



Année Universitaire : 2016-2017



Licence Sciences et Techniques : Géorressources et Environnement

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

Titre

Le versant Est du Moyen Atlas, relation entre la fracturation et l'écoulement des eaux

Présenté par:

**MHAMDY Mohammed
NAJI Youssef**

Encadré par:

Pr. CHARROUD Mohammed, FST-Fès

Soutenu Le 09 Juin 2017, devant le jury composé de:

**Pr. CHARROUD Mohammed
Pr. HINAJE Said
Pr. EL AZZAB Driss
Pr. BOUKHIR Mohammed**



Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

Mohammed MHAMDY
Youssef NAJI

Année Universitaire : 2016/2017

Titre : Le versant Est du Moyen Atlas, relation entre la fracturation et l'écoulement des eaux

Résumé

L'activité tectonique connue dans le Moyen Atlas, se manifeste par les différents marqueurs Structural (failles striées, failles cachetées, stylolithes, fente de tension, etc.) et probablement par l'installation d'un ensemble de bassins fluvio-lacustres et travertineux.

La présence des différents types des nappes souterraines, témoigne l'abondance des sources permanentes ou temporaires, est expliquée par le jeu de compartiments affaissés. Le versant Est du Moyen Atlas comprend plus de 20 sources. La plupart des formes karstiques ont pris naissance dans les carbonates liasiques constituées des dolomies, calcaires et calcaires dolomitiques.

L'étude du couple tectonique/écoulement est par conséquent indispensable aux études de circulations de l'eau en milieu fracturé.

La circulation des eaux de la nappe en direction des compartiments affaissés est favorisée, en plus de la porosité en grand de l'aquifère dolomitique, par les failles jouant le rôle d'axes préférentiels de cheminement des eaux. En outre, les déviations des écoulements de la nappe sont dus aux différentes structures tectoniques (failles, grabens, horsts,affleurement des agriles) qui affectent la couche aquifère.

Mots clés :Fracturation,écoulement, versant Est du Moyen Atlas,

REMERCIEMENT

L'élaboration de ce mémoire est le fruit de 2 mois de recherche. La finalisation de ce travail a été réalisé dans le cadre d'un projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme de licence branche **Géoressource et Environnement à la Faculté des Sciences et Techniques Fès**. Au terme de cette recherche, il est très agréable d'exprimer nos remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la production de ce travail.

Nous présentons particulièrement nos remerciements très sincères à Monsieur **CHARROUD Mohammed** qui nous a témoigné son entière confiance et qui a accepté de nous encadrer tout au long de notre travail.

Il est agréable de remercier les Doctorants chercheurs du Laboratoire de Géoressource et Environnement à la Faculté des Sciences et Techniques Fès **SOUHAIL Mounir** et **CHOUKRAD Jaouad**, qui ont toujours répondu favorablement à toutes nos sollicitations.

Nous tenons également à exprimer notre profonde gratitude aux membres de jury :

- Pr. CHARROUD Mohammed**
- Pr. HINAJE Saïd**
- Pr. EL AZZAB Driss**
- Pr. BOUKHIR Mohammed**

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Carte des domaines structuraux du Maroc.	7
Figure 2: Carte géologique simplifiée du Moyen Atlas (d'après la carte géologique du Maroc au 1/1000000 ; modifiée).....	9
Figure 3: Carte de la situation géographique de versant Est du Moyen Atlas	10
Figure 4 : Log litho-stratigraphique du Moyen Atlas (Souhail et al 2015).....	11
Figure 5 : L'argile rouge du trias (Photo de terrain 10/05/2017).....	12
Figure 6 : Photo qui montre les dépôts de lias inférieur et moyen(photo de terrain 10/05/2017).	13
Figure 7 : Calcaires d'Oulad Ali (Photo de terrain 10/05/2017)	13
Figure 8 : Photo qui montre les dépôts de la couverture du Néogène et Quaternaire.....	15
Figure 9: Carte géologique du Moyen Atlas plissé.....	15
Figure 10 : Coupe transversale de la ceinture centrale du Moyen Atlas tabulaire et plissé (Arboleya et al)	16
Figure 11 : Vue vers l'Ouest de la ride d'Aghzdis (Photo de Terrain 13/05/2017).....	16
Figure 12 : Esquisse structurale simplifiée de la ride d'Aghesdis.	17
Figure 13 : Vue vers le SE de la ride de Bou Nacer (Photo du Terrain 12/05/2017).	17
Figure 14 : Esquisse structurale simplifiée de la ride de Bou Nacer	18
Figure 15: Photo montre la faille de Cheg Ard (N110-140).....	18
Figure 16: Coupe schématique de la faille de Cheg Ard (N110-140).	18
Figure 17 : Remontée diapirique du Trias argilo-salifère (Photo du Terrain 10/05/2017).....	19
Figure 18 : Esquisse structurale simplifiée montre le passage de l'ASM dans la région d'Oulad Ali.	19
Figure 19 : Carte de réseau hydrographique du bassin de Moulouya.....	24
Figure 20 : Carte de réseau hydrographique de versant Est du Moyen Atlas plissé.....	25
Figure 22 : Coupe d'une source du Domérien à Oulad Ali, Ain Eschlar.	27
Figure 23 : Photo montre l'abouchement du Bajocien avec les conglomérats du Miocène supérieur et les éboulis quaternaires (Photo de terrain 12/05/2017).....	27
Figure 24: Coupe d'une source du Bajocien (Aïn Jdida) et abouchement du Bajocien avec les conglomérats du Miocène supérieur et les éboulis quaternaires (Aïn Mertouma).	28
Figure 25: Photo des sources de Reggou (14/05/2017)	28
Figure 26: Coupe schématique de la source de Reggou (Aine Ancer).	29
Figure 27: Type de gisement des sources et puits du Miocène supérieur et du Callovien alimentés par les	29
Figure 28 : Coupe illustrant la relation entre la fracturation et l'écoulement au niveau de versant Est du Moyen Atlas plissé (Oulad Ali, Oued Cheg Ard).....	32
Figure 29 : Coupe illustrant la relation entre la fracturation et l'écoulement au niveau de versant Est du Moyen Atlas plissé (ride de Bou Nacer).	33
Figure 30: Coupe illustrant la relation entre la fracturation et l'écoulement au niveau de versant Est du Moyen Atlas plissé (ride d'Aghesdis).....	33

Sommaire

REMERCIEMENT	2
LISTE DES FIGURES.....	3
Sommaire	4
CHAPITRE I: PRESENTATION GENERALE DE VERSANT EST DU MOYEN ATLAS PLISSE	7
I. Les Grandes entités structurales du Moyen Atlas.....	8
1. Le Causse moyen atlasique	8
2. Le Moyen Atlas plissé.....	8
II. Situation géographique et géologique de versant Est du Moyen Atlas plissé	9
Chapitre II : GEOLOGIE DU VERSANT EST DU MOYEN ATLAS PLISSE	11
I. La Lithostratigraphie	11
1. Le trias.....	11
2. Le jurassique	12
2.1. Le lias.....	12
2.2. Le Dogger	13
3. Le crétacé et le Paléogène	14
3.1. Crétacé	14
3.2. Paléogène.....	14
4. Le Néogène et le Quaternaire.....	14
II. Les structures du versant Est du Moyen Atlas.....	15
III. Évolution tectonique de Moyen Atlas.....	20
1. Au Trias supérieur- Carixien inférieur-moyen.....	20
2. Au Carixien supérieur-Domérien -Toracien	20
3. Au cours de l'Aaléno-Bajocien Bathonien inférieur - moyen	20
4. Au Bathonien supérieur-Callovien.....	21
5. Au cours de la phase tectonique d'âge post-Bathonien et anté-Barrémien.....	21
6. Entre l'Aptiene et le Sénonien inférieur	21
7. Au Sénonien supérieur Paléocène.....	21
8. Paléocène à l'Oligocène.....	22
9. Vallésien -Miocène supérieur	22
10. Pliocène moyen-supérieur	22
11. Quaternaire	22

CHAPITRE III : HYDROLOGIE ET HYDROGEOLOGIE DE VERSANT EST DU MOYEN ATLAS PLISSE.....	23
I. Hydrologie	23
1. Délimitation du bassin versant	23
2. Le réseau hydrographique	23
II. Hydrogéologie	26
1. Les sources	26
a. Source d'Oulad Ali.....	26
b. source de Tirstest	27
c. sources de Reggou.....	28
d. Sources de Maiter et Fekkous	29
2. Les nappes.....	30
<input type="checkbox"/> Nappe superficielle.....	30
<input type="checkbox"/> Nappe semi captive	30
<input type="checkbox"/> Nappe captive	31
CONCLUSION GENERALE.....	32
REFERENCES.....	34

INTRODUCTION GENERALE

Le Maroc possède des terrains affectés par l'ensemble des grandes orogénèses africaines (orogénèses précambrienne, l'orogénèse hercynienne et l'orogénèse alpine). Et ceci considère le Maroc comme l'une des rares régions dans le monde où l'on peut comprendre facilement la plupart des problèmes des Sciences de la Terre. Les terrains se répartissent en gros du Sud-Est (SE) vers le Nord-Ouest (NW) du plus ancien vers le plus récent; parmi ces terrains on trouve le Moyen Atlas qui fait partie de notre étude et plus précisément le versant Est du Moyen Atlas plissé qui connue une grande évolution géodynamique.

Les grandes lignes structurales du Moyen Atlas ont une orientation générale NE-SW recoupée, par endroit, par des accidents NW-SE et E-W. Ces directions correspondent à des accidents du socle hercynienne réactivés au cours de l'histoire alpine ce qui a donné cette morphologie actuelle de la chaîne.

Le Moyen Atlas est le siège d'une activité tectonique, néotectonique et sismique importante. Cette activité se manifeste par les différents marqueurs microtectoniques (failles striées, failles cachetées, stylolithes, fente de tension, etc.) et probablement par l'installation d'un ensemble de bassins fluvio-lacustres et travertineux (Hinaje Ait Brahim, 2002).

La présence des nappes souterraines, captives ou non, dont témoigne l'abondance des sources permanentes ou temporaires, est expliquée par le jeu de compartiments affaissés. Le versant Est du Moyen Atlas comprend plus de 20 sources. La plupart des formes karstiques ont pris naissance dans les carbonates liasiques constituées des dolomies, calcaires et calcaires dolomitiques.

L'étude du couple tectonique/écoulement est par conséquent indispensable aux études de circulations de l'eau en milieu fracturé. En se basant d'une part sur des observations de terrains et d'autre part sur des données qui peuvent être abordées selon trois approches :

- Une analyse structurale.
- Une analyse hydrologique.
- Une étude hydrogéologique.

CHAPITRE I: PRESENTATION GENERALE DE VERSANT EST DU MOYEN ATLAS PLISSE

Le Maroc situé dans la partie Nord occidentale du continent africain, est subdivisé en trois domaines structuraux (Choubert et Macais, 1956 ; Michard, 1976 ; piqué et Michard ; 1989 ; piqué, 1994) ; (in Charroud ,2002) ;(Fig.1).

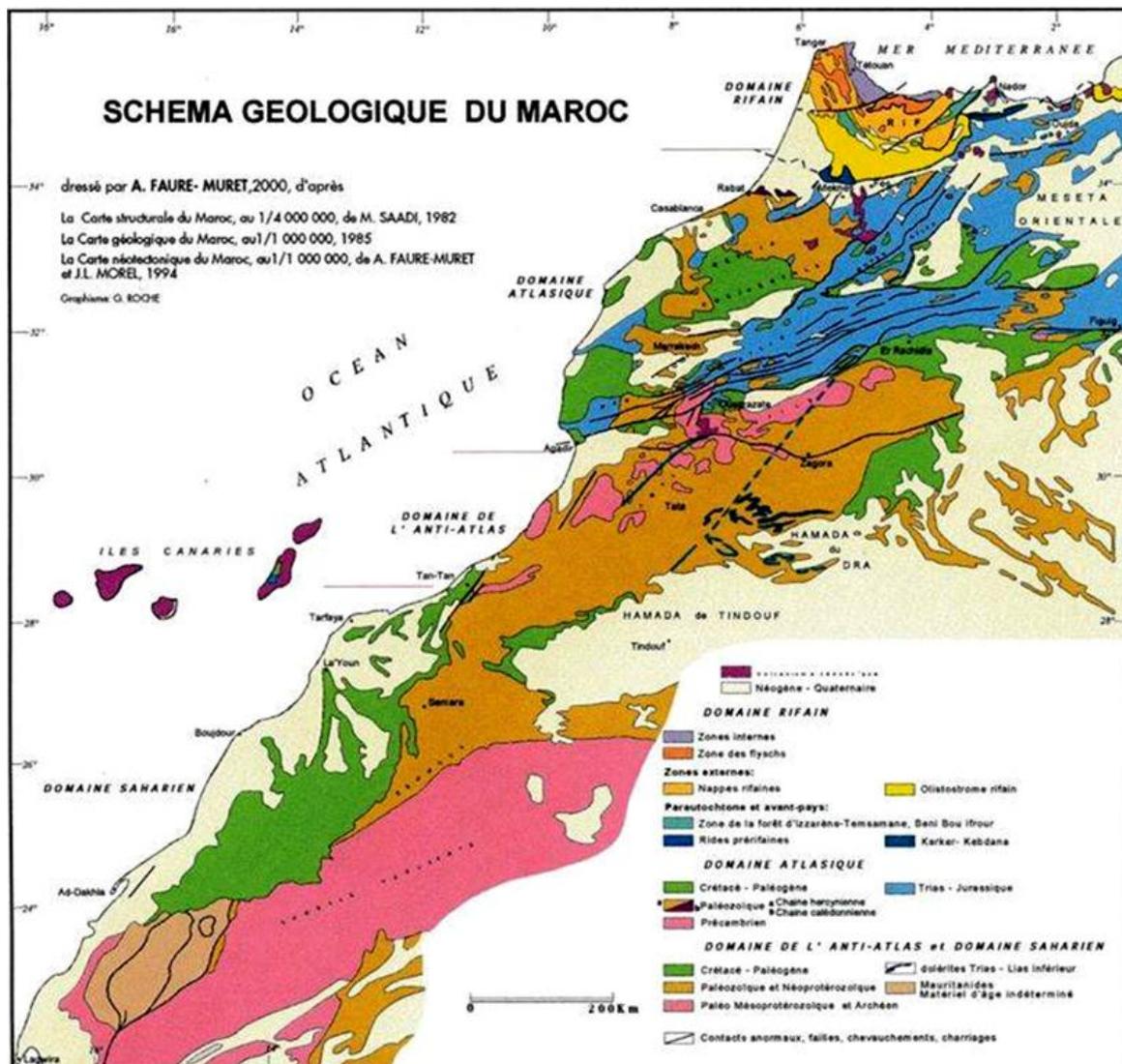


Figure 1: Carte des domaines structuraux du Maroc.

Le domaine rifain au Nord caractérisé par une tectonique essentiellement tangentielle affectant les dépôts secondaires et tertiaires.

Le domaine atlasique et mesetien à socle paléozoïque intensément plissé et fracturé, et à couverture méso-cénozoïque déformée lors des cycles ultérieurs. Ce domaine atlaso-mesetien se subdivise en deux unités structurales majeures :

- ❖ Une unité représentée par des plaines et des plateaux, où la couverture méso-cénozoïque est peu plissée mais fracturée lors du cycle Alpine.

- ❖ Une unité formée de terrains à sédiments variés ayant été plissés et soulevés, fracturés lors des phases Atlasiques c'est les chaînes atlasiques qui, correspondent au Haut Atlas

Le domaine saharien et anti-atlasique : Le domaine anti-atlasique et saharien au Sud : correspond à la chaîne paléozoïque de l'Anti-Atlas et au bouclier Reguibat d'âge précambrien qui forme le tronçon NW du craton Ouest Africain.

Le domaine anti-atlasique et ses confins sahariens qui limite au Nord le Haut Atlas, et au Sud le bouclier Reguibat et la chaîne des Mauritanides.

I. Les Grandes entités structurales du Moyen Atlas

Globalement, la structure du Moyen Atlas correspond à des larges cuvettes synclinales d'axes parallèles à la chaîne et de rides anticlinales étroites intrudées parfois de roches gabbroïques. Elle est formée de deux ensembles structuraux séparés par l'accident Nord-Moyen-Atlasique (Arboleya et al. 2004) : Le Moyen Atlas tabulaire ou cause moyen atlasique au NW et le Moyen Atlas plissé au SE (Fig.2).

1. Le Causse moyen atlasique

Le Causse moyen atlasique offre les paysages classiques de hauts plateaux calcaires, d'où l'appellation de cause. C'est le domaine de roches carbonatées : calcaires et dolomies. Ces plateaux, composés essentiellement de carbonates du Lias inférieur et moyen reposant sur des argilites triasiques (Herbig, 1988 in Rhoujjati 2007), sont structurés en plateaux étagés reflétant une organisation en blocs basculés par des failles normales mineurs, ils surplombent le couloir d'Azrou-Khénifra et la plaine de Saïs. Cette importante couverture mésozoïque repose sur un socle paléozoïque et l'ensemble est parsemé des épanchements volcaniques épars d'âge quaternaire (Herbig, 1988).

2. Le Moyen Atlas plissé

Le Moyen Atlas plissé correspond à la partie Est de la chaîne et se distingue du cause sub-tabulaire par la présence de rides qui forment des reliefs orientés dans la direction générale de la chaîne. Ces rides anticlinales encadrent des dépressions synclinales qui ont continué à fonctionner pendant le Jurassique moyen comme des dépo-centres marneux et marno-calcaires assez épais. Les rides sont constituées de calcaires liasiques et, en position axiale, d'argiles triasiques et des formations magmatiques (Fedan, 1988). Les terrains Liasico-triasiques sont couverts par formation post-secondaire.

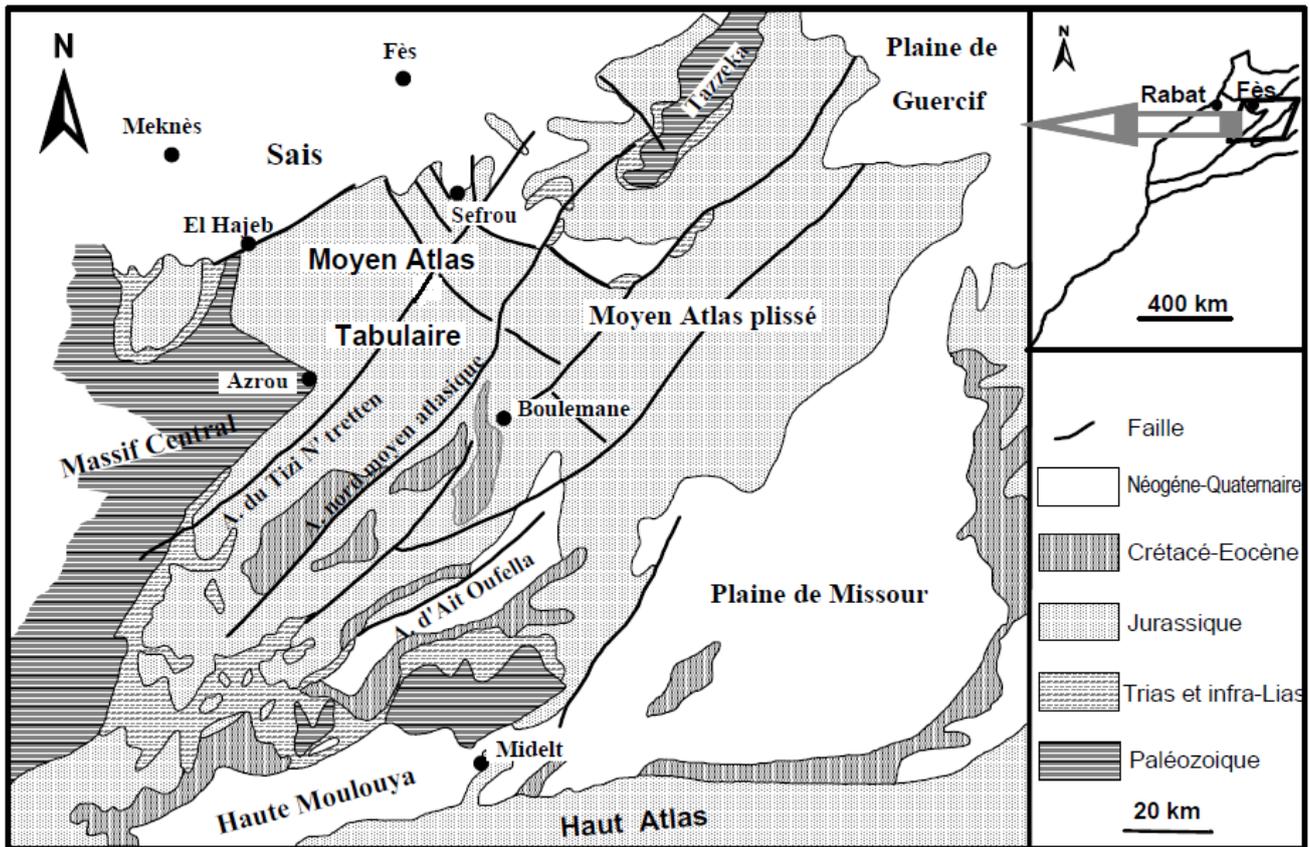


Figure 2: Carte géologique simplifiée du Moyen Atlas (d'après la carte géologique du Maroc au 1/1000000 ; modifiée).

II. Situation géographique et géologique de versant Est du Moyen Atlas plissé

Le secteur d'étude il est limité à l'Est par le domaine secondaire des Hauts-plateaux du Rekkame (Meseta orientale), à structure calme, au Sud par la plaine de Missouri, à l'Ouest par le domaine triasique et jurassique de la bordure orientale du Moyen Atlas plissé. Et au Nord par la plaine de Guercif (Fig.3).

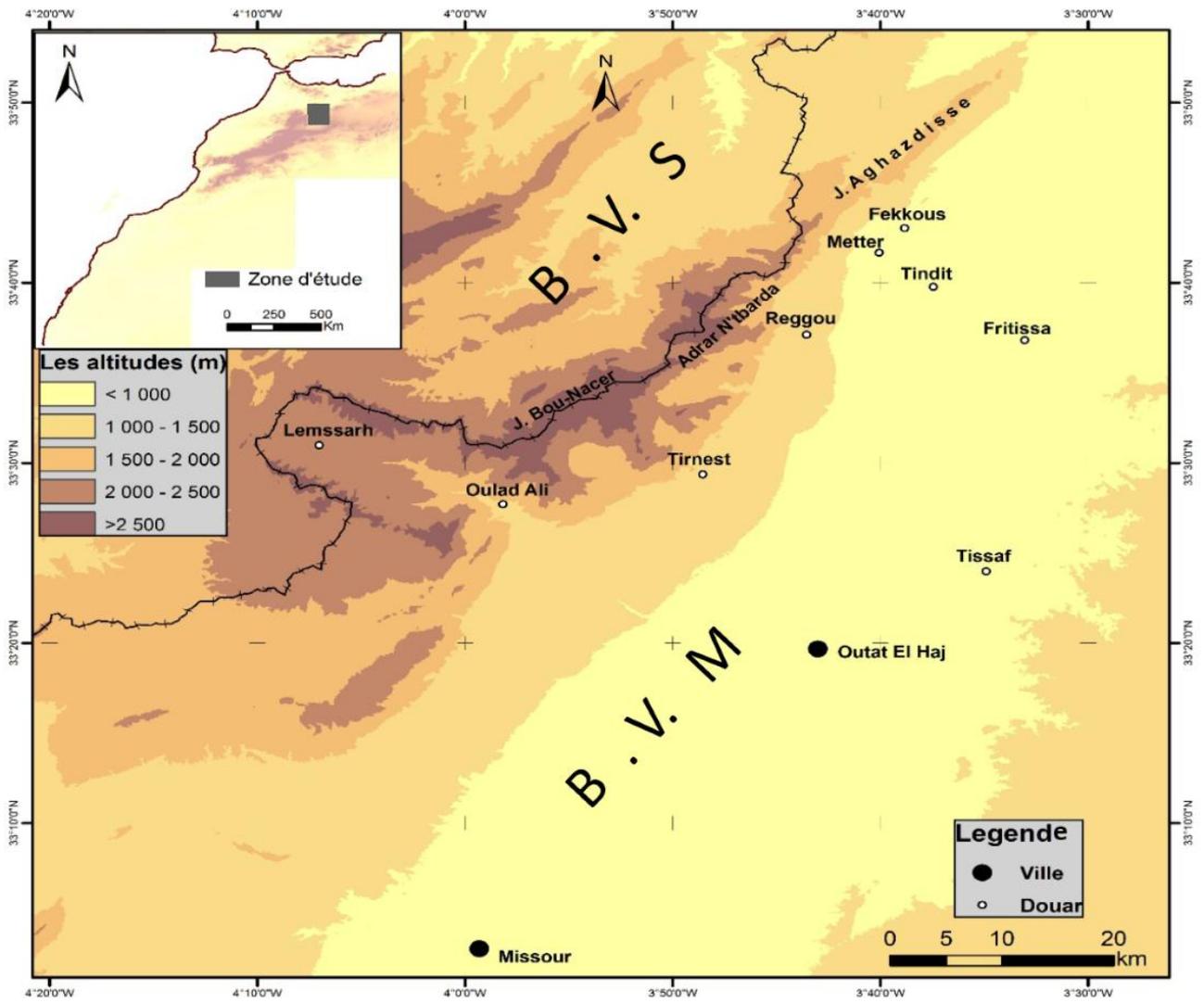


Figure 3: Carte de la situation géographique de versant Est du Moyen Atlas

Chapitre II : GEOLOGIE DU VERSANT EST DU MOYEN ATLAS PLISSE

I. La Lithostratigraphie

Sur le plan lithologique, la zone d'étude est une structure sédimentaire dans laquelle on rencontre les terrains suivants de bas en haut (Fig.4) :

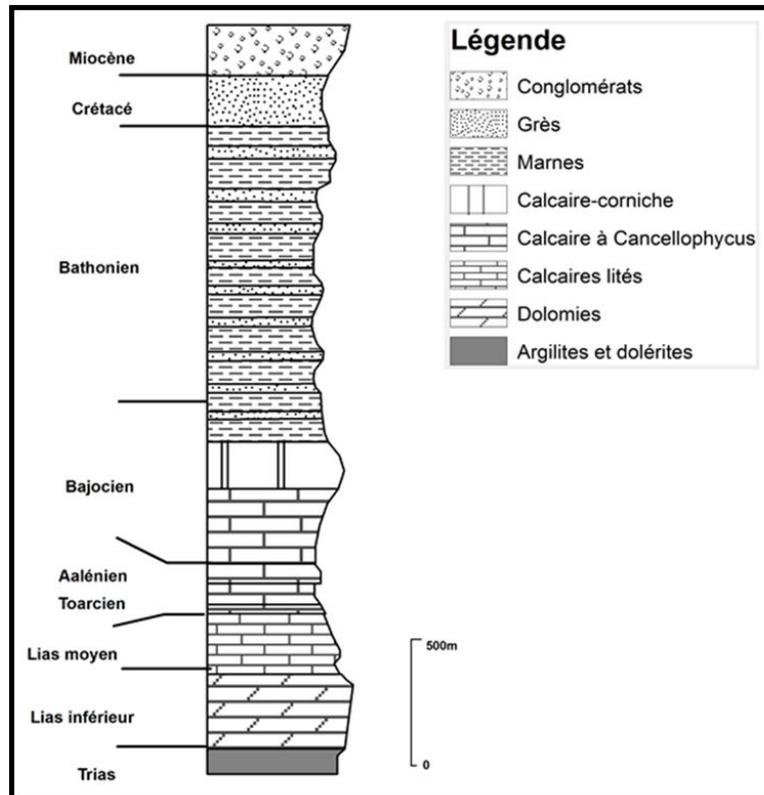


Figure 4 : Log litho-stratigraphique du Moyen Atlas (Souhail et al 2015).

1. Le trias

Les dépôts triasiques reposent en discordance angulaire sur le substratum paléozoïque déformé et structuré par plusieurs phases tectonique (Michard .1976, Charrière1990. Hinaje et al.1992.1993.2000.Hinaje1995).

➤ les dépôts détritiques de base du Trias

Ils sont constitués d'un cortège détritique varié contenant des conglomérats des grès arkosiques et feldspathiques.

➤ les argilites inférieures

Elles reposent sur les dépôts détritiques de base avec un passage progressif des grès et silts aux argiles rouges (Fig.5).

➤ les basaltes tholeiitiques

Le passage trias-lias inférieur est caractérisé par la mise en place d'épanchements volcaniques de nature tholeiitique. Sur une grande surface paléogéographique.

➤ les argilites supérieures

Sur le complexe basaltique tholeiitique reposent les argiles rouges à évaporites plus ou moins sableuses ou silteuses.



Figure 5 : L'argile rouge du trias (Photo de terrain 10/05/2017)

2. Le jurassique

Les séries jurassiques forment la majeure partie des terrains mésozoïques du Moyen Atlas. Elles reposent en concordance sur les formations rouges du Trias-Lias inférieur. Leur nature lithologique est essentiellement constituée par des dolomies, des calcaires, des alternances marno-calcaires et des dépôts détritiques silico-clastiques (in Hinaje, 2004).

2.1. Le lias

La sédimentation liasique peut être résumée en deux étapes majeures (Colo, 1961 ; Fedan, 1988 ; Sadki et al. 1999) :

- **Le lias inférieur et moyen** : les dépôts du lias inférieur sont caractérisés par une sédimentation essentiellement carbonatée. Les premiers niveaux carbonatés sont massifs de nature dolomitique à calcaréo-dolomitiques, déposés dans un milieu intertidal à supratidal (Du Dresnay, 1961 ; El Arabi, 1987 ; Charrière, 1990).
- **Le lias supérieur** (Toarcien) : Dans le Moyen Atlas les Toarciens correspondent à la formation de Taffert (Du Dresnay, 1988). Elle correspond aussi aux marnes de Bechyne et aux couches de Mibladéne (Fedan 1988). Elle est composée essentiellement de marnes grises à intercalations calcaires. de calcaires noduleux et oolithiques, de grès, de calcaires gréseux et de marnes gréseuses (Fig.6).



Figure 6 : Photo qui montre les dépôts de lias inférieur et moyen(photo de terrain10/05/2017).

2.2. Le Dogger

La série du Dogger correspond à une méga-séquence de remblaiement avec des marnes à la base des calcaires à faciès péri-récifal surmontés par une épaisse sédimentation marno-calcaires avec développement de niveaux gréseux et argilo-évaporitiques, l'ensemble de ces dépôts est divisé en plusieurs formations (Fig.7).

- la formation d'Amane Ilila (Termier1936) constituée par des alternances marno-calcaires riches en céphalopodes d'âge Toarcien terminal. Aalénien et bajocien inférieur.
- la formation des marnes de Boulemane(Termier1936) est constituée de marnes grises qui montrent de niveaux carbonatés au sommet.
- la formation de Rcifa (Du Dresnay, 1963) ou calcaires corniches (Termier1963)
- la formation d'El Mers.

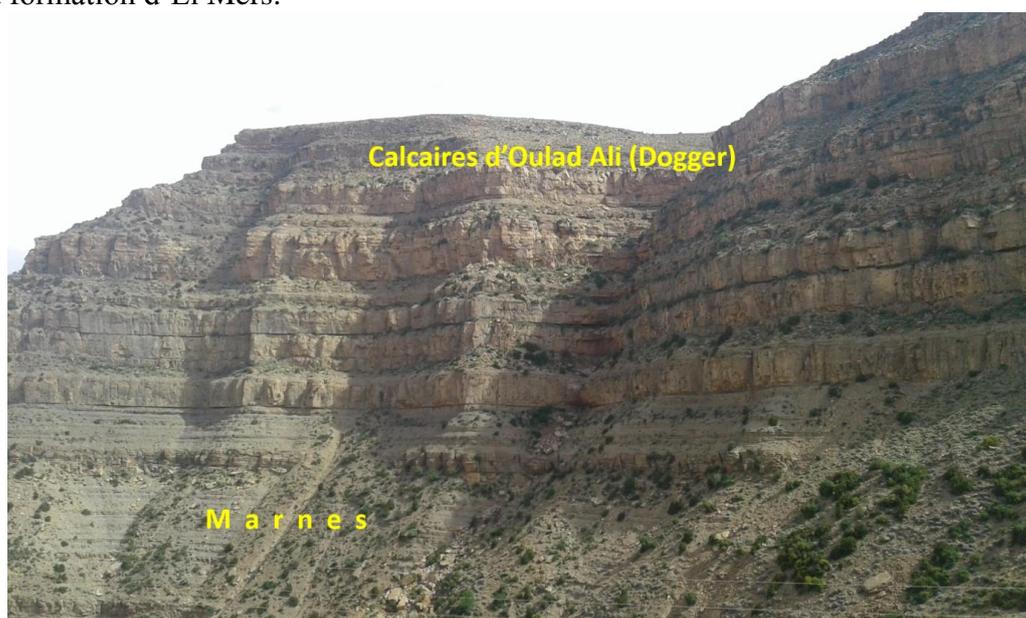


Figure 7 : Calcaires d'Oulad Ali (Photo de terrain 10/05/2017)

3. Le crétacé et le Paléogène

Après le premier cycle sédimentaire post-hercynien (Trias-Lias-Dogger) et l'émersion de la chaîne atlasique à la fin du Dogger ; un deuxième cycle sédimentaire d'obédience atlantique s'installe (crétacé-Paléogène) .

Le passage du premier au deuxième cycle se fait avec un important changement paléogéographique. Le premier était sous dépendance téthysienne alors que le second est sous dépendance atlantique (Termier 1936 ; Roch 1950 ; Choubert et Faure- Muret 1960-62 ; Michard 1976) ;(in Charroud,2002).

3.1. Crétacé

Après le dépôt de la formation d'El Mers, le Moyen Atlas est restés émergé durant l'essentiel du Malm et de crétacé inférieur. Dans la région de Boulemane, se dépose un cortège détritique (formation d'Oued El Atchane).

La série sédimentaire crétacée de la chaîne atlasique est divisée en quatre formations.

- La formation d'Oued El Atchane.
- la formation de Sidi Larbi.
- la formation albo-cénomano-turonienne.
- la formation sénonienne.

3.2. Paléogène

Dans la Moyenne Moulouya Raynal (1960) attribue les calcaires lacustres et les conglomérates de Tittaouine au paléogène (Eocène-oligocène).

4. Le Néogène et le Quaternaire

Le bassin de la Moyenne Moulouya C'est un bassin à caractère intramontagneux qui a accueilli une sédimentation continentale avec trois unités lithostratigraphiques attribuées respectivement à l'Oligo-Miocène, au Mio-Pliocène et au Plio-Quaternaire (Russo, 1928, Jeannet, 1952, Chahi et al, 1992, Durringer et al, 1995, Benammi, 1997) ; (in Charroud,2002) ;(Fig.8).

- ❖ L'ensemble basal est une succession de conglomérats, grès et argiles rouges suivie par des siltites et des argiles rouges à gypse. Au sommet, se développent des calcaires lacustres.
- ❖ L'ensemble médian est une succession de conglomérats polygéniques avec intercalations d'argiles et de grès rouges, de siltites et argilites rouges avec traces de paléosols et nombreux niveaux de silicites. (Benammi 1997)
- ❖ L'ensemble sommital avec principalement des cônes alluviaux, de molasses et de terrasses fluviales, A l'Ouest de Missour, se développe un faciès lacustre villafranchien correspondant au dernier événement lacustre dans la Moulouya.

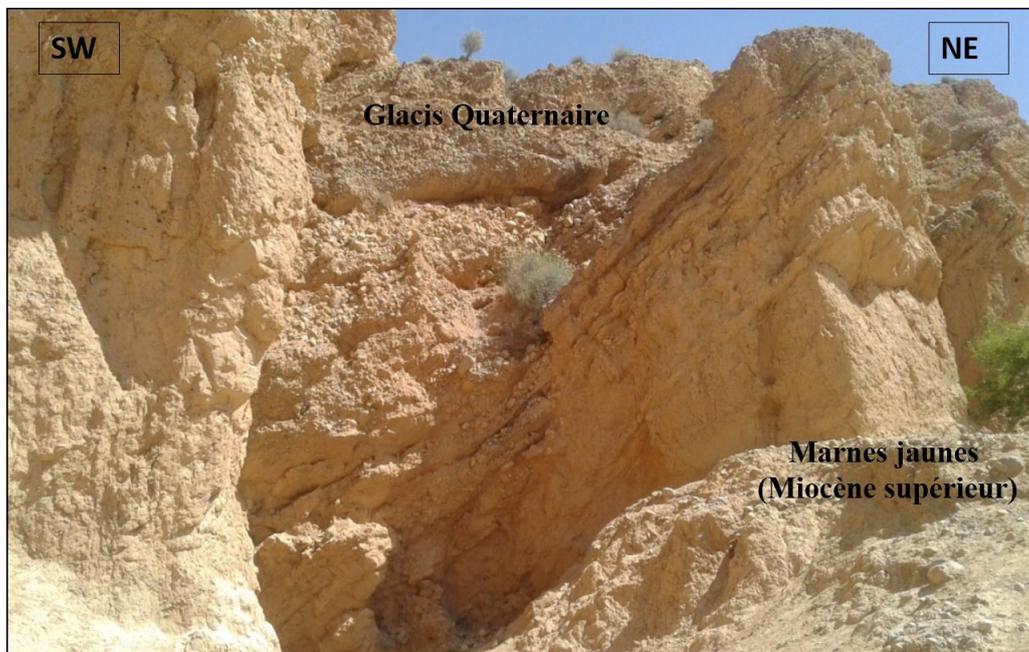


Figure 8 : Photo qui montre les dépôts de la couverture du Néogène et Quaternaire.

II. Les structures du versant Est du Moyen Atlas

Les structures du Moyen Atlas comprennent des accidents majeurs qui ont joué un rôle important dans l'évolution géodynamique de cette chaîne. Parmi ces structures majeures on présente dans la carte ci-dessous et la coupe structurale correspondante (Fig.9 et 10) :

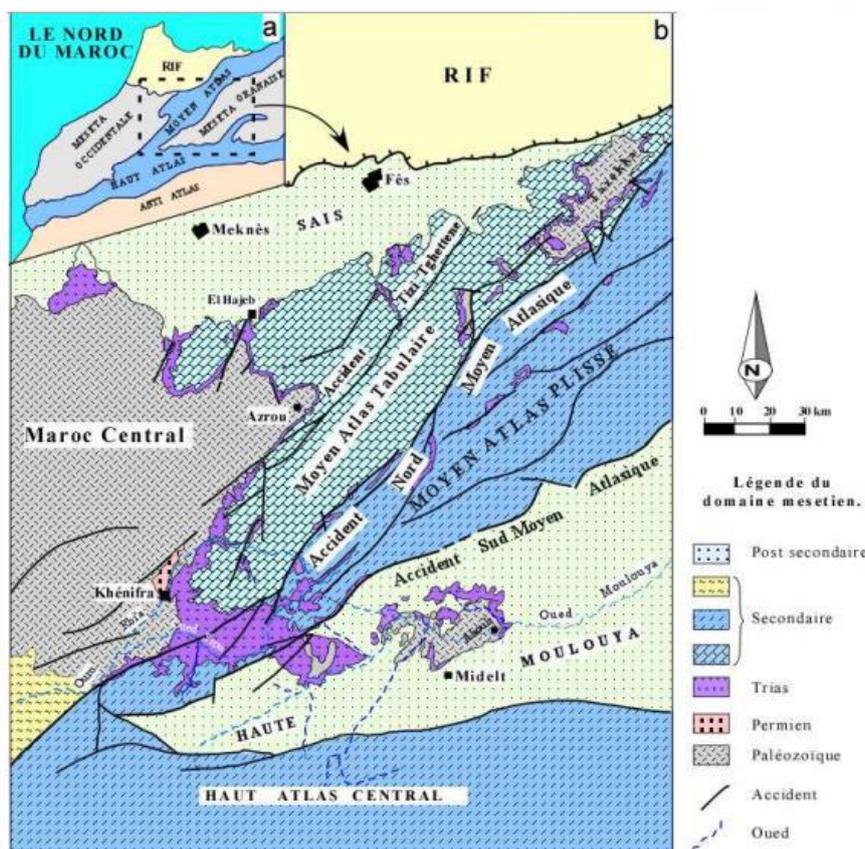


Figure 9: Carte géologique du Moyen Atlas plissé.

- L'ATT ou Accident de Tizi n'Tretten qui déforme dans les structures tabulaires du cause moyen atlasique.
- L'ANMA est l'Accident Nord Moyen Atlasique.
- L'AMA ou Accident de Tichoukt et en fin,
- L'Accident Sud moyen atlasique exprimé par un ensemble des rides qui sont alignés NE-SW et surplombent le bassin néogène et quaternaire de la Moyenne Moulouya.

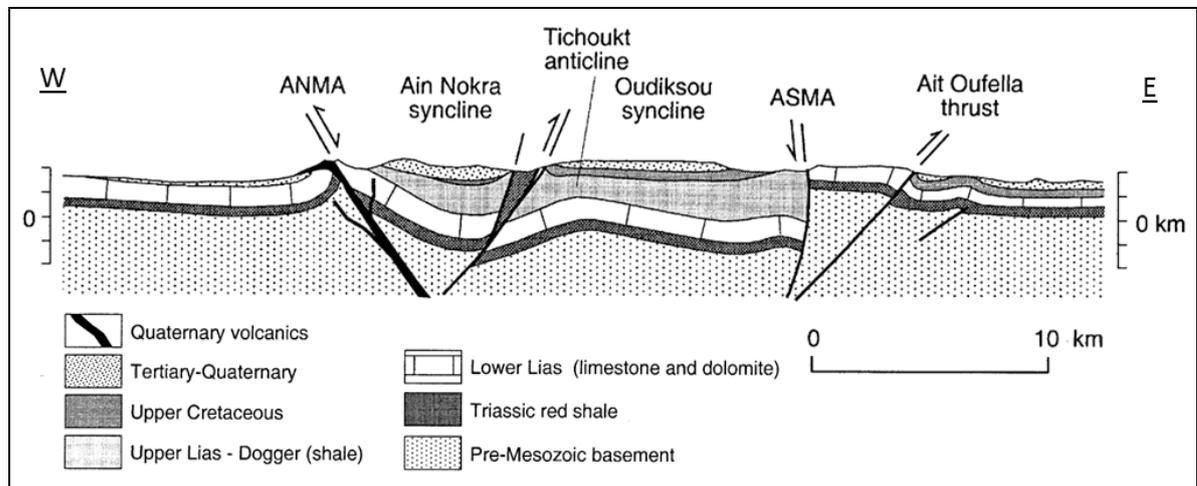


Figure 10 : Coupe transversale de la ceinture centrale du Moyen Atlas tabulaire et plissé (Arboleya et al)

Ces rides sont :

✓ La ride d'Aghzdis

Elle forme un monoclinale penté vers l'Est et limité à l'ouest par la faille Sud moyen atlasique qui la met en contact avec le synclinale de Barkine. Ce monoclinale est formé des marnes et des calcaires du dogger qui s'annoient vers l'Est sous les formations plio-quaternaires du bassin intramontagneux de la Moyenne Moulouya (Charroud 2002) ;(Fig.11 et 12).

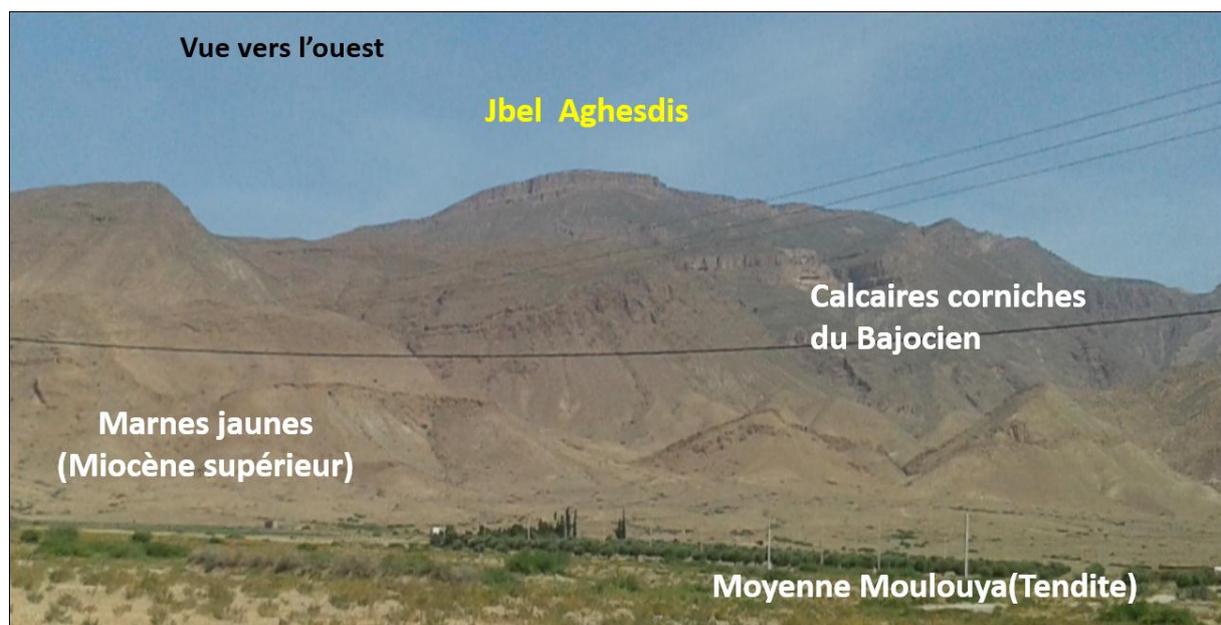


Figure 11 : Vue vers l'Ouest de la ride d'Aghzdis (Photo de Terrain 13/05/2017).

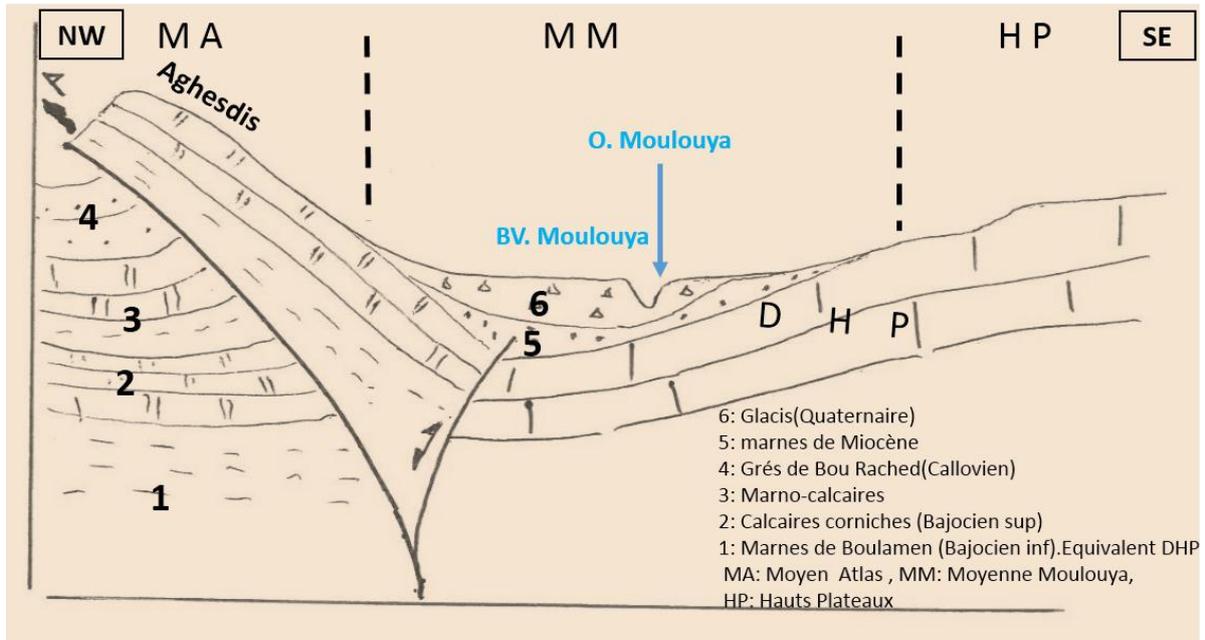


Figure 12 : Esquisse structurale simplifiée de la ride d'Aghesdis.

✓ **La ride de Bou Nacer**

Correspond à un anticlinal faillé dont le flanc Sud-Est, verticalisé, est fortement incisé par les affluents de l'oued Moulouya (O. Cheg Ard et O. Beni-Ouriach). Ces incisions permettent d'observer dans l'axe anticlinale des marnes grises toarciennes surmontées par les dépôts de la Dalle des Hauts Plateaux (Choubert, 1938 ; Drensnay Du, 1967-71). Cette ride chevauche le bassin intramontagneux de la Moyenne Moulouya (in Charroud, 2002); (Fig. 13, 14, 15 et 16).



Figure 13 : Vue vers le SE de la ride de Bou Nacer (Photo du Terrain 12/05/2017).

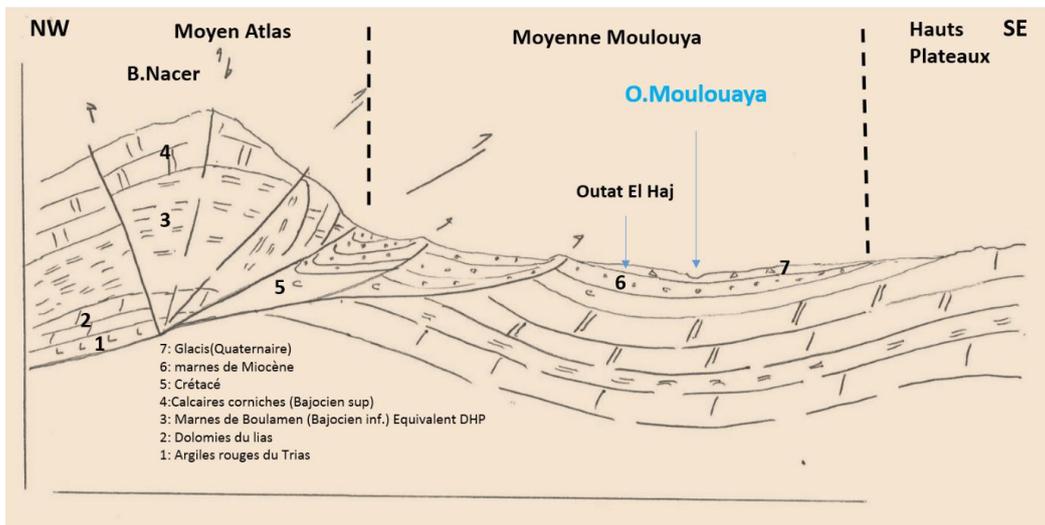


Figure 14 : Esquisse structurale simplifiée de la ride de Bou Nacer



Figure 15: Photo montre la faille de Cheg Ard (N110-140).

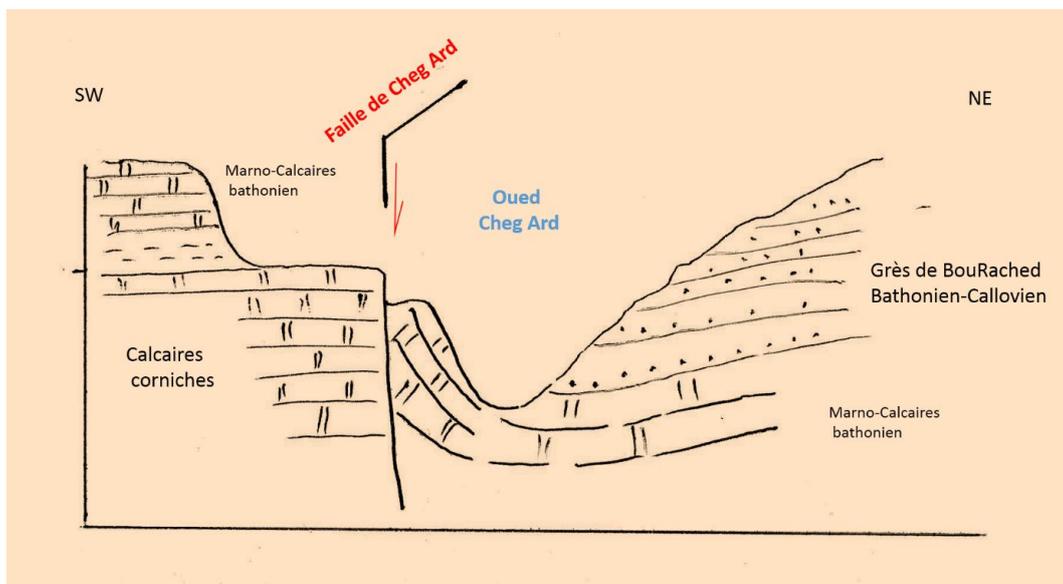


Figure 16: Coupe schématique de la faille de Cheg Ard (N110-140).

✓ *La ride de Tsiouant*

Au Sud-Ouest, la ride de Bou Nacer se prolonge par la ride de Tsiouant. Elle forme un anticlinale faillé injecté d'argiles rouges du trias (région d'Oulad Ali) qui marquent le passage de l'accident Sud moyen atlasique (Fig.17 et 18).

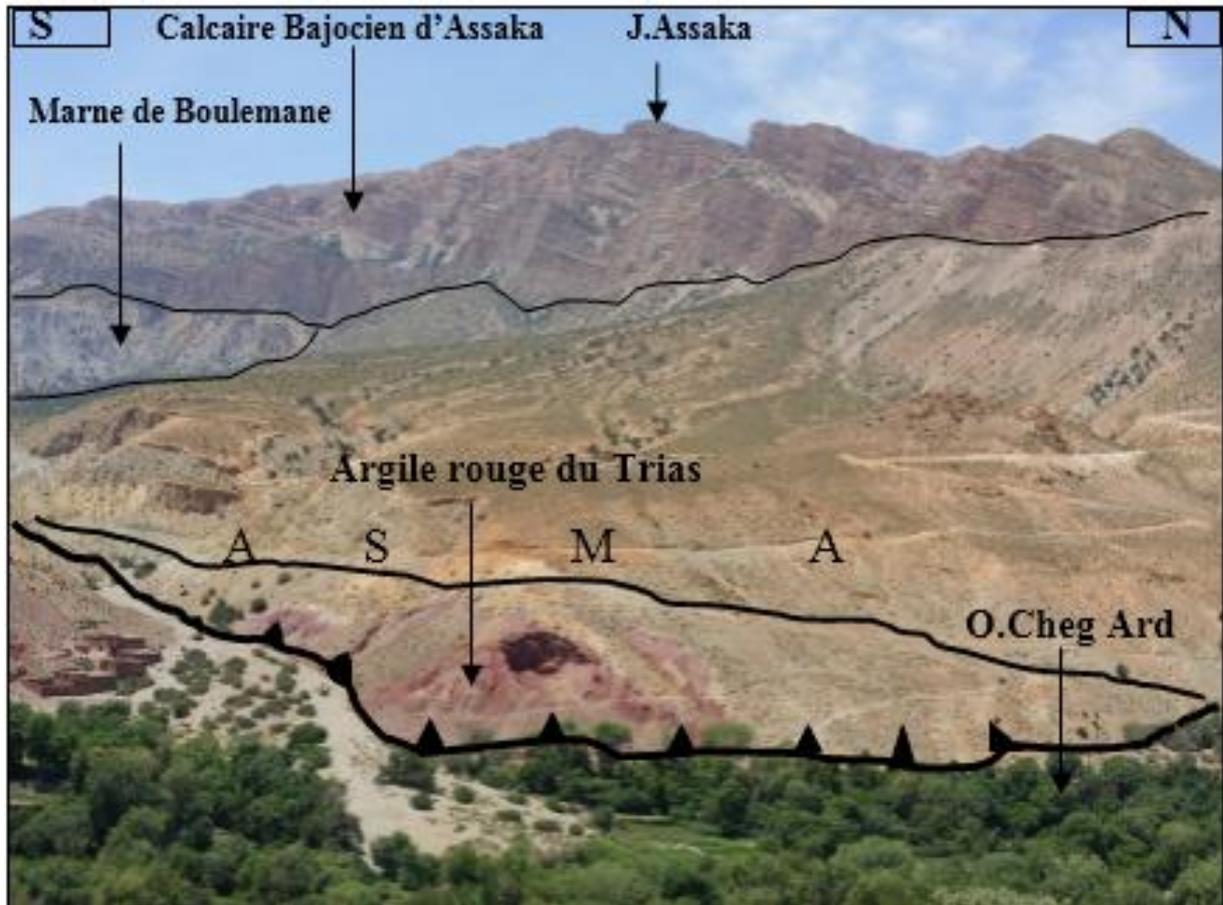


Figure 17 : Remontée diapirique du Trias argilo-salifère (Photo du Terrain 10/05/2017)

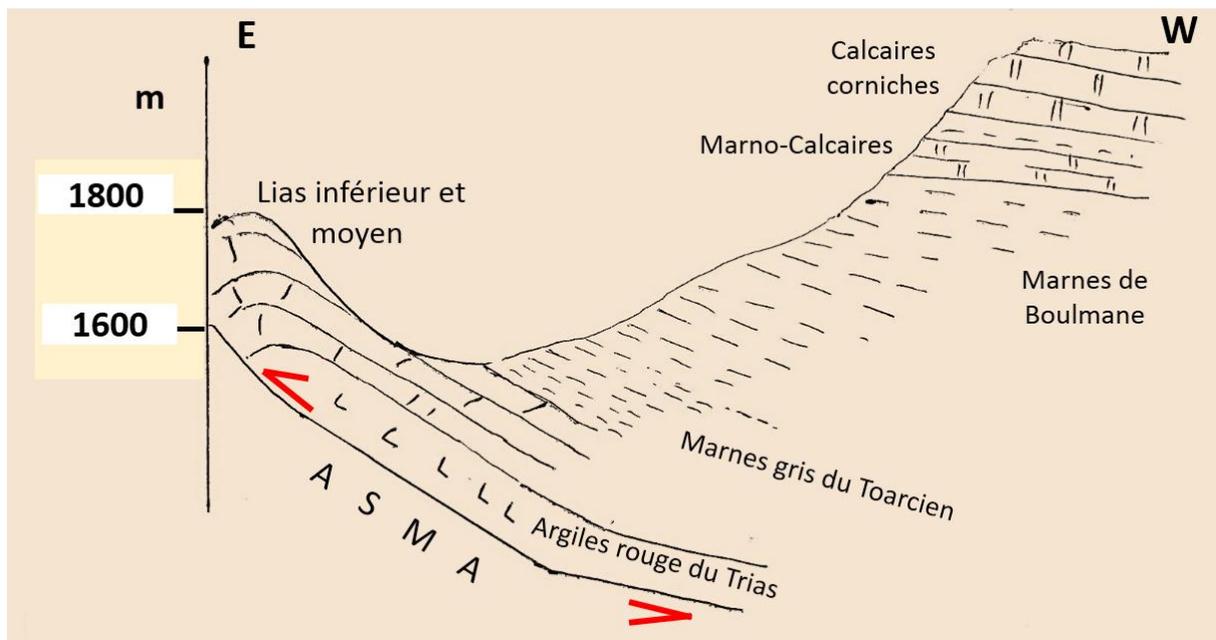


Figure 18 : Esquisse structurale simplifiée montre le passage de l'ASM dans la région d'Oulad Ali.

III. Évolution tectonique de Moyen Atlas

L'étude tectonique et microtectonique des déformations affectant les terrains méso-cénozoïques du Moyen Atlas nous a permis de mettre en évidence la succession de plusieurs événements tectoniques extensifs et compressifs. Ceux-ci ont influencé la géométrie des bassins sédimentaires et la répartition paléogéographique des dépôts. L'extension NW-SE d'âge Triasico-liasique est responsable de l'ouverture du rift atlasique NE-SW. Celui-ci avorte au passage Carixien-Domérien lorsque l'axe extensif devient orienté NE-SW, associé à un axe compressif mineur orienté NW-SE. Au cours de l'Aaléno-Bajocien, le régime tectonique est caractérisé par une extension NNW-SSE. Au Bathono-Callovien l'extension devient orientée NE-SW, assurant un approfondissement des bassins vers le NE. La phase compressive NNW-SSE d'âge post-Bathonien – anté-Barremien termine l'évolution tectono-sédimentaire mésozoïque (Hinaje 2004).

1. Au Trias supérieur- Carixien inférieur-moyen

En même temps que se développe le rift atlantique entre la plaque africaine et américaine, un rift atlasique orienté NE-SW se développe au centre du Maroc. Il regroupe le Moyen Atlas et le Haut Atlas central où les accidents majeurs sont orientés NE-SW. La subsidence dans cette zone moyenne atlasique au sens large, est guidée par des failles normales NE-SW et par des failles normales à composante décrochante senestre orientées ENE-WSW, sous un régime extensif tel que l'axe σ_3 est horizontal et orienté NW-SE à NNW-SSE (σ_1 vertical).

2. Au Carixien supérieur-Domérien -Toracien

Le régime tectonique est caractérisé par un axe extensif NE-SW. Au Carixien supérieur, l'état des contraintes change complètement d'un régime extensif NW-SE à NNW-SSE au Carixien inférieur-moyen, à une extension NE-SW. Sous ce paléochamps de contraintes, les failles moyennes atlasiques orientées N120 à N145 présentent un jeu normal effondrant vers le NE ou vers le SW ; de part et d'autre du paléo-horst de Boulemane.

- **Au Domérien**, le paléochamp de contraintes est caractérisé par un axe σ_3 horizontal et orienté NE-SW (σ_1 verticale), responsable du jeu normal des failles NW-SE et du jeu normal à composante décrochante dextre des failles ENE-WSW. Ces failles guident l'approfondissement du milieu de sédimentation.
- **Au Toarcien**, le paléochamp de contrainte demeure extensif avec l'axe σ_3 orienté NE-SW (σ_1 verticale) favorisant la continuité du jeu normal des failles transverses NW-SE.

3. Au cours de l'Aaléno-Bajocien Bathonien inférieur - moyen

Ce période Correspond à un régime extensif tel que l'axe σ_3 est horizontal et orienté N140 à N175. Celui-ci est responsable du jeu normal des failles ENE-WSW, du jeu normal à composante décrochante dextre des failles NE-SW et du jeu normal à composante décrochante senestre des failles NW-SE.

Au Bajocien supérieur-Bathonien inférieur – moyen. Le régime tectonique est toujours caractérisé par une extension NNW-SSE. Les failles majeures qui ont joué un rôle primordial dans la paléogéographie de cet âge, sont orientées N50 à N85 et présentent un jeu normal. Egalement les failles NE-SW présentent un jeu normal à composante décrochante dextre, et les failles NW-SE présentent un jeu normal à composante décrochante senestre.

4. Au Bathonien supérieur-Callovien

Le régime tectonique qu'a connue la période d'âge Bathonien supérieur – Callovien que nous avons mis en évidence, correspond à un épisode extensif NE-SW (σ_1 verticale), caractérisé par des failles normales orientées N120 à N145. Ces failles délimitent des bassins sédimentaires qui s'approfondissent vers le NE et vers le SW. Un autre épisode caractérisant cette période correspond à un paléochamp de contraintes tels que l'axe σ_1 est horizontal et orienté NW-SE et l'axe σ_3 est aussi horizontal et orienté NE-SW (permutation des axes σ_2 et σ_3). Cet épisode tectonique est responsable du jeu inverse des failles NE-SW et du jeu décrochant dextre à composante inverse des failles ENE-WSW.

5. Au cours de la phase tectonique d'âge post-Bathonien et anté-Barrémien

L'étude de la déformation tectonique affectant la série jurassique du Moyen Atlas, nous a permis de mettre en évidence la phase tectonique d'âge post-Bathono-Callovien et anté-Barrémien. Celle-ci est divisée en deux épisodes de durées et d'intensités variées.

- ❖ **Le premier épisode** que nous avons mis en évidence dans un seul site, correspond à une extension ENE-WSW, qui a donné naissance à des failles normales NNW-SSE, affectant les dépôts bathoniens.
- ❖ **Le deuxième épisode** tectonique de durée plus importante correspond à une compression NNW-SSE (σ_3 verticale, ou horizontale et orientée ENE-WSW). Cette compression est caractérisée par des failles inverses et chevauchantes N70, des plis à axes orientés N50 à N90, une schistosité de fracture N80, des décrochements senestres à composante inverse orientée N40 et des décrochements dextres orientés N130.

6. Entre l'Aptien et le Sénonien inférieur

Entre l'Aptien et le sénonien inférieur : Le régime tectonique est caractérisé par un axe σ_1 orienté N30 et un axe σ_3 orienté N120. La présence des dépôts crétacés dans le Moyen Atlas, et due au jeu des accidents majeurs orientés NE-SW en failles normales.

7. Au Sénonien supérieur Paléocène

Au Sénonien supérieur-Paléocène : l'axe σ_3 horizontale est orienté NE-SW et σ_1 est verticale, ou horizontale. Ceci est responsable du jeu normale des failles de direction moyenne N130 qui délimite des bassins subsidés à dépôts bitumineux et phosphatés.

8. Paléocène à l'Oligocène

Du Paléocène à l'oligocène, (et même au Miocène inférieur- moyen) le paléochamp de contraintes est caractérisé par un axe σ_1 horizontale et orienté N30, un axe σ_2 vertical et un axe σ_3 horizontale et orienté N120, ce régime tectonique est responsable de la création des failles inverses à chevauchantes orientées N110 à N120 et d'une schistosité orienté N120 et des failles normales orientées N15 à N45 surtout à l'Eocène et l'oligocène.

9. Vallésien -Miocène supérieur

Au vallésien -Miocène supérieur Le régime tectonique est caractérisé par un axe σ_3 horizontale et orienté N30 à N45 et un axe σ_1 verticale ou horizontale et orienté N120 à N135 ; aboutissant à la formation des bassins sédimentaires lacustres et marins, allongés selon la direction NW-SE et encadrées par des failles normales NW-SE

10. Pliocène moyen-supérieur

Le paléochamp de contraintes du Pliocène moyen-supérieur correspond à une extension NNW-SSE (σ_1 v) responsable de l'installation des bassins continentaux à remplissage fluvio-lacustres orientés ENE-WSW.

11. Quaternaire

Les phases tectoniques du Quaternaire sont divisées en plusieurs épisodes de paléocontraintes. Au Quaternaire ancien-moyen le paléochamp de contraintes correspond à une extension WNW-ESE manifestée par des failles normales synsédimentaires orientées N15 à N45. Le second épisode correspond à un axe maximale σ_1 horizontal N30 et un axe minimale σ_3 aussi horizontal et de direction N120 .Il est représenté par des décrochements subméridiens à jeu dextre et des décrochements senestres de direction E-W à ENE-WSW. Au Quaternaire moyen-récent ; le régime tectonique est représenté par des failles normales synsédimentaires orientées N150 à N110, compatible avec une extension ENE-WSW. Ces failles représentent les fractures les plus récentes qu'on peut trouver dans le Moyen Atlas .celles-ci affectent les dépôts de basses terrasses holocènes à sub-actuelles.

CHAPITRE III : HYDROLOGIE ET HYDROGEOLOGIE DE VERSANT EST DU MOYEN ATLAS PLISSE

I. Hydrologie

1. Délimitation du bassin versant

De point de vue hydrologique la zone d'étude il fait partie du bassin de la Moulouya, un des plus grands bassins du Maroc : prend ses source à Alemssid (Région d'Aghbala) à 2000 m d'altitude près de Midelt à la jonction du Moyen et le Haut Atlas. Il s'étend sur 74 000 Km² drainant vers la Méditerranée les eaux du Rif Oriental, du Moyen Atlas à l'Ouest, du Haut Atlas au Sud et des Hauts plateaux à l'Est ,a près un trajet de 650 km (Fig.19).

2. Le réseau hydrographique

L'hydrographie de la plaine est axée sur l'oued Moulouya. Il reçoit un grand nombre d'affluents dont peu sont pérennes ; il s'est installé sur une gouttière préexistante formée entre Moyen et Haut Atlas dans le cours supérieur et entre Moyen Atlas et Rekkame dans le cours moyen. Sa direction SW-NE, dite atlasique, est en accord avec la structure synclinale et subsidente de la cuvette dans laquelle il coule, et avec les accidents qui le bordent à l'E et à l'W. Aucun des affluents de l'oued Moulouya n'est très important dans son cours moyen. Ils se joignent très rapidement à lui et les réseaux ne s'organisent pas de la même manière sur les rives droite et gauche. Sur la rive gauche, un petit nombre d'oueds (O. Chourf-ech-Cherg, O. Cherg-el-Ard, O. Beni-Ouriach) parviennent dans la vallée où chacun se ramifie en d'innombrables lits peu encaissés, divaguant sans cesse et se perdant avant de parvenir à la Moulouya. La rive droite est découpée par un réseau très ramifié d'oueds dans le Rekkame. Ils confluent pour ne former au débouché dans la vallée qu'une dizaine d'affluents qui rejoignent directement la Moulouya(Fig .20).

Oued Chouf cherg, O. Chagg-el-Arde et O. Beni Ouriach drainant les eaux de ruissellement des importants massifs montagneux du Moyen Atlas (Jebel Bou Nacer). Les eaux collectées par ce bassin s'écoulent vers Oued Moulouya.

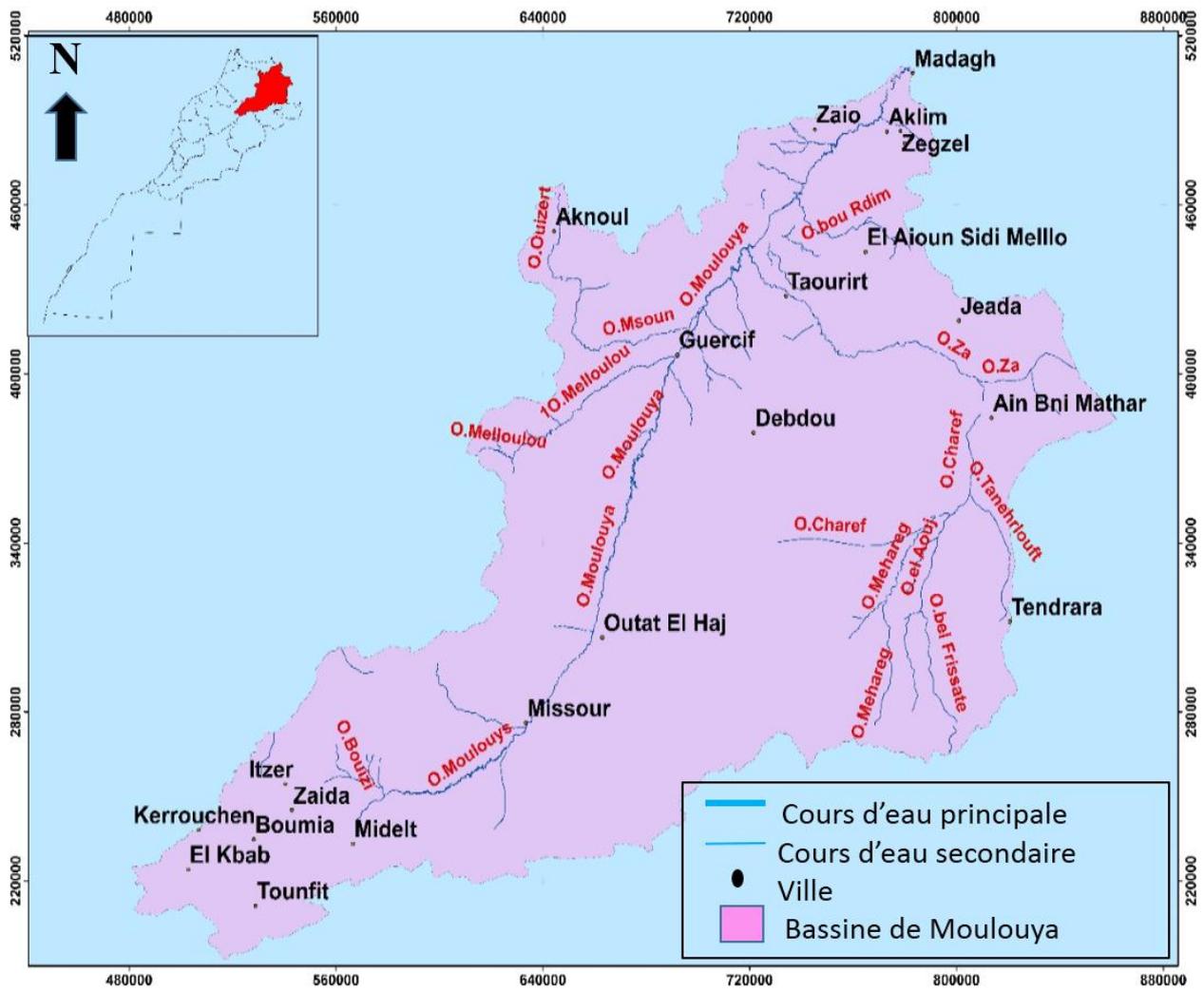


Figure 19 : Carte de réseau hydrographique du bassin de Moulouya

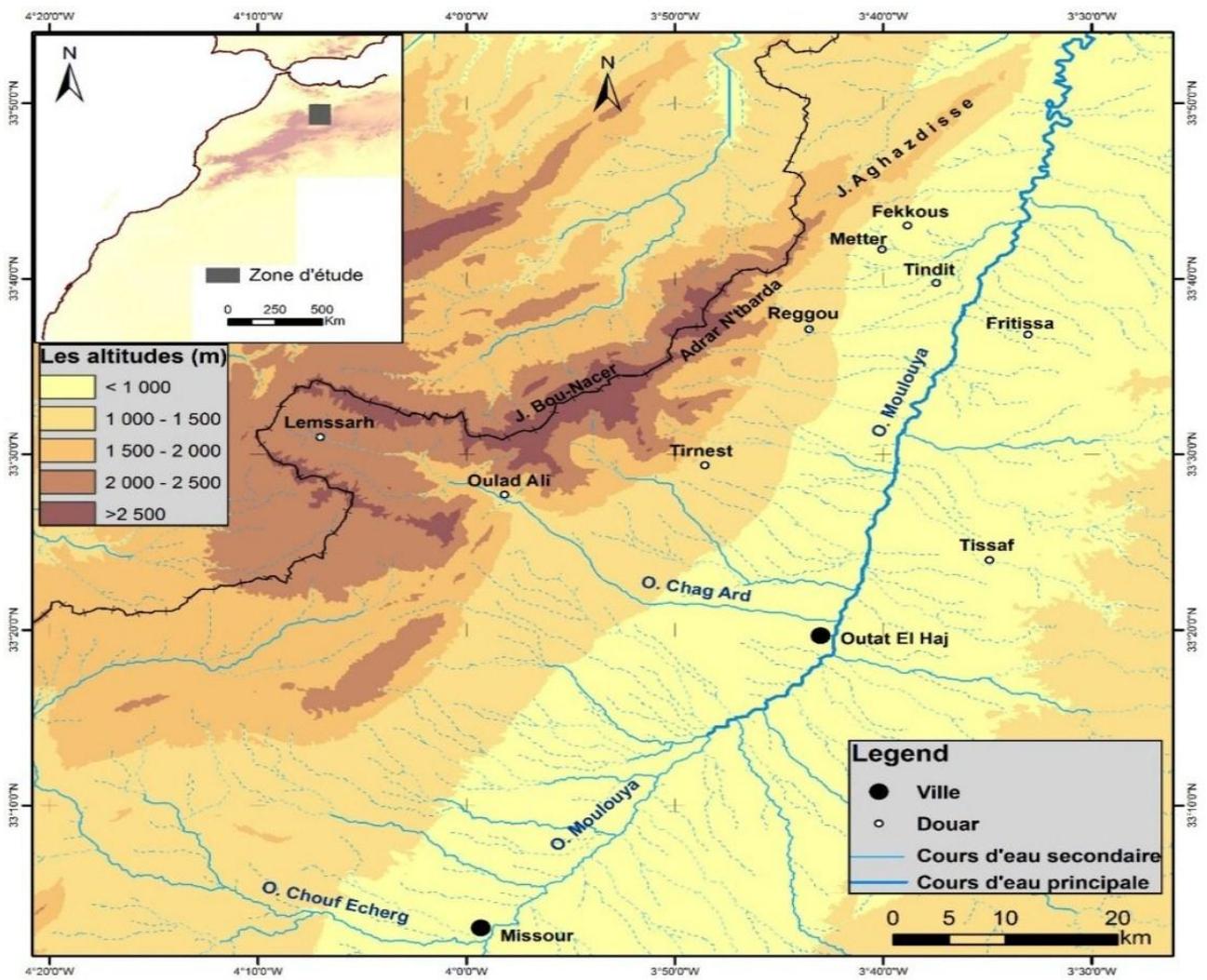


Figure 20 : Carte de réseau hydrographique de versant Est du Moyen Atlas plissé

II. Hydrogéologie

1. Les sources

La plupart des sources émergentes dans cette région se situent dans des secteurs faillés. Il existe plusieurs sources :

- ✓ Source d'Oulad Ali Youssef (Aine Eschlar)
- ✓ Source de tirnest.
- ✓ Source de Beni Ouriach.
- ✓ Sources de reggou (Tit Hli, Titaouine, El Ansare).
- ✓ Sources de Maitre Fekkous

a. Source d'Oulad Ali

La source d'Aine Eschlar est caractéristique de gisement des sources de Domérien, elle circule dans les calcaires lités et liée à un contact par faille. L'alimentation de cette source s'effectue par l'infiltration des eaux de pluie et par l'abouchement avec d'autres niveaux aquifères (Dolomie du bajocien) ; (Fig.21 et 22).

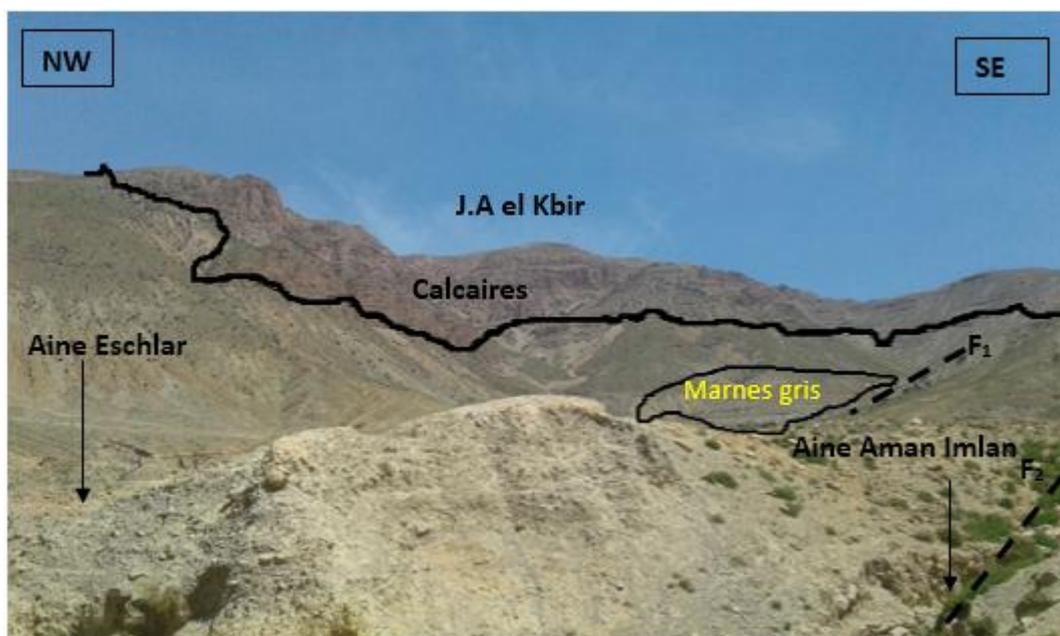


Figure 21 : Photo de la source d'Oulad Ali Aine Eschlar (Photo de terrain 10/05/2017)

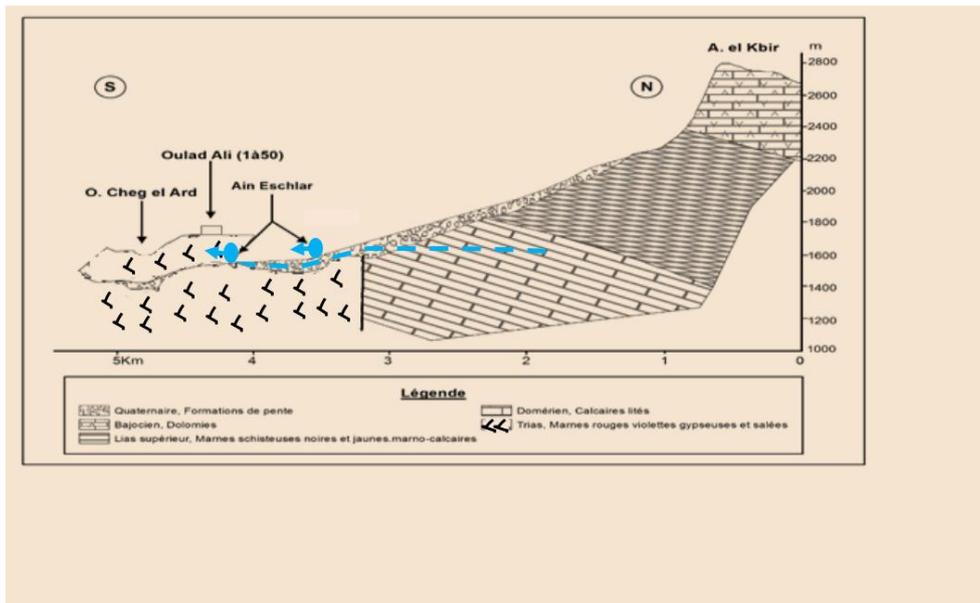


Figure 21 : Coupe d'une source du Domérien à Oulad Ali, Ain Eschlar.

b. source de Tirnest

La source de Tirnest est située près de plaine d'El Orjane, sur le flanc SW du bassin de Moulouya avec un grand débit. Cette source prend naissance au pied de Jebel Tirnest à la base de le calcaire corniche de Bajocien au contact des terrasses éboulis d'âge Quaternaire, qui recouvrent un substratum marneux liasique. Elle sourde au niveau du point d'intersection de deux failles. L'alimentation de la source Tirnest est assurée par la nappe aquifère des calcaires corniches de Bajocien (Fig.23 et 24).



Figure 22 : Photo montre l'abouchement du Bajocien avec les conglomérats du Miocène supérieur et les éboulis quaternaires (Photo de terrain 12/05/2017).

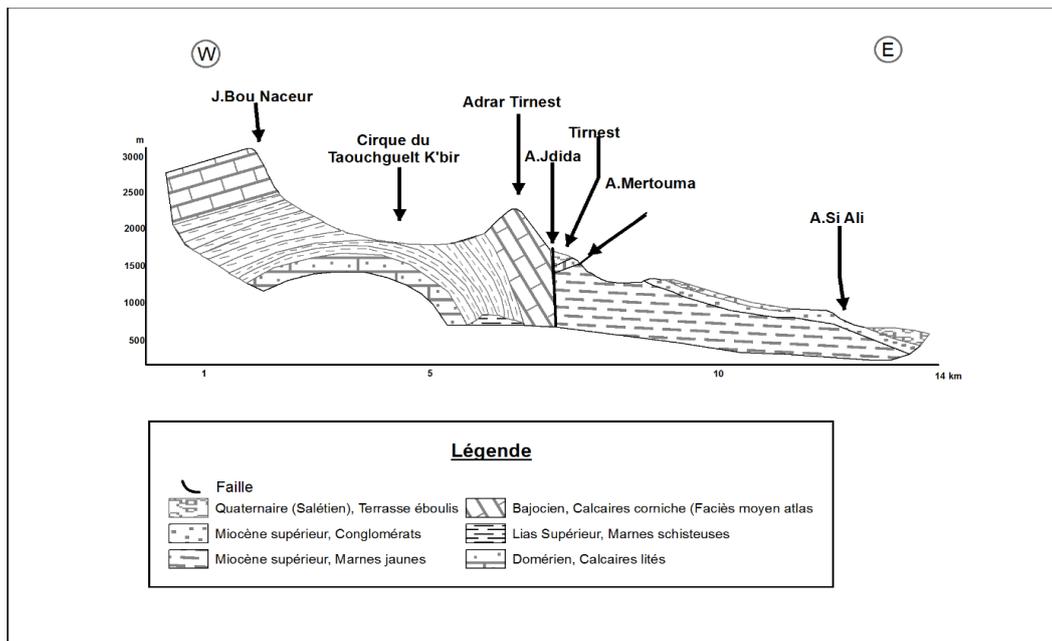


Figure 23: Coupe d'une source du Bajocien (Aïn Jdida) et abouchement du Bajocien avec les conglomérats du Miocène supérieur et les éboulis quaternaires (Aïn Mertouma).

c. sources de Reggou

Les sources de Reggou (Aïn Tittaouine à $Q = 33,5$ l/s, Aïn Ançer à $Q = 103$ l/s) situent sur la bordure orientale du Moyen Atlas plissé, prennent ses naissances à la base des calcaires et dolomies de l'Aaléno-bajocien alimentées par le massif du Bou-Nacer dont l'altitude (3354m). La circulation de l'eau dans ces formations est régie par la tectonique. Cette circulation est perturbée par la présence d'importantes failles de bordure du Moyen Atlas, mettant en contact le Dogger de la Moyenne-Moulouya avec le Lias du Moyen Atlas (Fig.25 et 26).

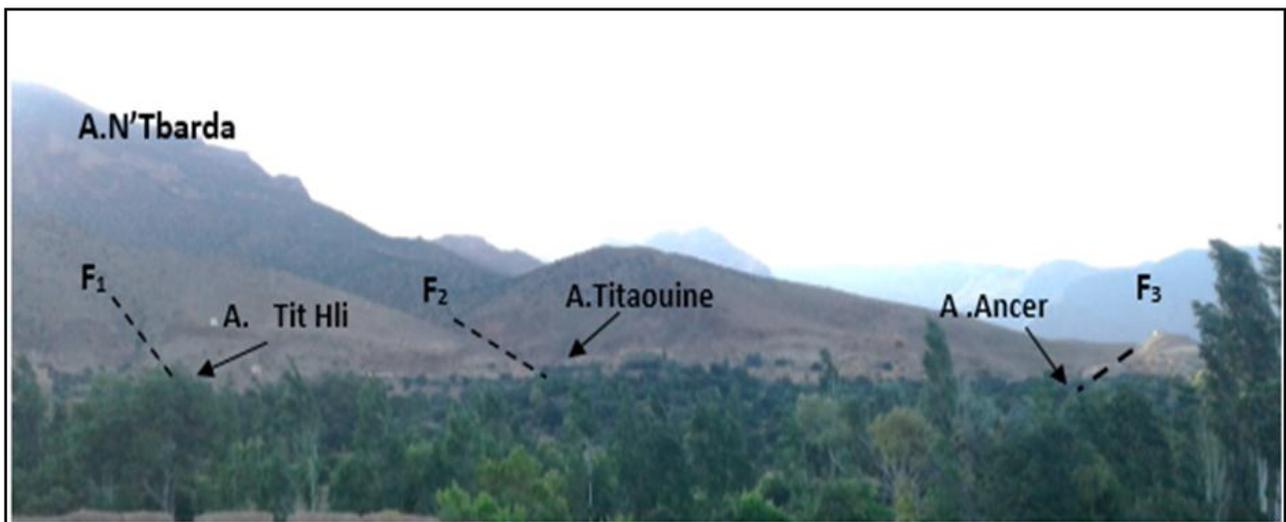


Figure 24: Photo des sources de Reggou (14/05/2017)

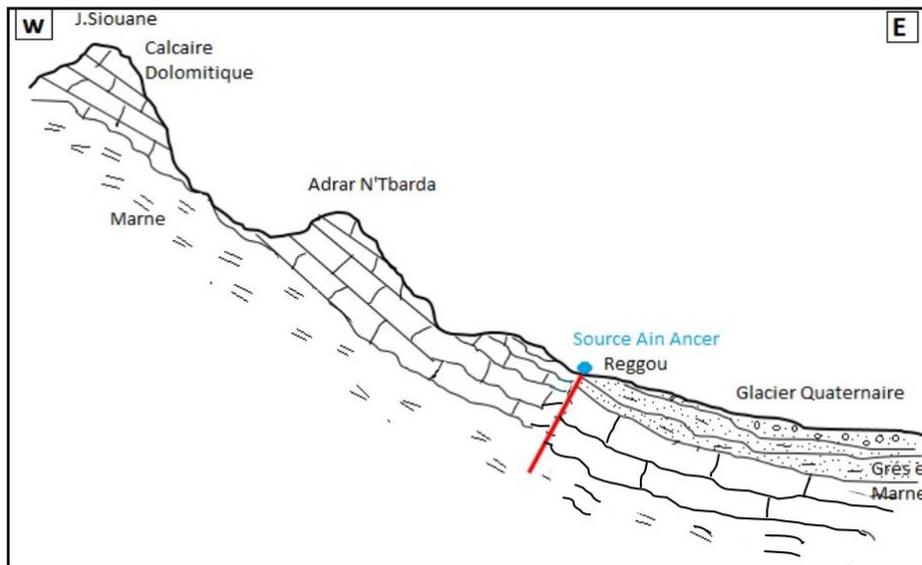


Figure 25: Coupe schématique de la source de Reggou (Aine Ancer).

d. Sources de Maiter et Fekkous

La source de Maiter est située à l'extrémité NW du cône de Tindite (Fig. 2). Elle prend naissance au pied de la partie orientale de Jebel Aghazdisse dans la zone de passage vers le Moyen Atlas. Cette source est caractérisé par une faible débit ($Q_1=9,25$ l/s) et représente un autre mode de gisement des sources, liée à un contact par faille. Il s'agit d'une source de déversement située à la base de glaciais Quaternaire qui recouvre un substratum gréseux et marneux.

La source de Fekkous est située à l'extrémité NW du plateau de Tindite. Elle prend naissance aussi au pied de la partie orientale de Jbel Aghazdisse. Elle sourde à la base de dolomies de bajocien au contact avec les Conglomérats et les Marnes jaunes d'âge Miocène supérieur. Cette source caractérisée par un débit moyen ($Q=10,5$ l/s).

L'alimentation de ces sources est assurée par les eaux qui transitent dans les calcaires et des dolomies d'Aaléno-bajocien(Fig.27).

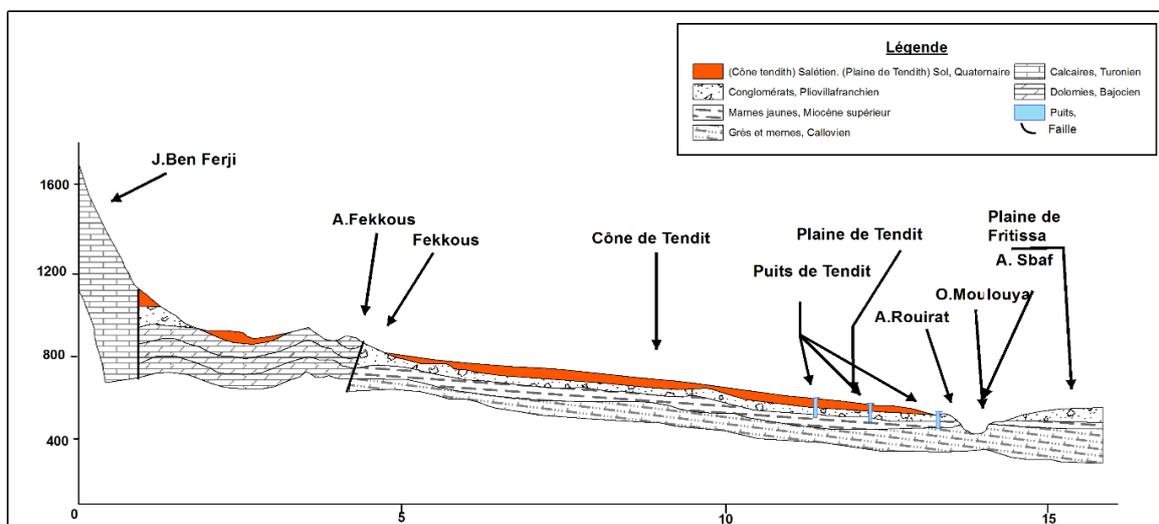


Figure 26: Type de gisement des sources et puits du Miocène supérieur et du Callovien alimentés par les eaux des dolomies du Bajocien.

2. Les nappes

Au niveau de cette zone, il existe trois systèmes aquifères superposés, d'extension et de caractéristiques variés ; On distingue :

✓ *Nappe superficielle*

Cette nappe circule dans des formations détritiques hétérogènes plio-quadernaires à variation latérale rapide de faciès, formé essentiellement par des alluvions, des marnes sableuses, des calcaires lacustres et des travertins. L'épaisseur aquifère croître régulièrement en allant de Missour (2 à 3 m) à Outat El Haj (20 à 50 m) et de l'axe de la vallée de la Moulouya vers les piémonts du Moyen Atlas.

Les niveaux de la nappe par rapport au sol varient de 2 à 50 m. Les valeurs les plus fréquentes ne dépassent pas les 20 m. Les faibles profondeurs (inférieures à 10 m) caractérisent les secteurs situés le près de la Moulouya.

Les charges hydrauliques varient de 960 m dans la partie centrale de la plaine à 640 m à l'aval et peuvent dépasser les 1000 m dans la partie amont de la Moyenne Moulouya.

En rive droite d'oued Moulouya, l'écoulement présente une direction SE-NW dans la partie aval et centrale de la plaine. Vers la partie amont, l'écoulement prend une direction SSW-NNE. En rive gauche de l'oued Moulouya, l'écoulement souterrain est au contraire, prend une direction NW-SE.

✓ *Nappe semi captive*

La nappe semi-captive est limitée dans l'espace, on distingue :

- Réservoir des calcaires lacustres oligo-miocènes de faible extension et il constitue un réservoir en surexploitation ; l'artésianisme mis en évidence, il y a quelques années, a disparu aujourd'hui suite au pompage d'AEP de la ville de Missour. Bien que les ouvrages de captage offrent des débits de 20 à 50 l/s, la nappe ne peut offrir qu'un débit évalué à 15l/s.
- Aquifère du Crétacé marno-calcaire et gréseux Au niveau de la rive droite, la ressource est plus faible, un forage de reconnaissance réalisé dans la zone de Hassi Smar (Est de Missour) a donné un débit de 0,5 l/s pour une profondeur de 370 m. Plus à l'Est, un deuxième sondage a donné un débit de 5 l/s à 190m de profondeur pour un rabattement de 27 m. Toutefois la qualité de l'eau est mauvaise (la conductivité électrique moyenne est de 4200 μ S/cm).

✓ *Nappe captive*

Alimentée par les infiltrations pluviales et nivales sur les reliefs du versant Est de Moyen Atlas, la nappe captive se manifeste par les émergences et les sources de trop plein en bordure du versant est, par les sources des flexures et par les sources hydrothermales du Tagour et Oulad Ali. Elle est également reconnue et exploitée par des forages. La nappe captive s'écoule dans les formations carbonatées du Lias mais également parfois dans une molasse composée de grès, de sables et de conglomérats de la base du miocène transgressif qui surmonte le Lias. Entre Missour et Tindite, le forage N°IRE 208/31 de 1250 m de profondeur a capté les calcaires du Lias entre 975 et 1234 m/sol. Le forage est artésien avec un débit de 4 l/s avec une eau chaude de 48°C et une conductivité électrique de 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

L'écoulement souterrain de cette nappe profonde s'effectue comme celui de la nappe superficielle, en direction de la Moulouya avec une pente moyenne plus faible. Les charges hydrauliques varient de 1500m au piémont du moyen atlas à 600m près d'Outat El Haj.

CONCLUSION GENERALE

Ce travail a pour but d'effectuer une étude de la relation entre la fracturation et l'écoulement dans le versant Est du Moyen Atlas, la répartition des nappes et la relation de l'accident Sud Moyen Atlasiques avec la répartition des sources. Cette étude nous a permis de savoir :

- L'évolution tectonique de Moyen Atlas,
- La stratigraphie des terrains de Moyen Atlas et de Moyenne Moulouya,
- Faire des calculs tectonique (pendage ; direction ; pitch),
- Les explications probables de la répartition des sources de part et d'autre de L'accident Sud Moyen Atlasique,
- Faire L'étude des principales sources.

Ce projet nous a permet de conclure que le déplacement généralisé des nappes dépend de la fracturation et du compartimentage tectonique provoqué essentiellement par l'accident Sud Moyen atlasique.

Les principales sources d'eaux se répartissent à la faveur des zones de failles. Elles sont représentées par les sources d'émergence et les sources de déversement.

Ci-dessous les figures qui montrent ce résultat (Fig.28,29 et 30).

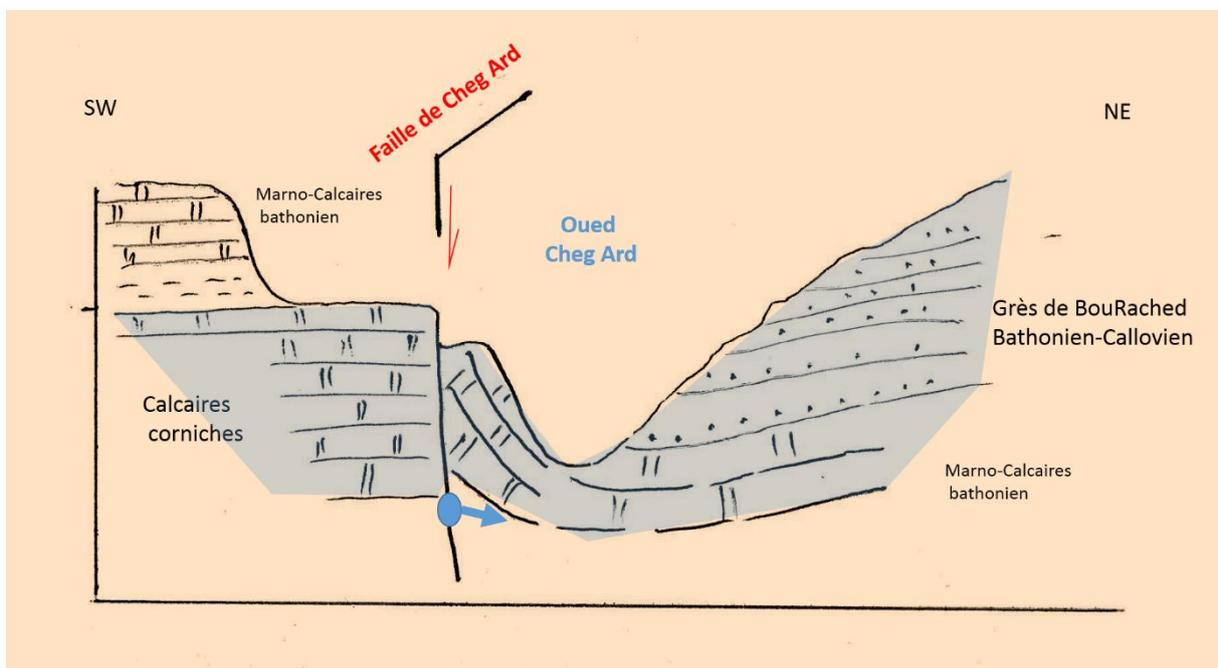


Figure 27 : Coupe illustrant la relation entre la fracturation et l'écoulement au niveau de versant Est du Moyen Atlas plissé (Oulad Ali, Oued Cheg Ard).

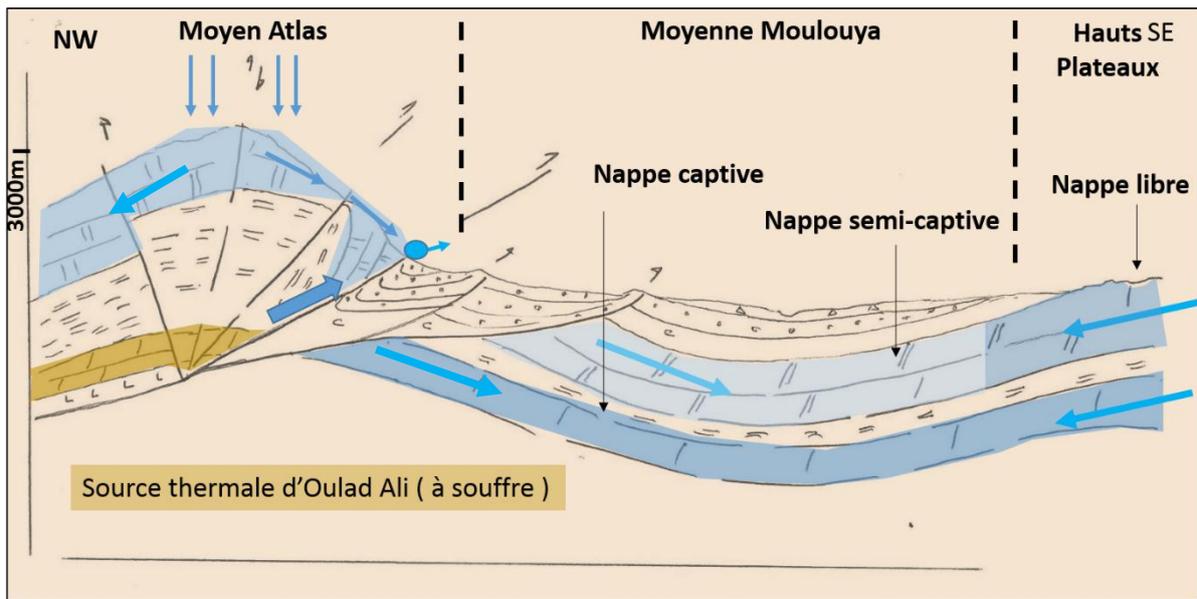


Figure 28 : Coupe illustrant la relation entre la fracturation et l'écoulement au niveau de versant Est du Moyen Atlas plissé (ride de Bou Nacer).

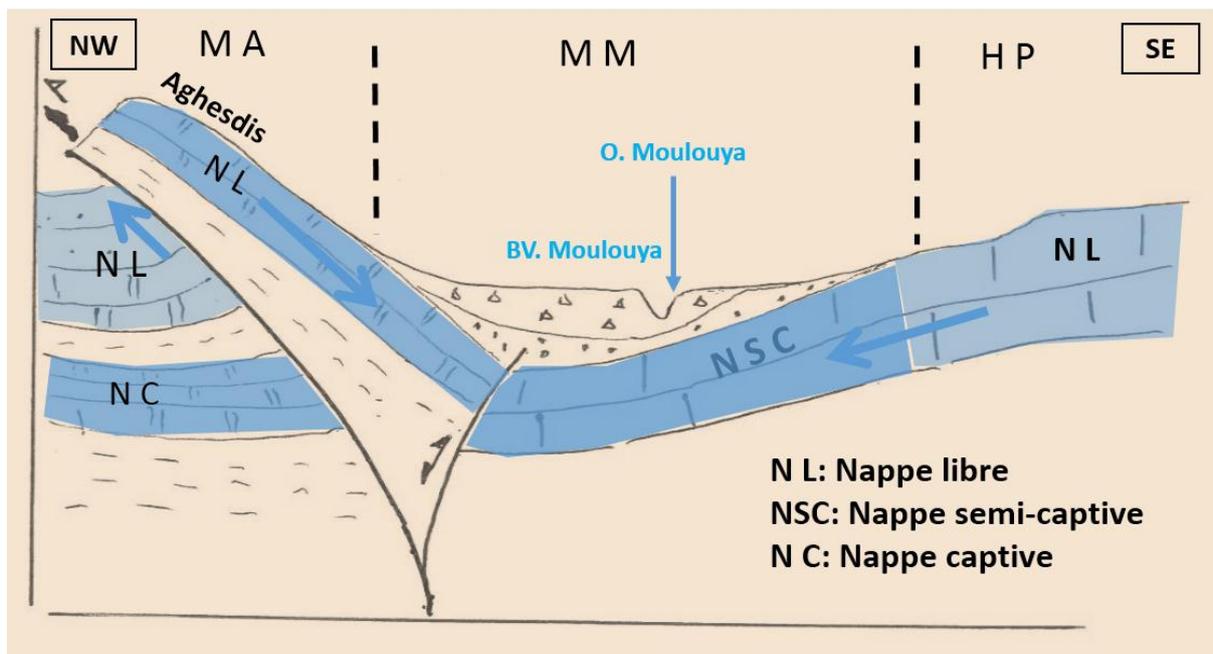


Figure 29: Coupe illustrant la relation entre la fracturation et l'écoulement au niveau de versant Est du Moyen Atlas plissé (ride d'Aghedis).

REFERENCES

Arboleya M.L. (2004). A structural transect through the High and Middle Atlas of Morocco.

CHARROUD M. (2002). Evolution géodynamique des Hauts Plateaux (Maroc) et de ses bordures du Mésozoïque au Cénozoïque. Thèse Doct. Etat, Fès, 314 p.

Etude d'impact environnemental et social du projet solaire photovoltaïque de Tafilalt, Maroc : Site de Missour. Office National de L'Electricité et de l'Eau potable (ONEEP février 2015).

HINAJE S., (2004). Tectonique cassante et paléochamps de contraintes dans le Moyen Atlas et le Haut Atlas central (Midelt-Errachidia) depuis le Trias jusqu'à l'actuel. Thèse Doc. Etat, Univ. Rabat, 363p.

HINAJE S., et El Fellah. Rôle De La Fracturation Dans La Circulation Des Eaux Souterraines Et La Répartition Des Sources : Cas Du Bassin Hydrogéologique De Sefrou (Moyen Atlas Septentrional, Maroc).

MELHAOUI M et BOUDOT J P., (2009). Diagnostic de la biodiversité aquatique dans le Bassin Hydraulique de la Moulouya Projet ABHM/UICN. Rapport d'expertise. UICN Med. Décembre 2009, 113 pages.

Mémoire de fin d'étude : Applications des méthodes gravimétriques en prospection. Faculté des Sciences ET Techniques Fès, Maroc (2012 – 2013).

Mémoire de fin d'étude : Cartographie hydrologique des principaux lacs du Moyen Atlas. . Faculté des Sciences et Techniques Fès, Maroc (2015 – 2016).

Mémoire de fin d'étude : Synthèses géologique et hydrogéologique sur le Moyen Atlas Tabulaire Faculté des Sciences et Techniques Fès, Maroc (2015 – 2016).

Mounir S,Saoud N,Charroud M, valorisation du patrimoine géologique du Moyen Atlas « un héritage ruiche en vue géo-conversation » . sixième rencontre du patrimoine paléontologique Novembre 2016.

Ressources en Eau du Maroc Tome 1 chapitre 27 LA Moyenne Moulouya, Editions du service géologique du Maroc RABAT 1971.