Mot clés :

Déplacement, Interferometry, PCI Geomatica, Arc map, ALOS2POLARS, Algérie, Souk-Ahras.

الملخص

الانهيارات الأرضية هي خطر طبيعي له تأثير مميت على الأشخاص الذين يعيشون في المنطقة الجبلية، وفهم خصائص الانهيارات الأرضية مهم لمنع الحوادث الخطيرة. تعد خاصة إزاحة المنحدرات أحد أهم مؤشرات الانهيار الأرضي وقد ازدادت سريعاً في السنوات الأخيرة تطبيقات رصد الأرض على التراث الثقافي. ويشير استعراض المؤلفات المتاحة إلى تزايد الاهتمام بتشغيل أجهزة الاستشعار الساتلية النشطة، مع التركيز بوجه خاص على استخدام رادارات الفتحات الاصطناعية الإزاحة السطحية عالي الجودة للانهيارات الأرضية أمراً مهماً لتوفير رؤى حول يعد هندستها وخصائصها الميكانيكية. لذلك، فإن مراقبة تحركها السطحي على مساحة كبيرة يمثل تحدياً رئيسياً لتحديد أي مخاطر انهيار أرضي محتملة. وتوثق قواعد بيانات عمليات الانهيارات الأرضية، بما في ذلك التوزيع الانهيارات الأرضية وخرائط الجرد المكاني والميزات مثل الهندسة والحجم والطول الكلي للمنطقة والعوامل السببية والترددات الزمنية ومعدلات الانزلاق للأنواع السابقة من أنشطة الانهيارات الأرضية

الكلمات المفتاحية :

Déplacement, Interférométrie, PCI Geomatica, Arc map, ALOS2POLARS, Algérie, Souk-Ahras.

Introduction Général

INTRODUCTION GENERALE

Depuis plus d'un siècle les géologues, géomorphologues, et plus récemment, les mécaniciens des sols ont tenté par divers moyens, de comprendre les mécanismes et les processus qui génèrent les glissements de terrain et, plus largement, les mouvements de terrain. Ces processus initialement naturels sont devenus au fil du dernier siècle de plus en plus liés aux activités anthropiques (Chettah, 2009).

Les mouvements de terrains s'expliquent par la conjugaison de facteurs permanents ou de prédisposition (nature et structure des formations géologiques, pentes...) et de facteurs déclenchant comme les eaux infiltrées, une secousse sismique ou des travaux de terrassement malencontreux. Les nappes souterraines, et plus exactement leurs fluctuations liées aux conditions météorologiques ou parfois aux actions humaines sont à l'origine de déclenchements des mouvements des versants : glissement, éboulements, coulées ou laves torrentielles.

Le risque se définit comme la conjonction entre l'aléa, le phénomène naturel potentiel, dans le cas des risques naturels, et la vulnérabilité des milieux et des sociétés exposés à ce phénomène

Les glissements de terrains sont phénomène naturel très fréquents en Algérie nord-orientale en particulier dans les flancs raides de l'Atlas tellien. Ce sont surtout les aléas gravitaires qui sont les plus recensés en Algérie et qui touchent beaucoup de wilayas comme le cas de la région de Souk Ahras, objet de notre présente étude.

Dans un contexte de montagnes (région de Souk Ahras), les mouvements de terrain sont particulièrement difficiles à localiser, présents en grand nombre, sur de larges étendues et souvent situés dans des endroits difficiles d'accès.

Dans ce contexte, l'utilisation de la télédétection est un précieux outil pour compléter les données déjà obtenues. En effet, la télédétection spatiale, notamment dans les milieux arides, aide à discriminer les formations, à mettre en évidence la plupart des grandes structures géologiques (linéaments...).

L'objectif de ce travail consiste à faire l'étude géotechnique et extraire à l'aide de l'imagerie satellitaire ALOS-2 PALSAR - SLC des informations géologiques et structurales afin de permettre de créer une carte d'interférométrie et son utilisation pour la surveillance de la déformation du sol de la région de Souk Ahras, située en milieu semi-aride et de comparer les résultats obtenus aux études antérieures de cartographie dans le secteur d'étude.

Introduction générale

Les différentes parties de ce travail sont les suivantes :

- Dans le premier chapitre on a présenté le cadre général de la région où l'on a abordé la situation géographique, stratigraphie et tectonique. Dans ce chapitre, on a pu avoir une idée concernant l'aspect géomorphologique de la région d'étude. Et concernant l'étude climatologique faite à partir des données des stations pluviométriques de Souk Ahras, ainsi qu'un aperçu hydrogéologique fait à partir de l'analyse des relevés piézométriques en se référant aux études précédentes.
- Le deuxième chapitre, s'est focalisé sur l'étude du phénomène de glissement de terrain et les causes possibles de ces mouvements, ainsi qu'un rappel succinct du matériel et des méthodes de la télédétection, les bases théoriques et les principes de fonctionnement par ces méthodes.
- Le troisième chapitre, comprend l'étude géotechnique et les résultats des travaux de recherche effectués, la télédétection en utilisant les logiciels ENVI, PCI Geomatica et ArcGIS.
- Enfin, ce travail est clôturé par une conclusion générale.

CHAPITRE 1

1- Le contexte général

I. Présentation de la zone d'étude

1.1- Situation géographique

La wilaya de souk Ahras est située à l'Est de l'Algérie, elle est limitée par la Tunisie à l'Est, la wilaya de Taref et Guelma au Nord et au Nord-Ouest, et les wilayas des de Tébessa et Oum El Bouaghi au Sud-ouest (fig.1.1)

La wilaya de Souk Ahras s'étale sur une superficie totale d'environ 4359,65 Km², sa surface représente presque 0,18% de l'ensemble du territoire national. Répartie administrativement sur 28 communes et 10 daïras. Son couvert forestier, composé de pins, d'Alep, de cyprès et d'eucalyptus est estimée à plus de 97280ha. Son climat est semi-aride avec un domaine méditerranéen au Nord, et continentale au sud (Hamed, 2004 ; Fehdi,2008 ; Demdoum et al., 2013). Traversée par d'importance oued maghrébins, le Seybouse, la Medjerda, et le Mellégue ; la wilaya dispose de deux grands barrages (Ain Dalia et Oued Charef, dont la capacité totale dépasse les 240 millions de m³) et de plusieurs retenues collinaires satisfaisant les besoins de la wilaya en AOP et l'irrigation. Ses principales montagnes sont Dj. Meida(1432m), Dj. Kelai (1286m), Dj. Zouara (1292m) et Dj. Dekma (1120m). La wilaya de souk ahras dispose d'un réseau routier dense et bien entretenu de plus de 1200Km linéaire , d'une électrification très dense , touchant plus de 90% de son territoire . La configuration géomorphologique de la wilaya laisse apparaître deux grands ensembles :

Un nord montagneux et forestier composé de 12 communes d'une superficie totale de 1879,58 Km², caractérisé par une altitude moyenne de (1000m), une pluviométrie importante et la dominance en élevage bovin et arboriculture fruitière ;

Un sud en hautes plaines et pâturages englobant 16 communes avec une superficie de 2480.07km²la pluviométrie moyenne est de 350mm/an. Cette zone est caractérisée par une altitude moyenne de (650m) et une forte dominance d'élevage ovin et de production céréalière. La zone concernée par l'étude de risque glissement de terrain se situe dans la région de **Souk Ahras (36°17'13.33''N, 7°57'04.12'' E, Altitude =702m)**. Elle englobe les communes de **Souk Ahras, Mechroha (36°21'25.87''N, 7°50'06.30''E, Altitude= 775m), Zaarouria (36°13'39.87''N ,7°57'27.74''E, Altitude= 715m) et Hammam tassa (36°13'48.17''N, 8°02'48.58''E, Altitude =671m)**.

Elle est caractérisée par une forte dynamique démographique et agricole et présentera un pôle de développement futur de la wilaya (figure 01.1).

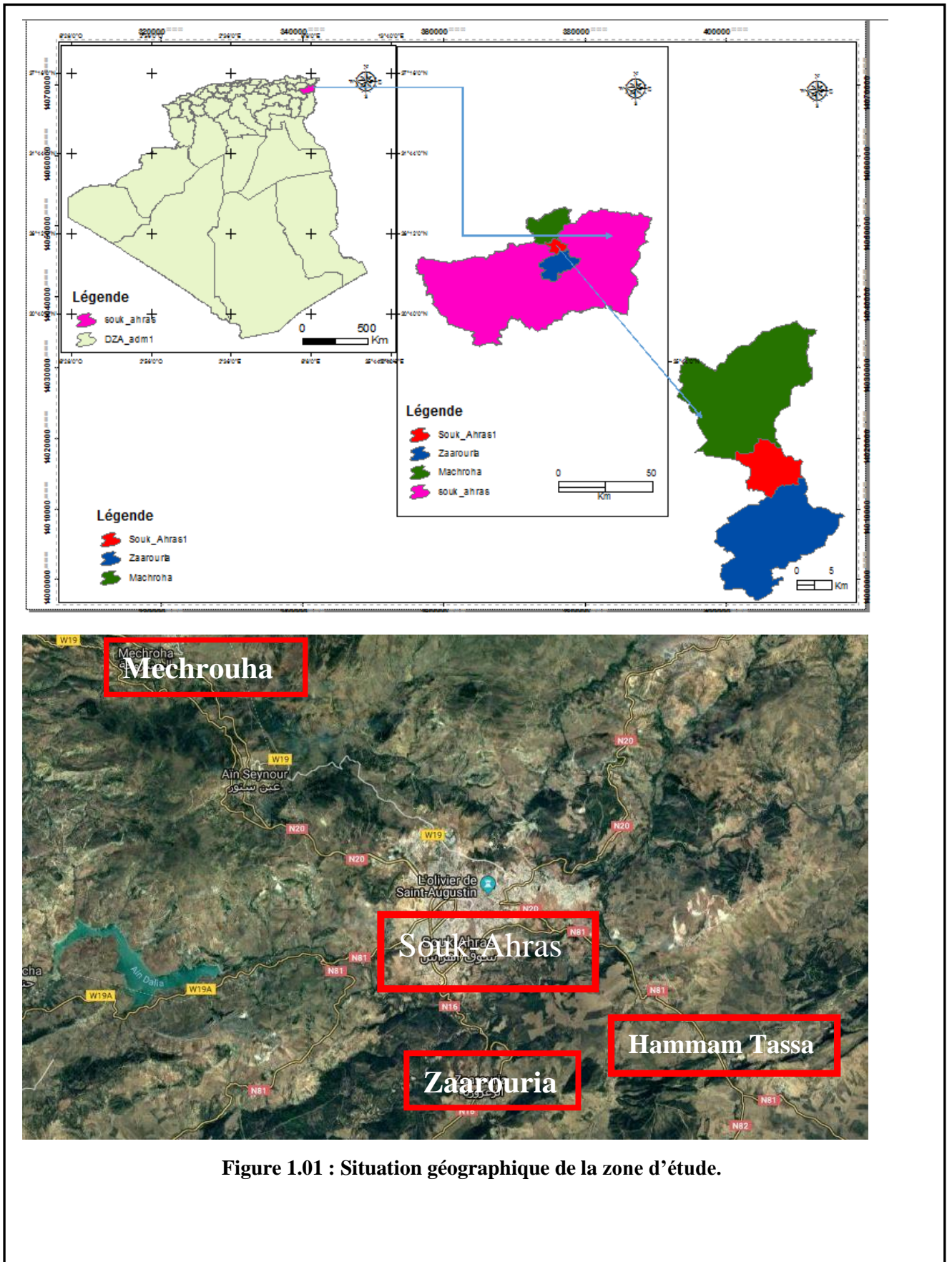


Figure 1.01 : Situation géographique de la zone d'étude.

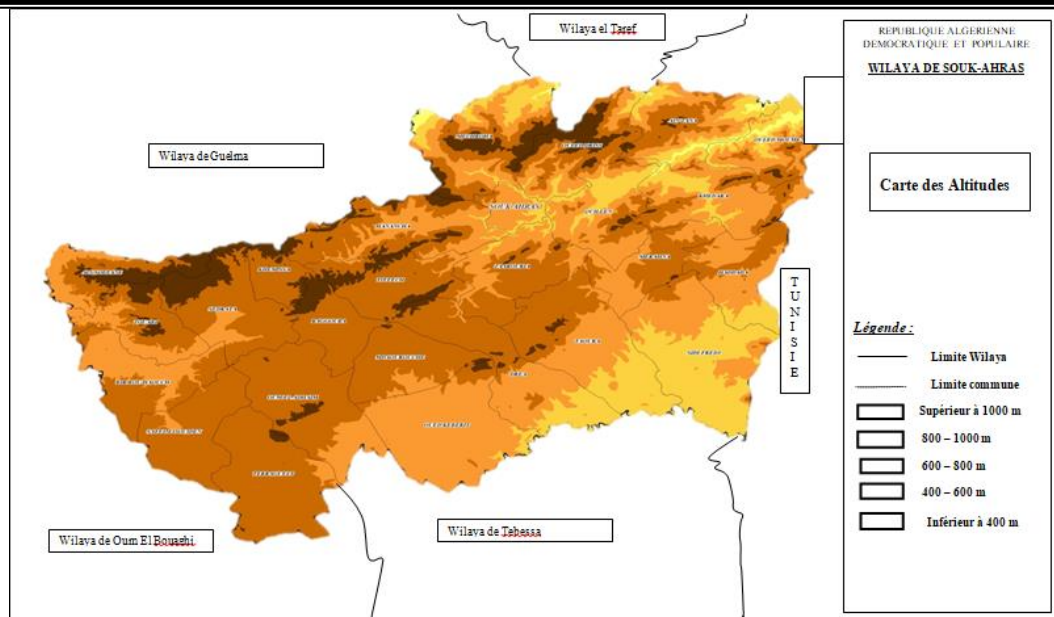


Figure 1.02: carte des altitudes de souk ahras

II. Topographie

La zone d'étude présente une allure de deux dépressions ouvertes vers l'Est. Ses altitudes variantes entre 462m (dans le lit de l'oued Medjerda) et 1098m dans les montagnes au centre de la région étudiée (le sommet le plus haut de la zone d'étude est le Djebel Chouga à hammam Tassa ,1098m) (fig.1.3). La partie centrale de la région est constituée d'une fosse tectonique enserrée par des montagnes escarpées au Nord –Ouest et au Sud-Est. Le relief se caractérise, par une altitude qui diminue régulièrement du SW vers le NE, une dissymétrie du relief apparait transversalement avec une pente NW. Deux directions structurales majeurs caractérisent la région une direction atlasique NE-SW et la seconde d'orientation NW-SE à WNW-ESE, liée de la tectonique miocène.

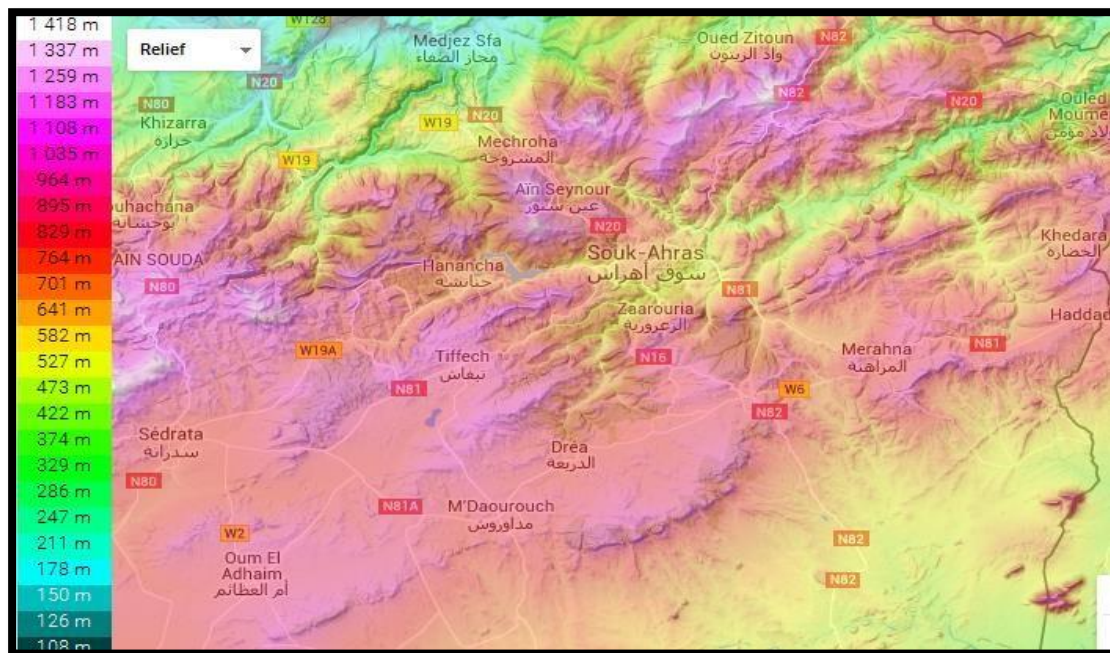


Figure 1.03: La carte topographie de la région d'étude. (Google maps).

III. Le réseau hydrographique

La zone d'étude fait partie des Monts de la haute Medjerda au nord et du synclinale de Drea Taoura –Merahna au sud. Le réseau hydrographique est bien développé ; il est représenté avec des petits cours d'eau temporaires bien élaborés aux flancs des talus, se déversant aux larges des vallées dans des grands oueds dont les plus important sont oued Medjerda , oued Mellégue , oued Chouk , oued El Hammam , oued Meiza , oued el Ouldja et oued Baleum .

L'oued Medjerda coule le long de la zone d'étude, son écoulement pérenne est lié aux précipitations hivernales et du printemps, il est soutenu par le système aquifère existant.

L'oued Mellégue draine le sud de la zone d'étude, ses cours d'eau sont moins chargés en eau que la Medjerda ; et ses affluents sont à écoulement intermittent (figure 1.4).

Le model topographique montre deux directions préférentielles d'écoulement du système hydrographique : une vers l'ouest de la ligne de crête de Dj. Serrou, Dj. Zellez, Dj.Bousessou, Dj. Baba Mbarak, suivant la direction topographique des flancs ouest des montagnes ; et l'autre vers l'Est suivant le plongement géométrique, ce dernier caractère est typique de la majorité des oueds de la région.

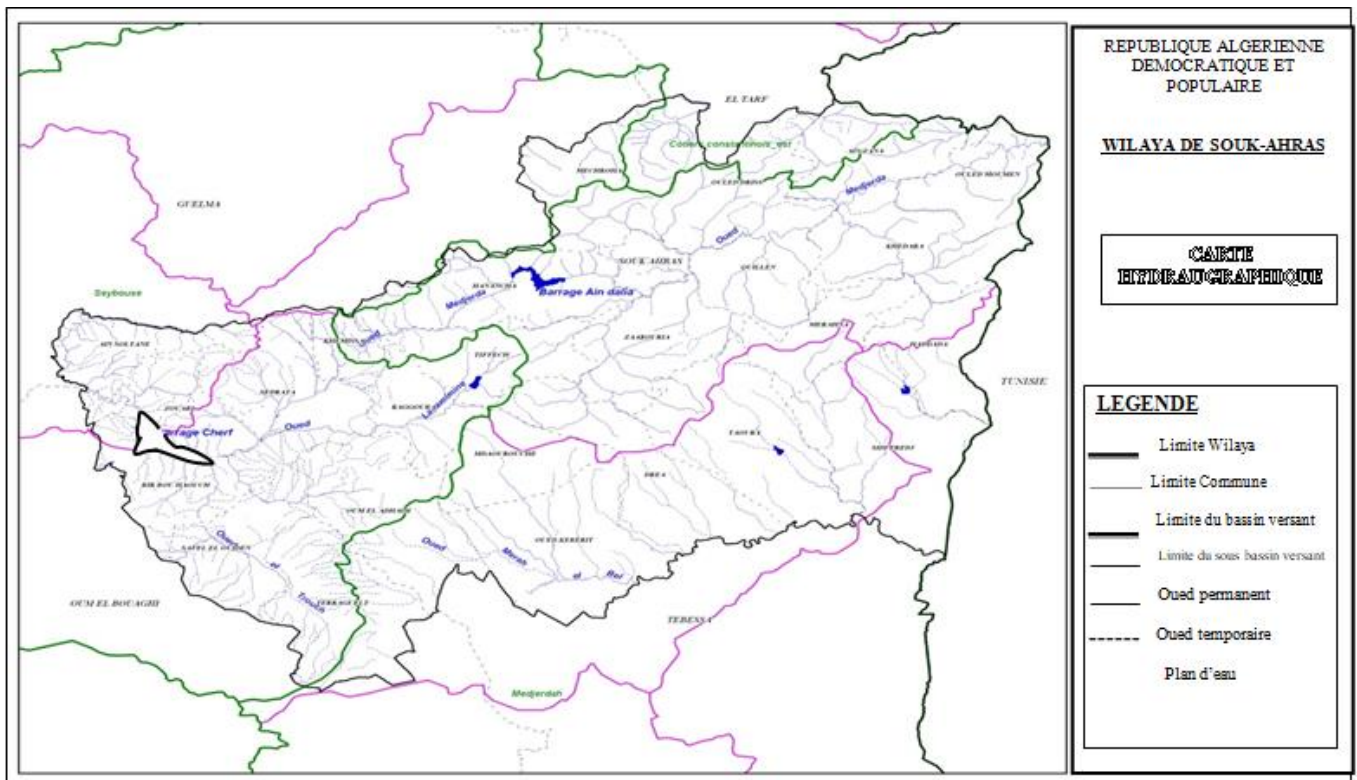


Figure 1.04: le réseau hydrographique de la wilaya de souk ahras

IV. Population

La wilaya de Souk Ahras se caractérise par une population résidente de plus 43127 habitants, donnant une densité de 101 habitants/Km², avec un taux d'accroissement annuel moyen égal à 1.8% (statistique de 2008).

V. La végétation de la région

La végétation n'est pas considérée dans ce travail sous son aspect purement botanique ou phytogéographique, mais plutôt sous son aspect de couverture du sol, plus ou moins altéré par les actions anthropiques. Nous en adaptons donc la présentation afin de distinguer les différents types de végétation.

La partie nord ou domine les élévations et les crêtes est marquée par une pluviométrie importante et des forêts denses de chêne liège, chêne Zéen et chêne afférés constituant de véritable maquis surtout à Dj.Regoune, Dj.Kelia et Djebel Zaarouria. Le climat devient moins humide en se déplaçant vers le sud, moins élevés ou le couvert végétal est principalement à base de pin d'Alep et les cultures méditerranéennes ; l'élevage ovin est plus abondant. Les cultures de céréales sont localisées sur les formations marneuses dans la partie septentrionale de la région d'étude. Sur les calcaires, les sous-bois, pinèdes, et maquis dominant. Les zones caillouteuses et les encroutements calcaires sont couverts de végétation de type steppique.

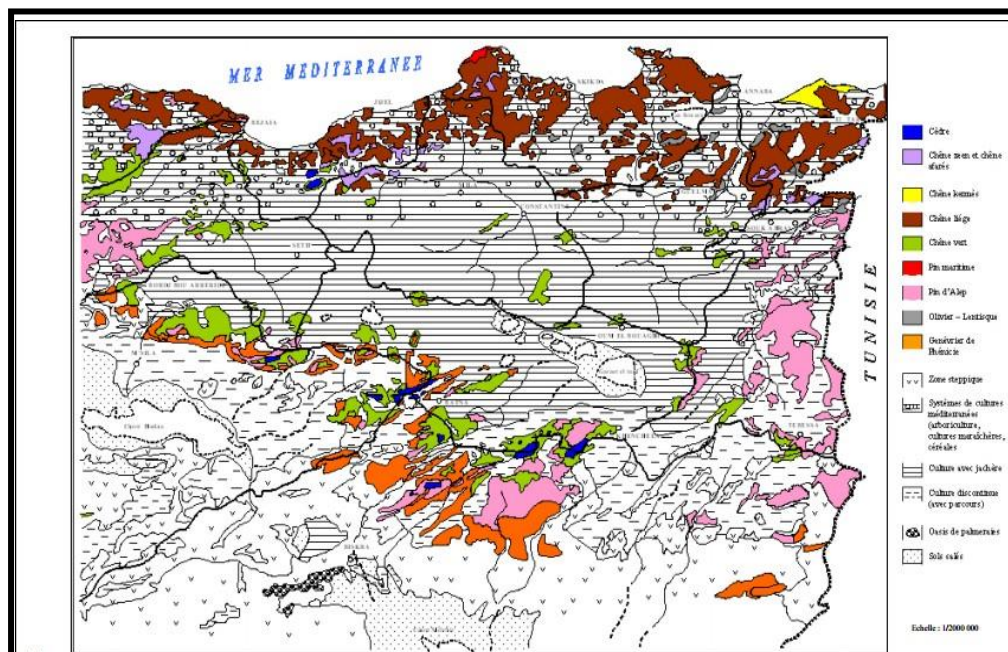


Figure 1.05 : Extrait de la carte de couverture végétale de l'Est algérien (d'après la carte internationale du tapis végétal au 1/1000 000 feuilles Tunis –Sfax et Alger).

VI. Agriculture

On constate dans la Figure (N° 01) que les céréales représentent 87 % des cultures herbacées et que ces derniers représentent 62 % de la superficie agricole utile. Par contre la (S.A.U) représente 86 % de la superficie agricole totale et 55 % de la superficie totale de la région, tandis que la (S.A.T) représente environ de 65 % de la superficie totale.



Figure 1.06 : carte répartition de la S.A.U par grande zone agricole

Tableau 1.01 : Répartition des superficies agricoles dans la région d'étude en (Ha).

N	Commune	Sup.	S.A.T	S.A.U	Terres
1	SOUK-AHRAS	4 307	1 495	1 315	641
2	KHEMISSA	5 944	4 351	4127	200
3	MDAOUROUCH	14 572	12 924	10 775	200
4	TIFFECH	14 376	11 988	9 540	375
5	RAGOUBA	10 128	8 125	5 795	350
6	TAOURA	25 096	19 338	18 469	179
7	ZAAROURIA	10 100	8 560	7 552	300
8	DREA	20 000	14 705	13 924	1 088
9	MERAHNA	11 623	9 872	9 168	298
10	OUILLEN	16 260	12 844	11 979	14
11	HEDDADA	15 630	10 139	9 600	383
12	KHEDARA	17 902	8 522	9 280	105
13	O.MOUMEN	13286	3813	3484	972
14	MECHROHA	24232	10409	4453	200
15	HENNENCHA	21398	16050	13243	02
16	OULED-DRISS	15115	7698	5235	1403
17	AIN ZANA	17512	5455	3932	2006
TOTAL		257 481	166 288	141 871	7355

Avec une S.A.U de 141871 Ha, qui représente 86 % de la superficie totale, la région d'étude est à vocation agricole.

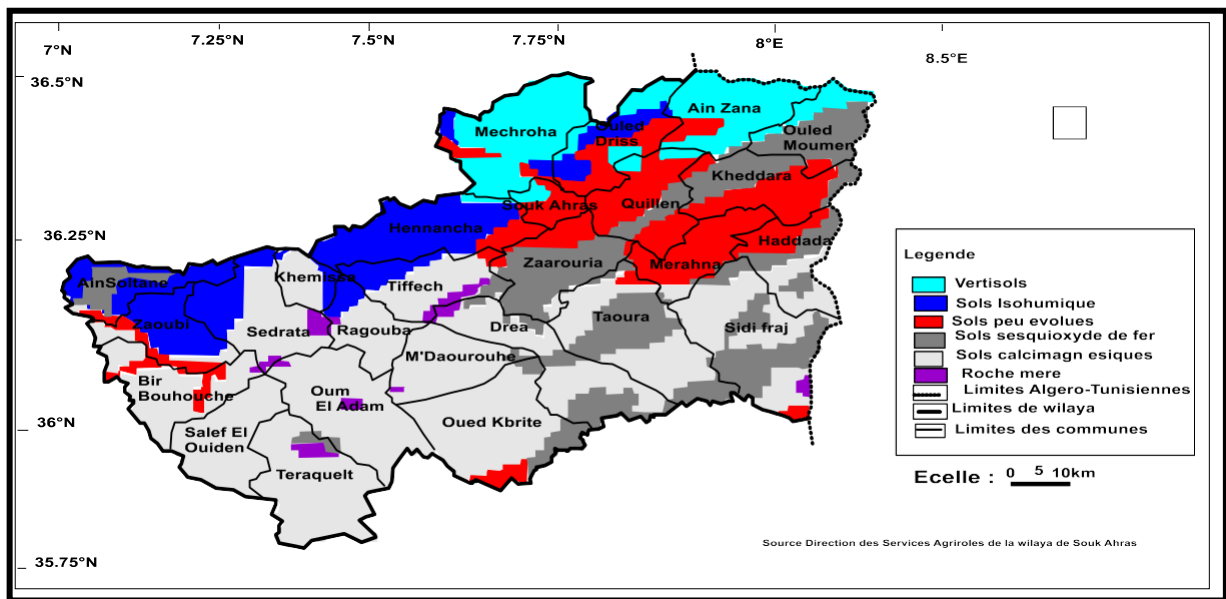


Figure 1.07 : Carte des types de sol de la Wilaya de Souk-Ahras (modifié par surfer).

2- Géologie

I. Introduction

Les travaux de L.David (1956) dans son étude géologique de la région de Souk Ahras mis en évidence que cette région est essentiellement caractérisée par des formations sédimentaires dont l'âge le plus ancien est le Trias jusqu'au Quaternaire, constituée généralement par des calcaires, des grès, des marnes, des cailloutis et des alluvions.

II. La litho stratigraphie de la zone d'étude

1. Litho stratigraphie

D'après les cartes géologiques couvrant le territoire de la Wilaya de Souk-Ahras. Une carte lithologique au 1/400000 a été dressée pour servir de base à l'établissement de la carte pédologique. Elle traduit la nature lithologique des grandes formations géologiques rencontrées et qui vont du Trias, étant la plus ancienne formation, au Quaternaire qui représente les terrains les plus récents de l'échelle stratigraphique résumée comme suit :

Tableau 1.02: Représentation de l'échelle stratigraphique.

Age	Lithologie dominante
Quaternaire	Alluvions, terrasses.
Mio-Pliocène Continental	Argiles rouge, sables, agglomérats.
Miocène supérieur	Argiles et argiles sableuses.
Miocène inférieur	Argiles sableuses. Argiles et calcaires lacustres.
Oligocène	Argiles rouge et argiles sableuses de Numidie.
Eocène moyen	Marnes et nappes de calcaires.
Eocène inférieur	Marnes et nappes de calcaires.
Crétacé supérieur	Calcaire Sénonien et marnes.
Crétacé inférieur et moyen	Marnes et calcaire marneux Turoniens.
Trias	Marnes Gypses, calcaires et dolomie

1.1 Secondaire

1.1.1 Trias

Dans le périmètre d'étude, les terrains Triasiques affleurent dans les structures diasporiques, il est remarque plusieurs taches selon la direction des grands plissements (Sud-ouest, Nord-est) ; Fig.(01.6)

Il apparait dans plusieurs points du périmètre, au Nord dans la partie centrale et au Sud. Il affleure à Kef En Neguib dans la commune de Mechrouha, du côté de Souk-Ahras et Oued Mougras, au massif de Ras El Alia et Tiffech et dans la commune de Bir Bouhouch et M'Daourouch.

D'une façon générale, le faciès Triasique est en contact anormal avec les formations sous-jacentes. Il est caractérisé par une hétérogène lithologique composée :

- * D'une formation Grés-gypso-argileuse a blocs de roches variées. C'est une formation plastique constituée d'un mélange de marnes et d'argiles bariolées.
- * Des blocs de calcaires gris ou noirs.
- * Des grés, argiles et marnes : ce sont des blocs de grés micacés intercales d'argiles et de marnes bariolées de teinte rougeâtre.
- * Des dolomies qui correspondent à des roches a grains fins légèrement poreux et lités.

1.1.2 Crétacé inférieur et moyen

Dans la zone d'étude, le Crétacé est caractérisé par l'affleurement des formations de l'étage barrémien, Aptien, Albien, Cénomaniens et le Turonien. Il ne couvre qu'une restreinte superficie des monts de la Medjerda. Il apparaît au Nord dans l'anticlinal de l'oued Mougras (Sidi El Hemissi, Djebel Graouet et Bourzine) et s'étend jusqu'à la frontière Tunisienne. Il est, aussi remarqué dans l'anticlinal de djebel Ladjbel, en bordure du Diapir Triasique d'El Ouasta, près de la frontière Tunisienne, à Essouabah et aux environs de Bir Bouhouche.

Les matériaux composants le Crétacé inférieur et moyen sont des dépôts marins constitués essentiellement de marnes du Cénomaniens et des marnes et marno-calcaires de Turonien.

1.1.3 Crétacé supérieur

Le Crétacé supérieur qui couvre la majeure partie du territoire de la wilaya est caractérisé par (02) faciès importants ; les calcaires du Campanien et du Maestrichtien et la série marneuse des différents étages. Il apparaît au Nord dans le territoire de la commune de Hennancha, Zaarouria où il constitue les différents djebels tels que Dekma, Zaarouria, Zelaz et Bourzine.

Dans la zone médiane, il est observé dans la commune de Taoura, M'daourouche, Sedrata et Bir Bouhouche où il apparaît à djebel Taguilaline, Terraguelt, Bousessou, Alahoum et Choucha.

1.2. Tertiaire

1.2.1 L'Eocène

Du point de vue répartition géologique, L'Eocène est très peu observé dans le territoire de la wilaya de Souk-Ahras. Il n'apparaît que sous forme de lambeaux dans la région Nord. Il affleure à djebel Dekma, au Nord de djebel M'Sid à djebel Boukebch et aux environs de la gare de l'Oued Mougras.

Dans la zone médiane, il n'apparaît qu'aux environs de Taoura (plateau de Taoura).

L'Eocène se manifeste à travers le périmètre sous forme d'épaisses couches de marne, de calcaire ou d'alternance de calcaire et de marne.

1.2.2 L'Oligocène

Comme l'Eocène, l'Oligocène se présente comme une bande Est-ouest au Nord de la zone passant par oued Mougras et Sidi el Hemissi. Il affleure sous forme de grès Numidiens séparés, quelques fois par des argiles schisteuses ou de marnes peu épaisses de couleur grise et pauvre en calcaire.

1.2.3 Miocène inférieur

Il constitue le troisième cycle sédimentaire marin de l'ère Tertiaire. Il couvre une vaste surface de la wilaya. Il est observé au cœur des structures synclinales au Nord comme au Sud passant par la zone médiane.

Il affleure le long de la vallée de la Medjerda jusqu'à la frontière Tunisienne. Il apparaît aussi à djebel Serou, à Oued chouk et dans le faciès dominant du Miocène sont les grés et les marnes associées quelques fois, aux conglomérats et aux calcaires.

Les marnes sont d'une couleur noire ou brune riche en calcaire et souvent gypsifères.

Les grés quant à eux sont d'une teinte brun clair à ciment calcaire.

1.2.4 Miocène supérieur

Son étendue est très limitée dans l'espace, il n'affleure que le long de l'oued Medjerda sur la rive Nord aux environs de la zone de l'oued Mougras. Comme le miocène inférieur, sa lithologie est dominée par l'affleurement des marnes, des grés et des conglomérats.

1.2.5 Le Miopliocène continental

Il se manifeste en majeure partie dans la zone médiane aux environs de Sedrata, Oum Ladhiam, au Sud de Zaarouria et à l'Est de Taoura. Il se présente sous forme de sédiments détritiques avec alternance de grés, de conglomérats, de calcaire lacustre et de marne.

1.3. Quaternaire

Le quaternaire englobe les formations postérieures à la dernière phase des plissements qui ont suivi le dépôt du miocène.

Dans le territoire de la wilaya de Souk-Ahras le quaternaire couvre d'importantes superficies, il est présent pratiquement dans toutes les feuilles géologiques couvrant la wilaya de Souk-Ahras. Il se compose en général de formation continentale telle que les nappes d'épandage, les terrasses fluviales, des éboulis et des limons. Selon leur caractéristique, ces dépôts ont été classés en trois (03) groupes :

1.3.1 Les formations anciennes

Dans cette catégorie, il regroupe les nappes d'épandages qui sont de formation caillouteuse reposant sur les marnes Crétacées. Elles apparaissent au Sud de M'Daourouche jusqu'à la frontière Tunisienne. On trouve aussi, la croute calcaire à l'extrémité Sud de Taoura et au Sud de Souk-Ahras.

1.3.2 Les formations récentes

Ces formations sont représentées par les cailloutis (se sont les formations quaternaires anciennes démantelées par l'érosion), les brèches et les alluvions. Les premiers sont observés sur le versant Sud de djebel Guenguita, Zaarouria et djebel Ledjbel. Les alluvions, par contre sont remarquées dans les vallées des Oueds du périmètre.

1.3.3 Les formations actuelles

Ce sont les limons et les cailloutis qui proviennent du lessivage des marnes et le transport des calcaires. Elles sont observées à l'extrême Est du périmètre (Ouest de Sakiet Sidi-Youcef) et aux environs de Taoura et de M'Daourouch.

Les travertins apparaissent, par contre, au Sud de Souk-Ahras et au Nord-ouest de Djebel Dekma

1.3.4 Les Terrasses

Dans le périmètre, elles se font rares parce que le régime des de l'oued est temporaire se prête guère à leur identification. Elles persistent sous forme de lambeaux, de terrasses le long de l'oued Medjerda après le massif Triasique de Souk-Ahras, dans la feuille géologique del'Oued Mougras. Elles sont observées aussi sur une partie de l'Oued Er Ranem qui présente un système de terrasses étagées, les autres oueds prenes n'ont que des accumulations fluviales mal définis. D'une façon générale, ces terrasses, n'ont que deux niveaux.

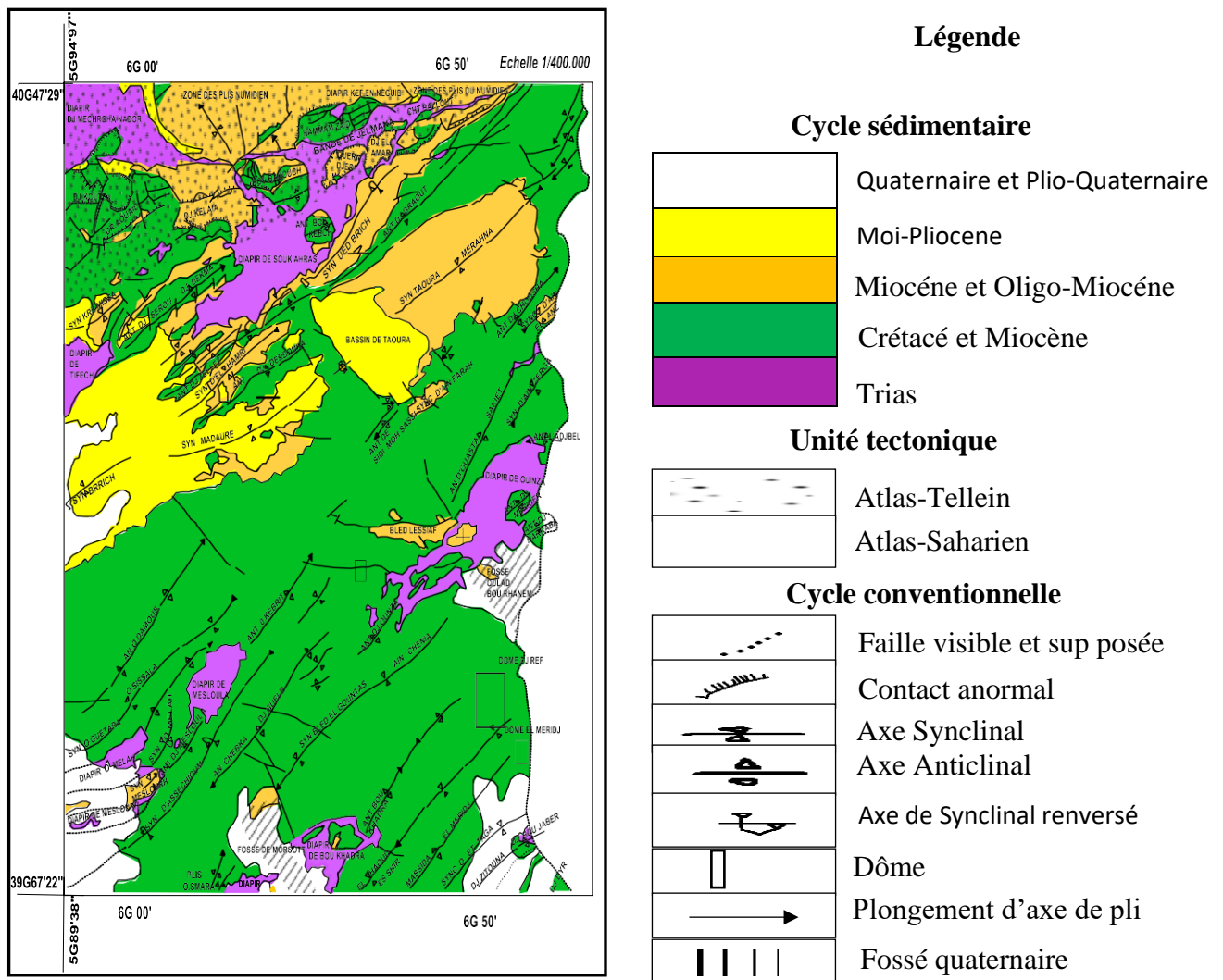


Figure 1.08: carte géologique de la région de Souk Ahras

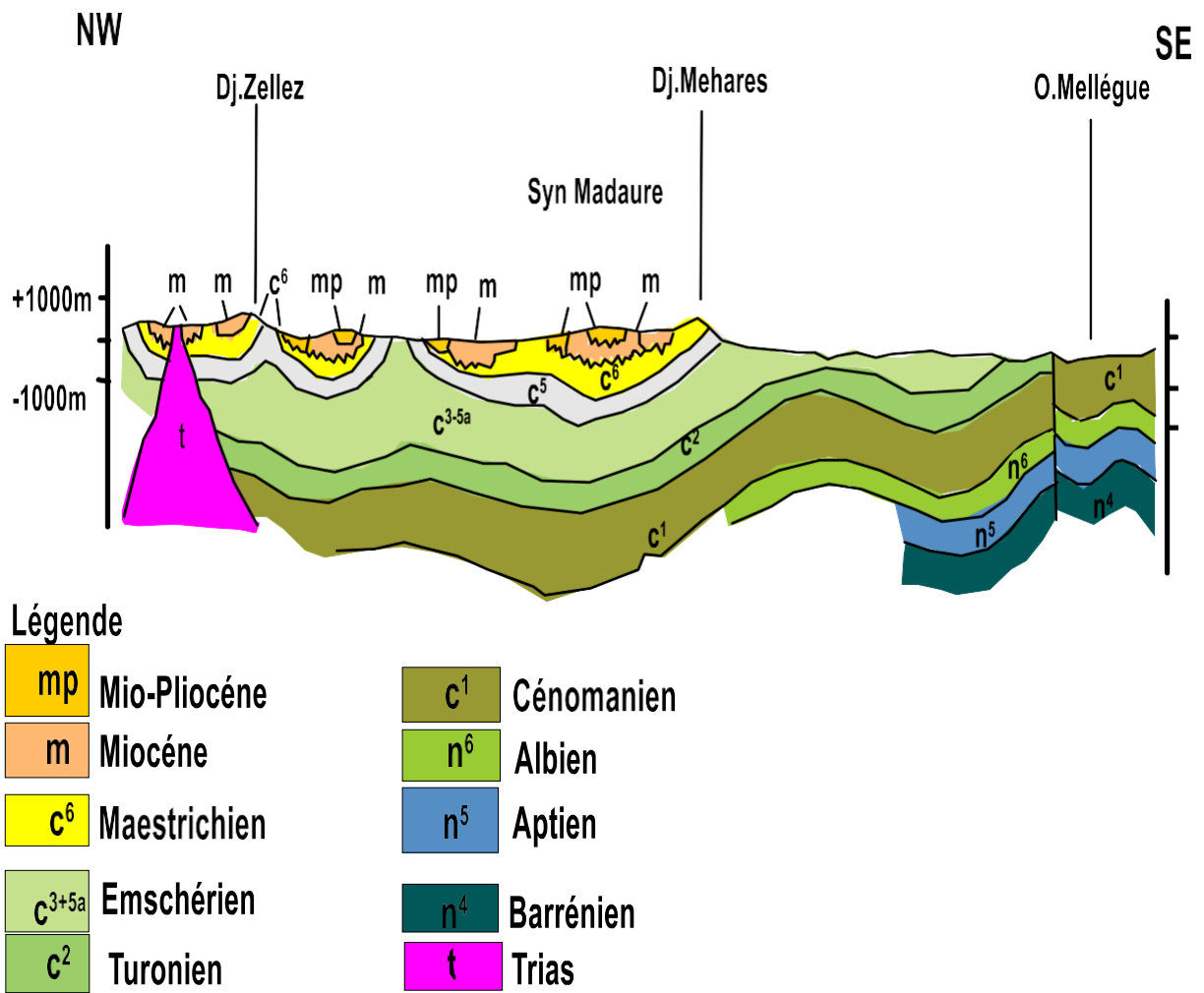


Figure 1. 09 : coupe géologique de la région de Souk Ahras.

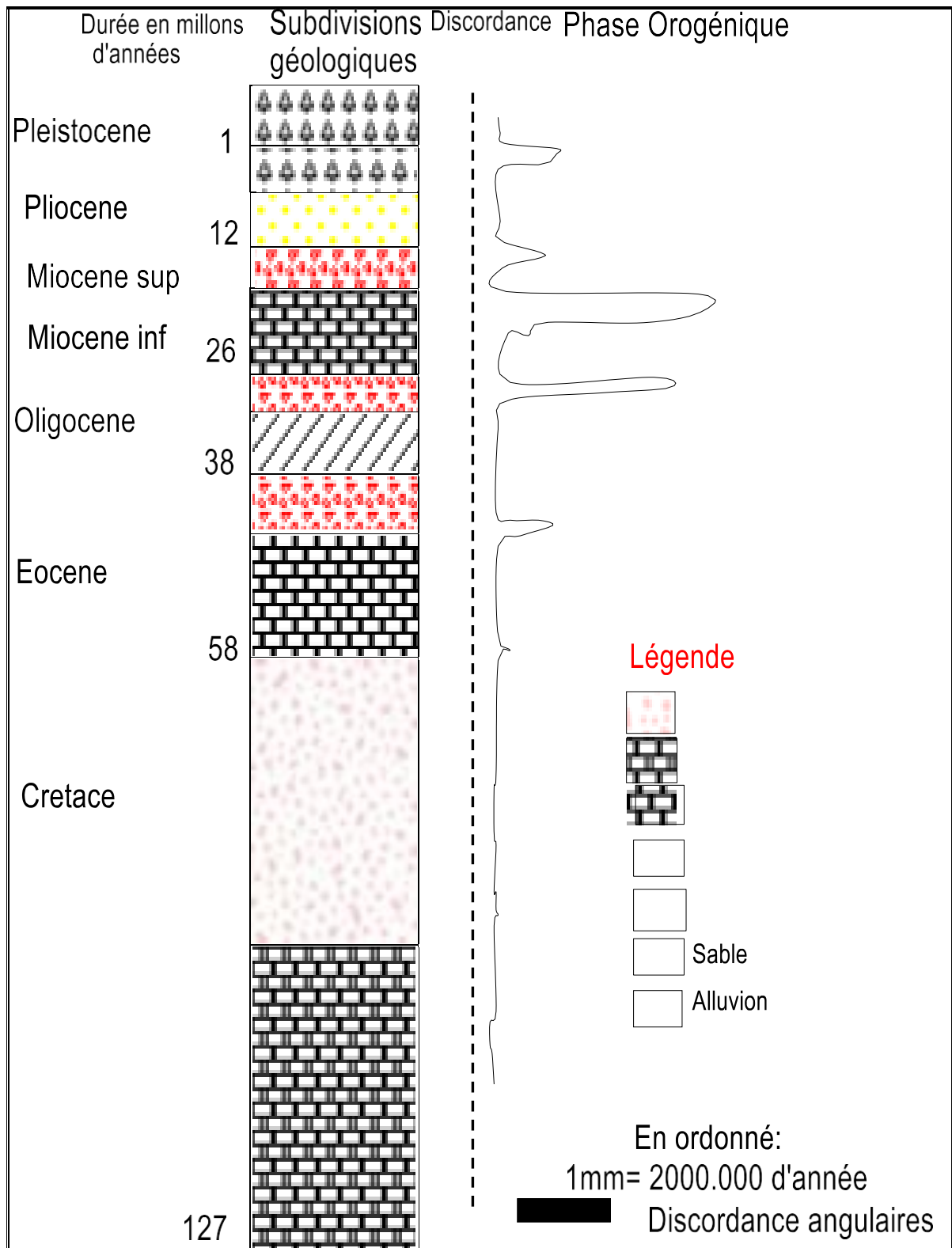


Figure 1.10 : Stratigraphique de la région de Souk-Ahras montrant les différents Phases Orogéniques (D'après David. L).

III Contexte géologique de la zone d'étude

Nombreuse étude portant sur l'âge et la lithologie des formations géologiques en affleurement ont été réalisées dans cette région. La zone d'étude contient deux ensembles structuraux majeurs : un ensemble autochtone nord Aurésien caractérisé par une tectonique cassante et de larges plis, et un ensemble allochtone caractérisé par une tectonique tangentielle favorisée par la phase alpine. Le secteur d'étude peut être partagé alors en deux domaines paléogéographiques :

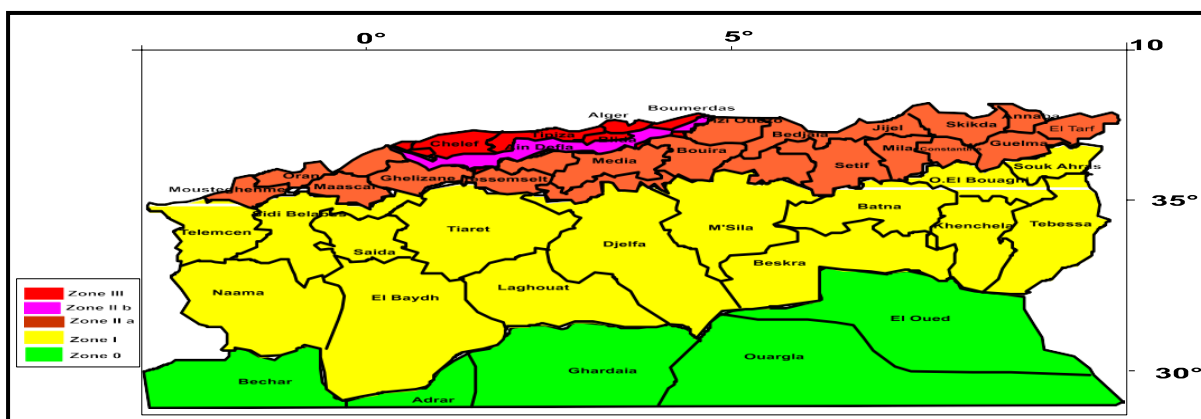
- Au Nord : on rencontre le domaine externe de la chaîne des Maghrébines avec les nappes Numidiennes et Telliennes, et un substratum de Sellaoua. Cette chaîne se situe au Nord de l'axe Sédrata, Tiffech et Souk Ahras. C'est la tectonique compressive qui fut responsable de la mise en place des nappes telliennes et les écaillages de Sellaoua ;
- Au Sud : on rencontre le domaine nord- Aurésien, (le synclinal Drea Taoura – Merahna, la région de Bir Bouhouche et d'Oum El Adaim).

La tectonique de la région est caractérisée par la dominance d'une famille de failles NE-SW, et une deuxième de direction perpendiculaire NW-SE (figure 2.1) la présence de ces réseaux de failles a facilité la remontée des matériaux triasique abondant dans la région

IV. Sismicité de la région

L'étude des documents et les cartes séismo-tectonique de la région montre que les épïcêtres des secousses sont situés à proximité des discordances tectoniques majeures et voisines à des nombreuses petites masses de trias qui affleurent dans la région. La majorité des secousses enregistrées dans la région de Souk Ahras ne dépassent pas une magnitude de cinq (05) sur l'échelle de " Richter ".

La carte des sismique de l'Algérie, et le zonage globale des différent Wilaya est représentée sur la figure (2.4).



Zone 0 : négligeable, Zone I : faible, Zone II a : moyenne, Zone II b : élevée, Zone III : très élevée.

Figure 1.11 : Classification des zones sismiques et la région d'étude

3. Hydro-climatologie et Hydrogéologie

I.Introduction :

Par sa position en latitude, la région de Souk Ahras se trouve dans une zone de transition entre l'atlas tellien et l'atlas saharien, où convergent se rencontrent les masses douces d'air occidental les masses chaudes d'air saharien. La brutalité des manifestations climatiques et l'insuffisance de la protection par le couvert végétal dans cette région, favorisent la prédominance des actions d'érosion mécanique sur les actions d'altération physico-chimique et biochimique. Ce chapitre vise l'analyse des caractéristiques climatiques, hydrologiques et hydrogéologiques de la zone d'étude.

II.Station climatique

L'étude est basée essentiellement sur les données de la station Souk Ahras (concernant les températures, les précipitations et l'humidité). La période d'observation varie d'une station ; le tableau ci-dessous résume les coordonnées de ces stations de mesure, ainsi que les périodes d'observation correspondantes.

Tableau 1.03 : Coordonnée de station de mesure.

Station	Altitude (m)	X (km)	Y(km)	Période d'observation
Souk Ahras	702	967.25	342.72	1980-2015

III.Caractéristiques climatiques de la région

L'Algérie, du fait de sa situation géographique se trouve partagée en trois zones climatiques distinctes (figure 2.1) ; la première à climat méditerranéen au Nord, la seconde à climat semi- aride vers l'intérieur du pays (hauts plateaux) et enfin un climat aride qui caractérise le grand Sahara.

La région de Souk-Ahras est caractérisée par un climat méditerranéen, distinguant deux périodes : la première froide et humide s'étend de l'Automne à l'Hiver alors que la deuxième sèche et chaude s'étend du Printemps à l'Eté. Cependant au sud de la wilaya, le climat est semi-aride faisant suite du même type qui règne dans la région sud.

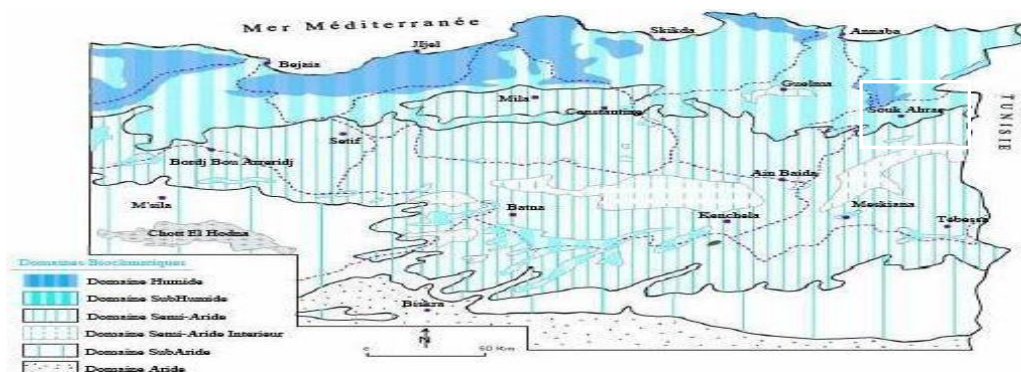


Figure 1.12: Carte bioclimatique de l'Algérie (Cote M., 1998)

3.1 La température

La température est un élément très important du climat qui joue un rôle déterminant pour le bilan hydrique. Les données températures mensuelle et annuelle permettent de dégager certaine caractérisation comme la division de l'année en saisons thermique.

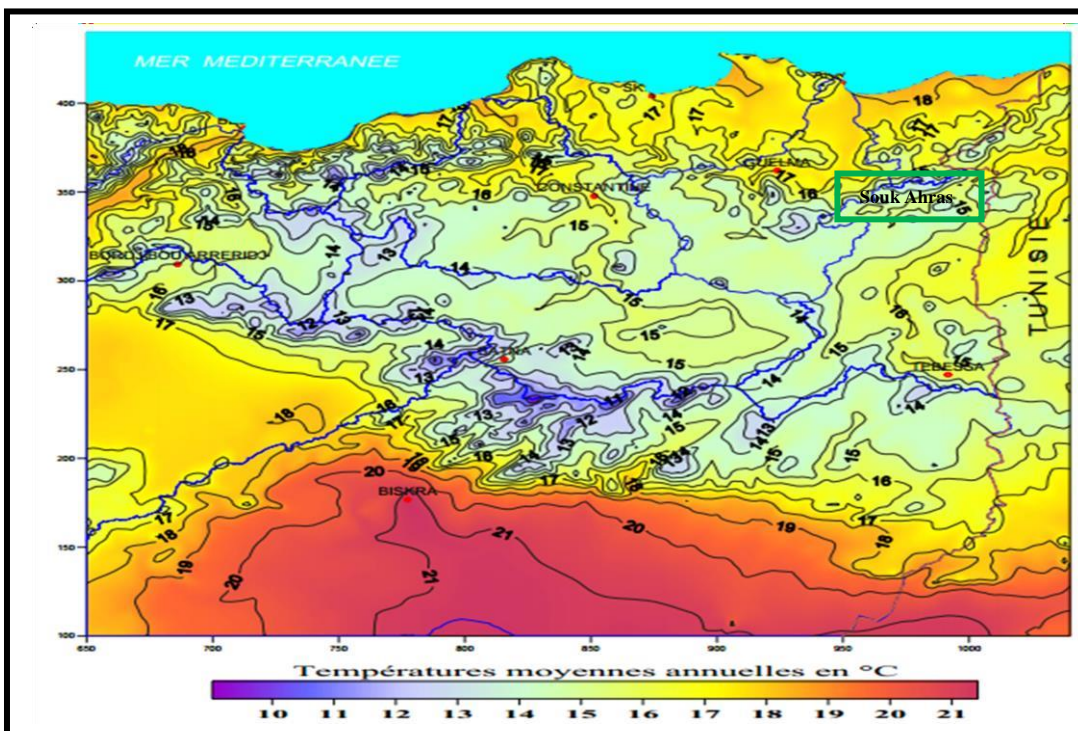


Figure 1.13 : Température moyenne annuelle de l'Est algérien et la région d'étude.

Tableau 1.04 : Températures moyennes mensuelles en (T°C) à la station de Souk Ahras (1980-2010).

Les mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil.	Aout
T°C	22.54	18.8	13.25	9.5	9.35	10.25	12.36	14.5	19.7	23.55	26.25	26.58

L'observation des températures enregistrées montre qu'a :

-L'échelle mensuelle les hivers sont très froids et humides, les étés sont chauds et secs avec des enregistrements de température minimale de 9.35 °C au mois de janvier et maximale de 26.58 °C au mois d'Aout.

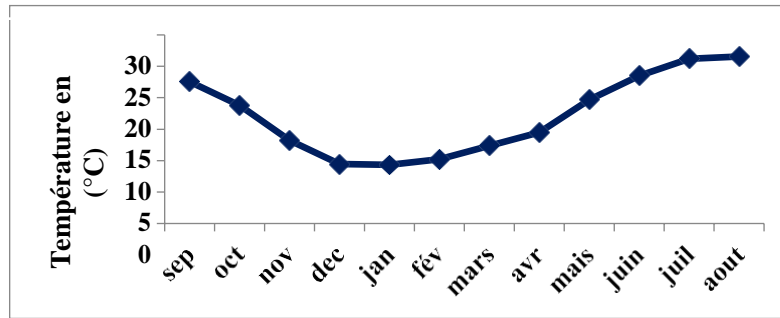


Figure 1.14 : Variation des moyennes mensuelle des températures (1980-2010).

Tableau 1.05 : Températures moyennes saisonnières en (T°C) à la station de Souk Ahras (1980-2010).

	Automne	Hiver	Printemps	Eté
T°C	18.2	9.7	15.52	25.46

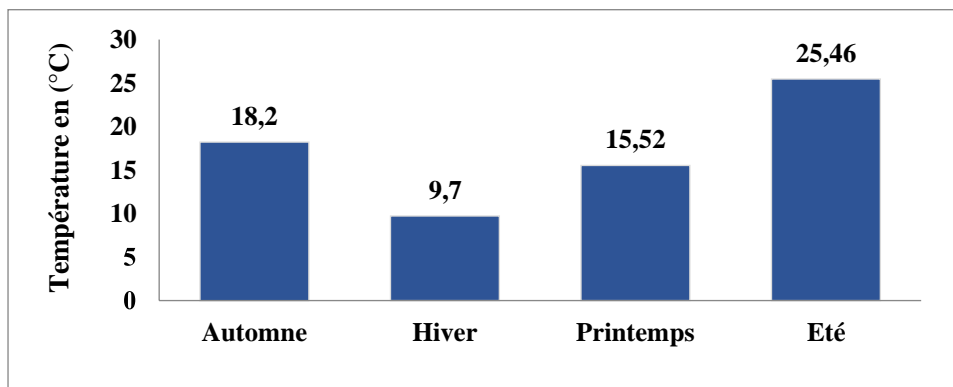


Figure 1.15: Variation des moyennes saisonnières des températures 1980-2010.

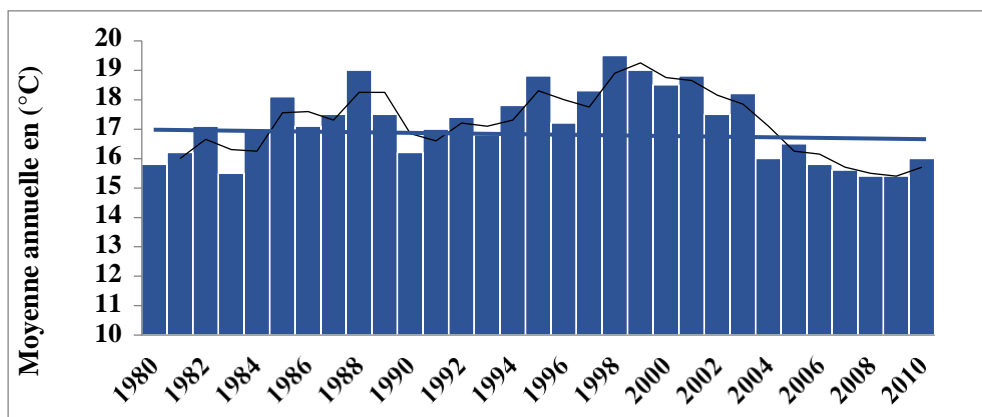


Figure 1.16: Variation des températures interannuelles (1980-2010)

3.2 L'humidité

C'est un état du climat correspondant à la quantité de vapeur d'eau dans l'air et elle peut accélérer le phénomène d'altération chimique à la surface, comme d'oxydation.

• **L'humidité atmosphérique** : elle est l'un des éléments essentiels du cycle hydrologique. Source de toutes les précipitations, elle conditionne outre pour une large partie les taux d'évaporation du sol et de la couverture végétale, on distingue deux variantes d'humidité :

a) **L'humidité absolue** : c'est la masse de la vapeur d'eau contenue dans un mètre cube d'air. Elle est exprimée en gramme par mètre cube.

b) **L'humidité relative** : c'est l'état plus au moins proche de la condensation de la vapeur d'eau dans l'atmosphère. Elle est exprimée en pourcentage. L'humidité relative est le rapport entre la pression partielle de la vapeur d'eau à l'air humide et la pression de saturation à la même température d'humidité relative en %.

Le tableau ci-dessous montre les valeurs d'humidité relative moyenne à la station de Souk Ahras entre 1980 et 2010.

Tableau 1.06 : humidité relative moyenne en % à la station de Souk Ahras

	ep	Oct	Nou	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	
Moyennes	60.25	67.25	70.35	72.35	74.75	71	70.90	69.9	63.80	59.30	49.65	50.90	
Moy sais	Automne			Hiver			Printemps			Eté			Moyenne interannuelle
	65.95			72.7			68.2			53.28			65.03

On remarque dans le tableau, que l'humidité relative est peut variable durant toute l'année. Le minimum est observé au mois de juillet avec une valeur de 49.65% alors que le maximum est de l'ordre de 74.75%, observé au mois de janvier.

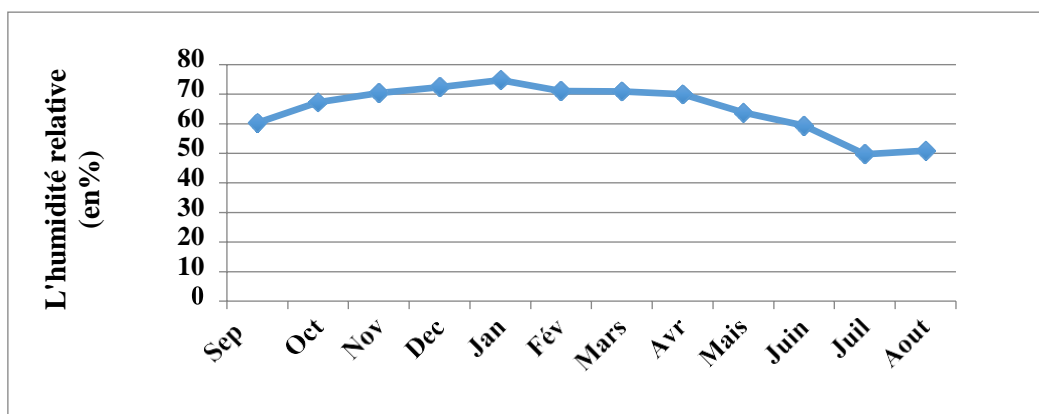


Figure 1.17: Variation des moyennes mensuelles de l'humidité relative (en %) (1980-2010).

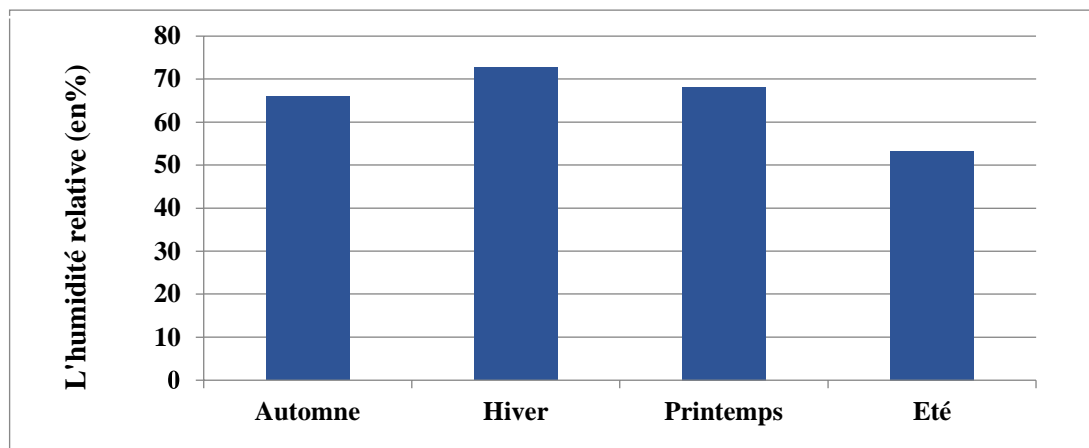


Figure 1 .18 : Variation des moyennes saisonnières de l'humidité relative (en %) (1980-

3.3 Les vents

Le vent est un facteur climatique, définie comme étant le déplacement des masses d'air d'une zone où règnent des hautes pressions vers ceux des basses pressions atmosphériques.

Le vent exerce une influence directe sur la température, l'humidité et active l'évapotranspiration.

En générale, dans la région d'étude les vents dominants sont ceux de N-W, ils sont l'origine de la pluviométrie durant l'Hiver. Après les vents de N-W viennent ceux de N-E qui sont des vents plus au moins secs.

3.4 Etude de l'évaporation

L'évaporation est le phénomène par lequel un liquide est transformé en vapeur ou en gaz. Ce phénomène est étudié par plusieurs expérimentateurs pour déterminer les différents facteurs régissant l'évaporation de l'eau, cette dernière dépend de :

- La production de chaleur.
- Le vent.
- La chaleur emmagasinée.
- La qualité de l'eau.
- La pression barométrique.

Au niveau de la station météorologique de Souk Ahras, l'évaporation est mesurée à l'aide d'un bassin d'évaporation de type « Colorado ».

Les moyennes mensuelles pour la même période d'observation (1980-2010), sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1.07: Evaporation en mm et en % à la station météorologique Souk Ahras pour la période 1980-2010.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jut	Aout
Paramètre												
Evaporation (mm)	99.18	72.11	37.16	25.35	19.44	20.76	35.99	44.85	71.56	108.47	129.75	135.33
Evaporation %	12.40	09.01	04.64	03.17	02.43	02.60	4.50	05.60	08.95	13.56	16.22	100.00

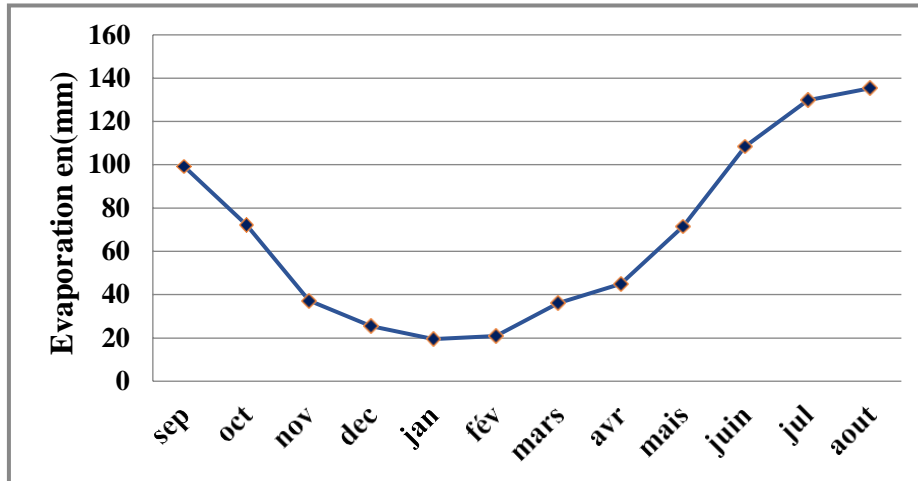


Figure 1.19 : variation de l'évaporation mensuelle interannuelle en mm (1980-2010).

D'après l'analyse de ces données, nous pouvons dire que :

- Le mois d'Aout est le mois où l'évaporation atteint son maximum avec une moyenne mensuelle égale à 135.33mm.
- Le mois de janvier est le mois où l'évaporation est minimale avec une moyenne mensuelle de 19.44 mm.

3.5 Etude de la pluviométrie

Les précipitations sont la qualité d'eau météorique, total, liquide ou solide qui tombe sur une surface horizontale déterminée, appelée la section pluviométrique. La pluie est un facteur climatique très important conditionnant l'écoulement saisonnier et par conséquent le régime des cours d'eau ainsi que celui des nappes. La pluviosité augmente avec l'altitude, elle est plus importante sur les versants exposés aux vents. Elle diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne des versants et de la mer.

Comme partout en Algérie les précipitations sont hivernales (Déc, Jan, Fév), par contre en été la pluviométrie est faible. Cette irrégularité de la pluviométrie est défavorable surtout pour la recharge des nappes.

La pluviométrie en Algérie a été étudiée par plusieurs auteurs, P.Seltzer (1913-1938), par HGausson (1913-1963), Chaumont et Paquin (1913-1963).

La plupart des stations météorologiques ont été arrêté pendant la guerre d'Algérie, d'autres ont subi des modifications après 1962. Un bon nombre de stations ont été installé dans les années 1968-1970, les données de ces stations sont très utiles pour l'établissement de la série hydro pluviométrique qui va être traité ultérieurement.

La carte de répartition des précipitations établie par l'ANRH (fig.02.9), montre que les précipitations sont de l'ordre de 300 mm/an, ce qui constitue un faible apport.

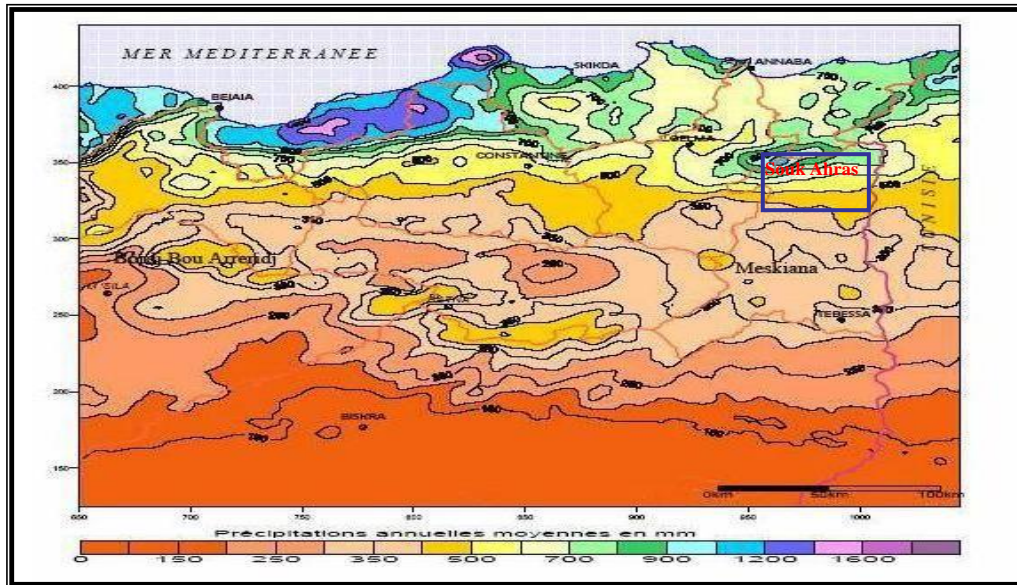


Figure 1.20 : Cartes des précipitations annuelles médianes « normales » (établie d'après A.N.R.H.,1993 données moyennes de 60 ans, périodes du 1er septembre 1921 au 31 août 1960 et du 1er septembre 1968 au 31 août 1989).

Les données recueillies à la station de Souk Ahras sur une période de 30 ans (1980-2010) sont récapitulées dans le tableau suivant :

Tableau 1.08: Moyenne mensuelle des précipitations de la région d'étude.

	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Moyenne Interannuelle (1980-2010) 636.26 (mm)
Moyennes	30,46	35,34	71,48	112,82	123,15	65,12	60,97	62,45	41,07	15,82	6,48	11,1	
Moy. (mm)	Automne 137.28			Hiver 301.09			Printemps 25.85			Eté 33.4			

L'analyse de la courbe des variations mensuelles des précipitations sur une période de 30ans pour la station de Souk Ahras (figure02.10), montre que :

- Le mois le plus arrosé est le mois de janvier avec une précipitation moyenne mensuelle de 123.15 mm.

- Le mois le moins arrosé est le mois de juillet avec une précipitation moyenne mensuelle égale à 6.48 mm.

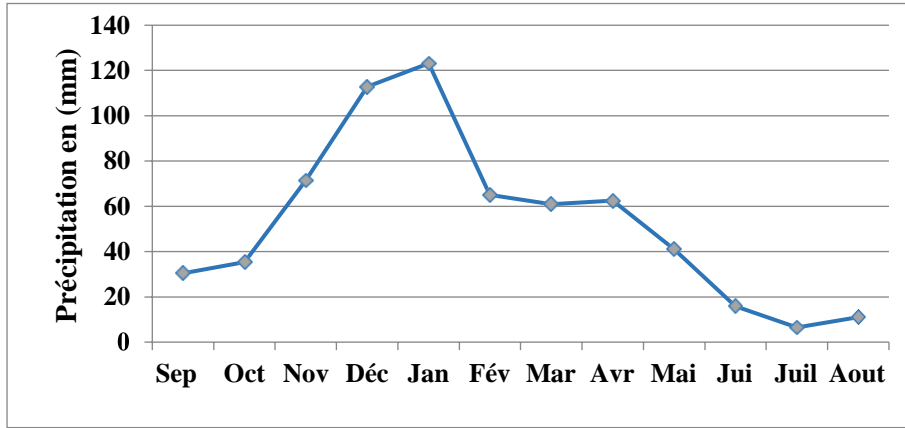


Figure 01.21: Variation des précipitations moyennes mensuelles de la région d'étude.

3.5.1 Variations saisonnières des précipitations :

D'après le tableau ci-dessus, on remarque que pour la station de Suk Ahras, la saison Hiver est la plus pluvieuse, au total, il tombe 301.09 mm des précipitations annuelles. En automne et printemps les précipitations enregistrées atteignent respectivement 137.28 mm et

164.49 mm des moyennes saisonnières. L'été reste la saison la plus sèche ou la pluviométrie est faible d'un ordre de 33.4 mm.

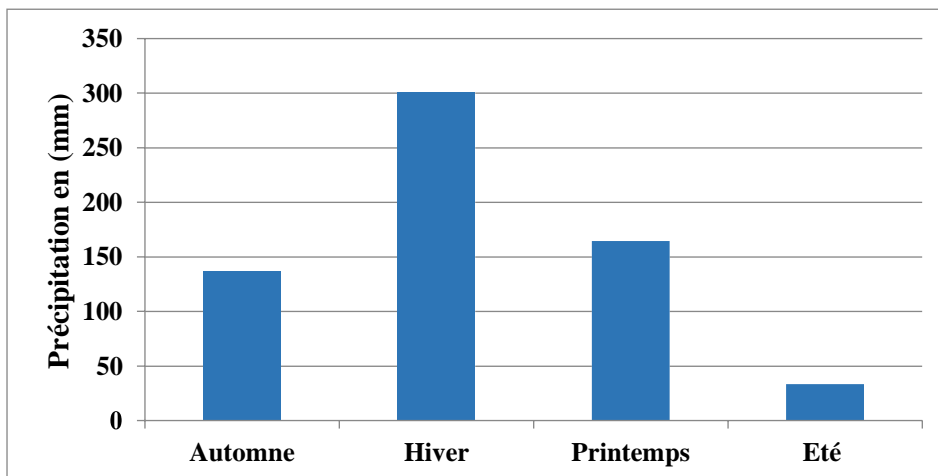


Figure 01.22 Variation des précipitations saisonnière de la région d'étude.

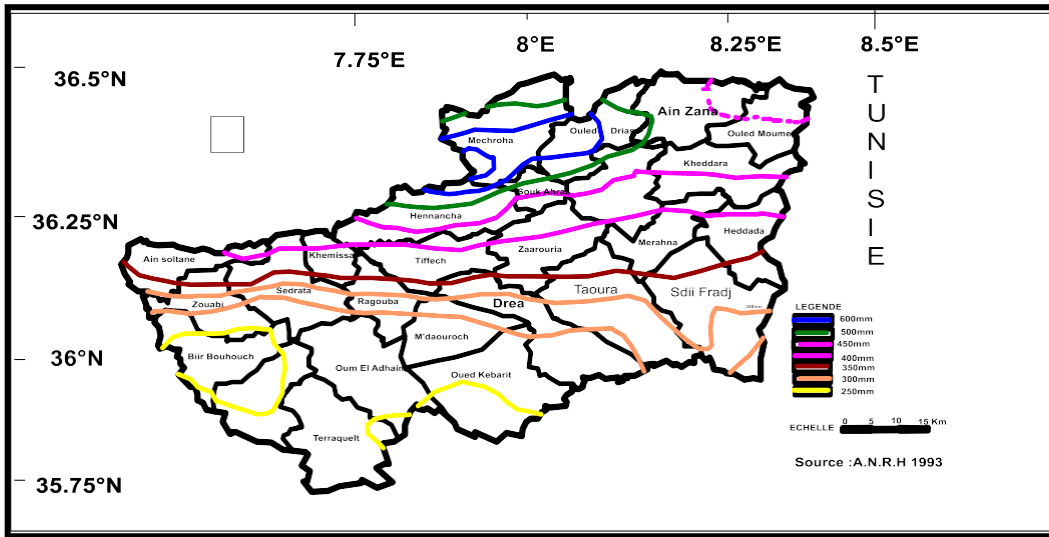


Figure 01.23: Isohyètes moyennes annuelles au niveau de la wilaya de Souk-Ahras (modifier parsurfer).

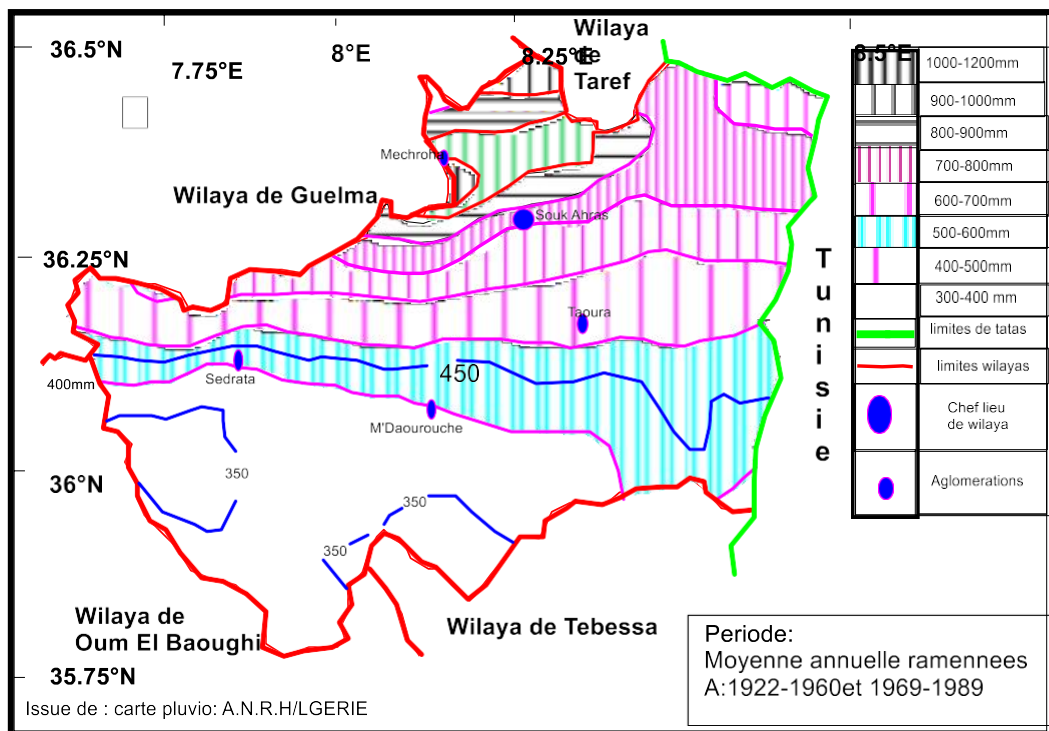


Figure 01.24 : Carte pluviométrique de la région de Souk Ahras (modifier par surfer).

3.6 Diagramme pluviothermique

Il a été mis au point par F. BAGNOULS et GAUSSEN. Pour eux un mois sec est celui où le total moyen des précipitations est inférieur ou égal au double de la température moyenne ($P < 2T$).

Pour cela, on construit un diagramme sur lequel on porte les températures à une échelle double de celle des précipitations. La courbe des températures passe au-dessus de celle des précipitations pendant les mois secs.

Les valeurs des températures enregistrées au niveau de la station de Souk Ahras sur une période de 30 années et les valeurs de précipitations enregistrées pour la même période au niveau de station de Souk Ahras, permettent l'établissement des diagrammes (fig. 02.15), Ces dernières montrent la succession de saison l'une sèche et l'autre humides. La première s'étale du mois d'avril jusqu'au mois d'octobre la seconde va du mois de novembre jusqu'au mois de mars pour la première et la deuxième station à la fois

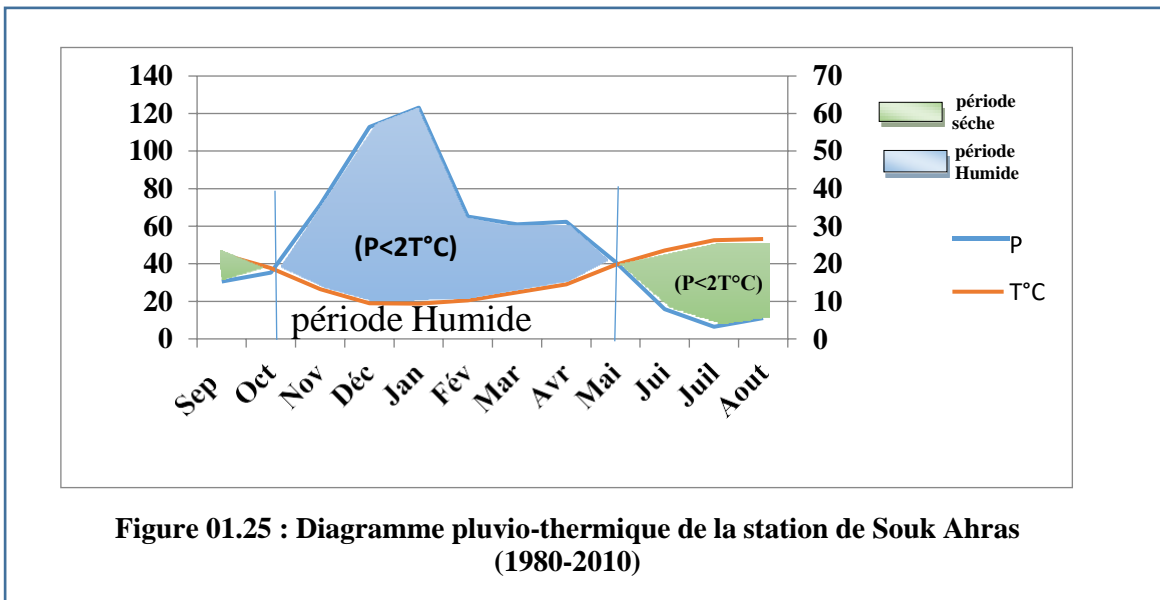


Figure 01.25 : Diagramme pluvio-thermique de la station de Souk Ahras (1980-2010)

3.7 Détermination des indices climatiques

3.7.1. Climagramme d'Emberger

Pour déterminer les types de climat de la zone méditerranéenne, L. Emberger a proposé la détermination d'un quotient pluviométrique Q (fig :02.16). Ce quotient dépend de la précipitation moyenne annuelle et les moyennes des températures minima et maxima, respectivement des mois les plus froids et des mois les plus chauds

$$Q = \frac{P}{\frac{(M + m)(M - m)}{2}} \cdot 1000$$

P : Précipitation moyenne annuelle (mm)

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud (degrés kelvin)

m : moyenne des minima du mois le plus froid (degré kelvin).

Partant de ces données, il a établi un Climagramme où chaque station intéressée figure suivant, ses coordonnées avec en abscisse m (minima en°C du mois le plus froid) et en ordonnées le quotient pluviométrique Q.

D'après le climagramme d'Emberger (fig :03.16) la zone d'étude possède un climat semi -aride.

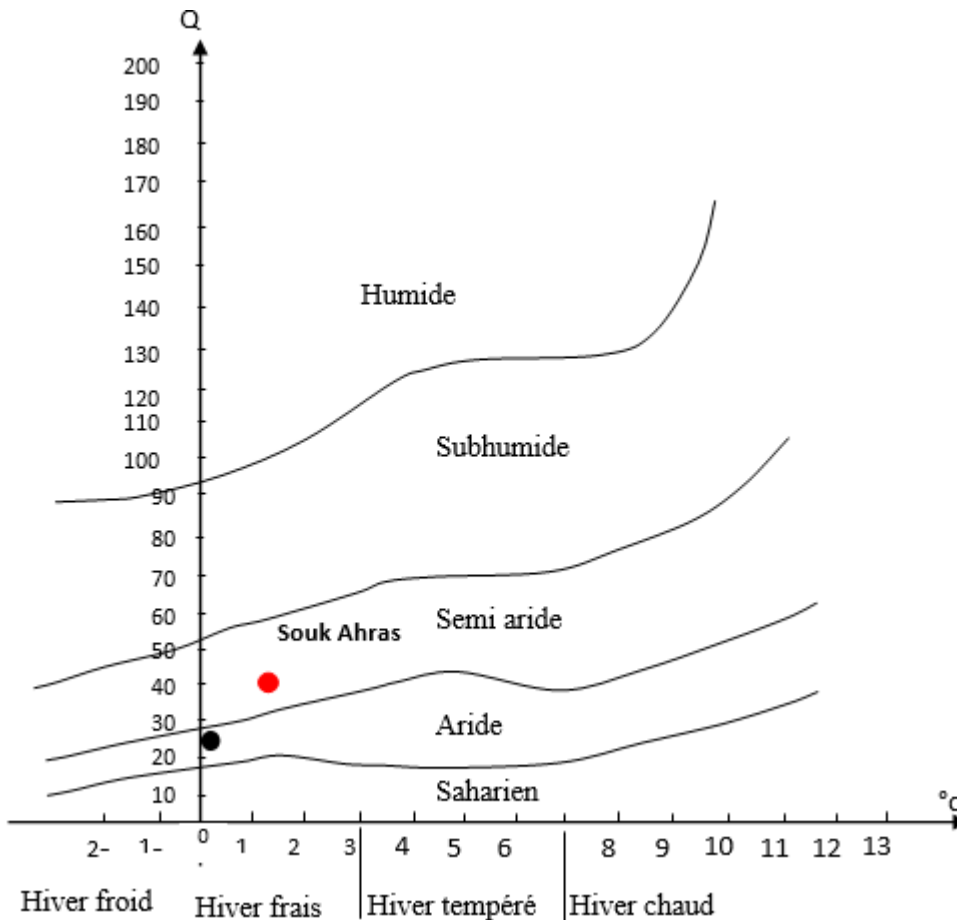


Figure 01.26 : représentation du climat de la zone d'étude sur le climagramme d'Emberger

3.7.2. Calcul de l'indice d'aridité

3.7.2.1. L'indice climatique de DE MARTONE 1923

Défini par la formule et la classification suivantes :

$$I = \frac{P}{T + 10} \text{ Où :}$$

I < 5	: Climat hyperaride
5 < I < 7,5	: Climat désertique
7,5 < I < 10	: Climat steppique
10 < I < 20	: Climat semi-aride
20 < I < 30	: Climat tempère.

P : précipitations annuelles moyennes (mm)

T : températures annuelles moyennes (c°)

P=636.6mm et T= 17.22°C=>ce qui donne I= 23.37

D'après cette classification, le climat est de type tempère pour la station (tableau 10 et figure13) :

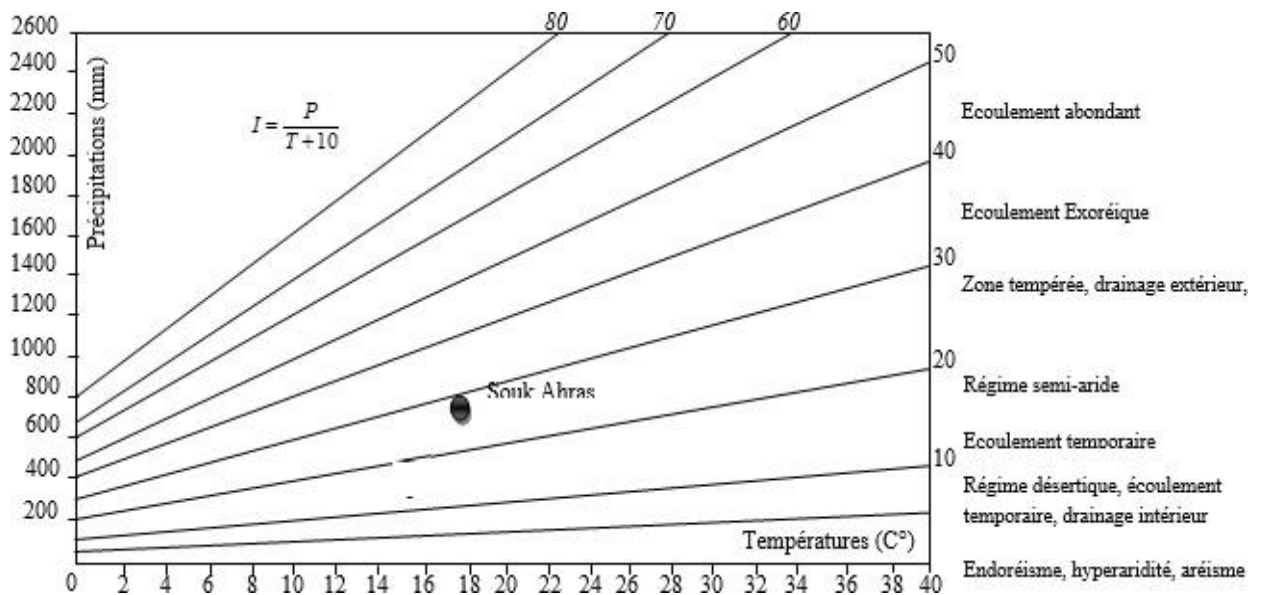


Figure 01.27 : abaque de l'indice d'aridité annuel de de martone 1923.

3.8 Etude de l'évapotranspiration

L'évapotranspiration est sans doute l'une des données climatologiques les plus difficiles à approcher. Dans le bilan hydrique, elle est le terme le plus important après les précipitations, Elle résulte de deux phénomènes : l'un physique « évaporation » et l'autre biologique : « Transpiration », ce phénomène important du cycle hydrologique est fonction de plusieurs facteurs : (humidité, température, l'insolation, couvert végétal...)

Elle est aussi difficile à évaluer à cause de sa pluri- dépendance de facteurs tant biologiques que physiques.

L'ETP : correspond à l'évapotranspiration d'une surface qui serait suffisamment approvisionnée en eau pour évaporer la quantité d'eau maximale permise par les conditions climatiques (cas des nappes superficielles peu profondes)

L'ETR : évapotranspiration i dépend de l'état du stock en eau du sol.

3.8.1 Evapotranspiration réelle annuelle moyenne (ETR)

On peut la déterminer par les équations empiriques telles que celle de L. *Turc* et de *Coutagne*.

- Formule de L. TURC annuelle :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

P : Précipitations annuelles moyennes en (mm).

L = 33 + 25T + 0.05T³ où T est la température annuelle moyenne en ° C.

- Formule A. Coutagne

:

Donnée comme suit :

$$ETR = P - \lambda P^2$$

Cette formule n'est valable que lorsque les précipitations sont comprises entre 12 et 18 de λ .

Avec : $\lambda = \frac{1}{0,8 + 0,4.T}$, T : température moyenne annuelle en °C

- Formule de G.W Thornthwaite

L'évapotranspiration potentielle non corrigée est donnée par la formule :

$$ETP \text{ (mm)} = 16 \cdot \left(\frac{10T}{I}\right)^\alpha F(\lambda)$$

$$\alpha = \frac{16}{100} I + 0,5 \quad I = \sum_{i=1}^{12} i \quad \text{ou : } i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514}$$

T : températures moyennes mensuelles en °C

I : indice thermique annuel

I : indice thermique mensuel

$F(\lambda)$: facteur de correction intégrant la durée d'insolation et le nombre de jours du mois.

L'évapotranspiration potentielle corrigée est obtenue en multipliant la formule de Thornthwaite par le coefficient de correction k qui dépend de la latitude.

3.9 Estimation de la recharge par la méthode du bilan de G.W.Thornthwaite

Du fait de l'ignorance des échanges plus complexes entre les eaux souterraines et celles de surface, on substitue le terme (r+i) par celui de « excédent » et on admet que pour des périodes de temps très longues, les variations de stocks δs peuvent être considérées comme nulles et l'équation ci-dessus se simplifie à celle ci-dessous :

$$P \approx ETR + EX$$

La différence entre précipitation et évapotranspiration réelle (P-ETR) constitue là l'excédent qui conditionne le ruissellement et l'infiltration.

Cette méthode permet d'établir le bilan au pas de temps mensuel ou décadaire selon la nature des données dont on dispose. Dans notre cas nous disposons des valeurs mensuelles des précipitations (P) et de l'évapotranspiration potentielle (ETP). On calcule l'évapotranspiration réelle (ETR) en comparant l'évapotranspiration potentielle et les réserves en eau disponibles (RU) pour l'évaporation et la transpiration. Cette disponibilité en eau est estimée à l'aide de la réserve facilement utilisable (RFU) qui est une réserve conceptuelle car n'ayant pas de réalité physique, même si l'on peut l'assimiler à la quantité d'eau stockée dans les premiers mètres du sol (marsily,1994).

Le principe de calcul doit permettre à la pluie d'alimenter en priorité l'etp, puis de compléter la rfu jusqu'à son maximum, et enfin d'alimenter l'infiltration et le ruissellement lorsque l'etp et la rfu sont satisfaites.

On procède de la façon suivante :

a) Si les précipitations du mois sont supérieures à l'évapotranspiration potentielle :

-l'évapotranspiration réelle est égale à l'évapotranspiration potentielle (etr= etp),

-l'excédent des précipitations sur l'évapotranspiration potentielle est emmagasiné dans l'humidité du sol dont il augmente les réserves jusqu'à ce que ce dernier soit saturé c'est-à-dire atteigne la RFU,

-la partie de l'excédent dépassant éventuellement la réserve cumulée constitue le « water surplus » disponible pour l'alimentation de la pluie efficace (peff = écoulement de surface + infiltration dans la nappe profonde

Si les précipitations du mois sont inférieures à l'évapotranspiration potentielle, l'évapotranspiration réelle est la somme des précipitations du mois et de tout ou partie de la réserve d'eau du sol ; celle-ci est supposée mobilisée comme suit :

- Si la réserve antérieure d'humidité du sol est assez forte pour combler l'insuffisance des précipitations, l'évapotranspiration réelle est encore égale à l'évapotranspiration potentielle ; les réserves du sol sont alors réduites de la différence entre l'évapotranspiration potentielle et les précipitations du mois considéré,

-si la réserve d'humidité du sol est insuffisante pour satisfaire l'évapotranspiration potentielle, l'évapotranspiration réelle reste inférieure à celle-ci et est égale à la somme des précipitations du mois et des réserves disponibles.

- La difficulté dans cette approche réside dans le choix de la rfu. Celle-ci dépend de la nature, de la composition lithologique et de l'épaisseur de la couche superficielle, du climat, de la profondeur du niveau piézométrique et elle est surtout influencée par le type de couverture végétale. Les valeurs avancées dans la littérature varient énormément d'un auteur à l'autre. Selon l'étude agropédologique du cabinet le petit (1966/67), effectuée sur la plaine de tébessa, la rfu est estimée à $23 < rfu < 35$ mm. Elles sont données également par la formule de w.j.ricard.1979 :

$$RFU = \frac{1}{3} Da.He.P$$

Avec :

Da : densité apparente du sol

He : capacité de rétention en %

P : profondeur de la terre parcourue par les racines en (m)

Pour la plaine de souk ahras et d'après l'agence nationale des ressources hydriques (l'anrh) le rfu est de l'ordre de 70mm.

Un programme de calcul développé dans le langage fortran permet de générer les excédents à un pas de temps fixé selon un jeu de rfu donné.

Le principe du calcul consiste à faire le bilan des précipitations, de l'etp et du stock d'eau contenu dans le sol. Ceci permet d'obtenir directement l'infiltration selon les équations suivantes :

$$P = ETR + r + i$$

$$P - r = ETR + i$$

Pp : précipitation(mm).

r : ruissellement (mm)i

i: infiltration (mm)

ETR : évapotranspiration réelle (mm).

- On tire donc l'infiltration :

$$I = P - (r + ETR)$$

Le bilan hydrologique e la station de la région d'étude sur un période d'observation allant de (1980-2010) est présenté dans le tableau 2.7.

Tableau 01.9: bilan hydrique de la station de Souk Ahras.

	T(°C)	IT	CL	ETP	P(mm)	BH	CH	VR	RFU	ETR	Déf.	Exc.
Sep.	22.6	9.8	1.03	104.7	35.1	-69.9	-0.7	0	0	35.1	69.6	0
Oct.	18.9	7.5	0.97	72.1	64.8	-7.3	-0.1	0	0	64.8	7.3	0
Nov.	13.1	4.3	0.86	33.3	93.8	60.5	1.8	60.5	60.5	33.3	0	0
Déc.	10.6	3.1	0.81	21.6	104.1	82.5	3.8	9.5	70	21.6	0	73
Jan.	9.12	2.5	0.87	17.9	97.8	79.9	4.5	0	70	17.9	0	79.9
Fév.	9.46	2.6	0.85	18.6	76.5	57.9	3.1	0	70	18.6	0	57.9
Mars.	13.5	4.5	1.03	42.3	63.3	21	0.5	0	70	42.3	0	21
Avr.	15.1	5.3	1.10	55	60.8	5.8	0.1	0	70	55	0	5.8
Mai.	18.4	7.2	1.21	85.9	39.2	-46.7	-0.5	-46.7	23.3	85.9	0	0
Juin.	21.9	9.3	1.22	117.8	14.7	-103.1	-0.9	-23.3	0	38	0	0
Juil.	24.7	11.2	1.24	148.1	2.4	-145.7	-1	0	0	2.4	145.7	0
Aout.	25.6	11.9	1.16	147.6	8.2	-139.4	-0.9	0	0	8.2	139.4	0
Annuel.	16.9	17.2		864.8	660.7	-204.7					441.7	237.6

T : température mensuelle en °C -**Pr** : précipitation mensuelle en (mm) ; **IT** : indice thermique **RFU** : réserve facilement utilisable en (mm) ; **CL** : coefficient de latitude ; **ETR** : évapotranspiration réelle en (mm) ; **ETP** : évapotranspiration potentielle en (mm) ; **Def** : déficit agricole en (mm) ; **BH**: Bilan Hydrique ; **EXC** : excédent en (mm)

3.10 Commentaire sur le bilan hydrique.

Le bilan hydrique nous a permis d'évaluer la part de chaque paramètre hydrologique. D'après l'établissement de ces bilans on a pu tirer ces quelques conclusions :

L'ETP atteint son maximum au mois de juillet (148.1 mm) où les précipitations atteignent (62.4mm)

-Le déficit agricole se remarque à partir du mois de juin et se poursuit jusqu'au octobre, période pendant laquelle la RFU est épuisée.

4. Hydrologie de surface et organisation du réseau hydrographique

4.1 Définition d'un bassin versant

Un bassin versant est une entité topographique et hydrographique dans laquelle se produisent des entrées d'eau et où l'écoulement s'effectue suivant un système de pentes et de drains naturels, en direction d'un exutoire ou d'une embouchure du cours d'eaux collectrices.

4.2 Le bassin versant la Medjerda

Le sous bassin versant de Medjerda c'est l'un parmi les cinq sous bassin qui Constituent le grand bassin de Medjerda-Mellégue, ce dernier situe au Sud-est du Nord Algérie d'une superficie de 7870 Km² (partie Algérienne).

Le bassin de Medjerda est drainée par l'oued Medjerda et ses affluents, alimentant Le barrage de Ain Dalia dont l'eau est destinée à l'alimentation en eau potable de la ville de Souk-Ahras et d'autre villes limitrophes tel que : Taoura, Drea, Ouled-Driss, Zaarouria, Hennancha, Kheddara (à Bordj M'Raou) et Ouillen (à Boukebch). (*Guesmi, 2004*).

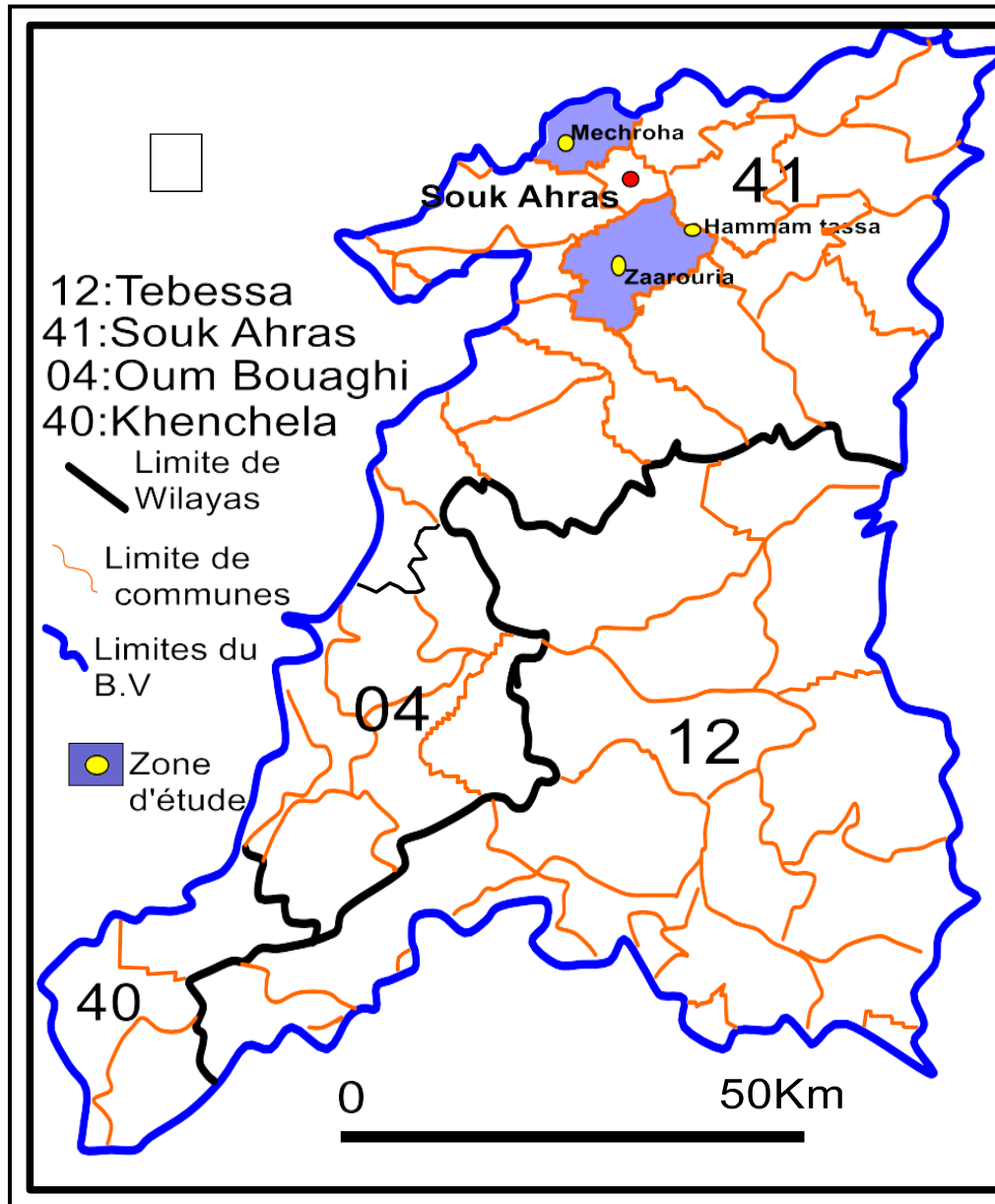
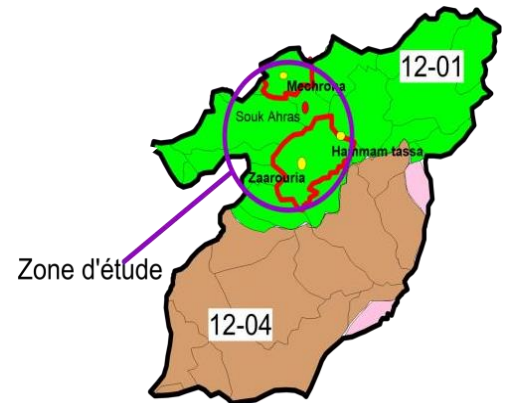
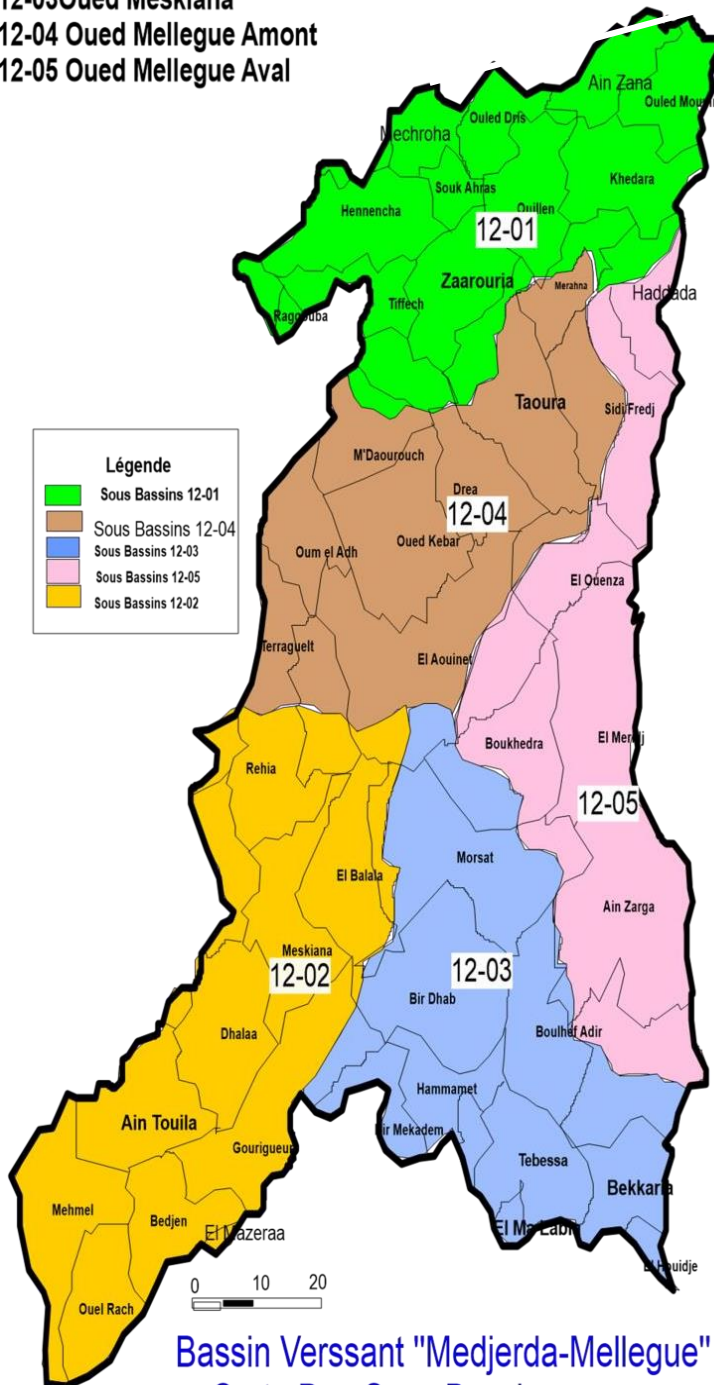


Figure 1.28 : Situation géographique du bassin versant de Medjerda et zoned'étude (modifier par surfer).

- 12-01 Oued Medjerda
- 12-02 Oued Chabre
- 12-03 Oued Meskiana
- 12-04 Oued Mellegue Amont
- 12-05 Oued Mellegue Aval



Bassin Versant "Medjerda-Mellegue"
 Carte Des Sous Bassins

Figure1.29 : Situation géographique du bassin versant de Medjerda et la zone d'étude
 (Modifier par surfer).

4.3. Caractéristiques morphométriques du bassin versant

4.3.1 Introduction

L'étude des caractéristiques morphométriques, en plus de l'analyse hydrologique, géologique et pédologique d'un bassin versant constitue une plate-forme essentielle pour l'explication et la compréhension de son comportement hydrologique (surface, forme, relief, réseau hydrographique et couvert végétal) qu'il convient de préciser dès le début de toute étude.

Ce milieu naturel complexe exige une étude morphométrique permettant la mesure des facteurs caractéristiques du bassin et la quantification des paramètres physiques qui interviennent d'une façon continue dans l'écoulement.

4.3.1 Caractéristiques géométriques :

Tableau 1.10: Caractéristiques géométriques du bassin de Souk Ahras

Type de paramètre	Formule	Résultat	Commentaire ou observation
(C)	$C = 0.28P_s\sqrt{A}$	$C = 1.74$	grande compacité grande vitesse
(RC)	$RC = 4\pi A/P^2$	$RC = 0.33$	le bassin versant est rectiligne
(FF)	$FF = 16A/P^2$	$FF = 16A/P^2$	-FF = 1 => forme de carré, -FF = 1.277 => forme de cercle ; -FF < 1 => forme de rectangle
(Ps)	/	$P_s = 231 \text{ Km}$	/
Superficie (A)	/	$A = 1411 \text{ Km}^2$	/
Longueur du rectangle équivalent (L_e)	$L_e = C\sqrt{A}/1,128 [1 + \sqrt{1 - (1.128/C)^2}]$	$L_e = 100.52 \text{ Km}$	
Largeur du rectangle équivalent (B)	$B = C\sqrt{A}/1,128 [1 - \sqrt{1 - (1.128/C)^2}]$	$B = 14.04 \text{ Km}$	
Altitude moyenne (H moy)	$H_{moy} = \frac{(h_1 + h_i + 1)}{2a} = v$	$H_{moy} = 650 \text{ m}$	/
Altitude la plus fréquente H_{max}	/	$H_{max} = 1125 \text{ m}$	d'altitude la plus répandue sur le bassin
Indice de pente global (I_g)	$I_g = D/L_e$	$I_g = 8.69 \text{ m/km}$ $D = H5\% - H95\% \Rightarrow D = 874 \text{ m}$	très simple et facile à calculer
Dénivelée spécifique (D_s)	$D_s = I_g \sqrt{A}$	$\Rightarrow D_s = 8.67 \times 37.56 \Rightarrow D_s = 326.60 \text{ m}$	donne la possibilité de comparer entre les valeurs des différents bassins
La pente moyenne du bassin (I)	$I = H_{max} - H_{min}$	$H_{min} = 257 \text{ m}$ donc $I_{moy} = 1125 - 257 / 37.56 \Rightarrow I_{moy} = 23.11 \text{ m/km}$	/

Le bassin versant en un point ou plus précisément dans une section droite d'un cours d'eau est défini comme la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents à l'amont de ladite section ; tous les écoulements prenant naissance à l'intérieur de cette surface doivent traverser la section droite considérée pour suivre leur trajet vers l'aval.

4.3.2 Le réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique est l'ensemble des chenaux qui drainent les eaux de surface vers l'exutoire du bassin versant. Il peut se caractériser par trois éléments : sa hiérarchisation, son développement (nombre et longueur des cours d'eau) et son profil en long. Le bassin d'Oued Medjerda draine un ensemble de région hétérogène des hautes altitudes au Nord à sa tête par un relief accidenté où les écoulements ont un régime torrentiel. Le profil en long irrégulier du talweg principal (Oued Medjerda) et ses principaux affluents tels que : Oued Djedra, Oued Chouk, Oued Hammam et Oued Er Rnem.

4.3.2.1 Les principaux oueds :

L'Oued Medjerda se range parmi les oueds de porte internationale, il traverse le territoire de deux états : L'Algérie dans la partie haute du courant et la Tunisie dans ses parties moyennes et basses, qui prend naissance du côté de Khemissa " Ruine Romaine " puis s'écoule vers l'Est avant de se jeter dans la Méditerranée " golf de Tunis". Ces principaux affluents sont au tableau ci-dessous :

Tableau 1.11: Longueurs des principaux oueds du bassin versant de Medjerda.

Nbr	Nom de l'oued	Longueur(Km)	Sens d'écoulement
01	Medjerda	106.16	Sud-ouest vers le Nord-est
02	El Hammam	30.00	Sud vers le Nord
03	El Berrich	15.00	Sud vers le Nord
04	El Bateun	14.97	Sud vers le Nord
05	Djedra	12.64	Nord vers le Sud
06	Er Ranem	12.46	Sud vers le Nord
07	Chouk	12.34	Ouest vers l'Est
08	Er Roul	11.48	Sud vers l'Est
09	S.Menndil	11.09	Sud-est vers le Nord

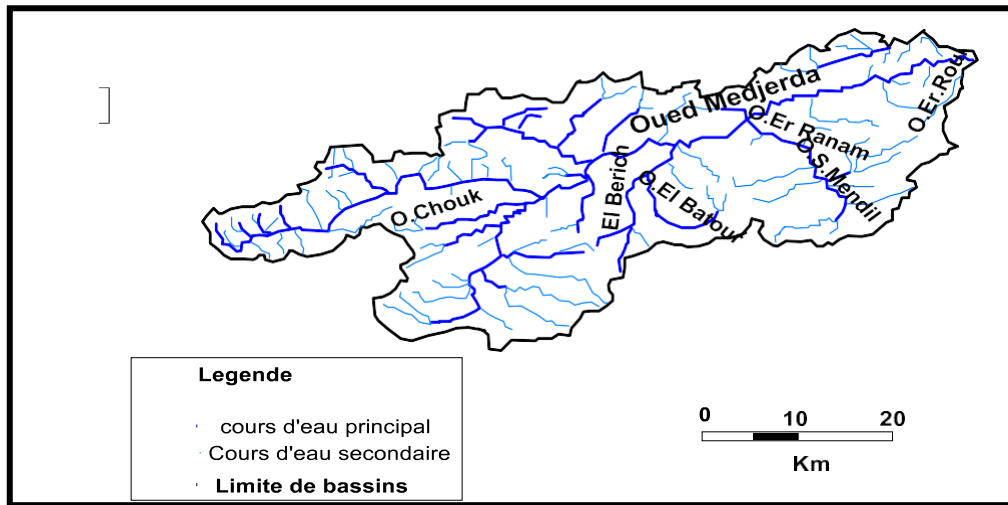


Figure 1.30: Réseau hydrographique du bassin versant de Medjerda

5. Aperçu sur les aquifères.

La région d'études est caractérisée essentiellement par eux nappes principales et autres secondaires se localisent génialement au Sud du chef-lieu de wilaya de Souk-Ahras. Les conditions hydrogéologiques de notre zone d'étude sont déterminées par leur structure géologique et tectonique, par la nature de relief et de climat, elles dépendent de l'alternance des zones d'alimentation de transit et de décharge des horizons aquifères, de la présence des zones de fractures conduisant et filtrant de l'eau, de la présence des eaux thermales à composition chimique variée

.Comme la cité (L. David) dans son ouvrage "Etude géologique de la haute Medjerda " : « Si les sources ne sont pas rares dans les monts de la haute Medjerda, elles disparaissent le revers sud chaîne ou le climat devient plus ride ».

En raison de la diversité de terrains rencontrés, de la faible étendue, les émergences sont généralement peu abondantes, voire temporaires.

5.1 Les principaux aquifères

5.1.1 Horizons aquifères dans les massifs de diapirs

Le rôle des roches enclavant de l'eau (ou collecteurs) est de gros blocs de calcaire poreux et de dolomite cellulaire. Les horizons qui s'y forment se déchargent dans les zones de fractures ou dans les surfaces de contact avec les roches du crétacé sous forme des sources ayant le débit de 0.1- 0.3 l/s.

5.1.2 Horizons aquifères dans le calcaire des étages campanien et Maastrichtien

Ils ont la teneur en eau la plus élevée, le calcaire fissuré et poreux gisant sur la marne imperméable à l'eau contient de l'eau pur ayant un bon goût et qui est déchargée grâce aux

sources avec le débit de 0.5-1.0 l/s. Les sources les plus puissantes des dits horizons alimentent des localités.

5.1.3 Horizons aquifères dans les sédiments du miocène et du pliocène

Ils se rapportent aux grés et conglomérats ayant de bonnes propriétés filtrantes. Ils sont déchargés grâce aux sources avec le débit de 0.2-1.5 l/s, suivant les surfaces de contact avec les masses argileuses et marneuses d'au-dessous.

5.1.4 Les Sources thermales

Elles se rapportent aux zones de fractures dans les roches Crétaciques (par exemple : la source HAMMAME pré de la route Souk-Ahras-Tébessa).

Dans les dépôts quaternaires, on constate des nappes d'eau suspendues qui sont observées dans des Diluviums-Eboilis et des Proluviums.

Leur teneur en eau n'est pas importante et est soumise aux brusques fluctuations saisonnières. Un horizon aquifère stable se développe dans les dépôts alluviaux.

Dans l'alimentation de l'horizon alluvionnaire participent, en dehors des eaux de ruissellement (oueds) et des précipitations atmosphériques, des eaux des fissures du calcaire Crétacique ainsi que des eaux minérales qui montent suivant les fractures dans le fond des vallées.

Les horizons aquifères les plus constants et les plus importants sont localisés dans les barres calcaires, exception faite pour ceux des formations grasseuses du « Numidien » et du miocène. Localement les sédiments triasiques renferment de faibles quantités d'eau toujours chargées de sels minéraux à cause de la présence de gypse et de sel, cette eau donne naissance à des oueds Malah (rivières salées).

Seuls les calcaires bleus dolomitiques produisent parfois un peu d'eau potable.

- Les calcaires du Turonien et les deux barres calcaires du Sénomien reposent toujours sur l'importantes assises marneuses, leur surface est aride mais absorbe une grande quantité d'eau par les innombrables fissures, il s'y constitue une réserve aquifère et un niveau d'émergence à leur base. Le degré hydrotimétrique est élevé mais l'eau reste généralement potable car les montagnes calcaires ne sont pas peuplières ou très peu.

- Des émergences du même type sortent des calcaires éocènes, surtout des calcaires à grandes nummulites, au contact des marnes paléocènes.

- L'eau qui s'accumule dans les sédiments grasseux du « Numidien » forme des sources d'affleurements au niveau des masses argileuses intercalées ou bien sur les marnes crétacées sous-jacentes. Jamais d'un grand débit, elles s'alignent en chapelets dans les monts de **Lamy** et de **Mahboub**. Souvent elles sont ferrugineuses et sortent du pied de grands cônes d'éboulis installés au bas des pentes.

Les zones sablo-grasseuses du miocène inférieur sont également aquifères lorsque leur puissance suffisante ; l'eau y est de bonne qualité, aussi les synclinaux miocènes constituent-ils les gîtes les plus intéressantes de la contrée.

- Les formations plus récentes n'ont que peu d'importance du point de vue hydraulique :

- Les dépôts pliocènes ne comptent guère ; les terrasses de la Medjerda ne sont pas assez développées pour garder une réserve d'eau : quant au Quaternaire des hautes plaines, les alluvions perméables sont peu épaisses, parfois discontinues, souvent recouvertes d'une coûte calcaire de la wilaya de Souk-Ahras.

5.2 Zone des affleurements Triasiques

Ces zones correspondent à des affleurements de marnes, gypses et roches plus résistantes (notamment calcaires et cargneules en blocs). Elles sont très pauvres en eaux souterraines, seuls quelques "blocs" calcaires de grandes dimensions (1 à 2 km²) renferment de petites nappes qui donnent naissance à de petites sources.

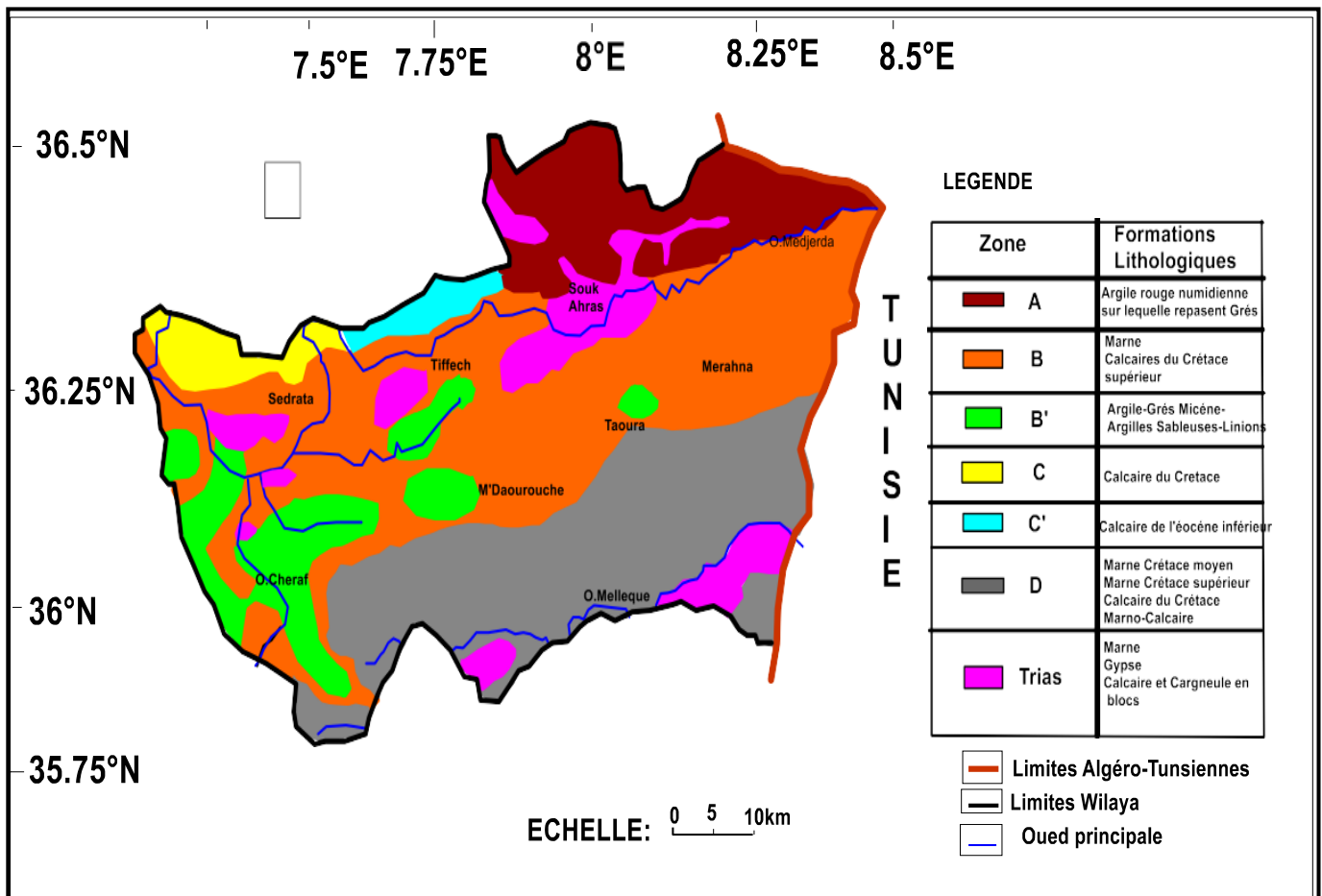


Fig 1.31 : Carte hydrogéologique de la wilaya de Souk Ahras (modifier par surfer).

5.2.1 Estimation des réserves des nappes

La connaissance des potentialités en eaux souterraines reste insuffisante du fait de l'absence des études régulières de prospection et d'évaluation.

L'estimation de la capacité des nappes est possible seulement pour la nappe captive de Taoura.

5.3 Le synclinal de Taoura

5.3.1 Localisation

Le synclinal de Taoura est situé au Nord Est de M'Daourouch, entre les diapirs de Souk-Ahras et Ouenza. Il couvre une superficie de 585 km² (PNE 2006).

5.3.1.2 Description de l'aquifère

La nappe de Taoura est constituée par les formations calcaires du Maestrichtien, d'une épaisseur variante entre 50 et 110 m. Elles sont recouvertes par un remplissage d'âge Mio-pliocène, qui a une faible importance du point de vue hydrogéologique. L'alimentation de la nappe se fait à travers le remplissage.

5.3.1.3 Les ressources potentielles

Les calcaires sont difficilement accessibles, du fait qu'ils constituent les reliefs de la région de Taoura. Cependant, quand ils ont pu être réalisés, les forages ont donné des débits compris entre 5 et 90 l/s.

Le PNE 1993 a estimé la ressource exploitable à 5.4 Hm³/an. Le PNE 2006 a procédé à l'estimation des ressources de l'ensemble des massifs calcaires compris entre les Monts de Tebessa, les Monts de Ain Beida, les Monts de Medjerda-Mellègue, ainsi que la partie septentrionale des Aurès. Pour l'ensemble de ces massifs, le PNE estime la ressource à 250 Hm³/an.

Conclusion

Le chapitre consacré à la géologie a montré que la région étudiée présente une géologie très hétérogène, caractérisée par des formations sédimentaires dont l'âge le plus ancien est le Trias jusqu'au quaternaire, constituée généralement par des calcaires, des grès, des marnes, des cailloutis et des alluvions, Elle représente une zone charnière entre l'Atlas Tellien au Nord et l'Atlas saharien au sud

Cet aperçu sur la géologie général de la région de souk Ahras a mis en évidence des formations géologiquement aptes à subir des mouvements et des instabilités de terrain chaque fois que l'occasion se présente l'étude climatologique de la région d'étude permet de dire que le climat est semi-aride de type continental (hiver froid et été chaud).

La température moyenne annuelle qui y règne est de 17.22°C.

Les précipitations moyennes annuelles, sur une période de 30ans (80/81 -09/10), sont estimées à 636.26 mm

L'évapotranspiration réelle est estimée à 423.10 mm soit 64.6 % des Précipitations tombées.

Le ruissellement calculé par la formule de Tixeront-Berkaloff est égale à 128.88 mm

L'infiltration est très importante 109.05 son rôle est capitale dans le déclenchement des glissements de terrains.

Pour la période d'étude, on peut retenir que le bilan moyen peut s'établir de la façon suivante : Pluie (636.26mm) = ETR (4.23mm) +Excédent (213.16mm).

La zone d'étude présente un réseau hydrographie assez développé ; le Nord est drainé par l'oued Medjerda et ses affluents ; tandis que le sud-est drainé par la Mellégue amont. Ces cours d'eau présentent un potentiel d'érosion assez important ; ils contribuent à l'érosion des berges et au déclenchement des mouvements gravitaires.

De point de vue hydrogéologique l'affleurement de trias en diapir et l'individualisation d'un anticlinal éventré dans la partie septentrionale de la zone d'étude a concentré les principaux aquifères. Les conditions hydrogéologiques sont caractérisées par la présence de la nappe aquifère dans les dépôts alluviaux et de plusieurs nappes aquifères dans les roches. Les horizons aquifères dans le calcaire des étages Campanien et Maestrichtien du Miocène et du Pliocène ont lateneur en eau la plus élevée.

CHAPITRE 2

I. Introduction

Les glissements de terrain constituent en général des phénomènes naturels ponctuels à effets limités. Cependant, par leur diversité et leur fréquence, ils restent responsables de dommages importants et coûteux. En effet, ils provoquent à l'échelle mondiale quelques 800 à 1000 personnes annuellement, sachant que cette valeur ne prend pas en considération les glissements dus aux séismes et aux exploitations minières. De nombreux paramètres, naturels et/ou anthropiques conditionnent l'apparition et le développement des mouvements des glissements de terrain (topographie, géologie, hydrologie, hydrogéologie, érosion rapide du pied de certaines pentes, urbanisation, etc.). Ce sont cependant les phénomènes météorologiques qui semblent provoquer le plus grand nombre d'événements.

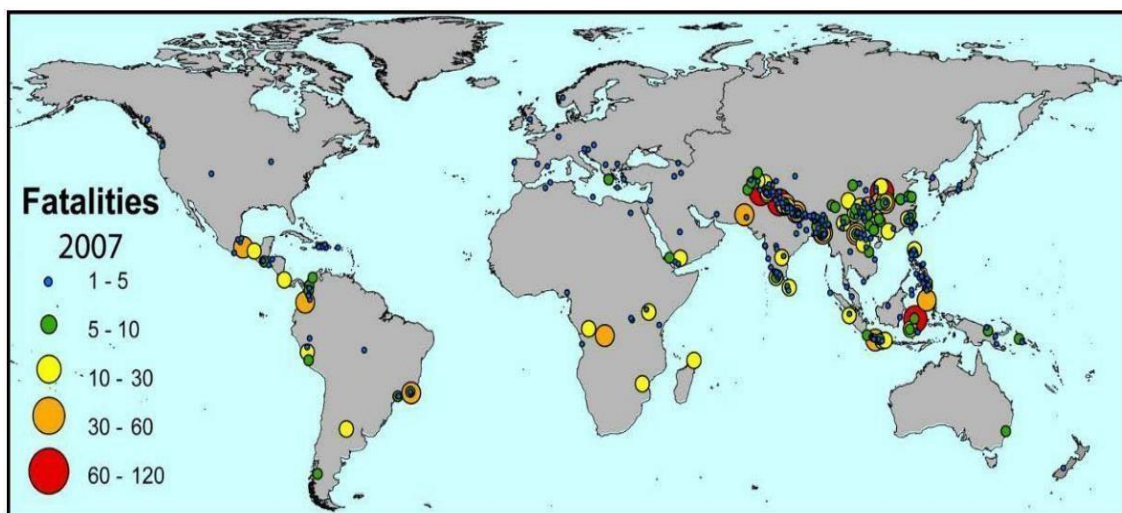


Fig 2.01: Répartition mondiale du nombre de morts dus aux glissements de terrain pour l'année 2007.

1. Les glissements de terrains

1.1 Définition :

Un glissement de terrain correspond à un déplacement généralement lent (de quelques millimètres par an à quelques mètres par jour) sur une pente, le long d'une surface de rupture dite surface de cisaillement, d'une masse de terrain cohérente, de volume et d'épaisseur variables : quelques mètres cubes dans le cas du simple glissement de talus ponctuel à quelques millions de mètres cubes dans le cas d'un mouvement de grande ampleur pouvant concerner l'ensemble d'un versant.

Un **glissement de terrain** est un phénomène géologique regroupant un ensemble de déplacements, plus ou moins brutaux, du sol ou du sous-sol sur un plan de glissement incliné. Ils résultent le plus souvent d'une rupture par cisaillement à la limite inférieure de la masse en mouvement. Les volumes en jeu sont compris entre quelques mètres cubes et quelques millions de mètres cubes. L'origine, le déroulement et les effets des mouvements de terrain sont extrêmement hétérogènes 7.

Les déplacements peuvent être lents (quelques millimètres par an) ou très rapides (quelques centaines de mètres par jour), en fonction des mécanismes initiateurs, des matériaux

considérés et de leur structure.

**Les mouvements lents* entraînent une déformation progressive des terrains, pas toujours perceptible par l'homme. Ils regroupent les affaissements, les tassements, les glissements, la solifluxion, le fluage, le retrait-gonflement et le fauchage.

**Les mouvements rapides* se propagent de manière brutale et soudaine. Ils regroupent les effondrements, les chutes de pierres et de blocs, les éboulements et les coulées boueuses.

1.2 Eléments descriptifs du phénomène :

Les divers éléments définis ci-dessous, conformes à la nomenclature anglo-saxonne, sont illustrés par (la figure :1).

-**Escarpement principale** : Surface inclinée ou verticale souvent concave, limitant le glissement à son extrémité supérieur et prolongée en profondeur par la surface de glissement.

- **Couronne** : Zone située au-dessus de l'escarpement principal, souvent peu affecter par le désordre. Seules quelques fissures ou crevasses témoignent de la mise en traction des terrains dans cette zone.

- **Tête** : Limite amont du glissement et plus précisément partie où le matériau glissé se trouve en contact avec l'escarpement principal.

- **Escarpement secondaire** : Cicatrice semblable à l'escarpement principal mais visible dans la masse remaniée. Ces escarpements confèrent à la masse en mouvement une structure en escalier.

- **Elément** : Fraction de la masse glissée située entre deux escarpements.

- **Flanc** : Limite latérale du glissement prolongeant l'escarpement principal.

- **Pied** : Correspond à l'intersection aval de la surface topographique initiale. Le pied est souvent masqué par le bourrelet.

- **Extrémité inférieure ou pouce** : Zone aval du mouvement de terrain ou extrémité du bourrelet.

- **Rides transversales** : Elles se forment dans le bourrelet du mouvement de terrain, témoins d'efforts de compression pouvant aboutir à des chevauchements dans le matériau.

- **Surface de rupture ou de glissement** : Surface séparant la masse glissée des terrains en place.

- **Corps** : Partie centrale du glissement recouvrant la surface de rupture.

- **Fissures et crevasses** : Ruptures au sein du matériau se manifestant par des fentes d'importance et de forme divers suivant leurs positions. On peut distinguer trois grands types élémentaires :

- fissures de traction,
- fissures de cisaillement,
- fissures de compression,

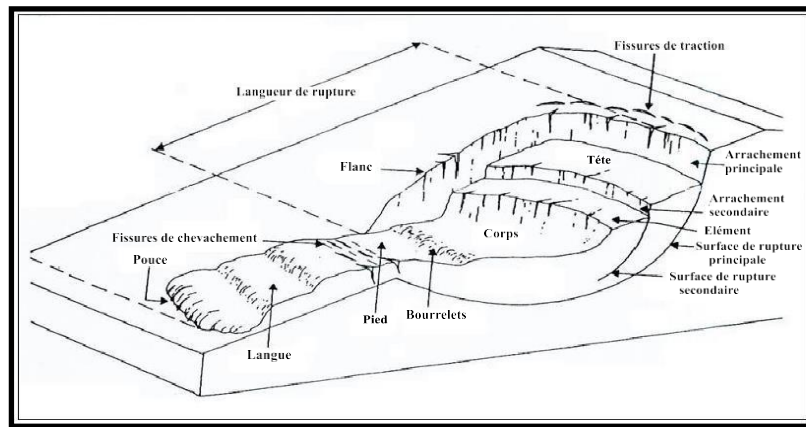


Fig 2.02 : Eléments descriptifs d'un glissement.

1.3-Dimensions d'un glissement de terrain :

Les dimensions du glissement sont définies par la largeur, la longueur (totale et de la rupture) et de la profondeur.

1- **Largeur** : distance entre les flancs.

2- **Longueur totale** : c'est la distance entre la couronne et le pouce.

3- **Longueur de la rupture** : distance entre la couronne et le pied.

4- **Profondeur de glissement** : distance entre la surface de rupture et le terrain naturel.

On définit, à partir de ces éléments, un rapport :

$$\frac{D}{L} = \frac{\text{Profondeur}}{\text{Longueur total de glissement}}$$

Les valeurs numériques de D permettent parfois d'identifier certains types de mouvement L selon (Skempton, Hutchinson 1969 in Lamraoui / F et Mesnadi / M 2002).

1.3.1-Le volume de glissement

- Les volumes en mouvement dans les glissements peuvent atteindre des dizaines de millions de m³.
- Les terrains concernés sont généralement à forte composante argileuse.
- On peut rencontrer des glissements dans les terrains sableux, Cailloux, ou même dans les roches fissurés ou fracturés.

1.3.2- La vitesse de glissement

On peut citer les phases suivantes :

- La phase de préparation : c'est des mouvements à vitesse constante quelque mm à cm par année ; cette phase peut durer très longtemps de quelques années à quelques milliers d'années.
- La phase de rupture : c'est une phase de mouvement rapide au cours de laquelle se produit un réajustement conduisant un nouvel état d'équilibre qu'on appelle phase de relaxation.
- La phase de stabilisation : une phase plus stable que les précédentes

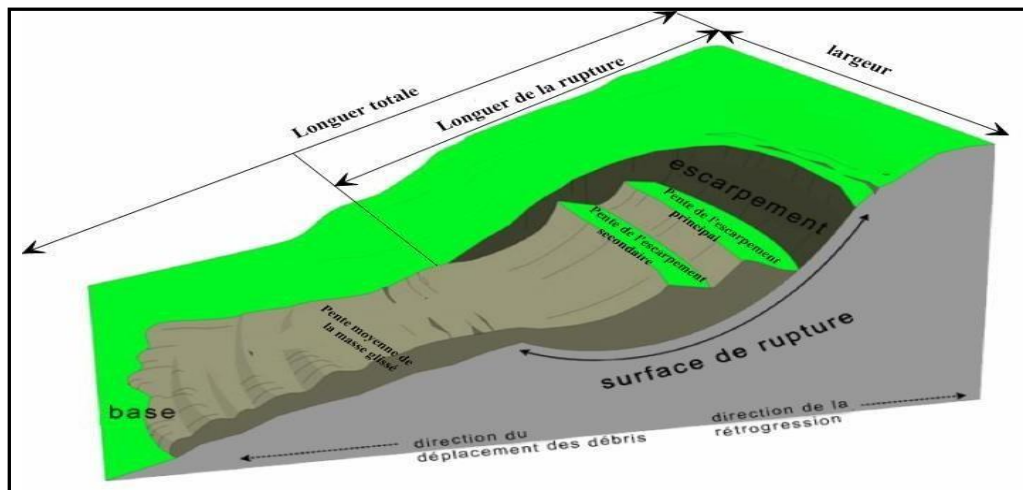
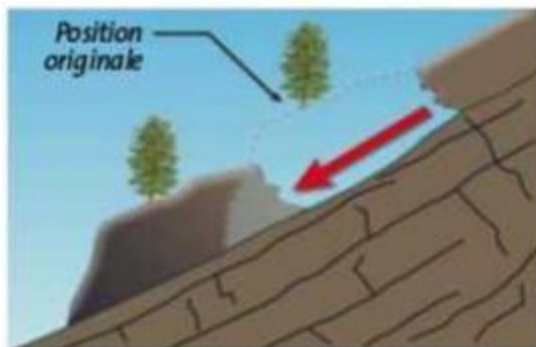


Fig 2.03 : Dimensions d'un glissement de terrain.

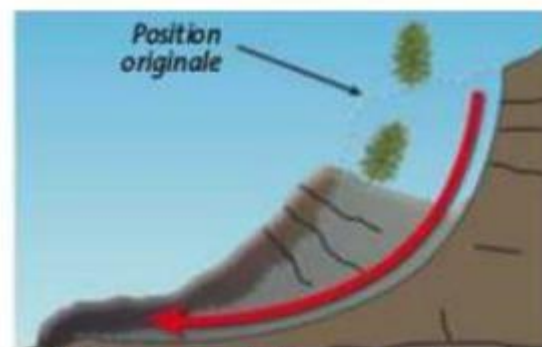
II. Les types de glissement de terrain

Trois types de glissement sont distingués en fonction de la géométrie de la surface de rupture :

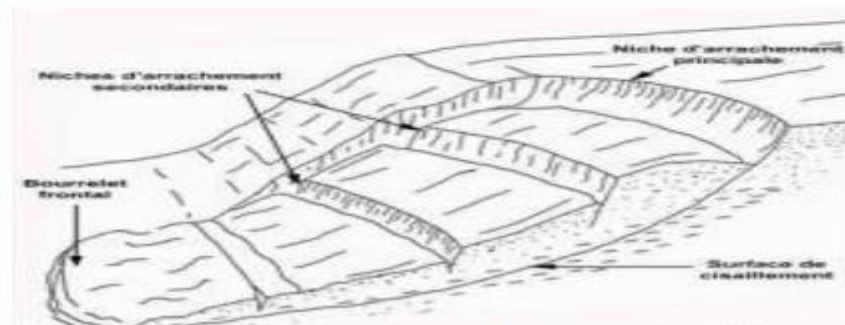
- Glissement plan ou translationnel, le long d'une surface plane.
- Glissement circulaire ou rotationnel, le long d'une surface convexe.
- Glissement quelconque ou composite lorsque la surface de rupture est un mélange des deux types.



Glissement Plan



Glissement rotationnel simple



Glissement rotationnel complexe

Fig 2.04 : les types de glissements.

III. Les facteurs déclenchant d'un glissement

Très souvent, les glissements de terrain sont déclenchés par un ensemble de facteurs divers. Certaines conditions doivent être réunies pour menacer la stabilité d'un versant.

1. Facteur de prédisposition

➤ **La pente** : les glissements de terrain peuvent se produire sur des pentes modérées à raides, d'une déclivité de 10 à 40 degrés généralement.

Dans les terrains inclinés, le sol a tendance à glisser vers l'aval. L'ampleur de ce phénomène est principalement déterminée par trois forces :

➤ **Gravité** : force qui entraîne la matière vers le centre de la Terre; dépend de la pente du terrain.

➤ **Force de frottement** : force qui freine une couche de terrain meuble ou de roche par frottement contre la couche sous-jacente.

➤ **Force de cohésion** : force qui repose sur l'attraction des particules du sol entre elles et de l'attraction entre ces particules et l'eau stockée dans le sol.

Tant que les forces de résistance (force de frottement et cohésion) sont plus fortes que la force motrice (gravité), la stabilité du versant est garantie. Si l'équilibre des forces change et la force motrice devient plus importante que les forces de résistance, un glissement de terrain se déclenche. Se produit alors une rupture entre deux couches de roche ou de sol et une masse se met à glisser plus ou moins rapidement vers l'aval. Il peut arriver que celle-ci se décompose et finisse sa course sous forme de coulée de boue. Plus la gravité (pente) est forte et plus la force de frottement et la cohésion sont faibles, plus le versant est instable.

IV. Les paramètres influençant l'alea

a) Les paramètres naturels

La géologie : les caractéristiques mécaniques d'un matériau, sa perméabilité, son état d'altération est autant de paramètres conditionnant la pente limite d'équilibre et l'occurrence du mouvement.

La géomorphologie : l'importance de la pente de terrain va permettre le développement de certains types de glissement. Une pente faible sera suffisante pour le déclenchement de phénomènes de solifluxion ou de fluage. La couverture végétale joue également un rôle dans la stabilité, la propagation et le déclenchement des glissements de terrain. Ce rôle peut être bénéfique ou néfaste selon le cas. Ainsi, les racines des végétaux renforcent la cohésion des sols, mais en cas de vent, l'effet de levier peut déraciner les arbres, ouvrant ainsi des brèches dans le sol et favorisant les infiltrations d'eau.

L'hydrogéologie : outre les phénomènes d'infiltration, les circulations d'eau en surface contribuent aux instabilités des masses de sol, par un phénomène d'entraînement des matériaux.

Les séismes : là encore, c'est la mise en vibration des éléments du sol et la modification des conditions de pesanteur qui peuvent être à l'origine de la déstabilisation des masses en place.

b) Les paramètres anthropiques

La modification de l'hydrologie : de la même manière que pour les phénomènes d'éboulements, la modification de l'hydrologie par une activité humaine peut créer des zones à risques nouvelles.

La modification du relief : lors des chantiers de construction, les opérations de terrassement peuvent entraîner la suppression d'une butée de pied stabilisatrice d'une masse de terrain, ou bien augmenter la pente d'un versant composé de matériaux pas assez cohérents pour cette nouvelle

topographie. Le remblaiement engendre une surcharge pouvant déclencher ou aggraver un glissement. De même il entraîne un tassement du sol et ainsi une diminution de la perméabilité, amplifiant l'instabilité.

V. Phénomènes aggravants pouvant résulter de glissements de terrain :

- Formation d'embâcles sur les cours d'eau ;
- Laves torrentielles suite à l'apport de matériaux dans les cours d'eau ;
- Coulées de boue à partir des bourrelets de pieds formés de matériaux remaniés.

Selon le contexte ces phénomènes peuvent être plus dommageables que le glissement de terrain dont ils résultent.

VI. Méthodologie d'étude de glissement de terrain :

L'étude efficace d'un glissement de terrain nécessite la combinaison d'une approche géologique descriptive et d'une approche mécanique, cette combinaison permettra la définition des travaux confortatifs à mettre en œuvre sur un site instable.

Généralement, lors de l'implantation d'un ouvrage, l'étude préliminaire du projet (ex. L'étude du tracé d'une route ou d'une voie ferrée) permet de repérer très tôt les secteurs critiques sur lesquelles on doit entreprendre des études plus détaillées. Généralement ces études comprennent les étapes suivantes :

1- Repérage de la zone instable :

a) Etablissement d'un plan topographique à grande échelle :

Généralement les cartes topographiques disponibles sont à petite échelle. Il convient donc pour un glissement bien localisé d'entreprendre un levé topographique à grande échelle (1/1000^{me} ou 1/500^{me}) de la zone en mouvement, et d'en tirer un plan en courbes de niveau.

b) Piquetage du site :

IL consiste à planter en quadrillage des témoins mobiles et des bornes fixes dans la zone glissée et à son environnement stable, les mesures des déplacements de ces repères doivent être réalisées périodiquement. Cette technique permet de suivre l'évolution du glissement et de localiser exactement la zone en mouvement. On peut également établir des courbes de déplacement horizontal et vertical des repères. A partir de la vitesse d'évolution, on arrivera à évaluer l'importance du risque et à envisager les mesures de sécurité nécessaire et les précautions à prendre (P.Desvarreux, 1987).

Il paraît que cette technique est très utile, car les repères permettent de vérifier plus tard l'efficacité des travaux confortatifs mis en œuvre. On peut même l'appliquer pour un versant en principe stable. Lors des travaux de terrassement, il est toujours prudent de mettre préalablement des repères géométriques et d'en faire une lève régulière au cours des travaux. Les suivis de ces repères permettent de détecter tout mouvement amorcé et d'intervenir à temps pour limiter son développement (G. Filliat, 1981).

c) Repérage des traits caractéristiques des glissements :

Un bon observateur peut repérer directement sur la zone étudiée plusieurs indices qui sont caractéristiques du glissement. On cite les éléments les plus importants et les plus courants :

- Les arbres verticaux ou penchés, droits ou tordus, ce sont souvent les seuls indices surtout en zones non urbanisées.
- Les poteaux électriques ou téléphoniques, verticaux ou penchés.

- Les routes peuvent révéler des fissures ouvertes dans les revêtements qui témoignent de l'existence d'un mouvement.

Pour toute zone faisant l'objet d'une étude sérieuse, la photo-interprétation et la télédétection sont de grande utilité. Ces deux techniques voisines et complémentaires permettent de délimiter la zone instable et aussi d'analyser la structure géologique du versant, d'étudier l'hydrologie de surface et de suivre le développement chronologique de la zone en mouvement.

2- Examen du contexte géologique du site :

Il consiste à préciser : la nature des formations rencontrées, leur épaisseur et leur pendage, la nature et l'épaisseur des terrains de couverture masquant les formations en place.

Cette étude géologique doit concerner l'ensemble du versant, puis exécuter un levé en détail sur la zone en mouvement.

La réalisation de plusieurs coupes géologiques selon les lignes de plus grande pente et très utile pour une première estimation de la position de la surface de rupture. Ces coupes permettent aussi de localiser les zones de faible ou de forte résistance (couche d'argile molle ou substratum rocheux...).

Dans cette partie, les éléments tectoniques qui doivent être bien définis sont :

- Le pendage des couches en place (stratification, schistosité) : un pendage dans le même sens que le versant est un élément défavorable pour la stabilité de ce dernier.

- Le phénomène de la fissuration (failles, diaclases...etc.) qui affecte ces couches : l'intensité de la fissuration conditionne les propriétés mécaniques et hydrauliques du massif. (P.Antoine et D.Fabre, 1980). D'une part la fissuration facilite l'infiltration en profondeur des eaux de surface ; et d'autre part l'altération chimique (action de l'eau) et la désagrégation physique (action du gel) à travers les fissures affaiblies les formations fissurées.

Il faut vérifier, le pendage et la direction des plans de stratification et de schistosité, si le pendage est dans le même sens que le versant, il est également défavorable. Ce cas est très fréquent dans les glissements plans où la surface de discontinuité constitue un plan de glissement, surtout en présence d'écoulement à travers cette surface.

La lève géologique constitue le travail de base qui permet une implantation efficace des sondages et des essais géotechniques qui seront réalisés par la suite.

3- Etude hydrologique et hydrogéologique :

a) Pluviométrie de la région :

En se basant sur les renseignements fournis par les stations météorologiques les plus proches du site, on peut repérer les concentrations anormales qui peuvent coïncider avec l'apparition ou, la reprise des glissements. On détermine à cette étape la répartition mensuelle et annuelle des précipitations entre l'atmosphère, le sol et le sous-sol. Pour une superficie connue cette répartition se fait selon l'équation suivante : $P=ET+R+I$, où les termes ET, R et I correspondent successivement à : l'évapotranspiration, le ruissellement et l'infiltration (P.Antoine et D.Fabre, 1980).

Les précipitations moyennes et persistantes sont plus dangereuses pour la stabilité d'un versant que les fortes averses de courte durée. Les premières favorisent une infiltration poussée et donc une imprégnation plus profonde et importante des terrains. Les secondes se

dissipent en grande partie par ruissellement, sans modifier beaucoup la teneur en eau des terrains profonds (G.Filliat, 1981).

b) L'hydrologie de surface :

L'étude de l'hydrologie de surface consiste à :

- Estimer la part des eaux infiltrées et des eaux ruissellées.
- Repérer dans la masse du terrain les zones à forte perméabilité, les fissures ouvertes...etc.

On doit également prêter attention au rôle des rivières qui coulent au pied d'un versant. En période de crues, l'érosion verticale (phénomène de sape) sera plus intense, d'où son effet sur les pieds des versants représente un facteur important d'instabilité des sites (G.Filliat, 1981 ; P.Antoine et D.Fabre,1980).

c) Hydrogéologie du site :

Les eaux souterraines sont souvent sous-estimées, en plus elles jouent un rôle négatif majeur pour les glissements car leur imprégnation se fait à l'intérieur même du terrain instable.

En effet l'étude hydrogéologique a pour but essentiel de localiser les zones aquifères, et les circulations privilégiées, afin de faciliter l'implantation du drainage, et l'installation des piézomètres. Ces derniers sont d'une grande importance d'une part, pour l'étude piézométrique qui complète l'étude hydrogéologique, et d'autre part, ils servent à contrôler le bon fonctionnement des drains.

Pour faciliter l'étude hydrogéologique, on peut faire appel à la géophysique et particulièrement à la prospection électrique qui est bien adaptée à tous les types de recherche d'eau : on pourra détecter alors, les zones à forte résistivité caractérisant des lentilles de gravier (nappes alluviales), et les zones de faible résistivité caractérisant des matériaux fins (par exemple des anciens chenaux remblayés en matériaux fins).

On doit dans certains cas envisager les apports artificiels tels que : les canaux fuyards, les réseaux d'irrigation et de drainage, disloqués et abandonnés, canalisations d'eau potable fuyards ...etc.

Il sera toujours utile de procéder à l'analyse chimique des eaux souterraines, et même des eaux artificielles, pour connaître leur effet sur les fondations, sur les argiles et même sur les roches carbonatées (phénomène de karst).

Les données de toutes les étapes précédentes restent en grande partie des propositions qui doivent être confirmées par les sondages et les essais géotechniques.

4- Investigation par sondages et essais géotechniques :

Il est toujours indispensable d'établir une campagne d'investigation par sondages dont le but est :

- Fournir une définition géologique précise du site étudié.
- Confirmer l'épaisseur des formations rencontrées.
- Définir la géométrie de la masse glissée.
- Localiser la position de la surface de rupture.
- Repérer le niveau piézométrique des nappes rencontrées.
- Mesurer les caractéristiques physiques et mécaniques des formations du site concerné .

L'implantation des sondages doit être faite de la manière suivante : certains sondages doivent être implantés à l'intérieur de la zone glissée et d'autres à sa périphérie, dans la zone normalement supposée stable, pour permettre l'étalonnage géologique du site. Dans ce but on doit suivre un maillage bien déterminé permettant aussi de faire une ou quelques coupes passant par trois sondages (au minimum). La longueur et l'orientation des forages doivent être choisies de façon à permettre de traverser la surface de rupture et d'arriver au substratum stable. En général les sondages sont souvent réalisés verticalement pour des raisons d'économie et de facilité. Lorsque le haut du glissement est d'un accès difficile, les sondages inclinés deviennent dans ce cas très utiles et même économiques, de même les sondages horizontaux permettent la mise en place d'un tubage crépine drainant. Si la surface de glissement est reconnue en certains points, ceci permettra de limiter la longueur des sondages horizontaux et inclinés. On peut réaliser des sondages destructifs de petit diamètre (5 à 7cm), sauf que le prélèvement des échantillons intacts nécessite le carottage continu (en diamètre de 10 cm au moins) qui est onéreux. Dans ce cas, il est avantageux de le limiter dès qu'on possède une idée sur la géométrie, l'épaisseur et les caractéristiques physico-mécaniques de la zone instable. (G.Filliat, 1981).

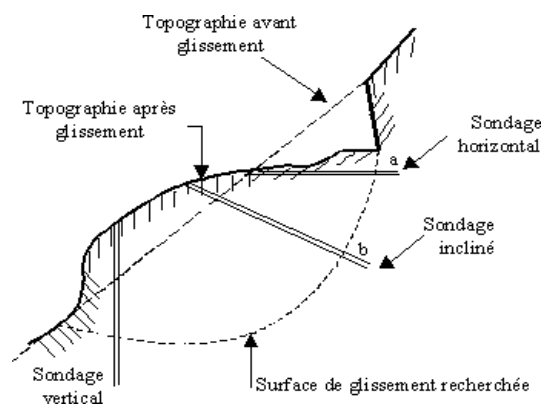


Fig 2.05 : Différents types de sondages (D'après G. Filliat,1981).

Le repérage de la surface de rupture doit être confirmé par les essais de laboratoire et les essais in situ pour en tirer les caractéristiques mécaniques et physiques. Généralement, ces caractéristiques sont pour les mêmes terrains plus faibles en moyenne dans la masse glissée que dans le substratum stable. On assiste généralement à : une chute de résistance et une augmentation de la teneur en eau, au voisinage de la surface de rupture (G.Filliat, 1981 ; J.Costet et G.Sanglerat, 1983).

a) Les essais de laboratoire :

Les essais de laboratoire sont effectués sur les échantillons prélevés selon les normes à partir des carottes, on définit plusieurs paramètres :

- Paramètres utiles pour la classification et l'identification des sols : la

granulométrie, la teneur en eau naturelle, limites d'Atterberg, les poids spécifiques ...etc.

- Paramètres mécaniques dont le but d'avoir une idée sur le comportement mécanique des sols. Parmi ces paramètres : la résistance au cisaillement, la cohésion...etc. (G.Filliat, 1981 ; P.Desvarreux, 1987).

Les essais d'identification (granulométrie et limites d'Atterberg) peuvent être exécutés même à partir des échantillons remaniés.

b) Les essais in situ :

Ces essais sont peu onéreux et leur exécution est rapide ; vu l'hétérogénéité mécanique des terrains de la zone instable, ils sont particulièrement les plus adaptés. On peut donc exécuter des essais par pressiomètre, pénétromètre, scissomètre (G.Filliat, 1981)

c) Valorisation des sondages :

Pour toute étude sérieuse d'un site, les sondages carottés et destructifs qui sont des travaux très coûteux, doivent être valoriser par des techniques complémentaires (G.Filliat,1981 ; P.Antoine et D.Fabre, 1980 ; P.Desvarreux, 1987). Parmi ces techniques nous citons :

_ Les reconnaissances diagraphiques au moyen de sondes descendues dans les trous de forages. Cette technique facilite la corrélation lithologique et permet d'avoir une idée sur la surface de glissement (zone à forte teneur en eau) (**fig2.06**).

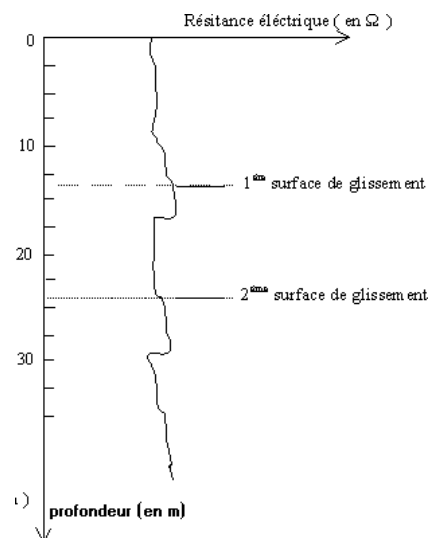


Fig 2.06 : Repérages de surface de glissement par la technique de diagraphie (G.Filliat,1981).

- Essais pressiométriques sur toute la hauteur du forage surtout au voisinage de la surface de rupture.

- Mise en place des piézomètres dans les sondages verticaux, et des drains dans les sondages horizontaux dans la mesure du possible.

- Mise en place dans certains forages de tubes de déformation (inclinomètres), car ceux-ci permettent de suivre l'évolution du glissement et de repérer avec précision la surface de rupture (**fig2.07**).

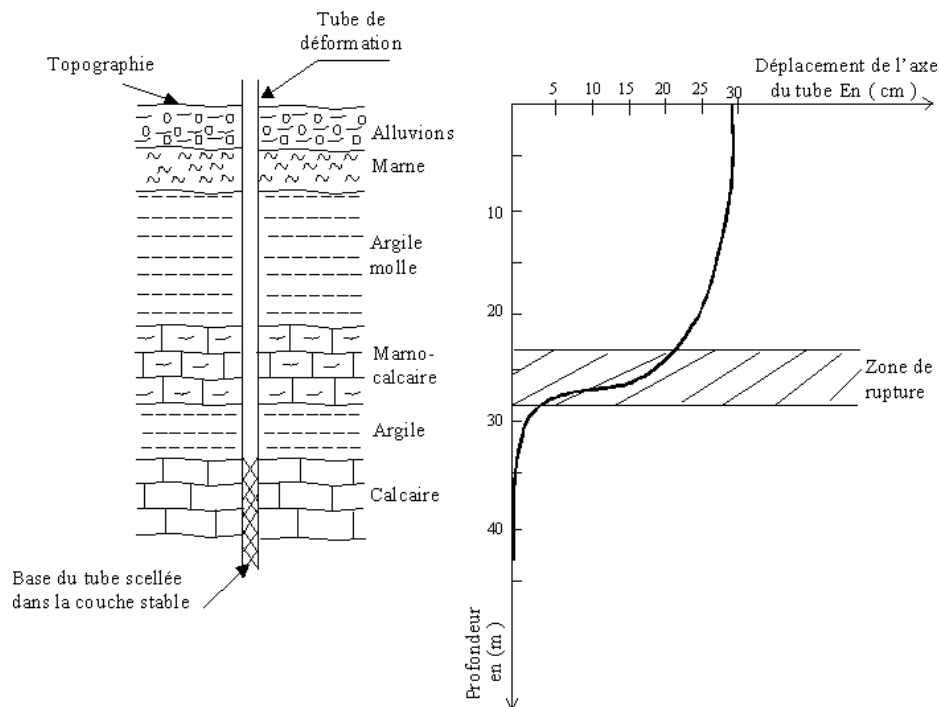


Fig 2.07 : Diagramme clinométrique d'un forage (G.Filliat, 1981).

5 Application des méthodes géophysiques :

Par leur coût faible, et leur rapidité de mise en œuvre, les méthodes géophysiques peuvent contribuer d'une manière très importante à l'étude de glissement de terrain, telle que :

- La prospection électrique qui permet de détecter les eaux souterraines (comme on a déjà signaler) et elle permet aussi de connaître les couches qui peuvent constituer des plans de glissement (ex. Couche d'argile humide).

La prospection sismique, en particulier la sismique réfraction qui permet d'avoir une idée sur l'épaisseur de la masse en mouvement dans laquelle, la vitesse de propagation est en moyenne inférieure à celle du soubassement stable.

VII. Présentation de la région d'étude.

1- Historique des glissements dans la zone d'étude (Zaarouria, Hammam Tassa, Mechroha).

Depuis 2005. Les glissements de terrains dans la wilaya de souk ahras se manifestent particulièrement dans trois secteurs essentiels : Mechroha. Zaarouria et Hammam Tassa. (Charef et al .2008)

D'après David (1956). La lithostratigraphie de la région de souk ahras est caractérisée par des formations sédimentaires. Comportant des calcaires. Des argiles, des marnes, des grés, des cailloutis et des alluvions. Il existe également, des formations détritiques à fragments et blocs de roches divers. Ce sont alors des formations argilo gypseuses à fragments et blocs de roches divers. Ce sont alors des formations détritiques à granulométrie fine qui sont

généralement défavorables. La dominance marno-argileuse des formations rencontrées atteint vingtaine de mètres en profondeur.

Le type de glissements dominant dans la région de souk ahras est " les glissements quelconque ". Ce glissement n'est pas vraiment profond. Il se manifeste généralement dans les marnes et les argiles. Souvent combinées de différent âges qui affleurent à la surface.

Les glissements de terrains dans les secteurs d'étude peuvent être déclenchés par plusieurs facteurs :

- Le terrassement ou la création d'un talus routier (action anthropique).
- La pente des talus (action de la pesanteur).
- Nature géologique du sol (particulièrement le gonflement- retrait des argiles).
- Pluie d'hivers et pluies orageuses exceptionnelles (augmentation de la pression interstitielle).
- Crue de torrent et crue rapide de rivière (érosion de surface).
- Infiltration et écoulement des eaux dans le sol (diminution de la résistance du sol).
- Variation intense de la température (écart thermique considérable. Gel et dégel)

VIII. Méthodologie d'étude de glissement de terrain par télédétection

a. Généralités sur la télédétection

1.1 Définition de la télédétection

La télédétection est une technique qui permet, à l'aide d'un capteur, "d'observer" et d'enregistrer le rayonnement électromagnétique, émis ou réfléchi, par une cible quelconque sans contact direct avec celle-ci. Le traitement et l'analyse des informations véhiculées par le rayonnement enregistré permettent d'accéder à certaines propriétés de cette cible : géométriques (position, forme et dimensions), optiques (réflexion, transmission, absorption, etc.) et physico-chimiques (température, teneur en eau, chlorophylle foliaire, phyto-masse, matière organique du sol...), etc. (Soudani K., 2005).

1.2. Principes de base de la télédétection

Le principe de base de la télédétection similaire à celui de la vision de l'homme. La télédétection est le fruit de l'interaction entre trois éléments fondamentaux : une source d'énergie, une cible et un vecteur.

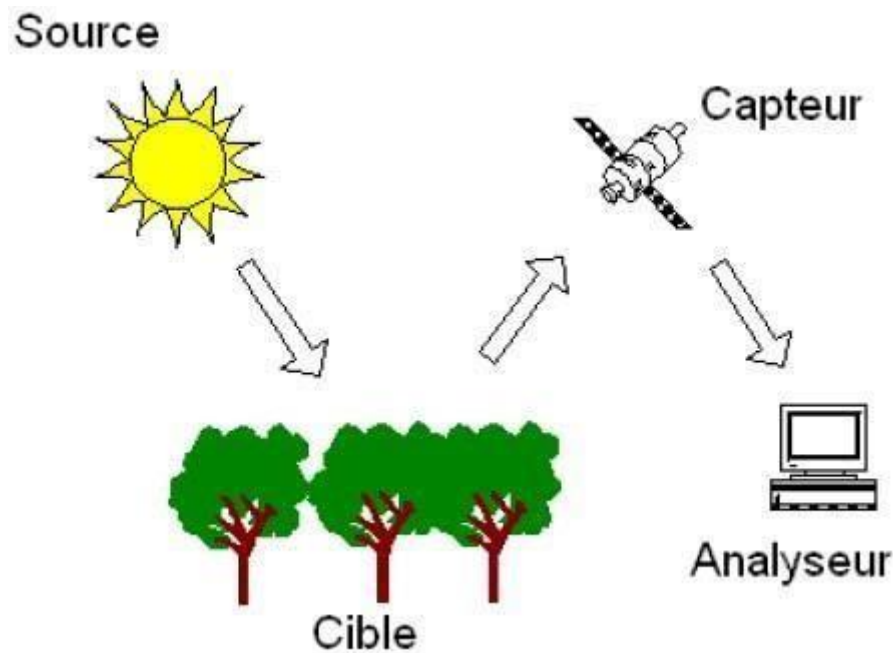


Fig2.08 : Principe de base de la télédétection

1..1.1. La cible est la portion de la surface terrestre observée par le satellite. Sa taille peut varier de quelques dizaines à plusieurs milliers de kilomètres carrés.

1..1.2. La source d'énergie est l'élément qui "éclaire" la cible en émettant une onde électromagnétique (flux de photons). Dans l'immense majorité des cas, la source d'énergie est le soleil. Néanmoins, la technologie RADAR nécessite qu'un émetteur soit embarqué sur le satellite, dans ce cas le satellite lui-même est source d'énergie. Il est également possible de mesurer la chaleur qui se dégage à la surface de la cible (infrarouge thermique), auquel cas c'est la cible qui est source d'énergie (bien qu'il s'agisse d'énergie solaire stockée et réémise).

1..1.3. Le vecteur ou plate-forme de télédétection mesure l'énergie solaire (rayonnement

Électromagnétique) réfléchi par la cible. Le vecteur peut être un satellite ou un avion, dominant la cible de quelques centaines de mètres à 36 000 kilomètres. Les capteurs embarqués sur le satellite mesurent le rayonnement électromagnétique réfléchi, puis un émetteur renvoie l'image sur Terre vers des stations de réception.

Lorsque le satellite ne fait que capter le rayonnement réfléchi, on parle de télédétection passive. Lorsque le satellite émet une onde vers la cible et en mesure l'écho, on parle de télédétection active.

1.3. Les principales étapes de la télédétection

De manière plus détaillée, on peut schématiser la télédétection comme un ensemble de 7 étapes clés (fig2.09) :

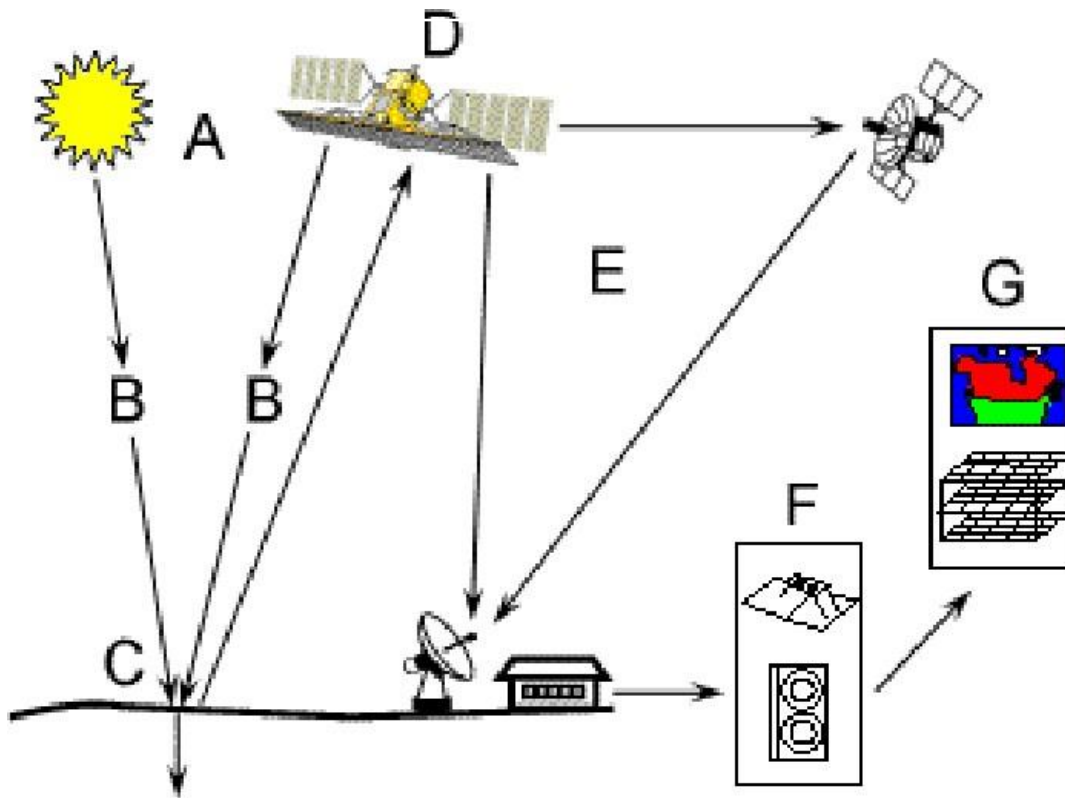


Fig2.09: Les sept étapes de la télédétection

1. Source d'énergie ou d'illumination (A): À l'origine de tout processus de télédétection se trouve nécessairement une source d'énergie pour illuminer la cible. Le plus souvent, voire dans la presque totalité des cas, cette source d'énergie est le soleil. Mais le satellite lui-même peut être source d'énergie : c'est le cas pour le domaine de la télédétection radar.
2. Rayonnement et atmosphère (B): Durant son parcours « aller » entre la source d'énergie et la cible, le rayonnement interagit avec l'atmosphère. Une seconde interaction se produit lors du trajet « retour » entre la cible et le capteur.
3. Interaction avec la cible (C) : Une fois parvenue à la cible, l'énergie interagit avec la surface de celle-ci. La nature de cette interaction dépend des caractéristiques du rayonnement et des propriétés de la surface. Chaque objet géographique émet ou réfléchit un rayonnement dans les

diverses fréquences du spectre électromagnétique. Cette caractéristique s'appelle le comportement spectral. En télédétection, on suppose que tout objet ou classe d'objet sur la surface terrestre possède sa propre « empreinte digitale » dans le spectre électromagnétique (la signature spectrale), en fonction de la longueur d'onde du rayonnement qui est réfléchi ou émis par lui-même.

4. Enregistrement de l'énergie par le capteur (D) : Une fois l'énergie diffusée ou émise par la cible, elle doit être captée à distance par un capteur qui n'est pas en contact avec la cible mais embarqué à bord d'un satellite ou d'un avion par exemple, pour être enfin enregistrée sous format numérique.

5. Transmission, réception et traitement (E) : Cette information enregistrée par le capteur est transmise, souvent par des moyens électroniques, à une station de réception généralement située au sol où l'information est transformée en images (numériques ou photographiques).

6. Interprétation et analyse (F) : Une interprétation visuelle et/ou numérique de l'image traitée est ensuite nécessaire pour extraire l'information que l'on désire obtenir sur la cible.

7. Application (G) : La dernière étape du processus consiste à utiliser l'information extraite de l'image pour mieux comprendre la cible, c'est-à-dire la portion d'espace étudiée pour nous en faire découvrir de nouveaux aspects ou pour aider à résoudre un problème particulier.

Ces sept étapes couvrent le processus de la télédétection, du début à la fin.

1.5 Les bases physiques de la télédétection

a) Le rayonnement électromagnétique (Soudani K., 2005)

Selon la théorie corpusculaire de la lumière, le rayonnement électromagnétique peut être considéré comme étant un flux de particules élémentaires appelés photons. Selon la théorie ondulatoire, le rayonnement électromagnétique est composé de deux vecteurs champ électrique et magnétique perpendiculaires et se déplaçant à la vitesse de la lumière (300 000 km/s dans le vide). Deux propriétés principales caractérisent une onde électromagnétique : sa longueur et sa fréquence (**fig 2.10**).

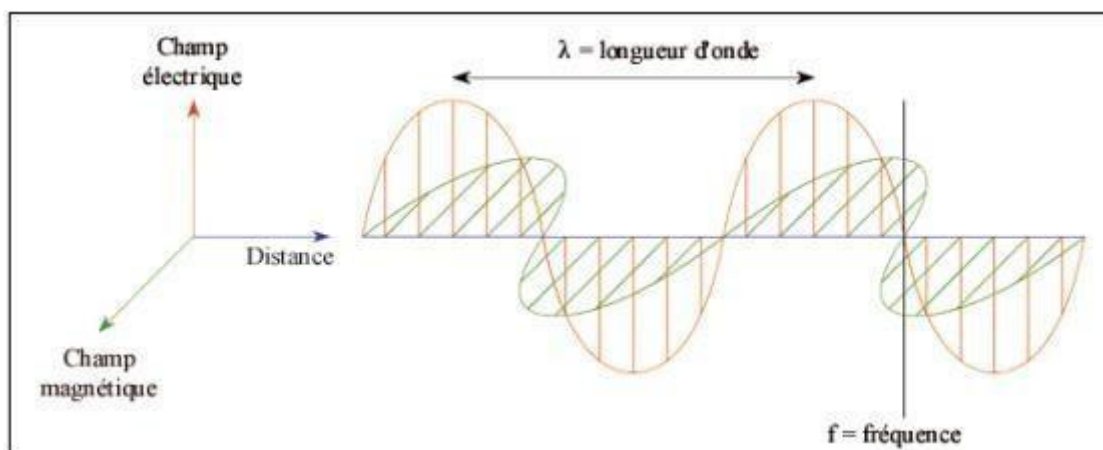


Fig 2.10: Représentation de l'onde électromagnétique

b. Le spectre électromagnétique

C'est le résultat de la décomposition du rayonnement électromagnétique en ses fréquences constituantes. Il s'étend des courtes longueurs d'onde (dont font partie les rayons gamma et les rayons X) aux grandes longueurs d'onde (micro-ondes et ondes radio).

L'ensemble des fenêtres de toutes les longueurs d'ondes est appelé « spectre électromagnétique (figure 03.11).

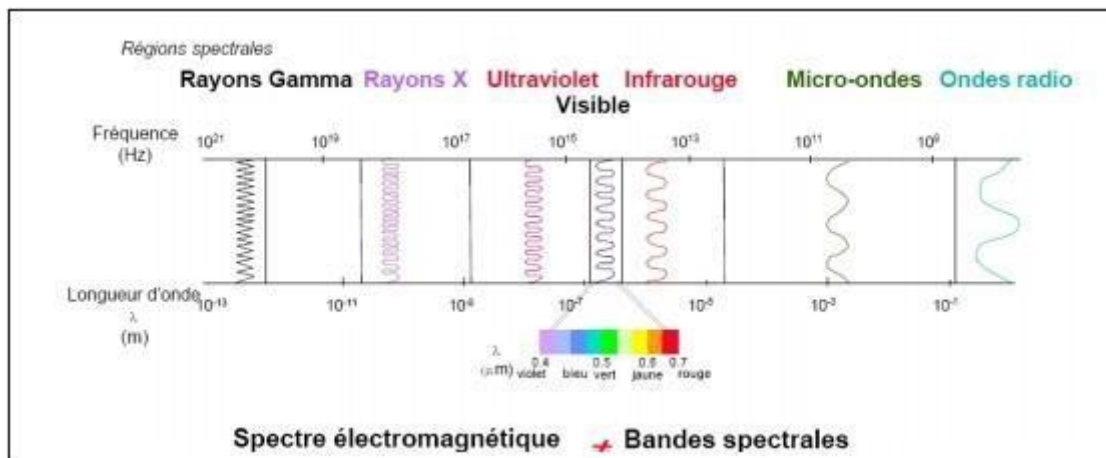


Fig 2.11 : Détails des domaines spectraux

La télédétection utilise plusieurs régions du spectre électromagnétique. En télédétection, les capteurs des instruments embarqués sur les satellites et avions mesurent la quantité de REM renvoyée par une portion d'espace terrestre, les capteurs embarqués sur les satellites peuvent enregistrer les ultraviolets (rare), le visible, le proche-infrarouge, l'infrarouge moyen, l'infrarouge thermique, l'infrarouge lointain et les hyperfréquences.

c. Signatures spectrales

En mesurant l'énergie réfléchie ou émise par l'objet avec une variété de longueurs d'onde, nous pouvons construire la signature spectrale pour un objet. Les signatures spectrales sont donc la réponse radiométrique des objets dans une succession de longueurs d'ondes. Elles sont représentées par des courbes figurant la réflectance en ordonnées et la longueur d'onde en abscisse.

- La structure des minéraux est telle qu'il existe de nombreuses bandes d'absorptions dues aux transitions électroniques et aux vibrations moléculaires (figure 03.17) (Delacourt C.).
- La réflectance des roches dépend de leur composition physico-chimique mais également de leur degré d'altération. La signature spectrale d'une roche n'est donc pas uniquement une combinaison des signatures spectrales des minéraux qui la compose (Delacourt C.)

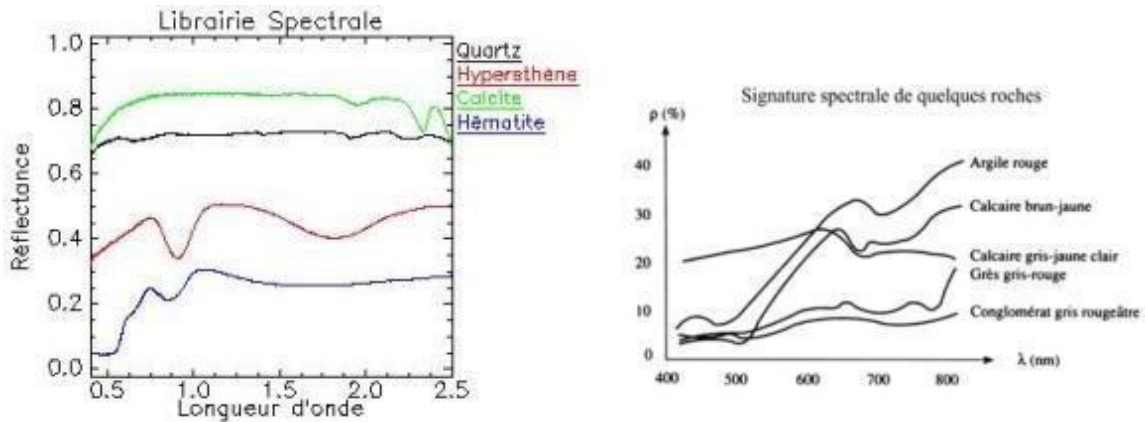


Fig 2.12 : Signatures spectrales de quelques minéraux et roches.

1.5 Satellites SAR (Synthetic Aperture Radar)

Un satellite capable de faire de l'interférométrie radar est un satellite dit actif : il éclaire lui-même l'objet qu'il observe en émettant une onde radar (de longueur d'onde généralement comprise entre 1 et 20 cm), et en récupérant le signal renvoyé par la Terre. Il fonctionne de manière similaire à un appareil photographique équipé d'un flash. Les satellites radar ne sont pas équipés de lentilles comme les satellites optiques, mais d'une antenne, et sont capables de synthétiser une image à partir d'un signal enregistré en continu. Cette étape de synthèse sort du cadre de notre étude, mais c'est elle qui a donné son nom aux satellites : on parle de satellites SAR pour Synthetic Aperture Radar. On parle ainsi, pour l'interférométrie par satellite radar, de méthode InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar).

Par convention, les satellites SAR « visent toujours vers la droite », perpendiculairement à leur trajectoire. Certains d'entre eux sont capables de viser avec un angle de visée ajustable. Ainsi, le radar ASAR du satellite ENVISAT peut viser selon 7 angles différents : chaque mode est appelé swath. (cc-by-sa Augier)

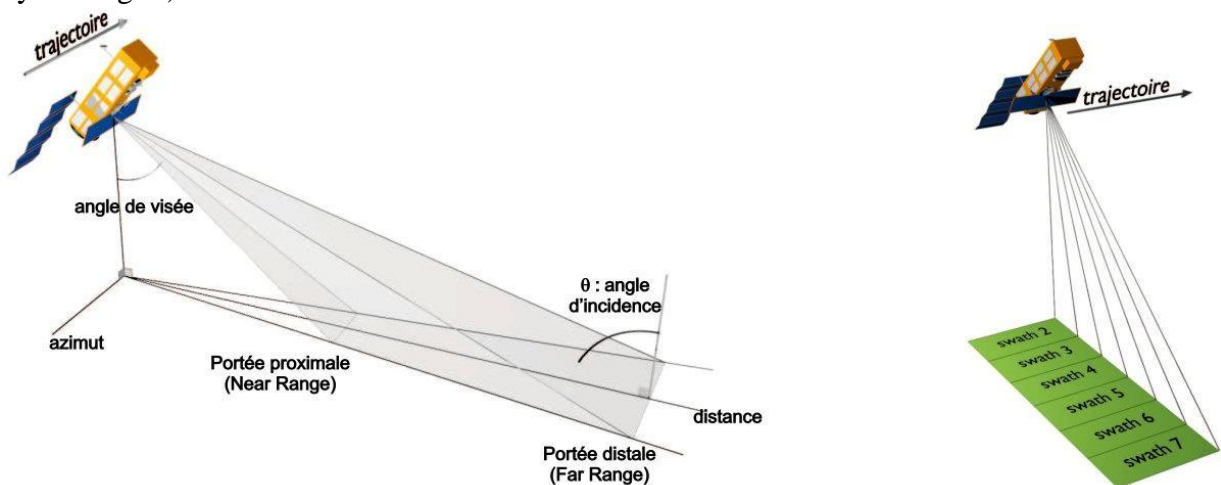


Fig 2.13 : Quelques paramètres du faisceau radar

Le PALSAR-2 à bord de l'ALOS-2 est un radar à synthèse d'ouverture (SAR), qui émet des micro-ondes et reçoit la réflexion du sol pour acquérir des informations. Comme il n'a pas besoin d'autres sources de lumière comme le soleil, le SAR a l'avantage de fournir des images satellite quel que soit le jour ou la nuit. La fréquence de transmission et de réception des micro-ondes est la bande L, qui est moins affectée par les nuages et les pluies. Cette capacité d'observation tous temps est adaptée à la surveillance rapide des catastrophes. De plus, les micro-ondes en bande L peuvent atteindre le sol en pénétrant partiellement à travers la végétation pour obtenir des informations sur la végétation et la surface du sol.

Le SAR en bande L japonais a fait ses débuts à bord du JERS-1/SAR lancé en 1992, et a été hérité sur l'ALOS/PALSAR en 2006 puis sur l'ALOS-2/PALSAR-2 à partir de 2014. Le PALSAR-2 est devenu un capteur unique et très utile qui a atteint une haute résolution, une large bande et une qualité d'image (bruit de fond plus faible et ambiguïtés de la gamme) en augmentant sa puissance de transmission et sa bande passante, et en adoptant de nouvelles technologies réceptrices de faisceau, modulations complexes de chirp, et la compression de données très efficace.

ALOS-2/PALSAR-2 aura un mode projecteur (résolution 1m 3m dans la direction de la portée azimutale), tandis que ALOS/PALSAR a une résolution de 10 m. Il permettra une surveillance complète des catastrophes en fournissant aux utilisateurs des données plus détaillées que les ALOS/PALSAR. La fréquence de répétition des observations d'ALOS-2 a été améliorée en élargissant la portée observable du satellite jusqu'à environ 3 fois (de 870km à 2200 km), ainsi qu'en donnant à ALOS-2 une fonction de recherche à droite et à gauche, qui n'était pas disponible sur ALOS. Description des logiciels utilisés dans ce travail

Tableau 2.01 : Les caractéristiques de ALOS 2 POLSAR.

Mode d'observation	Projecteur	Stripmap					ScanSAR			
		Ultrafin [3m]	Haute sensibilité [6m]		Fin [10m]		Normal		Large	
Bande passante (MHz)	84	84	42		28		14	28	14	
Résolution (m)	3x1 (RgxAz)	3	6		dix		100 (3 looks)		60	
Angle d'incidence (deg.)	8 - 70	8 - 70	8 - 70	20 - 40	8 - 70	23,7	8 - 70		8 - 70	
Bande (km)	25x25 (RgxAz)	50	50	40	70	30	350 (5 numérisations)		490 (7 balayages)	
Polarisation *	PS	SP/DP	SP/DP/CP	PF	SP/DP/CP	PF	SP/DP		SP/DP	
NESZ (dB)	-24	-24	-28	-25	-26	-23	-26	-23	-26	
S/A (dB)	Rg	25	25	23	23	25	20	25	25	20
	Az	20	25	20	20	23		20		20

b. Description des logiciels utilisés dans ce travail

Trois logiciels ont été utilisés dans ce travail : ENVI 4.5, Géomatica et SIG sont des logiciels commercialisés et logiciels gratuits

2.1 Le logiciel ENVI

Les traitements des images satellitaires ont été effectués à l'aide du logiciel ENVI.

a. Présentation du logiciel ENVI

Le logiciel ENVI est un logiciel commercial complet de visualisation et de traitements d'images issues de la télédétection. Toutes les méthodes de traitement d'images de corrections géométriques, radiométriques, de déminage radiométrique, de classification et de mise en page cartographique sont présentes. D'autres outils relatifs à la visualisation et à la modélisation de données topographiques sont aussi disponibles.

❖ Radiometric calibration (l'étalonnage radiométrique)

Utilisez l'étalonnage radiométrique pour étalonner les données d'image en fonction des températures de rayonnement, de réflectance ou de luminosité.

Vous pouvez également écrire un script pour effectuer un étalonnage en utilisant la routine ENVICalibrateRaster. Ou, utilisez la tâche ApplyGainOffset pour appliquer des gains et des compensations personnalisés à une trame qui sera entrée dans une routine d'étalonnage personnalisée.

Tableau 2.02 : Le tableau suivant répertorie les options d'étalonnage disponibles par type de capteur

Capteur	Options d'étalonnage			Fichier de perfectionné à ouvrir
	Éclat	Réflectance	Température de luminosité	
Données ALOS AVNIR-2 et PRISM niveau 1B2	.	.		HDR*.txt

- Suivez ces étapes pour effectuer l'étalonnage radiométrique :
Dans la boîte à outils, sélectionnez Correction radiométrique > Étalonage radiométrique
- Sélectionnez un fichier d'entrée parmi l'un des capteurs/formats répertoriés dans le tableau ci-dessus.
- Effectuez un sous-ensemble spatial facultatif.
- Pour calculer la luminance, sélectionnez les bandes multispectrales et/ou thermiques dans la boîte de dialogue Sous-ensemble spectral.
- Pour calculer la réflectance, sélectionner les bandes multispectrales dans la boîte de dialogue Sous-ensemble spectral.
- Pour calculer les températures de luminosité, sélectionner les bandes thermiques

dans la boîte de dialogue Sous-ensemble spectral.

- Cliquez sur OK. La boîte de dialogue Étalonnage radiométrique s'affiche.

Dans la liste déroulante Type de calibrage, sélectionnez l'une des options suivantes :

- Radiance : Cette option est disponible si l'image a des gains et des décalages pour chaque bande. ENVI lit ces valeurs à partir des capteurs répertoriés ci-dessus.

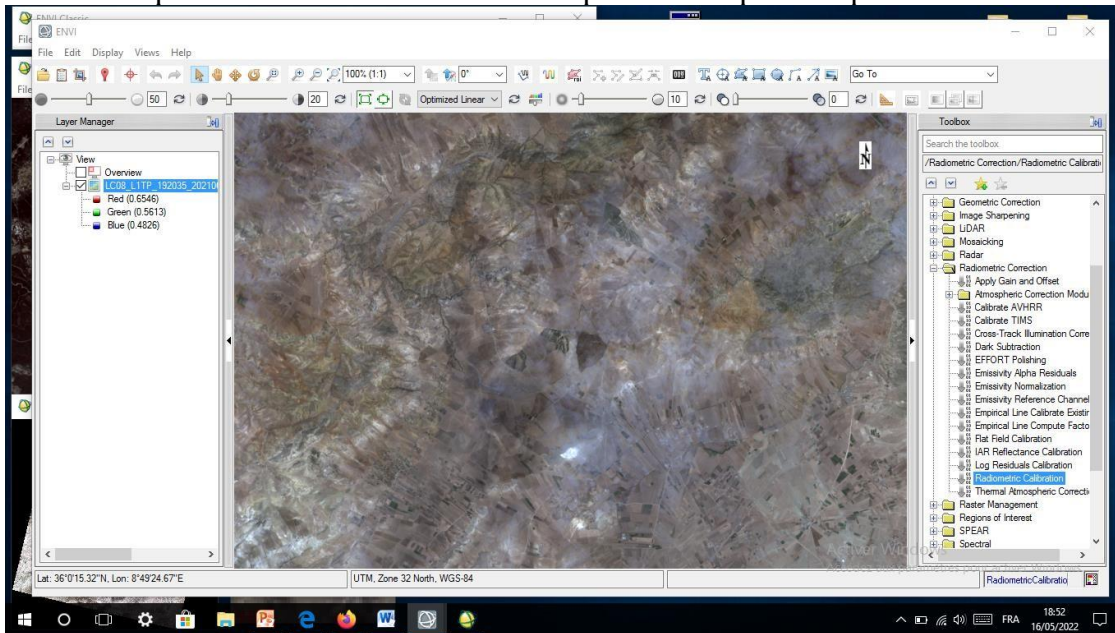


Fig 2.14 : l'étalonnage radiométrique en niveau de l'ENVI

2.2 Le logiciel Géomatica PCI

Geomatica Focus est l'un des logiciels les plus interactifs sur le marché aujourd'hui pour travailler avec des données spatiales. Une force majeure de Focus est sa capacité à facilement voir et naviguer dans vos bases de données. Lorsque vous travaillez avec Focus, l'arborescence Google Maps affiche les zones, les couches et les segments affichés dans la zone de visualisation. Calques et segments apparaissant dans les cartes Focus. Les arbres sont stockés dans la mémoire de votre système. Vous pouvez afficher ou masquer les éléments dans Maps en cliquant sur la case à cocher à gauche de l'élément souhaité. Vous pouvez également changer la priorité d'une couche en la faisant glisser vers le haut ou vers le bas dans l'arborescence Maps. Le but est de faire la visualisation des données aussi efficace que possible. Dans notre travail, nous avons utilisé Géomatica PCI pour tracer les linéaments à partir des cartes qui ont subi un traitement par filtrage directionnels (figure 03.28). Ces cartes linéamentaires seront ensuite traitées par le SIG.



Fig2.15. Geomatica toolbar

a) Méthode de travail

Fonctions Les fonctions suivantes sont activées avec le pack InSAR. Ces modules peuvent être exécutés indépendamment ou séquentiellement via un script EASI™ ou Python™. Ils peuvent également être disponibles dans le bibliothécaire de l'algorithme dans Geomatica Focus et le modélisateur PCI. Les programmes suivants sont inclus dans le pack InSAR :

- **INSADJUST** – Module qui supprime automatiquement la phase résiduelle à basse fréquence causée par des erreurs de dérive orbitale et/ou de référence. Le module estime itérativement les résidus spectraux horizontaux et verticaux et applique la correction basée sur la géométrie de visualisation de la paire interférométrique. Remarque : INSADJUST utilise de grandes quantités de mémoire ; les systèmes avec une mémoire limitée peuvent mal fonctionner lors du traitement de grandes images
- **INSCALDEFO** – Cette fonction est utilisée pour ajuster les valeurs de déplacement non compressées à zéro à tous les points contenus dans une couche vectorielle ou un fichier texte.
- **INSCOREG** – Module conçu pour rééchantillonner automatiquement et enregistrer le fichier dépendant dans le fichier de référence. Le module acquiert automatiquement les points de contrôle, supprime les valeurs aberrantes et échantillonne à nouveau le fichier dépendant pour faire correspondre un à un avec le fichier de référence.
- **INSINFO** – Ce module est conçu pour fournir des paramètres interférométriques pertinents tels que les dates d'acquisition, les distances de référence, les angles d'incident pour le fichier de référence et le ou les fichiers dépendants. Si plusieurs fichiers dépendants doivent être évalués, les noms de fichiers peuvent être répertoriés dans un fichier texte.
- **INSMODGOLD** – Cette fonction applique un filtre carré spatial coulissant 3x3 pour préfiltrer les données avant d'estimer la fréquence des franges. Il est normalement appliqué après la correction de phase topographique (INSTOPO) ou après le réglage d'orbite (INSDADJUS) aux franges interférométriques améliorées et accélère le déballage de phase suivante (INSUNWRAP).
- **INSRAW** – module nécessaire pour produire l'interférogramme brut à l'aide du fichier de référence spécifié et du fichier dépendant rééchantillonné généré par le module INSCOREG.
- **INSSTACK** – Convertit un certain nombre d'interférogrammes SAR co-enregistrés en une pile chronologique de valeurs de phase, de déplacements ou de vitesses accumulés. Il produit également un fichier de valeurs statistiques, y compris la cohérence moyenne et la vitesse linéaire la mieux adaptée. Les piles peuvent être produites à partir d'interférogrammes inclinés ou d'interférogrammes orthorectifiés. Les interférogrammes d'entrée doivent être enregistrés individuellement et dans la même projection.
- **INSTOPO** – Ce module extrait les données d'orbite des fichiers de référence et dépendants et calcule les ajustements de phase nécessaires pour corriger les effets systématiques de la terre plate projetés sur le modèle terrestre spécifié (qui est généralement l'ellipsoïde WGS-84). Les variations de phase causées par la topographie sont également corrigées si un modèle numérique d'élévation est fourni.
- **INSUNWRAP** – Ce module déballe la phase interférométrique en effectuant une intégration bidimensionnelle des valeurs de phase enveloppée pour générer la phase non ambiguë. Le déballage est basé sur l'algorithme Statistical cost, Network flow, Algorithm for Phase

Unwrapping, tel que décrit dans la référence.

L'algorithme calcule la solution non compressée la plus probable à partir des données observables (cohérence).

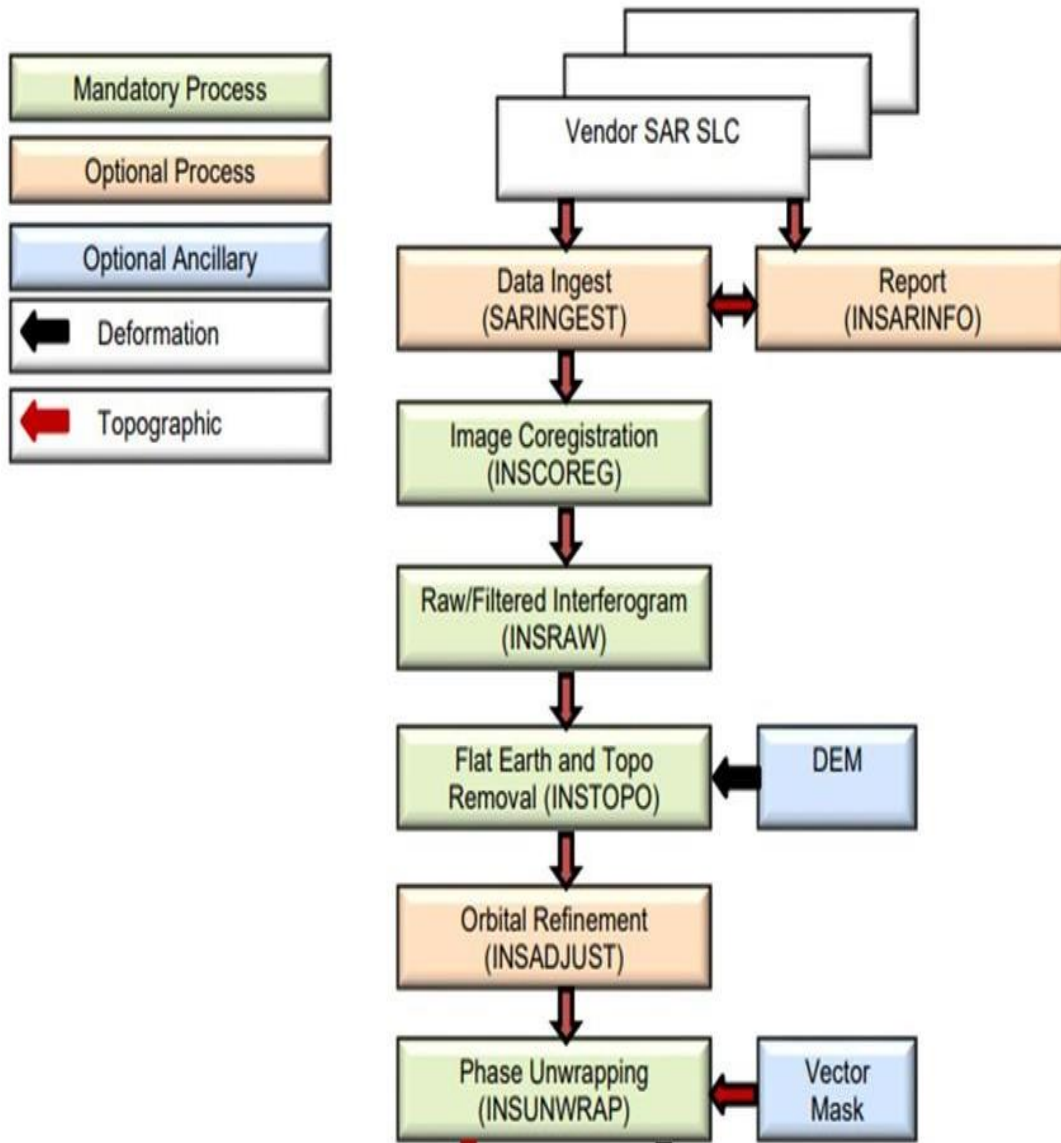


Fig 2.16 : Présentation du flux de travail interférométrique

2.3 SIG :

Un système d'information géographique (SIG) est un système d'information concis pour recueillir, stoker, analyser, gérer et présenter tous types de données spatiales et géographique.

L'acronyme SIG et parfois utilisé pour définir les « sciences de l'information géographique » ou étude sur l'information géo spatiales » cela référé aux carrières ou aux métiers qui travaillent avec des systèmes d'information géographique et dans une plus large mesure avec les disciplines de la géo-informatique ou appelées géomatique. Ce que l'on peut observer au-

delà du simple concept de SIG a trait aux données de l'infrastructure spatiale. Dans notre travail, nous avons utilisé l'ArcGIS pour Une mise en page de page (souvent appelée mise en page) désigne un ensemble d'éléments de carte organisés sur une page virtuelle, conçus pour l'impression de carte. Font partie des éléments cartographiques couramment organisés dans une mise en page : un ou plusieurs blocs de données (chacun contenant un ensemble organisé de couches de carte), une barre d'échelle, une flèche du Nord, un titre de carte, un texte descriptif et une légende des symboles.

a. Mise en page

Les logiciels proposent des fonctions de mise en page des documents cartographiques en vue de publication. Certaines mises en page peuvent être appelées à être réutilisées. Il peut donc être utile de sauvegarder ces dernières sous forme de modèles de mise en page. Selon les logiciels, la carte en tant que mise en page est liée ou non avec la fenêtre de visualisation des données. Une mise en page doit intégrer différents éléments en plus de la carte :

Les logiciels permettent d'afficher les blocs de légendes, et il est toujours possible de recréer la légende à partir des outils de dessin...

L'échelle est un élément obligatoire de sémiologie graphique afin de rendre des cartes correctes, elles sont donc intégrées (ou il est possible de le faire) dans les logiciels SIG.

La présence d'une flèche d'orientation est obligatoire dans une carte (son absence indique une direction Nord vers le haut par défaut).

D'autres éléments, moins classiques que les précédents, peuvent avoir leur place dans un document cartographique...

L'ombre portée et le détournage permettent d'optimiser la qualité du rendu cartographique.

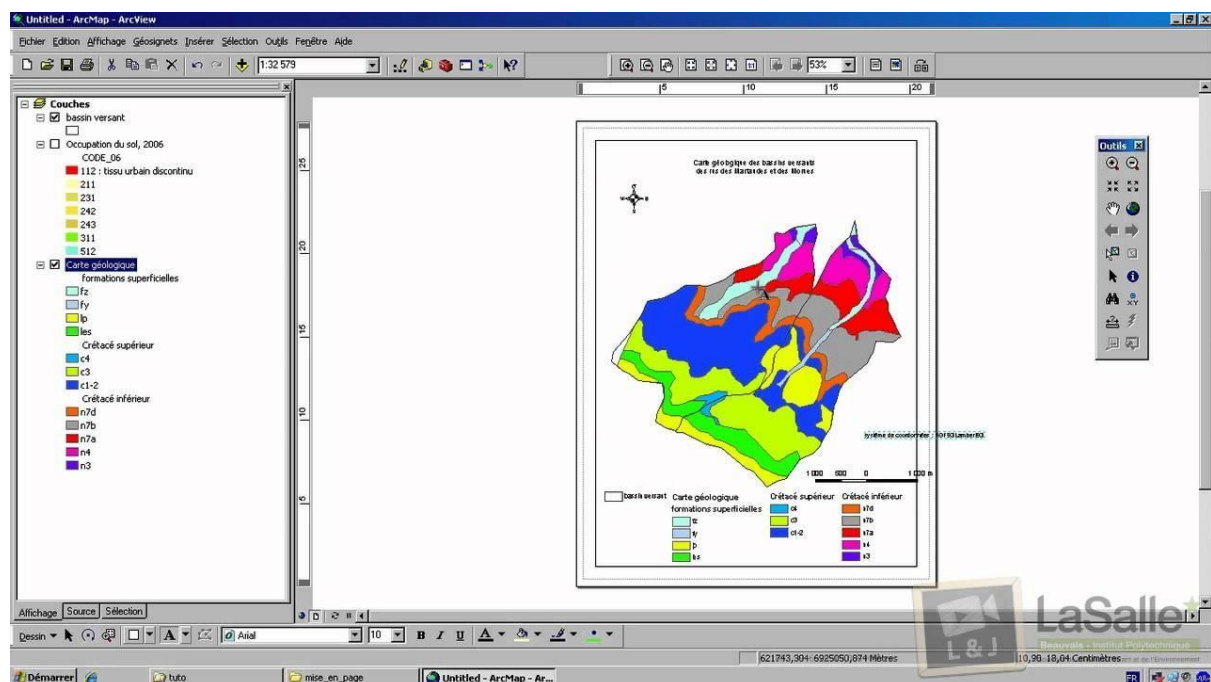


Fig 2.17 : Exemple de mise en page en niveau de SIG

IX. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons exposé en général les glissements de terrains, les différents types, les causes et les conséquences.

L'ensemble des observations effectués sur les glissements de terrains dans la zone d'étude montrent donc que la majorité de ces glissements sont rotationnels et peut être profonds. Les causes de ces mouvements gravitaires sont généralement liées à la combinaison de l'excès d'eau, à la lithologie fine et la tectonique de plissement et la tectonique cassante. Les facteurs anthropiques peuvent également jouer le rôle d'agents déclencheurs. Ce chapitre concerne aussi la télédétection et la description des logiciels utilisés dans ce travail avec la méthode.

CHAPITRE 3

I. Introduction

L'étude géotechnique est une opération compliquée dont dépend en grande partie la qualité de l'ouvrage concerné. Sa démarche générale consiste d'abord à bâtir le modèle structural du site, ensuite à caractériser et étudier les phénomènes naturels et induits dont il a puis été le siège et enfin à proposer des solutions pratiques aux problèmes géotechniques que pose l'adaptation spécifique de l'ouvrage au site.

Une grande variété de méthodes et de techniques d'analyse d'images satellites multidates ont été développées afin de détecter les changements de la surface terrestre. Ce travail présente les principales méthodes et techniques de télédétection.

Le glissement de terrain est précurseur du risque de glissement de terrain, et il est important de cartographier la répartition du mouvement pour le gouvernement local. Quoiqu'il en soit le mouvement des glissements de terrain ont des comportements différents, certains d'entre eux se déplacent lentement tandis que d'autres se déplacent rapidement, ceux-ci exigent une surveillance combinée avec des paires InSAR. Dans cet article, nous avons utilisé deux paires de données ALOS-2 PALSAR pour surveiller la zone de glissement de terrain dans souk ahras.

II. Situation des secteurs d'étude.

Dans cette d'étude en a prend trois secteurs essentielle (**Hamam Tassa, Zaarouria, Mechroha**) s'est imposé par le dommage qu'avaient provoqué par les glissements de terrain qui touche les routes nationales et les terrains agricoles. Ce sont alors des terrains d'importance économique dont le cout de remédiassions s'élevé à des milliards de centimes.

Les secteurs d'étude se localisent dans des zones de condition géologique et géotechnique proche, cela permettra une généralisation de la méthodologie d'étude pour les zones hors ces secteurs mais d'environnement géologique analogue.

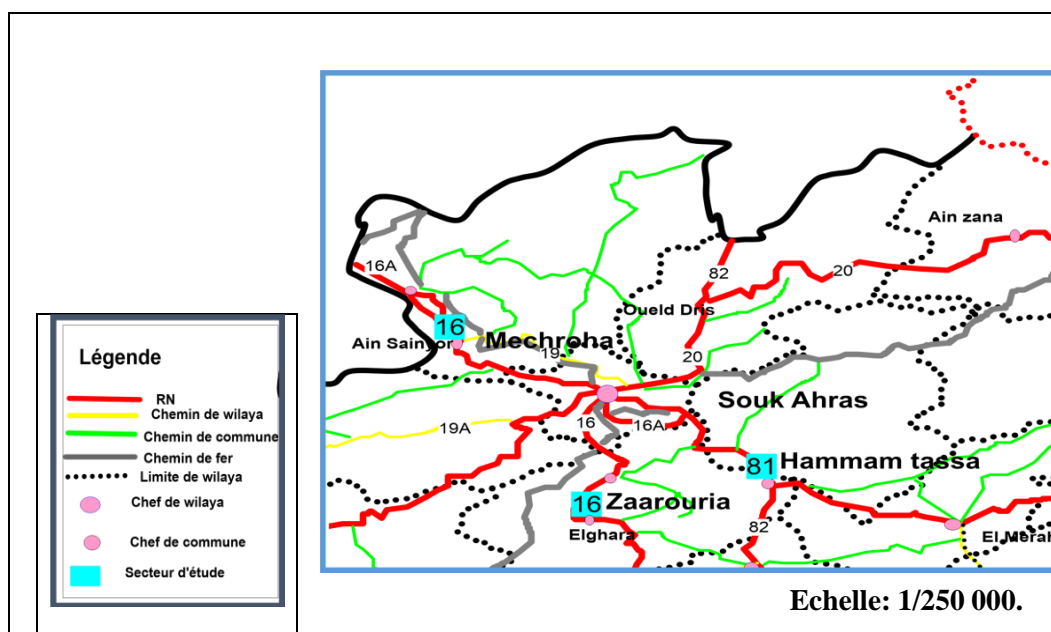


Fig 3.01 : Carte de situation géographique des secteurs d'étude (modifier par surfer).

Glissées se trouvent près des PK (114+880, 116+040). En réalité, il ne s'agit pas seulement d'un seul glissement mais d'une série tout le long du talus d'un même aspect et de volume divers

Les zones affectées des glissements sont situées sur la route nationale **RN81** entre Hammamtassa et Souk Ahras et ce points kilométriques suivants :

- 1) Zone 1 : PK : 114 (fig 01)
- 2) Zone 2 : PK : 116 (fig02)

Le plus dangereux de ces zones étant le glissement du PK 114+880 car les travaux n'est pas favorable et aussi le glissement touche la route.

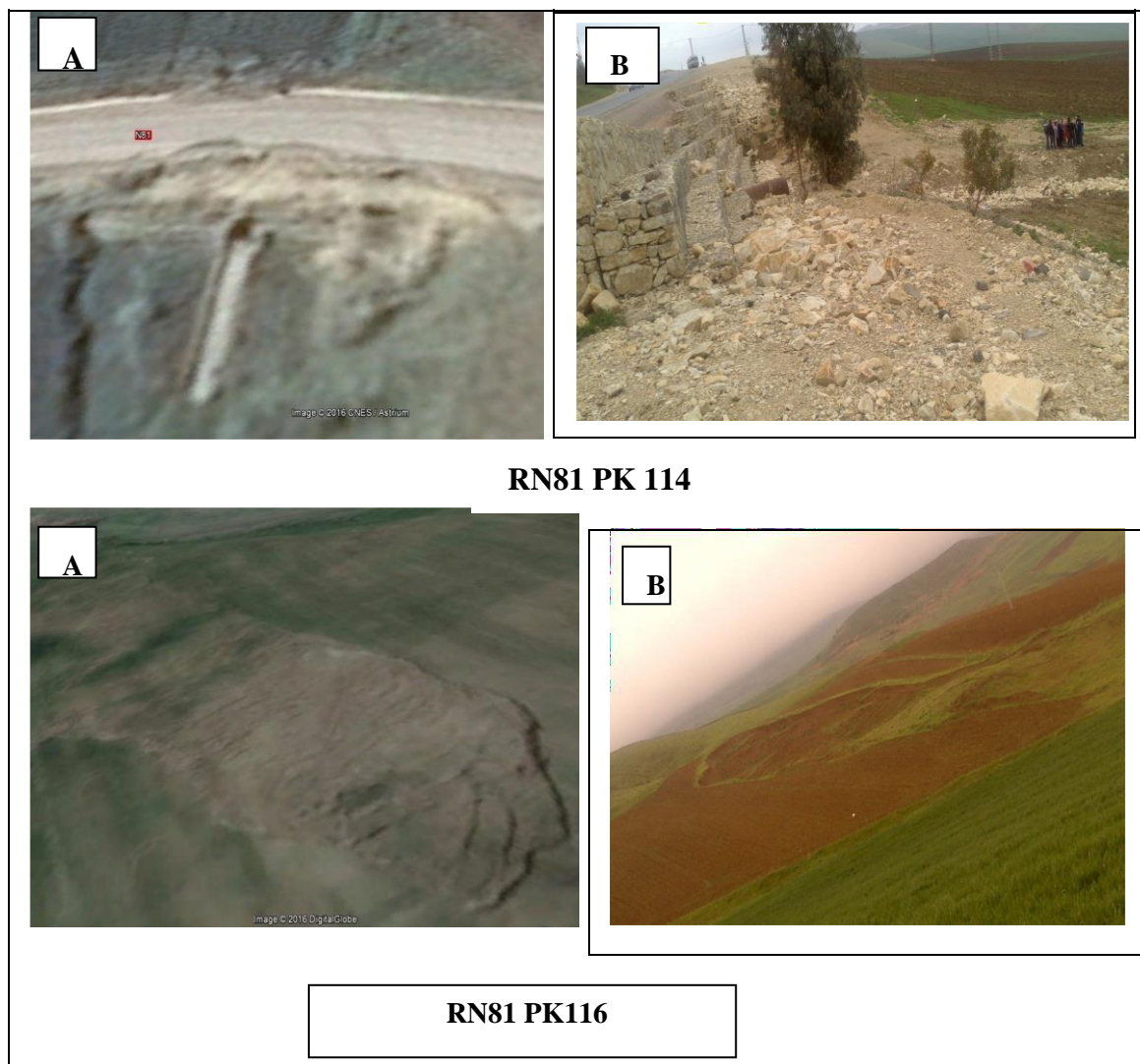


Fig 3.02 : les glissements de terrain de Hammam Tassa (photo satellite 2014-2015).

- Le secteur **Zaarouria** est situé sur la route nationale **RN16** ou un glissement a eu lieu au le secteur est de même à proximité d'une série relativement écarté d'autres glissements superficiels de même type.
L'étude en ce secteur concerne le glissement qui a affecté la route **RN 16 (fig3.03)**



Fig 3.03 : glissement de Zaarouria RN 16 (photo sautillée 2015).

* Le secteur *Mechroha* est situé sur la route nationale *RN16* où un glissement a eu lieu au PK (81+400). Allant vers Annaba ou Souk Ahras, des glissements pareils sont observable tout le long du talus traversé par la route en moyenne d'un glissement par PK 81+400 EST.

L'étude en ce secteur concerne le glissement qui a affecté la route nationale RN16PK 81+400 la photos satellite représenté en figure (0310).



Fig 3.04 : glissements de Mechroha RN 16 Pk81+400.

III. Etude géotechnique

1. L'étude géotechnique Glissement RN 81 PK 137+000

A la demande de monsieur le directeur de la DTP ile Souk Ahras, la société TAGHASTE Engineering département géotechnique, a entrepris l'étude géotechnique du point de, Glissement localisé au niveau de la RN81 au PK137+000

Le présent rapport A pour objet d'exposer les résultats de cette étude, ainsi que la conclusion que l'on peut en tirer.

1.1 Situation du site

Le site est localisé exactement au point kilométrique 137+000 de la RN81, photo 01(voir Annex).

1.1.1 Nature géologique

La composition géologique du sol est caractérisée principalement par des formations datant du TRIAS. D'une façon générale, le faciès Triasique est en contact anormal avec les Formations sous-jacentes Il est caractérisé par une hétérogène lithologique composée ;

- D'une formation Grésos-gypso-argileuse a blocs de roches varices. C'est une formation plastique constituée d'un mélange de marnes et d'argiles bariolées
- Des blocs de calcaires gris nu noirs
- Des grès, argiles et marnes: ce sont des blocs de grès micacés intercales d'argiles et de Marnes bariolées de teinte rougeâtre,
- Des dolomies qui correspondent à des roches a grains fins légèrement poreux et lites.

1.2 Travaux de prospection

Notre compagnie de reconnaissance géotechnique a consisté en les travaux et essais suivants :

- Cinq (05) sondages carottés effectués à l'aide d'une sondeuse géotectonique, les sols mis en évidence est représentés en annexe de ce document par des figures qui schématisent les coupes lithologiques Les échantillons prélevés seront soumis aux différents essais d'identifications.
- Cinq (05) piézomètres d'observations de type CASAGRAND ouvert, a été installé Pour le suivi de la variation des niveaux de la nappe.
- Cinq (05) essais pré-siométriques réalisés à l'intérieur des sondages carottés SC01 et SC03.

1.4 Contexte géologique locale

Les faciès sont représentés par des figures différentes dans les coupes lithologiques (voir annexe). La description de ces faciès tels qu'ils ont été observés lors de l'exécution du sondage et à l'examen en laboratoire des échantillons prélevés est la suivante :

Sondage n°SC001

* **Faciès 01:** Argile marneuse a sableuse marron a jaunâtre d'aspect schisteuse

***Faciès 02:** Marne grise sableuse

Sandage n°SC02

***Faciès 01:** Argile sableuse graveleuse à marneuse marron plastique

***Faciès 02:** Passage de calcaire gréseux.

***Faciès 03:** Marne grise friable.

Sandage n°SC03

***Faciès 01:** Argile marneuse sableuse a graveleuse marron

***Faciès 02:** Passage de calcaire gréseux.

***Faciès 03:** marne grise d'aspect schisteuse

Sandage n° SCO4

***Faciès 01:** Argile marneuse à graveleuse marron

***Faciès 02 :** Marne grise consolidée a la base.

Sandage n°SC05

***Faciès 01:** Remblais

***Faciès 02:** Argile sableuse a marneuse jaunâtre plastique

***Faciès 03:** Marne grise d'aspect schisteux

L'analyse lithologique nous permis de remarquer que ces faciès représentant une Stratigraphie classique de la formation Triasique, ce sont des formations argileuses sableuse s'alternant avec de la marne argileuse.

Ces formations sont très hétérogènes, hautement perméable à la circulation des eaux Souterraines.

3.1 Niveau piézométrique

La campagne de suivi piézométrique est étalée sur une période de 20jours à partir début de sondage (21/04/2020)

Les observations telles qu'ils ont été enregistrés par la sonde de détection d'eau sont représentées sur le tableau 01.

Tableau01 Hauteur piézométrique moyenne sur une période de 10jours

Profondeur	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5
Moyenne (m)	3.20	3.20	2.15	0.80	6.0

Commentaire

Des Figures piézométrique présidentes nous pouvons remarquée que le niveau de la nappe d'eau varie sensiblement le niveau stabilisée moyen de chaque point de sondage est le suivant ; SP01 (3.2m) ; SP02 (3.2m) ; SP03 (2.15m) ; SP04 (0.80m) ; SP05 (6.0m).

Par ailleurs. Un suivie à long terme est plus que nécessaire a fin d'évaluée correctement la

fluctuation de la nappe

1.6 Essai pressiométrique

Les essais au préssiomètre de Menard ont été réalisés à l'intérieur du sondage SC011 et SC03 conformément aux dispositifs de la Norme NF. P94-110) la sonde en caoutchouc utilisée ayant un diamètre de 60mm

Ces essais ont permis de mesurer les paramètres suivants :

- Module pressiométrique E
- Pression de fluage Pf
- Pression limite PL

Les résultats sont exprimés en bars, les valeurs des paramètres au sein des différents faciès font apparaitre les variations suivantes:

Sondage SC01

*Faciès 01 : $18 < E < 30$ pour $14 < PL < 24$ (argile marneuse)

*Faciès 02: $31 < E < 193$ pour $12 < PL < 30$ (horizon marneux)

Sondage SC02

*Faciès 01: $10 < E < 20$ pour $2.6 < PL < 18$ (argile marneuse)

*Faciès 03: $23 < E < 187$ pour $2.1 < PL < 45.0$ (marne grise)

Sondage SC03

* Faciès 01: $1.3 < E < 2.0$ pour $0.8 < PL < 1.4$ (argile marneuse)

*Faciès 03: $1.4 < E < 456$ pour $0.4 < PL < 50$ (marne grise)

Sondage SC04

*Faciès 01: $8.0 < E < 95$ pour $08 < PL < 1.5$ (argile marneuse)

*Faciès 03: $11 < E < 250$ pour $1.2 < PL < 14$ (marne grise),

Sondage SC05

*Faciès 02: $14. n < E < 188$ pour $2.0 < PL < 22$ (argile sableuse)

*Faciès 03: $18.2 < E < 360$ pour $1.84 < PL < 4.9$ (marne grise)

Observation : le détail des résultats d'essais pressiométrique est mentionné dans l'annexe.

3.1 Les essais en laboratoire

A/essais physique

Al/granulométrie :

Les résultats de cette analyse sont traduits graphiquement en annexe de ce rapport Nous avons des sols fins avec plus de 50% d'éléments de dimension inférieure à 80mm pour les argiles et marne. Selon la classification LCPC ce sont des sols argileuse plastique à très plastique (Ap) ($45 < WL < 54$; $23 < Ip < 27$), ($\% < 80\mu m$) varie de 73 à -83%) Et appartenant selon la classification

R .T.R a la classe A2-A3 (argile, marne et sable. plastique).

a. Teneur en eau

La teneur en eau mesuré sur les différents échantillons de sol est de l'ordre de 12-16% de ce fait, les sols sont dans un état humide, avec une consistance ferme (Ic 1.0), plastique à Très plastique.

b. Essais mécaniques

Les valeurs des caractéristiques physique et mécanique obtenus sont représentées dans le Tableau récapitulatif des essais en annexe.

II. Glissement RN81 PK138 Hammam Tassa

Suite à la demande de la Direction des Travaux Publics de la Wilaya de SOUK AHRAS (lettre de commande n° 1445 / DTP/ SDIB /BET/ 2011 du 05/10/2011), le Laboratoire des Travaux Publics de l'Est (LTPE) Représentation de SOUK AHRAS, à procédé à l'exécution du programme géotechnique au niveau du point de glissement du PK 138+000 RN 81SOUK AHRAS.

2. Investigation (Programme Géotechnique) :

2.1. In-situ :

D'après le programme géotechnique établi par le BET il a été procédé à l'exécution de :

2.1.1 sondage carotte :

(01) sondage carotté (Sc1) de 20.00 mètres de profondeur avec récupération des échantillons Pour avoir établir une coupe lithologique de terrain ainsi que les réalisations des essais au laboratoire.

2 .1.2 forages pressiométrique ;

-(01) forage pressiométriques (SP1) de 20.00 mètre accompagné par des essais pressiométrique chaque 1.50 mètres de profondeur
(Voir schéma d'implantation des essais in-situ en annexe).

2.2. Au laboratoire :

Les échantillons prélevés ont subi les analyses suivantes ;

2.2.1 Essai d'identification :

- Analyse granulométrique (NFP 18-560).
- Teneur en eau naturelle
- Densité sèche et humide

-Limites d'Atterberg (NFP 94-051)

1. Limite de liquidité WL en %
2. Limite de plasticité Wp en %
3. Indice de plasticité $I_p = W_L - W_p$ en %

-Bleu de méthylène (NF P94-068).

2.2.2 Essais pressiométriques :

- Pression limite (PL)
- Pression de fluage (PH)
- Module de déformation pressiométriques

2.3 Les Résultats :

2.3.1. Forages pressiométriques :

C'est un forage préalable qui se fait à l'aide d'une foreuse type APA for, pour permettre la réalisation des essais pressiométriques.

2.3.1.1 Essais pressiométriques :

Vue l'homogénéité du terrain un seul forage pressiométriques a été réalisé l'essai pressiométrique est un essai de chargement du terrain in situ, Il consiste à gonfler dans le sol une sonde cylindrique dilatable radialement, placée dans un forage préalable.

Il est conçu pour évaluer à partir des diagrammes effort- déformation les caractéristiques mécaniques du sol systématiquement tous les mètres (évaluation de la pression limite de rupture Pl en bar et du module de déformation E en bar).

Le tableau suivant donne les caractéristiques mécaniques mesurées dans le forage pressiométrique (voir l'annexe).

3. Glissements RN16 PK 82+000 MACHROHA

À la demande de monsieur le directeur de la DTP DE SOUK AHRAS ; la société TAGHASTE engineering département sol a entreprise l'étude géotechnique de la zone de glissement localisé sur la RN 16 PK 82+000. Le présent rapport a pour objet d'exposer les résultats de cette étude ainsi que les conclusions que l'on peut en tirer.

3.1 Situation du site :

Le glissement étude se situe sur le côté gauche de la route (vers Souk ahras) ; limite au sud par le siège de la protection civile et à l'est par des bâtiments en cours de construction.

3.1.1 Description morphologique du terrain :

Le site concerné par la présente étude est un glissement de terrain à caractères évolutifs dans le temps le terrain d'origine fait partie du bassin versant de AINSANOUR

- La pluviométrie moyenne annuelle est importante elle dépasse fréquemment le seuil de 700 mm /an conférant ainsi à un climat type montagnard pluvieux avec une variabilité dans le temps
- Les indices climatiques de la région indice d'aridité égal ($I=29.39$) et le quotient pluviométrique d'Amberger ($Q=71.26$) montrent que la région est caractérisée par un climat

humide et appartient à un étage bioclimatique subhumide a hiver frais.

Observation sur le terrain :

-Au cours de notre visite sur le site nous avons remarqué que le terrain est traversé par un ouvrage hydraulique de la route (réalisé en morceau de buse) d'une part le terrain est caractérisé par une déclivité relativement importante.

3.2 Nature géologique

La composition géologique du sol est caractérisée principalement par des formations datant du quaternaire ancien ; c'est des formations géologiques sédimentaires anciennes nappe tellienne et numidienne (oligocène supérieure miocène inférieure) compose une alternance de grés argile et marnes.

3.3 Travaux de prospection

Notre compagnie de reconnaissance géotechnique a consisté en les travaux et essais suivants :

- ❖ Un (01) sondage carotté effectué à l'aide d'une sondeuse géotechnique les sols mis en évidence est représentés en annexe de ce document par des figures qui schématisent les coupes lithologiques les échantillons prélevés seront soumis aux différents essais d'identifications
- ❖ Un (01) sondage de battage au SPT réalisée tout le long de la profondeur des sondages
- ❖ Un piézomètre de type CASAGRAND ouvert est installé pour le suivie de la variation des niveaux de la nappe

3.4 Contexte géologique

Les faciès sont représentés par des figures différentes dans les coupes lithologique (voir annexe)

La description de ces faciès tels qu'ils ont été observés lors de l'exécution des sondages et à l'examen en laboratoire des échantillons prélevés est la suivante ;

Sondage n° SC01

- ❖ **Faciès 01** : remblais de route
- ❖ **Faciès 02** : argile marronne a brune plastique
- ❖ **Faciès 03** : argile peu sableuse marron plastique
- ❖ **Faciès 04** : argile peu sableuse jaunâtre plastique
- ❖ **Faciès 05** : marne argileuse a sableuse jaunâtre plastique
- ❖ **Faciès 06** : marne sableuse grise plastique
- ❖ **Faciès 07** : horizon rocheux de grés jaunâtres

L'analyse lithologique nous permis de remarquer que ces faciès représentant une stratigraphie classique de la nappe NUMIDIENNE ; ce sont des formations argileuses s'alternant avec de la marne de teinte gris verdâtre

On est en présence d'une zone numidienne très touchée par des plissements dus à la phase tectonique alpine

3.5 Niveau piézométrique

La campagne de suivi piézométrique est étalée sur une période de 18 jours à partir début du sondage (08/01/2010) jusqu'à de notre étude (26/01/2010)

Les observations telles qu'ils ont été enregistrée par la sonde de détection d'eau sont représentées sur la figure (voir annexe)

Commentaire

D'après la relevée des niveaux piézométrique nous constatons que la niveau de la nappe et proche de la surface ce contas est confirmée par la présence d'une source en eau proche de notre site

3.6 Résistance dynamique

Le diagramme d'essais de battages exécutés à l'aide d'un pénétromètre SPT conventionnel présentent des allures relativement identiques ils sont caractérisée par une nature peu compacte donc une capacité portante faible (04/N /10) au des formations argile marneuse (de la surface) et un refus absolu au niveau de l'horizon rocheux

Observation : le détail des résultats d'essais SPT sont mentionnée dans le rapport de forage

3.7 les essais en laboratoire

a. Essais physiques :

a. 1 Granulométrie :

Les résultats de cette analyse sont traduits graphiquement en annexe de ce rapport Nous avons principalement des sols fins avec plus de 50 %d'éléments de dimension Inférieure à 80

Ce sont des sols argileux a marneux très plastique a plastique a plastique (At. - AP) appartenant selon la classification américaine H.R.B a la calasse A-7-6 (sols argileux) et selon la classification R.T.R. a la classe A 3 (argile et marne plastique)

a. 2 Teneur en eau :

La teneur en eau mesuré sur les différents échantillons de sol est de l'ordre de 07-13 % de ce fait les sols sont dans un état humide avec une consistance ferme ($I_c \geq 1.0$) plastique à très plastique ($42 \leq WL \leq 53$; $15 \leq Ip \leq 21$) ; ($\% \leq 80 \mu m$) varie de 50-76%

b. Essais mécaniques :

Les valeurs des caractéristiques physiques et mécaniques obtenus sont représenté dans le tableau récapitulatif des essais en annexe.

IV. Télédétection

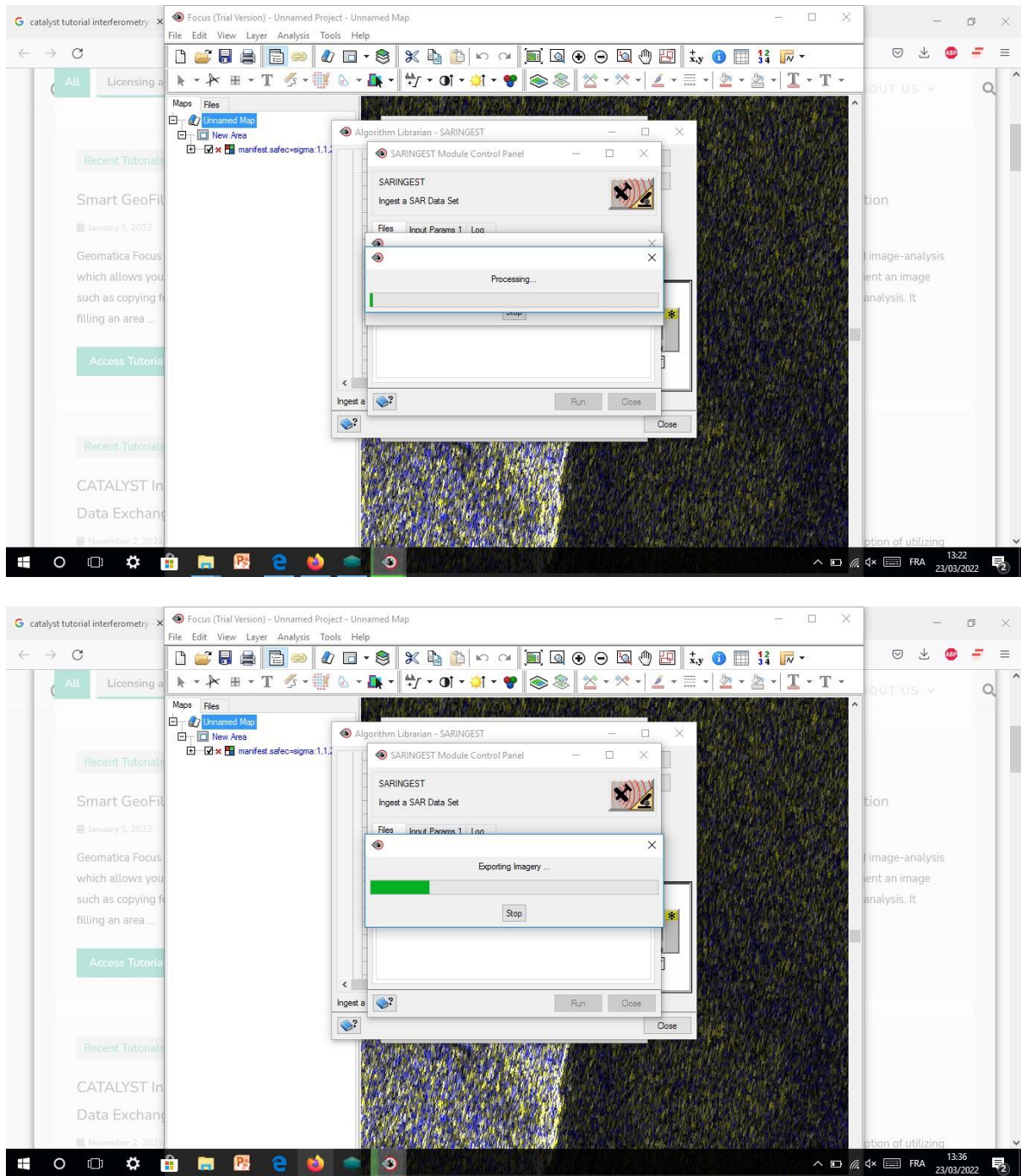


Fig 3.05 : l'étape sarigest au niveau de PCI Geomatica

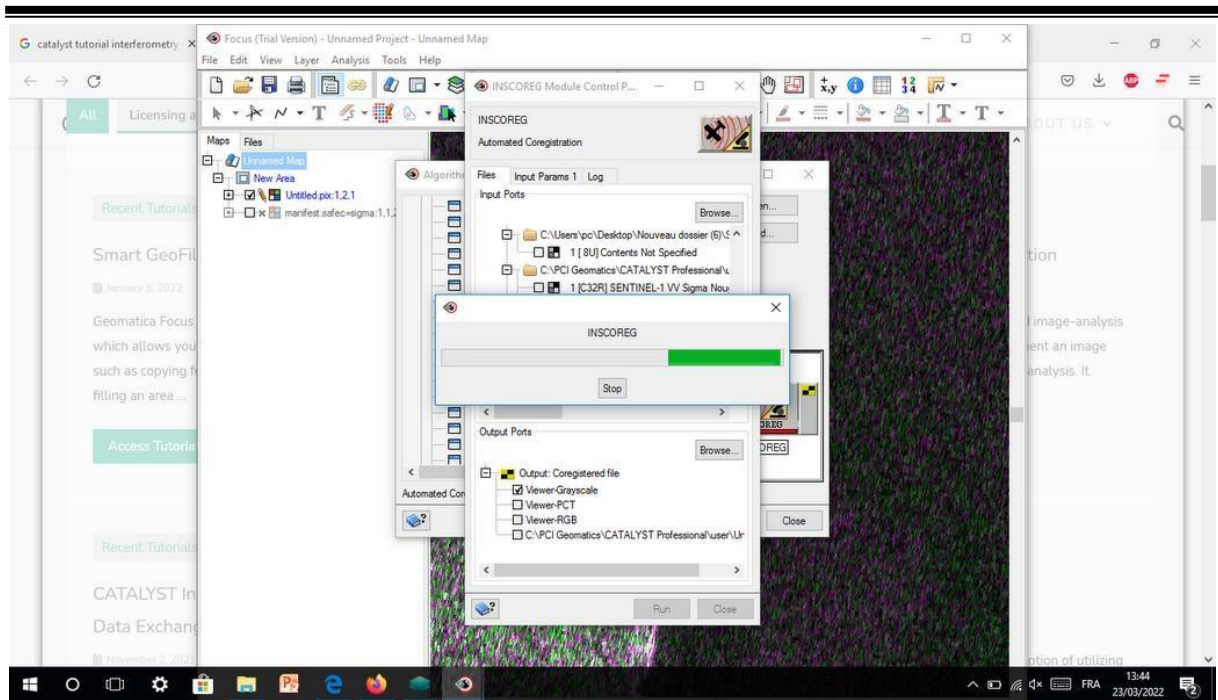


Fig 3.06 : l'étape INSCOREG au niveau de PCI Geomatica

Conçu pour rééchantillonner automatiquement et enregistrer le fichier dépendant dans le fichier de référence. Le module acquiert automatiquement les points de contrôle, supprime les valeurs aberrantes et échantillonne à nouveau le fichier dépendant pour faire correspondre un à un avec le fichier de référence.

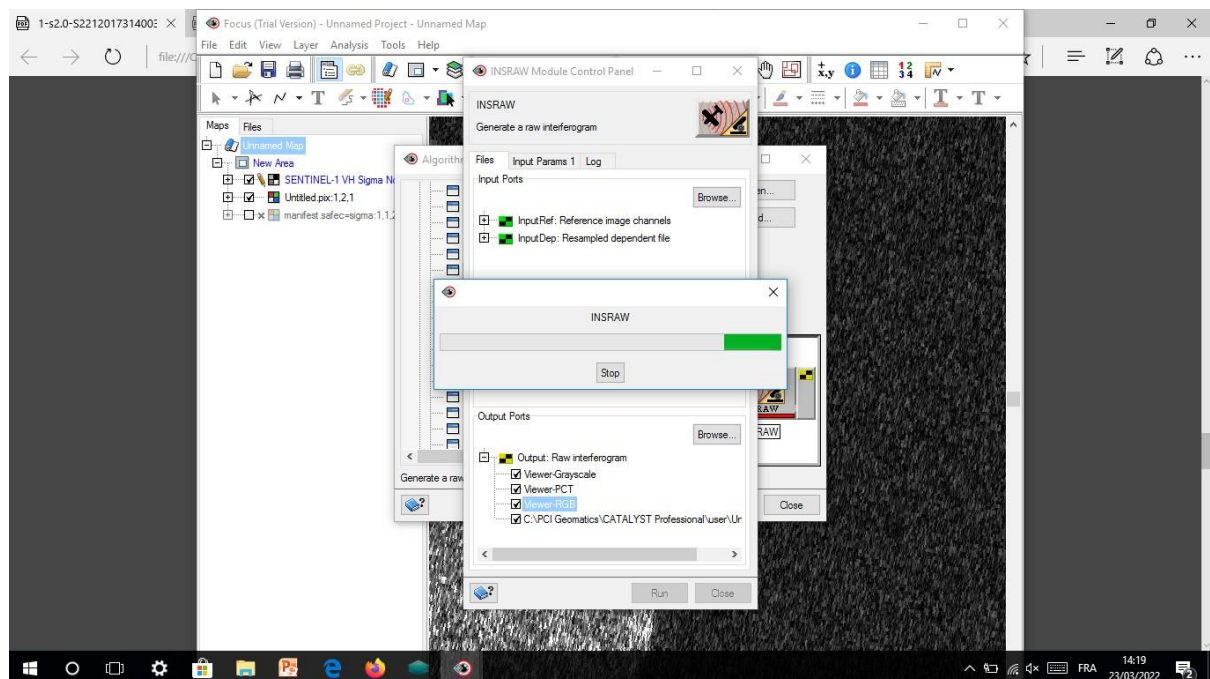
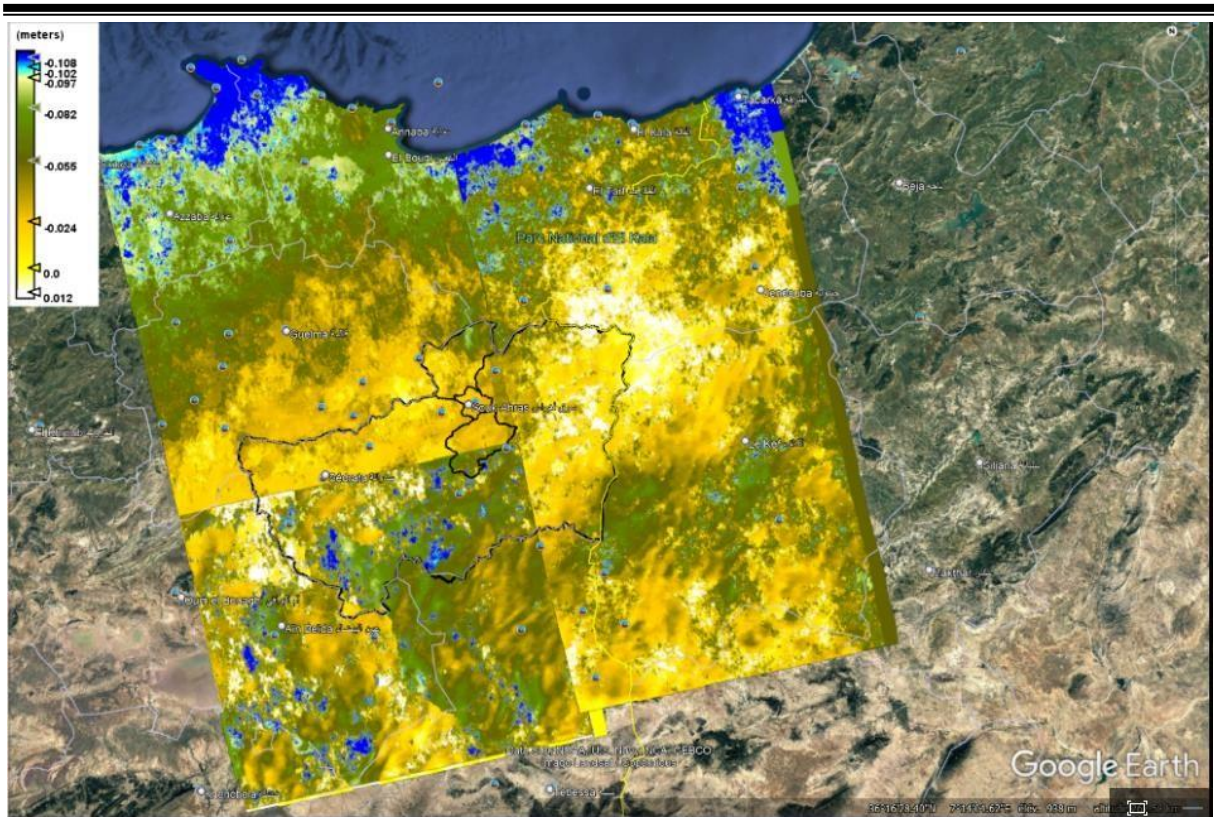


Fig 3.07 : l'étape Insrw au niveau de PCI Geomatica

Pour produire l'interférogramme brut à l'aide du fichier de référence spécifié et du fichier dépendant rééchantillonné généré par le module INSCOREG.



**Fig 3.08: La carte de déplacement de produit résultante
(Résultat exporté vers Google Earth)**

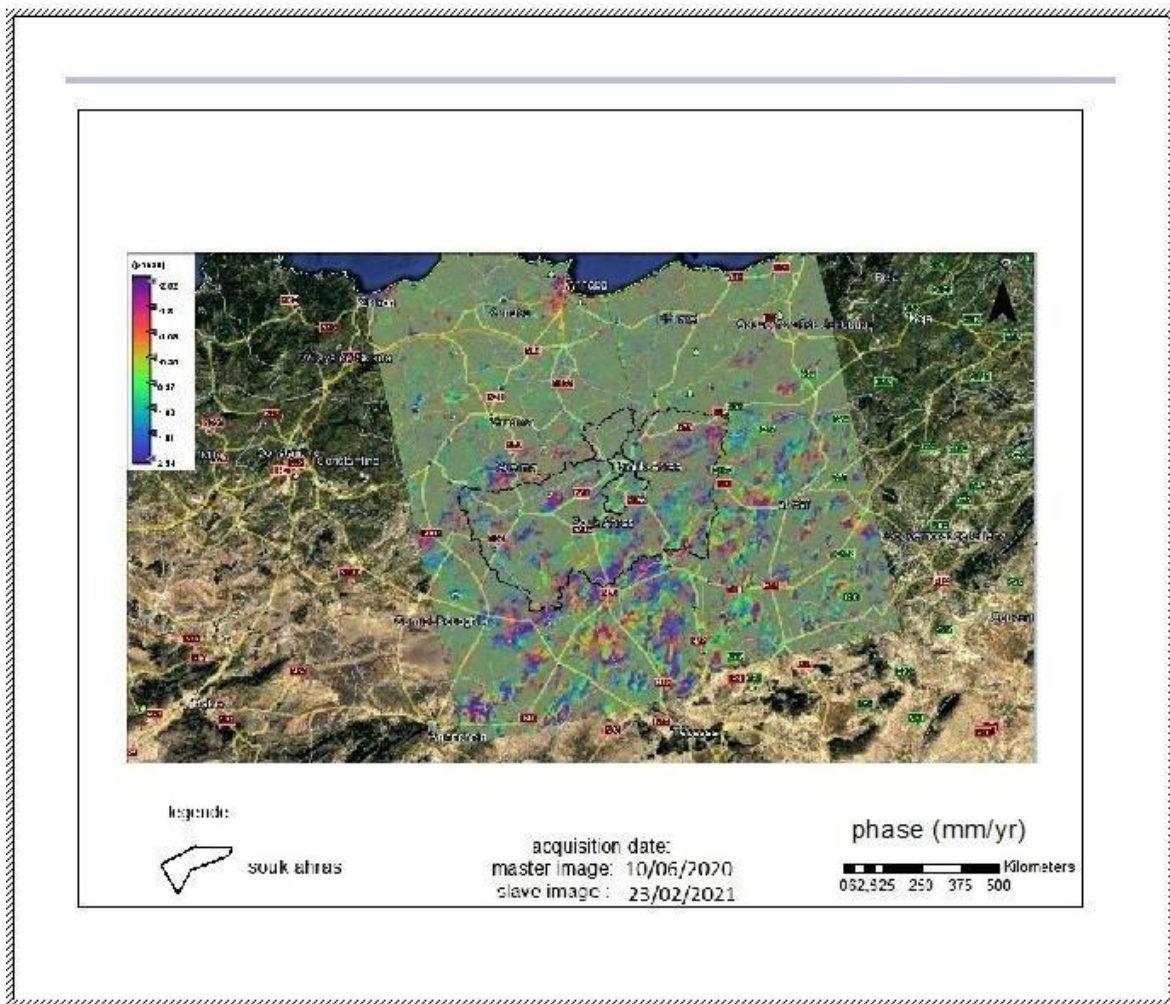


Fig 3.ç: L’interférométrie produit résultant du glissement de Souk Ahras .

La carte interférométrique du produit obtenu

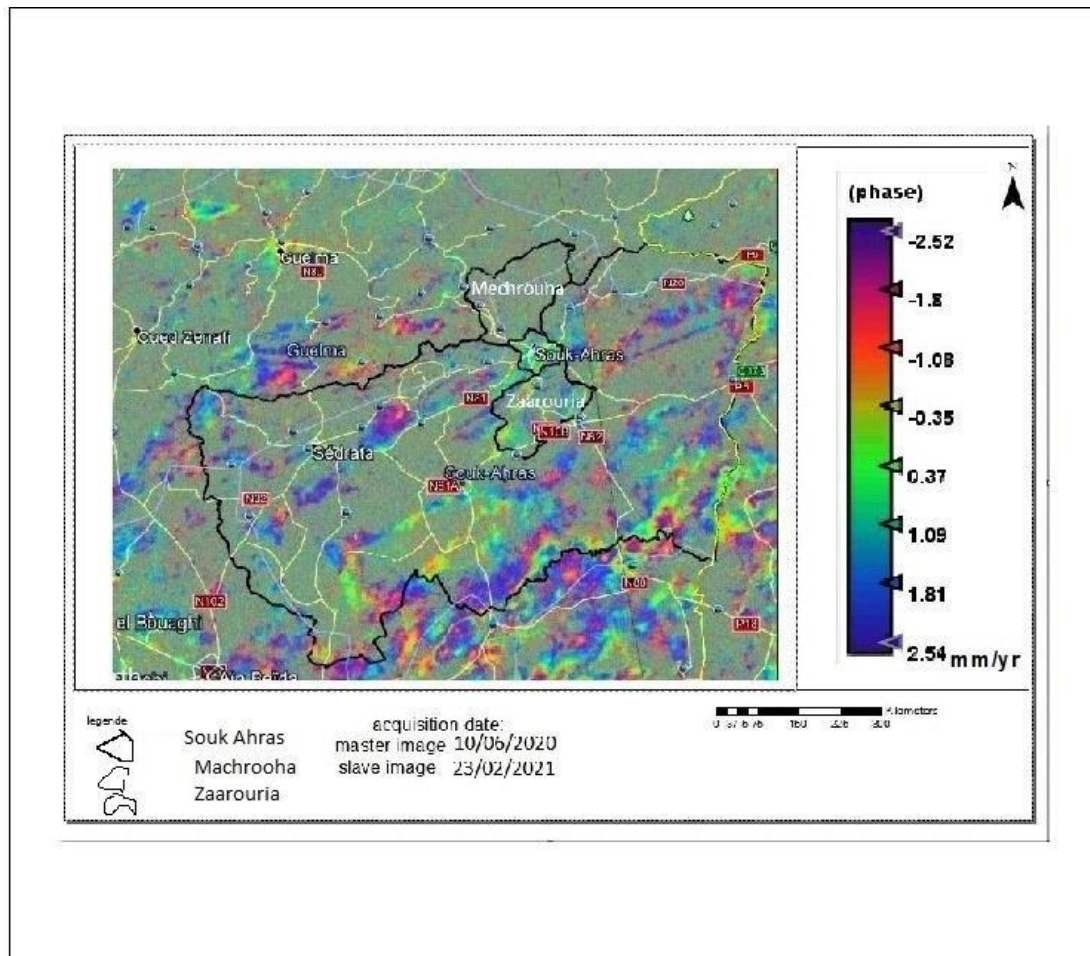


Fig 3.10: L'interférométrie produit résultant de Souk Ahras Lindslides.

La carte interférométrique du produit obtenu

Les images ont été initialement importées dans le logiciel SNAP. Après avoir vérifié que la paire d'images

La phase interférométrique contient une mine d'informations sur la déformation de surface (résistance et direction du mouvement) et l'emplacement de la rupture de surface. La carte des phases est également une approximation d'autres paramètres liés aux tremblements de terre tels que l'énergie libérée lors d'un événement et la quantité de secousses subies dans la zone touchée.

(Figures 11 et 12) L'interférogramme montrant l'intensité de la phase interférométrique pondérée par la zone de corrélation interférométrique présente une faible corrélation et l'affichage des discontinuités de phase significatives est de 2π par cycle de couleur. (Figure 14) Phase interférométrique non emballée montrant des résidus (+ : rouge, - : bleu).

V. Conclusion

A la base des résultats des reconnaissances, nous pouvons conclure que les causes du glissement de terrain objet de cette étude sont dus principalement aux facteurs suivants:

- La nature géologique du terrain et de sol
- La géomorphologie du terrain
- Les hétérogénéités verticales et horizontales de la composition lithologiques du terrain
- L'utilisation des argiles (excavée) comme matériaux de remblaiement

Et d'après le traitement appliqué sur l'image ALOS2-POLSAR on a distingué que :

La phase interférométrique contient une mine d'informations sur la déformation de surface (résistance et direction du mouvement) et l'emplacement de la rupture de surface.

L'interférogramme montrant l'intensité de la phase interférométrique pondérée par la zone de corrélation interférométrique présente une faible corrélation et l'affichage des discontinuités

Conclusion Général
Et
Recommandations

Conclusion Générale

Dans ce travail, une tentative de cartographie a été faite, des cartes de déplacement en utilisant techniques géomatiques et systèmes experts pour quelques régions de glissements situées dans la wilaya de Souk Ahras.

De point de vue géologique : la région d'étude présente des terrains très hétérogènes, caractérisées par des formations sédimentaires allant du Trias jusqu'au Quaternaire. Notre site représente une zone charnière entre l'Atlas Tellien au l'Atlas Saharien au sud.

La géologie de la région de Souk Ahras a mis en évidence des formations géologiquement aptes à subir des mouvements et des instabilités de terrain chaque fois l'occasion se présente.

La tectonique a joué un rôle important pour résulter des agrégats et des éléments instables de point de vue géotechnique. Donc on a eu d'un terrain géomorphologique complexe avec une tectonique poussée, ce genre de site classé comme une zone très dangereuse et qui est susceptibles d'atteindre des glissements de terrain.

L'étude climatologique de la région d'étude permet de dire que le climat est semi-aride de type continental (hiver froid et été chaud). La température moyenne annuelle qui y règne est de 17.22°C.

Les précipitations moyennes annuelles, sur une période de 30ans (80/81 -09/10), sont estimées à 636.26 mm.

De point de vue hydrogéologique l'affleurement de trias en diapir et l'individualisation d'un anticlinal éventré dans la partie septentrionale de la zone d'étude a concentré les principaux aquifères. Les conditions hydrogéologiques sont caractérisées par la présence de la nappe aquifère dans les dépôts alluviaux et de plusieurs nappes aquifères dans les roches. Les horizons aquifères dans le calcaire des étages Campanien et Maestrichtien du Miocène et du Pliocène ont la teneur en eau la plus élevée.

A la base des resultats des reconnaissances géotechniques, nous pouvant conclure que les causes du glissement de terrain, objet de cette étude sont dus principalement aux facteurs suivants:

- La nature géologique des terrains et des sols dans la région d'étude,
- La géomorphologie du terrain,
- Les hétérogénéités verticales et horizontales de la composition lithologiques du terrain,
- L'utilisation des argiles (excavée) comme matériaux de remblaiement,

Tout au long de cette étude, les images ont été initialement importées dans le logiciel SNAP. Après avoir vérifié que la paire d'images, la phase interférométrique contient une mine d'informations sur la déformation de surface (résistance et direction du mouvement) et emplacement de la rupture de surface. La carte des phases est également une approximation d'autres paramètres liées aux tremblements de terre, tels que l'énergie libérée lors d'un événement et la quantité de secousses subies dans la zone touchée.

L'interférogramme montre l'intensité de la phase interférométrique pondérée par la zone de corrélation interférométrique présente une faible corrélation et affiche des discontinuités de phases significatives de 2π par cycle de couleur. La phase interférométrique non emballée montre des résidus (+ : rouge, - : bleu).

Recommandations

A la base des résultats des reconnaissances nous pouvons conclure que les causes du glissement de terrain objet de cette étude est due principalement aux facteurs suivants ;

- *La nature géologique du terrain qui est à dominance argile marneuse à sableuse ces formations présentent une forte altérabilité en présence d'eau et perdent aisément leurs résistances mécaniques
- *Le sol est souvent saturé par les eaux d'une part de la nappe phréatique et d'autre part dès l'ouvrage hydraulique
- *La géomorphologie du terrain qui est caractérisé par une pente plus ou moins de fortes déclivités
- *L'excavation des fouilles en bas du talus doit prendre en compte les protections habituelles
- A cet effet les traitements qui pourront être envisagés doivent respecter certaines règles :
- *Prévoir une étude de stabilité locale et globale intégrant à la fois la présence des bâtiments premièrement en phase de réalisation (excavation et construction) et à long terme après chargement (exploitation)
- *Pour diminuer l'effet de l'eau nous recommandons de changer l'emplacement de l'ouvrage hydraulique et de prévoir un drainage des eaux souterraines
- *La solution préconisée doit être élaborée d'une manière à ne pas aggraver davantage le glissement (éviter les terrassements en grande masse afin d'éviter la décompression du sol)
- *L'utilisation des argiles (excavées) comme matériaux de remblaiement est strictement déconseillée vu leurs grands potentiels de gonflement ; prévoir un autre apport de sol
- Nous restons à la disposition des concepteurs pour toute information complémentaire
- Les conclusions du présent rapport sont données sous réserve des conditions particulières et résultats d'essais jointes
- Hétérogénéités verticales et horizontales de la composition lithologique du terrain. Caractérisée par des formations argilo-marneuses à sableuse, favorisant les écoulements souterrains des eaux de surface provoquent ainsi les phénomènes de glissement observés en bas du talus

A cet effet prévoir une étude de stabilité locale du site afin de déterminer le système de soutènement le mieux adapté à la morphologie et à la géologie de ce type de terrain

-prévoir une imperméabilisation complète de l'infrastructure contre toute présence d'eau. Par la réalisation d'un système de drainage, d'une part et d'autre part, assurer l'étanchéité des différents réseaux d'assainissements (domestique et pluviale).

Bibliographie

Bibliographie

Anwar, A., Shawki, N., Abdoh, G. (2013). Landsat ETM-7 for lineament mapping using automatic extraction technique in the SW part of Taiz area, Yemen. *Global Journal of human socialscience geography, geo-science, environmental and disaster management*.13, ISS 3, VER 1.0.

Big n°3. Initiation à la télédétection. *Bulletin de l'Information Géographique appliquée aux activités de Recherche-Développement*.

Delacourt C., *Télédétection et Rayonnement ElectroMagnétique. Cours en Ligne, Université de Brest*.

Djemai S., Bendaoud A., Haddoum H., Ouzegane K., Kienast J-R., (2009). Apport des images Landsat 7 ETM+ pour la cartographie géologique des terrains archéens en zone aride : Exemple du terrane de l'In Ouzzal (Hoggar occidental), Algérie. *Journées d'Animation Scientifique (JAS09) de l'AUF Alger Novembre 2009*. 7 pages.

-Gueraidia Nour El Houda (2018): caractérisation géomorphologique et structurale de quelques glissements de terrain dans la région de souk ahras : Apport des outils d'imagerie et de la télédétection. *Mémoire de Master en géologie de l'ingénieur et géotechnique, université de Tébessa*. 95 p.

-Hammad Nabila (2016) : cartographie géologique et analyse lineamentaire de la region de souk ahras. *Obtention do doctorat*. 179p.

Korlti Mohamed(2013) : travaux pratique de télédétection (traitement d'images satellitaires) Tunisie.215p

-Laghout Mohamed Yacine (2011): Apport de la télédétection (images Land sat7 ETM) pour la cartographie de la region d'Aflou (atlas saharien),université ferhat Abbas Sétif. 98p

Soudani K. (2005). *Introduction générale à la télédétection. Cours en ligne Faculté des Sciences d'Orsay – Université Paris Sud XI*.

Soudani K. (2005). *TD Télédétection : Initiation à ENVI. Cours en ligne. Faculté des Sciences d'Orsay Université Paris Sud XI*.

Slimen S , Noamen R , (2016). Automatic extraction of lineaments from Landsat Etm+ images and their structural interpretation: Case Study in Nefza region (North West of Tunisia). *Journal of Research in Environmental and Earth Sciences* 04 (2016) 139-145

-Vila JM (1980) : La chaîne alpine de l'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiers. *Thèse de Doctorat- es-sciences, Université Pierre et Marie curie, Paris VI* .

Zargouni, F. Trimolière P. (1981). Déformation tectonique postérieure au dépôt de la série du Ségui (Plio-Villafrachien) dans l'Atlas méridional tunisien. *Résumé du premier Congr. Nat. Sc. Terre, Tunis*, 59 p.

Zargouni, F. (1985). *Tectonique de l'Atlas méridional de Tunisie, évolution géométrique et cinématique des structures en zone de cisaillement. Thèse Doc. Etat, Université Louis Pasteur. Strasbourg. Edit. Mem. INRST.5, Vol. 3, 302 p*.

Anonymes :

- www.earthexplorer.usgs.gov .
- <https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/interferometrie-rada>
- <https://www.univ-st-etienne.fr/wikimastersig/doku.php/fonctions:visualisation:pub>
- <https://www-l3harrisgeospatial-com.translate.goog/docs/radiometriccalibration.html>
- http://perso-sdt.univ-brest.fr/~delacour/COURS/M2_10.1/Cours1_Teldet_REM/index.html
- http://www.researchgate.net/publication/25747347_le_glissement_de_terrain_d'Ain_ElHamam_Algerie_cause_et_evolution.
- http://www.esse.u-psud.fr/bases/upresa/pages/soudani/fichiers/doc_cours_teledec.pdf.
- http://www.esse.u-psud.fr/bases/upresa/pages/soudani/fichiers/td1_teledec.pdf.
- http://www.cnes.fr/automne_modules_files/standard/public/p7774_9f5e71f0025c698de2ef82085d1c0e20big_3.pdf
- Rapport de glissement d'LTPE de Souk Ahras. (,,,,)
- PCI Geomatics guid. Canada

ANNEXE