



Université d'Oran 2  
Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers

## **MÉMOIRE**

Pour l'obtention du diplôme de Master 2  
Sciences de la Terre  
Option : Risques naturels et géologiques

### **Contribution de l'imagerie Alsat2 à la cartographie des mouvements de terrain. Cas des glissements de terrain de la côte de Cherchel**

Présenté et soutenu publiquement par :

**Mr. BENNIA Ahmed**

Devant le jury composé de :

<b>Mr. MANSOUR. H</b>	Professeur	Université d'Oran 2	Président
<b>Mr. NADJI. À</b>	Professeur	Université d'Oran 2	Encadreur
<b>Mr. KEBIR .L.W</b>	Chargé de recherche	CTS, Arzew	Co-encadreur
<b>Mr. FOUKRACHE .M</b>	M.A.A	Université d'Oran 2	Examineur

Année universitaire : 2017/2018

## REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier mon encadreur, **Prof. NADJI Mansour**, pour avoir accepté de diriger ce travail, pour la confiance qu'il m'a accordé, pour ses conseils, son support et ses remarques qui ont permis de faire aboutir cette étude.

Mes sincères remerciements vont spécialement à mon co-encadreur **M. Kebir LAhcen Wahib**, Chargé de Recherche au Département Observation de la Terre (Centre des Techniques Spatiales) pour ses orientations et ses conseils précieux durant mon travail.

Je remercie vivement **Prof .MANSOUR. H** Professeur à l'Université d'Oran, et de m'avoir fait l'honneur de présider mon jury. Je lui exprime mes sincères reconnaissances pour ses encouragements permanents et son aide à la réalisation de ce modeste travail.

Mes sincères remerciements vont également à **Mr. FOUKRACHE** Maître de Conférences à l'Université d'Oran, qui nous fait un grand honneur d'examiner ce travail et participer à ce jury.

Je suis très reconnaissant au Directeur du CTS (Centre des Techniques Spatiales), **Mr MAHI Habib** et au Chef de département Observation de la terre **Mr. KAROUI M. Sofiane**, pour l'autorisation qu'ils m'ont accordé d'être candidat à cette session de master 2.

Je remercie aussi **Mlle MOKADEM Safia** et **Mlle FARADJI Yasmine**, ingénieurs à l'Agence de Service Géologique d'Algérie pour leur contribution et leur support.

Je remercie aussi tous les enseignants de la faculté des Sciences de la terre de l'Université d'Oran, en particulier ceux de la spécialité des **Risques naturels et géologiques**, ainsi que tout le personnel administratif.

Une pensée particulière adressée à mes parents, ma famille et mes collègues pour leur soutien.

À la fin, je n'oublie pas mes amis (es) de la promotion.

## Résumé

Les mouvements gravitaires correspondent à des processus naturels qui contribuent largement au façonnement et à l'évolution du paysage. Au nord du pays, ce type de phénomène est très fréquent. La Wilaya de Tipaza est une région qui est soumise à des aléas géologiques très destructeurs tels que les séismes, les inondations, les glissements de terrain. Elle est confrontée aux phénomènes des mouvements de masses qui affectent son tissu urbain et qui présentent une contrainte majeure pour son développement et sa planification d'aménagement du territoire relatif à l'extension des zones urbaines. De nombreuses manifestations se sont produites causant la destruction totale ou partielle de constructions, de routes, de voies de chemin de fer et même des pertes en vie humaine.

À travers cette étude, nous nous sommes intéressés à établir un inventaire des sites affectés par les glissements et notamment pour cartographier la susceptibilité liée au risque étudié. La technologie spatiale initiée par l'outil informatique a permis la résolution des plusieurs thématiques liées aux glissements de terrain. Parallèlement à cette approche, l'intégration du SIG aux données satellitaires a contribué favorablement grâce aux méthodes statistiques informatives à mieux cartographier les mouvements de terrain affectant la région.

Cette approche moderne a nécessité à priori de développer une base de données portant l'information sur les différents paramètres intrinsèques et extrinsèques de la thématique étudiée. Les principaux éléments liés aux descriptions lithologiques et géomorphologiques (in situ) sont inventoriés comme suit : pente, exposition des versants, ombrage. D'autres éléments dérivant du contexte de nature structurale, hydrologique, hydrogéologique et des caractéristiques physiques ont été également traités.

En effet, plusieurs étapes ont été programmées respectivement à notre organigramme de travail, y compris l'analyse géomatique appuyée par l'outil géostatistique et les sous-programmes à la résolution déterministe des paramètres utiles à notre thématique de recherche.

Dans ce mémoire, nous avons présenté une somme de résultats matérialisés en une panoplie de cartes de prévention nécessaire pour le développement d'un PPRG (Plan de Prévention de Risque de Glissement). Une modélisation de tous ces paramètres nous a été imposée pour résoudre concrètement la susceptibilité des terrains de la région de Cherchel.

Ce travail présente une méthode pluridisciplinaire, basée notamment sur l'outil informatique et sur la modélisation de la vulnérabilité potentielle des terrains de la région dont les recommandations nécessaires sont les suivantes :

- La classe de susceptibilité forte occupe environ de 10% (**1951 ha**) de la zone d'étude, qui se répartit aux alentours de la région de Cherchel.
- La susceptibilité moyenne modérée occupe environ de 55% (**17363 ha**) de la superficie totale, focalisée notamment en zones de drainage hydrique.
- La prédominance de la classe de susceptibilité faible à très faible avec un taux de 35% (**21735 ha**) de la superficie totale, elle caractérise la partie septentrionale et la partie occidentale de la région de Cherchel constituant les zones abritées des phénomènes liés aux glissements de terrain.

**Mots clés :** Tipaza, risques naturels, SIG, ALSAT2, satellite.

## **Abstract**

Gravitational movements are natural processes that contribute greatly to the shaping and evolution of the landscape. In the north of the country, this type of phenomenon is very common. The Wilaya of Tipaza is a region that is subject to very destructive geological hazards such as earthquakes, floods, landslides. It is confronted with the phenomena of mass movements that affect its urban fabric and which present a major constraint for its development and planning for the development of urban areas. Many demonstrations have occurred, causing the total or partial destruction of buildings, roads, railroads and even loss of life.

Through this study, we were interested in establishing an inventory of sites affected by landslides and in particular, to map the susceptibility related to the risk studied. Spatial technology initiated by the computer tool allowed the resolution of the several themes related to landslides. Parallel to this approach, the integration of GIS with satellite data has contributed favorably thanks to the statistical methods informative to better map the movements of ground affecting the region.

This modern approach requires a priori developing a database containing information on the different intrinsic and extrinsic parameters of the thematic study. The main elements related to the lithological and geomorphological (in-situ) descriptions listed as follows: slope, aspect, and shading. Other elements derived from the context of structural, hydrological, hydrogeological and physical characteristics have also been processed.

Indeed, several steps have been programmed respectively to our workflow, including geomatics analysis supported by the geostatistical tool and the subroutines to the deterministic resolution of parameters useful to our research theme.

In this project, we presented a sum of materialized results in a set of cards of prevention necessary for the development of a PPRG (Plan of Prevention of Risk of Sliding). A modeling of all these parameters was imposed on us to concretely solve the susceptibility of the lands of the region of Cherchel.

This work presents a multidisciplinary method, based in particular on the computer tool and the modeling of the Potential vulnerability of the study area whose necessary recommendations are the following ones:

- The strong susceptibility class occupies about 10% (1951 ha) of the study area and is distributed around the Cherchel area.
- The high to medium susceptibility occupies about 55% (17,363 ha) of the total area, which corresponds to the surface drainage areas.
- The predominance of the low to very low susceptibility class with 35% (21735 ha) of the total area characterizes the northern and western parts of the Cherchel region.

**Key words:** Tipaza, natural hazards, GIS, ALSAT2, and satellite.

## TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES .....	À
LISTE DES FIGURES.....	B
LISTE DES TABLEAUX.....	D
LISTE DES PHOTOS.....	E
<b>I. INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
I.1 DEFINITION DES GLISSEMENTS DE TERRAIN .....	2
I.2 CAUSE DES GLISSEMENTS DE TERRAIN.....	3
I.3 <b>SITUATION</b> GEOGRAPHIQUE .....	3
I.4 CADRE GEOLOGIQUE .....	8
I.5 SISMOTECTONIQUE .....	25
I.6 OBJECTIF DE L'ETUDE .....	27
<b>II. METHODOLOGIE .....</b>	<b>27</b>
II.1 COLLECTES DES DONNEES DISPONIBLES.....	28
II.2 L'ORTHORECTIFICATION .....	28
II.3 TRAITEMENT ET INTERPRETATION DES IMAGES SATELLITES .....	29
II.4 DISCRIMINATION SPECTRALE DES GLISSEMENTS DE TERRAIN.....	33
II.5 MODELISATION D'ALEA GEOLOGIQUE.....	34
II.6 INVENTAIRE DES GLISSEMENTS DE TERRAIN .....	37
II.7 CONCEPTION D'UNE BASE DE DONNEES D'ALEA GLISSEMENT DE TERRAIN.....	39
<b>III. RESULTATS &amp; DISCUSSIONS .....</b>	<b>50</b>
<b>IV. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....</b>	<b>53</b>
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAHIQUES .....	55

## LISTE DES FIGURES

Fig. 1 : Carte du monde des risques de glissement de terrain. ....	1
Fig. 2 : Différents types de glissement de terrain.....	2
Fig. 3 : Situation géographique de la zone d'étude .....	4
Fig. 4 : Aspect morfo-tectonique de zone étudiée .....	5
Fig. 5 : Répartition des classes d'altitude de la zone d'étude.....	6
Fig. 6 : Diagramme Ombrothermique.....	8
Fig. 7 : Carte géologique de Cherchel-Gouraya, feuille N° 38, 39 .....	17
Fig. 8 : Rosace directionnelle des failles.....	25
Fig. 9 : Interprétation des failles simogènes (Géomatrix, 1988; CGS; 2009).....	27
Fig. 10 : Carte sismotectonique du nord d'Algérie. Mécanismes au foyer des principaux séismes ayant secoués l'Algérie et structures actives du nord algérien.....	27
Fig. 11 : Ortho images Alsat2A en RVB : 413.....	29
Fig. 12 : Image Alsat2 ortho-rectifiée en trichromie 413 .....	30
Fig. 13 : Analyse en composante principale ACP4, ACP1 ; ACP3 .....	31
Fig. 14 : Conversion RGB en ITS (Intensité, Teinte, Saturation) .....	32
Fig. 15 : Filtrage directionnel .....	33
Fig. 16 : Identification des glissements à partir des images satellites .....	34
Fig. 17 : Organigramme de la méthodologie adoptée.....	36
Fig. 18 : Carte d'inventaire des glissements de terrain.....	39
Fig. 19 : Carte lithologique de Cherchel.....	40
Fig. 20 : Carte de densité du réseau linéametaire .....	41
Fig. 21 : Carte structurale de la zone d'étude.....	42
Fig. 22 : Modèle numérique de terrain de la zone d'étude (MNT Aster).....	43
Fig. 23 : Carte des différentes classes de pente de la zone étudiée .....	44
Fig. 24 : Diagramme camembert présent le pourcentage de chaque classe de pente .....	45
Fig. 25 : Carte d'exposition des versants de la zone d'étude.....	46
Fig. 26: Réseau hydrographique hiérarchisé de la zone d'étude.....	47
Fig. 27 : Carte d'occupation du sol de la zone d'étude.....	48
Fig. 28 : Diagramme camembert présente les pourcentages des différentes classes d'occupation du sol.....	48
Fig. 29 : Indice d'humidité topographique (Topographic Wetness Index).....	50

Fig. 30 : Carte de susceptibilité au glissement de terrain de la zone d'étude.....	51
Fig. 31 : Diagramme camembert présent le pourcentage de chaque classe de susceptibilité.....	51

## LISTE DES TABLEAUX

Tab .1 : Répartition des classes d'altitudes dans la zone d'étude.....	6
Tab . 2 : Moyenne mensuelle des précipitations et températures pendant la période 2010 –2017 .....	7
Tab . 3 : Stratigraphie de la zone d'étude.....	20
Tab. 4: Répartition des classes des pentes dans la zone d'étude.....	44
Tab. 5 : Répartition des classes de susceptibilité et leur superficie.....	52
Tab. 6: Table attributaire de la combinaison de la carte de susceptibilité et la carte d'inventaire.....	53



## LISTE DES PHOTOS

Photo.1 : Les conglomérats d'Oligo-Miocène .....	11
Photo.2 : Faciès schistosé marno- calcaire du Crétacé .....	13
Photo.3 : Les alternances de marnes et de calcaires du Crétacé.....	13
Photo.4 : Le Dogger de la Dorsale médiane.....	14
Photo.5 : le Lias de la Dorsale médiane.....	14
Photo.6 : Les roches volcaniques tertiaires de Menaceur .....	17
Photo.7 : Faille inverse d'orientation NE-SW.....	23
Photo.8 : Mouvement en extension de direction N 120° affectant le Crétacé .....	23
Photo.9 : Pli affectant les formations du Crétacé .....	24
Photo.10 : Conséquence du mouvement de terrain (a), (b), (c), (d).....	39

### I.

## II. INTRODUCTION

Au niveau mondial le phénomène de glissement du terrain est le risque naturel le plus répandu provoquant de plus en plus des dégâts matériels et des pertes en vie humaine. Il peut provoquer des risques importants pour l'homme et ses aménagements, ceci a été traduit au cours des dernières décennies par l'élaboration des différents projets et études de prévention tels que les cartes ZERMOS, 1971 (Zones exposées aux risques liés aux mouvements du sol et du sous-sol), les PER (Plan d'exposition aux risques), et plus récemment les PPR (plan de prévention des risques naturels prévisibles). (Fig.1)

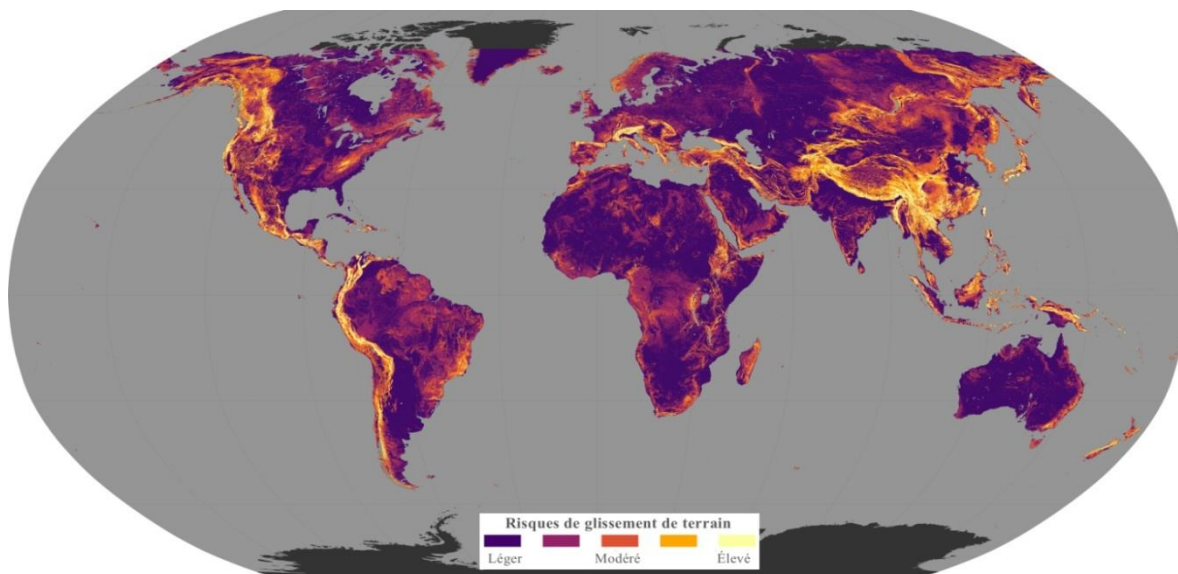


Fig.1 : Carte du monde des risques de glissement de terrain.

<https://www.populationdata.net/cartes/monde-risques-de-glissement-de-terrain/>

Source : Nasa Earth Observatory

Les facteurs amplificateurs régissant ces phénomènes sont généralement multiples (lithologie, fracturation, topographie, climatologie, hydrologie, séisme...) généralement c'est la combinaison complexe d'un ensemble des paramètres conduisant à la rupture, son déclenchement est probablement lié dans la majorité des cas, d'une action sur la géométrie des talus et du rôle de l'eau. Dont deux d'entre eux sont indispensables pour qu'un glissement se mette en place :

- La pesanteur conduisant également à les mettre en place.
- L'eau qui intervient souvent comme déclencheur de l'instabilité.

Les cartes de susceptibilités peuvent être réalisées par plusieurs approches ; qualitatives, heuristiques (méthode experte), déterministes (modèles à base physiques : géotechnique, hydrologique...), probabilistes (modèles statistiques). Ce présent travail est

réalisé par l'utilisation de l'approche probabiliste qui se base sur un modèle d'analyse bivariée, le choix de cette approche est justifié en raison de son caractère généralisable et reproductible, et s'avère particulièrement adaptée aux échelles larges (du 1/100 000 au 1/25 000) (Fell & al, 2008).

### I.1 DÉFINITION DES GLISSEMENTS DE TERRAIN

Un glissement de terrain est défini comme étant le mouvement d'une masse de sol ou de roche vers le bas de la pente le long d'une surface de rupture. (Highland & Bobrowsky, 2008).

Il est un des principaux types de mouvement de terrain existant au sens large (landslide en anglais), les autres étant notamment les chutes de blocs, les éboulements, les coulées de boue ou encore le fauchage (Cruden, 1991 ; Cruden & Varnes, 1996). Il est subdivisé en deux types, plans et rotationnels (Fig.2).

- **Glissement rotationnel**

Ce type de mouvement est caractérisé par une surface de rupture concave, son mouvement est plus ou moins rotationnel autour d'un axe parallèle aux lignes de niveau de la pente. Ceci provoque un déplacement d'une masse le long de la surface de rupture accompagnée d'une légère déformation interne.

- **Glissement plan**

C'est un glissement dont la surface de rupture est plane et qui peut avoir lieu sur des distances considérables lorsque la surface de rupture est largement inclinée, il prend naissance généralement le long des discontinuités géologiques (failles, fractures, diaclases, strates, ou entre les roches et les sols).

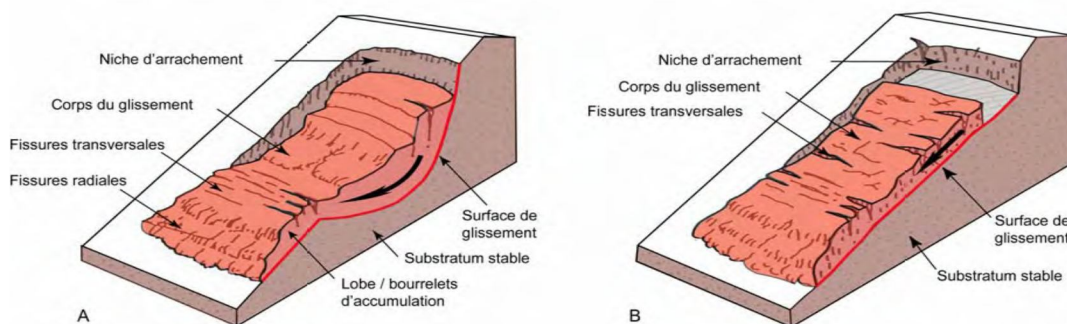


Fig. 2 : Différents types de glissement de terrain (A : rotationnel, B : transrotationnel) (modifié d'après Varnes, 1978 ; USGS, 2004)

Ceux qui affectent notre zone d'étude sont presque des glissements rotationnels.

## **I.2 CAUSE DES GLISSEMENTS DE TERRAIN**

La mise en mouvement d'un versant résulte généralement de la combinaison de facteurs aggravants ou déclencheurs, particulièrement les caractéristiques lithologiques, structurales et géotechniques, l'inclinaison de la pente, les conditions d'eau souterraine et superficielle, les séismes, etc. Leur répartition dans le temps est irrégulière et leur fréquence est conditionnée par des événements météorologiques et naturels extrêmes.

## **I.3 SITUATION GÉOGRAPHIQUE**

Cette partie décrit brièvement la physiographie et la géologie de la zone d'étude qui ont été retenues pour appliquer une approche d'évaluation de l'aléa présentée dans ce travail.

La zone d'étude concerne la wilaya de Tipaza, située au nord du pays à environs de 70 km à l'ouest d'Alger, et à 20 km à l'ouest de Tipaza, principal centre administratif. Elle est limitée à l'est par les wilayas d'Alger et de Blida, à l'ouest par la wilaya de Chellif tandis qu'au Nord et au sud respectivement par la Méditerranée et par la wilaya d'Ain Defla.

Notre zone d'étude est caractérisée par l'existence d'un relief très contrasté, des terrains géologiques friables (argiles, flyschs, marnes, etc.), elle appartient au segment méridional périméditerranéen (chaîne alpine) avec une tectonique assez complexe, une forte activité sismique et des caractéristiques géotechniques défavorables (sol non consolidé) formant un contexte propice à l'instabilité des versants. La zone d'étude a un climat subhumide, elle est traversée par des cours d'eau drainant les eaux superficielles de ruissellement vers la mer.

Cette région côtière s'ouvrant sur la mer Méditerranée avec une façade maritime de plus de 42 km.

Faisant partie d'une région côtière assez arrosée, la zone d'étude est traversée par plusieurs oueds drainant les eaux superficielles de ruissellement vers la mer. Les plus importants de l'est vers l'ouest sont comme suit :

- Oued Hachem
- Oued Nador

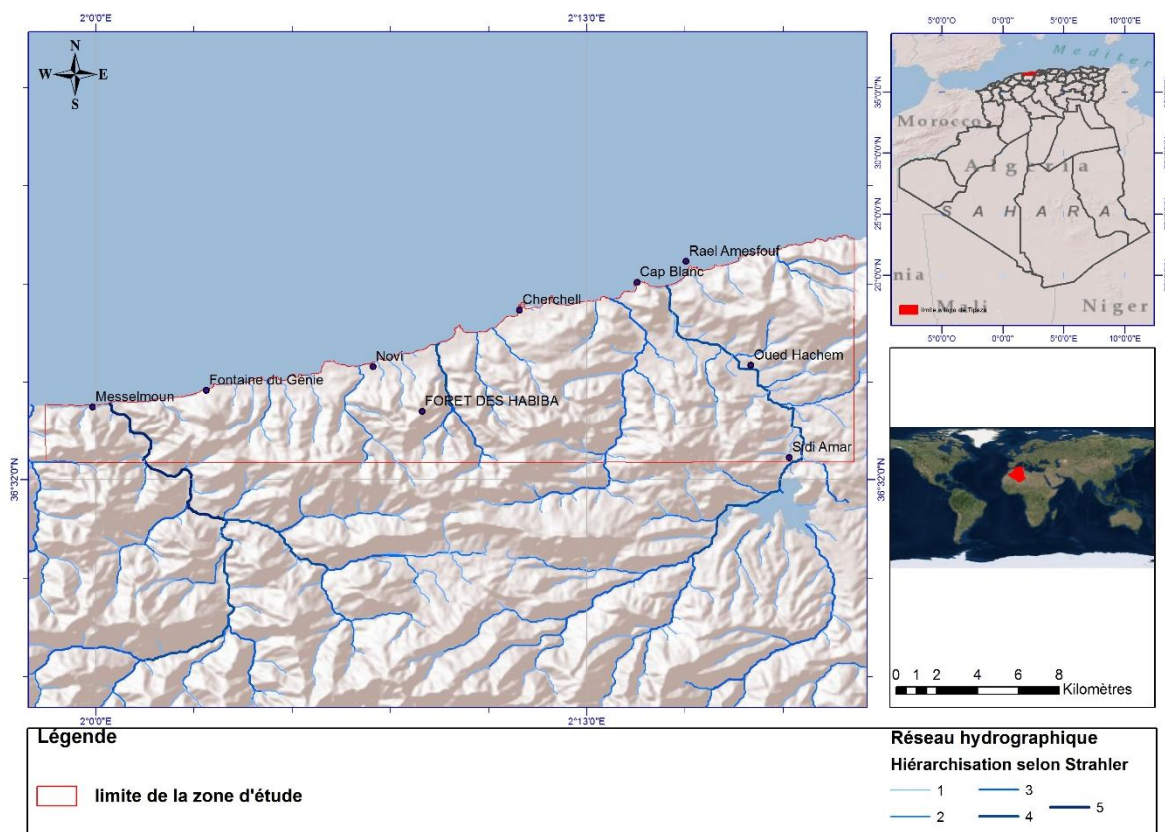


Fig.3 : Situation géographique de la zone d'étude

Vu le manque des données à une échelle détaillée et notamment les cartes géologiques et structurales, la présente étude a été réalisée à une échelle de 1:50 000. Le système de projection retenu est celui de UTM : Universal Transverse Mercator', Datum : WGS84, zone 30.

### 1.3.1 GÉOMORPHOLOGIQUE

La plaine de Tipaza est connue par la présence d'une large cuvette en forme d'hémicycle qui continue à se glisser et s'enfoncer sous le massif de Chenoua en le soulevant depuis plus de 200 000 ans, ces mouvements morpho-tectoniques rendent instable le substrat de Tipaza et se forment des zones de ruptures par flexion sur la roche et provoquent des zones d'effondrement en bloc des promontoires côtiers . La succession des criques et des promontoires est donc conséquences de ces mouvements.

La zone d'étude est subdivisée naturellement en trois ensembles géomorphologiques qui sont les suivants :

Le massif de Chenoua à l'Ouest, le contrefort du Sahel à l'Est et la vallée d'Oued Nador.

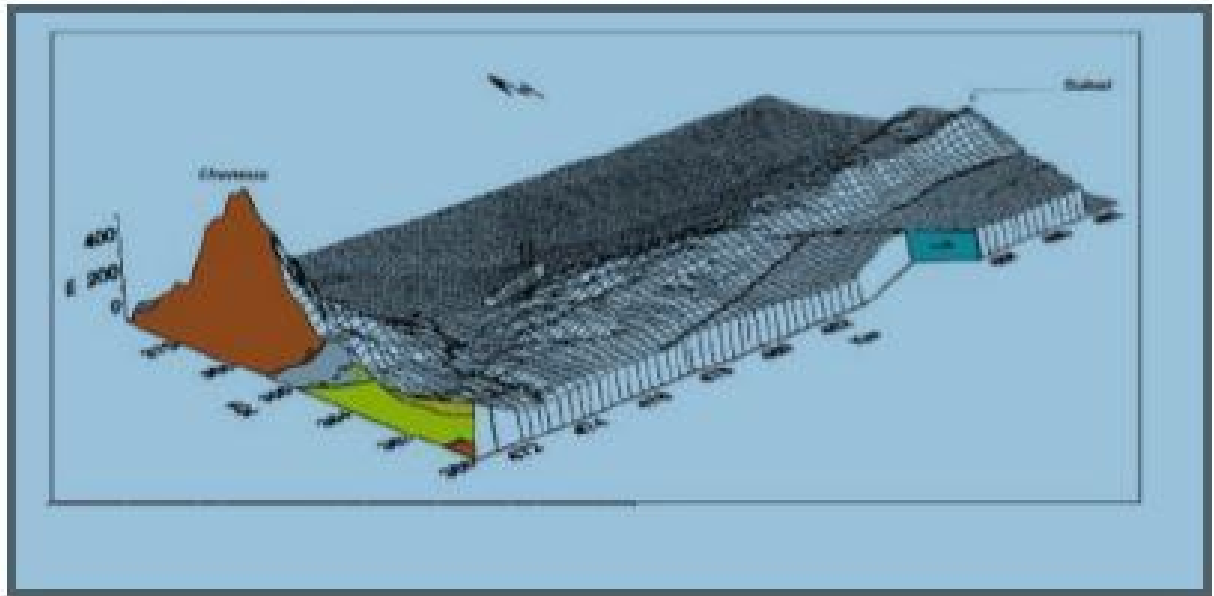


Fig. 4 : Aspect morpho-tectonique de zone étudiée

### 1.3.2 TOPOGRAPHIE

La topographie de la zone étudiée est relativement accidentée aux alentours, caractérisée par des altitudes en général moyennes à fortes, à l'exception des zones des plaines et bordures des cours d'eau principaux. La pente permet d'apprécier la déclivité des terrains, c'est un facteur déterminant des reliefs. La carte ci-dessous illustre bien ce paramètre.

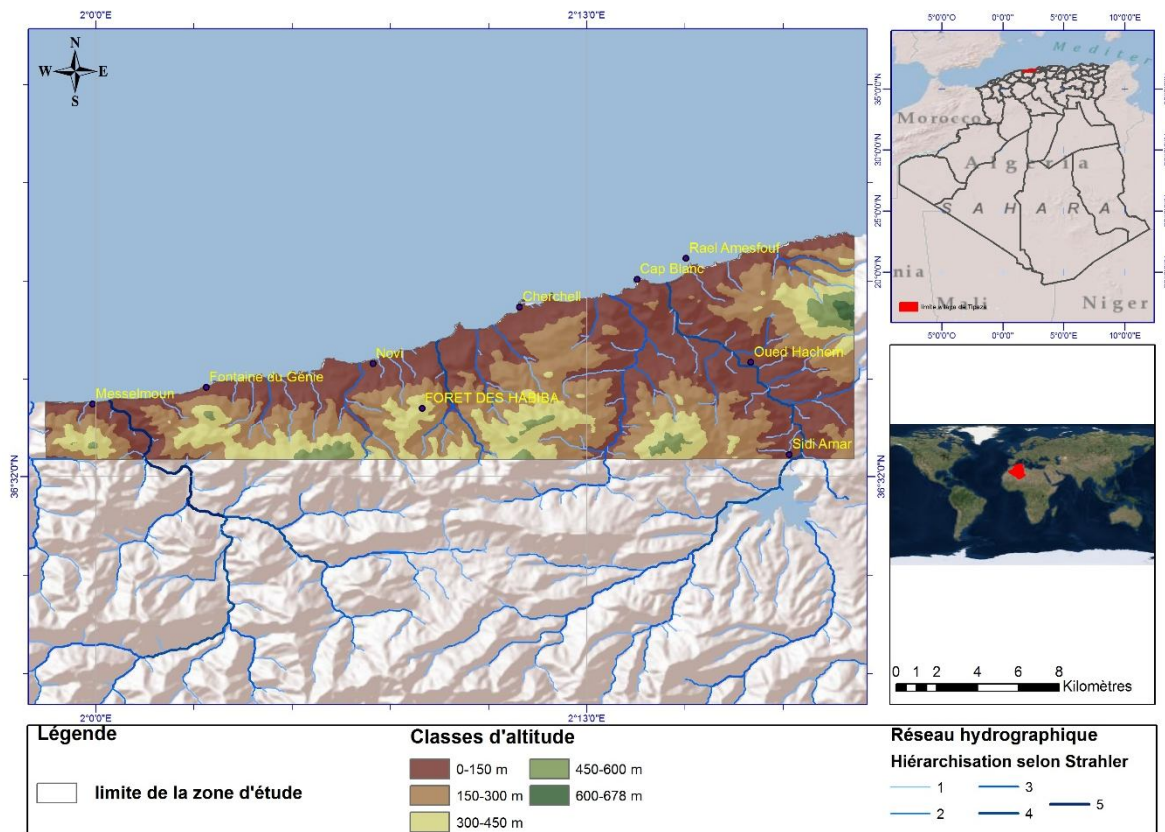


Fig. 5 : Répartition des classes d'altitude de la zone d'étude

La carte des classes de altitudes établie à partir d'un modèle numérique de terrain type Aster de 30m de résolution dont les différentes classes d'altitudes ont été choisies selon l'apparition des processus morpho-dynamiques sur le terrain. Quatre classes d'altitude sont répertoriées et qui correspondent aux différentes unités morphologiques (Tab .1).

<i>Classe d'altitudes</i>	<i>Type</i>	<i>Superficie (ha)</i>	<i>Superficie (%)</i>
<b>0 - 150m</b>	<i>Faible</i>	9215.02 ha	44.89%
<b>150 - 300m</b>	<i>Moyenne</i>	7503.66ha	36.55%
<b>300 - 450m</b>	<i>Forte</i>	3182.81ha	15.50%
<b>450 - 600m</b>	<i>Forte</i>	558.18ha	27.19%
<b>600-678</b>	<i>Très forte</i>	65.20ha	0.31%

Tab .1 : Répartition des classes d'altitudes dans la zone d'étude

Les résultats obtenus montrent la prédominance des classes d'altitudes de 0 à 150m et de 150 à 300m avec respectivement 44.89% et 36.55% de la totalité de la superficie de

la zone étudiée. Cela indique que la topographie de la zone d'étude est caractérisée en grande partie par la plaine et les piémonts.

### 1.3.3 HYDROGRAPHIE

La zone d'étude est traversée par deux fameux Oueds sont : Oued Nador et Oued Hachem, ils sont caractérisés par un régime temporaire, un faible débit. Les eux qui proviennent des torrents et des Oueds rejoignent directement la mer au nord et à l'est ou se jettent dans l'Oued Hachem et l'Oued Nador à l'ouest et au Sud. Ces Oueds ne sont permanents qu'au niveau de leur lit alluvial et leur embouchure.

Deux bassins hydrographiques caractérisant notre zone d'étude, l'un est côtier et qui draine les eaux du versant nord directement vers la mer, il se compose d'une série de sous bassins dont le plus important est le sous-bassin de l'Oued Medjoua (1.842 ha) et de ses affluents qui prennent source au plus profond du massif. L'autre est fluvial et qui alimente les Oueds Hachem et Nador et qui est subdivisé en deux sous bassin : Oued Hachem et Oued Nador.

### 1.3.4 CLIMAT

De point de vue climatique, la zone d'étude bénéficie d'un climat subhumide à hiver chaud, une pluviométrie qui varie entre 600 et 1000mm, et une humidité élevée notamment sur le versant nord qui reçoit l'influence directe de la mer. Les températures y ont clémentes avec une moyenne annuelle de 17 à 18 °C. Les minimums absolus sont très modérés et rarement négatifs (Tab. 2).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juill	Aou	Sept	Oct	Nov	Déc
Préci	166.5	132.5	118.29	39.8	27.86	12.86	3.33	13	21.75	52.63	88	113.5
Temp	9.69	6.51	12.67	16.83	20.14	24.66	29.76	29.5	24.83	20.93	13.74	10.64

Tab. 2 : Moyenne mensuelle des précipitations et températures pendant la période 2010 –2017

Les données disponibles, concernant les températures et les précipitations moyennes mensuelles, couvrant une période de 8 ans (2010-2017). (Fig. 6)



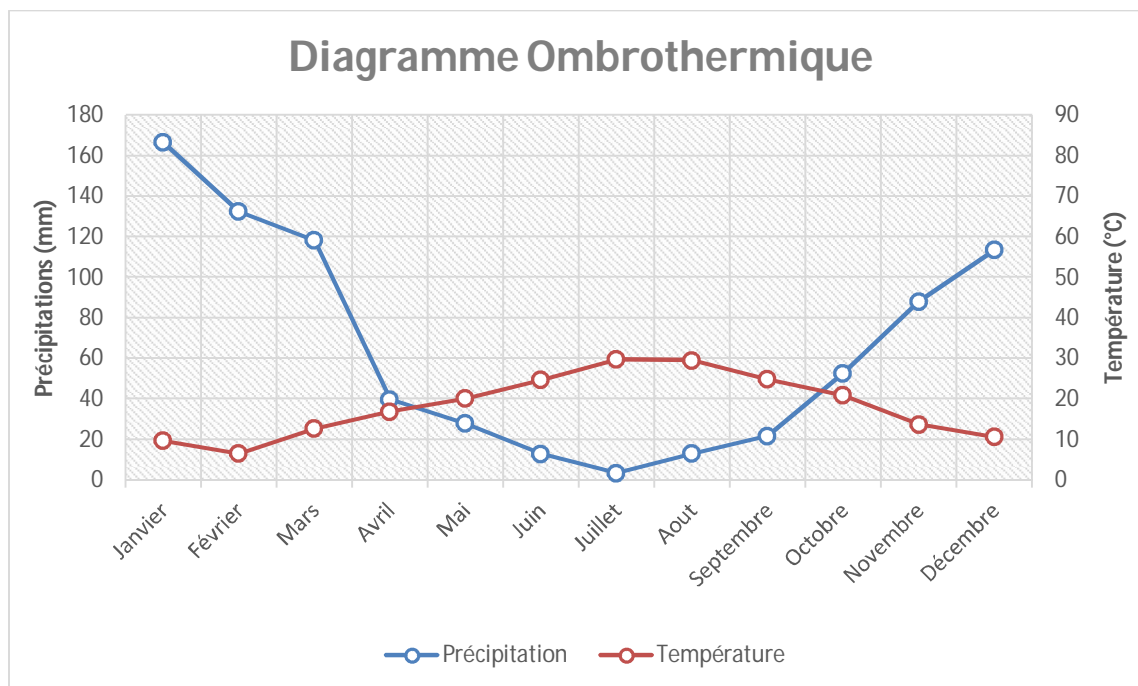


Fig. 6 : Diagramme Ombrothermique

#### I.4 CADRE GÉOLOGIQUE

Les feuilles de Gouraya et Cherchel comprennent plusieurs régions naturelles correspondant à des zones stratigraphiques et tectoniques différenciées à la suite des plissements nummilitiques. Ce sont du Nord au Sud :

- *La terminaison de la zone des massifs anciens des Kabylies (Zone I b, L. Glangeaud)* représentée par le Chenoua qui est constitué au Nord par un bâti ancien, composé de roches métamorphiques, de schistes, de poudingues et de grès primaires surmontés par les grès rouges et les cargneules du permo-trias. Cette zone est limitée, au Sud, par l'abrupt des calcaires liasiques et des couches éocènes, transgressives sur le Lias sans interposition du crétacé (Zone I c, L. Glangeaud).
- *La zone de flysch albo-aptien (Zone I d, L. Glangeaud)* sépare la région des massifs primaires du pays crétacé. Cette zone que l'on peut suivre sur près de 300 kilomètres, depuis l'ouest de Bougie, borde la côte tout le long des feuilles de Gouraya et de Cherchel. Elle constitue une région aride, rocailleuse impropre à la culture.
- *Le pays crétacé* occupe la plus grande partie des feuilles de Gouraya et de Cherchel.

- Le néogène transgressif sur ces zones nummulitiques a disparu dans les régions qui ont été surélevées par des plissements d'âge néogène (Beni Menasser, Larhat). Il a été conservé dans les parties déprimées (Synclinal de néogène bordant la mer, prolongement de Sahel d'Alger sur la bordure ouest de la feuille de Cherchel).
- *La terrasse de 15 à 20m* présente des surfaces horizontales importantes et un bon sol favorable à la culture. C'est sur cette terrasse que sont bâties les localités importantes de la côte (Cherchel, Gouraya). Elle est parcourue par les routes de la côte.
- *Les callées larges, à fond plat*, remblayées par des alluvions récentes de l'Oued Damous et de l'Oued Hachem sont utilisées pour la culture par suite de l'horizontalité du sol et de la facilité des irrigations. On y trouve une série de fermes importantes depuis Zurich jusqu'à la mer.

En résumé, ces trois dernières régions jouent un rôle important au point de vue de la géographie humaine, étant à la fois des régions de culture et de passage.

#### A. LITHOSTRATIGRAPHIE (CF fig 19. Page 40)

#### B. TERRAINS QUATERNAIRES

- ✓ **À Alluvions actuelles, Plages.** Limons et cailloutis des crues des grands oueds côtiers (Oued Hachem, Oued Bellah, etc.). Sables des plages, dunes.
- ✓ **a Alluvions récentes.** Alluvions du fond des vallées formant généralement un remblai de 1 à 2 mètres au-dessus du niveau des basses eaux des oueds.
- ✓ **Q<sup>1</sup><sub>m</sub> Terrasses de 15-20 mètres (Holocène),** Grés, poudingues et mollasses coquilles marines. Cette terrasse s'abaisse depuis 20 mètres jusqu'au niveau de la mer et offre en certains points des bancs 7 de 8 mètres d'épaisseur exploités pour la construction.
- ✓ **Q<sub>am</sub> Terrasses de 30 à 60 mètres (Holocène).** Poudingues et grés coquillers, présentant de petits affleurements le long de la côte. Aussi on a pu séparer sur la carte les deux terrasses.
- ✓ **q'' Alluvions anciennes et cônes de déjection (Pléistocène).** Cailloutis appartenant à des cônes de déjection dont la base était 20 à 30 mètres au-dessus de la vallée actuelle.

- ✓ **P<sup>2</sup><sub>b</sub> Terrasse de 90-100 mètres (Pliocène).** Poudingues et grès coquillers représentant les traces du rivage de la mer Sicilienne. On n'a trouvé jusqu'à présent dans cette région aucun fossile caractéristique de cet étage.

### C. TERRAINS TERTIARES

- ✓ **P<sup>2</sup><sub>a</sub> Cailloutis (Pliocène)** composé principalement de roches provenant de l'Atlas. Ces cailloutis à éléments de l'Atlas sont probablement d'âge Villafranchien et correspondent à la phase de remblaiement de la fin du cycle pliocène.
- ✓ **P, b Mollasse (Pliocène).** Bancs de calcaires sableux, jaunâtres, friables avec des lits plus sableux, calcaires coquillers avec lamellibranches ou brachiopodes (*Terebratulina caput-serpentis*) et débris de tests d'échinides. C'est le faciès côtier du Pliocène inférieur et l'équivalent de la mollasse de Mustapha.
- ✓ **P, a Marnes jaunes (Pliocène)** avec un niveau glauconieux fossilifère (gisement de Sidi Moussa, décrit par le général de Lanmothe et Dautzenberg) ; sur 335 espèces, 317 existent dans le Pliocène ancien d'Italie, 206 dans le Sahélien. 136 sont encore vivantes. C'est un faciès du Pliocène inférieur qui doit être l'équivalent des marnes à *Ostréa cochlear* du Sahel d'Alger. Sur le plateau de Sidi Yaya. Le Pliocène inférieur offre des intercalations de mollasse au milieu de marnes jaune huitre. Dans les couches gréseuses du point 244. **P, a** est probablement au Sicilien.
- ✓ **P, marnes et argiles bleues du sahel (Pliocène),** sans fossiles attribués soit au sa ! Soit plaigiosien ! Eau qui est à l'ouest de Zurich a été marquée par erreur. P.
- ✓ **m'<sub>c</sub> Marnes du Cartennien (Miocène),** dures, noire ou grises, comparable à celles du Schlier. Elles sont sans fossiles et ont été rangées soit dans le Burdigalien supérieur soit dans l'Helvétien inférieur.
- ✓ **m'<sub>a</sub> Calcaires grès et poudingues cartenniens (Miocène),** calcaires à Lithotamnium et spongiaires (Djebel Chem Beida), en lentilles au milieu des grès quelquefois glauconieux (Oued Messelmoun) et des poudingues rouges. On trouve dans cet ensemble néritique d'âges Burdigalien quelques niveaux fossilifères. Les poudingues forment des crêtes ressortant nettement dans la topographie un lambeau de m'a au-dessous de la route à l'est du Cap Sirat, n'a pas été figuré.
- ✓ **m, -Grès *Amphiope palpebrata* (Miocène) POMEL.** Ils contiennent en outre *Schizaster Bogul POMEL*, *Turritela cf: protocathedralis*. Brives rapproche le niveau de celui des couches de Carry (Aquitainien).

- ✓ **m<sub>ab</sub> Grès micacés et marnes plantes (Miocène)** ont été rangés dans l'Oligocène par suite de leur analogie avec les formations de cet âge de la région de Ménerville-Palestro. En certains points, il est difficile de les distinguer des couches primaires sous-jacentes. Toutefois ces dernières sont plus plissées que les grès micacés à plantes qui pendent régulièrement vers le Nord, au nord de Chenoua (Photo.1).

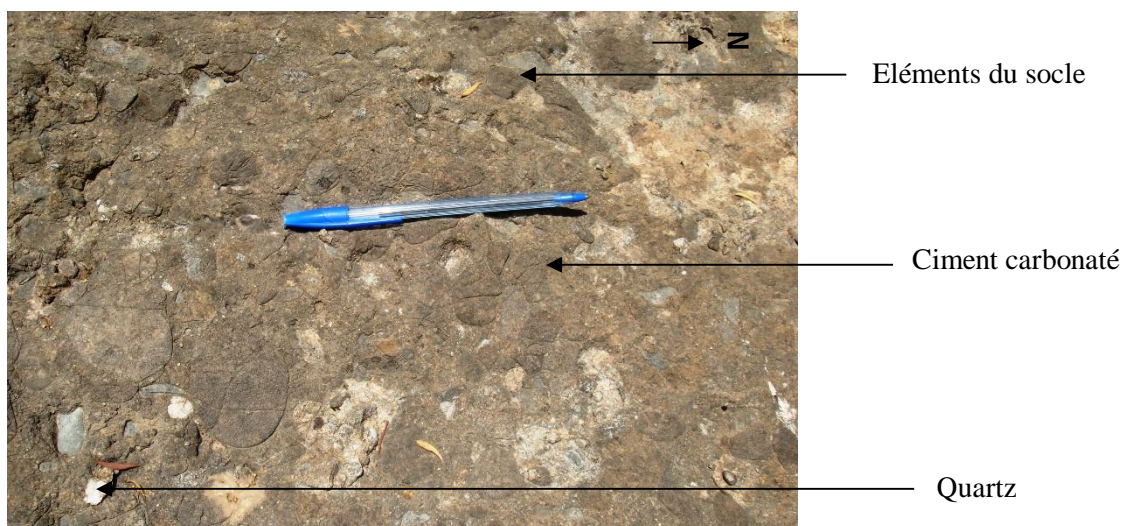


Photo.1 : Les conglomérats d'Oligo-Miocène

- ✓ **e<sub>ab</sub> Poudingues, grès et calcaires, marnes petites nummulites (Oligocène).** Poudingues petits éléments, grès et calcaires bréchiques à Lithothamnium. Ce complexe présente une assez grande complexité stratigraphique. Une partie, d'après Ficheur, doit être rangée dans l'éocène moyen à Nummulites Laevigatus Bruguière. On y rencontre des lentilles de calcaires Assilines et petites nummulites qui semblent appartenir à l'Éocène inférieur.
- ✓ **e, Calcaire nummulitique à grandes Nummulites (Paléocène)** d'âge Lutétien n'offre qu'un petit affleurement sur cette feuille. Il a une extension plus considérable sur la feuille de Tipaza.

#### D. TERRAINS SECONOAIRES

- ✓ **C<sup>8-7</sup> Marnes et calcaires jaunes en nodules (Crétacé sup).** Les marnes sont peu fossilifères. Elles présentent, mais pas d'une façon constante, des nodules et des

lentilles de calcaires jaunes de tailles variables à la surface desquels on trouve des huitres (*Ostrea proboscidea* d'Arch., *Ostrea santonensis* d'ORB., *Ostrea Nicaisei* COQ.) et des Inocerames (*Inoceramus et balticus*). C'est le Sénonien classique de l'Atlas littoral.

- ✓ **C<sup>8-6</sup> Calcschistes et brèches jaunes Inocérames (Crétacé sup)** avec des empreintes d'algues. Dans les plaques minces, au microscope, on observe des foraminifères, des prismes d'Inocérames et quelques éléments de tests de rudistes. Au point 343 on trouve de petites huitres : Sidi Aissa, de grands Inocérames (*Inoceramus Labialus*). En d'autres points, on rencontre Inocerames cf. *balticus*. Il semble donc que ce faciès néritique soit compréhensif.
- ✓ **C<sup>5</sup> Calcaires compacts des quatre Mamelons (Crétacé sup)**. En gros bancs ils forment des reliefs ressortant nettement réguliers bien stratifiés ; dans la topographie. Ces calcaires n'ont fourni, dans ces feuilles, que des tronçons de Belemnités et des empreintes d'Ammonites indéterminables.
- ✓ **C<sup>4</sup> Marnes et Schistes noirs (Crétacé sup)**, sans fossile, situés au-dessous des calcaires compacts et au-dessus de l'Albien fossilifère.
- ✓ **C<sup>5-3</sup> Calcaires, brèches et poudingues cénomaniens (Crétacé sup)** de l'échelle intermédiaire entre la nappe du flysch et la zone des faciès profonds du géosynclinal de l'Atlas littoral. Cette formation est caractérisée par le grand développement qu'y prennent les bancs ou les nodules de calcaires noirs à patine blanche, alternant avec (les marnoschistes de couleurs claires : jaune, rose et brun. On y trouve de petits niveaux de brèches et (les poudingues à petits éléments, de même couleur. On recueille dans cette formation *Belemnopsis ullimus* d'Ors., *Morloniceras inflatum* Sow., *Mortoniceras Nicaisei* Coq., *Puzsia* sp. des débris de rudistes isolés et fragmentés, des échinodermes et huitres.
- ✓ **C<sup>1-2</sup> Schistes et quartzites albiens (Crétacé sup)** Argiles schisteuses noires et bancs plus ou moins gréseux alternant avec de petits lits de quartzites ferrugineux. On y trouve de rares Ammonites, appartenant à l'espèce *Parahoplites Milletianus* d'ORB.
- ✓ **C<sup>1-2</sup> Flysch Albo-Aptien à Orbitolines (Crétacé sup)**. Alternance de schistes et de grès plus ou moins calcaires. Les schistes peuvent renfermer des Chondrites, des débris végétaux ; ils sont généralement assez argileux. Sur les grès, on observe des Fucoïdes, des helminthoïdes, des ripple-marks. Ces grès se débitent facilement en petits cubes et donnent un sol aride et rocailleux. Suivant les points, il y a

prédominance des grès sur les schistes ou vice versa. Les bancs de grès sont plus fréquents et plus épais en général à la partie supérieure de la formation. Ce flysch renferme peu de fossiles : *Orbitolina lenticularis* BLUMB de l'Aptien supérieur et dans la feuille l'Arba, *Dourilleiceras bigoureti* SeunEs, *Phylloceras Velledae* Mich de l'Albien. Il est peut-être plus compréhensif, car d'une part sa base est au contact du Trias, d'autre part il est surmonté directement par l'Éocène à petites Nurnmulites. Ce flysch caractérise une unité tectonique (nappe du flysch, L. Glangeaud) qui chevauche le crétacé situé plus au Sud (Photos.2.3).



Photo.2 : Faciès schistose marno-calcaire du Crétacé



Photo.3 : Les alternances de marnes et de calcaires du Crétacé

- ✓ **I<sup>4</sup> Calcaires en petits bancs (Jurassique sup)** n'offrant qu'un très petit affleurement sur la feuille de Cherchel (Photo.4).

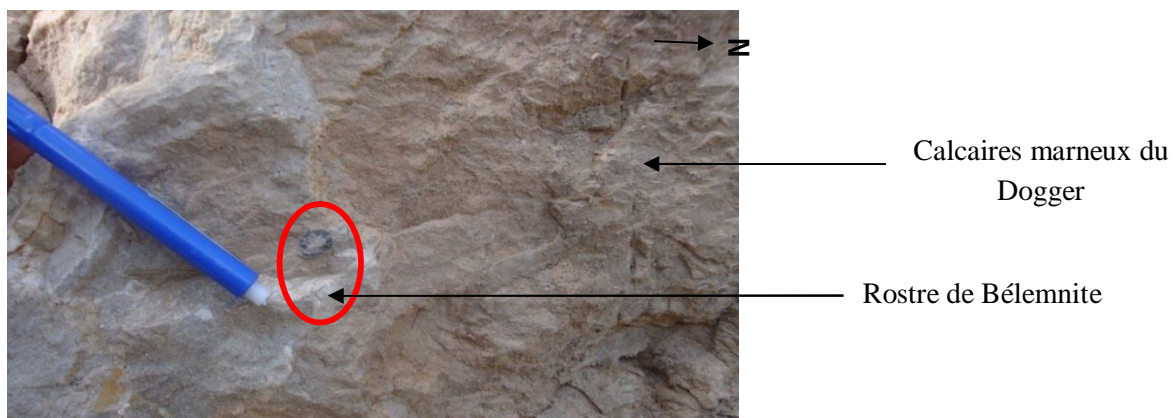


Photo.4 : Le Dogger de la Dorsale médiane

- ✓ **I<sup>3-1</sup> Calcaires (Jurassique Moy)** massifs du Lias. Ces calcaires massifs qui couronnent le Chenoua présentent à leur partie supérieure (prise d'eau de Cherchel) quelques gros bancs bien stratifiés et à leur base des brèches plus ou moins dolomitiques. À la partie inférieure des calcaires compacts, j'ai recueilli : des tronçons de Bélemnites, des Pentacrines, des Brachiopodes indéterminables et des Ammonites du groupe des Harro-ceratidde (Photo.5).

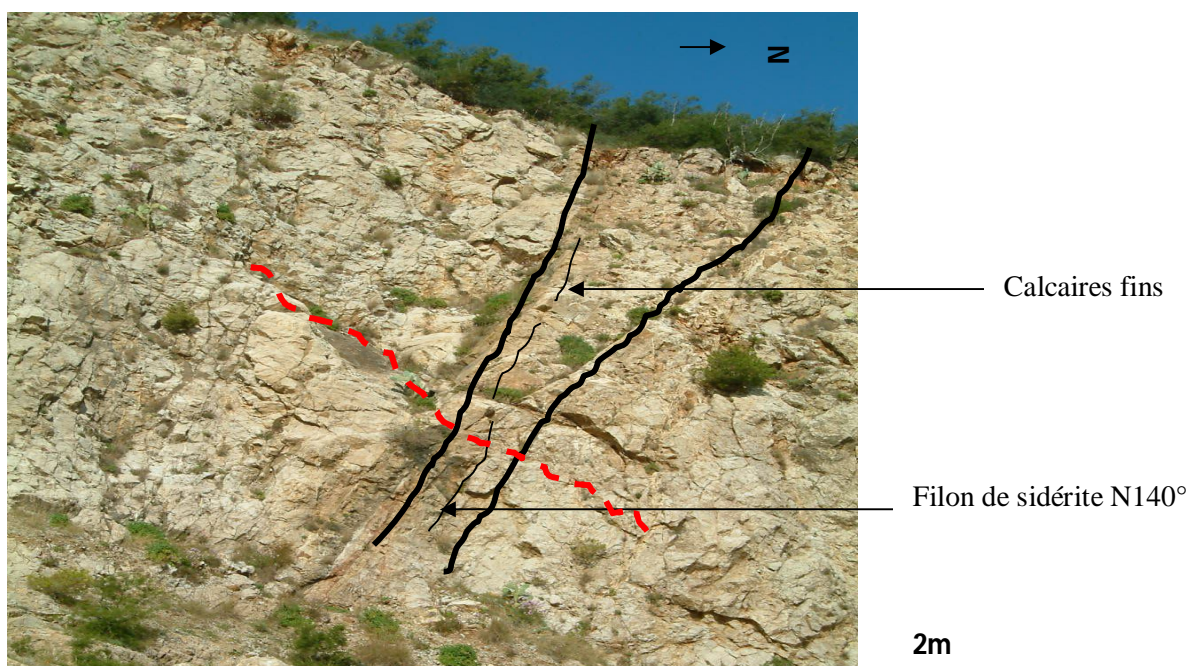


Photo.5 : le Lias de la Dorsale médiane

- ✓ **t, Brèche dolomitique et gypseuse (Trias)**. Ce complexe triasique présente deux faciès différents :
  - a) Cargneules, dolomies jaunes formant un ensemble de faible épaisseur dans le Chenoua (zones Ib, Ic) Oued Medjouj :

b) Gypses, cargneules, dolomies noires fétides, argiles irisées et brèche mylonitique gypseuse avec roches exogènes dans tout le reste des feuilles (zone I et zone II). Ce complexe est caractéristique du Trias d'Afrique du Nord. L'écrasement de ce Trias et son aspect chaotique ne permettent pas d'y reconnaître plusieurs subdivisions. On y trouve des éléments étrangers, débris de calcaires crétacés, roches grenues et métamorphiques, ce qui amène le considérer, en certains points, comme une brèche tectonique à ciment triasique. Ce complexe jalonne la surface de contact anormal de la base de la nappe du flysch. Au Douar Irilassen, il est intrusif dans les marnes burdigaliennes qui sont postérieures aux chevauchements d'âge nummulitique.

#### E. TERRAINS PRIMAIRES

- ✓ **r, Grés micacés et poudingues (Permien)**. Les grés micacés, les marnes et les poudingues sont généralement rouges ; les poudingues contiennent des débris de schistes. J'ai observé dans les plaques minces, des foraminifères mal conservés. On admet l'âge permien de cette formation par comparaison avec celles absolument semblables des autres primaires d'Algérie ; mais cette attribution est en grande partie arbitraire.
- ✓ **X, Schistes lustrés, poudingues, grés** et terrains cristallophylliens (flot de bérinshel) ce sont les mêmes terrains que ceux formant les massifs anciens du Nord de la province d'Alger. (Bouzaréah. Kabylies). On y observe une série de zones mylonitiques, de roches éruptives écrasées, de poudingues constitués uniquement par des galets de quartz blanc.

#### F. ROCHES ÉRUPTIVES

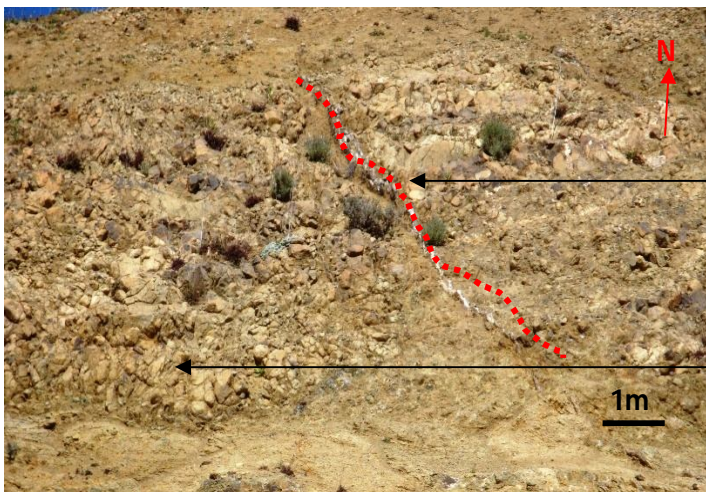
- ✓ **Complexe grenu du Djebel Arroudjaoud** (El Koub ou Djaout). Formé par une association de granite biotite (II. 4. I. 3) et de monzonite quartzifère (II. 5. 2' 3). Ce lambeau de roches grenues représente le témoin mis en relief par l'érosion d'une laccolite ou d'un grand sill de monzonite quartzifère et de granite post-burdigalien.
- ✓ **Série mélanocrate**. Roches en filons, les unes sont des monzonites riches en Mica noir, les autres probablement des minettes. Elles sont post-burdigaliennes.
- ✓ **Rhyolite-Rhyolitoïde, Dacite-Dacitoïde**. Série à excès de silice dont les termes les plus alcalins sont des rhyolites monzonitiques et des dellénites, les termes les plus riches en anorthite, des dacites labradoriques. Ces roches sont interstratifiées entre les poudingues et les marnes burdigaliennes. Elles se sont épanchées sur le bord de la mer burdigalienne.



- ✓ **r, Dolérite-Diabase.** Dolérite à olivine de Cherchel intrusive (en sills et en bosses d'aspect variés) dans le Crétacé. Les poudingues, les tufs éruptifs, et les marnes burdigaliennes. Elles sont post-burdigaliennes et anté-pliocènes. Diabase du Chenoua intrusive dans le Trias.
- ✓ **m 'p Tufs et projections.** Accompagnant les émissions de laves burdigaliennes, elles sont interstratifiées entre les poudingues et les marnes du Burdigalien (Photo.6).



Complexe volcano- sédimentaire



Veine de calcite et d'opale

Andésite

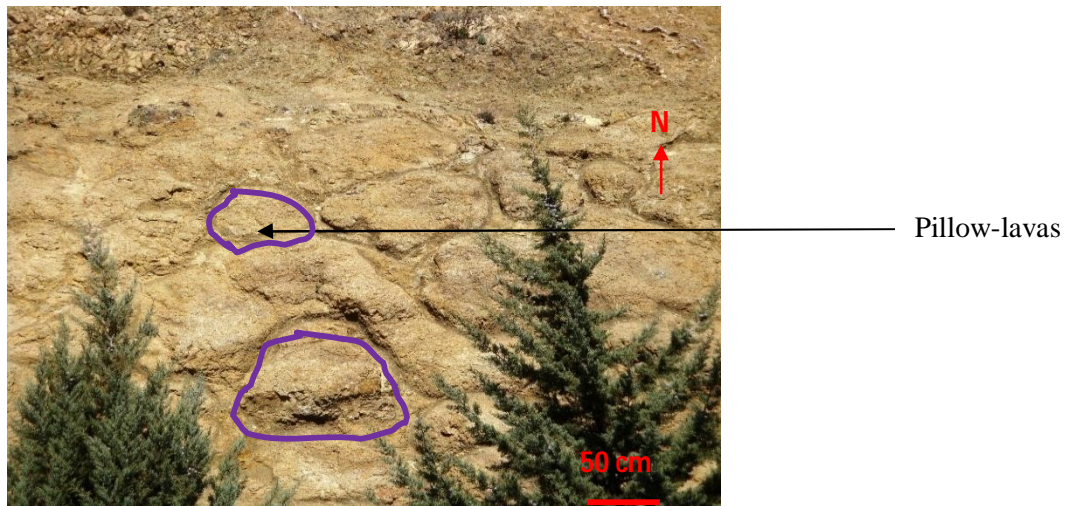


Photo.6 : Les roches volcaniques tertiaires de Menaceur

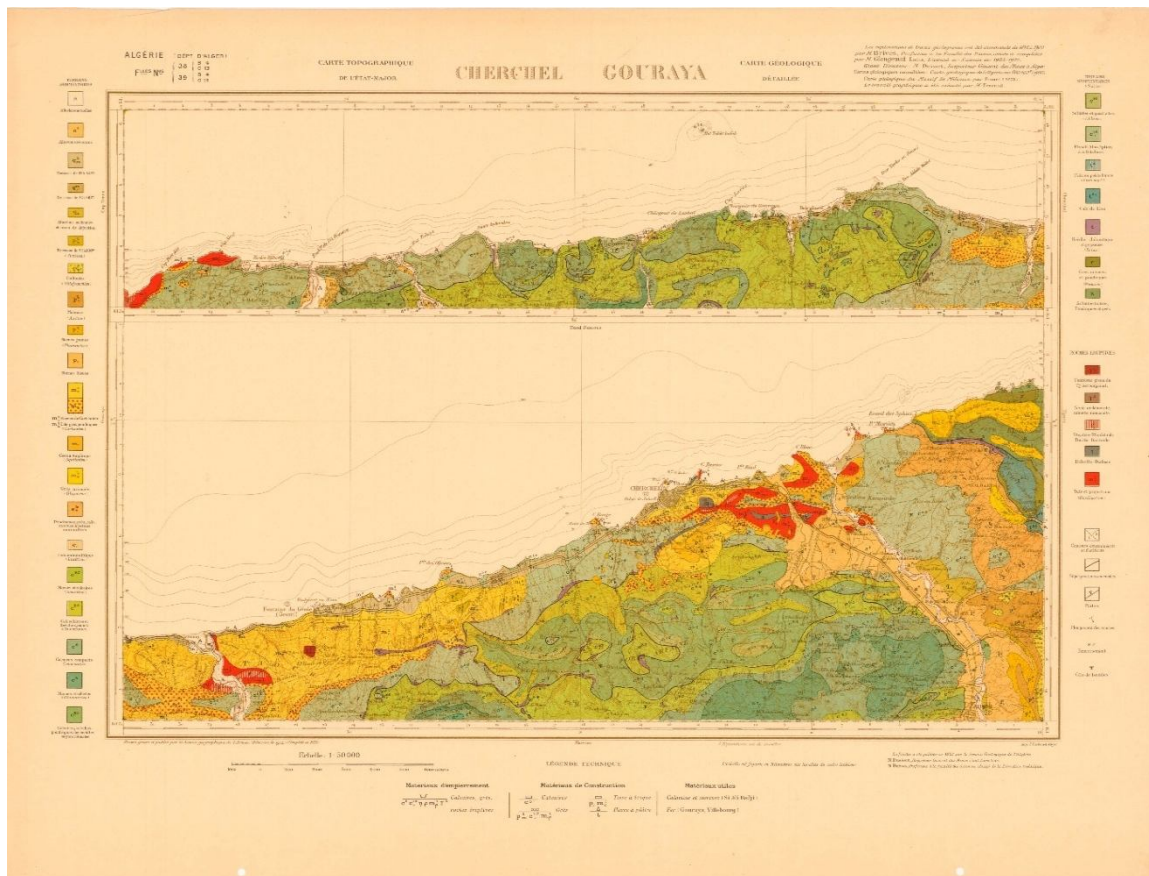


Fig.7 : Carte géologique de Cherchel-Gouraya, feuille N° 38, 39

Age	Lithologie	Evènements	Effets	Minéralisations
<b>Cambo-Ordovicien</b>	Marbes, schistes verdâtres, schistes graphiteux, grès arkosiques, schistes bleutés et séricitoschistes..			
<b>Silurien</b>	Grès psammitiques, calcaires jaunes et pélites.	Stabilité tectonique		
<b>Dévonien</b>	Calcaires à Graptolites, tentaculites, pélites, grès et lydiennes			
<b>Carbonifère (marin)</b>	Calcaires, dolomies, pélites, grès et conglomérats.			Fe
<b>Permo-Trias</b>	<b>Flysch détritique :</b> Conglomérats polygéniques, grès argiles versicolores, Pélites et marnes. <b>Flysch carbonaté :</b> Dolomies et calcaires vermiculés. <b>Roches ophitiques.</b>		Début d'une transgression	Cu de type Red Beds. ????
<b>JURASSIQUE</b>	<b>Lias</b>		Grande transgression	
	<b>Dogger</b>			
	<b>Malm</b>		Calcaires rose à Bélemnites	

<b>C R E T A C E</b>	<b>Néo comien</b>	Alternance de calcaires et de marnes à nodules de silex et à Calpionnelles. Pélites siliceuses, argiles et quartzites.			
	<b>Albo-Abtien</b>	Calcaires et quartzites (Barremien), grès de Guerrouch(Albien) et calcaires gréseux.	Episode compressive liée au rapprochement entre l'Aurasie et l'Afrique. Fermeture de la Téthys	Amincissement au maximum (Aptien). Transpression senestre.	
	<b>senonien</b>	Marnes Et calcaires schistosés			
<b>P A L E O G È N E</b>	<b>Paléocène</b>			Déformations à vergence N. Plis (NW-SE).	
	<b>Eocène</b>	Marnes violacées, conglomérats polygéniques et grès micacés.	Phase compressive représentée par les accidents E-W.	Cisaillement transcurant dextre(E-W), structuration de la Dorsale et genèse des nappes.	
	<b>Oligocène</b>	Formation marno-gréseuse micacée.	Phase distensive	Genèse et structuration des nappes.	
<b>N E O G È N E</b>	<b>M I N O C È R E N I E U</b>	Marnes bleutées et grès micacés.	Phase compressive (N-S).	Système de décrochement conjugué (NW-SE) Dextre et (NE-SW) Senestre, écaillage de la Dorsale, glissement des nappes vers le S et chevauchement E-W	<b>Pb -Zn-Cu- Ba ?</b>

	M I O C È N E	M O Y E N	Microconglomérats à Amphiope. Microconglomérats à ciment fin. Grès conglomératique rouges.	Phase compressive. (NNW-SSE).	Ouverture de la Méditerranée, genèse des bassins post-nappes, soulèvement de la bordure méridionale avec une faille bordière le long de la marge nord du Maghreb, apparition de l'autochtone tellien en fenêtre, magmatisme calco-alcalin et effondrement du bassin du Miocène.	<b>Pb –Zn-Cu- Ba ?</b>
		S U P E R I E U R	Complexe volcano-détritiques. verdâtre	Phase Compressive (N-S)	Soulèvement de l'Atlas Mitidjien, fermeture et plissement des bassins post-nappes, réactivation des anciennes failles inverses en failles normales, sismicité et plissement Mio-Plio-Quaternaire.	<b>Pb –Zn-Cu- Ba- Fe-Mn ?</b>
		<b>Pliocène</b>				
	<b>Quaternaire</b>		Dépôts quaternaires			

Tab. 3 : Stratigraphie de la zone d'étude

#### 1.4.1 TECTONIQUE

Trois phases de plissements tertiaires ont additionné leurs effets sur les terrains des feuilles de Cherchel et de Gouraya :

- A) les plissements d'Âge Éocène.
- B) les plissements du début du Vindobonien.
- C) les plissements de la fin du Pliocène.

a) Le paroxysme orogénique d'âge nummulitique, le plus important a été précédé par une période qui a orienté la structure de la chaîne. Pendant cette période embryonnaire, d'âge secondaire, il apparut, au Nord, sur l'emplacement de la future « zone des massifs anciens un bourrelet géanticlinal recouvert par des terrains secondaires faciès néritique (géanticlinal des Kabylies. Zone I, L. Glangeaud) et. Au sud, un sillon géosynclinal (zone II) dans lequel se déposèrent des terrains secondaires présentant des faciès plus profonds et une série plus complète que dans la zone I.

À l'Éocène, l'effort orogénique augmentant, le renflement géanticlinal des Kabylies à matériel ancien s'accroît et devint dissymétrique. En certains points (une partie de la feuille de l'Arba) le mouvement s'arrête à un renflement préliminaire avec charriage latent » tel que le définit Argand). En d'autres points (feuille de Cherchel) il semble que pli de fond se soit cassé et ait été poussé sur la région géosynclinale. La couverture sédimentaire crétacée (flysch à Orbitolines) se décollait au niveau du Trias et glissait vers le sud sur la région crétacée à faciès profond (zone 2), en donnant une nappe du deuxième genre (nappe du flysch, Zone 1d L.Glangeaud).

Sous cette pression. Les terrains de la zone II se plissèrent en plis simples (dôme des Beni Menasser) ou plus complexes (synclinal couche du Kef Larais', mais sans déplacements tangentiels importants. Seul dans la région des Beni Habiba un lambeau de poussée dont les faciès font transition entre ceux de la zone I et ceux de la zone II fut entraîné entre le flysch et les terrains de la zone I L.

Le Trias se présente avec deux aspects tectoniques différents : 1 il peut être intrusif dans le Miocène (douar Irilassen) ou dans le Crétacé (Mat Tardete ; 2" il a pu être entraîné b la base de la nappe du flysch et d'écaillage des Beni Habiba. On doit donc distinguer les

gisements du Trias se présentant avec la tectonique particulière des terrains gypseux (diapyrisme), de ceux jalonnant des contacts anormaux.

b) Après ce paroxysme d'âge nummulitique, la phase orogénique lu début du Vindobonien reprit à nouveau ce matériel. Elle ne produisit que des plis simples (synclinal du Djebel Chem Beida, anticlinal de Cherchel, anticlinal des Addata) L'effort orogénique agissant sur un matériel déjà plissé et ayant perdu une partie de sa plasticité originelle fut précédé par des dislocations amenant l'apparition sur le bord de la mer Burdigalienne de volcans aériens et sous-marins.

c) La troisième phase de plissement, la fin du Pliocène, ne fit qu'accentuer les plissements du début du Vindobonien. Elle ondula faiblement les couches pliocènes. Ces ondulations, peu visibles sur la feuille de Cherchel, par suite de la faible extension du Pliocène sur ce territoire, sont plus nettes sur les feuilles voisines (Tipasa, Morengo).

À partir de l'analyse structurale faite sur la zone d'étude, nous présenterons dans ce travail l'essentiel des résultats obtenus, et ce dans le but de mettre en évidence une éventuelle relation pouvant exister entre les événements tectoniques dans ce secteur d'étude.

#### 1.4.2.1 ANALYSE STRUCTURALE

Les formations sédimentaires rencontrées dans la Dorsale, allant du Lias à l'Oligo-Miocène présentent une direction moyenne de N50° et un pendage de 70° vers le Sud. L'analyse tectonique de ces formations permet de déduire les structures tectoniques suivantes :

#### 1.4.2.2 LES FAILLES

Les miroirs de failles sont assez nombreux, mais leurs extensions sont très réduites. Des failles inverses de direction N10° et N40° avec un plongement 70° vers le Sud sont observés partout dans les formations de la Dorsale médiane (photo.7).

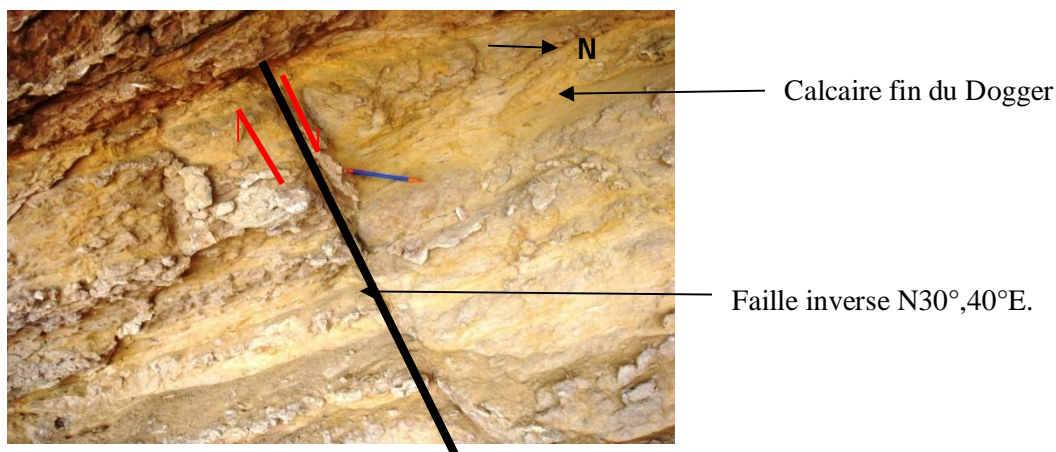


Photo.7 : Faille inverse d'orientation NE-SW

#### ▪ Les décrochements

Ils s'organisent en un système conjugué (N30° senestre et N150° dextre) et cela se traduit par des figures sigmoïdes qui représentent des critères de cisaillement, visibles surtout dans les formations conglomératiques d'Oued El Hachem. Dans le Cap Blanc, un décrochement senestre est responsable du décalage du synclinal (Belhaï, 1996).

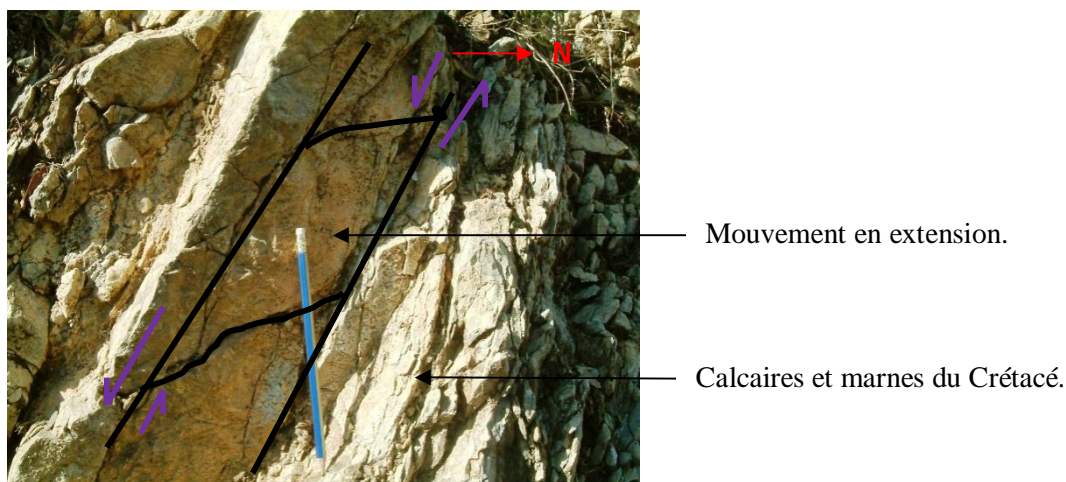


Photo.8 : Mouvement en extension de direction N120° affectant le Crétacé

*Les directions majeures :*

- La direction NE-SW (N030°-055°).
- La direction NNW-SSE (150°-N175°).

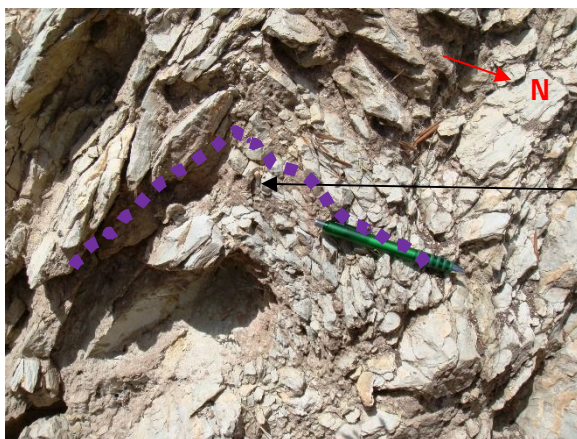
*Les directions de faibles longueurs :*

- La direction E-W (N80°-N110°).
- La direction NW-SE (N130°- N150°).



- **Les plis**

Ils sont surtout visibles dans les faciès marno-calcaires du Crétacé. Ils présentent une linéation d'étirement de l'axe (E-W) sur les flancs (photo.9).



Pli dont l'axe est de direction E-W.

Photo.9 : Pli affectant les formations du Crétacé

#### 1.4.2.3 INTERPRÉTATION DES PHASES TECTONIQUES

Les travaux antérieurs dans la région ont révélé l'existence de trois directions principales des accidents.

- ✓ ***Les directions Nord-Sud***

Elles pourraient correspondre aux failles normales inversées au Néogène induites par la compression Néogène N-S senestre ou NNW-SSE senestres qui appartiendraient à la phase tortonienne. Cette direction est très répandue dans les formations néogènes post-nappes.

Cette phase compressive qui a débuté à la fin du Tortonien et qui se poursuit jusqu'à l'heure actuelle, est responsable d'une part, de la surélévation de l'Atlas de la Mitidja (Glangeaud, 1932) et d'autre part, de la fermeture des bassins néogènes post-nappes et de leur plissement.

- ✓ ***Les directions est-ouest***

Ce sont les directions majeures, responsables de la structuration de l'Algérie septentrionale.

Elles correspondent aux grands accidents plats allongés E-W et à l'origine du charriage des unités. D'après Belhaï 1987, dans le Chenoua la direction E-W est d'âge éocène terminal.

Il attribue ces cisaillements E-W senestres à un âge post-crétacé inférieur et anté-Sénonien qui seraient liés à une contrainte orientée NE - SW.

Sur le terrain anté Oligo- Miocène (Dorsale) la direction E-W est probablement liée à la phase éocène terminale et à la phase du Miocène moyen. Par contre, les terrains néogènes post-nappes sont affectés uniquement par la phase du Miocène moyen.

✓ **Les directions NE – SW et NW – SE :**

Ces directions correspondent au réseau conjugué (NE – SW) senestre et (NW – SE) dextre et sont engendrées par la contrainte N-S d'âge Miocène inférieur qui, parfois, peut induire des failles normales ou inverses. Cette contrainte affecte aussi les terrains anté-miocènes.

Cette phase du Miocène inférieur est responsable du glissement gravitaire des nappes vers le Sud.

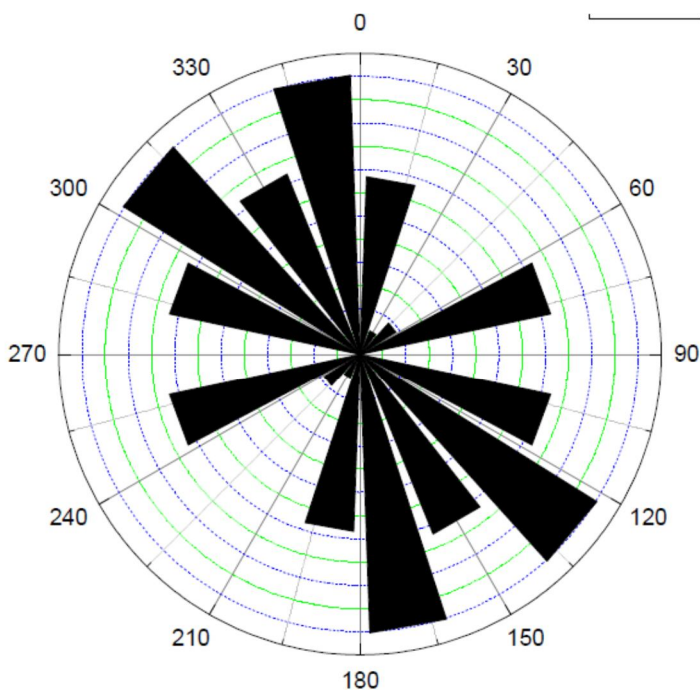


Fig. 8 : Rosace directionnelle de la fracturation régionale

## 1.5 SISMOTECTONIQUE

Vu l'histoire géologique de la zone d'étude, l'aléa sismique est probable, elle appartient au grand système actif de faille délimitant les plaques africaine et eurasiatique et a enregistré une intensité maximale de VII (carte CGS).

Plusieurs structures identifiées dans les zones d'étude. D'après les figures 9 et 10, notre site est entouré par un réseau de failles actives qui est susceptible d'être réactivé dans le modèle de contrainte du jour présent.

La faille de Chenoua est de direction NE-SO, délimite le massif de Chenoua au Sud et prolonge vers la mer. Cette dernière a causé le déclenchement de deux séismes, celui de 29 octobre 1989 (séisme de Chenoua, Ms=6,0) et l'autre de 09 février 1990 (Séisme de Tipaza, Ms= 4,9) qui ont donné des informations relatives à la géométrie de cette faille active. Les répliques de ces deux cas suggèrent deux plans de failles parallèles orientés NE-SO, descendant vers NO avec un pendage d'environ 45° (Maouche, 2000). Les mécanismes focaux de ces deux derniers confirment la mise en place des failles inverses au niveau des plans de failles descendant vers le NO avec un pendage de 45°. L'exploration bathymétrique par la croisière scientifique en mer MARADJA de la cote algérienne, qui a été effectuée récemment dans plusieurs reprises (Domzig et al, 2005), les travaux d'exploration ont montré l'extension de cette faille d'environ de 45km à l'ouest d'Ain Benain.

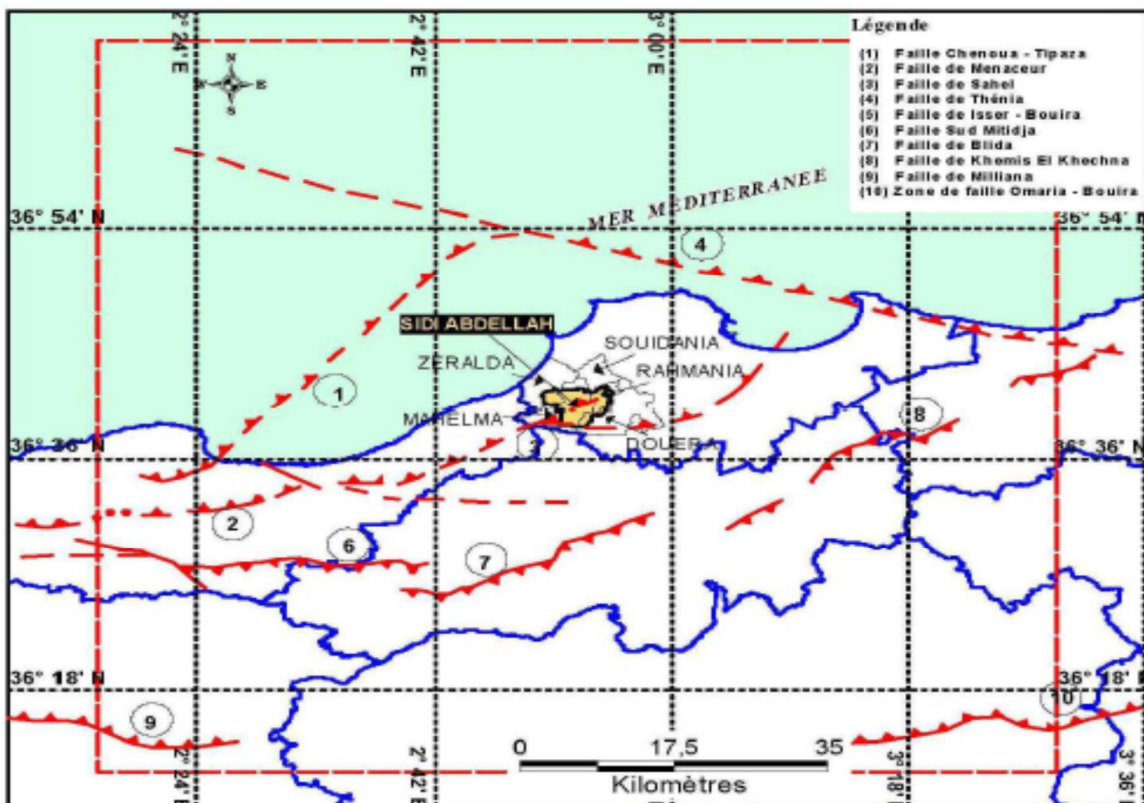
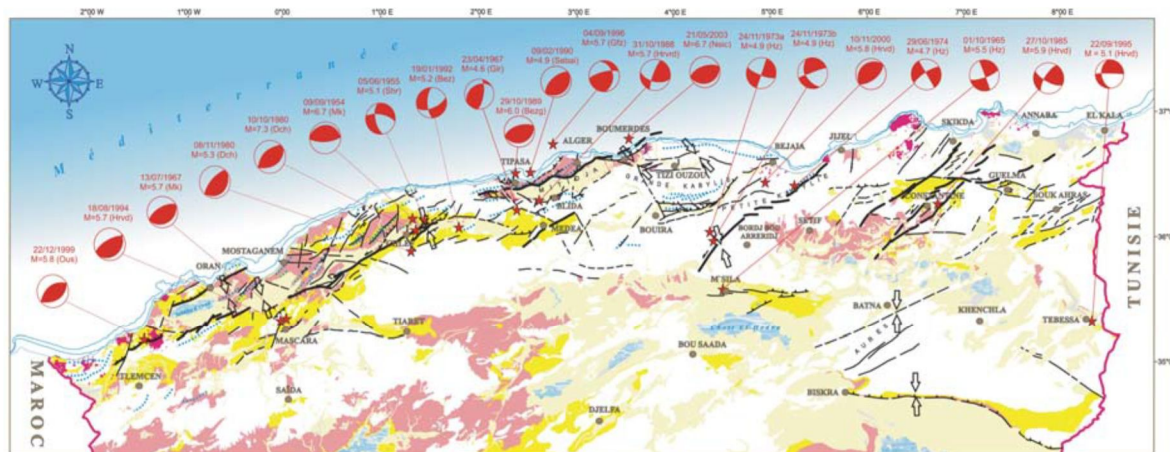


Fig. 9 : Carte interprétée des failles actives (sismogènes) (Géomatix ,1998 ; CGS, 2009)



**Légende:**

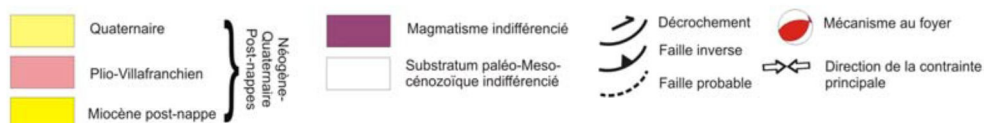


Fig. 10 : Carte sismotectonique du nord d’Algérie. Mécanismes au foyer des principaux séismes ayant secoué l’Algérie et structures actives du Nord algérien (Carte inédite établit par le laboratoire sismotectonique du CRAAG, Djellit et al)

### I.6 OBJECTIF DE L’ÉTUDE

Ce projet de cartographie qui fait appel aux nouvelles techniques de l’information et de la télédétection permet de :

- Identifier les zones à risque, en définissant la nature des formations géologiques.
- Définir le contexte structural, et comprendre son rôle dans le fonctionnement du glissement de terrain.
- Fournir un outil d’aide à la décision pour les gestionnaires et les planificateurs.

### III. MÉTHODOLOGIE

Les différentes méthodes de cartographie de la susceptibilité et de l’aléa ‘mouvement de masse’ ont été développées depuis les années 1970 pour faire face à des problèmes pratiques d’aménagement (Kienholz, 1978 ; Brabb et al, 1979, Carrara et al, 1979).

La méthodologie adoptée pour atteindre les objectifs s’articule autour des axes suivants :

## **II.1 COLLECTE DES DONNÉES DISPONIBLES**

Cette étape est indispensable en cartographie d'aléa, elle concerne la collecte des données géologiques, géotechniques (cartes géologiques, notices, publications, ouvrages, thèses, revues, notes...)

## **II.2 L'ORTHORECTIFICATION**

L'orthorectification est un processus de transformation de l'image acquise dans une géométrie d'imagerie particulière en une projection orthogonale très précise. Il n'est pas possible de géocoder une image d'un terrain accidenté et le corréliser avec des données satellites prises par d'autres capteurs utilisant une géométrie différente. Afin d'orthorectifier l'imagerie, un modèle de transformation est nécessaire qui prend en compte les différentes sources de distorsion d'image générées lors de son acquisition. Ceux-ci comprennent ; l'orientation du capteur, le relief topographique, la forme et la rotation de la Terre, les variations de l'orbite, attitude du capteur et l'erreur systématique associée au capteur.

C'est une opération nécessaire qui consiste à ré-échantillonner tous les pixels de l'image afin de la rendre superposable à une carte topographique. Le ré-échantillonnage des pixels est réalisé en fonction de l'orientation de la caméra et du modèle numérique de terrain de la zone d'étude.

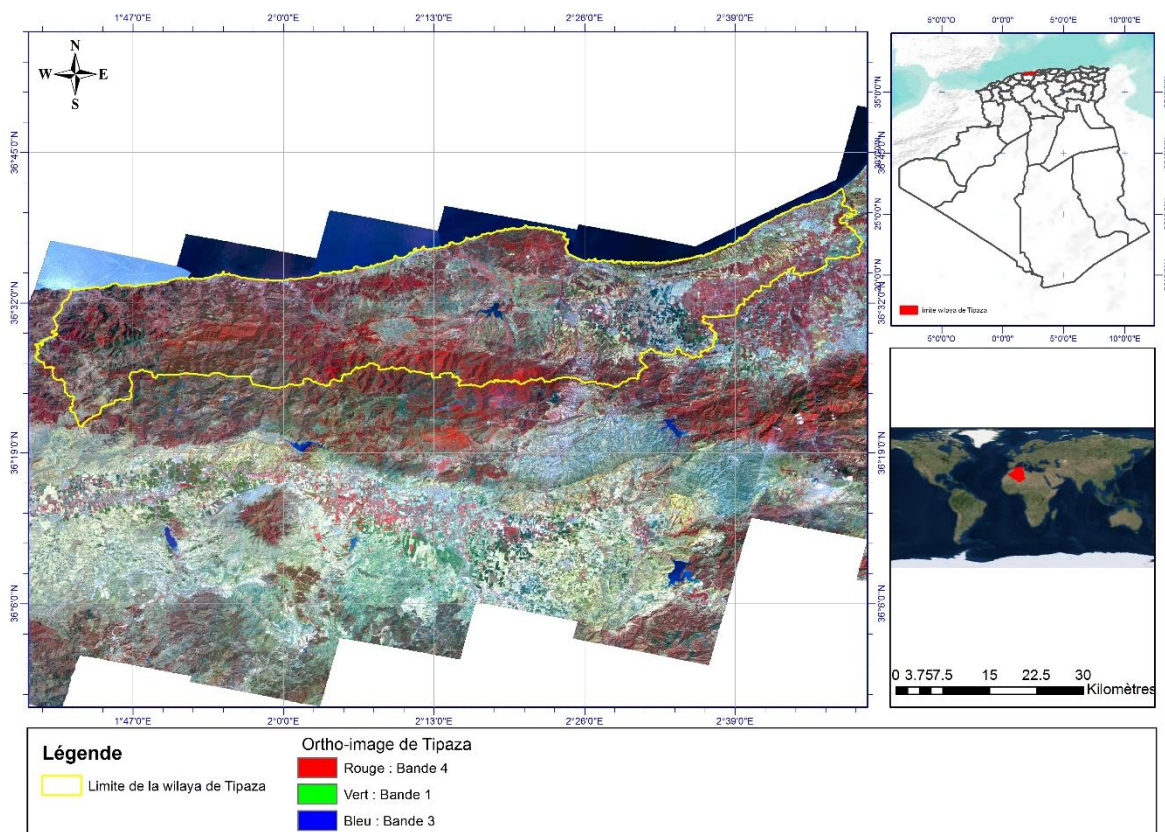


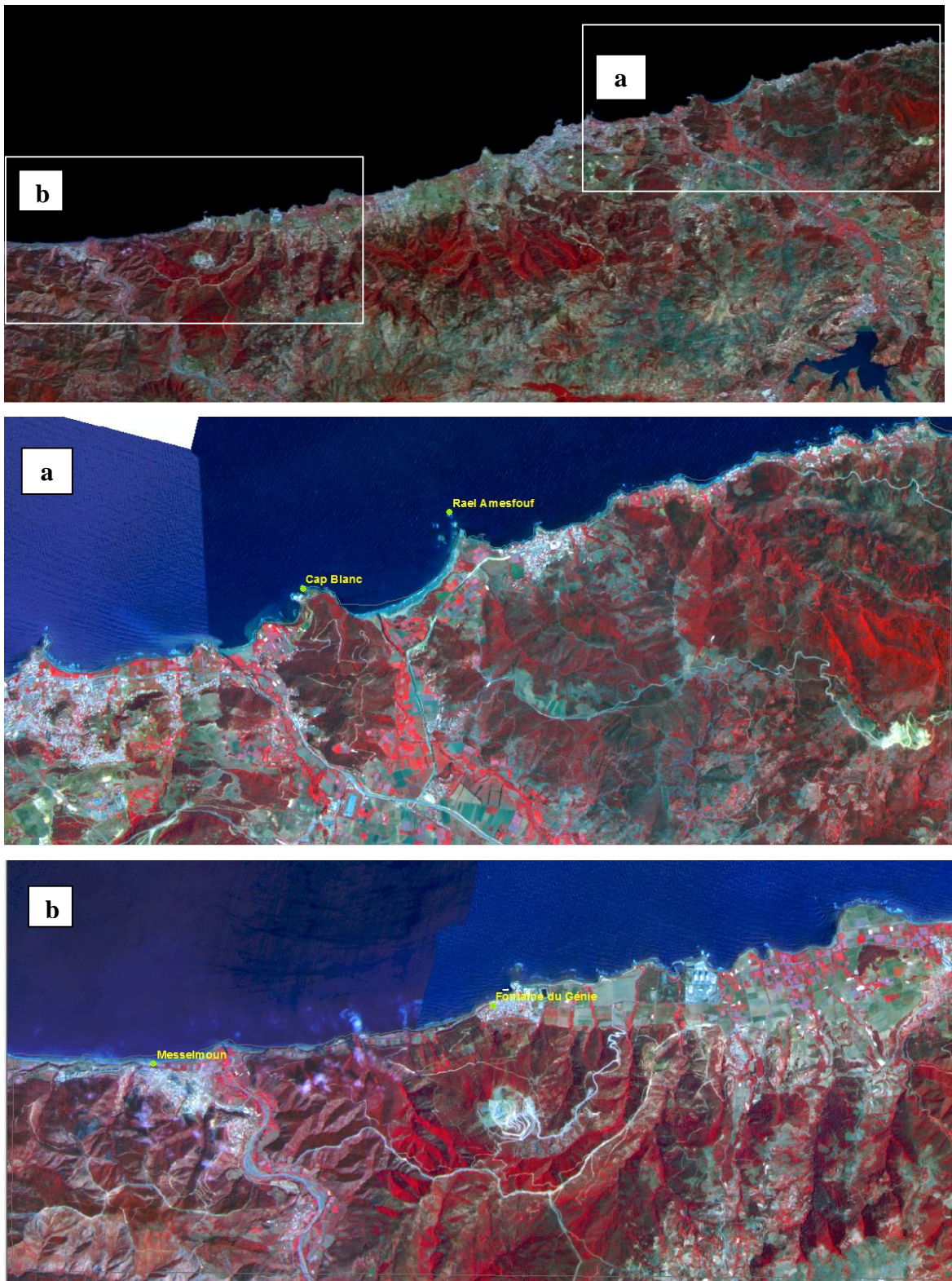
Fig. 11 : Ortho images Alsat2A en RVB : 413

Cette opération a été effectuée en utilisant le logiciel ERDAS IMAGINE 9.1 des Ortho-images ont été produites avec une résolution de 10m.

### II.3 TRAITEMENT ET INTERPRÉTATION DES IMAGES SATELLITES

Un ensemble d'images satellites de différentes dates et de différentes sources a été utilisé, son traitement, interprétation, et analyse nous a permis l'extraction de l'information géologique, géomorphologique, structurale, hydrologique, occupation du sol...

Des images de type Alsat2 orthorectifiées, en UTM WGS84 disponibles en quatre bandes (bandes 1, 2, 3,4), ont été utilisées, elles sont riches en information spectrale et spatiale ayant une résolution de 2.5m en mode panchromatique et 10m en mode multispectral. Elles ont subi un ensemble de traitement, dont le plus usité, sont :



(a, b) : Zoom en avant sur l'image satellite  
Fig.12 : Image Alsat2 orthorectifiée en trichromie 413

### II.3.1 ÉTALEMENT DE LA DYNAMIQUE

Ce traitement préliminaire est réalisé séparément avant la réalisation des compositions colorées ou en interactives au nomment de la création des compositions colorées. Cette technique d'amélioration numérique améliore les contrastes entre les couleurs et permet de mieux distinguer les formations qui affleurent pour obtenir une meilleure différenciation des caractéristiques des glissements des terrains.

### II.3.2 ANALYSE EN COMPOSANTE PRINCIPALE

C'est un traitement dérivé des méthodes statistiques et appliqué aux images de télédétection. Ce traitement nécessite plusieurs canaux en entrée (au moins 3) et permet en sortie de supprimer les informations redondantes. Les images résultantes en sortie du traitement sont appelées pseudo-canaux. On peut réaliser des Compositions colorées entre les pseudo-canaux adéquats.



Fig. 13 : Analyse en composante principale ACP4, ACP1 ; ACP3

### II.3.3 RAPPORT ENTRE CANAUX

C'est un traitement indispensable en télédétection appliquée à la géologie. Ce type de traitement permet d'accroître l'écart radiométrique entre les objets géologiques ayant des réponses radiométriques très proches. Cela permet de distinguer des objets difficilement observables sur les images brutes.

### II.3.4 TRAITEMENT RGB EN ITS

Traitement fort intéressant en géologie, car il permet de substituer le canal intensité par un autre canal pour simuler une composition colorée avec 4 canaux.



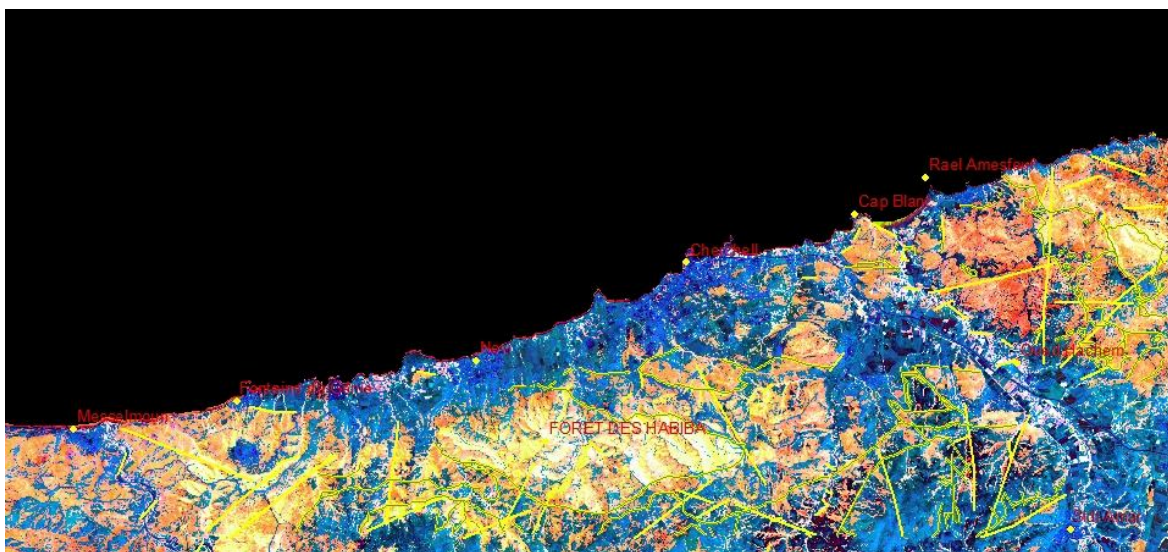


Fig. 14 : Conversion RGB en ITS (Intensité, Teinte, Saturation)

### II.3.5 AMÉLIORATION SPATIALE PAR FUSION D'IMAGE

L'amélioration de la résolution spatiale des images multispectrales est possible grâce à la fusion d'images, l'image résultante de cette fusion aura la meilleure résolution spatiale, et ceci grâce à la meilleure définition spatiale de la bande panchromatique et garde la résolution spectrale portée par les différentes bandes qui composent l'image multispectrale de départ.

### II.3.6 FILTRAGE

Ce traitement vise à extraire et à mettre en évidence le réseau linéaire et les discontinuités structurales (dykes, failles, linéaments et fractures), pour ce faire des filtres directionnels ont été appliqués. Cette opération consiste à faire ressortir toute structure linéaire d'origine géologique (linéaments, failles, dykes, limites lithologiques...) représentée sur les images satellites.

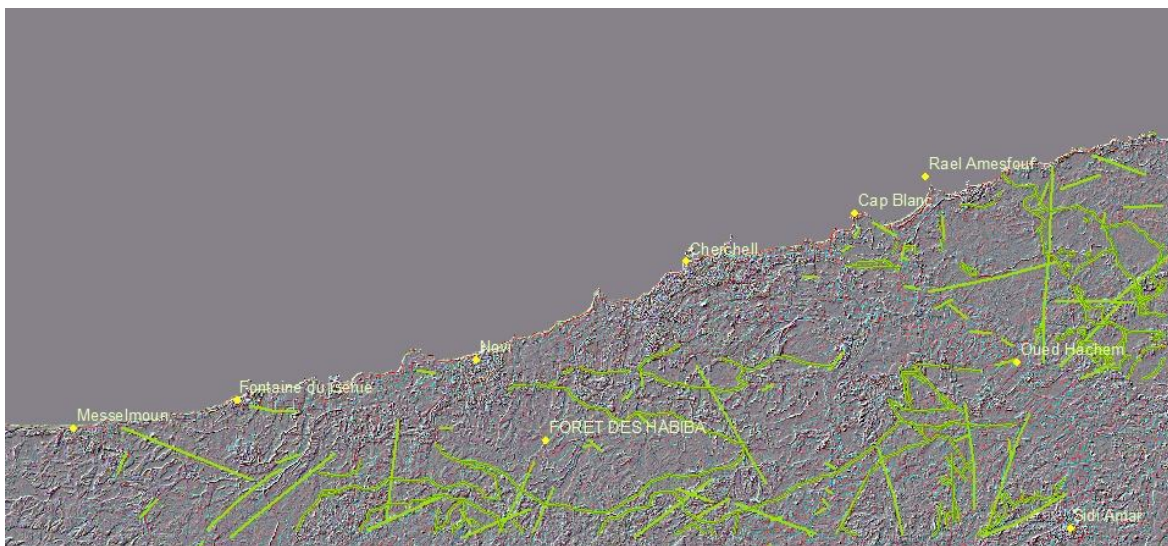
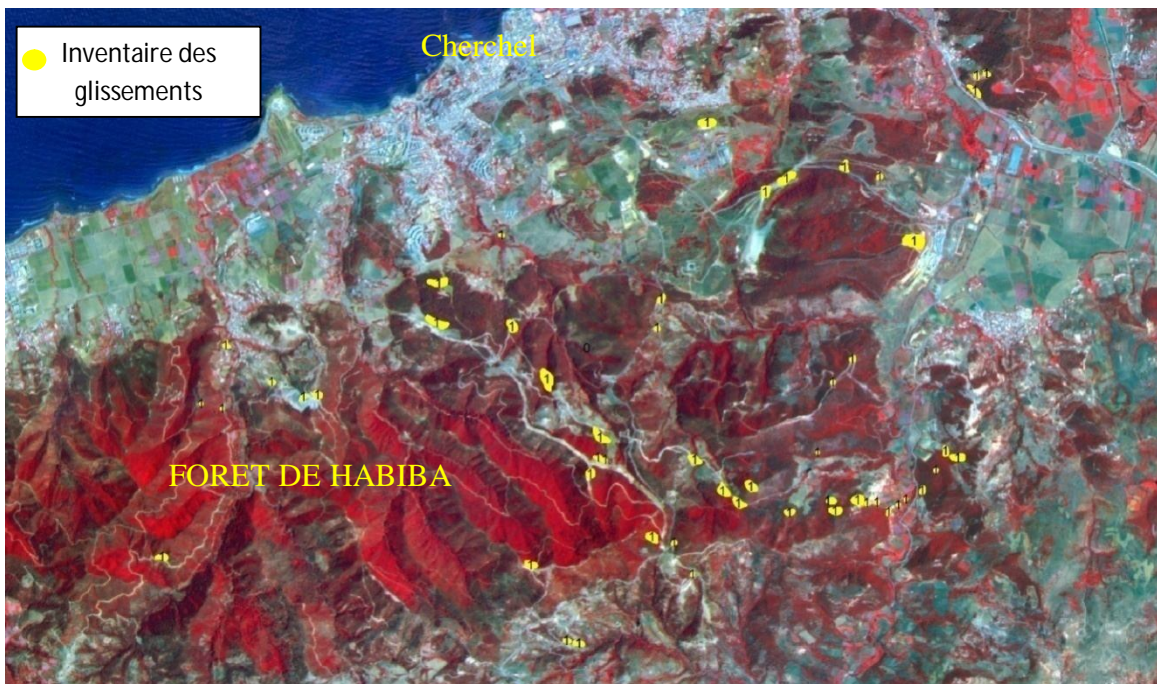


Fig. 15 : Filtrage directionnel

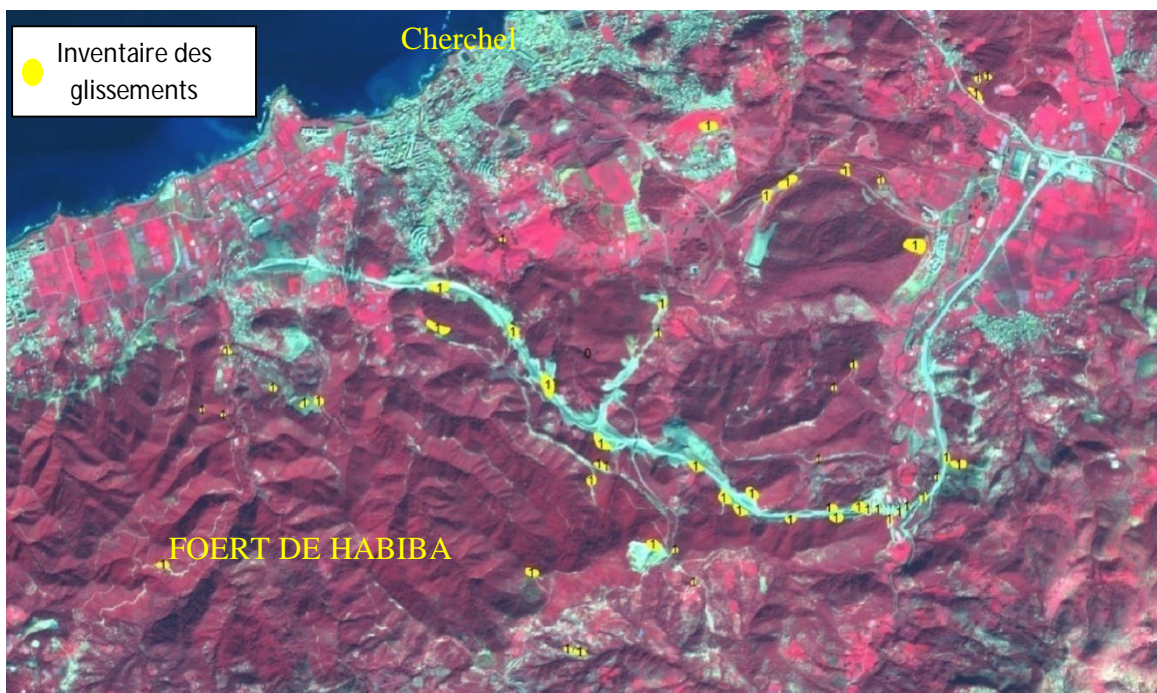
#### II.4 DISCRIMINATION SPECTRALE DES GLISSEMENTS DE TERRAIN

Dans la présente zone d'étude, la plupart des grands glissements de terrain peuvent être discriminés principalement sur la base de la différence de tonalité (Ton, teinte) due à l'exposition de la roche fraîche et débris. L'exposition de la roche fraîche et les débris associés avec des glissements de terrain actifs montrent une valeur radiométrique DN (digital number) très élevée par rapport aux glissements inactifs et vieux. Il a été observé que les glissements les plus actifs montrent des valeurs radiométriques (DN value) plus élevées.

La figure suivante montre la gamme de DN valeurs des glissements de terrain actifs et anciens sur l'image satellite au on constate une différence significative entre deux catégories de glissements basés sur l'activité (Fig.16).



(a) Trichromie d'image Alsat 2A (413) acquise en 2015



(b) Trichromie d'image Sentinel (843) acquise en 2018

Fig. 16 : Identification des glissements à partir des images satellites

## II.5 MODÉLISATION D'ALEA GÉOLOGIQUE

L'exploitation des données numériques des images satellites acquises par le satellite algérien ALSAT2, des données vectorielles géoréférencées (Lithologie, fracturation, réseau hydrographique...), des données topographiques, ainsi que les données historiques

des évènements déjà enregistrés. Ce type de données a été collecté auprès d'établissements étatiques et privés qui vont être exploités pour mieux cartographier les zones d'instabilité de terrain.

Cette méthode repose sur le calcul de densité de phénomène par facteur. Un ensemble de couches comme donnée d'entrée doit être utilisé par l'outil SIG. Par les différentes techniques, les pondérations peuvent être calculées passant par les démarches suivantes :

- Classification des différents paramètres rentrant à la détermination de la carte d'aléa.
- Croisement des différents paramètres reclassés avec la carte d'inventaire des glissements pour obtenir le taux de densité de ce phénomène.
- Calcul de pondération
- Affectation de pondérations à chaque facteur et combinaison suivant des règles de décisions (addition, multiplication ...) et enfin classification des résultats obtenus selon un nombre de classes précis suivant les différentes méthodes de discrétisations en cartographie, et validation des cartes par comparaison avec la carte d'inventaire.

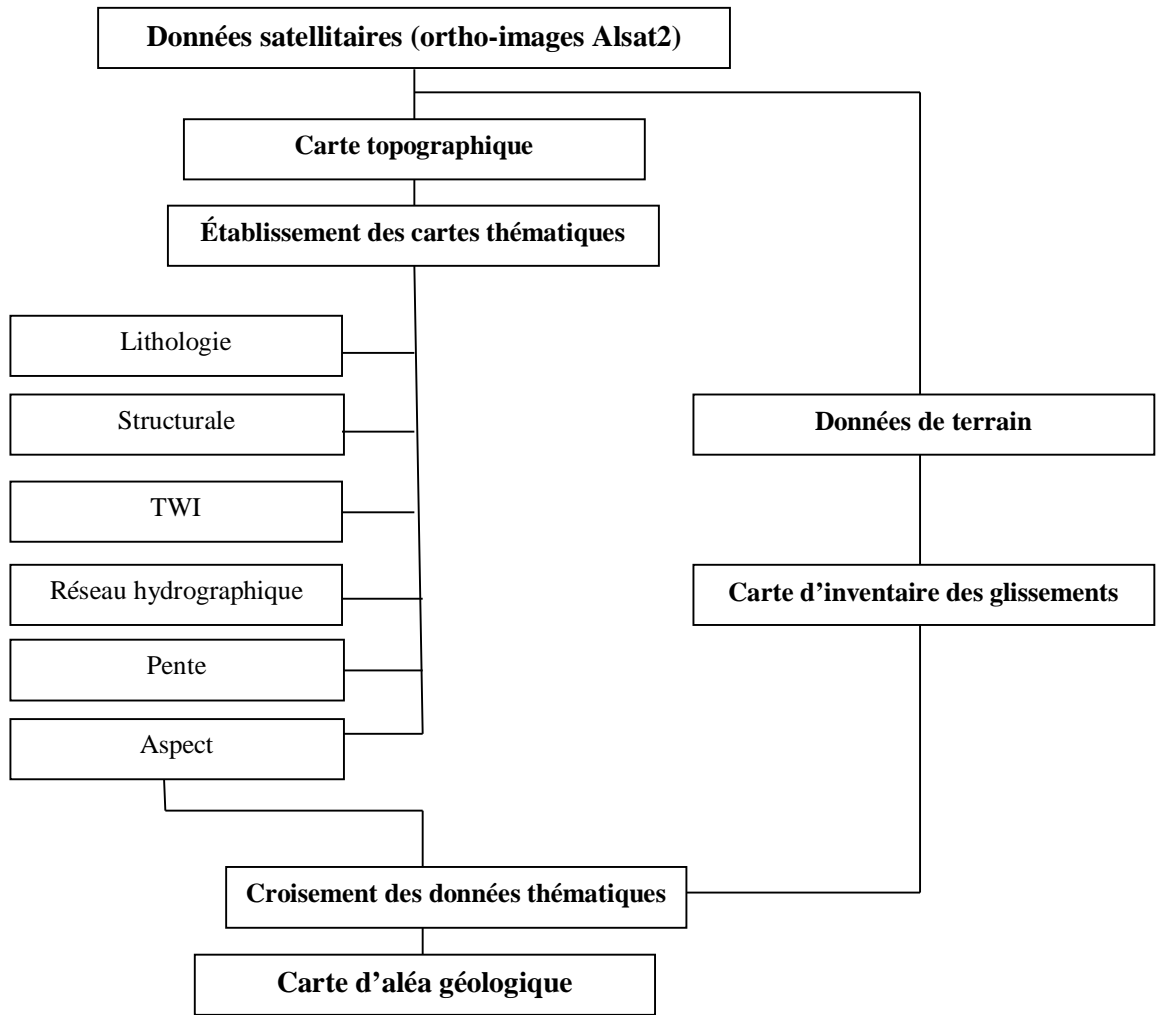


Fig. 17 : Organigramme de la méthodologie adoptée

### II.5.1 APPROCHE PAR PONDÉRATION DE L'INFORMATION (INFORMATION VALUE MODEL)

C'est une approche introduite par Yin et Yan en 1988, elle repose sur la densité de phénomène de glissement par facteur. Les pondérations se calculent par le logarithme (Eq.1) de la densité par paramètre divisée par la densité sur la surface totale (Jarde et Sarkar, 1993) :

$$Eq.1 : W_i = \log (S_i/N_i)/(S/N)$$

Où

$S_i$  : est la surface de la classe  $i$  qui a glissé

$N_i$  : est la surface de la classe  $i$

$S$  : est la surface totale qui a glissé

N : est la surface totale de la zone étudiée

La robustesse de ce modèle est évaluée grâce à la détermination des taux de réussite et taux de prévision (Yin et Yan, 1988 ; Chung et Fabbri, 2003 ; Zezere, et al, 2004).

## II.5.2 PROBABILITÉ TEMPORELLE

La probabilité temporelle d'un phénomène naturel est définie comme étant la fréquence de son occurrence, elle correspond à la période de retour de sa mise en mouvement. Il a été constaté que la plupart des glissements qui ont eu lieu dans zone d'étude durant les dernières années est due à de fortes précipitations. Les scénarios fluviaux identifiés ont été la cause principale de déclenchement de la plupart de mouvement de masses, ceux-ci ont servi à calculer la probabilité d'occurrence temporelle.

La probabilité est calculée selon la formule suivante :

$$P=1-[1-(T_{\text{affectée}}/T_i)*Pr]$$

Où

P<sub>i</sub> : la probabilité de la classe de susceptibilité i

T<sub>affectée</sub> : la surface totale de la zone qui va glisser

T<sub>i</sub> : la surface de la classe de susceptibilité i

Pr : la valeur prédictive de la classe de susceptibilité

## II.6 INVENTAIRE DES GLISSEMENTS DE TERRAIN

L'étape de l'inventaire est indispensable, car constitue la source d'information de base de toute analyse spatiale, permettant de calibrer et/valider les modèles (Guzzetti et al. 1999).

Elle s'effectue par l'interprétation des images satellites Alsat2 et Sentinel acquises respectivement en 2015 et 2018 afin de les orthorectifier pour avoir une haute précision planimétrique qui est de l'ordre de quelques mètres.



(a) Chaussé dégradé et incliné



(b) Route hors usage



(c) Effet induit sur les versants



(d) Effet induit sur les versants



(e) Dégât aux habitations après le glissement

Photo.10 : Conséquence du mouvement de terrain (a), (b), (c), (d)

L'identification de certains sites affectés par des glissements est possible, grâce à la résolution qu'offrent les images qui nous ont permis de délimiter ces derniers avec précision. Il s'agit des glissements rotationnels dans la plupart des glissements inventoriés, un total de 95 glissements, a été inventorié et cartographié dans la zone d'étude(Fig.18).

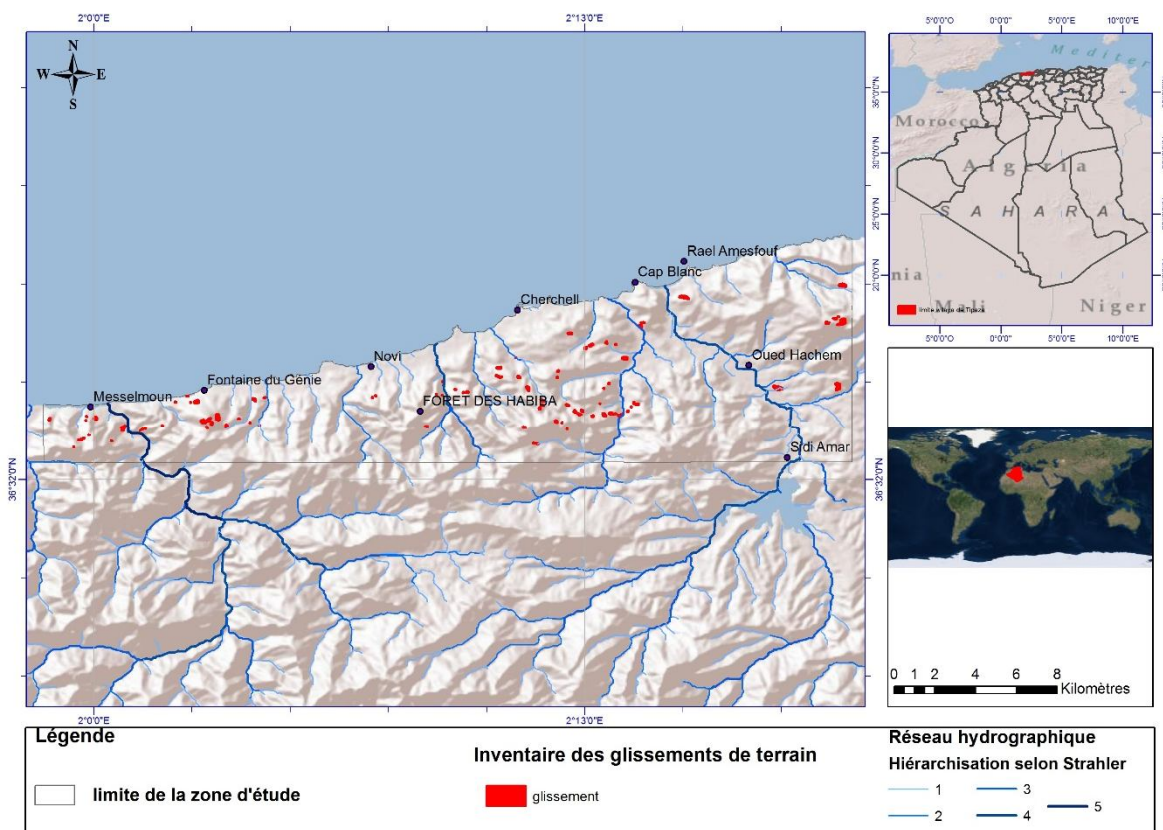


Fig. 18 : Carte d'inventaire des glissements de terrain

## II.7 CONCEPTION D'UNE BASE DE DONNÉES D'ALEA GLISSEMENT DE TERRAIN

Une modélisation d'aléa glissement de terrain est menée par l'utilisation de l'approche statistique (valeur informative) qui combine la pondération des différentes classes de différents paramètres rentrant à la détermination des zones instables. À cet effet, une base de données complète en termes de donnée lithologique, structurale, topographique et hydrologique a été établie.

### II.7.1 LA LITHOLOGIE





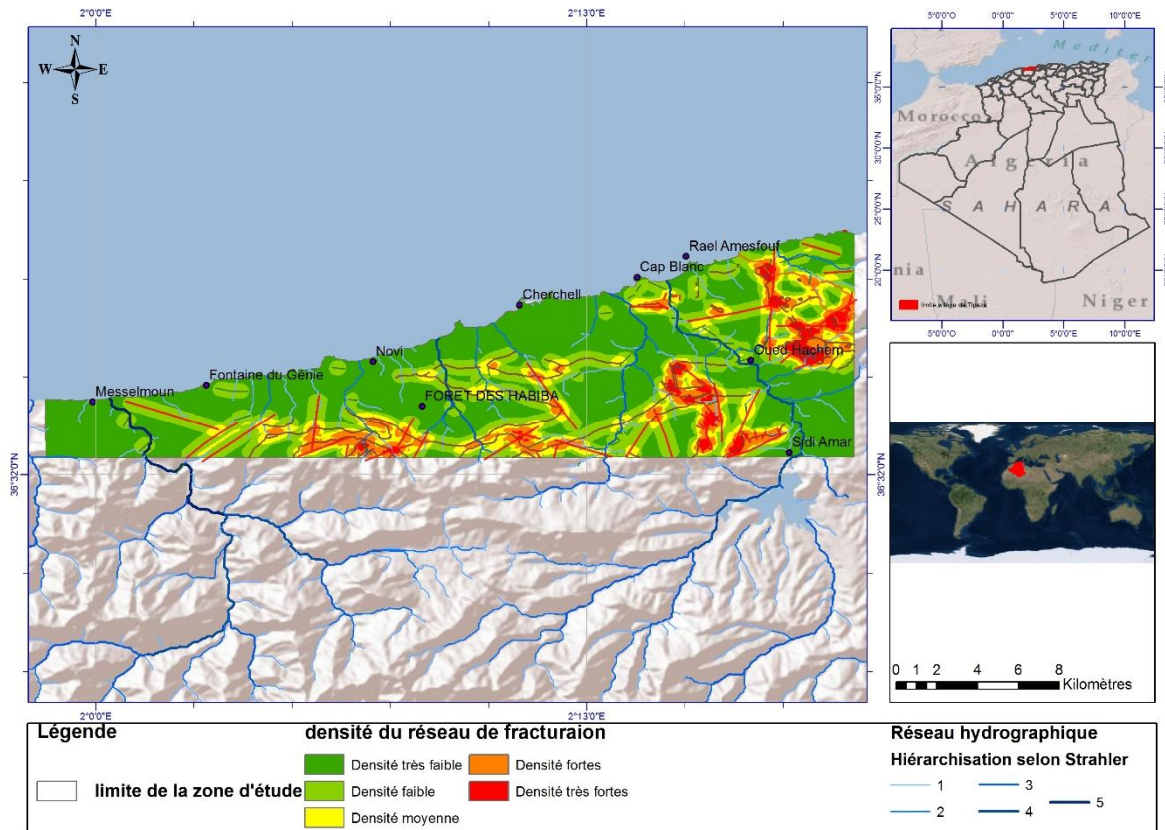


Fig. 20: Carte de densité du réseau de fracturation de la zone étudiée

La considération de l'activité sismique pour la prédiction des glissements de terrain se traduit souvent par la prise en compte de l'accélération sismique (Van Westen et Terlien, 1996 ; Luzi et Pargalani, 1996 ; Jibson et al. 2000 ; Lin et Tung, 2004) et (ou) de la proximité des failles (Pachauri et Pant, 1992 ; Donati et Turrini, 2002 ; Süzen et Doyuran, 2004).

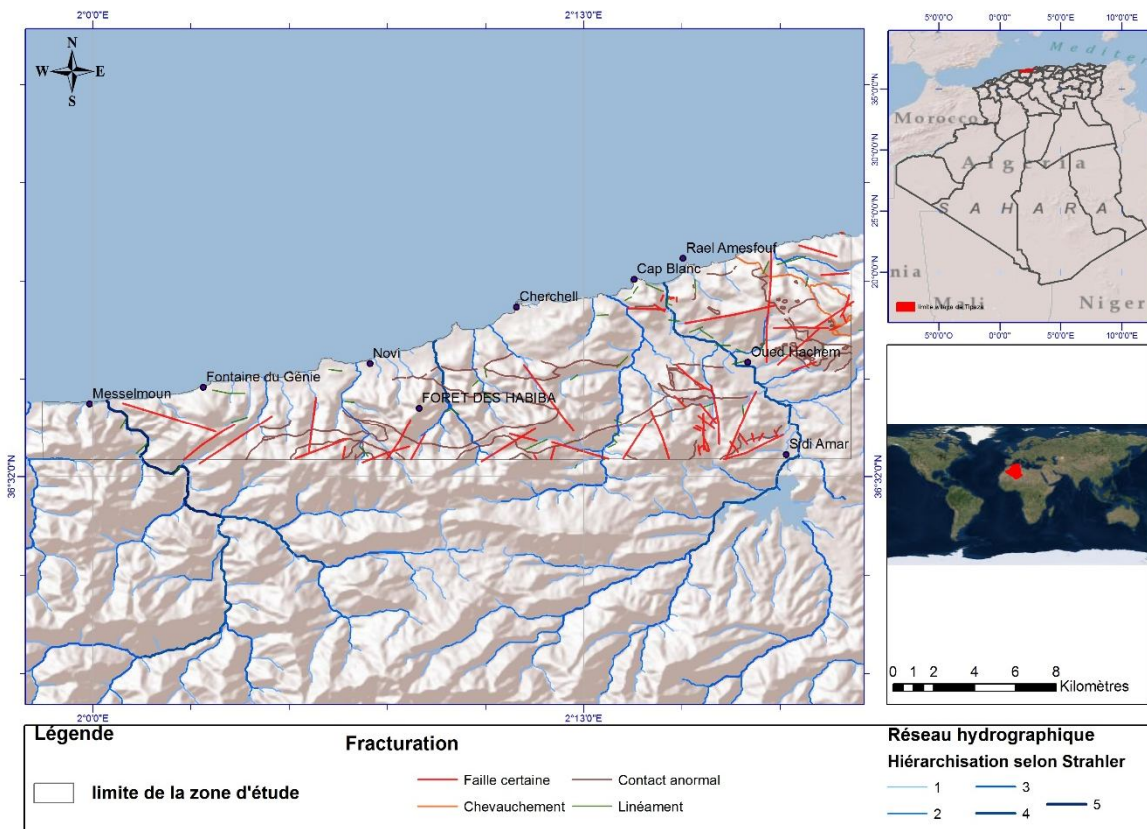


Fig. 21 : Carte du réseau de fracturation du secteur d'étude

### II.7.3 MODÈLE NUMÉRIQUE DE TERRAIN MNT

Les modèles numériques ont été utilisés pour faire ressortir les paramètres morphométriques des glissements. L'analyse de ces modèles dans un but hydrologique inclut des difficultés de l'extraction du réseau de drainage lorsqu'ils contiennent des régions plates ou des dépressions fermées (Hutchinson et Dowling, 1991 ; Jenson, 1991 ; Moore et al 1991). Ces dépressions peuvent résulter d'éléments naturels ou d'erreurs de données (Goodchild et Mark, 1987 ; Jonson et Dominique, 1988 ; Hutchinson, 1989). Afin d'éviter de type de problème, les MNT's ont été corrigés en comblant toutes les dépressions (Jenson, 1991 ; Tarboton et al, 1991).

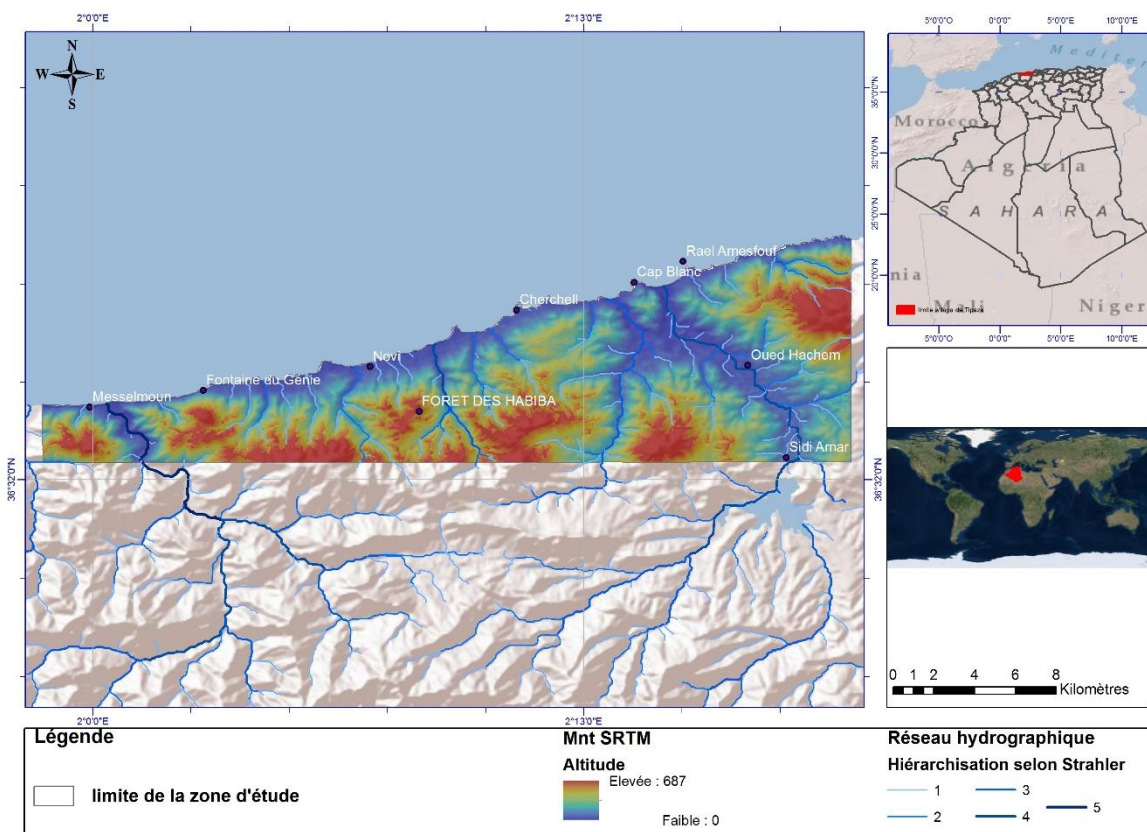


Fig. 22 : Modèle numérique de terrain de la zone d'étude (MNT Aster)

L'altitude est considérée comme étant une des variables les plus exploitées dans l'étude des glissements de terrain, elle est obtenue directement en utilisant les MNT's, mesurée en mètres au-dessus di niveau moyen marin en nombre réel, varie entre 0 et 687m, elle décrit la régousité de la surface terrestre. (Fig.22).

#### II.7.4 LA PENTE

La pente représente la variation maxiamele de l'altitude à chaque pixel ou la dérivée première de l'altitude (Moore et al, 1991). C'est une composante essentielle de l'analyse de la stabilité des versants, elle est liée directement au potentiel gravitationnel (contrainte de cisaillement) à laquelle sont soumis les matériaux. Les pentes influencent directement la susceptibilité en agissant sur la direction, l'importance et la vitesse de l'écoulement de surface et du drainage de subsurface et par conséquent sur les processus de l'érosion (Moore et al, 1991, Etzelmuller et al, 2001 ; Gabet et al, 2004).

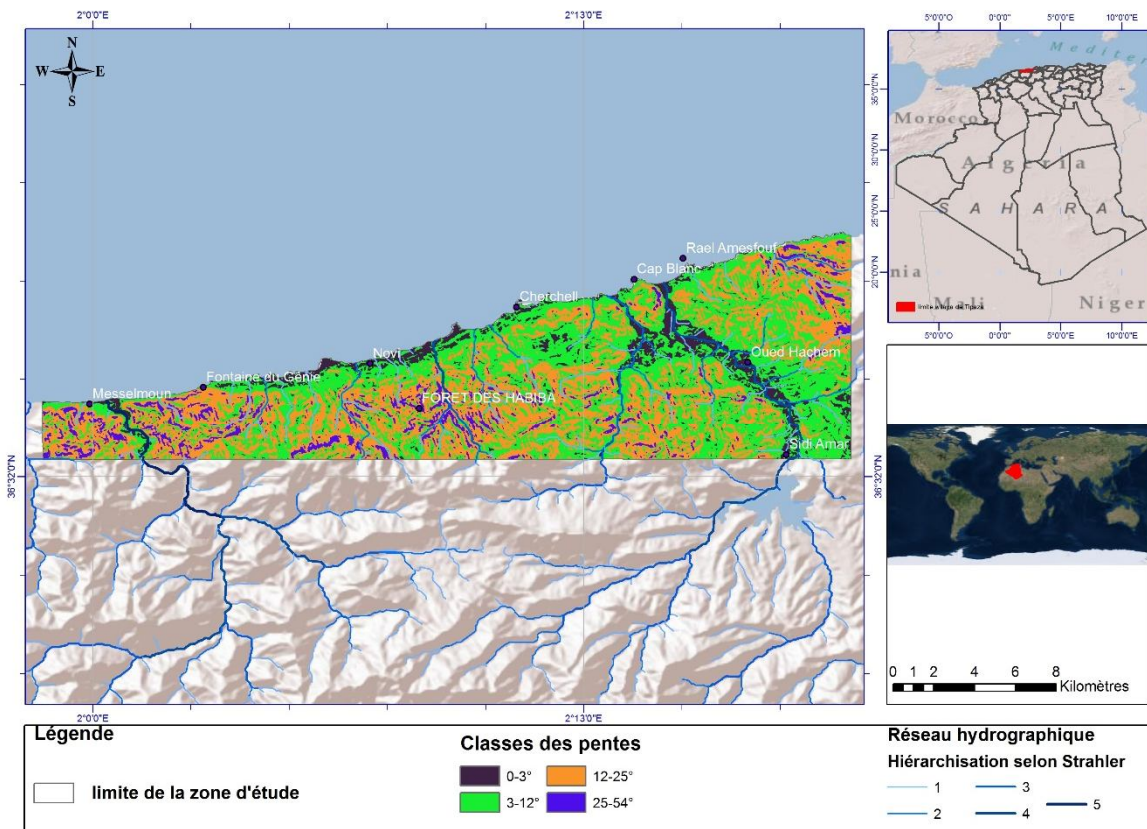


Fig. 23 : Carte des différentes classes de pente de la zone étudiée

La carte des pentes extrait du modèle numérique de terrain SRTM à 30m de résolution reflète clairement la prédominance de la classe de pente 3% à 12% avec 44.65% de la superficie de la zone étudiée, en suite les classes 12° à 25°, moins de 3° et plus de 25° avec respectivement 39.94%, 09.50%, 05.89% (Fig.23) et (Fig.24).

Classe de pentes (%)	type	Superficie (ha)	Superficie (%)	Unités morphologiques correspondantes
Moins de 3°	Faible	1951.42ha	09.50%	Plaine
De 3° à 12°	Moyenne	9165.05ha	44.65%	Bas piémont
De 12° à 25°	Forte	8198.27ha	39.94%	Haut piémont
Plus de 25°	Très forte	1209.92ha	05.89%	Les montagnes
<b>Total</b>	/	20524.86ha	100%	/

Tab. 4: Répartition des classes des pentes dans la zone d'étude

La pente est calculée à partir des altitudes ou une valeur de pente est attribuée à chaque pixel au niveau de son plan centré.

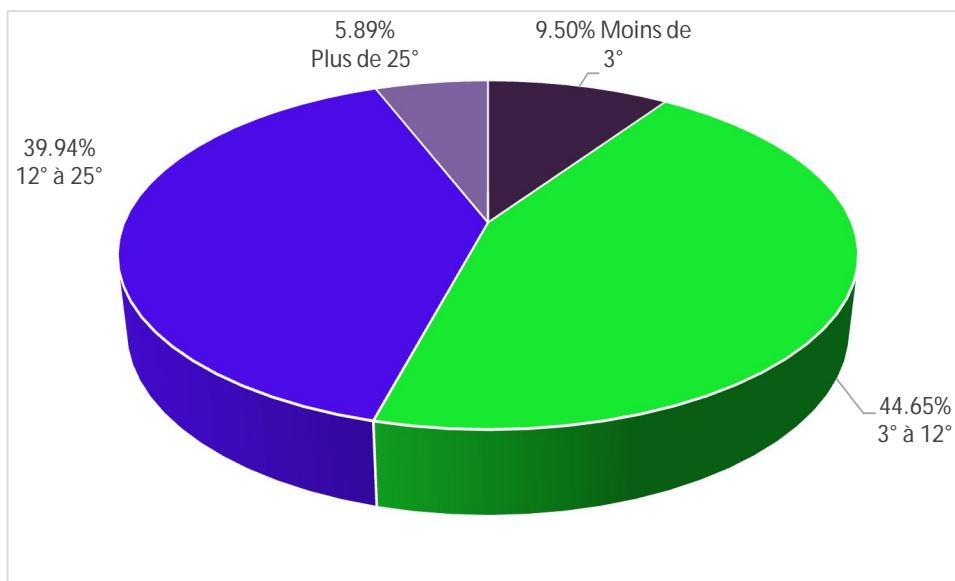


Fig. 24 : Diagramme camembert présentant le pourcentage de chaque classe de pente

Ce plan est ajusté selon les altitudes d'une grille de dimensions 3x3 contenant le pixel concerné et ses 8 pixels voisins. Elle est exprimée en degré.

## II.7.5 L'EXPOSITION DES VERSANTS

Les propriétés physiques de la pente sont influencées par l'exposition et par conséquent sur la susceptibilité au glissement. Le rayonnement solaire (la rétention de l'humidité) et la végétation peuvent influencer par l'orientation des pentes qui influencent à leur tour la résistance des sols et l'instabilité des versants.

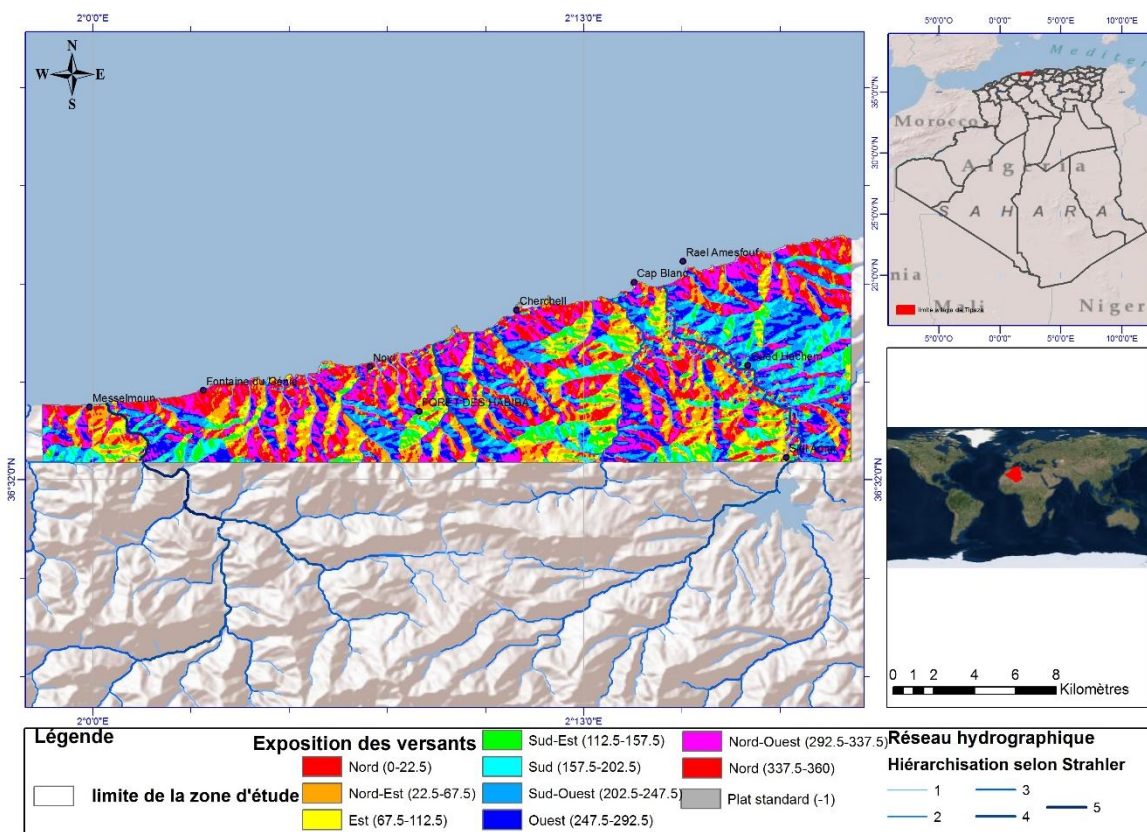


Fig. 25: Carte d'exposition des versants de la zone d'étude

L'évaluation de l'orientation se fait à l'aide de logiciel ArcGis ou une direction d'un plan ajusté pour le calcul de la pente est attribuée à chaque pixel. Ces différentes directions sont calculées en nombre réel de 0 à 360° à partir du Nord dans le sens horaire (Fig.25).

## II.7.6 LA PROXIMITÉ AU RÉSEAU DE DRAINAGE

Plusieurs travaux ont montré l'importance du réseau hydrographique à l'évaluation du mouvement de masse tels que Dai et Lee 2001, 2002, Suzen et Doyuran 2004, ou ils ont montré l'influence du réseau de drainage sur la répartition des mouvements de masse.

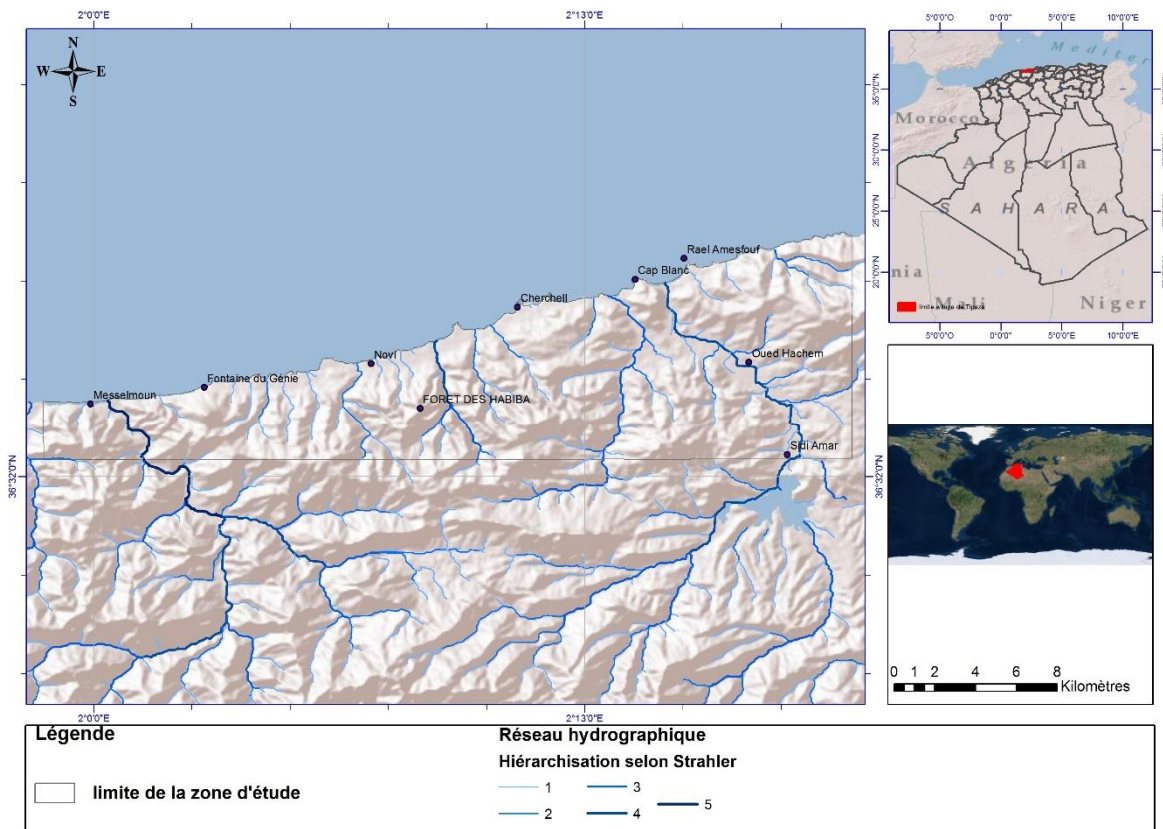


Fig.26 : Réseau hydrographique de la zone d'étude

Ceci se traduit par les modifications du paysage provoquées par l'érosion ravinante peuvent provoquer l'initiation des ruptures de pente. Le réseau hydrographique de notre zone a été extrait automatiquement d'un modèle numérique de terrain de 30m de résolution. (Fig.26).

### II.7.7 OCCUPATION DU SOL

Cette couche d'information a été obtenue par classification des images satellites (Alsat2), de 10m de résolution ou un ensemble de classes a été identifié avec 50.91% de forêt dense, 23.58% des zones agricoles, 22.79 de forêt claire, 2,60% de bati et 0,12 % de plan d'eau. (Fig.27) et (Fig.28).

Les études effectuées ont mis en évidence l'apport de la végétation sur la susceptibilité des glissements et particulièrement lorsque les changements d'affectation interviennent (Jakob, 2000 ; Guthrie, 2002 ; Glade, 2003). La végétation est responsable d'effets mécaniques et hydrologiques généralement bénéfiques à la stabilité des pentes (Greenway, 1987 ; Selby 1993). Le balancement des arbres au vent peut avoir un effet



néгатif sur la stabilité des pentes raides, mais cette influence reste très localisée (Selby, 1993). Les arbres augmentent aussi la surcharge et donc la contrainte normale.

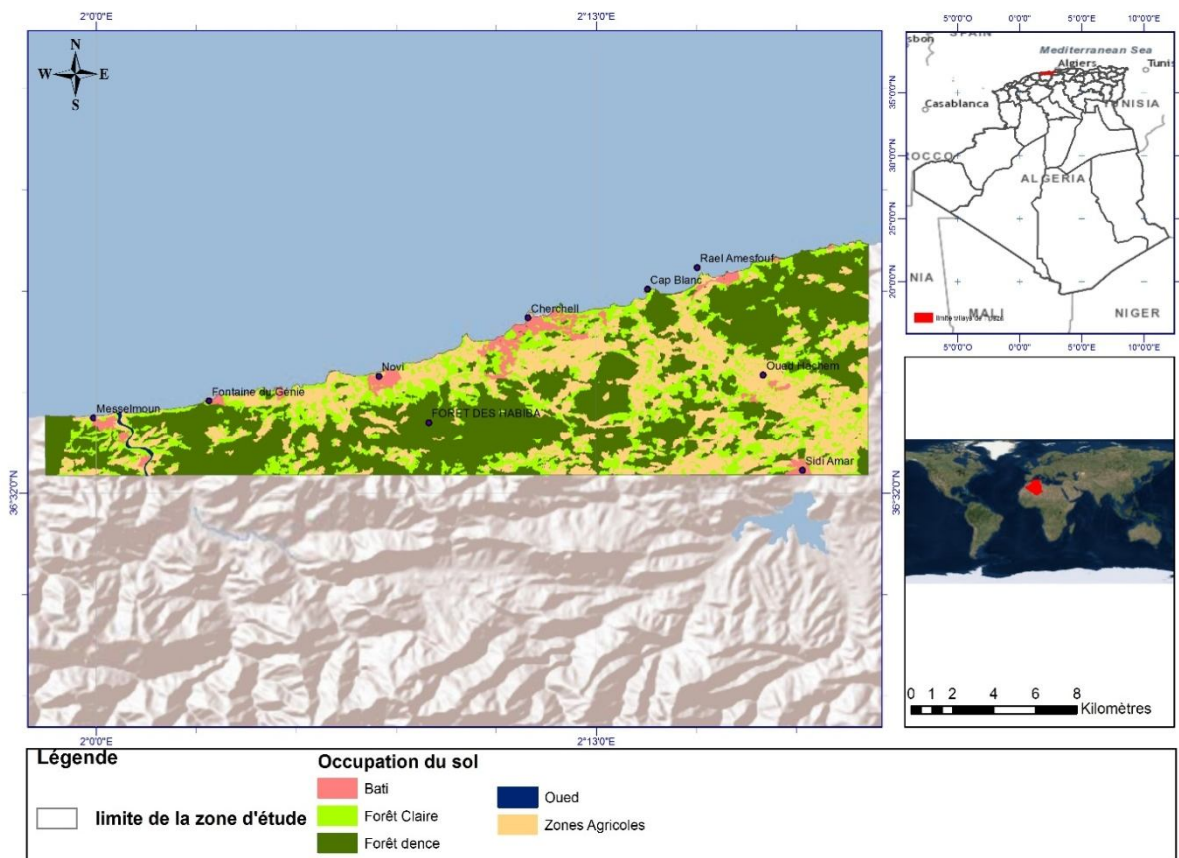


Fig. 27: Carte d'occupation du sol de la zone d'étude

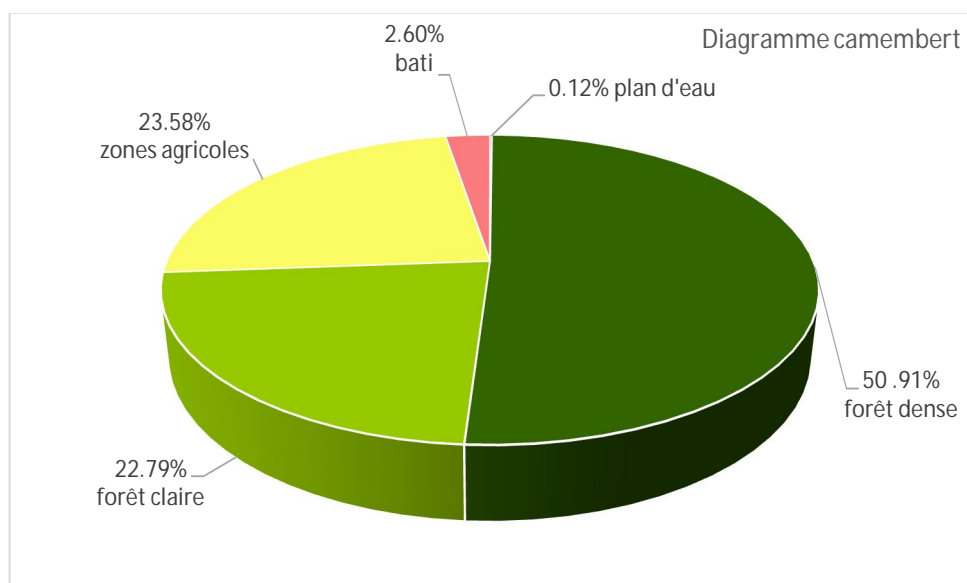


Fig. 28 : Diagramme camembert présente les pourcentages des différentes classes d'occupation du sol

Cette surcharge augmente la stabilité des pentes inférieures à 30°, mais à quelques endroits des escarpements là où les pentes sont supérieures à 30° la surcharge des arbres pourrait déstabiliser les escarpements (Selby,1993).généralement, les forêts stabilisent les pentes grâce à l'accroissement de la cohésion des sols parcourus par leurs racines, augmente la résistance au cisaillement (Montgomery et al., 2000; Dhakal et Sidle, 2003, 2004; Sakals et Sidle, 2004).

#### II.7.8 INDICE D'HUMIDITE TOPOGRAPHIQUE( TOPOGRAPHIC WETNESS INDEX)

Ce dernier renferme la conservation d'humidité, les zones externes de saturation en eau ainsi que la teneur en eau des sols (Fig.29). Cet indice se calcule pour chaque pixel suivant la formule ci-dessous :

$$\text{Eq. 2 : TWI} = \ln(\text{"FLOW ACC"} * 900 / \text{Tan}(\text{slope\_in\_radians}))$$

Cellsize of the raster dem=30

Fd= flowdirection(dem)

Sca=flowaccumulation(fd)

Slop=(slope(dem)\*1.570796 / 90

Tan\_slp=con(slope ≥ 0, tan(slope), 0,001)

Sca scaled= ( sca + 1) \* cellsize

Cti= ln ( sca scaled / tan slp)

Ln("fac" : Tan("slope" / DEG180/3.14)

Where "fac" is flow accumulation raster

Where "slope" is slope raster

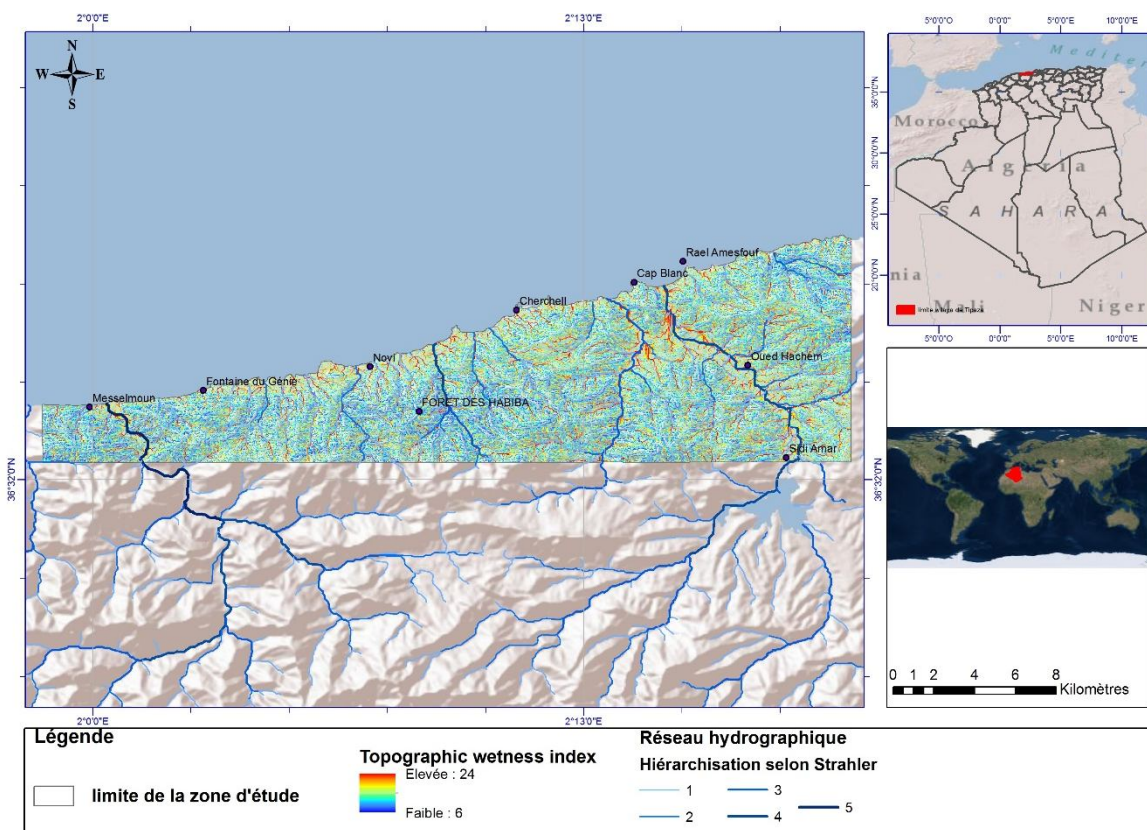


Fig. 29 : Indice d’humidité topographique (Topographic Wetness Index)

En observant la figure 29, nous avons remarqué que le taux d’humidité est élevé au niveau de drainage, alors qu’il est moyen à modéré en s’éloignant des plans d’eau et de chevelus hydrographiques.

### III. RÉSULTATS & DISCUSSIONS

Les perspectives de cette étude ont été acquises à la faveur de plusieurs approches techniques qui ont contribué à l’établissement de la carte de susceptibilité au glissement de terrain (Fig.30). Les paramètres utilisés dans notre thématique sont notifiés respectivement par : la lithologie, la fracturation, le réseau hydrographique, le gradient de pente, l’exposition des versants et l’occupation du sol).

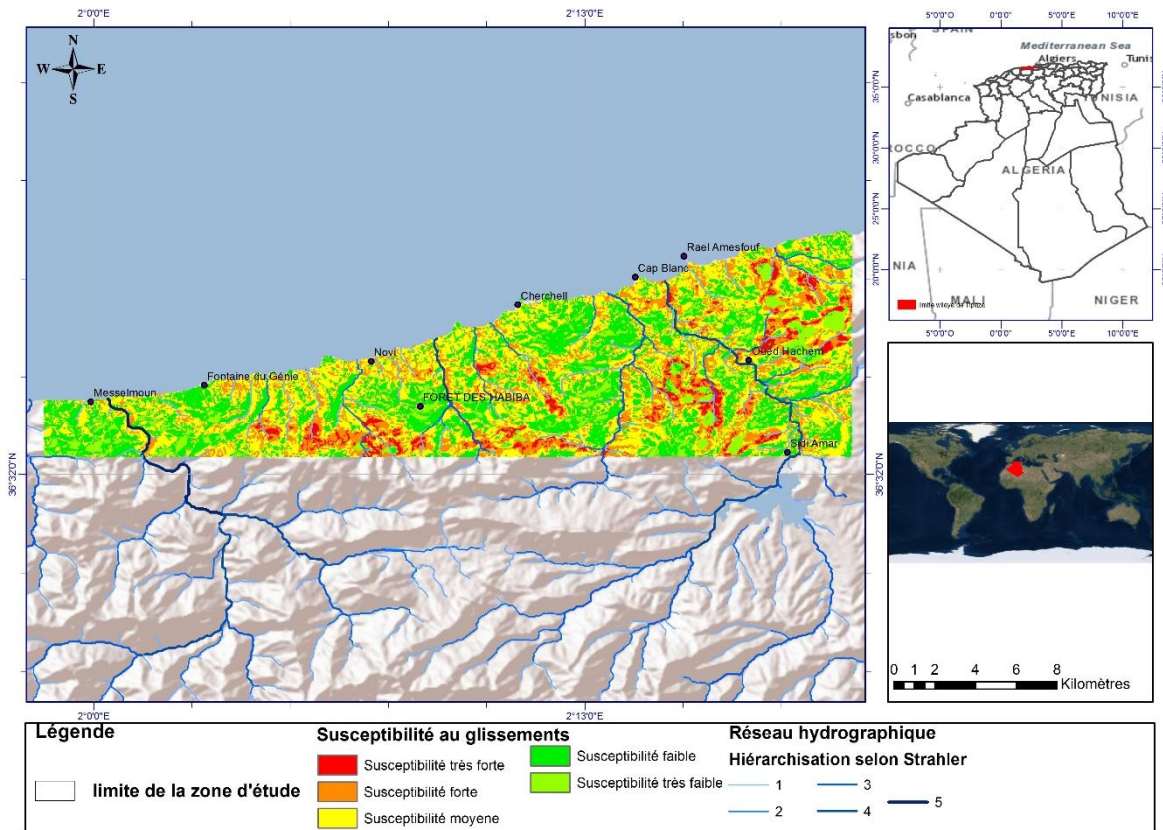


Fig. 30 : Carte de susceptibilité au glissement de terrain de la zone d'étude

Les classes d'aléas sont estimées pour 5 probabilités de rupture différentes illustrées dans la figure.

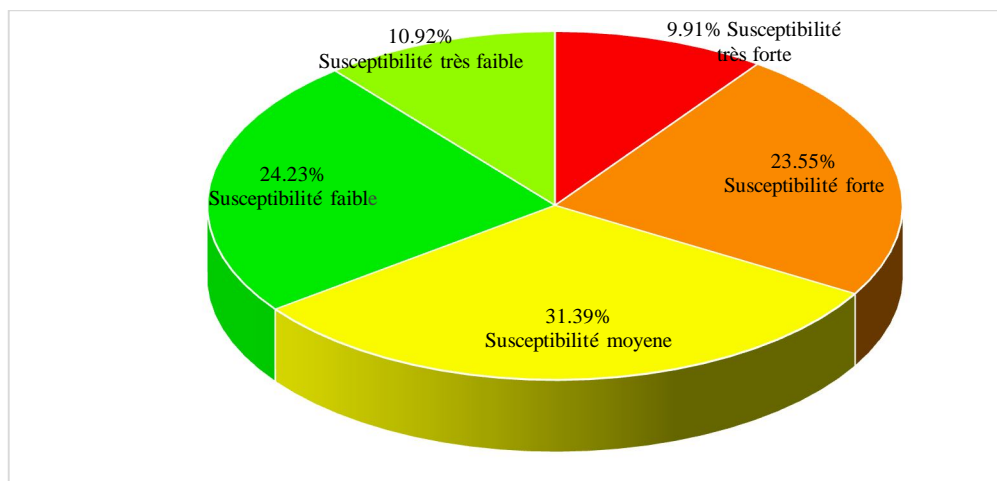


Fig. 31: Diagramme camembert présentant le pourcentage de chaque classe de susceptibilité

D'après les figures 30 et 31, il a été constaté que :

- Les alentours de Cherchel présente un taux de susceptibilité de 10%, environ de 1951 ha de la superficie totale (indiqué en couleur rouge) ce qui traduit la vulnérabilité élevée (zone instable) de ces sites.
- Les zones de drainage superficiel illustre une susceptibilité relativement forte à moyenne avec un taux de 55% de la zone d'étude, équivaut à 17363 ha.
- Le Nord et l'extrême ouest montrent relativement une susceptibilité faible à très faible (zone stable) avec au taux de 35% (21735 ha).

<i>Classe de susceptibilité</i>	<i>Type</i>	<i>Superficie (ha)</i>	<i>Superficie (%)</i>
<i>1</i>	<i>Très faible</i>	<i>1951.42ha</i>	<i>9.91 %</i>
<i>2</i>	<i>Faible</i>	<i>9165.05ha</i>	<i>23.55 %</i>
<i>3</i>	<i>Moyenne</i>	<i>8198.27ha</i>	<i>31.39 %</i>
<i>4</i>	<i>Forte</i>	<i>1209.92ha</i>	<i>24.23 %</i>
<i>5</i>	<i>Très forte</i>	<i>20524.86ha</i>	<i>10.92 %</i>

*Tab. 5 : Répartition des classes de susceptibilité et leur superficie*

D'après les résultats de la combinaison entre la carte de susceptibilité et la carte d'inventaire des glissements de terrain, il a été constaté qu'une grande partie des glissements recensés se situe dans les classes très fortes, forte à moyenne susceptibilité alors que les autres classes ne coïncident qu'à quelques pixels. Celle-ci nous a confirmé la robustesse de la méthode adoptée.

<b>VALUE</b>	<b>COUNT</b>	<b>Susc</b>	<b>Inv</b>
--------------	--------------	-------------	------------

5	22350	1 classe	0
9	1 (0,17%)	1 classe	1
2	53088	2 classe	0
7	67 (11,34%)	2 classe	1
3	70719	3 classe	0
6	122 (20,64%)	3 classe	1
1	54468	4 classe	0
8	175 (29,61%)	4 classe	1
4	24480	5 classe	0
10	226 (38,24%)	5 classe	1

Tab. 6: Table attributaire de la combinaison de la carte de susceptibilité et la carte d'inventaire

#### IV. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Ce type d'étude peut être utile en termes de coûts et d'avantages pour les levés détaillés de glissements de terrain sur une plus grande surface. Deux grandes catégories de glissements de terrain caractérisent notre zone d'étude ; l'une a été développée en raison de l'impact des facteurs naturels l'autre a été initiée en raison de l'amplification. Les images satellites à haute résolution ont été utilisées pour mettre en évidence les glissements de terrain dans certaines parties de la zone d'étude. Les résultats interprétés ont été validés par une visite sur terrain dans les zones accessibles alors que Google Earth et d'autres images satellites ont été employées pour la validation dans les zones inaccessibles. Cette étude a mis en évidence la possibilité d'utiliser des clés d'interprétations pour la cartographie des glissements de terrain.

La méthodologie adoptée pour la réalisation de cette étude nous a permis d'établir une carte de zonage d'aléa 'glissement de terrain'. Celle-ci est basée sur la modélisation des paramètres intrinsèques (lithologie, fracturation), et extrinsèques (pente, exposition, hydrographie, TWI) en s'appuyant sur des observations de terrain, analyse et interprétation des images satellites.

La carte obtenue du croisement de différentes couches d'information peut être considérée comme un support de base pour orienter des décisions en matière de prévention de l'aléa 'glissement de terrain', d'aménagement, de gestion et d'établissement de réglementations d'occupation fiables pour la zone étudiée.

Il est recommandé de mener une surveillance étroite et continue de ces glissements et réaliser une étude mixte entre géotechnique et géophysique dans l'avenir pour mieux cerner la profondeur des semelles de décollements (discontinuités) qui définit la norme géotechnique envisagée pour traiter les risques liés aux mouvements de terrain.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Aïfa, T., Belhaï, D., & Merle, O.** (1996). Paléopôle dévonien pour le massif du Chenoua (Algérie): accrétion du domaine kabyle à l'Afrique. *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 2. Sciences de la terre et des planètes*, 322(8), 685-691.

**Belhaï, D.** (1987). Massif du Chenoua (Algérie): mise en place des flyschs en relation avec un cisaillement «transcurrent» EW, responsable de la structure en éventail. *Magister, Alger*.

**Brabb, E., Malgot, J., & Mahr, T.** (1979). Engineering geological mapping of the West Carpathian landslide areas. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology-Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur*, 19(1), 116-121.

**Carrara, A.** (1983). Multivariate models for landslide hazard evaluation. *Journal of the International Association for Mathematical Geology*, 15(3), 403-426.

**Carrara, P. E., & Carroll, T. R.** (1979). The determination of erosion rates from exposed tree roots in the Piceance Basin, Colorado. *Earth Surface Processes and Landforms*, 4(4), 307-317.

**Chung, C. J. F., & Fabbri, A. G.** (2003). Validation of spatial prediction models for landslide hazard mapping. *Natural Hazards*, 30(3), 451-472.

**Cruden, D. M.** (1991). A simple definition of a landslide. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 43(1), 27-29.

**Cruden, D. M., Varnes, D. J., Turner, A. K., & Schuster, R. L.** (1996). Landslides: investigation and mitigation. Special Report 247. *Transportation Research Board, Us National Research Council, chap Landslides Types and Processes*, 36-75.

**Dai, F. C., & Lee, C. F.** (2002). Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology*, 42(3-4), 213-228.

**Dai, F. C., & Lee, C. F.** (2001). Frequency–volume relation and prediction of rainfall-induced landslides. *Engineering geology*, 59(3-4), 253-266.

**Dhakal, A. S., & Sidle, R. C.** (2004). Pore water pressure assessment in a forest watershed: Simulations and distributed field measurements related to forest practices. *Water Resources Research*, 40(2).

**Dhakal, A. S., & Sidle, R. C.** (2003). Long-term modelling of landslides for different forest management practices. *Earth Surface Processes and Landforms*, 28(8), 853-868.

**Domzig, A., Le Roy, C., Karim, Y., Bouillin, J. P., Déverchère, J., Bracene, R., & de Lepinay, B. M.** (2005). Geological limits evidenced offshore Algeria from new swath bathymetry and seismic data (MARADJA cruise). In -. EGU.



**Donati, L., & Turrini, M. C.** (2002). An objective method to rank the importance of the factors predisposing to landslides with the GIS methodology: application to an area of the Apennines (Valnerina; Perugia, Italy). *Engineering Geology*, 63(3-4), 277-289.

**Etzelmüller, B., Ødegård, R. S., Berthling, I., & Sollid, J. L.** (2001). Terrain parameters and remote sensing data in the analysis of permafrost distribution and periglacial processes: principles and examples from southern Norway. *Permafrost and Periglacial Processes*, 12(1), 79-92.

**Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., & Savage, W. Z.** (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering Geology*, 102(3), 85-98.

**Fernandez, C. I., Del Castillo, T. F., Hamdouni, R. E., & Montero, J. C.** (1999). Verification of landslide susceptibility mapping: a case study. *Earth surface processes and landforms*, 24(6), 537-544.

**Fernandez, X., Monin, G., Talmant, A., Mourot, J., & Lebret, B.** (1999). Influence of intramuscular fat content on the quality of pig meat—2. Consumer acceptability of m. longissimus lumborum. *Meat science*, 53(1), 67-72.

**Ficheur, E.** (1890). *Les terrains éocènes de la Kabylie du Djurjura*. Impr. P. Fontana et cie.

**Gabet, E. J., Burbank, D. W., Putkonen, J. K., Pratt-Sitaula, B. A., & Ojha, T.** (2004). Rainfall thresholds for landsliding in the Himalayas of Nepal. *Geomorphology*, 63(3-4), 131-143.

**Glade, T.** (2003). Landslide occurrence as a response to land use change: a review of evidence from New Zealand. *Catena*, 51(3-4), 297-314.

**Glangeaud, L.** (1932). *Étude géologique de la région littorale de la province d'Alger: par Louis Glangeaud,...* Y. Cadoret.

**Goodchild, M. F., & Mark, D. M.** (1987). The fractal nature of geographic phenomena. *Annals of the Association of American Geographers*, 77(2), 265-278.

**Greenway, D.R.**, (1987) Vegetation and slope stability. In: M.G. Anderson & K.S. Richards (Editors), *Slope Stability*. Wiley, Chichester, pp. 187-231.

**Guthrie, R. H.** (2002). The effects of logging on frequency and distribution of landslides in three watersheds on Vancouver Island, British Columbia. *Geomorphology*, 43(3-4), 273-292.

**Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., & Reichenbach, P.** (1999). Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31(1), 181-216.

**Highland, L., & Bobrowsky, P. T.** (2008). *The landslide handbook: a guide to understanding landslides* (p. 129). Reston: US Geological Survey.

**Hutchinson, M. F.** (1989). A new procedure for gridding elevation and streamline data with automatic removal of spurious pits. *Journal of hydrology*, 106(3-4), 211-232.

**Hutchinson, M. F., & Dowling, T. I.** (1991). A continental hydrological assessment of a new grid-based digital elevation model of Australia. *Hydrological Processes*, 5(1), 45-58.

**Jade, S., & Sarkar, S.** (1993). Statistical models for slope instability classification. *Engineering Geology*, 36(1-2), 91-98.

**Jakob, M.** (2000). The impacts of logging on landslide activity at Clayoquot Sound, British Columbia. *Catena*, 38(4), 279-300.

**Jenson, S. K.** (1991). Applications of hydrologic information automatically extracted from digital elevation models. *Hydrological processes*, 5(1), 31-44.

**Jenson, S. K., & Domingue, J. O.** (1988). Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 54(11), 1593-1600.

**Jibson, R. W., Harp, E. L., & Michael, J. A.** (2000). A method for producing digital probabilistic seismic landslide hazard maps. *Engineering Geology*, 58(3-4), 271-289.

**Kienholz, H.** (1978). Maps of geomorphology and natural hazards of Grindelwald, Switzerland: scale 1: 10,000. *Arctic and Alpine Research*, 169-184.

**Lin, M. L., & Tung, C. C.** (2004). A GIS-based potential analysis of the landslides induced by the Chi-Chi earthquake. *Engineering Geology*, 71(1-2), 63-77.

**Luzi, L., & Pergalani, F.** (1996). Applications of statistical and GIS techniques to slope instability zonation (1: 50.000 Fabriano geological map sheet). *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 15(2), 83-94.

**Luzi, L., Pergalani, F., & Terlien, M. T. J.** (2000). Slope vulnerability to earthquakes at subregional scale, using probabilistic techniques and geographic information systems. *Engineering Geology*, 58(3-4), 313-336.

**Maouche S.** (2000). Etude sismotectonique de l'Algérois et des zones limitrophes de Cherchell-Gouraya. Thèse de Magister, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Bâb Ezzouar, Alger, Algérie, 130 pp.

**Maouche, S., bounsaythip, C. K., & Roussel, G.** (2000). Optimisation du placement des formes irrégulières. *Techniques de l'ingénieur. Informatique industrielle*, 1(S7212), S7212-1.

**Montgomery, D. R., Schmidt, K. M., Greenberg, H. M., & Dietrich, W. E.** (2000). Forest clearing and regional landsliding. *Geology*, 28(4), 311-314.

**Moore, I. D., Grayson, R. B., & Ladson, A. R.** (1991). Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological processes*, 5(1), 3-30.

**Murphy, W., & Mankelov, J. M.** (2004). Obtaining probabilistic estimates of displacement on a landslide during future earthquakes. *Journal of Earthquake Engineering*, 8(01), 133-157.

**Pachauri, A. K., & Pant, M.** (1992). Landslide hazard mapping based on geological attributes. *Engineering geology*, 32(1-2), 81-100.

**Parise, M., & Jibson, R. W.** (2000). A seismic landslide susceptibility rating of geologic units based on analysis of characteristics of landslides triggered by the 17 January 1994 Northridge, California earthquake. *Engineering geology*, 58(3-4), 251-270.

**Pike, L. J.** (2003). Lipid rafts bringing order to chaos. *Journal of lipid research*, 44(4), 655-667.

**Pike, R. J., Graymer, R. W., & Sobieszczyk, S.** (2003). A simple GIS model for mapping landslide susceptibility. W: *IS Evans, R. Dikau, E. Tokunaga, H. Ohmori, M. Hirano (red.), Concepts and Modelling in Geomorphology: International Perspectives. Terrapub, Tokyo*, 185-197.

**Qin, D., Hu, Y., Yan, J., Xu, G., Cai, W., Wu, X., ... & Gu, X.** (1988). Analysis of 1379 patients with nasopharyngeal carcinoma treated by radiation. *Cancer*, 61(6), 1117-1124.

**Refice, A., & Capolongo, D.** (2002). Probabilistic modeling of uncertainties in earthquake-induced landslide hazard assessment. *Computers & Geosciences*, 28(6), 735-749.

**Sakals, M. E., & Sidle, R. C.** (2004). A spatial and temporal model of root cohesion in forest soils. *Canadian Journal of Forest Research*, 34(4), 950-958.

**Sakals, M. E., & Sidle, R. C.** (2004). A spatial and temporal model of root cohesion in forest soils. *Canadian Journal of Forest Research*, 34(4), 950-958.

**Süzen, M. L., & Doyuran, V.** (2004). Data driven bivariate landslide susceptibility assessment using geographical information systems: a method and application to Asarsuyu catchment, Turkey. *Engineering Geology*, 71(3-4), 303-321.

**Tarboton, D. G., Bras, R. L., & Rodriguez-Iturbe, I.** (1991). On the extraction of channel networks from digital elevation data. *Hydrological processes*, 5(1), 81-100.

**Varnes, D. J.** (1978). Slope movement types and processes. *Special report*, 176, 11-33.

**Wasowski, J., & Del Gaudio, V.** (2000). Evaluating seismically induced mass movement hazard in Caramanico Terme (Italy). *Engineering Geology*, 58(3-4), 291-311.

**Westen, C. V., & Terlien, M. J. T.** (1996). An approach towards deterministic landslide hazard analysis in GIS. A case study from Manizales (Colombia). *Earth surface processes and landforms*, 21(9), 853-868.

**Yin, K. L.** (1988). Statistical prediction model for slope instability of metamorphosed rocks. In *Proceedings of the 5th International Symposium on Landslides* (Vol. 2, pp. 1269-1272).

**Yin, K.L. & Yan, T.Z.,** (1988). Statistical prediction models for slope instability of metamorphosed rocks. In: C. Bonnard (Editor), Fifth International Symposium on Landslides. A.A. Balkema, Lausanne, pp. 1269-11§OLOOOPOOO/O9?§.

**Zêzere, J. L., Reis, E., Garcia, R., Oliveira, S., Rodrigues, M. L., Vieira, G., & Ferreira, A. B.** (2004). Integration of spatial and temporal data for the definition of different landslide hazard scenarios in the area north of Lisbon (Portugal). *Natural Hazards and Earth System Science*, 4(1), 133-146.