



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

MEMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master
En Sciences de la Terre
Option : Risques Géologiques

IMPACT DE LA CARRIERE D'EXPLOITATION DE TUFES SUR L'INSTABILITE DU SITE DE DJEBEL GRABIS (APC TAFRAOUI)

Présenté et soutenu par :
Mr Djamel Eddine BENDAHO

Devant le jury composé de :

M. SEDDIKI Abdelmadjid	Professeur	Université d'Oran 2	Président
M. NADJI Abdelmansour	Professeur	Université d'Oran 2	Rapporteur
M. ROUKH Z. A.	Docteur	Université d'Oran 2	Co-rapporteur
M. FOUKRACHE M.	M. A. A.	Université d'Oran 2	Examineur

Soutenu le 04 juillet 2021

AVANT-PROPOS

Je souhaite en premier lieu remercier M. Abdelmansour NADJI, Professeur à l'Université d'Oran 2, de m'avoir proposé ce sujet, Il était un encadreur idéal le long de ces mois de travail.

Je remercie chaleureusement mon Co-rapporteur Dr. Zine El Abidine ROUKH, qui m'a beaucoup aidé dans la réalisation de ce travail. Lui qui m'a proposé des idées sans jamais dénigrer ou imposer, comme il a partagé ses connaissances avec moi sans prétention.

Je tiens à témoigner ma profonde gratitude à M. Abdelmadjid SEDDIKI, Professeur à l'Université d'Oran 2, pour avoir accepté de présider le jury.

Ma reconnaissance va également à M. Mohamed FOUKRACHE, Professeur à l'Université d'Oran 2, qui m'a fait l'honneur d'examiner mon travail.

Une dédicace à mes chers amis et frères, Mohamed BENDAIKHA, Toufik BENDAHO, Mohamed Chakib CHEKKALI, Zoheir FATMI, Mohammed Abdelmadjid HAMOUS, El Moundir LAZREG, Abdelhamid SLIMANI, et mon frère, bien aimé Othman BENDAHO.

Un très grand merci à mes collègues, avec lesquels je partage les années de mon Master : Nabil BOUZID, Abdelwahid DERBAL, El Eid DOUAR, Tarek FARTASSI, Mohammed MAHI MJAHER.

Une myriade de mercis très affectueux à mon très cher ami Mohammed Nadir NAIMI, qui m'a aidé et encouragé le long de cette période de travail.

Enfin, je ne peux oublier ceux qui m'ont amené jusqu'ici. Ils ont toujours été là et j'espère qu'ils le seront encore pour longtemps. Je leur dédie ce mémoire A mes très chers parents, à ma sœur Sarra, ainsi qu'à mes frères Djawad Younes et Aymen.

Quels sont les mots qu'il faut adresser à ma femme qui m'a aidé et soutenu et qui a supporté mon absence durant ces deux dernières années ? C'est à toi ma chère que je dédie ce travail.

Une spéciale dédicace à ma petite princesse Ines Amina, le bijou de ma vie et la lumière de mon chemin.

BENDAHO Djamel Eddine

LISTE DES ILLUSTRATIONS

LISTE DES FIGURES :

- Fig. 01 :** Principales unités géomorphologiques du Tell oranais (HEBIB, 2014 ; NAIMI, 2019).
- Fig. 02 :** Situation géographique du secteur d'étude (DELFAUD *et al.*, 1973 ; modifiée).
- Fig. 03 :** Carte géologique simplifiée de l'Oranie. (NAIMI *et al.*, 2020).
- Fig. 04 :** Coupe géologique synthétique de la région de Tafraoui.
- Fig. 05 :** Carte tectonique de l'Oranie (THOMAS, 1985 ; AYADI *et al.*, 2002 ; modifiée).
- Fig. 06 :** Types de mouvements de terrain (CRUDEN et VARNES, 1996).
- Fig. 07 :** Quelques méthodes d'investigation des glissements de terrain (ROUKH, 2020).
- Fig. 08 :** Le risque des glissements de terrain à travers le monde (FROUDE et PETLEY, 2018 ; modifiée).
- Fig. 09 :** Glissement de la Clapière dans les Alpes maritimes en France (SCHLÖGEL *et al.*, 2016).
- Fig. 10 :** Glissement causé par le séisme de Yunnan en Chine (TIAN *et al.*, 2017).
- Fig. 11 :** Glissement de Santa Maria Tlahuitoltepec au sud-est du Mexique.
- Fig. 12 :** Principaux sites de glissements de terrain à Constantine Ville (BOURENANE *et al.*, 2016).
- Fig. 13 :** L'éboulement de Cap Aokas (HADJI *et al.*, 2016).
- Fig. 14 :** Morphologie du glissement du versant de Tizirt (GUIROUS *et al.*, 2014).
- Fig. 15 :** Localisation du glissement de terrain du Mers El Kebir (ROUKH, 2020).
- Fig. 16 :** Interprétation du glissement de terrain de Mers El Kebir (ROUKH, 2020).
- Fig. 17 :** Localisation et image satellitaire de la zone d'étude.
- Fig. 18 :** Histogramme des précipitations mensuelles de la station d'Es Sénia entre 2011 et 2020.

- Fig. 19 :** Les différentes unités morphologiques de la zone d'étude (ROUKH, 2020).
- Fig. 20 :** Carte géologique de Djebel Grabis (extrait de la carte géologique d'Arbal 1/ 50 000, 1931).
- Fig. 21 :** Stéréogramme des fracturations.
- Fig. 22 :** Carte sismotectonique du Tell oranais, (in ROUKH, 2020).
- Fig. 23 :** Distribution spatiale du paramètre sismogène b_value sur le Tell oranais pour la période (1900-2016) (ROUKH, 2020).
- Fig. 24 :** Cartographie de la néotectonique à la faveur des virgations du chevelu Hydrographique (in NADJI, 2010).
- Fig. 25 :** Vue et image satellitaire sur la carrière de Tafraoui.
- Fig. 26 :** Impact de glissement sur les formations géologiques (partie Est de la carrière).
- Fig. 27 :** Impact de glissement sur la partie haute de la carrière.
- Fig. 28 :** L'ensemble affecté par les glissements des marnes et l'éboulement des masses.
- Fig. 29 :** La partie Ouest de la carrière.
- Fig. 30 :** 1ère interprétation du glissement de terrain de la carrière de Tafraoui.
- Fig. 31 :** 2e interprétation du glissement de terrain de la carrière de Tafraoui.
- Fig. 32 :** Comparaison par photos entre les deux visites sur terrain.
- Fig. 33 :** Planche explicative de la lithologie de la région.
- Fig. 34 :** Carte thématique d'altitude du Djebel Grabis.
- Fig. 35 :** Morphologie des formations affectées par les glissements.
- Fig. 36 :** Carte thématique des pentes du Djebel Grabis.
- Fig. 37 :** Carte thématique d'aspect et d'orientation des pentes du Djebel Grabis
- Fig. 38 :** Cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain.

LISTE DES TABLEAUX:

Tableau 1 : Classification des mouvements de terrain (VARNES, 1978).

Tableau 2 : Classification des mouvements de terrain (CRUDEN et VARNES, 1996).

Tableau 3 : Précipitations mensuelles de la station d'Es Sénia durant la période 2011-2020.

Tableau 4 : Lithostratigraphie de la zone étudiée (extrait de la carte géologique d'Arbal 1/ 50 000, 1931).

Tableau 5 : Subdivision des différentes familles des fracturations.

Tableau 6 : Tableau du paramètre sismogène 'b' des unités sismotectoniques du Tell oranais; période (1790-2006) (NADJI, 2010).

RESUME

Le littoral algérien présente la partie la plus vulnérable aux phénomènes des glissements de terrain qui peuvent causer annuellement des sérieux dégâts et de grandes pertes humaines. Ce travail présente la première évidence de glissements de terrain dans la région de Tafraoui qui se trouve dans le versant nord des monts des Tessala dans la wilaya d'Oran. Ces glissements ont été repérés au niveau de la carrière de tufs (mine à ciel ouvert) localisée dans le Djebel Grabis. Cette étude se focalise notamment sur l'évaluation et la détermination des paramètres et facteurs caractérisant les phénomènes des glissements qui affectent cette zone. Notre investigation est basée sur l'expertise de terrain et également sur les données géologiques, géomorphologiques, sismiques et climatiques caractérisant le secteur étudié.

Les données collectées ont permis de visualiser l'état d'avancement des glissements de terrain dans la carrière, ainsi de faire une étude sur l'activité de ces derniers. Les résultats obtenus lors d'une synthèse établie à l'aide de plusieurs visites faites sur une durée de 18 mois permettant de faire des comparaisons sur l'activité des glissements durant cette période, ont permis de conclure que les glissements de terrain dans la carrière de Tafraoui sont actifs jusqu'à aujourd'hui.

Les données géomorphologiques telles que l'altitude, la pente et la morphologie qui caractérisent le Djebel Grabis, participent à la réalisation d'une cartographie de susceptibilité aux glissements de terrain basée sur l'approche statistique VI (valeur informative), cette cartographie confirme que la zone étudiée possède une très forte susceptibilité aux ces phénomènes.

Mots-clés : Glissements de terrain ; Cartographie de susceptibilité ; Carrière de Tafraoui ; Monts des Tessala.

ABSTRACT

The Algerian coast is the most vulnerable to landslides, which can cause serious damage and great loss of life every year. This work presents the first evidence of landslides in the region of Tafraoui which is located in the northern slope of the Tessala Mountains in the wilaya of Oran. These slips were detected at the level of the tuff quarry (open pit mine) located in the Djebel Grabis. This study focuses in particular on the evaluation and determination of the parameters and factors characterizing the phenomena of the slides that affect this area. Our investigation is based on field expertise and also on geological, geomorphological, seismic and climatic data characterizing the sector studied.

The data collected made it possible to visualize the progress of landslides in the quarry, as well as to make a study on the activity of the latter. The results obtained during a synthesis drawn up using several visits made over a period of 18 months to make comparisons on the activity of the landslides during this period, have made it possible to conclude that the landslides in the quarry of Tafraoui are active until today.

The geomorphological data such as altitude, slope and morphology that characterize the Djebel Grabis, participate in the realization of a mapping of susceptibility to landslides based on the statistical approach VI (informative value), this mapping confirms that the area studied has a very high susceptibility to landslides phenomena.

Keywords: Landslides ; Susceptibility mapping ; Tafraoui quarry ; Tessala Mountains.

TABLE DES MATIERES

Avant-propos	
Liste des illustrations	
Résumé	
Abstract	
Table des matières	

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE 1 : Généralités	
I. INTRODUCTION	4
II. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE	4
1. Contexte géographique régional	4
2. Contexte géographique local	5
III. CONTEXTE GEOLOGIQUE	7
1. Contexte géologique régional	7
1.1. Lithostratigraphie	8
1.1.1. Le Trias.....	8
1.1.2. Le Jurassique.....	8
1.1.3. Le Crétacé.....	10
1.1.4. Le Paléogène.....	11
1.1.5. Le Néogène.....	11
2. Contexte géologique local	13
2.1. Miocène moyen	13
2.2. Miocène supérieur	14
2.2.1. La sédimentation messinienne au Chabet Bou Seter.....	14
2.2.2. La sédimentation messinienne dans le secteur de Taфраoui.....	15
IV. CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE	16
V. CONTEXTE STRUCTURAL	17
1. Une première phase orogénique atlasique tellienne (cycle Alpin-1)	17
2. Une deuxième phase paroxysmale d'Aquitano-burdigalien (Alpin-2)	17
CHAPITRE 2 : Introduction aux glissements de terrain	
I. INTRODUCTION	19
II. LES GLISSEMENTS DE TERRAIN	20
III. LA CLASSIFICATION DES GLISSEMENTS DE TERRAIN	21

1. Les éboulements.....	24
2. Les basculements.....	24
3. Les glissements de terrain.....	24
4. Le déplacement latéral.....	24
5. Les coulées boueuses.....	24
IV. CAUSES ET EFFETS DES GLISSEMENTS DE TERRAIN.....	25
V. METHODES D'INVESTIGATION DES GLISSEMENTS DE TERRAIN... 25	25
1. Stations totales.....	26
2. Le GPS.....	26
3. Le LASER.....	26
4. Le MNT LIDAR.....	26
5. Les images satellitaires.....	26
6. La photogrammétrie.....	26
7. Di_In SAR.....	26
8. Les inclinomètres.....	27
9. Les compteurs de fissures.....	27
VI. LE RISQUE DES GLISSEMENTS A TRAVERS LE MONDE.....	28
1. Exemples et historique des glissements de terrain dans le monde.....	29
1.1. Glissement de la Clapière (France).....	29
1.2. Glissement dû au séisme de la province de Yunnan (Chine).....	29
1.3. Glissement au Sud-est du Mexique (Santa-maria).....	30
VII. LE RISQUE DES GLISSEMENTS DE TERRAIN EN ALGERIE.....	31
1. Exemples et historique des glissements de terrain en Algérie.....	31
1.1. Le glissement de Bérouzdad (Constantine).....	31
1.2. Glissement de Cap Aokas (Bejaïa).....	32
1.3. Le glissement de la ville de Tizgirt (Tizi Ouzou).....	33
1.4. Le glissement de Mers El Kebir (Oran).....	34
VIII. CONCLUSION.....	35
CHAPITRE 3 : Etude du glissement de la carrière de Tafraoui	
I. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ETUDE.....	37
1. Localisation	37
2. Le climat.....	37
3. Précipitations.....	38

4.	Géomorphologie.....	39
II.	CONTEXTE GEOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE.....	39
1.	Stratigraphie et lithologie.....	39
2.	Réseau des fracturations.....	41
3.	Séismicité et sismotectonique.....	42
3.1.	Estimation du paramètre sismogène b _value sur notre zone d'étude.	42
3.2.	Evaluation de la probabilité d'occurrence des séismes.....	42
4.	Néotectonique et failles actives de la zone d'étude.....	44
III.	PRESENTATION DU SECTEUR D'ETUDE.....	45
IV.	EXPERTISE ET TRAVAIL DU TERRAIN.....	47
1.	Objectif de travail.....	47
2.	L'Expertise <i>in situ</i>	47
3.	Interprétation du type de glissement étudié.....	51
4.	La réactivation du glissement de la carrière.....	54
V.	FACTEURS DECLENCHANTS.....	55
1.	Action anthropique.....	55
2.	Lithologie.....	55
3.	Altitude.....	56
4.	Morphologie.....	57
5.	Pente.....	58
VI.	FACTEURS ACCELERATEURS.....	59
1.	Précipitations.....	59
2.	Séismicité.....	59
VII.	CARTOGRAPHIE DE LA SUSCEPTIBILITE AUX GLISSEMENTS.....	60
VIII.	MESURES DE PROTECTION CONTRE LES GLISSEMENTS.....	61
IX.	PERSPECTIVES ET RECOMMANDATIONS.....	61
X.	CONCLUSION.....	62
	CONCLUSION GENERALE.....	63
	BIBLIOGRAPHIE.....	65

INTRODUCTION

GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Les risques géologiques définissent tout risque en relation avec la nature, ils sont subdivisés en deux catégories :

Risques liés directement à la nature, c'est-à-dire les risques qui sont liés à l'activité planétaire :

Risques liés à la lithosphère tels que les effondrements, les glissements des terrains, les séismes, les volcans. Ces risques sont typiquement géologiques.

Risques liés à l'atmosphère tels que les tempêtes, les avalanches, tsunamis. Ces risques sont proprement dits risques climatiques.

Risques liés à l'hydrosphère tels que les inondations à l'échelle régionale et les crues à l'échelle locale. Ces risques sont typiquement hydriques.

Risques liés à l'activité humaine ou autrement dit risque artificiel : tel que les explosions des usines causées par le stockage des matériaux intrusifs, rupture d'un barrage, accident dans une centrale nucléaire.

Les glissements de terrain font partie des risques géologiques, ils sont les phénomènes les plus dommageables dans le globe terrestre. Ils se produisent d'une façon directe ou indirecte. Les mouvements de terrain peuvent être provoqués par d'autres phénomènes géologiques naturels tels que les séismes et les fortes précipitations. Egalement, ils peuvent être déclenchés par l'action anthropique telle que l'exploitation des mines à ciel ouvert (carrières) et les mines souterraines (cavités).

Dans le monde, les glissements de terrain affectent plusieurs pays. Ces phénomènes causent environ 17674 morts selon les études statistiques faites entre 1996 et 2015 par *Center for Research on the Epidemiology of Disaster (CRED)*.

Les glissements de terrain manifestent dans les zones littorales de l'Algérie. Ils représentent l'un des aléas naturels les plus coûteuses pour la société, les propriétés et l'économie nationales dans la partie Nord de l'Algérie (BENAISSA et *al.*, 1989 ; GUEMACHE et *al.*, 2011 ; DJERBAL et *al.*, 2017).

Les plans de préventions contre les glissements de terrain reposent sur la réalisation des cartes de susceptibilité et de vulnérabilité aux mouvements de terrain, dont cette réalisation se base sur les différentes méthodes statistiques et algébriques récentes.

L'impact des carrières d'exploitations sur l'instabilité des terrains est très important. La problématique de ce travail est représentée par la détermination de l'impact de l'une des carrières qui se situe dans le nord algérien (wilaya d'Oran-commune de Tafraoui) sur l'instabilité du site.

Dans le présent travail, on va entamer des recherches bibliographiques qui favorisent la détermination et la présentation des différents contextes qui caractérisent la région étudiée. Afin de faire une étude d'évaluation sur les glissements de terrain caractérisant cette région.

Notre travail présente trois chapitres adaptés au sujet traité :

Le premier chapitre comporte des généralités sur les différents caractéristiques géographiques, géomorphologiques et structurales spécifiques pour le domaine régional et local.

Un second chapitre qui présente des initiations et des généralités sur les glissements de terrain ainsi que leurs types, causes et effets. Ce chapitre porte sur la classification des glissements de terrain établie tout d'abord par VARNES (1978), et mise à jour par CRUDEN et VARNES (1996).

Le troisième chapitre présente l'étude faite sur les glissements de terrain de la carrière de Tafraoui, afin de définir le type de ce dernier et de présenter une cartographie de susceptibilité aux glissements de terrain.

CHAPITRE 1

GENERALITES

I. INTRODUCTION :

Ce chapitre présente les contextes géographique et géologique (lithologique, stratigraphique et structural) de l'Oranie et du secteur d'étude qui se trouve sur le versant nord de la chaîne des Tessala, dans la région de Tafraoui.

Il présente les caractéristiques géographiques qui aident à déterminer d'une part la situation et la localisation des monts des Tessala par rapport aux principales unités géomorphologiques de l'Algérie nord-occidentale, et d'autre part la situation géographique locale de la commune de Tafraoui dans laquelle nos études ont été faites.

Les caractéristiques géologiques telles que la lithostratigraphie régionale dès le Trias jusqu'au Néogène, ainsi la géologie locale qui caractérise par les formations du Miocène sont présentées aussi. Egalement, il présente les caractéristiques géomorphologiques telles que la morphologie, altitude des monts des Tessala, ainsi le réseau hydrographique bien développé qui les caractérise. Le chapitre se termine par le contexte structural qui caractérise les monts des Tessala qui marquent la bordure sud du bassin néogène du Bas Chéelif.

II. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE :

1. Contexte géographique régional :

La zone étudiée fait partie du Tell de l'Oranie qui comprend à l'ouest le massif des Traras qui s'individualise par le fait qu'il rappelle à la fois les sahels. Puis les sahels proprement dits : sahel d'Oran, Sahel d'Arzew, plateau de Mostaganem et enfin à l'est, le Dahra d'altitude de 1342m (GUINOCHET, 1954). Le Djebel Murdjadjo, qui appartient au sahel d'Oran, domine la ville aux environ 580 m d'altitude. Il s'élève brusquement au dessus de la mer et permet une vue d'ensemble sur une unité morphologique bien définie « le littoral oranais » (GOURINARD, 1952). Ce massif se développe sur environ 100 km de long et 25 km de large. Limité au nord par des falaises interrompues par deux dépressions argileuses : la baie Bouzedjar et celle de Madagh (AINAD TABET, 1988). Un tour d'horizon rapide des divers points du plateau fait passer en revue presque tous les éléments du relief régional : au nord le Djebel Santon et la rade de Mers el Kébir, puis les reliefs du cap Falcon et la plaine des Andalouses. Plus à l'ouest apparaît le dôme du Djebel Lindlès (les Andalouses) en retrait duquel vient le plateau des Ghamras et la forêt de M'sila au sud. Les plans néogènes du Murdjadjo plongent doucement au sud vers une dépression où la grande Sebkhah d'Oran étale

ses 32.000 ha de vases salées. À l'est de la ville d'Oran, le Djebel Khar (montagne des lions) et le Sahel d'Arzew prolongent le plateau d'Oran vers la plaine de l'Habra-Macta qui constitue géographiquement un des éléments de la série de dépressions englobées sous le terme générale de (basses plaines). Cette vaste dépression triangulaire d'El Habra, de pente générale très faible communique avec la mer par l'ouverture de la Macta (GUINOCHE, 1954). Au sud de la sebkha d'Oran, les Monts de Tessala constituent un massif à structure complexe, long d'une centaine de kilomètres. L'altitude moyenne est de l'ordre de 800 m et culmine à 1061 m au pic du Tessala qui surplombe de 700 à 800 m la plaine de M'léta au nord (HASSANI, 1987).

Au sud-est, notre région est limitée par les monts de Béni-Chougrane qui culminent à 910 m d'altitude et plus au sud par les monts de Daïa (BEHAR, 1990). Du point de vue hydrographique, le réseau est important. De nombreux oueds conservent de l'eau pendant une très grande partie de l'année. Parmi eux, le Rio Salado (Oued El Maleh) qui représente un appareil fluvial complet qui draine le flanc nord de la chaîne du Tessala et trace une voie de communication entre la mer et la sebkha d'Oran (**Fig. 01**).

Les Monts Tessala sont l'une des chaînes importantes de l'Atlas tellien d'Algérie au Sud et au Sud-ouest d'Oran. Allongés sur une centaine de kilomètres entre la basse Tafna et l'Oued Tlélat. Ils se dressent au-dessus des collines d'Ain Temouchent et de la plaine de la Sebkha d'Oran (la M'léta) au Nord, et le cours du bas Isser et la plaine de Sidi-Bel-Abbès au Sud. A l'Est ils sont limités par les Monts de Béni-Chougrane, et à l'Ouest par les Monts des Seba Chioukh. Ils donnent des reliefs assez modestes, de 500 à 1000 m d'altitudes, où les formes molles et aplanies de la plupart des sommets et des croupes contrastent avec la jeunesse de certaines vallées et les éboulements et les ravinements de certains versants. La structure plissée ne semble guère révélée que par la direction d'ensemble du massif et celle des principales lignes de faite (POUQUET, 1952).

2. Contexte géographique local :

L'étude a été faite à proximité du village de Tafraoui (**Fig. 02**), situé au Sud de la ville d'Oran, plus précisément dans la carrière de Tafraoui qui se trouve sur la route qui mène de Tafraoui à Sidi Ghalem. La commune de Tafraoui est limitée au Nord par la commune d'El Karma, à l'Est par la commune de Zahana (Mascara), à l'Ouest par Tamezoura (Ain Temouchent) et au Sud par le village de Sidi Hamadouche (Sidi-Bel-Abbès). Elle est caractérisée par un climat semi-aride sec et froid.

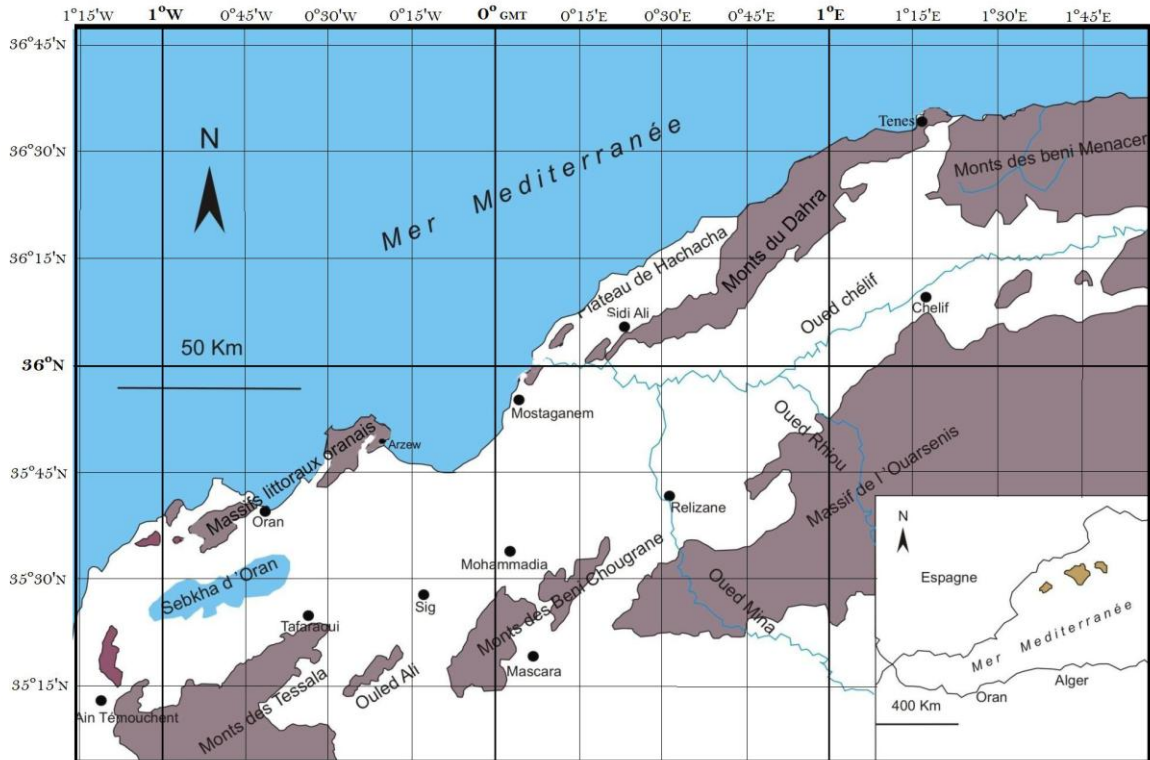


Fig. 01 : Principales unités géomorphologiques du Tell oranais (HEBIB, 2014 ; NAIMI, 2019).

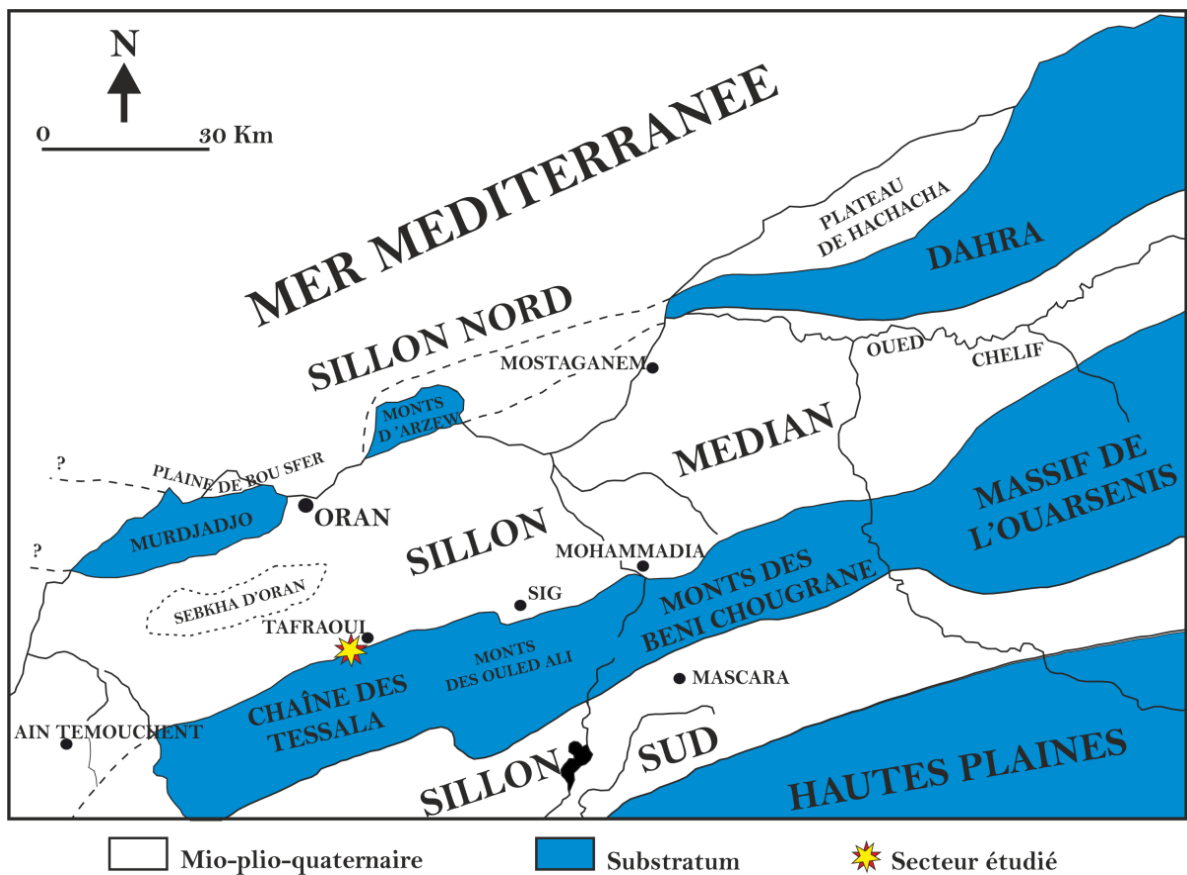


Fig. 02 : Situation géographique du secteur d'étude (DELFAUD et al., 1973 ; modifiée).

III. CONTEXTE GEOLOGIQUE :

1. Contexte géologique régional :

Le pic de calcaire jurassique de Taфраoui pointe au-dessus des marnes, argiles, schistes et grès du Crétacé et de l'Eocène. Au Sud-ouest le Trias intrusif est riche en gypse et en sel. La couverture néogène, discordante et faiblement plissée plonge sous les alluvions des plaines encadrantes. Le Tessala occidental étale plus largement ses collines plus modestes (5 à 800m). Ses terrains, presque tous paléogènes, offrent assez peu de résistance sauf les calcaires et les poudingues du Lutétien. Les surfaces nivelées s'y étendent plus largement qu'à l'Est. Enfin les Seba Chioukh prolongent le Tessala proprement dit jusqu'à la Tafna. Ils forment une seule crête émoussée par des aplanissements entre 550 et 650 m. Leurs terrains paléogènes disparaissent au Nord sous de puissantes coulées basaltiques (POUQUET, 1952) (Fig. 03).

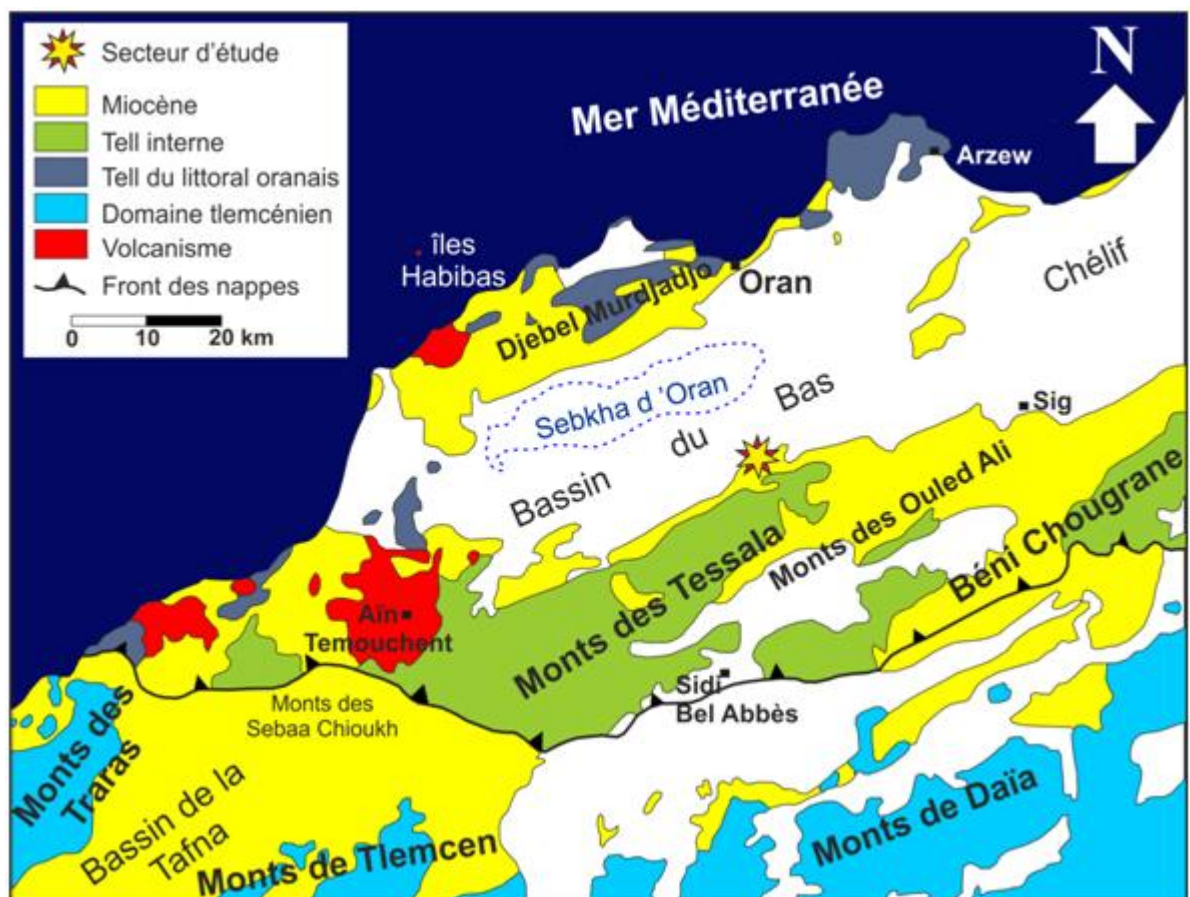


Fig. 03 : Carte géologique simplifiée de l'Oranie. (NAIMI et al., 2020).

1.1. Lithostratigraphie :

Les Monts des Tessala sont composés de :

1.1.1. Le Trias :

Au Sud de la Sebkha d'Oran, dans le massif d'Arbal, une structure diapirique bien marquée se présente. Des forages de reconnaissance ont montré son enfoncement sur plusieurs centaines de mètres et la présence en subsurface de sel et d'intercalations dolomitiques et volcaniques classiques du Trias. Les éléments crustaux rencontrés en surface sont des blocs de dimensions variées inclus dans la brèche argilo-gypseuse de surface :

- gneiss ocellés à biotite, muscovite, grenat almandin, sillimanite, à tendance migmatitique;
- gabbro à augite (salite), plagioclases (An 75 %), amphibole de rétro-morphose; les plagioclases montrent d'importantes déformations (étirements, microplissements, kinkbands).

1.1.2. Le Jurassique :

Les corrélations entre de nombreuses coupes réalisées par FENET (1968) ont permis de proposer le découpage suivant :

a- Le terme le plus ancien de la série serait représenté par les calcaires, massifs à la base, en gros bancs au sommet, gris clair, bleutés, à texture floconneuse ou grumeleuse, qui constituent l'ossature du massif ; attribué au Dogger (Jurassique moyen). Epais d'une centaine de mètres, ils recèlent au sommet de la série des niveaux à « filament ». Des silex noirs à gangue calcaire sont aussi présents.

b- La série se poursuit par des alternances de marnes parfois en plaquettes, grises, jaunes et de bancs de calcaires gris-bleu ou rosé, parfois dolomitique, d'épaisseur variable (1m à la base, 0.30m au sommet). Quelques prélèvements effectués dans les marnes ont fourni une pauvre microfaune d'Ostracodes d'âge Jurassique supérieur.

c- Un ensemble détritique complète la série. Sur le revers Sud du massif, des argiles très indurées, vertes, des pélites gréseuses de même teinte, en petits bancs, des grès très fins, que l'on observe broyés, sont à rattacher à cet ensemble détritique **c**.

Au pied du pic Tafraoui, un petit copeau, disloqué, constitué de marnes schisteuses et de calcaires bleu-noir en bancs de 50cm, représente le Tithonien supérieur ou le Berriasien inférieur.

L'attribution à la partie inférieure du Malm (Jurassique supérieur) de la série **b** paraît logique ; elle est, en effet, en continuité avec les calcaires à « filaments ». Par contre, l'âge de l'ensemble détritique **c** difficile à établir : la présence dans les conglomérats d'éléments attribuables au Dogger, la mise en évidence de Tithonien supérieur-Berriasien inférieur sous un faciès marno-calcaire, situent la série détritique dans le Malm. D'autre part des lacunes tectoniques existent probablement dans ou entre les trois termes **a**, **b** et **c**, calcaire, calcaréo-argileux et détritique.

En conclusion, des comparaisons peuvent être tentées avec les séries Jurassiques les plus voisines. En l'absence d'une stratigraphie fine, il n'est guère possible de mettre en corrélation la série carbonatée de Tafraoui et le Dogger des Hauts-Plateaux ou des massifs du Tell méridional (grand pic de l'Ouarsenis, Bechtout, Oued-Fodda etc.). Toutefois peut-on noter qu'elle correspond à une sédimentation bathyale (e.g. BELAID et *al.*, 2020).

Le Malm (termes **b** et **c**) se présente sous un faciès inconnu dans le Tell méridional. Il s'oppose nettement, aussi bien à la série carbonatée à tendance néritique du Djebel Bechtout (POLVÊCHE, 1960) qu'aux marnes et calcaires riches en faune du grand pic de l'Ouarsenis (MATTAUER, 1958). Les faciès « schisto-calcaires à Radiolaires » et « quartzites à débris de plantes » du Zeccar (MATTAUER, 1958) paraissent trop éloignés pour permettre des comparaisons significatives. Par contre, la Meseta oranaise, la région d'Oujda sont caractérisées au Malm par un régime « deltaïque » (AUGIER, 1967) qui débute au Callovien inférieur. Le massif d'Oran possède un Callovien schisteux et un Oxfordien schisto-quartzitique (DOUMERGUE et FICHEUR, 1908).

Ainsi tout en notant que les faciès sont difficilement corrélables et en particulier les conglomérats, des rapprochements permettant de suggérer un âge callovo-oxfordien

pour l'ensemble *c* en admettant que les alternances de *b* assurent le passage du terme carbonaté *a* au terme détritique *c*.

Cette conclusion coïncide avec l'hypothèse paléogéographique proposée par (AUGIER, 1967) qui englobe, sans grands arguments d'ailleurs, le Nord Oranais dans une vaste zone à sédimentation détritique au Jurassique supérieur.

1.1.3. Le Crétacé :

Selon FENET (1968), le Crétacé du Djebel Taфраoui débute par l'unité sénonienne à « microbrèches » suivie par l'unité albo-cénomaniennne.

- **L'unité sénonienne à « microbrèches ».** Tous les étages du Sénonien (ancien étage correspondant au Crétacé supérieur post-Turonien), ainsi que le Cénomanienn supérieur ont été mis en évidence. Le Cénomanienn supérieur, le Coniacien et le Santonien sont caractérisés par des marnes à intercalations de petits lits calcaires et de niveaux argileux noirs.

Le Campanien et le Maastrichtien se présentent au contraire sous forme d'alternance de marnes et marno-calcaires bleu-noir, au débit en plaquettes.

A tous les niveaux, les marnes sont légèrement glauconieuses et pyriteuses. On peut noter des passées détritiques variées sous forme, soit de plaquettes constituées d'une accumulation de prismes d'inocérames et de rares quartzs détritiques ou authigènes, soit de lits microbrèchiques granoclassés parfois relativement abondants. Une bonne coupe peut être exécutée dans le Chabet Zedma au Sud du Djebel Taфраoui.

Un banc de brèche d'un mètre d'épaisseur a été observé dans le Campanien. Les éléments très anguleux ont jusqu'à 5 cm de longueur. Il s'agit de fragments de roches calcaréo-argileuses à petits quartz et muscovites détritiques, de pélites gréseuses à muscovite, des calcaires floconneux ou grumeleux à rares « filaments », de grés fins légèrement micacés à ciment pélitique de dolomies microgranuleuses, de calcaires à radiolaires, quartzites et silex.

L'unité sénonienne englobe à la base des copeaux d'âge divers : marnes et calcaires marneux noirs du Cénomanienn, marnes et calcaires marneux très clairs, limonites, à ammonites du Barrémien inférieur, argiles noires en paillettes, non datées, quelquefois associées à des bancs de grés roux fins quartzitiques du Crétacé

inférieur. Il s'agit peut-être là de lambeaux d'unités inférieures entraînés au cours du déplacement.

- **L'unité albo-cénomaniennne.** Elle se compose d'alternances de marnes schisteux et de calcaires marneux bleu-noir en petits bancs du Cénomanienn et de l'Albien supérieur, surmontant des marnes indurés en général azoïques, souvent argileuses, à intercalation locales de bancs de grés fins roux. Ces derniers dépôts sont mal datés ; il peut s'agir d'Albien moyen et inférieur et peut être d'Aptien.

Un Sénonien inférieur très calcaire, qui affleure dans l'Oued Taфраoui, paraît s'associer à cette unité.

1.1.4. Le Paléogène :

La sédimentation qui caractérise les monts du Tessala dans le Paléogène est représentée par quatre ensembles lithologiques individualisés (BOUZID, 1993). Un premier ensemble des marnes bleues avec 20 mètres d'épaisseurs suivi par un autre ensemble des marnes bleues à intercalations calcaires avec 40 mètres d'épaisseurs, ensuite 30 mètres de marnes bleues, et enfin 10 mètres de marnes sableuses. La détermination de cette lithologie est à la faveur de plusieurs espèces découvertes, sachant que six biozones sont discernables grâce aux foraminifères planctoniques index indiquant le milieu de sédimentation dite « épibathyal » qui caractérisent le milieu peu-profond à profond.

1.1.5. Le Néogène :

Le Néogène dans les Tessala, est caractérisé par le développement d'une plate-forme carbonatée d'âge Miocène supérieur. Cette plate-forme s'observe sur 60 km de longueur et près de 20 km dans sa plus grande largeur, mais elle est tronquée en bordure du bassin du Chélib par des failles récentes ENE-WSW. Plusieurs auteurs ont signalé l'importance des dépôts à mélobésiées et des variations de faciès au sein de la plate-forme (PERRODON, 1957; PERRODON, 1957a ; ROUCHY, 1982). Les relations entre les diverses lithofaciès et biofaciès ont été envisagées plus récemment avec, notamment, la mise en évidence d'un épisode de construction corallienne (SAINT MARTIN, 1990).

- Dans les Tessala, plus précisément dans Djebel Arbal, la série est constituée par 3 formations (HEBIB et BELKEBIR, 2006) : formation marneuse, formation diatomitique, formation carbonatée.

Formation marneuse : débute par une barre conglomératique fossilifère. 03 mètres de marnes sableuses jaunâtre lui succèdent et passent progressivement à des marnes grises. Elle se poursuit par 50 mètres de grés argileux fossilifères.

Formation diatomitique : (50 mètres), débute par des marnes gris verdâtres glauconieuses où s'intercalent des bancs argilo-gréseux. Vers le haut, apparaissent des premiers bancs de calcaire siliceux en plaquettes. Le reste de la coupe est une alternance, non ordonnée de niveaux marneux clairs et de bancs de différentes natures lithologiques. Un seul niveau de diatomite pure (0.50m) a été repéré pratiquement au sommet de cette unité.

Formation carbonatée : (25 mètres), présente des bancs massifs de calcaires biodétritique.

L'attribution biostratigraphique de l'ensemble de cette série au Tortonien et Messinien a été possible grâce à la présence ou l'apparition successives des foraminifères planctoniques ce qui confirme les attributions proposées par ailleurs (THOMAS, 1985 ; BESEDIK *et al.*, 1997).

La rareté des éléments paléontologiques actuellement disponibles oblige à recourir aux méthodes de la lithostratigraphie. Les nombreuses coupes effectuées dans les assises du Quaternaire ont permis de reconnaître l'existence de huit niveaux sédimentaires, sus-jacents à des édifices dunaires du Quaternaire, dont les premiers se groupent en six séquences qui se succèdent de bas en haut de la façon suivante (THOMAS, 1973) :

1. Formation essentiellement marneuse (50 m) probablement d'origine lagunaire ou marécageuse présentant quelques horizons rubéfiés et des niveaux sombres à montmorillonite. Ces dépôts sont postérieurs à la pédogenèse qui aboutit dans le synclinal de Saint-Hyppolite à la rubéfaction intense des dunes quaternaires.

2. Alternance de sables fins plus ou moins rouges et de calcaires ou marno-calcaires blancs (Bel Hacer, Mostaganem) constituant très vraisemblablement l'équivalent latéral des « calcaires lacustres de Mascara » et de ses faciès subordonnés.
3. Complexe argilo-sableux rouge à moules internes d'*Helix* raviné (moyenne Tafna) avant le dépôt de la séquence suivante ; dans la vallée de l'Oued Mebtouh-Mekerrala Série de la Mekerra nous a livré un lot d'outils appartenant très vraisemblablement à la « Pebble Culture » ancienne (DELFAUD et THOMAS, 1972), attribuée à des assises analogues plusieurs centaines de mètres dans le Dahra (CHOUBERT, 1965).
4. Ensemble franchement détritique comprenant des cailloutis très hétérométriques parfois à gros éléments, (blocs de 200 mm et même plus) emballés dans une matrice sableuse ou limoneuse de teinte claire qui en certains points existe seule (Kailia, El Ouennene).
5. Sables et limons rouges (20 m) dont la partie supérieure montre un enrichissement en carbonate d'un sol à profil calcaire différencié, surmontés par une épaisse dalle atteignant parfois 1 m de calcaire compact rose.
6. Limons rubéfiés recouverts par une croûte calcaire feuilletée.

2. Contexte géologique local :

Notre secteur d'étude comporte d'un point de vue lithologique, les formations du Miocène moyen, Miocène supérieur et le Plio-Quaternaire (**Fig. 04**).

2.1. Miocène moyen :

Il affleure au niveau de la coupe de Sidi Ghalem. Dans la coupe principale (150 m), (NEURDIN-TRESCARTES, 1992) distingue une succession de deux ensembles conglomératiques et continentaux :

- le premier, appelé « Formation de Tafraoui », est attribué au Serravallien. Il se termine par 12 m de cinérites datées de $11,87 \pm 0,76$ Ma, âge très proche de celui (11,80 Ma) du sommet de l'étage Serravallien (BERGGREN et *al.*, 1995 ; HILGEN et *al.*, 2000) ;
- le deuxième, désigné sous le terme de « Formation de Bouhanifia », est rattaché au Tortonien. Il est surmonté, latéralement, par une sédimentation marine attribuée au Messinien.

2.2. Miocène supérieur :

2.2.1. La sédimentation messinienne au Chabet Bou Seter :

Le Chabet Bou Seter, relié vers le Sud à l'Oued El Onghel, offre une coupe assez complète dans les sédiments messiniens, elle comporte de bas en haut (SAINT MARTIN, 1990) :

- Marnes bleues, à passées laminées, renfermant une abondante microfaune et macrofaune.
- Formation diatomitique constituée de la répétition de séquences à plusieurs termes : marno-calcaires blancs à macrofaune de fonds vaseux (Échinides, Dentaies...), marnes laminées, diatomites et horizons silicifiés montrant fréquemment des bioturbations, lumachelles (seulement vers le haut de la formation) à Huîtres et Pectinidae.
- Calcaire marneux à figures de glissements synsédimentaires.
- Calcaire à Mélobésiées comportant une passée à Annélides tubicoles.
- Calcaire marneux.
- Niveau récifal corallien à *Porites*. Il se prolonge vers l'Est jusqu'aux abords du village de Tafraoui.
- Calcaire lité oolithique.

Au débouché du Chabet Bou Seter vers la Sebkha les couches sont d'abord relevées et faillées puis presque horizontales jusqu'au niveau de la Cascade. Ce secteur représente l'un des sites privilégiés pour l'observation des caractéristiques récifales, les déformations tectoniques n'affectant qu'une partie de l'édifice. On peut y suivre également facilement l'évolution de l'environnement sédimentaire durant une grande partie du Messinien (SAINT MARTIN, 1990).

Le cours de l'Oued Tafraoui recoupe tout le rebord septentrional des monts des Ouled Ali, depuis le substratum secondaire qui ressort notamment au niveau du Pic de Tafraoui (730 m) jusqu'à la plaine de la Sebkha. Un barrage ancien ferme la gorge étroite formée par les formations messiniennes au débouché de l'oued sur la plaine.

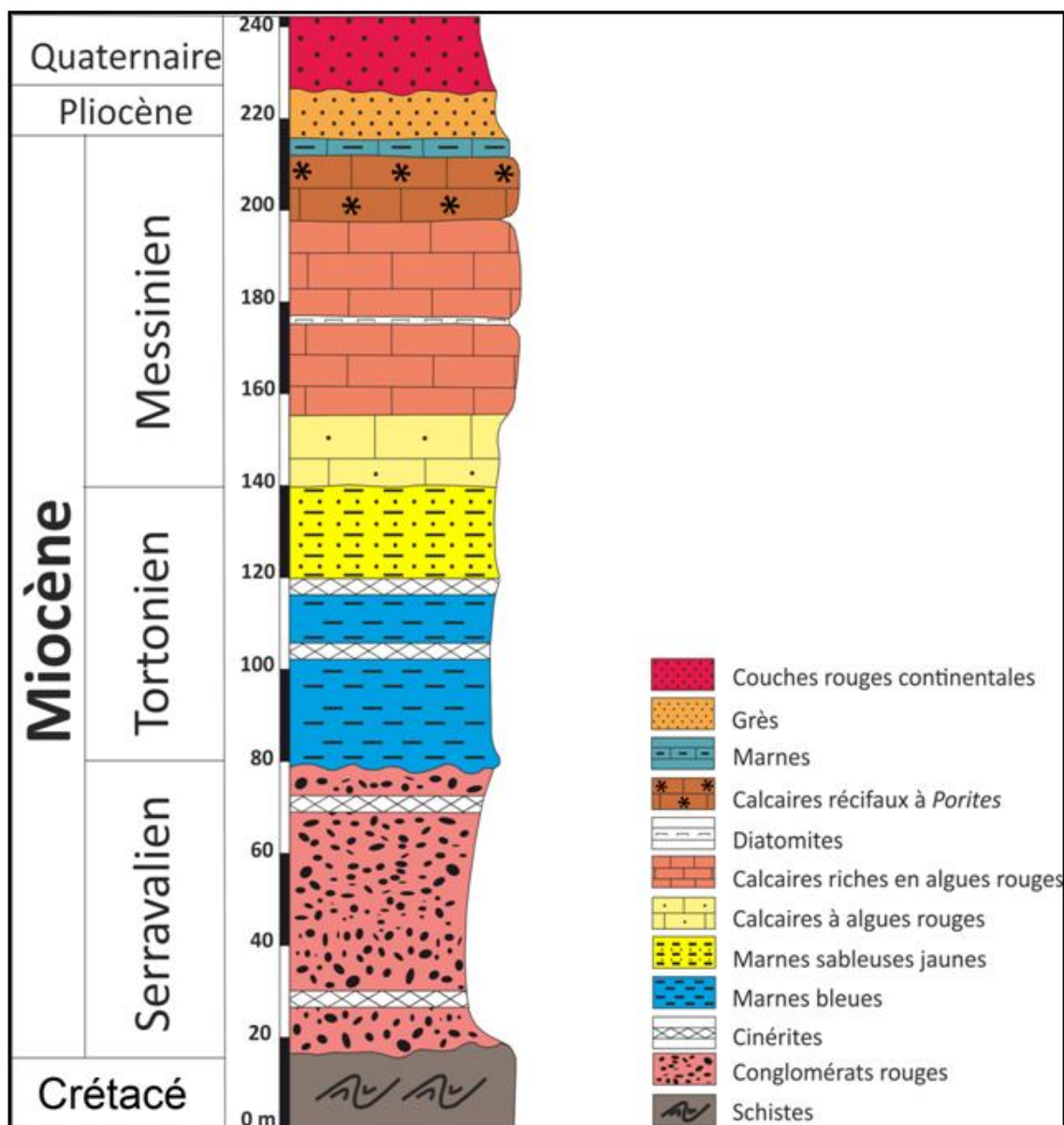


Fig. 04 : Coupe géologique synthétique de la région de Tafraoui.

2.2.2. La sédimentation messinienne dans le secteur de Tafraoui :

La coupe du Messinien du barrage de Tafraoui comporte de bas en haut (SAINT MARTIN, 1990) :

- Socle secondaire qui affleure près du barrage avec des schistes fortement tectonisés.
- Formations détritiques du premier cycle post-nappe. C'est la formation de l'Oued Tafraoui de (NEURDIN-TRESCARTES, 1992), largement développée vers le Sud, en contact avec le substrat.

- Marnes bleues à passées cinéritiques passant vers le haut à des marnes sableuses jaunâtres. La microfaune y est abondante. Localement on peut observer des accumulations d'Huîtres.
- Calcaires à Mélobésiées, gréseux à la base avec une intercalation marno-diatomitique peu importante. On remarque la succession de niveaux séparés par des surfaces de discontinuité, dont certains lumachelliques (niveau à Terebratules par exemple).
- Niveau récifal corallien relevé à la verticale.
- Marnes et calcaires marneux.

Au niveau du barrage, le relèvement des couches permet de suivre dans le détail la succession des divers niveaux qui constituent l'ensemble de la sédimentation messinienne, et plus particulièrement des faciès de calcaires construits.

Le plio-quatenaire dans notre secteur est caractérisé par des formations continentales plio-pléistocènes qui représentent des niveaux gréseux, suivi par des couches rouges continentales récentes (SAINT MARTIN, 1990).

IV. CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE :

Les Monts Tessala constituent un massif à structure complexe, long d'une cinquantaine de kilomètres. L'altitude moyenne est de l'ordre de 800 m, ils culminent à 1061 m (pic de Tessala) et surplombent de 700 à 800 m la plaine de M'léta. Dans les Monts de Tessala, le réseau hydrographique est mal hiérarchisé avec reproduction de cours d'eau de 1^{er} et 2^{ème} ordre. Ceci indique qu'il s'agit d'une surface néo-tectoniquement active en cours de soulèvement. La densité de drainage est élevée du fait de la lithologie essentiellement marno-schisteuse des Monts de Tessala. Cette forte densité de drainage ainsi que la fréquence élevée des confluences favorisent d'autant mieux des crues rapides et puissantes. Les Oueds les plus importants sont d'Est en Ouest, les oueds de Tafraoui, Tamezoura, Ghassoul, El Haïmeur, Besbes-Es Sebbah et Fekrine.

En aval, plusieurs de ces oueds se rassemblent pour donner l'Oued Kef-El-Ogab qui se déverse dans la Grande Sebkhah, tandis que les autres s'étalent sur leur cône de déjection où ils finissent par s'infiltrer. L'analyse de la morphométrie et d'hydrologie permettront d'appréhender certains aspects hydrogéologiques tels que l'infiltration. Dans les monts de Tessala. On est en présence d'une zone active bien redressée à recouvrement marneux à marno-schisteux favorisant le ruissellement des oueds sur plusieurs saisons de l'année (HASSANI, 1987).

V. CONTEXTE STRUCTURAL :

La région marginale de l'Ouest algérien est caractérisée par l'impact d'une tectogenèse régionale qui s'est manifestée dès l'Eocène moyen pour produire les principaux édifices de reliefs et bassins constituant les Maghrébides. L'étude tectonique des massifs côtiers du Sahel oranais a fait l'objet de plusieurs recherches géologiques. La compréhension architecturale des structures géologiques reste fondamentale pour résoudre le modèle sismotectonique régional et l'interprétation des différentes périodes paroxysmales caractérisant l'histoire post-atlasique de la marge littorale de l'Oranais. Dans ce contexte on souligne l'impact de deux principales orogenèses ayant structuré l'ensemble des terrains Néogènes et Plio-Quaternaires (**Fig. 05**) (NADJI, 2010).

1. Une première phase orogénique atlasique tellienne (cycle Alpin-1) :

Elle correspond à la phase compressive lutétienne, responsable de la genèse des massifs littoraux à la faveur d'un coulisage entre la plaque Africaine et celle de l'Alboran. Cette phase est responsable de l'épi-métamorphisme généralisé sur les terrains secondaires à schistosité (FENET, 1975).

2. Une deuxième phase paroxysmale d'Aquitano-burdigalien (Alpin-2) :

Durant cette phase, un second épi-métamorphisme apparaît en affectant l'ensemble des massifs littoraux.

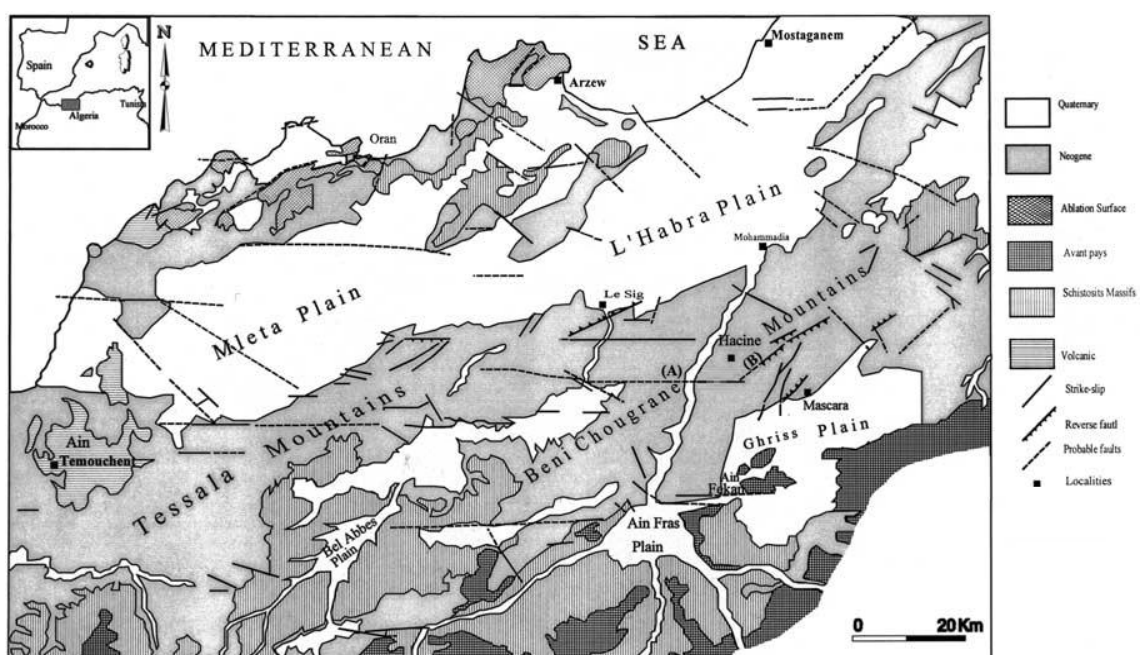


Fig. 05 : Carte tectonique de l'Oranie (THOMAS, 1985 ; AYADI *et al.*, 2002 ; modifiée).

CHAPITRE 2

INTRODUCTION AUX GLISSEMENTS DE TERRAIN

I. INTRODUCTION :

Les mouvements de terrain, appelés également les mouvements gravitaires, sont des phénomènes qui se déclenchent en priorité par le facteur de gravité. Ils représentent un déplacement d'une masse du sol ou du sous-sol d'une façon plus ou moins brutale, selon la vitesse de déplacement, un mouvement de terrain peut être lent ou rapide. Les mouvements lents représentent une déformation progressive des terrains, pas toujours perceptible par l'humain. Ils regroupent principalement les affaissements, les tassements, les glissements, le retrait-gonflement. Ils peuvent être précurseurs d'un mouvement rapide. Les mouvements rapides se propagent de manière brutale et soudaine. Ils regroupent les effondrements, les chutes de pierres et de blocs, les éboulements, les coulées boueuses et les laves torrentielles.

Les mouvements de terrains peuvent enregistrer des dégâts immenses pour la vie humaine, et également pour les habitats. Il est indispensable de prendre toutes les mesures de sécurité pour minimiser les résultats d'un tel phénomène naturel.

Les types de mouvements gravitaires les plus répandus sont :

- **Les tassements et les affaissements** : causés sous l'effet de surcharge (constructions, remblais) ou en cas d'assèchement (drainage, pompage).
- **Gonflement–dégonflement des argiles** : contrôlé par la variation de la quantité d'eau existante dans la formation argileuse ; gonflement dans la saturation en eau (période humide), et dégonflement dans la période sèche.
- **Les glissements de terrain** : ils se produisent généralement en situation de forte saturation des sols en eau. Causés par plusieurs phénomènes naturels tels que les séismes, et parfois anthropiques. Ils peuvent mobiliser des volumes considérables de terre, qui se déplacent le long d'une pente.

On distingue deux types :

- **Glissement rotationnel** : où la surface de rupture est incurvée de manière concave vers le haut et le mouvement de la masse glissée est plus ou moins rotatif autour d'un axe parallèle au contour de la pente suivis en aval par une coulée avec des lobes et des bourrelets (THIERY, 2007).

- **Glissement translationnel** : la masse glissée se déplace vers le bas sur une surface relativement plane et présente peu de mouvements de rotation ou de basculement vers l'arrière. Ces mouvements se développent sur une discontinuité lithologique au contact des formations superficielles (THIERY, 2007).
- **Les effondrements des cavités souterraines** : peuvent être naturels par la dissolution des gypses ou artificiels par les carrières et ouvrages souterrains, ces derniers provoquent l'effondrement du toit de la cavité.
- **Les écroulements et chutes de blocs** : ce phénomène caractérise les falaises généralement, l'évolution de ces falaises engendre des chutes de pierres (quand la taille est $< 1\text{dm}^3$), chute de blocs (volume $> 1\text{dm}^3$), et écroulement en masses quand le volume atteint les m^3
- **Les coulées boueuses** : représentées par le transport de matériaux sous forme de fluide sous l'effet des pluies torrentielles.

II. LES GLISSEMENTS DE TERRAIN :

Les glissements de terrain sont des phénomènes naturels d'origine gravitaire constituant un taux moyen de 20% de l'ensemble des autres risques. Ils apparaissent lorsque les sols ou des roches fragilisés par les activités humaines ou par des phénomènes naturels qu'ils soient climatiques, géologiques ou encore géomorphologiques se déplacent. En général, ces déplacements des matériaux rocheux sont lents, avec quelques millimètres ou mètres annuels, comme ils peuvent atteindre la vitesse de quelques mètres par seconde au moment du déclenchement du glissement. Leur composition influe sur leur gravité. Ils sont destructeurs lorsqu'ils sont composés d'eau. Aussi, ils forment alors des coulées torrentielles. Certains matériaux réagissent particulièrement aux glissements de terrain, comme les argiles, les marnes, les gypses ou les formations superficielles d'altérites (DESODT *et al.*, 2017).

En parlant des facteurs influents sur les glissements de terrain, on peut les subdiviser en deux catégories ; **Les paramètres intrinsèques** tels que l'altitude, lithologie, structure (conforme-non conforme), pente et l'orientation des terrains peuvent agir en première place sur le déclenchement des glissements. Par contre **les paramètres extrinsèques** tels que la saturation en eau des pluies, le couvert végétal et la densité d'agglomérations agissent d'une façon indirecte.

On distingue plusieurs types classiques de glissements de terrain, selon la lithologie, le degré de pente, la structure et d'autres paramètres influents:

- **Les glissements planaire** : sont répartis en plusieurs endroits d'un site et notamment en zones accidentées, l'effet de gravité constitue le facteur principal aux phénomènes de glissement planaire.
- **Les glissements en dièdre** : sont fréquents en terrain de nature cristallophyllienne (granitique) d'où la présence de plans de failles est indispensable. La nature des faciès et les conditions physico-chimiques participent à l'accélération du phénomène de glissement.
- **Les basculements de blocs** : ce phénomène affecte souvent les terrains accidentés (reliefs) ayant des indices d'exposition et des indices géométriques assez particuliers pour présenter une tendance à glisser, à se découper en prismes, ou d'être basculé sous l'effet de leurs poids et leurs formes.

III. LA CLASSIFICATION DES GLISSEMENTS DE TERRAIN :

Plusieurs classifications ont été proposées dans l'étude des mouvements de terrain dont le genre de matériau, type de mouvement, causes et bien d'autres facteurs qui jouent un rôle très important dans cette classification. Le système de classification connu par Varnes est devenu le système le plus utilisé (VARNES, 1954, 1978). Les auteurs n'ont pas l'intention de proposer un tout nouveau système de classification des glissements de terrain mais visent à introduire des modifications à la classification de Varnes pour refléter les progrès récents de la compréhension des phénomènes de glissements de terrain.

Le point de départ des modifications est la version de VARNES (1978) (**Tab. 1**), en tenant également compte des concepts introduits par (CRUDEN et VARNES, 1996) pour obtenir la nouvelle version de la classification.

Le type de matériau est l'un des facteurs les plus importants qui influencent sur le comportement des glissements de terrain, pour cela, VARNES a proposé une division de triple matériau comprenant (roches, débris et sols). La caractérisation de ces matériaux semble être un aspect principal pour la classification de VARNES qui mérite une mise à jour.

En plus à cette importante mise à jour, plusieurs changements, liés principalement aux mécanismes de mouvement, sont décrits pour cette classification.

Tableau 1 : Classification des mouvements de terrain (VARNES, 1978).

Type de mouvement	Roche	Débris	Sols
Eboulement (<i>Fall</i>)	Chute de pierre	Chute de débris	Chute de sol
Basculement (<i>Topple</i>)	Basculement de bloc	Basculement de débris	Basculement de sol
Glissement rotationnel (<i>Rotational slide</i>)	Effondrement de la roche	Glissement de débris	Effondrement du sol
Glissement translationnel (<i>Translational slide</i>)	Glissement de blocs	Glissement de débris	Glissement du sol
Déplacement latéral (<i>Spread</i>)	Déplacement latéral de rocher	-	Déplacement latéral du sol
Coulée (<i>Flow</i>)	Coulée de blocs	-Coulée de talus -Coulée de débris -Avalanche de débris -Solifluxion -Fluage du sol	-Écoulement de sable sec. -Écoulement de sable humide. -Écoulement rapide de l'argile. -Coulée du sol. -Écoulement rapide du sol. -Écoulement de loess
Complexe	Avalanche de débris et glissement de roche.	Renflement de la vallée	Affaissement et écoulement du sol.

La version de classification de VARNES (1978) est basée sur 29 types de mouvements de terrain bien déterminés. Par contre la nouvelle version établie par CRUDEN et VARNES (1996) (**Tab. 2**) comporte 32 types de mouvements de terrain. Donc le système de classification reste facile après cette dernière version.

Pour cela, la proposition de révision de la classification de Varnes est utile pour mettre à jour cette dernière et ajouter les progrès récents concernant les mouvements de terrain.

Tableau 2 : Classification des mouvements de terrain (CRUDEN et VARNES, 1996).

Type de mouvement	Roche	Sols
Eboulement (<i>Fall</i>)	-Chute de roche / glace	-Chute de limon / débris
Basculement (<i>Topple</i>)	-Basculement de bloc -Basculement de la roche	-Basculement du sable / limon
Glissement (<i>Slide</i>)	-Glissement rotationnel de la roche. -Glissement planaire de la roche. -Glissement en coin de la roche. -Glissement composé du rocher. -Glissement irrégulier du rocher.	-Glissement rotationnel de l'argile. -Glissement planaire de l'argile. -Glissement de sable / gravier / débris. -Glissement composé de l'argile.
Déplacement latéral (<i>Spread</i>)	-Propagation de la pente rocheuse.	-Liquéfaction de sable / limon. -Déplacement de l'argile sensible.
Coulée (<i>Flow</i>)	-Avalanche de roches / glace.	-Coulée de sable sec. -Coulée de sable / débris. -Coulée de l'argile sensible. -Coulée de débris. -Coulée de boues. -Inondation de débris. -Avalanche de débris. -Coulée de sol. -Coulée de tourbe.
Déformation de pente (<i>Slope</i>)	-Déformation de la pente montagneuse. -Déformation de la pente rocheuse.	-Déformation de la pente du sol. -Fluage du sol. -Solifluxion.

Concernant les types de mouvements, les premières recherches ont permis de faire la distinction entre les différents modes de base de mouvements représentés par les **éboulements**, les **glissements** et les **coulées boueuses**, cette division est utile jusqu'à présent compléter par les **basculements** et le **déplacement latéral**.

Selon (CRUDEN et VARNES, 1996) les types de mouvements de terrain se divisent en cinq principaux types (**Fig.06**):

- 1- **Les éboulements (*Fall*)** : représentés par les chutes de pierre, débris et sols détachés d'une pente ou d'une falaise.
- 2- **Les basculements (*Topple*)** : ils affectent souvent les terrains accidentés, généralement des reliefs, qui possèdent des indices assez particuliers pour se découper en prismes.
- 3- **Les glissements de terrain (*Slide*)** : d'origine gravitaire, se produisent généralement en cas de saturation en eaux, se déclenchent dans les roches meubles et/ou très fracturés.
- 4- **Le déplacement latéral (*Spread*)** : dû généralement à la liquéfaction des sols, sont représenté par un glissement latéral d'une pente ou d'un sol.
- 5- **Les coulées boueuses (*Flow*)** : sont des phénomènes qui affectent les matériaux remaniés, saturés en eau constituent le type de glissement le plus fluide.

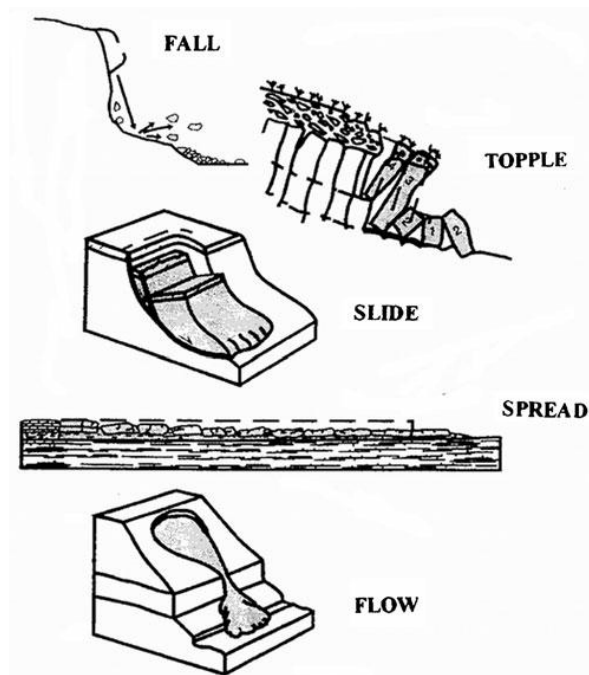


Fig. 06 : Types des mouvements de terrain (CRUDEN et VARNES, 1996).

IV. CAUSES ET EFFETS DES GLISSEMENTS DE TERRAIN :

Les glissements de terrain peuvent créer des perturbations sismiques, ils peuvent également être le résultat des perturbations sismiques dont la vie humaine est en danger immense. Les inondations désastreuses peuvent aussi être le résultat des glissements de terrain particulièrement quand de matériel glissé à travers un fleuve se rompe. Aussi bien les inondations peuvent déclencher des éboulements (RADBRUCH-HALL et VARNES, 1976).

Les œuvres de l'homme, la surcharge de populations, les différents creusements pour la recherche des minéraux essentiels souvent dans les pentes importantes, sont aussi les facteurs et les causes déclenchant des glissements de terrain.

Dans tous les processus et les phénomènes géologiques, les glissements de terrain sont les plus endommageant dans le monde. Souvent, il en résulte des pertes de vies et des propriétés.

Les glissements de terrain ont des effets indirects tels que la pollution des eaux des rivières avec les débris, l'endommagement des terrains agricoles, le remplissage des réservoirs avec de la boue.

Plusieurs œuvres ont été touchées par les phénomènes de glissements, certaines autoroutes ont surmonté (FORSTER, 1933), d'autres ont été réacheminées et abandonnées (MCGILL, 1959; NILSEN et BRABB, 1972), des projets de logements ont été endommagés et d'autres grandes installations telles que les usines de traitement des eaux usées ont rencontré de graves difficultés de constructions.

Afin d'éviter ces types de problèmes, il est souhaitable d'avoir une image régionale des contraintes imposées par les conditions géologiques, y compris les glissements de terrain, lors de la prise en compte des sites de grands développements, tels que le transport réseaux, grands projets de logement ou installations électriques.

V. METHODES D'INVESTIGATION DES GLISSEMENTS DE TERRAIN :

La surveillance des pentes instables constitue l'une des mesures permettant de se protéger contre les glissements de terrain. Les scientifiques emploient aujourd'hui les moyens les plus modernes pour la surveillance des secteurs exposés (**Fig. 07**). Voici quelques méthodes utilisées pour la surveillance des glissements de terrain (ROUKH, 2020) :

- 1- **Stations totales** : cette méthode permet de mesurer plusieurs points sur la surface surveillée durant une période courte. Leur utilisation peut être programmée pour un auto-pointage séquentiel vers un ensemble de cibles de prisme à des intervalles de temps prédéterminés. Cette méthode facilite la détection des déformations liée aux mouvements de terrain au niveau des barrages et les mines à ciel ouvert.
- 2- **Le GPS** : le système de positionnement global offre des avantages par rapport aux autres méthodes, les mesures peuvent être effectuées à n'importe quel moment, il est bien utile lorsque plusieurs récepteurs peuvent être déployés sur le site de glissement de terrain. Avec les techniques de positionnement statique, le temps de mesures à chaque station est bien réduit à quelques minutes.
- 3- **Le LASER** : cette technologie est utile pour la surveillance des glissements de terrain, elle permet de mesurer très rapidement des millions de points à la fois, fournissant une quantité importante d'informations spatiales permettant une prévision très précise concernant les forces qui agissent sur une structure.
- 4- **Le MNT LIDAR** : cette technologie permet d'avoir des informations très détaillées sur la topographie de la zone étudiée, elle permet aussi d'estimer la vitesse et la fréquence des mouvements de terrain.
- 5- **Les images satellitaires** : la technologie des images satellitaires est utilisée pour produire des cartes d'inventaires des glissements de terrain et les facteurs d'occurrences liés à ces derniers, tels que la morphologie de surface, les propriétés structurelles et lithologiques, l'occupation du sol. L'observation journalière des images satellitaires favorise une mise à jour sur les caractéristiques des glissements de terrain.
- 6- **La photogrammétrie** : à l'aide de la comparaison des séries de photos aériennes, les techniques de la photogrammétrie sont considérées comme un outil efficace pour surveiller les glissements de terrain en mouvement actif et pour analyser la vitesse de déformations sur une longue période.
- 7- **Di_In SAR** : les déplacements liés aux mouvements de terrain peuvent être estimés par le traitement des images Radar par différentes techniques de la télédétection. Ces techniques présentent un outil performant dans la détection et la surveillance des glissements de terrain à distance.

- 8- **Les inclinomètres** : par rapport à leurs noms, ces instruments détectent toute modification de l'inclinaison dans le tubage installé dans les trous de forages dans la masse glissée. Ils peuvent aider à déterminer la surface et la profondeur du plan de défaillance.
- 9- **Les compteurs de fissures** : chaque signe de séparation entre deux points sur le plan de la surface mesurée sera détecté par ces compteurs, donc ils sont très utiles pour la détection de mouvement de la masse déformable.

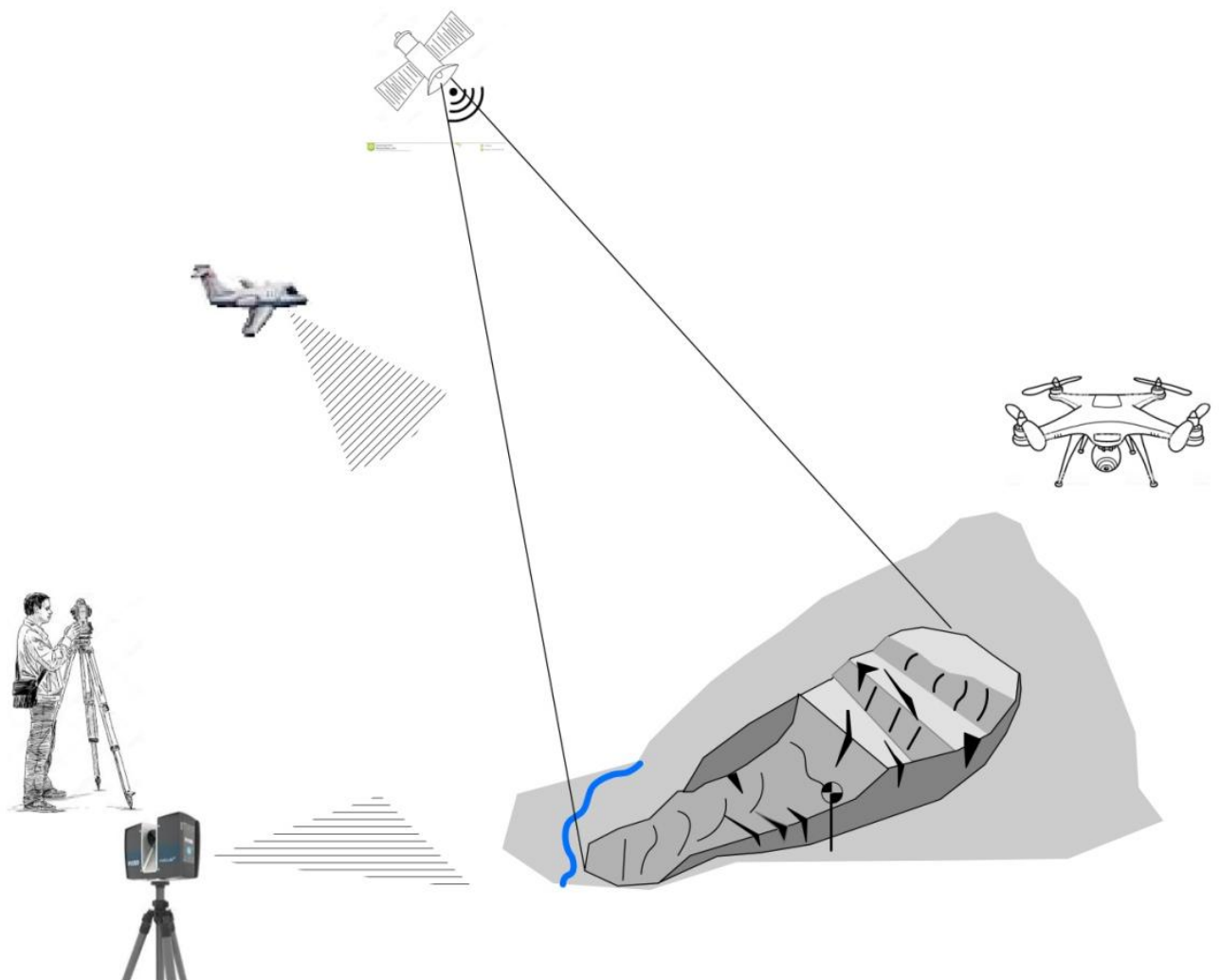


Fig. 07 : Quelques méthodes d'investigation des glissements de terrain (ROUKH, 2020).

VI. LE RISQUE DES GLISSEMENTS A TRAVERS LE MONDE :

Un total de 55 997 personnes ont été tuées suite à 4862 glissements de terrain à travers le monde durant la période comprise entre Janvier 2004 et Décembre 2016, en ordre, les zones les plus affectées par ces phénomènes dans le monde sont (**Fig. 08**) : l'Asie (75% du total des glissements enregistrés), les glissements se manifestent avec un nombre très important de glissements dans l'arc himalayen, l'Inde, Sud-est de la Chine, dans les pays voisins de Laos, Bangladesh et Myanmar, les îles qui forment l'Indonésie et les Philippines, la Turquie et l'Iran. En Europe, les Alpes sont les plus affectées par les glissements. Dans le continent Africain, les glissements se concentrent dans les frontières de l'Est entre la Tanzanie, Rwanda, Burundi, Kenya, Ouganda, et la république démocratique du Congo. Les glissements de terrain jouent un rôle important dans l'Amérique de Sud, le long de la chaîne montagneuse des Andes, sur la côte Est du Brésil, entre le Costa Rica et le Sud du Mexique dans l'Amérique centrale, et dans les îles des Caraïbes (FROUDE et PETLEY, 2018).

Parmi les catastrophes enregistrées suite aux mouvements de terrain, celle de l'Inde (Juin 2013) est la plus importante dont elle a causé le décès de plus de 570 personnes après une extrême quantité des précipitations météoriques qui ont déclenchés une coulée boueuses dans la province himalayenne de l'Uttarakhand (MARTHA et *al.*, 2015 ; RAY et *al.*, 2016).

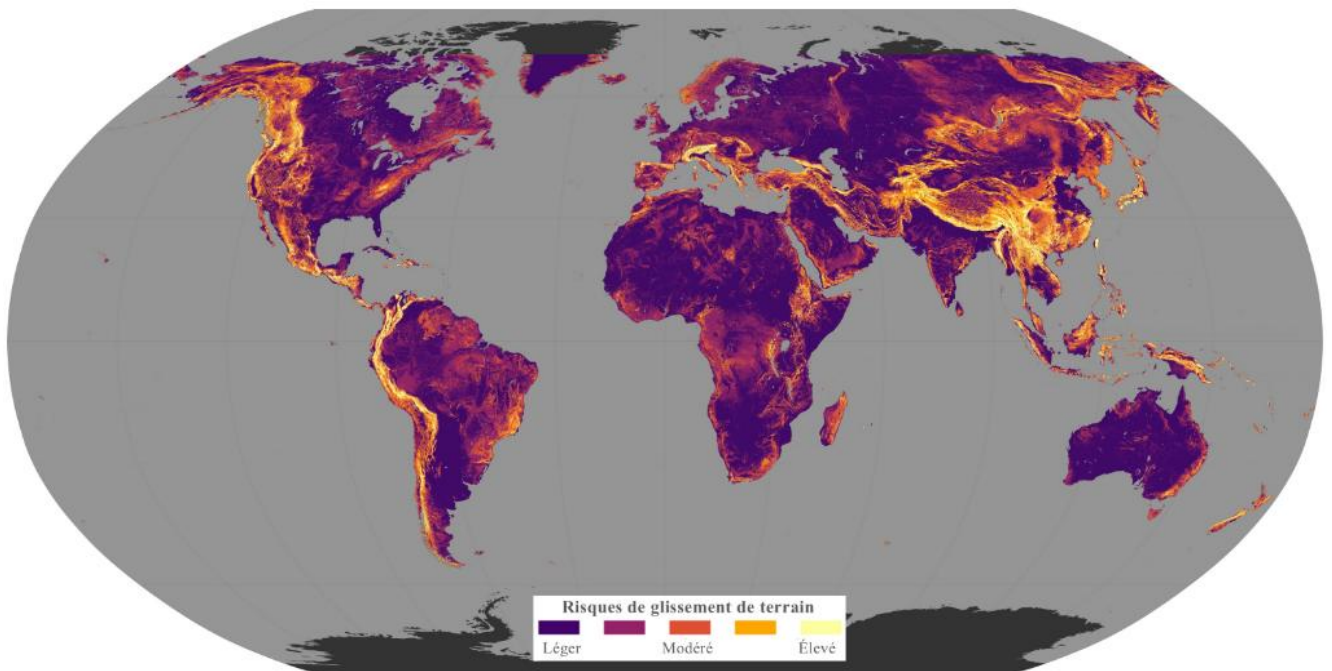


Fig. 08 : Le risque des glissements de terrain à travers le monde (FROUDE et PETLEY, 2018 ; modifiée).

1- Exemples et historique des glissements de terrain dans le monde :

1.1. Glissement de la Clapière (France) :

Ce glissement est le plus important en Europe actuellement, situé en France dans les Alpes-Maritimes (**Fig. 09**). Il est l'un des mouvements de terrain les plus actifs et rapides au monde avec une vitesse de 1 à 10 mètres par an et un volume de 50 millions de mètres cubes, le glissement est susceptible de barrer la vallée de la Tinée provoquant alors l'inondation en amont de la ville de Saint-Étienne-de-Tinée et constitue un grave danger pour les populations et les infrastructures en aval.

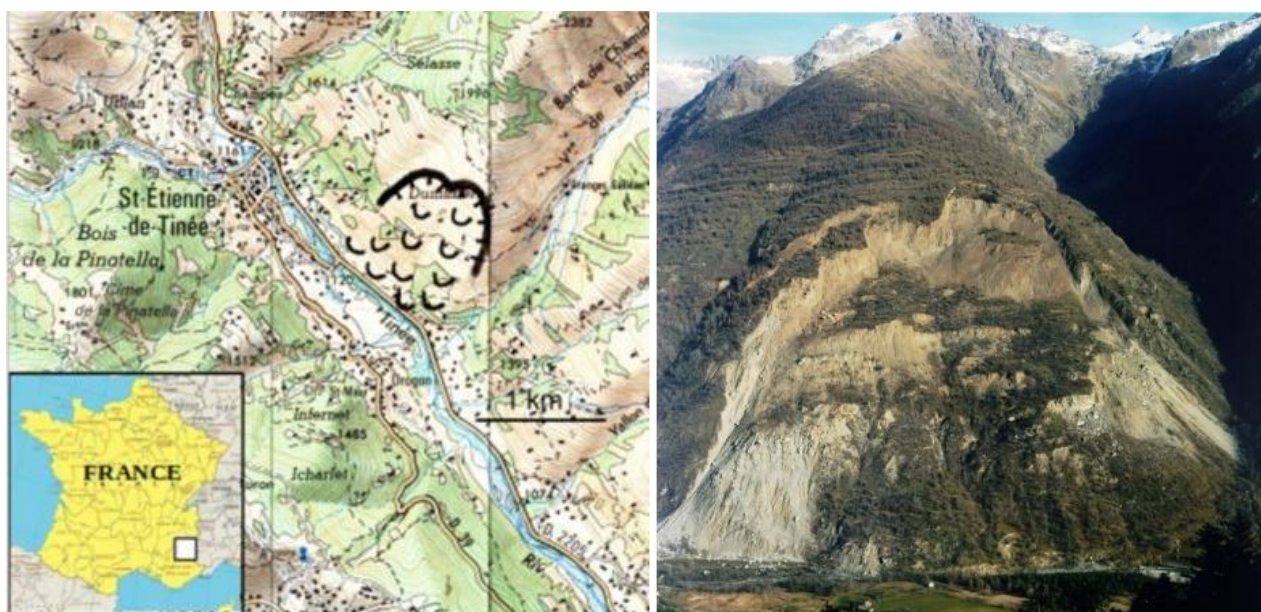


Fig. 09 : Glissement de la Clapière dans les Alpes maritimes en France (SCHLÖGEL et al., 2016). .

1.2. Glissement dû au séisme de la province de Yunnan (Chine) :

Le 3 Août 2014, un séisme d'une magnitude Ms 6.5 dont l'épicentre a été localisé dans Longtoushan (10 Km de profondeur) dans la province de Yunnan située dans le sud-ouest de la Chine, c'est une zone susceptible aux tremblements de terre. Ce dernier a causé des glissements de terrain catastrophiques (TIAN et al., 2017) dont au moins 367 personnes ont été tuées et près de 2000 blessés sont enregistrés. L'interprétation visuelle a permis de cartographier respectivement 284 et 1053 glissements de terrain avant et après l'événement (**Fig. 10**).



Fig. 10 : Glissement causé par le séisme de Yunnan en Chine (TIAN et al., 2017).

1.3. Glissement au sud-est du Mexique (Santa-maria) :

Un énorme glissement de terrain a eu lieu dans le Sud-est du Mexique le 28/09/2010. Ce glissement a causé la disparition de 100 personnes et le décès de 7 individus, non seulement la population, le nombre de 300 maisons qui ont été détruites complètement à Santa Maria Tlahuitoltepec où se trouve 10.000 habitants située à 2.400 mètres d'altitude d'une zone montagneuses, selon le gouverneur de l'Etat d'Oaxaca, Ulises Ruiz, a déclaré qu'un pan de colline s'est effondré sur une largeur de 200 mètres sur 100 à 300 habitations. Suite à ce phénomène une catastrophe a touché cette région (Fig. 11).



Fig. 11 : Glissement de Santa Maria Tlahuitoltepec au sud-est du Mexique.

VII. LE RISQUE DES GLISSEMENTS DE TERRAIN EN ALGERIE :

Suite aux études qui ont été faites à différentes échelles surtout dans la partie Est de l'Algérie, les zones les plus affectées par les phénomènes des glissements de terrain se localisent dans la marge littorale. Ces zones constituent une susceptibilité aux instabilités gravitaires vu leurs caractéristiques géomorphologiques et tectoniques. Parmi ces régions, on cite : Constantine, Bejaia, Souk Ahras, Sétif, Tizi Ouzou, Mascara et Oran.

Les glissements de terrain représentent l'un des aléas naturels les plus dommageables et couteuses pour la société, les propriétés et l'économie nationales dans la partie Nord de l'Algérie (BENAISSA *et al.*, 1989 ; GUEMACHE *et al.*, 2011 ; DJERBAL *et al.*, 2017).

1- Exemples et historique des glissements de terrain en Algérie :

1.1. Le glissement de Bélouizdad (Constantine) :

La ville de Constantine possède plusieurs sites de glissements (**Fig. 12**). Les glissements de terrain du quartier Bélouizdad à Constantine ont causé la destruction de plusieurs dizaines d'habitations. Ils se manifestent le long d'un versant, en grande partie urbanisée, et s'étendent sur plus de 30 hectares dont ils sont de grande ampleur. Les terrains affectés par ces glissements correspondent aux alternances épaisses d'argiles et conglomérats miocènes renfermant plusieurs aquifères. L'étude de ces glissements a montré l'existence des surfaces de rupture parfois profondes (20 à 30 m) et des déplacements vers le Nord, en direction de l'oued Rhumel. D'autres études de calcul de stabilité montrent la grande sensibilité des formations miocènes instables en présence d'eau (BOUGDAL *et al.*, 2013).

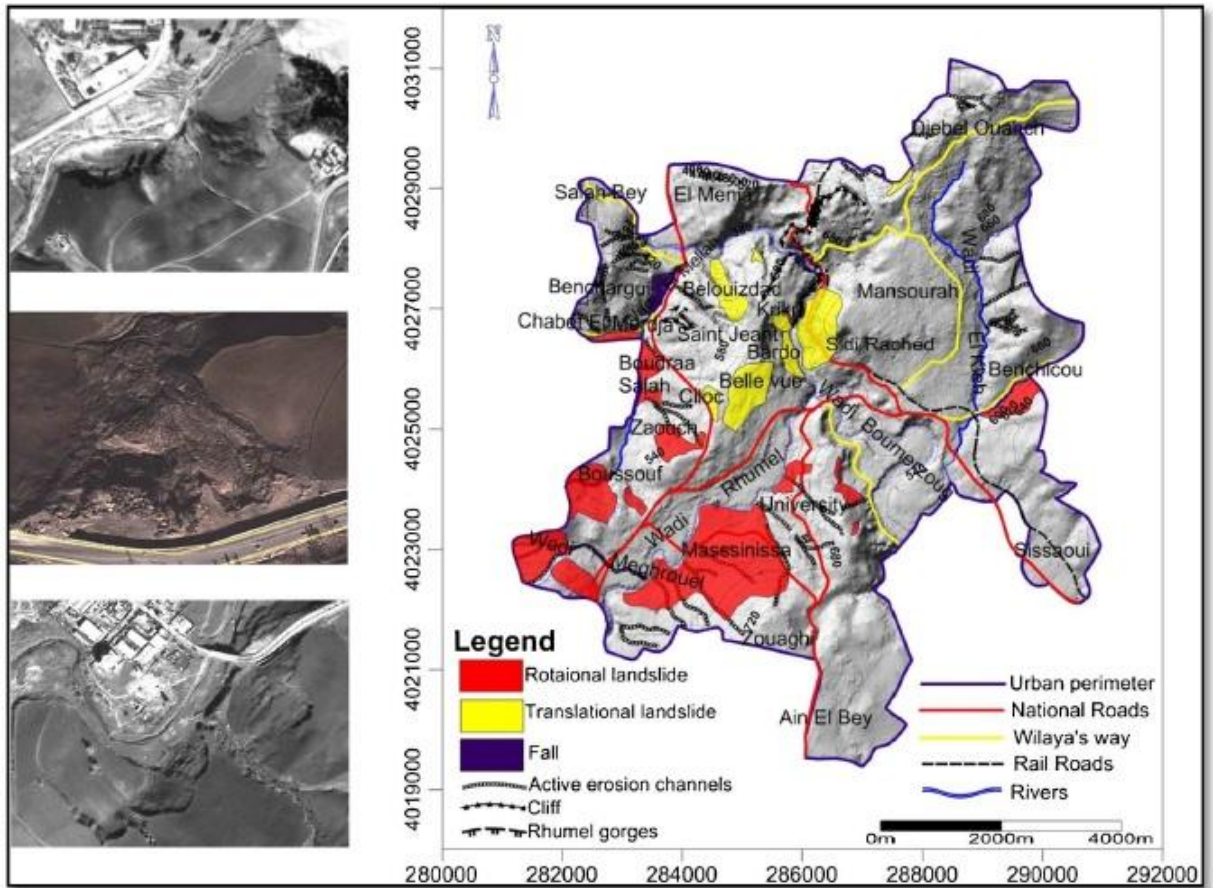


Fig. 12 : Principaux sites de glissements de terrain à Constantine Ville (BOURENANE et al., 2016).

1.2. Glissement de Cap Aokas (Bejaïa) :

En février 2015, au niveau de la falaise de Cap Aokas, un éboulement catastrophique est survenu. Il été la cause de 6 morts et 7 blessés, comme il a conduit à la fermeture temporaire de la chaussée amont de la RN09 dont un bus de 30 places, un autre de 12 places et deux voiture légères ont été endommagés (**Fig. 13**).



Fig. 13 : L'éboulement de Cap Aokas (HADJI et al., 2016).

1.3. Le glissement de la ville de Tizirt (Tizi Ouzou) :

Le glissement de terrain de la ville de Tizirt (**Fig. 14**) est l'un des cas de glissements actifs et spectaculaires qu'a connu la région au cours de ces dernières années. Il affecte une formation meuble marneuse altérée et fissurée. Les facteurs déclenchant de ce glissement sont principalement liés à la structure géologique, aux conditions hydro-climatologiques et à la topographie de la région. L'instabilité est localisée plus précisément dans un versant composé de marnes surmontées par des dépôts quaternaires récents d'une inclinaison d'environ 13° à 15° (GUIROUS et MELBOUCI, 2020).

La première instabilité, datée de l'hiver 1970, affecte le centre ville de Tizirt. L'arrachement principal de ce glissement est situé à une altitude d'environ 270 m et à environ 1390 m de la mer mobilisant ainsi une superficie d'environ 136 ha (GUIROUS et *al.*, 2014).

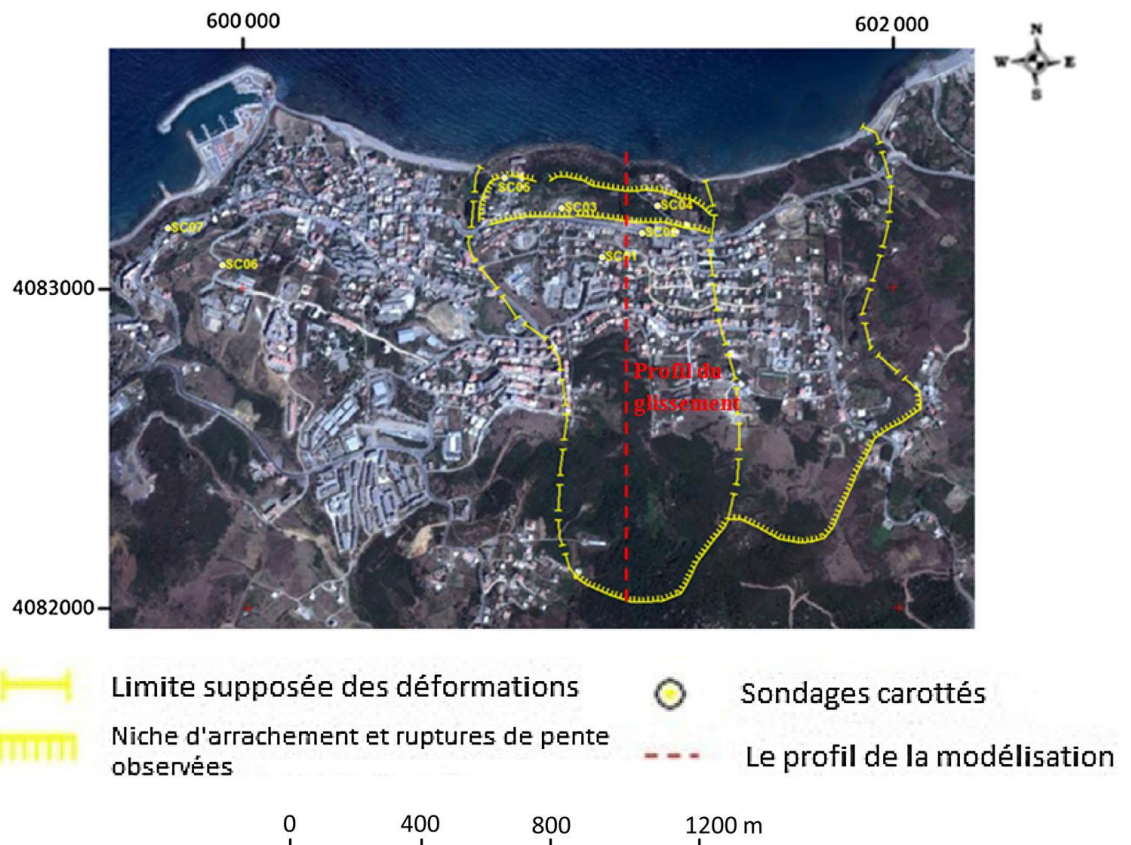


Fig. 14 : Morphologie du glissement du versant de Tizirt (GUIROUS et *al.*, 2014).

1.4. Le glissement de Mers El Kebir (Oran) :

Une grande masse de terre à été glissée lors de la réalisation de la nouvelle route d'évitement de Mers El Kebir – Ain El Turck. L'endroit se situe exactement dans l'amont de l'ex. Hai Hark Touil dans l'altitude qui varie entre 70 et 98 mètres (**Fig. 15**). L'utilisation des données topographiques du site ont permis de signaler que la zone affectée par ce glissement se caractérise par une pente modérée varie de 9.6 et 20°. Le type de mouvement qui a affecté la masse d'une superficie d'environ 1 Ha est un glissement complexe, avec une succession des glissements rotationnels (ROUKH, 2020) (**Fig. 16**).



Fig. 15 : Localisation du glissement de terrain du Mers El Kebir (ROUKH, 2020).

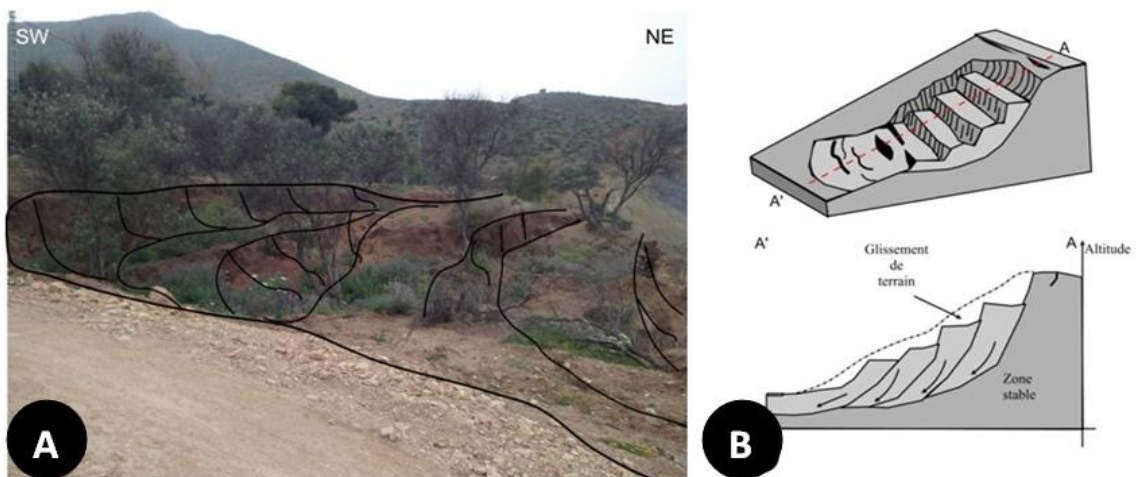


Fig. 16 : Interprétation du glissement de terrain de Mers El Kebir (ROUKH, 2020).

A) vue sur terrain de la partie amont du glissement de terrain.

B) vue 3d du glissement de terrain avec un profil 2D de la morphologie du versant selon la direction AA'.

VIII. CONCLUSION :

Dans ce chapitre, une recherche bibliographique approfondie nous a permis de bien connaître les types et les caractéristiques des glissements de terrain, afin de présenter une classification bien déterminée établie par VARNES (1978), et renouvelée par CRUDEN et VARNES (1996). Cette classification a facilité la détermination des types des glissements utilisés récemment dans les articles scientifiques.

Cette recherche a permis de déterminer les différentes causes et effets des glissements de terrain pour bien comprendre la dynamique de ce phénomène, ainsi les méthodes et les outils de surveillance des glissements les plus fréquents.

Pour bien connaître l'histoire des glissements de terrain, des exemples réels à travers le monde, ainsi la répartition de ce phénomène ont été présentés afin d'identifier les zones les plus touchées par les glissements de terrains.

Des exemples et des événements concernant les phénomènes de glissements en Algérie ont été présentés dans différentes zones littorales, l'est, le centre et l'ouest afin de connaître l'activité de ces phénomènes dans notre pays.

CHAPITRE 3

ETUDE DU GLISSEMENT DE LA CARRIERE DE TAFRAOUI

I. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ETUDE :

1. Localisation :

La zone étudiée est une carrière de tufs qui se situe dans la commune de Tafraoui au Sud de la wilaya d'Oran (**Fig. 17**). Cette commune couvre une superficie d'environ 182.42 Km². Le territoire de Tafraoui se compose de quatre agglomérations secondaires (Graïdia, Hamou Ali, Kehaïlia et Sidi Ghalem). Selon le recensement général de la population et de l'habitat (RGPH) de l'année 2015, la commune de Tafraoui englobe une population de 13.332 personnes avec une densité moyenne de 78 habitant/km² pour une superficie cadastrée de 170.84 Km². La principale activité des individus de la commune de Tafraoui est l'agriculture, dont la superficie agricole est d'environ 92.45 Km² (ROUKH, 2020).

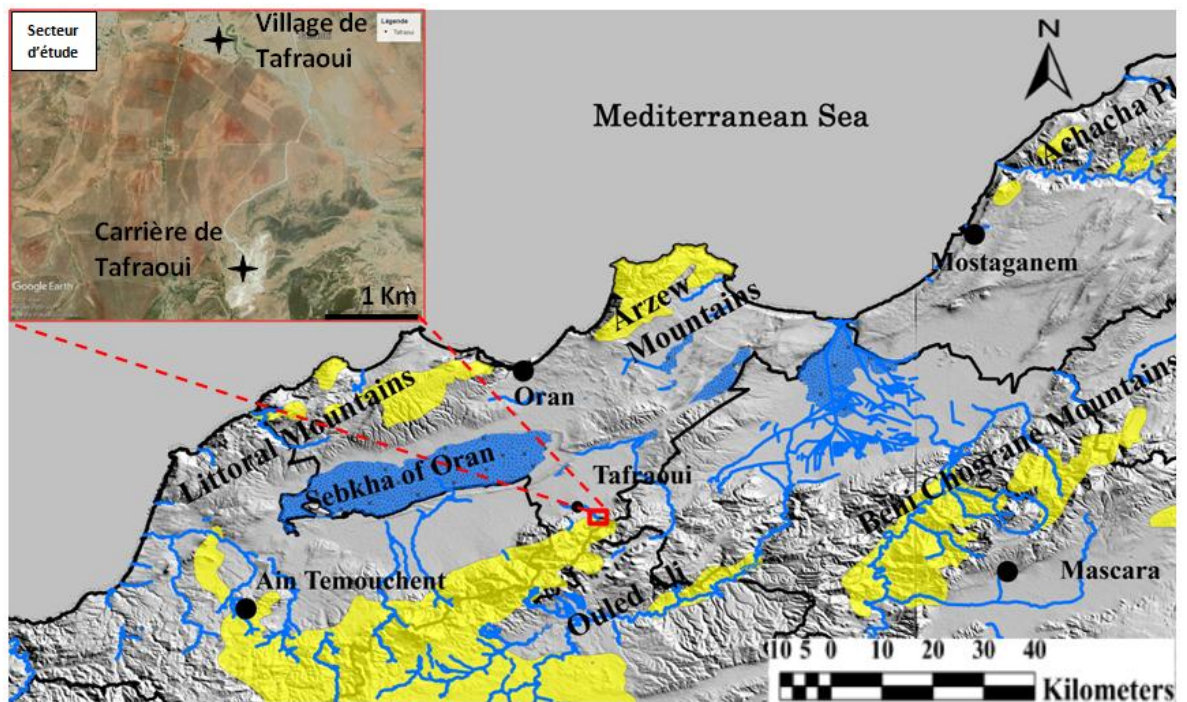


Fig. 17 : Localisation et image satellitaire de la zone d'étude.

2. Le climat :

Le climat de la zone d'étude est de type méditerranéen semi-aride caractérisé par une saison chaude et sèche en Eté et une saison fraîche et humide en Hiver. La valeur moyenne des précipitations annuelles est de 338 mm selon l'appréciation de l'office national de la météo (ONM).

3. Précipitations :

Les données des précipitations mensuelles recueillies au niveau de la station météorologique d’Oran Es Sénia durant la période 2011-2020 (**Tab. 3**). La station se localise dans la commune d’Es Sénia avec les Coordonnées (35,63°N 0,60°O) et d’environ 90 mètres d’altitude. Elle est à environ 20 Km de notre secteur d’étude.

Tableau 3: Précipitations mensuelles de la station d’Es Sénia durant la période 2011-2020.

-	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	cumul (mm)
2011	21	28	16	48	50	12	-	-	11	59	124	44	413
2012	48	45	32	37	1	-	3	-	2	38	-	-	206
2013	-	-	-	-	-	-	-	2	15	28	66	107	218
2014	63	11	54	-	8	3	-	1	69	10	33	79	331
2015	69	54	19	3	26	2	-	-	5	68	28	-	274
2016	18	42	39	40	17	4	-	-	1	1	90	66	318
2017	102	5	4	9	7	-	-	2	2	8	60	48	247
2018	61	81	106	43,9	40	12	-	-	30	122,2	36	2	534,1
2019	24,2	6	16	48,9	10,2	0	1,1	0,9	13,3	55,8	62,2	60	298,6
2020	33,6	0	8,7	103,8	44,4	0	0,5	0,4	0,4	1,5	13,6	39,5	246,4

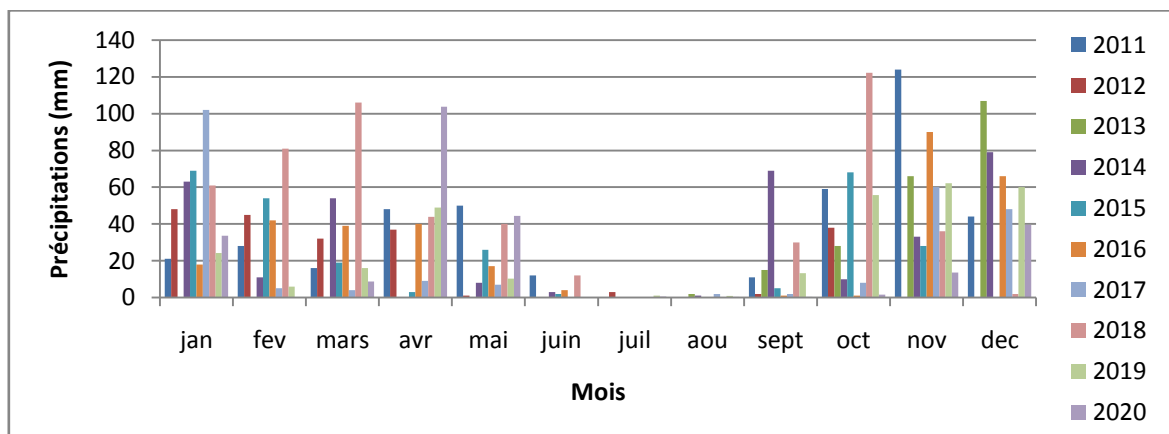


Fig. 18 : Histogramme des précipitations mensuelles de la station d’Es Sénia entre 2011 et 2020.

Les données prises durant les 10 dernières années montrent que la valeur moyenne des précipitations est d’environ 310 mm/ans, presque identique de celle de notre secteur d’étude. Selon l’histogramme (**Fig. 18**), la période humide se coïncide entre le mois d’Octobre et le mois d’Avril, par contre la période sèche est entre le mois de Juin et le mois d’Août.

4. Géomorphologie :

La zone d'étude est caractérisée par deux différents ensembles morphologiques, une plaine dite de la M'léta qui occupe la partie Nord de la commune de Tafraoui avec une superficie de 82 Km², et le Djebel Grabis (dont Djebel Grabis) qui se situe au Sud de la commune avec une superficie d'environ 100.42 Km² et qui fait une grande partie des monts des Tessala (**Fig. 19b**). La région possède un réseau hydrographique très développé présentant un écoulement conforme à la topographie (**Fig. 19a**). Les écoulements des Oueds ont une orientation méridionale se déversant au niveau de la grande Sebkhha d'Oran (ROUKH, 2020).

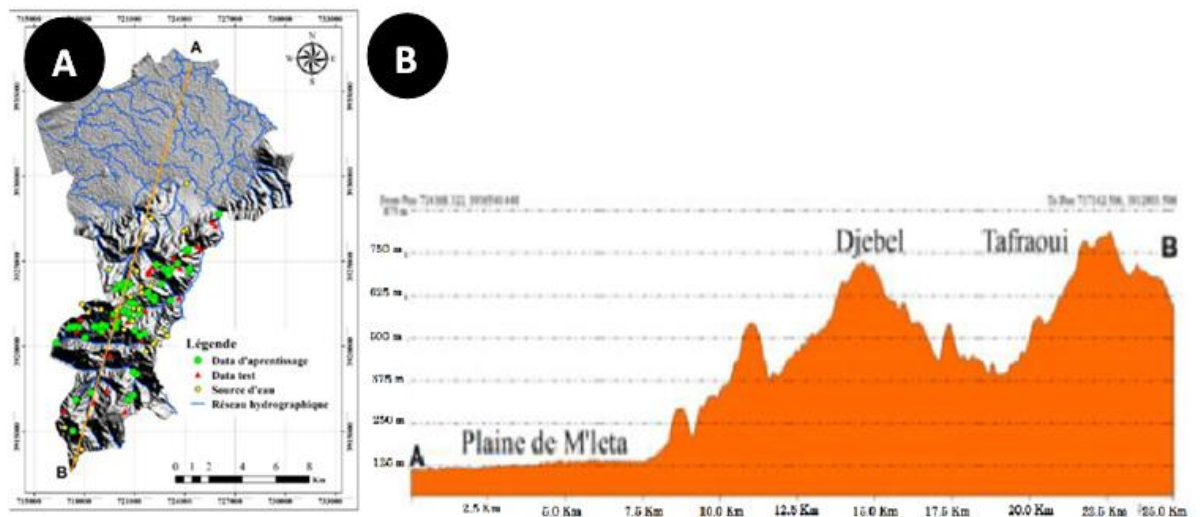


Fig. 19 : Les différentes unités morphologiques de la zone d'étude (ROUKH, 2020).

A) caractéristiques géomorphologique de la zone d'étude.

B) profile topographique AB.

II. CONTEXTE GEOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE:

1. Stratigraphie et lithologie :

De point de vue géologique, la plaine de la M'léta est caractérisée essentiellement par des formations d'âge quaternaire et actuel. Par contre le Djebel Grabis est composé par des formations d'âge crétacé (Marnes du Cénomaniens) jusqu'à l'actuel (alluvions récentes, **Fig. 20**). Dans les zones avoisinantes le Trias, le Jurassique, ainsi que le Crétacé inférieur affleurent (carte géologique d'Arbal 1/50 000, 1931).

La lithostratigraphie est détaillée dans le **Tab. 4** (du plus ancien au plus récent) :

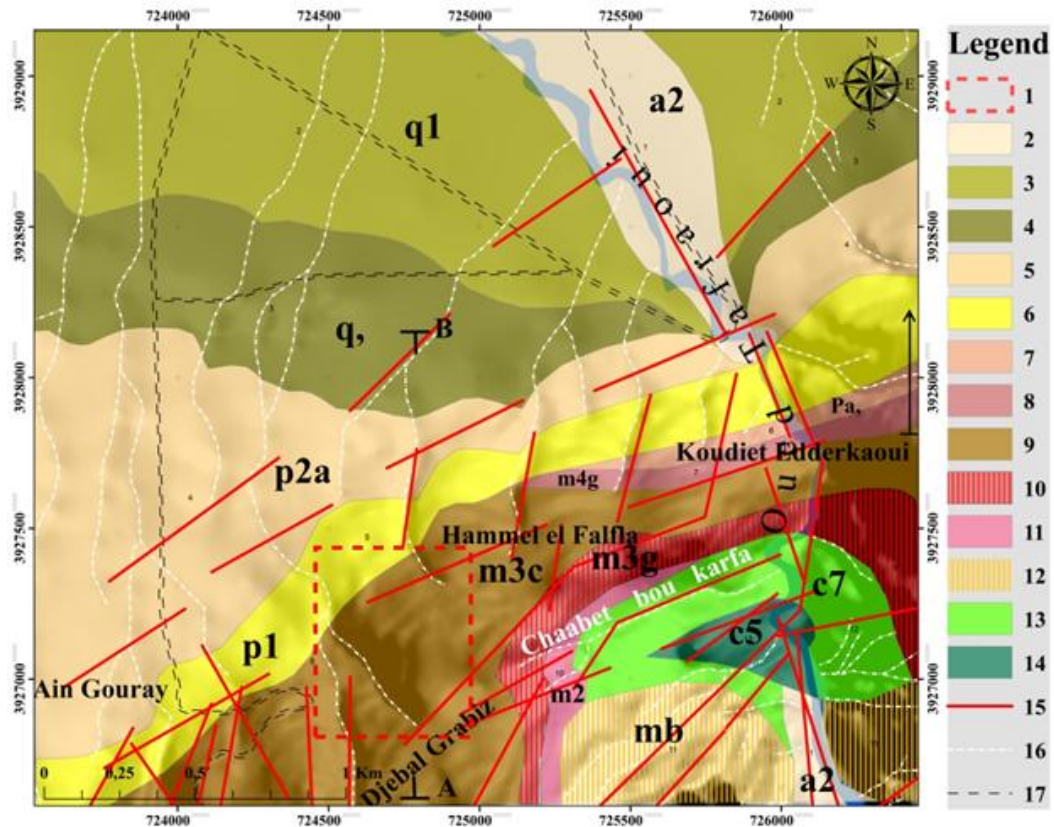


Fig. 20 : Carte géologique de Djebel Grabis (extrait de la carte géologique d’Arbal 1/ 50 000, 1931), **1** : zone étudiée, **15** : réseau des fracturations, **16** : réseau hydrographique, **17** : réseau routier.

Tableau 4: Lithostratigraphie de la zone étudiée (extrait de la carte géologique d’Arbal 1/ 50 000, 1931).

N°	Faciès et âge	Symboles
14	Marnes du Cénomanién	C5
13	Marnes Schisteuses du Crétacé supérieur	C7
12	Conglomérats grossier gris rougeâtre	mb
11	Marnes Helvétique	m2
10	Grès jaunâtres	m3g
9	Calcaires à <i>Lithothamnium</i>	m3c
8	Calcaires gréseux	m4g
7	Marnes sableuses et grès fossilifères	Pa
6	Conglomérats alluvionnaires du Pliocène	P1
5	Marnes alluvionnaires rouges	P2a
4	Alluvions anciennes et dépôts de pente (niveau moyen)	q,
3	Alluvions anciennes (niveau inférieur)	q1
2	Alluvions récentes	a2

2. Réseau des fracturations :

Une fracture est un alignement ou une fissure structurale de dimension variée correspondante à un accident de l'écorce terrestre dont l'influence se fait sentir sur des millions d'années au cours de phases tectoniques successives.

Le réseau des fracturations dans notre secteur est représenté dans la carte géologique au-dessus (**Fig. 20**, n° 15). Au total, 43 fractures sont identifiées selon NADJI. L'interprétation de ces dernières est faite à l'aide du stéréogramme établi (rosace, **Fig. 21**). D'après ce dernier on distingue une subdivision de cinq familles de différentes orientations (**Tab. 5**).

Tableau 5 : Subdivision des différentes familles des fracturations.

Familles des fracturations	L'orientation des différentes familles	%
NNE	N 000° à N 030°	27.90 %
NE	N 030° à N 060°	23.25 %
ENE	N 060° à N 080°	30.25 %
SE	N 140° à N 150°	4.65 %
SSE	N 150° à N180°	13.95 %

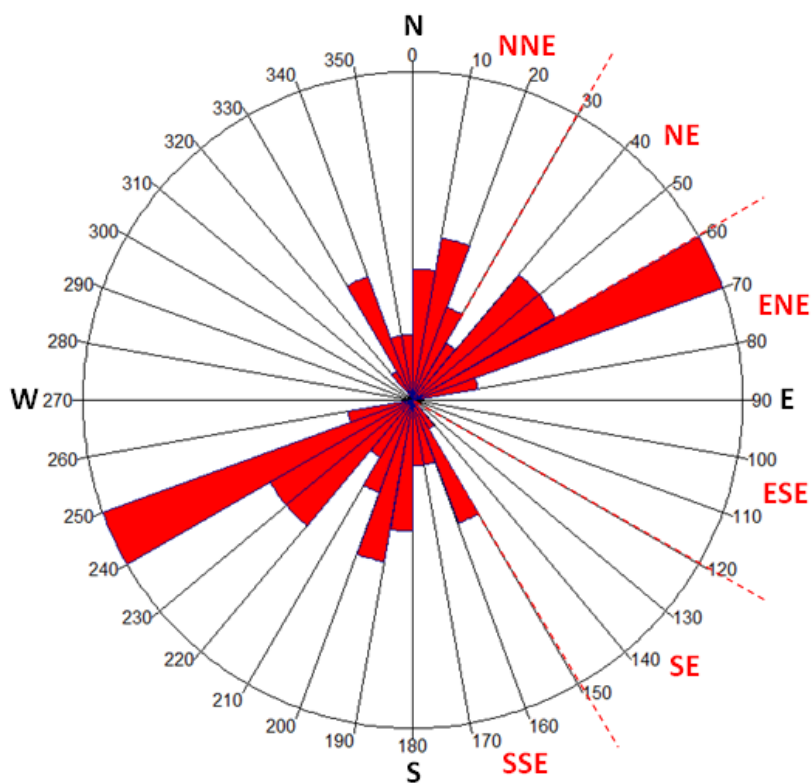


Fig. 21 : Stéréogramme des fracturations (Rosace).

3. Séismicité et sismotectonique:

3.1. Estimation du paramètre sismogène b _value sur notre zone d'étude :

La démarche analytique permettant le calcul des paramètres sismogènes du Sahel oranais établie par NADJI (2010) (**Fig. 22**), est basée sur l'application d'une loi fréquentielle dite de Gutenberg Richter (GR). Nous avons pris les valeurs du paramètre 'b' déterminé par NADJI (2010) pour la zone 4 et la zone 6. Sachant que notre secteur se localise dans la zone 6 et à la limite de la zone 4. Les résultats du paramètre sismogène 'b' dans les unités sismogènes 4 et 6 sont représentés dans le tableau suivant:

Tableau 6 : Tableau du paramètre sismogène 'b' des unités sismotectoniques du Tell oranais; période (1790-2006) (NADJI, 2010).

Unités sismotectoniques	Lois de fréquence séismique (Gutenberg Richter)	B_value
Zone.4 (Bassin du Bas Chélif)	$\text{Log}(N) = 2.340 - 0.275 * (m)$	0.275
Zone.6 (Tessala Sidi Bel Abbés)	$\text{Log}(N) = 2.045 - 0.282 * (m)$	0.245

Le calcul des lois de distribution de la sismicité montre une caractéristique importante liée aux faibles valeurs de 'b'. Ce paramètre, indice d'activité séismique, montre une spécificité géodynamique importante (NADJI, 2010). D'après les résultats obtenus des valeurs 'b', et d'après La distribution spatiale de l'activité séismique sur le Tell oranais (**Fig. 23**), notre secteur est caractérisé par une faible activité séismique. Cette distribution est liée aux plusieurs paramètres, Les travaux de (JHON CURTIS, 1973) confirment que les faibles valeurs de 'b' décroissent avec la profondeur du substratum et avec le temps géologique.

3.2. Evaluation de la probabilité d'occurrence des séismes :

Dans la zone 4 (Bassin du Bas Chélif) la probabilité d'occurrence séismique annuelle (pour : 10%) est de 0.54. Avec une magnitude maximale d'occurrence annuelle de 8.926 et une magnitude maximale de 8.509 (NADJI, 2010).

Dans la zone 6 (Tessala Sidi Bel Abbès) la probabilité d'occurrence séismique annuelle (pour : 10%) est de 0.56. Avec une magnitude maximale d'occurrence annuelle de 9.754 et une magnitude maximale de 9.388 (NADJI, 2010).

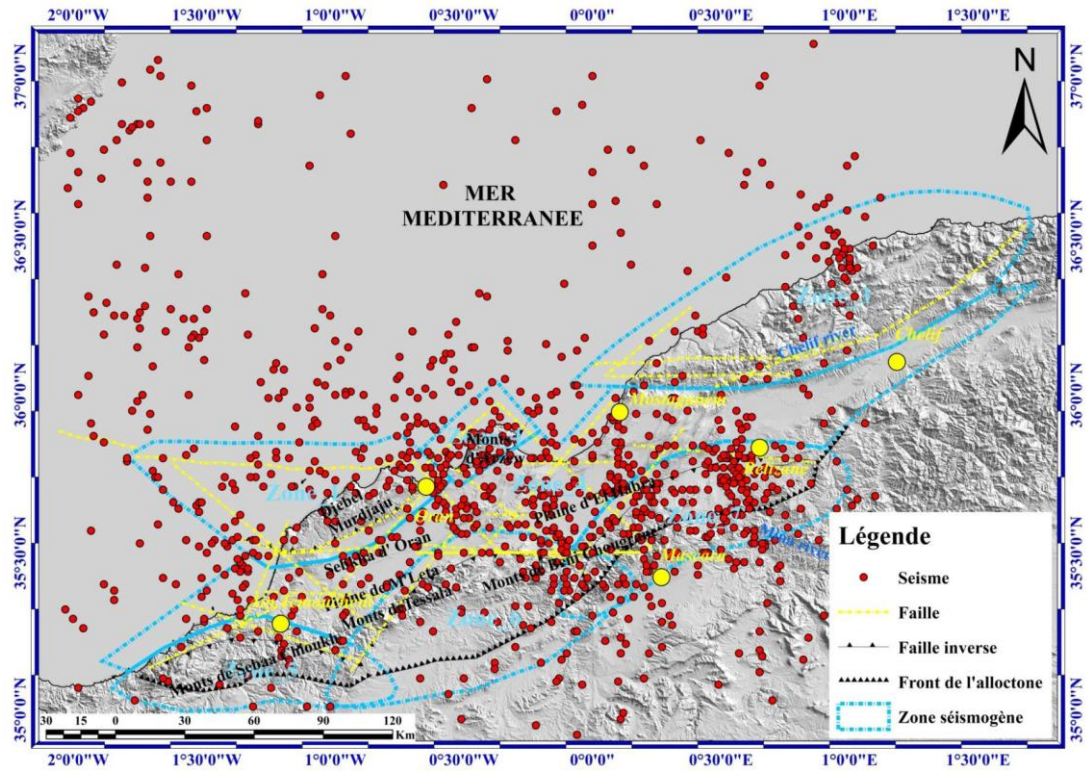


Fig. 22 : Carte sismotectonique du Tell oranais (in ROUKH, 2020).

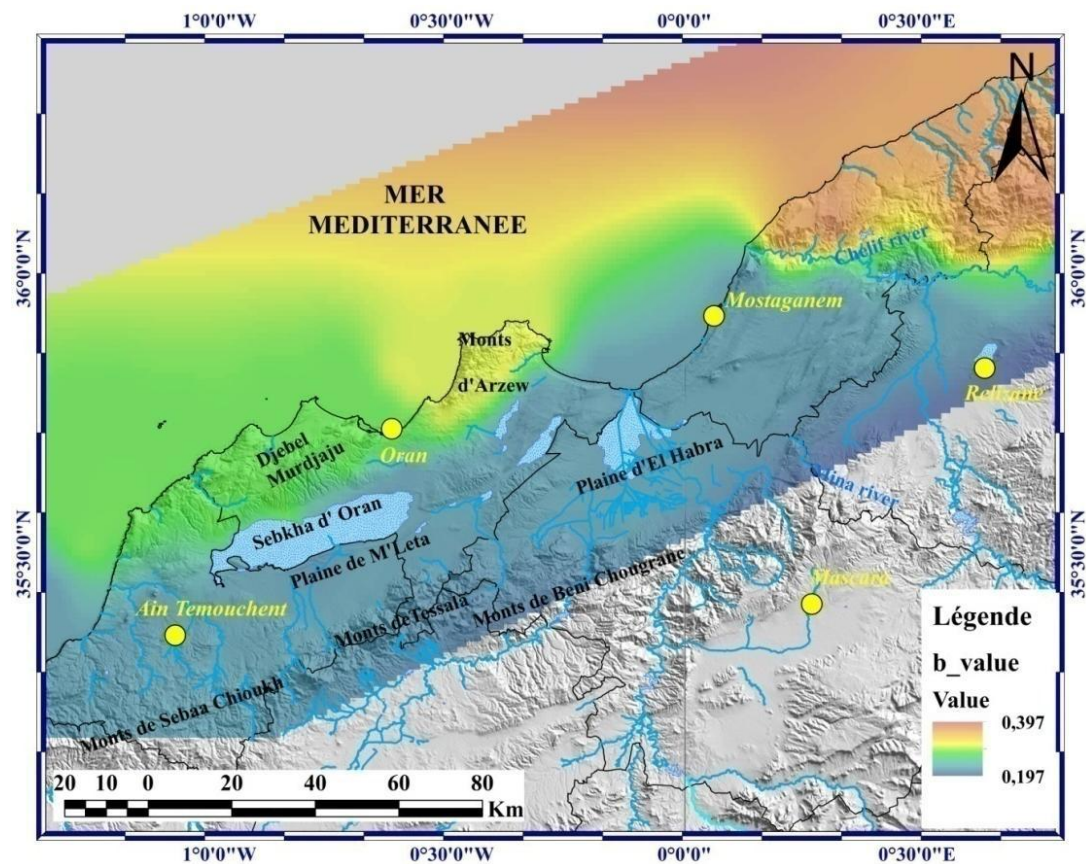


Fig. 23 : Distribution spatiale du paramètre sismogène b_{value} sur le Tell oranais pour la période (1900-2016) (ROUKH, 2020).

4. Néotectonique et failles actives de la zone d'étude :

La région se caractérise par une structure qui correspond à un système de failles inverses discontinues, à pendage sud à sud-est et d'orientation NE-SW. Ce système recoupe les surfaces de piémont représentées par des niveaux alluvionnaires d'âge Pléistocène inférieur à Holocène. Ces niveaux marquent la séparation entre la grande Sebkha d'Oran (bassin de la M'léta) au Nord, et les monts des Tessala au Sud. La faille de Sud de la Sebkha présente un plan sur lequel les stries s'observent. Ces stries sont en faveur d'une cinématique en faille inverse, générant un chevauchement oblique vers le sud et le sud-est. Ce système de failles se prolonge le long des monts des Tessala, sur une longueur d'environ 30 km (YELLES-CHAOUCHE et *al.* 2006). Ce système de failles se prolonge d'au moins 35 km supplémentaires vers l'est, le long de la limite méridionale de la plaine d'el Habra, soit une longueur totale donc de 65 km environ (THOMAS, 1987).

De nombreuses terrasses avec plusieurs niveaux (étages) s'observent sur le compartiment soulevé de la faille, ces terrasses expriment les ruptures de la faille dans les niveaux du Quaternaire supérieur et les escarpements, ces derniers déplacent les surfaces alluviales de piémont situées entre la montagne, au Sud, et la sebkha, au Nord. Dans certaines zones de ces ruptures, la faille est représentée par d'environ 200 m de largeur dont trois niveaux de terrasses sont identifiables. Les profils topographiques réalisés de ces escarpement ont permis de localiser l'emplacement précis de la faille. Cette dernière se situe sur les terrains alluviaux holocènes et pléistocènes. La partie Nord du profil, recouverte par des alluvions du Pléistocène, est recoupée par deux escarpements. Des travaux ont été établis pour mesurer les déplacements des dépôts alluvionnaires. Les résultats obtenus confirment un taux de déplacement (à long terme) sur la faille de la Sebkha Sud d'au moins 0,49 mm an⁻¹. La surface du deuxième profil topographique est recouverte par des dépôts colluviaux d'âge holocène. Les mesures indiquent des déplacements (à court terme) estimés à 0,46 mm an⁻¹, similaires à ceux évalués sur le long terme. Un ravin d'oued situé immédiatement à 10 m à l'Est du profil permet de bien voir les failles associées à l'un des escarpements. La faille est montrée en coupe le long de la paroi du ravin et se traduit par deux ruptures très proches, présentant un pendage de 55° vers le Sud. Trois datations au ¹⁴C, effectuées sur des échantillons prélevés sur ces plans de faille, indiquent que les failles ont été générées durant les 3000 dernières années. Elles indiquent un taux de déplacement à court terme $\geq 0,53$ mm an⁻¹ (YELLES-CHAOUCHE et *al.* 2006).

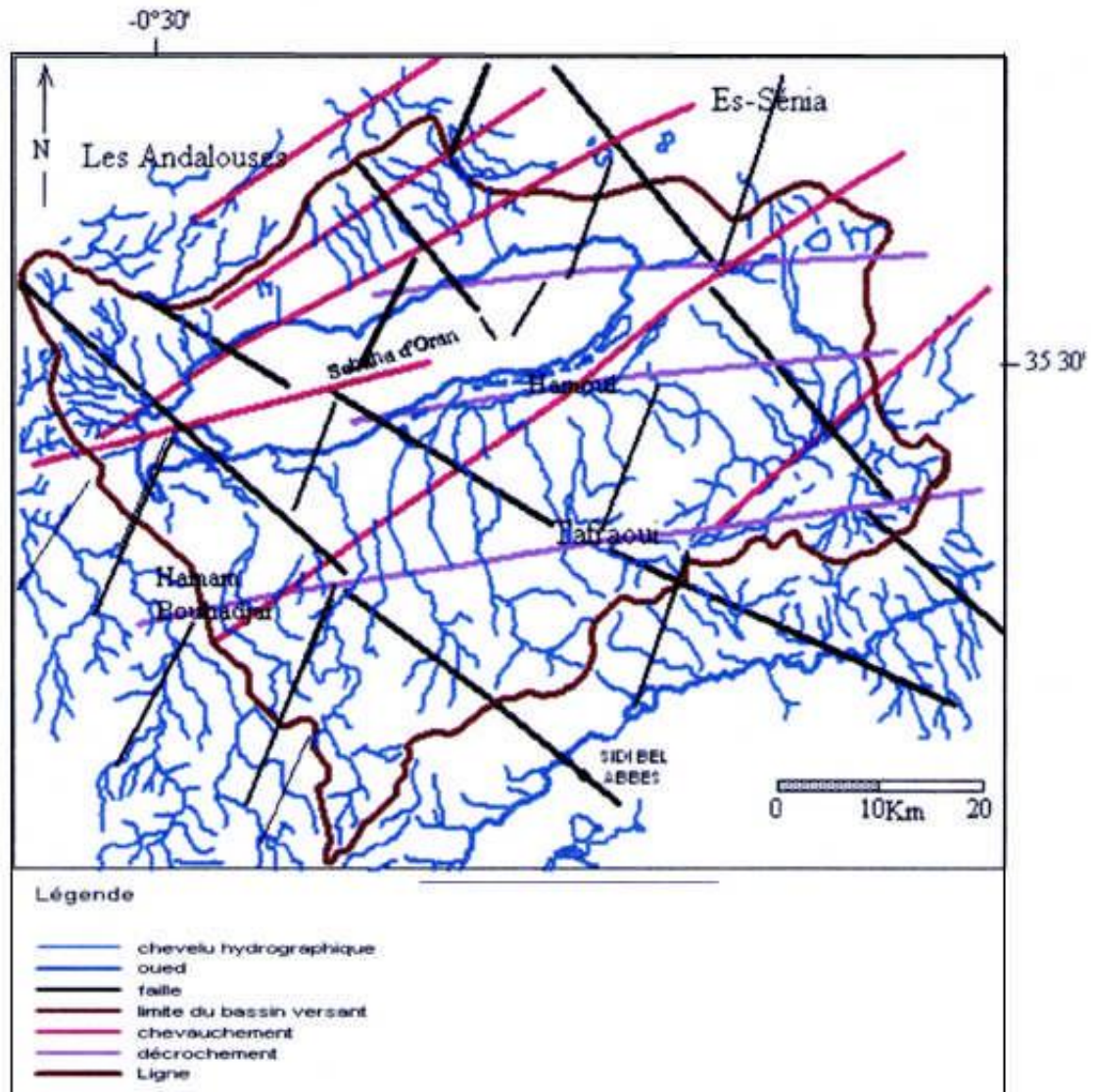


Fig. 24 : Cartographie de la néotectonique à la faveur des virgations du chevelu hydrographique (*in* NADJI, 2010).

III. PRESENTATION DU SECTEUR D'ETUDE :

Notre secteur d'étude est représenté par une carrière d'exploitation de tufs localisée dans le Djebel Grabis, APC Tafraoui, wilaya d'Oran (**Fig. 25**). Le site a été exploité tout d'abord par la société chinoise CITIC-CRCC dans les années 2007. Après, il a été exploité par la suite par quatre sociétés qui ont exploité le même front de taille. Ces sociétés sont les suivants :

- SARL PIOD- 2646 AW.
- SARL TRAVAUX 2000- 2827 AW.
- SARL LACIDI CIE et EPE- 348 AW.
- SARL INGESE EL DJAZEIR- 2645 AW.

Le site a fait l'objet de plusieurs exploitations illicites dont des procès-verbaux ont été déposés à M. le procureur de la république territorialement compétent. Ce pillage de matériau de tuf d'une manière récidiviste a affecté négativement le site au point de vue art minier.

Le rapport de mission effectuée le 10/05/2017 au site par GHENAI.R et SALHI.A ingénieurs de la police des mines, Antenne d'Oran, prouve et confirme la présence d'un danger imminent, la non-conformité des exploitations minières et le non respect de l'aspect environnemental.

Bien que plusieurs injonctions aient été émises par les ingénieurs de la police des mines à l'encontre des opérateurs miniers, ces derniers refusent d'obtempérer aux réquisitions faites par ces ingénieurs.

Aussi, ils persistent à exercer des activités minières présentant des risques importants, notamment d'affaissement et de glissement de terrain, et également pour la sécurité des personnes et l'environnement.

Lors de la dernière mission effectuée conjointement avec les ingénieurs de la police des mines le 26/02/2019, il a été décidé d'arrêter l'exploitation et de fermer le site, suite aux remarques suivantes :

- Le site a été exploité d'une manière complètement anarchique.
- Hauteur des gardians dépassent les normes (10 mètres) et très instable.
- L'apparition des traces récentes d'entassement et de fissurations.
- Importantes traces de ravinement apparait au front de taille.



Fig. 25 : Vue et image satellitaire sur la carrière de Tafraoui.

IV. EXPERTISE ET TRAVAIL DU TERRAIN :

1. Objectif de travail :

Notre travail sur terrain a pour objectif d'expertiser et de visualiser le glissement étudié, pour identifier ses différents types, ainsi que ses facteurs déclenchants. L'observation de l'état du glissement permet de décider sur l'activité et la réactivation du phénomène étudié. Cette partie est la plus importante sur ce travail afin de faire des recommandations sur le futur et également pour faire les plans de protection et de prévention.

2. L'Expertise *in situ* :

L'activité de la carrière au cours des dernières années a provoqué le déclenchement d'un glissement de terrain qui affecte les formations affleurant dans la carrière en première place et les formations qui se situent au dessus de la carrière (**Fig. 25**).

La présence sur terrain dans le côté Est de la carrière nous a permis de bien observer l'état des lieux. Les sols ont été décrochés et fragmentés les uns des autres d'où les fissures sont bien remarquées (**Fig. 26A, B et D**). En allant vers le haut, des fissures sont remarquables d'une façon perpendiculaire au glissement au niveau des roches consolidées telles que les calcaires à Lithothamniées (**Fig. 26C, E**). Au niveau des formations qui se situent au dessus de la carrière (**Fig. 27A**), le glissement se manifeste d'une façon agressive (**Fig. 30**). On remarque plusieurs niveaux de glissement dans cette surface, ceci prouve que le glissement a affecté ces formations plusieurs fois au cours des dernières années où les terrasses ont été effondrées (**Fig. 27B**), ainsi des masses ont été glissées (**Fig. 28A et B**).

Le glissement a affecté quelques formations marneuses intercalées dans les calcaires à Lithothamniées. Ce glissement est très localisé. Une masse importante de matériaux meubles a été glissée. Le glissement se prolonge le long d'une pente très importante vers l'aval (**Fig. 28C**).

La partie ouest de la carrière a été récemment exploitée, c'est pour cela qu'elle ne possède pas des surfaces de glissement, bien qu'elle soit représentée par le même faciès que celui de la partie affectée par ces glissements. L'absence des glissements dans cette partie s'explique également par la présence d'une pente abrupte (pente rompue) (**Fig. 29**).



Fig. 26 : Impact de glissement sur les formations géologiques (partie Est de la carrière).

A, B et D) fragmentation des sols.

C et E) fissurations des calcaires à Lithothamniées.

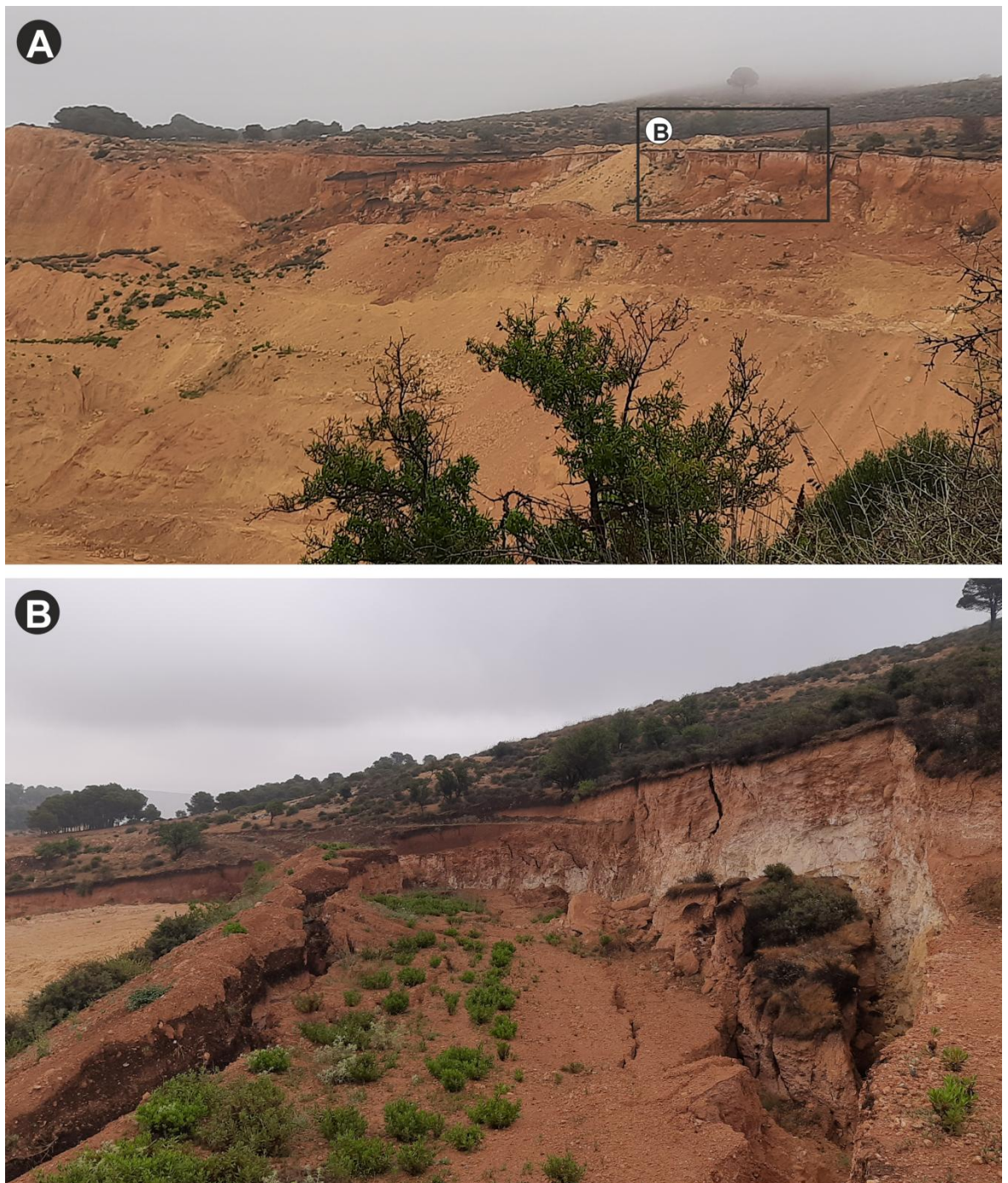


Fig. 27 : Impact de glissement sur la partie haute de la carrière.

A) vue panoramique de la partie haute de la carrière.

B) l'effondrement des terrasses.

Le glissement de la carrière de Tafraoui marque un danger imminent dans la zone. Sachant que la mort de deux ouvriers entre les années 2009 et 2012 a eu lieu, suite à un effondrement d'une masse de la partie qui se trouve au dessus de la carrière.

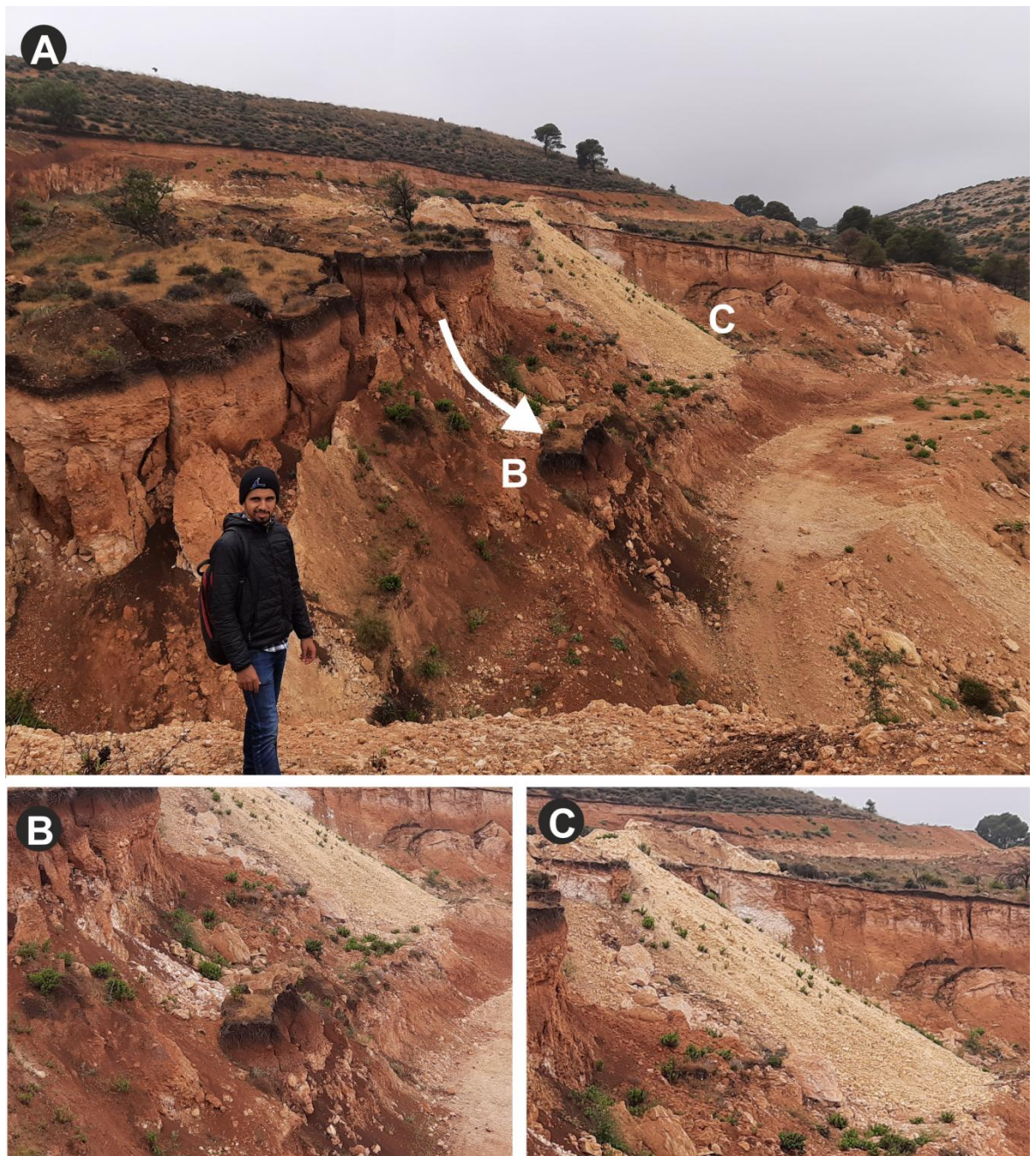


Fig. 28 : L'ensemble affecté par les glissements des marnes et l'éboulement des masses.

A) Prise de photo pour l'ensemble.

B) Eboulement de masses.

C) Glissements des matériaux meubles.

A ce jour là, le danger reste mortel pour les bergers et leurs troupeaux ainsi que pour les gens qui visitent souvent les lieux pour arriver à une source d'eau qui émerge au cœur de la carrière.



Fig. 29 : La partie Ouest de la carrière.

3. Interprétation du type de glissement étudié :

Notre visite sur terrain nous a permis de parler un peu sur le type de glissement étudié. Selon la classification de VARNES (1978), on peut dire que nous avons un glissement complexe qui comporte plusieurs types. Parmi ces types, on distingue des glissements translationnels actifs et qui ont manifesté plusieurs fois, suivis par des éboulements de masses rocheuses et des glissements de matériaux meubles. Pour mieux comprendre le type de glissement, des photos et des schémas représentatifs ont été présentés.

Le premier schéma (**Fig. 30**), montre d'une façon plus explicative le comportement de l'un des glissements de terrain qui affectent la zone, dans une première phase, un glissement translationnel a affecté la formation superficielle, dont le déplacement du sol vers le bas est bien observé avec la présence de la niche d'arrachement principale (**1**), dans la seconde phase, une partie de la formation a été effondrée des deux cotés pour identifier le deuxième glissement (**2**), le corps glissé possède des fissures qui représentent des glissements probables dans le futur, la présence d'un petit glissement dans ce corps glissé est bien marquée (**3**).

Les glissements (**2**) et (**3**) marquent la présence des niches d'arrachement secondaires.

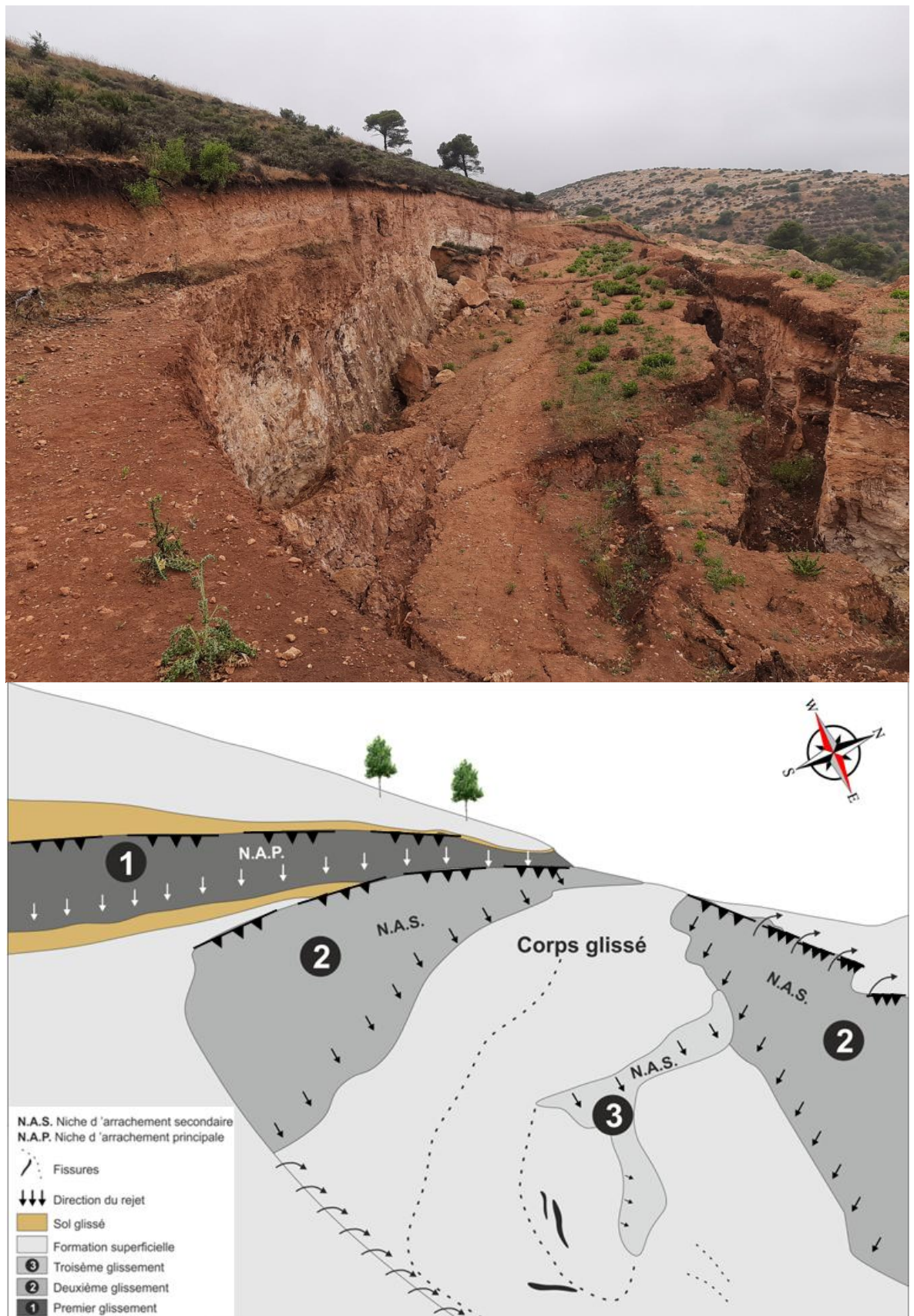


Fig. 30 : 1^{ère} interprétation du glissement de terrain de la carrière de Tafraoui.

Le deuxième schéma (**Fig. 31**), montre les autres types de glissement suggérés qui affectent la zone, le premier s'observe parfaitement avec l'éboulement de grandes masses rocheuses (1) et (3). Des matériaux meubles se glissent le long d'une pente très importante marquant un autre type de glissement (2).

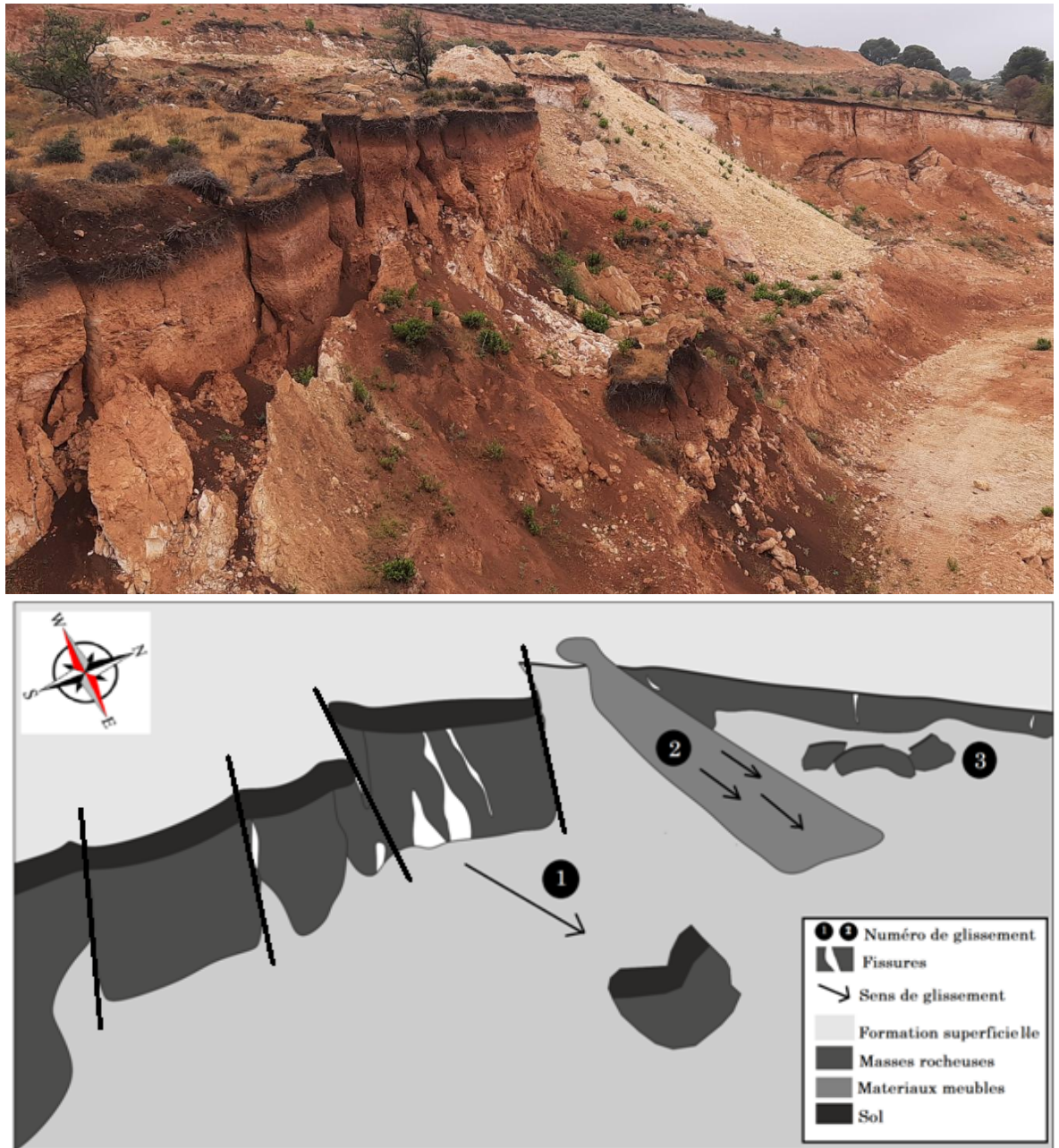


Fig. 31 : 2^e interprétation du glissement de terrain de la carrière de Taфраoui.

Les schémas réalisés et les photos observées, ainsi que les indices collectés, prouvent que la zone est affectée par un glissement complexe et actif jusqu'à aujourd'hui et qu'il marque toujours un danger pour l'environnement.

4. La réactivation du glissement de la carrière:

Pour vérifier si le glissement de la carrière de Tafraoui est actif ou non, des photos de comparaisons ont été préparées pour bien observer la différence afin de décider sur l'activité de ce glissement. Avant la dernière visite sur terrain, une visite à été faite le 21/12/2019 par l'équipe de RNG (risque naturels et gestion), l'expertise et l'observation de l'état des lieux ont permis de bien évaluer la situation de glissement de terrain. La dernière visite faite le 05/06/2021, a permis de faire une autre évaluation sur l'état de glissement afin d'établir une comparaison par les photos prises lors des deux visites faites (**Fig. 32**).



Fig. 32 : Comparaison par photos entre les deux visites sur terrain.

V. FACTEURS DECLENCHANTS :

1. Action anthropique :

L'activité de la carrière, représente le facteur principal de déclenchement du glissement de terrain dans la zone. Le rapport inclus dans notre travail, montre que plusieurs sociétés ont exploités la zone d'une façon anarchique malgré que plusieurs injonctions aient été émises par la police des mines. Sachant que la première activité remonte aux années 2000, ce qui marque vingt ans d'exploitation dans cette mine à ciel ouvert. Durant cette période, le glissement de terrain à jouer plusieurs fois et avec plusieurs manières en détruisant l'environnement.

2. Lithologie :

La lithologie marque un facteur très important dans le déclenchement des glissements de terrain, sachant que le type de faciès influe sur le type de glissement. Dans les matériaux meubles par exemple, les types de glissements les plus souvent sont représentés par les affaissements et les coulées boueuses. Par contre dans les masses rocheuses telles que les calcaires, les basculements et les éboulements sont les plus répandus.

Dans notre zone étudiée, les glissements ont affecté les calcaires à Lithothamniées et les formations meubles qui s'intercalent dans ces calcaires, ces glissements sont complexes. Pour cela, cette lithologie est l'un des facteurs qui ont favorisés le déclenchement des phénomènes de glissements durant ces dernières années.

Une coupe AB a été réalisée à l'aide de la carte géologique de Djebel Grabis (extrait de la carte géologique d'Arbal 1/ 50 000, 1931. **Fig. 20**), afin de montrer les formations affectés par les glissements de terrain d'une façon plus explicatif. Les calcaires à Lithothamniées (m3c) sont les plus affectés par ces glissements de terrain, dont ils localisent dans la mine à ciel ouvert (*open pit-mine*), les formations qui se trouvent au-dessous des calcaires sont représentées par les conglomérats alluvionnaires (p1), les marnes alluvionnaires (p2a) et les alluvions anciens (q,), (**Tab. 4**). Ces formations, sont moins affectées par les phénomènes de glissement par rapport aux calcaires à Lithothamniées.

Pour bien comprendre cette synthèse, une planche qui comporte la coupe AB du secteur (Fig. 33A), la carte géologique (Fig. 33B) et la colonne stratigraphique (Fig. 33C) a été présentée.

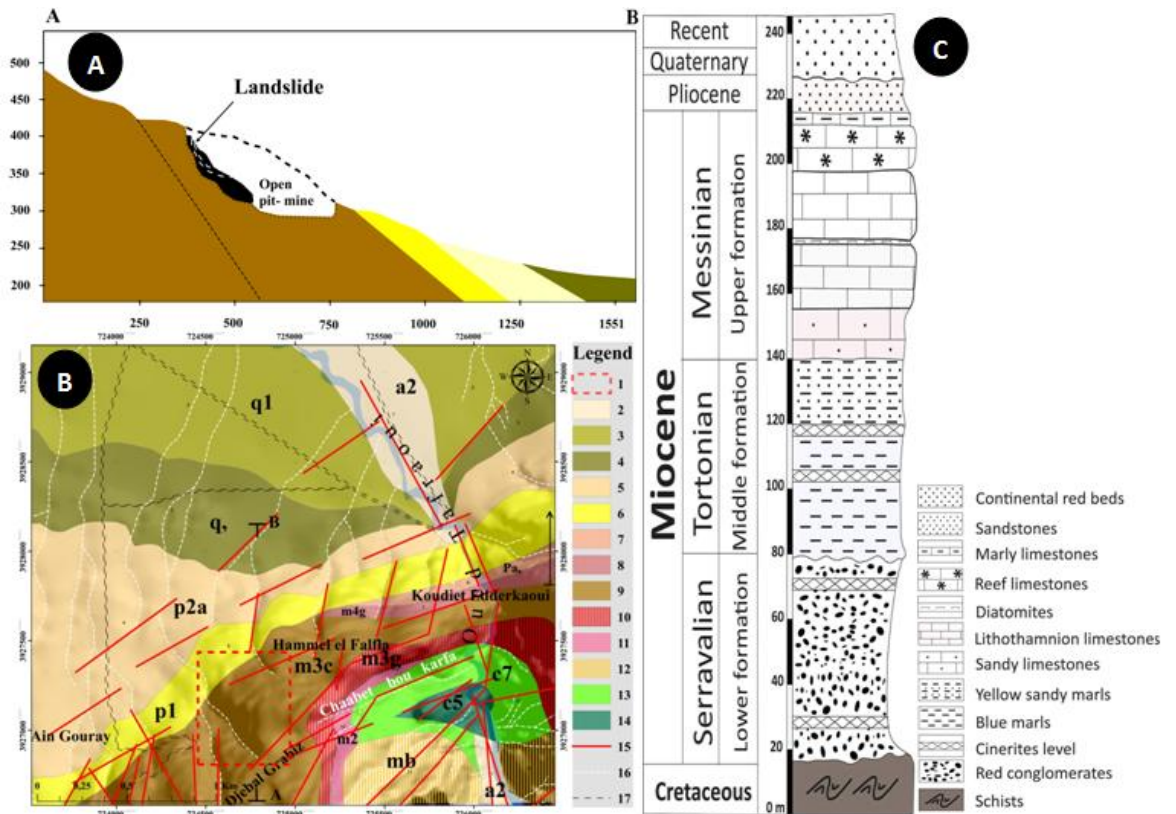


Fig. 33 : Planche explicative de la lithologie de la région.

- A) coupe AB.
- B) carte géologique de Djebel Grabis.
- C) colonne stratigraphique.

3. Altitude :

Le Djebel Grabis culmine à 521 m d'altitude, alors que la plaine de la M'léta possède une altitude d'environ 176 m. Cette altitude influe d'une façon directe sur le déclenchement des glissements de terrain sur le secteur.

Les photos et les interprétations faites dans l'expertise et le travail de terrain montre l'importante altitude qui caractérise le secteur, dont les glissements se manifestent au niveau des pentes considérables. Une carte thématique a été présentée au-dessous (Fig. 34).

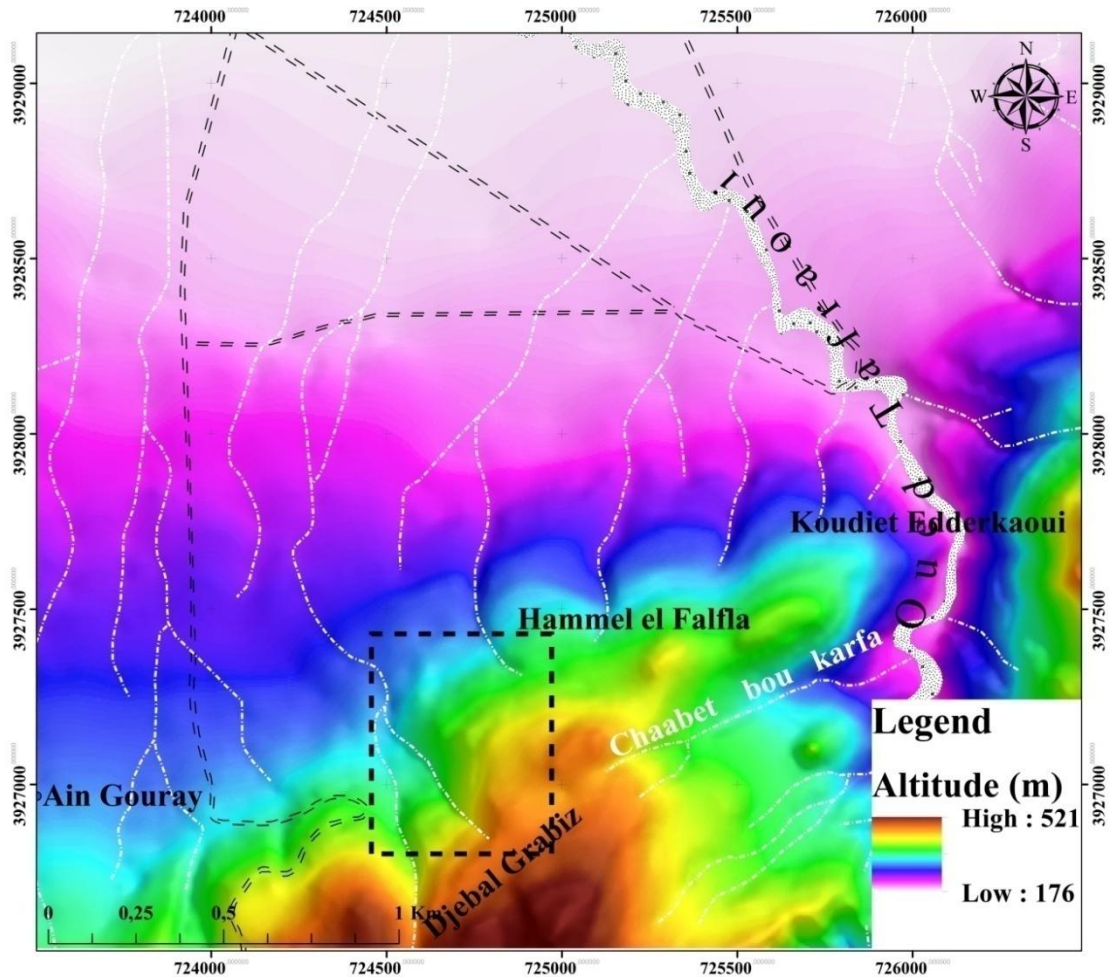


Fig. 34 : Carte thématique d'altitude du Djebel Grabis.

4. Morphologie :

La conformité ou la non-conformité des formations géologiques avec la pente influe sur le déclenchement et l'accélération des glissements de terrain. Dans notre secteur les calcaires ont un certain pendage conforme à la pente (Fig. 35). Ces « trottoir à Lithothamniées » suivaient dans leur évolution la paléotopographie.

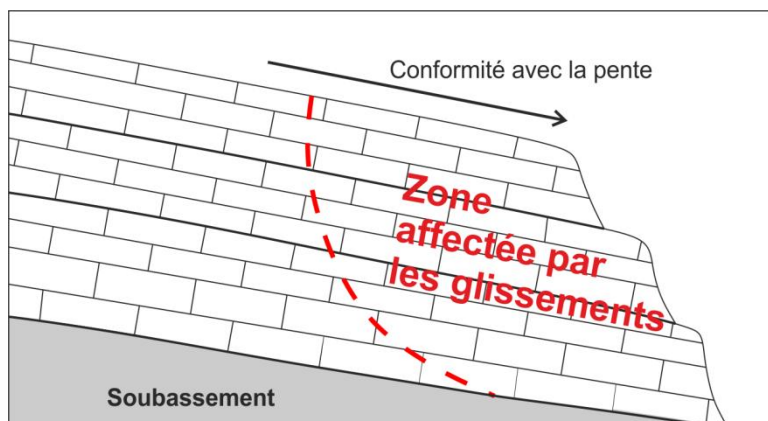


Fig. 35 : Morphologie des formations affectées par les glissements.

5. Pente :

La pente joue un rôle très important dans les manifestations des glissements de terrain, d'une façon elle déclenche les glissements, et d'une autre, elle accélère ces derniers. Dans la présente étude, une carte thématique des pentes a été établie pour déterminer les degrés de pentes qui caractérisent notre secteur d'étude (**Fig. 36**). Les valeurs obtenues montrent que la pente dominante dans la carrière de Tafraoui est comprise entre 19.7° et 29° , parfois elle augmente jusqu'à 53.2° . Ceci indique que la carrière possède une vulnérabilité importante aux glissements.

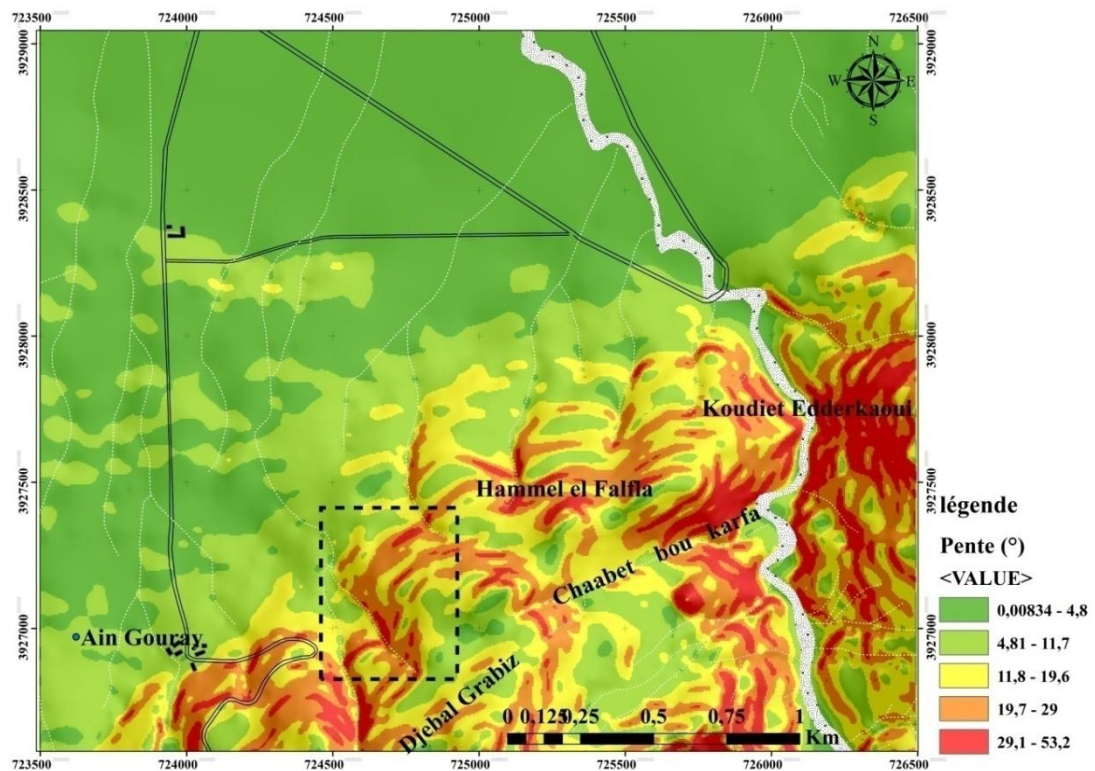


Fig. 36 : Carte thématique des pentes du Djebel Grabis.

- **Carte d'aspect** : L'aspect est considéré comme facteur influant d'une façon indirecte sur l'instabilité des pentes, l'exposition à la lumière du soleil, les précipitations ainsi que les vents marquent des paramètres liés à l'aspect. Ces derniers contrôlent la concentration de l'humidité du sol pour jouer un rôle très important sur le déclenchement des glissements de terrain. La carte d'aspect représente l'orientation des pentes sur le terrain. Dans notre secteur d'étude, les pentes sont orientées Nord-ouest ($292.5-337.5$) d'une façon majoritaire, quelques pentes sont orientées par ordre ; Ouest ($247.5-292.5$), Nord ($337.5-360$), Est ($67.5-112.5$) (**Fig. 37**).

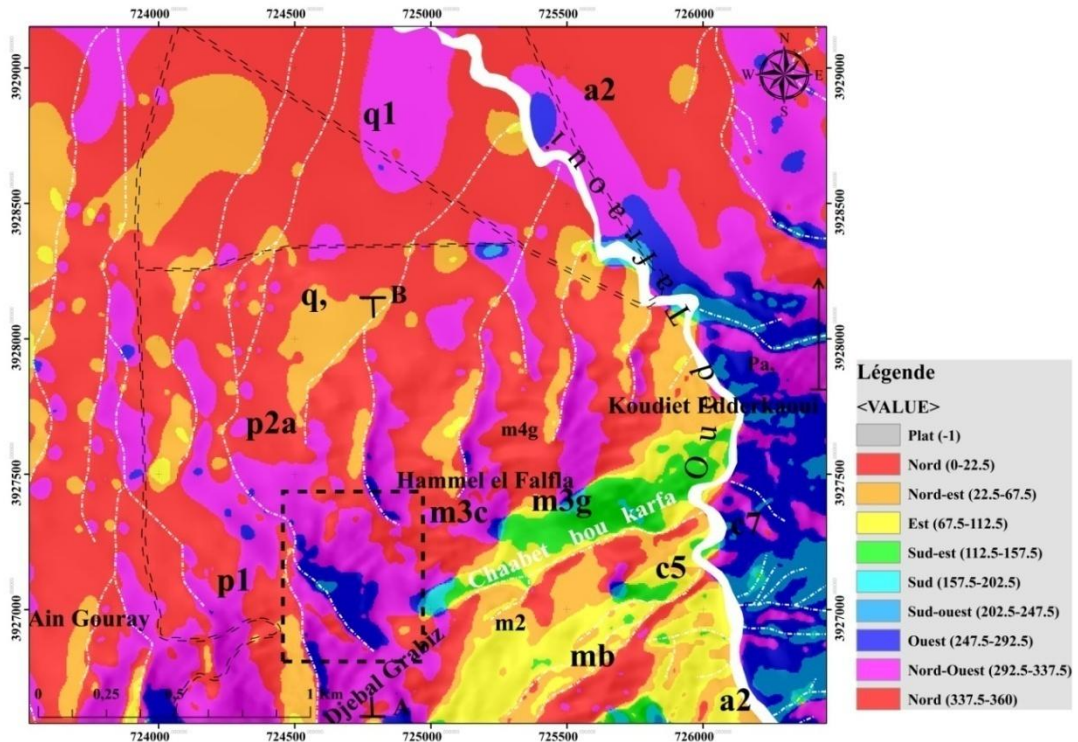


Fig. 37 : Carte thématique d'aspect et d'orientation des pentes du Djebel Grabis.

VI. FACTEURS ACCELERATEURS :

1. Précipitations :

La zone est caractérisée par un climat méditerranéen semi-aride, donc les versants reçoivent une quantité pluviométrique importante, dont la valeur moyenne des précipitations annuelles est de 338 mm selon l'appréciation de l'Office National de la Météo (ONM). Des valeurs de précipitations mensuelles de la station d'Es Sénia ont été prises en considération (Tab. 3), la valeur moyenne annuelle des précipitations est presque identique à la valeur enregistrée dans notre secteur, sachant que la distance entre les deux secteurs est de 20 km. Donc les précipitations marquent un facteur accélérateur pour les glissements de terrain de la carrière de Tafraoui.

2. Séismicité :

La zone d'étude est localisée entre les deux unités sismotectoniques 4 et 6 (zone 4 et zone 6) ces deux dernières possèdent des faibles valeurs de 'b' selon la distribution spatiale du paramètre sismogène b_value sur le Tell oranais (ROUKH, 2020) (Fig. 23), ce paramètre, indice de l'activité séismique, montre que notre secteur est caractérisé par une faible

activité sismique. Ceci exprime que l'activité sismique participe seulement dans l'accélération et non le déclenchement des glissements de terrain de la carrière de Tafraoui.

VII. CARTOGRAPHIE DE LA SUSCEPTIBILITE AUX GLISSEMENTS :

Les études faites par ROUKH (2020), dans le but de l'évaluation de la susceptibilité aux glissements de terrain, comportent l'utilisation de trois approches méthodiques pour l'estimation du potentiel d'instabilité de pentes à l'échelle régionale, où deux méthodes statistiques bivariées sont exercées, la valeur informative (VI), ainsi que le ratio de fréquence (RF). Une troisième méthode de type multivarié dite régression logistique (RL) a été également utilisée. Ces trois méthodes utilisées sont basées sur la combinaison des variables indépendantes (facteurs de prédisposition) et sur la variable dépendante (la localisation du glissement de terrain) à l'aide d'un système d'information géographique (SIG) comme support géospatial de base. Une cartographie de susceptibilité aux glissements de terrain est présentée à l'échelle locale à partir de la méthode VI afin d'estimer le degré de la susceptibilité aux glissements de terrain dans notre secteur d'étude (**Fig. 38**).

D'après la figure présentée, le secteur d'étude possède une très forte susceptibilité aux glissements de terrain. Ce qui confirme nos études faites sur ce dernier, notamment la réactivation des glissements durant ces dernières années.

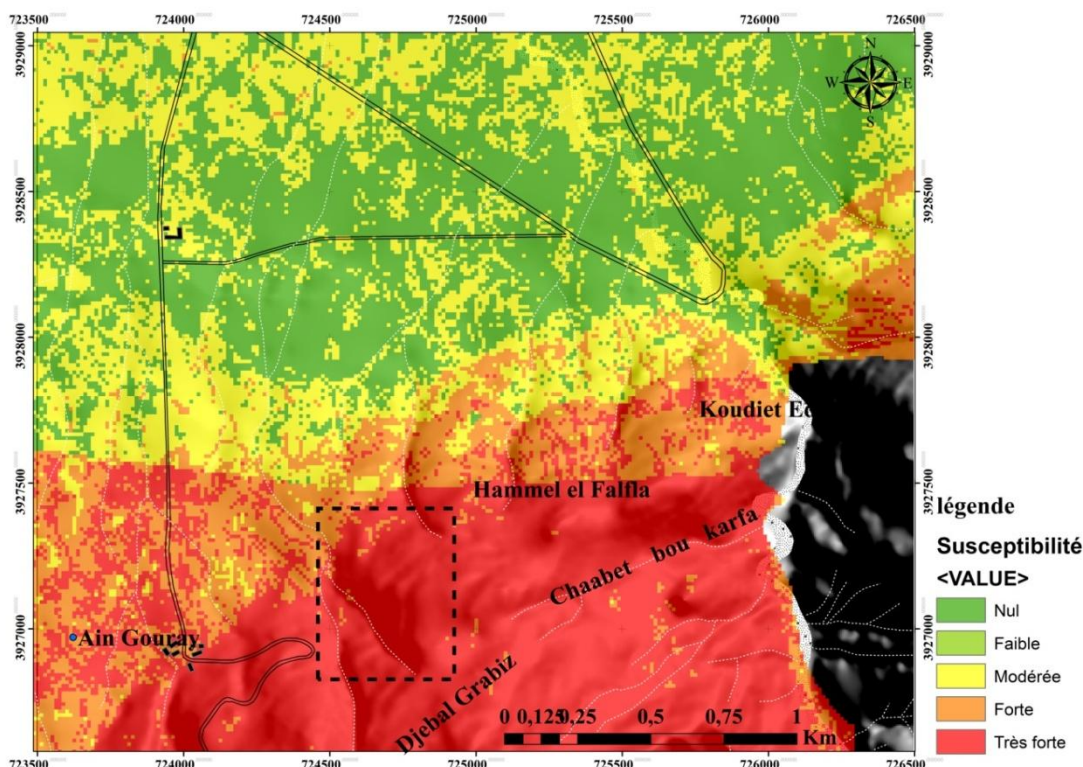


Fig. 38 : Cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain.

VIII. MESURES DE PROTECTION CONTRE LES GLISSEMENTS :

Cette partie comporte des propositions concernant les mesures de protections contre les glissements de la carrière de Tafraoui. Tout d'abord, la fermeture et l'arrêt immédiat de toutes les activités minières sur le site est indispensable, au vu des catastrophes causées par les exploitants malgré que plusieurs procès-verbaux aient été établis par la police des mines et envoyé aux autorités de la wilaya d'Oran. Pour la sécurité des citoyens et les bergers qui circulent avec leurs troupeaux dans les environs, il est nécessaire d'entourer et de fermer complètement la zone entière de la carrière. Concernant le plan de prévision et de prévention, il est nécessaire également d'établir une cartographie de la susceptibilité et de vulnérabilité aux mouvements de terrain pour tout le secteur de la carrière de Tafraoui.

Sachant que la zone se caractérise par une pente très importante, on propose donc des solutions de génie civil, tel que la réduction du dénivelé de pente, l'excavation du haut de la pente et la construction d'une berme ou d'un mur qui renforce le bas de la pente (HUNT et DA COSTA NUNES, 1978).

IX. PERSPECTIVES ET RECOMMANDATIONS :

Pour plus de détails sur le glissement de terrain de la carrière de Tafraoui, on propose une discussion concernant ce sujet. L'étude faite a permis d'évaluer le glissement à l'aide d'une expertise établie sur terrain, mais pour bien définir et étudier le type de glissement qui caractérise la zone, une étude approfondie et détaillée nécessite d'être établie à l'aide des inclinomètres qui aident à définir la valeur exacte de l'inclinaison, et à l'aide des mesures précises de déplacement et d'orientation des terrains glissés afin d'estimer et calculer le coefficient de sécurité par l'utilisation des méthodes classique pour l'analyse de la stabilité ou l'instabilité du terrain.

Pour la surveillance de ce glissement, plusieurs méthodes sont disponibles afin de donner des résultats précis et convenables. La méthode proposée dans ce propre travail est la technique de Di_In SAR, cette dernière favorise l'estimation des déplacements liés aux mouvements de terrain par le traitement des images radar par différentes techniques de la télédétection. Elle présente un outil performant dans la détection et la surveillance des glissements de terrain à distance.

X. CONCLUSION :

Les glissements de terrain constituent un grave danger pour l'environnement et pour les citoyens. Dans ce chapitre, une étude a été faite pour évaluer le développement et l'activité du glissement de terrain de la carrière de Tafraoui.

Cette étude a comporté plusieurs démarches, la connaissance des caractéristiques géographiques telles que la localisation de la zone d'étude, le climat et la pluviométrie qui caractérisent cette dernière ; des caractéristiques géomorphologiques qui permettent de définir les différentes unités morphologiques et le réseau hydrographique spécifiques pour la zone étudiée. Egalement les caractéristiques géologiques représentées par la lithostratigraphie, la sismicité et la néotectonique de la zone. Toutes ces caractéristiques ont permis de bien connaître la zone étudiée. L'expertise et le travail de terrain ont permis de visiter les lieux et d'évaluer l'état de glissement afin d'établir des schémas qui favorisent l'identification du type de glissement et des comparaisons à l'aide des photos prises sur terrain pour décider sur la réactivation de ce dernier.

Ces démarches ont facilité la détermination des différents facteurs déclenchants du glissement étudié tels que l'action anthropique, la lithologie, l'altitude et la pente qui caractérisent le terrain, ainsi que les facteurs accélérateurs tels que les précipitations et l'activité sismique.

La dernière démarche, est de présenter une cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain, afin de conclure que la carrière de Tafraoui possède une très forte susceptibilité aux ces phénomènes.

CONCLUSION
GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Une étude d'évaluation des glissements de terrain a été faite dans la carrière de Tafraoui qui se situe dans le Djebel Grabis faisant partie des monts des Tessala. Tout d'abord, un travail bibliographique approfondi a été réalisé, ce dernier consiste à bien connaître les types des glissements de terrain et leurs caractéristiques, afin de présenter une classification bien déterminée établie par VARNES (1978), et renouvelée par CRUDEN et VARNES (1996). Cette recherche a permis également de déterminer les différentes causes et effets des glissements de terrain, ainsi les méthodes et les outils d'investigation et de surveillance des glissements les plus fréquents.

La connaissance des caractéristiques géographiques, géomorphologiques et structurales ont permis de bien connaître la zone étudiée. L'expertise et le travail de terrain ont permis de visiter les lieux et d'évaluer l'état de glissement afin d'établir des schémas qui favorisent l'identification et l'interprétation du type de glissement, ainsi de faire des comparaisons à l'aide des photos prises sur terrain pour décider sur la réactivation de ce dernier.

Ces démarches ont facilité la détermination des différents facteurs déclenchants du glissement étudié tels que l'action anthropique, la lithologie, l'altitude et la pente qui caractérisent le terrain, ainsi que les facteurs accélérateurs tels que les précipitations et l'activité sismique.

Le résultat de travail est représenté par une cartographie de susceptibilité spécifique pour notre secteur d'étude, cette dernière nous a permis de conclure que la carrière de Tafraoui présente une très forte susceptibilité aux glissements de terrain.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

REFERANCES BIBLIOGRAPHIQUES :

AINAD Tabet L. (1988). Etude d'un échantillon représentatif des pelouses d'Oranie en relation avec les conditions de sol. *Mémoire de Magistère*, Université d'Oran, 180 p.

AUGIER G. (1967). Quelques éléments essentiels de la couverture sédimentaire des Hauts-Plateaux. *Bull. Carte géol. Algérie*, 34, 47-80.

AYADI A., OUSADOU-AYADI F., BOUROUIS S., & BENHALLOU H. (2002). Seismotectonics and seismic quietness of the Oranie region (Western Algeria): The Mascara earthquake of August 18th 1994, Mw = 5.7, Ms = 6.0. *Journal of Seismology*, 6, 13–23.

BELAID M., CHERIF A., VINN O. & NAIMI M. N. (2020). First record of trace fossils from the Oxfordian Argiles rouges de Kheneg Formation (Tiaret, northwestern Algeria). *Geologia Croatica*, 73 (2), 85-94.

BELKEBIR L., LABDI A., MANSOUR B., BESSEDIK M. & SAINT MARTIN J.-P. (2008). Biostratigraphie et lithologie des séries serravallo-tortonniennes du massif du Dahra et du bassin du Chélif (Algérie). Implications sur la position de la limite serravallo-tortonienne. *Geodiversitas*, 30, 9-19.

BENAISSA A., CORDARY D. & GIORAUD A. (1989). Les mouvements de terrain dans la zone urbaine de Constantine (Algérie). *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 40, 85-90.

BELAYADI I., BEZZEGHOUD M., NADJI A. & FONTIELA J. (2017). Sismicité de l'Algérie Nord Occidentale entre 1790 et 2016: catalogue sismique. *Comunicação Geológicas*, 104.

BERGGREN W. A., KENT D. V., SWISHER C. C. & AUBRY M.-P. (1995). A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy, in Berggren W. A., Kent D. V., Aubry M.-P. & Hardenbol J. (eds), *Geochronology, time scales and global stratigraphic correlation*. SEPM Special Publication, Tulsa 54: 129-212.

BESSEDIK M., BENNAMI M., JAEGER J. J., AMEUR-CHEHBEUR A., BELKEBIR L. & MANSOUR B. (1997). Gisement à rongeurs d'âge tortonien dans les dépôts lagunaires et marins

de transition en Oranie : corrélation marin continental. *Mém. Trav. E.P.H.E., Montpellier*, 21, 293-300.

BOUGDAL R., LARRIERE A., PINCENT B., PANET M. & BENTABET A. (2013). Les glissements de terrain du quartier Bélouizdad, Constantine, Algérie. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 72, 189–202.

BOURENANE H., GUETTOUCHE M., BOUHADAD Y. & BRAHAM M. (2016). Landslide hazard mapping in the Constantine city, Northeast Algeria using frequency ratio, weighting factor, logistic regression, weights of evidence, and analytical hierarchy process methods. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(2), 154.

BOUZID R. (1993). Ostracodes et foraminifères planctoniques de l'Unité « sénonienne » (Crétacé supérieur-Éocène) du Djebel Tessala (Oranie). Systématique et biostratigraphie. *Thèse Magister*, Université d'Oran, 160 p.

BOUZID R., CARBONNEL G., BELLIER J.-P., BESSEDIK M. & TOUMARKINE M. (1994). Un épisode épibathyal au Paléocène en Oranie (Djebel Tessala, Algérie) : les fluctuations de l'ostracofaune et du paléoenvironnement. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 318, 1133-1138.

CISZAK R., MAGNE J. & PEYBERNES B. (1986). Interprétation du complexe chaotique « triasique » d'Oranie (Algérie occidentale) comme un olistostrome sénonien localement réinjecté dans les accidents alpins. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 302, 357-362.

CRUDEN D. M. & VARNES D. J. (1996). Landslide types and processes. In: Turner AK, Schuster RL (eds) *Landslides investigation and mitigation*. Transportation research board, US National Research Council. Special Report 247, Washington, DC, Chapter 3, pp. 36–75.

DELFAUD J. & THOMAS G. (1972). Les grands lignes de la stratigraphie du Quaternaire oranais. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 274, 3341-3344.

DESODT C., LAUNAY J. & HORSIN MOLINARO H. (2017). Les glissements de terrain, modélisation et prévision. Ecole normale supérieure Paris-Saclay.

DJERBAL L., KHOUDI I., ALIMRINA N., MELBOUCI B. & BAHAR R. (2017). Assessment and mapping of earthquake-induced landslides in Tizirt City, Algeria. *Natural Hazards*, 87, 1859-1879.

DOUMERGUE F. & FICHEUR E. (1908). Notice explicative de ma carte géologique d'Oran.

- DURAND DELGA M. (1955).** Etude géologique de l'Ouest de la chaîne numidique. *Publ. Serv. Carte géol. Algérie*, Bull, n° 24, 533 p.
- FENET B. (1968).** Le copeau jurassique du Djebel Tafraoui et l'unité sénonienne à 'microbrèches' des monts du Tessala. *Bull. Soc. géol. France*, 7, 449-456.
- FENET B. (1975).** Recherches sur l'alpinisation de la bordure septentrionale du bouclier africain à partir de l'étude d'un élément de l'Orogène nord-maghrébin : Les Monts du Djebel Tessala et les Massifs du littoral oranais. *Thèse de Doctorat d'État*, Université de Nice, 301 p.
- FORSTER D. F. (1933).** Treacherous slides delay Cloverdale-Hopland realignment: Pacific Street and Road Builder, 32, 13-15.
- FROUDE M. J. & PETLEY D. (2018).** Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18, 2161-2181.
- GOURINARD Y. (1952).** Le littoral oranais (mouvements verticaux et anomalies gravimétriques), *pub. XIXe Cong. géol. Inter. Alger, Monographies régionales*, 1 (22), 63 p.
- GUEMACHE M. A., CHATELAIN J.-L., MACHANE D., BENAHMED S. & DJADIA L. (2011).** Failure of landslide stabilization measures: The Sidi Rached viaduct case (Constantine, Algeria). *Journal of African Earth Sciences*, 59, 349-358.
- GUINOCHET M. (1954).** Réflexions sur l'état actuel de nos connaissances phytosociologiques en Afrique du Nord, *Vegetatio*, 18- 22.
- GUIROUS L., DUBOIS L. & MELBOUCI B. (2014).** Contribution à l'étude du mouvement de terrain de la ville de Tizirt (Algérie). *Bull Eng Geol Environ. Springer-Verlag Berlin Heidelberg*.
- GUIROUS L. & MELBOUCI B. (2020).** Caractérisation du glissement affectant le versant côtier de Tizirt (Algérie).
- HADJI R., CHOUABI A., GADRI L., RAÏS K., HAMED Y. & BOUMAZBEUR A. (2016).** Application of linear indexing model and GIS techniques for the slope movement susceptibility modeling in Bousselam upstream basin, Northeast Algeria. *Arabian Journal of Geosciences*, 9 (3), 192.
- HASSANI M. I. (1987).** Hydrogéologie d'un bassin endoréique semi-aride. Le bassin versant de la grande sebkha d'Oran (Algérie). *Doctorat 3e cycle*, Université de Grenoble, 303 p.

- HEBIB H. (2014).** La limite tortono-messinienne dans la marge Nord du bassin du Bas Chéelif. Précisions biostratigraphiques et évolution des assemblages de foraminifères benthiques. *Thèse Doctorat Es Sciences*, Université d'Oran, 214 p.
- HEBIB H. & BELKEBIR L. (2006).** Evolution des assemblages des foraminifères benthiques du Miocène supérieur (Exemple de la marge sud du bassin du Bas Chéelif). *Mém. Serv. Géol. Nation.*, 13, 263-273.
- HILGEN F. G., KRIJGSMAN W., RAFF I I., TURCO E. & ZACHARIASSE W. J. (2000).** Stratigraphy and astronomical calibration of Serravallian/Tortonian boundary section at Monte Gibliscemi (Sicily, Italy). *Marine Micropaleontology* 38: 181-211.
- HUNT R. E. & DA COSTA NUNES A. J. (1978).** Murs de soutènement : construction en partant du haut. Service Central de Documentation des Ponts et Chaussées, A 78-18, 10 p.
- JOHN W. C. (1973).** The spatial seismicity of Papua New Guinea and the Solomon Islands. *Journal of the Geological Society of Australia*, 20.
- LEIKINE M. (1971).** Etude géologique des babor occidentaux. *Thèse de Doctorat d'État*, Université Paris-VI, 536 p.
- MARTHA T. R., ROY P., GOVINDHARAJ K. B., KUMAR K. V., DIWAKAR P. & DADHWAL V. (2015).** Landslides triggered by the June 2013 extreme rainfall event in parts of Uttarakhand state, India *Landslides*, 12, 135-146.
- MATTAUER M. (1958).** Etude géologique de l'Ouarsenis oriental (Algérie). *Bull. Serv. Geol. Algérie*, 17, 534.
- McGILL J. T. (1959).** Preliminary map of landslides in the Pacific Palisades area, City of Los Angeles, California: U.S. Geol. Survey Misc. Geol. Inv. Map 1-284, scale 1 : 4.800.
- MIDOUN M. (1989).** Etude du Trias d'Oranie (Algérie) et de ses relations avec le socle polymétamorphique. Implications géodynamiques régionales. *Thèse de Doctorat*, Université d'Orléans, 276 p.
- NADJI A. (2010).** Etude sismotectonique du littoral oranais – contribution à l'aléa sismique. *Thèse de doctorat*, Université d'Oran, 332 p.

- NAIMI M. N. (2019).** La plate-forme carbonatée messinienne du Djebel Aoud Sma (Monts des Ouled Ali, Bassin du bas Chélif) : sédimentologie et géochimie. Mémoire de Master, Université d'Oran 2, 53 p.
- NAIMI M. N., MANSOUR B., CHERIF A., CHEKKALI M. C., BENKHEDDA A. & BELAID M. (2020).** Lithostratigraphie et paléoenvironnements des dépôts messiniens de la terminaison nord- orientale des monts des Ouled Ali (bassin du Bas Chélif, Algérie nord-occidentale). *Revue de Paléobiologie*, 39 (2), 467-483.
- NEURDIN-TRESCARTES J. (1974).** Les formations gréseuses dans la région nord des Beni Chougrane (Algérie du Nord). *Bull. Soc. Hist. nat. Afr. Nord Alger*, 6 5 (1/2) : 165-178.
- NEURDIN-TRESCARTES J. (1992).** Le remplissage du bassin néogène du Chélif. Modèle de référence de bassin intra-montagneux. *Thèse de Doctorat d'Etat*, Université de Pau et Pays de l'Adour, France, 605 p.
- NILSEN T. H. & BRABB E. E. (1972).** Prehminary photointerpretation and damage maps of landslide and other surficial deposits in northeastern San Jose, Santa Clara County, California: U.S. Geol. Survey Misc. Field Studies Map MF-361.
- OBERT D. (1981).** Etude géologique des baboris orientaux (Domaine tellien, Algérie). *Thèse de Doctorat d'État*, Université Paris-VI, 635 p.
- PERRODON A. (1957).** Etude géologique des bassins néogènes sub-littoraux de l'Algérie occidentale. *Publ. Serv. Carte géol. Algérie, n. s., Alger, Bull.* 12, 382 p.
- POLVECHE J. (1960).** Contribution à l'étude géologique de l'Ouarsenis oranais. *Bulletin du Service de la Carte géologique de l'Algérie*, 24 (1-2), 577.
- POUQUET J. (1952).** Les Monts du Tessala (Chaînes sud-telliennes d'Oranie). *Revue de Géographie Alpine*, 40-4, 691-694.
- RADBRUCH-HALL D. H. & VARNES D. J. (1976).** Eboulements de terrain - causes et effets. U.S. Geological Survey, Menlo Park, California, and Denver, Colorado (U.S.A.).
- RAY P. C., CHATTORAJ S. L., BISHT M., KANNAUJIYA S., PANDEY K. & GOSWAMI A. (2016).** Kedarnath disaster 2013: causes and consequences using remote sensing inputs. *Natural Hazards*, 81, 227-243.

- ROUCHY J. M. (1982).** La genèse des évaporites messiniennes de la Méditerranée. *Mém. Mus. Hist. Nat.*, Paris, C, 50, 267 p.
- ROUKH Z. (2020).** *Thèse de doctorat de doctorat LMD*, Université d'Oran 2.
- SAINT MARTIN J. P. (1990).** Les formations récifales coralliennes du Miocène supérieur d'Algérie et du Maroc. *Mém. Mus. Hist. Nat.*, Paris, C, 56, 366 p.
- SCHLÖGEL R., MALET J. P., DOUBRE C., & LEBOURG T. (2016).** Structural control on the kinematics of the deep-seated La Clapière landslide revealed by L-band InSAR observations. *Landslides*, 13(5), 1005-1018
- THIERY Y. (2007).** Susceptibilité aux mouvements de versant dans le bassin de Barcelonnette: cartographie morphodynamique, analyse spatiale et modélisation probabiliste. *Thèse de Doctorat*, Université de Caen, 445p.
- THOMAS G. (1973).** Découverte d'industrie du groupe de la 'Pebble Culture' sur le versant nord des monts du Tessala (Algérie). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 276, 921-924.
- THOMAS G. (1985).** Géodynamique d'un bassin intramontagneux. Le bassin du Bas Chélif occidental durant le Mio-Plio-Quaternaire. *Thèse de Doctorat d'Etat*, Université de Pau et Pays de l'Adour, 594 p.
- TIAN Y., XU C., CHEN J. & HONG H. (2017).** Spatial distribution and susceptibility analyses of pre-earthquake and coseismic landslides related to the Ms 6.5 earthquake of 2014 in Ludian, Yunan, China *Geocarto international*, 32, 978-989
- VARNES D. J. (1954).** Landslide types and processes. In: Eckel EB (ed) *Landslides and engineering practice*, special report 28. Highway research board. National Academy of Sciences, Washington, DC, 20-47
- VARNES D. J. (1978).** Slope movement types and processes. In: Schuster RL, Krizek RJ (eds) *Landslides, analysis and control*, special report 176: Transportation research board, National Academy of Sciences, Washington, DC., 11-33.
- YELLES-CHAUCHE A., BOUDIAF A., DJELLIT H. & BRACENE R. (2006).** La tectonique active de la région nord-algérienne. *C. R. Geoscience*, 338, 126-139.

CARTES :

Carte géologique de l'Algérie, Feuille n°131 Arbal 1/ 50.000, 1931

WEBOGRAPHIE :

<https://www.gouvernement.fr/risques/mouvement-de-terrain>

<https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/geologie-risques-geologiques-1264/page/2/>

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

<https://www.journaldemontreal.com/2013/06/21/plus-de-550-morts-dans-un-etat-himalayen>

<https://disasterscharter.org/fr/web/guest/activations/-/article/earthquake-in-yunnan-china>

https://www.lepoint.fr/monde/un-glissement-de-terrain-meurtrier-dans-le-sud-est-du-mexique-28-09-2010-1242192_24.php

<https://www.lefigaro.fr/international/2010/09/28/01003-20100928ARTFIG00635-glissement-de-terrain-meurtrier-au-mexique.php>