

# SOMMAIRE

<b>Remerciement .....</b>	<b>1</b>
<b>Listes des figures.....</b>	<b>1</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Cadre général de la zone d'étude .....</b>	<b>3</b>
I/- Les grands ensembles structuraux du Moyen Atlas .....	3
1/ Le Moyen Atlas plissé.....	3
2/ Le Moyen Atlas tabulaire.....	4
II/- Limites et superficies du Moyen Atlas tabulaire .....	4
1/- Le tronçon méridional.....	5
2/- Le tronçon septentrional .....	5
<b>Chapitre II : Synthèse géologique.....</b>	<b>6</b>
I/- Histoire géologique.....	6
II/- Géomorphologie et lithostratigraphie .....	7
1/- La morphologie du Moyen Atlas tabulaire.....	7
2/- La lithostratigraphie du Moyen Atlas tabulaire.....	8
III/- Les grands accidents majeurs : localisation géographique et orientation .....	12
1/- Familles NE-SW .....	13
1.1/- L'accident nord moyen atlasique (A.N.M.A).....	13
1.2/- L'accident de Tizi-N-Tretten (A.T.T) .....	13
1.3/- L'accident de Dayet Aoua (A.D.A) .....	13
2/- Famille NW-SE : .....	14
2.1/- Faille de Kandar.....	14
2.2/- Faille de Sefrou-Bhalil.....	14
2.3/- Faille de Ain Regrag- El Kaliaâ.....	14
V/- Fracturation : origine et caractéristique, le rôle dans la mise en place des réservoirs du causse Moyen atlasique .....	15
1/- Origine de la fracturation .....	15
1.1/- La phase triasico-jurassique.....	15
1.2/- La phase Aptien – Albo-Cénomano-Turonien – Sénonien inférieur ..	15
1.3/- La phase Paléogène-Miocène inférieur-moyen .....	15
1.4/- La phase Vallésien – Miocène supérieur –Pliocène inférieur .....	16
1.5/- La phase Pliocène Moyen supérieur .....	16
1.6/- La phase Quaternaire ancien-moyen .....	16
1.7/- La phase Quaternaire moyen-récent .....	17
2/- Caractéristique de la fracturation des causes du moyen Atlas septentrional ...	17
2.1/- La fracturation dans le bassin de l'Anoceur-Sefrou .....	17
2.1.1/-Le bassin de l'Anoceur .....	17
2.1.2/-Le bassin de Sefrou.....	18
2.2/- La fracturation dans le bassin d'Imouzzar Kandar .....	18
2.3/- La fracturation dans le bassin d'El Hajeb Ifrane .....	18
2.4/- La fracturation dans le bassin d'Agourai .....	18

<b>Chapitre III : Synthèse hydrogéologique.....</b>	<b>20</b>
I/- Climatologie du Moyen Atlas Tabulaire .....	20
1/- Les Précipitations.....	21
2/- La Température.....	21
3/- Le Vent.....	22
4/- L'évapotranspiration.....	22
II/- Les Bassins Hydrogéologiques dans le Moyen Atlas tabulaire.....	22
1/- Nappe des Causses moyens Atlasiques .....	22
2/- Origine des eaux dans le Moyen Atlas tabulaire .....	24
3/- Le rôle des basaltes dans les causses moyen atlasique.....	24
4/- Les formes karstiques dans les causses moyen atlasique .....	25
5/- la délimitation des bassins hydrogéologiques du Causse Moyen atlasique.....	25
III/- Identification des systèmes aquifères dans le causse moyen atlasique .....	26
1/- hydrostratigraphie du causse moyen atlasique .....	26
1.1/- Le système aquifère d'âge Trias-infra Lias .....	26
1.2/- Le système aquifère d'âge Lias inférieur .....	27
IV/- Milieux aquifères fissurés dans les causses Moyen atlasique .....	27
1/- Bassin de Sefrou -Annoucer- Bsabis .....	27
1.1/- Définition et limite.....	27
1.2/- Caractéristiques du bassin .....	28
2/- Bassin d'Imouzzet du Kandar .....	28
2.1/- Définition et limite.....	28
2.2/- Caractéristiques du bassin .....	28
3/- Bassin d'El Hajeb Ifrane.....	29
3.1/- Définition et limite.....	29
3.2/- Caractéristiques du bassin .....	29
V/- Hydrodynamisme : drainage et écoulement des eaux souterraines .....	29
VI/- L'influence de la fracturation sur l'écoulement des eaux souterraines et la mise en place des aquifères dans le Moyen Atlas tabulaire .....	32
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>34</b>
<b>Références .....</b>	<b>36</b>

# Introduction Générale

La gestion des ressources en eau est un des problèmes majeurs propres aux pays de la rive sud de la méditerranée car elle représente un facteur clé du développement durable, de l'amélioration de la qualité de la vie et de la paix. Cette gestion quantitative et qualitative des ressources en eaux souterraines et superficielles est actuellement une nécessité, compte tenu d'une part de l'accroissement continu des besoins, et d'autre part de la dégradation constatée durant ces dernières décades de la qualité de l'eau dans ces pays en voie de développement. De surcroît, lorsque les ressources sont limitées et que la sécheresse qui touche l'ensemble du pays devient conjoncturelle, cette nécessité devient urgente.

Au Maroc, une bonne connaissance du fonctionnement des aquifères régionaux et le recours à une gestion appropriée sont ainsi reconnus par l'ensemble des usagers (agriculture, régies, industries) et par le législateur (promulgation de la loi sur l'eau en 1995). Cette connaissance nécessite au préalable, une identification géologique et hydrogéologique poussée (réalisation de forages, reconnaissances géophysiques, essais par pompage, jaugeage des sources et des cours d'eau, analyses physico-chimiques et bactériologiques...).

Les eaux souterraines constituent au Maroc une part importante du patrimoine hydraulique du fait de sa constitution géologique: bassins sédimentaires à nappes phréatiques et à nappes captives (Souss, Tadla, Haouz, Saiss), massifs calcaires karstiques à grandes sources (causes du moyen Atlas), vallées alluviales à nappes très liées aux écoulements de surface (vallée de Ziz, de Draa). Le pays compte une cinquantaine d'aquifères superficiels et une trentaine d'aquifères semi-profonds ou profonds.

Les principaux aquifères de l'Atlas se développent dans des roches carbonatées, plus ou moins fissurées, fracturées et karstifiées (Fig. 1). L'étude de ce types de réservoirs karstiques sous climat semi aride à aride commence à se développer au Maroc. On assiste actuellement au passage d'une phase où, on se limitait au fonçage de quelques forages de reconnaissance, aux mesures de débit et la réalisation de quelques analyses physico-chimiques, à une phase où on s'intéresse à la compréhension des modalités d'écoulement et à la quantification des réserves. C'est dans ce cadre que s'inscrit le présent travail.

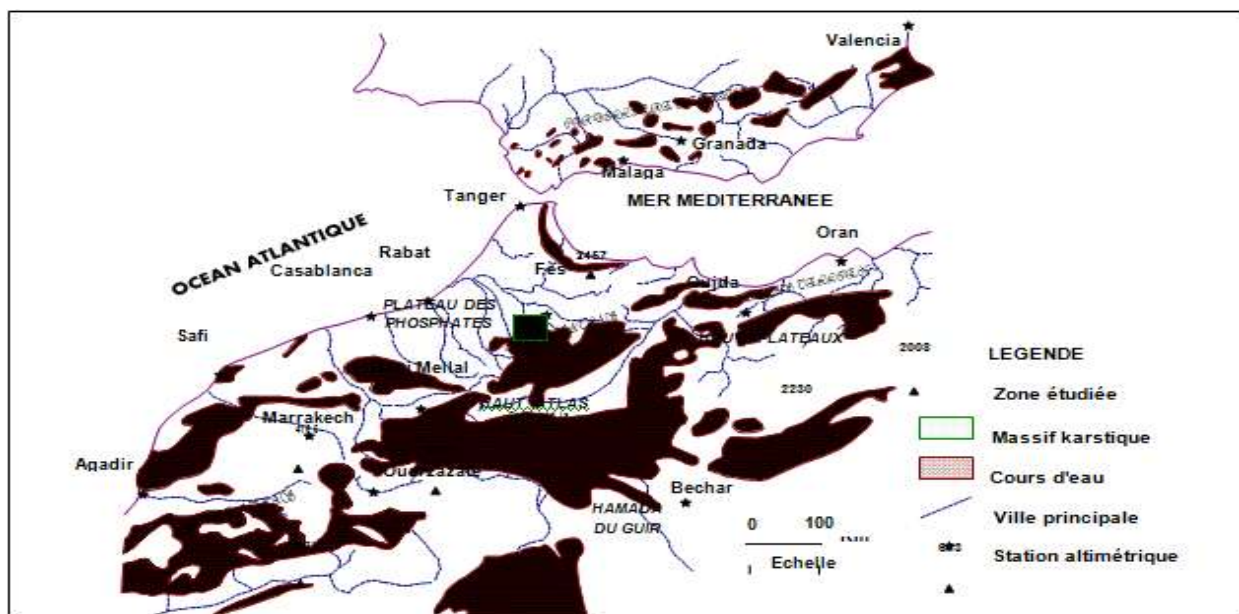
Le but principal de notre travail est de faire une synthèse géologique et hydrogéologique dans le Moyen Atlas tabulaire. Le présent rapport comprend, outre cette introduction, un premier chapitre consacré à l'étude géologique et un second chapitre dédié à l'étude hydrogéologique de la zone d'étude.

### De point de vue géologique :

- Caractérisation du Moyen Atlas tabulaire sur le plan géographique et géologique.
- Etudes géomorphologique et lithostratigraphique sur le Moyen Atlas tabulaire.
- Etudes structurales des accidents majeurs dans la zone d'étude.
- L'analyse de la fracturation afin de déterminer les événements tectoniques depuis le Jurassique jusqu'au Quaternaire.

### De point de vue hydrogéologique :

- La détermination des différents bassins hydrogéologiques et leurs caractéristiques constituant le Moyen Atlas tabulaire.
- Identification hydrogéologique d'aquifères karstiques et leur rôle de la circulation des eaux souterraines.
- L'hydrodynamisme
- Connaitre la relation entre fracturation et écoulement des eaux souterraines.



**Fig.1** : Les principaux massifs karstiques atlasiques du Maroc (Amraoui, 2005)

# **Chapitre I : Cadre général de la zone d'étude**

## **I/- Les grands ensembles structuraux du Moyen Atlas**

Le domaine atlasique constitue l'épine dorsale du Maroc, s'étendant du NE au SW entre les parallèles 34 et 31 degrés Nord. C'est une véritable barrière montagneuse d'altitude élevée qui sépare le pays en une partie ouverte au NW aux effets océaniques et subissant au SE le climat aride saharien. Une puissante série calcaire au centre et au NE du domaine d'une part et un enneigement abondant et prolongé sur une grande partie de la chaîne atlasique d'autre part font de ce domaine un énorme château d'eau qui distribue ses ressources aux 4/5 de la superficie du Maroc. Ces ressources ne peuvent guère être utilisées dans le domaine lui-même en raison de la topographie tourmentée et seules quelques cultures irriguées existent sur les terrasses des rivières, dans les grandes vallées. Ce domaine peut être divisé en deux ensembles possédant des caractères différents; le premier est le Haut Atlas qui, partant au N d'Agadir s'étend sur 800 km depuis l'Atlantique jusqu'aux confins des Hauts-Plateaux oranais à l'E ; la largeur du massif est en moyenne de 60 à 80 km et sa direction grossièrement W-E. Le second est le Moyen Atlas orienté SW-NE, constituant une branche se détachant du Haut Atlas à peu près en son milieu, là où la chaîne atlasique est la plus large et se prolongeant vers le N jusqu'en bordure du domaine rifain vers l'W.

Le terme de Moyen Atlas désigne le vaste ensemble montagneux encadré au nord par le couloir Sud-Rifain (vallée de l'Inaouène, plaine de Fès-Meknès), au sud par le Haut Atlas et la vallée de la Haute Moulouya, à l'est par la vallée de la Moyenne Moulouya et à l'ouest par la Méséta marocaine. La structure géologique du Moyen Atlas permet de le subdiviser dans ses grandes lignes en deux parties selon une ligne N-S : - Le Causse moyen-atlasique ou Moyen Atlas tabulaire à l'W, - Le Moyen Atlas proprement dit ou Moyen Atlas plissé à l'E.

### **1/ Le Moyen Atlas plissé**

Le Moyen Atlas plissé est l'ensemble montagneux du Moyen Atlas oriental qui se situe à l'est de l'accident tectonique majeur dénommé « nord-moyen atlasique » (Colo, 1961). C'est essentiellement la structure géologique qui différencie le Moyen Atlas plissé du Causse moyen-atlasique situé à l'ouest.

Le Moyen Atlas plissé constitue un massif allongé de quelque 250 km dans le sens NNE-SSW, large de 10 à 50 km, d'une superficie de 5.000 km<sup>2</sup>. Ses limites sont :

- Vers l'W, les massifs paléozoïques du Tazzeke et de Bsabis dans la partie septentrionale, puis l'accident « nord-moyen-atlasique » qui le sépare du Causse du Moyen Atlas tabulaire.
- Vers le N, la plaine de Guercif où les formations jurassiques du Moyen Atlas s'envoient sous un épais recouvrement néogène.
- Vers l'E, les piémonts de la vallée de la Moulouya.
- Vers le S, les massifs paléozoïques et permo- triasiques d'Aouli-Mibladen et de Bou-Mia.

## **2/ Le Moyen Atlas tabulaire :**

Le Causse moyen-atlasique qui sera décrit ci après est compris entre les latitudes nord 32° 55' et 34° Au sud, est situé au Nord et au NW de l'Accident Nord Moyen Atlasique (A.N.M.A) qui le sépare du Moyen Atlas plissé situé à l'Est (Colinvaux 1961).

Le causse a été subdivisé, selon les critères géographiques et structuraux en deux parties :

Une partie occidentale qui va de la bordure de la Meseta à l'oued Sebou, et une partie orientale qui correspond aux bordures liasiques de l'anticlinale de Tazekka

La partie occidentale est elle-même subdivisée en deux tronçons suivant des critères structuraux : un tronçon septentrional au NE, et un tronçon méridional au SW séparés par l'importante ligne d'accidents de Tizi-N'tretten.

Le tronçon méridional comprend le causse de Guigou, d'El Menzel, d'El Hammam et de Tahla, etc ...

Le tronçon septentrional correspond au causse d'Agourai, au causse de Sefrou, au causse d'Imouzer Kander, au causse d'El Hajeb et au causse d'Ifrane.

## **II/ Limites et superficies du Moyen Atlas tabulaire**

La zone objet de notre étude est le moyen atlas tabulaire. Celui-ci est subdivisé en un ensemble d'unités structurales qui est La limite nord est celle du Causse proprement dit qui s'interrompt à sa retombée sur la plaine du Sais, entre El-Hajeb et Bhalil, mais du point de vue structural, les formations calcaires du Causse se prolongent bien au-delà, vers le nord, sous le sillon Sud-Rifain, jusqu'au contact de

Celui-ci avec les rides pré-rifaines suivant une ligne qui, longeant l'oued Inaouène à l'est, le prolonge jusqu'au jbel Zerhoun à l'ouest.

La limite sud est constituée par la ligne de crête en rive gauche du bassin versant de l'Oumer-Rbia à Khénifra. Cette limite se prolonge vers le nord-est par des hauteurs et des crêtes qui

bordent en rive droite l'oued Guigou (jbel Ben-Ij, Tadjia). Au-delà de la route principale n° 20 qui va de Fès à Boulemane, la limite s'infléchit encore plus vers le nord-est et suit les lignes de crêtes dominant le Causse.

La limite ouest au contraire, est marquée par l'interruption brutale du Causse qui domine des terrains primaires de la Méséta (falaises d'Ito, d'Azrou et d'Aln-Leuh).

A l'est, la limite est marquée également par les falaises du Causse surplombant la boutonnière de terrains primaires de Bsabis (ressources en eaux du Maroc).

### **1/- Le tronçon méridional**

Il s'étend au SE du tronçon septentrional dont il est séparé par une ligne d'accident tectonique assez important allant de la région d'Ouiouane au SW, jusqu'au Sud de Sefrou au NE. Ce tronçon méridional paraît moins hachuré de failles et plus ondulé que le tronçon septentrional. De point de vue des faciès géologiques que des faunes, ce tronçon fait transition entre le tronçon septentrional du causse et le Moyen Atlas plissé (Colo, 1961).

### **2/- Le tronçon septentrional**

G. Colo l'avait défini par la partie NW du causse moyen atlasique, ses limites s'étend jusqu'à la région d'Ain Leuh, d'Agourai, d'El Hajeb, d'Ifrane et d'Imouzzar Kandar. Il est affecté par une série de failles surtout dans les régions d'Ifrane, d'El Hajeb et d'Imouzzar Kandar.

J. Martin (1981) a identifié ce même tronçon par l'ensemble des causses de Sefrou, d'El Hajeb, d'Imouzzar et d'Ifrane. A la partie occidentale du causse d'El Hajeb, il s'adjoint en appendice NW le causse d'Agourai.

Ce tronçon est limité à l'Est par le grand accident de Tizi-N-Trettene (appelé aussi l'accident de Taililout) dont la dorsale faillée prend en écharpe toute la partie centrale du causse, selon une direction SSW-NNE. L'accident (A.T.T) se poursuit vers le NE jusque dans le Saiss oriental.



## Chapitre II : Synthèse géologique

### I/ Histoire géologique du Moyen Atlas

Le Moyen Atlas est une chaîne intracontinentale, faisant partie du domaine atlasique défini par Choubert et Marcais (1952).

Elle est constituée par des édifices montagneux dont les principaux sont orientés NE-SW. Sa structure correspond à de larges cuvettes synclinales d'axes parallèles à la chaîne et de rides anticlinales étroites intrudées parfois de roches gabbroïques (Termier, 1936 ; Colo, 1961 ; Fedan, 1988).

Les formations qui constituent le Moyen Atlas sont du plus ancien au plus récent (Fig. 2) :

- les formations paléozoïques qui affleurent dans le massif de Tazekka et les boutonnières d'El Hajeb, de Bsabis, de Kandar, d'El Menzel, de Kerrouchen...etc ;
- les formations triasico-liasiques affleurent autour des terrains paléozoïques, surtout au niveau du massif de Tazekka et la région d'El Kbab - Kerrouchen. Ces formations affleurent aussi le long des grands accidents ;
- les formations du Jurassique inférieur et moyen constituant l'essentiel de la chaîne moyen atlasique ;
- les formations crétacées cantonnées dans le centre de la chaîne,
- le Miocène affleurant dans la partie NW de la chaîne,
- le Plio-Quaternaire très développé près des grands accidents et à la périphérie de la chaîne.

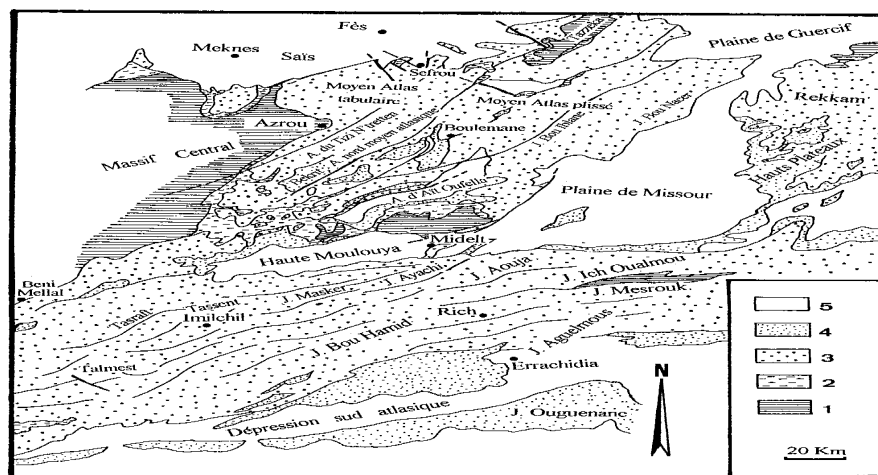


Fig. 2 : Carte géologique simplifiée du Moyen Atlas et du Haut Atlas central (d'après la carte géologique du Maroc au 1/1.000.000).  
1- Paléozoïque, 2- Trias et Infra-Lias, 3- Jurassique, 4- Crétacé – Eocène, 5- Néogène – Quaternaire.

**Fig.2 :** Carte géologique simplifiée du Moyen Atlas et du Haut Atlas central (Hinaje, 2004).



## **II/- Géomorphologie et lithostratigraphie du causse moyen atlasique :**

### **1/- La morphologie du Moyen Atlas tabulaire**

Le Causse moyen-atlasique se caractérise par une structure tabulaire, plus faillée que plissée, par un relief monotone s'opposant au Moyen Atlas plissé aux plis accentués, aux monts élevés et aux dépressions marneuses profondes. C'est une lithologie monotone de calcaires liasiques faiblement plissés qui est responsable de cette platitude. Il s'agit en fait de vastes plateaux karstiques diversement étages, qui surplombent les plaines environnantes de la Méséta et du Sais à des altitudes comprises entre 1 000 et 2 200 m.

Des ondulations à très grands rayons de courbure, des systèmes de failles, créent des cuvettes ou des horsts, tels le grand horst de Michlifène qui partage le Moyen Atlas tabulaire en deux tronçons : l'un méridional, l'autre septentrional. Les cuvettes sont nombreuses, créant des bassins versants fermés au centre desquels existent souvent des lacs permanents ou « Dayet » (Dayet Aoua, Dayet Ifrah, etc.)

Le Causse d'El-Hammam, au sud d'Aïn-Leuh, présente un paysage typique de poljés adapté au réseau de failles. Ce plateau karstique, comme tous ceux du même genre, a un réseau hydrographique très peu développé.

Seules quelques rivières coulent en permanence : Sebou, Oum-er-Rbia, Tigrigra, Aggaï et aussi dans, la région d'Ifrane, l'oued Tizguit. Mais soulignons les pertes importantes de ce dernier qui, à son débouché dans la plaine de Meknès-Fès, est très souvent sec en été. Les affluents secondaires de ces rivières n'existent pratiquement qu'à l'état d'oueds temporaires qui ne connaissent d'écoulement qu'en période de pluie.

Dans ce réseau hydrographique mal organisé, l'importance des bassins endoréiques est grande : ils occupent une superficie totale d'environ 600 km<sup>2</sup> soit 14 % de la région étudiée et 17 % des terrains karstiques. Ces bassins endoréiques jouent un grand rôle dans l'infiltration des précipitations vers les nappes d'eau souterraine du Causse.

Soulignons enfin l'importance des coulées basaltiques quaternaires qui, dans la région de Timhadite surtout, forment de vastes étendues planes sans végétation, parsemées çà et là de cônes éruptifs (jbel Hebri,...). Le réseau hydrographique y est également très mal développé.

Partout où ces dalles volcaniques reposent sur un substratum calcaire, on peut observer des dolines bien marquées d'une cinquantaine de mètres de diamètre et de 20 à 30 m de profondeur, formées dans

les basaltes, par suite vraisemblablement de dissolutions dans le karst sous-jacent.

On n'observe pas ces dolines dans les basaltes là où ceux-ci ne reposent pas sur des calcaires.

## **2/- La lithostratigraphie du Moyen Atlas tabulaire**

Le substratum anté-liasique Le socle hercynien. Les sédiments primaires composant la majeure partie de la Méséta centrale, n'affleurent que très peu dans le Moyen Atlas tabulaire où ils n'apparaissent qu'à la faveur de quelques « boutonnières » (El-Menzel, Bsabis, jbel du Kandar, Koudiat-Shoubat au NW de Sefrou. Par contre ils affleurent largement sur les bordures NE (Tazzeka) et W (bassin de l'oued Beth), (Fig.3).

Ce socle laisse pointer les roches dures du Primaire (grès, calcaires, quartzites) au sein de schistes tendres déblayés par l'érosion. C'est le paysage qu'offre en particulier la vallée de l'oued Tigrigra dans la région d'Azrou. L'échancrure d'Azrou correspond à un anticlinorium hercynien faille dont l'orientation NE - SW est celle des grands accidents du Moyen Atlas. L'érosion du Causse, guidée par cette grande zone faillée, y a été plus rapide. Ces accidents ont rejoué postérieurement et ont affecté la couverture liasique dans le sens NE - SW avec un affaissement de l'ordre de 200 m du Causse d'El-Hajeb au N W par rapport au Causse d'Ifrane.

Le Permo-Trias : Il est constitué par une série de marnes et argiles rouges, parfois violacées, gypsifères, salifères, au sein de laquelle s'intercalent des coulées de basaltes doléritiques ; le Permo-Trias repose en discordance sur la surface post-hercynienne. Cette série affleure à la base de la couverture liasique, à la faveur des boutonnières et sur la périphérie des causses. Elle jalonne l'accident nord-moyen atlasique qui peut la masquer localement.

Vers le nord, le Permo-Trias est inapparent car il s'enfonce avec le Causse sous la couverture tertiaire du couloir Sud-Rifain.

En général, la série permo-triasique a partout la même composition et les mêmes caractères et l'on trouve de bas en haut :

- un niveau détritique de base comprenant des conglomérats, des pélites et grès pourpres
- une série pélitique rouge à passées verdâtres ou violacées. Ces pélites sont imprégnées un peu partout de sel et de gypse ;
- - une série basaltique (dolérites) s'intercalant au sein de la série pélitique rouge, mais leur rapport stratigraphique est très variable. L'épaisseur de ces basaltes peut atteindre 150 m (causse d'El-Hajeb).

## Le Lias :

Le Lias inférieur. Avec le Lias inférieur débute la formation des dolomies et calcaires qui constituent le principal matériau du Causse. Dans le tronçon septentrional, la sédimentation liasique débute à l'Hettangien, étage représenté par des niveaux de marnes et calcaires marneux ou dolomitiques de faible importance (1 à 5 m), affleurant en divers points au pied de la bordure occidentale entre El-Hajeb et BenSmime. Au-dessus de ces niveaux, le Lias inférieur est représenté par une série dolomitique d'environ 150 m d'épaisseur où l'on peut distinguer trois grands ensembles qui sont de bas en haut :

- des dolomies sableuses,
- des dolomies marneuses,
- des dolomies litées

Cette succession, définie dans la région d'Ifrane, n'est cependant pas générale et le Lias inférieur peut débiter par des dolomies compactes

Le Lias inférieur : du tronçon méridional du Causse présente de nombreux et fréquents niveaux de calcaires et de calcaires dolomitiques. Ces derniers sont plus fréquents dans la partie centrale du tronçon et le long de la ligne d'accidents du Tizi NTretten.

Le Lias moyen : Le passage entre Lias inférieur et Lias moyen est généralement difficile à reconnaître sans critères paléontologiques. Dans le synclinal

d'Ifrane, le Pliensbachien est représenté dans la part supérieure des dolomies litées qui forment le terme supérieur du Lias inférieur.

Le Domérien : est constitué ensuite par la succession suivante, de bas en haut :

- calcaires lités : 10 à 15 m
- dolomies intercalaires : 20 m
- calcaires lités : 10 m
- dolomies supérieures : 20 à 25 m.

Alors que le Lias moyen du tronçon septentrional du Causse est essentiellement dolomitique, celui du tronçon méridional est essentiellement calcaire. La ligne d'accident du Tizi N'Tretten marque bien le changement de faciès.

### Le Lias supérieur et le Dogger :

Avec le Toarcien apparaît un changement radical dans la sédimentation et les faciès marneux prennent beaucoup d'importance. Cependant, les sédiments du Lias supérieur et du Dogger sont beaucoup moins représentés que les séries dolomitiques et calcaires du Lias inférieur et moyen.

A partir du Toarcien supérieur commence à se développer une série marnocalcaire qui se poursuit durant tout l'Aalénien et le Bajocien inférieur.

Alors que le Bajocien moyen présente un faciès nettement marneux (marnes de Boulemane), le Bajocien supérieur est représenté par une série de calcaires plus ou moins dolomitiques appelés généralement « calcaires corniches ».

Le Bathonien ne serait présent que sporadiquement dans le synclinal de Bekrit. Le reste du Jurassique est absent (phase d'émersion).

### Le Crétacé :

Dans le Moyen Atlas tabulaire, les dépôts crétacés ne sont représentés que dans le synclinal de Békrit - Timhadite, à partir du Cénomaniens légèrement discordant sur le Jurassique. Cénomaniens et Turonien sont sous des faciès d'alternances calcaires et marneuses, le Sénonien très épais étant franchement marneux dans l'ensemble.

### Le Tertiaire :

L'Oligocène, le Miocène et le Pliocène ne semblent pas représentés dans les causses du Moyen Atlas. Il convient de signaler un seul affleurement de Mio-Pliocène continental au nord d'Almis du Guigou.

### Le Quaternaire :

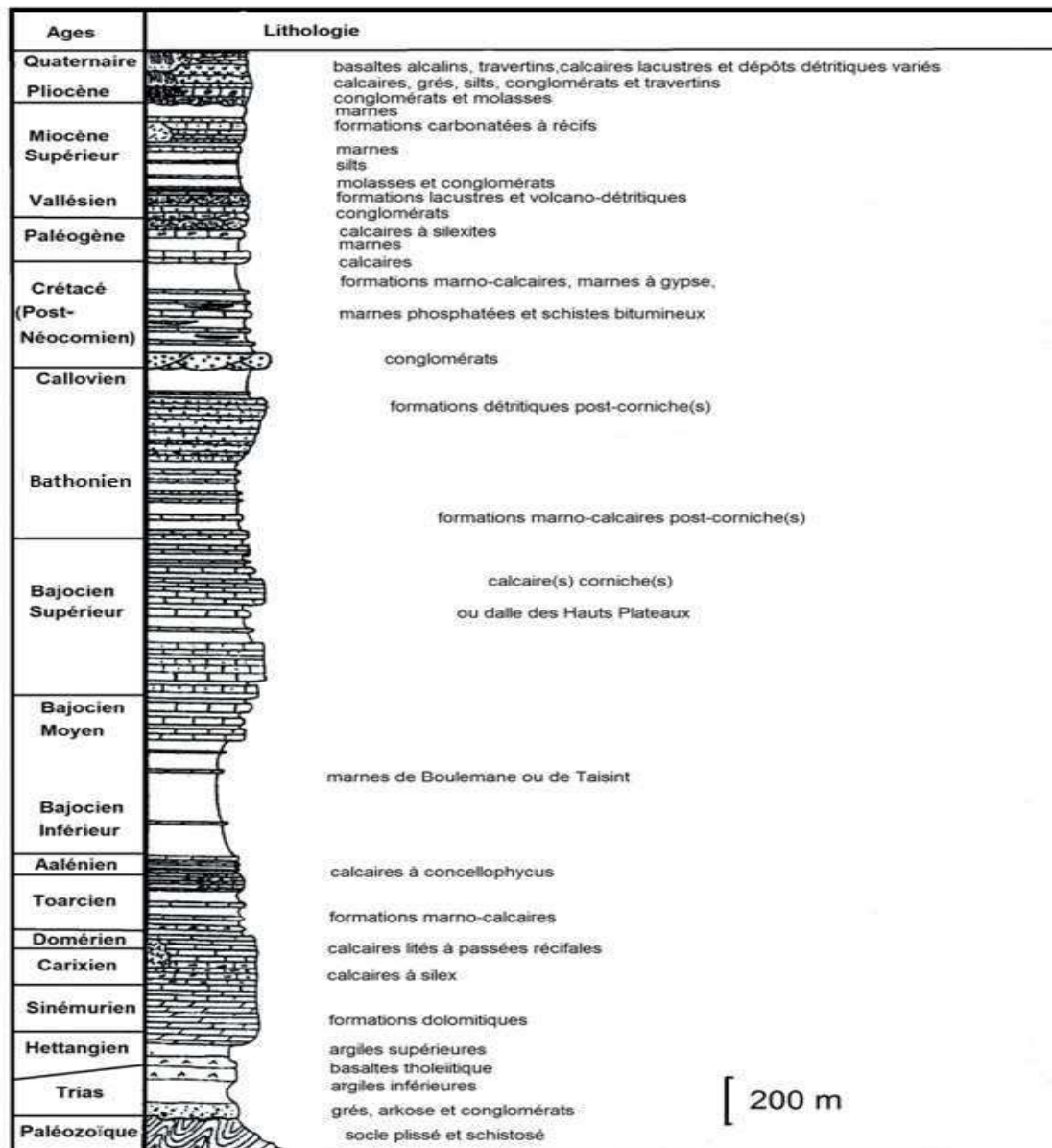
#### Coulées volcaniques

L'épaisseur de ces coulées basaltiques a été reconnue à la fois par géophysique et par forages. Sur le plateau de Timhadite, dans le voisinage des grands cratères (jbel Hebri, Chedifat et du Bou-Ahsine à la vallée de l'oued uagou). Les coulées atteignent des épaisseurs de ordre de 150 à 200 m. Cette épaisseur va en diminuant vers la périphérie du plateau pour atteindre quelques dizaines de mètres. Dans la vallée de l'oued Tigrigra à l'W d'Azrou, la coulée atteint 90 m, mais se trouve réduite vers l'ouest à une épaisseur de 3,5 m au seuil de Sidi-Mokhfi.

Les formations quaternaires :

Les principales formations quaternaires se sont accumulées au fond de cuvettes fermées ou semi fermées. Ce sont des dépôts de dayas, provenant de la décomposition sur place des calcaires et dolomies et du ruissellement périphérique. Ces dépôts, essentiellement argileux, peuvent atteindre de fortes épaisseurs.

Une autre formation quaternaire très fréquente est celle que constituent les dépôts de travertins que on trouve à l'émergence de chaque grande source du Lias ou jalonnant l'emplacement d'anciennes émergences aujourd'hui disparues ou déplacées. Ces dépôts de travertins ne sont d'ailleurs pas seulement quaternaires mais peuvent être plus anciens (Pliocène).

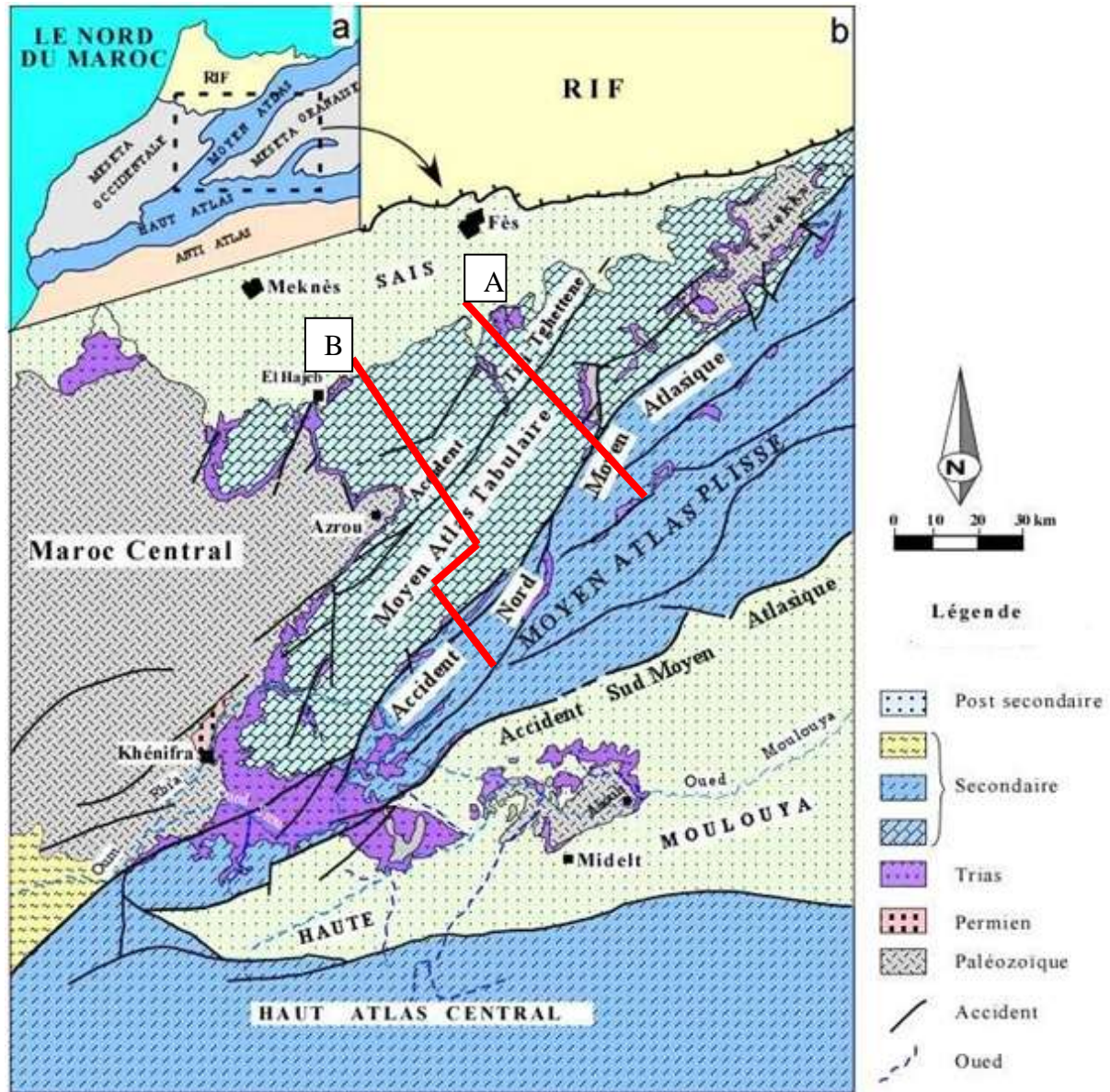


**Fig.3** : Log stratigraphique synthétique de la série méso-cénozoïque du Moyen Atlas (d'après Hinaje, 2004).



### III/- Les grands accidents majeurs : localisation géographique et orientation :

Après la détermination des différentes caractéristiques lithostratigraphiques du Moyen Atlas tabulaire, il est important de déceler les éléments majeurs qui ont contrôlé l'organisation structurale de ce secteur, (fig.4).



**Fig.4** : a-carte du Nord du Maroc montrant les grands domaines structuraux.  
b- Carte géologique simplifiée du Moyen Atlas (Michard, 1976 modifiée)

Deux familles de failles ont joué un rôle primordial dans la structuration de la zone d'étude. Il s'agit de la famille NE-SW et NW-SE.

## **1/- Familles NE-SW :**

Il s'agit de l'accident nord moyen atlasique (A.N.M.A), l'accident de Dayet Aoua (A.D.A) et l'accident de Tizi-N-Tretten (A.T.T), (fig.5).

### **1.1/-L'accident nord moyen atlasique (A.N.M.A)**

La limite entre le Moyen Atlas plissé et le Moyen Atlas tabulaire est matérialisée par l'accident nord moyen atlasique. Ce dernier, ne correspond pas à un simple accident qui a été admis par G. Colo (1961), mais plutôt un couloir de failles qui se divise en deux faisceaux : il s'agit de l'accident médian moyen atlasique (A.M.M.A) et l'A.N.M.A.

L'A.N.M.A et l'A.M.M.A sont matérialisés avant le Miocène supérieur par un système de failles inverses et chevauchantes (Charrière, 1990), ce qui provoque l'abaissement du causse par rapport au Moyen Atlas plissé.

### **1.2/-L'accident de Tizi-N-Tretten (A.T.T)**

Cet accident traverse tout le causse moyen atlasique depuis le causse d'Ain Leuh au SW et se poursuit au delà de Bir-Tamtam sur la rive droite de l'Oued Sebou.

L'A.T.T se caractérise par des jeux multiples et par le changement de l'ampleur du rejet et le pendage des failles vers le Nord, avec un regard vers le SE favorisant l'effondrement du compartiment oriental de la plaine de Targa-Misra. Au Nord de ce dernier le regard devient vers le NW, ce qui provoque la surrection de blocs comme celui de J.Koulla.

### **1.3/- L'accident de Dayet Aoua (A.D.A)**

Cet accident de direction N40 limite le causse moyen atlasique septentrional depuis le plateau d'Azrou au SW jusqu'au piémont occidental du causse de Sefrou au NE. Il sépare ce dernier de la plaine de Sais.

L'A.D.A joue un rôle important dans la structuration de la chaîne moyen atlasique. Le jeu normal de cet accident qui est d'âge quaternaire, provoque un effondrement vers le NW, ce qui engendre une dénivelée importante entre le causse de Sefrou et la zone subsidente de Sais.



## 2/- Famille NW-SE :

### 2.1/- Faille de Kandar

Cette faille de direction moyenne N130, constitue la limite entre le causse de Sefrou et celui d'Imouzzer. Son jeu normal d'âge Miocène supérieur provoque un effondrement vers le NE.

Ainsi le causse de Sefrou correspond au compartiment affaissé par rapport au causse d'Imouzzer qui correspond au compartiment soulevé.

### 2.2/- Faille de Sefrou-Bhalil

C'est une ligne structurale de direction moyenne N140, héritée de la période Miocène supérieur. Cette faille à jeu normal, est responsable de l'effondrement vers le NE du bassin Néogène et Quaternaire de Sefrou. Elle a contrôlé la transgression du Miocène supérieur qui est restée limitée au NE du bloc soulevé.

### 2.3/- Faille de Ain Regrag- El Kaliaâ

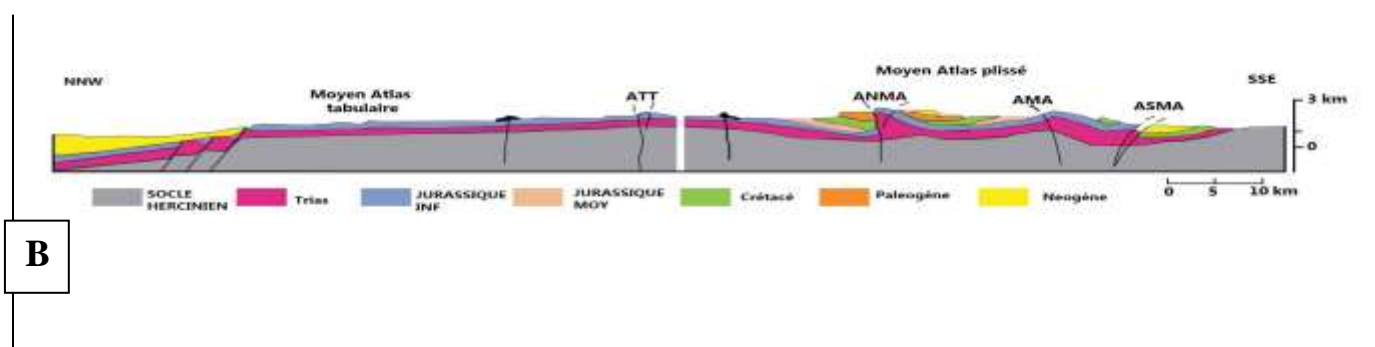
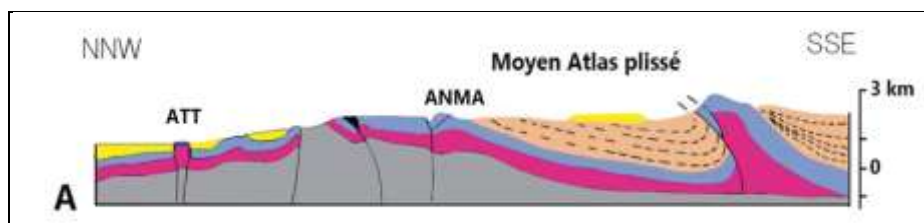
Cette faille qui correspond au prolongement vers l'Est de la faille de Sefrou-Bhalil (Charrière, 1990) , est décalée en décrochement senestre au contact de l'accident de Tizi-N-Tretten au niveau de Douar Senhaja. Sa direction devient ainsi N120.

ATT : Accident Tizi-N-Tretten

ANMA : Accident Nord Moyen atlasique

AMA : Accident Moyen atlasique

ASMA : Accident Sud Moyen atlasique



**fig. 5** : coupes schématisiques montrent les Accidents majeur entre le Moyen Atlas plissé et tabulaire (carte géologique du Sefrou, modifiée).

## **IV/- Fracturation : origine et caractéristique, le rôle dans la mise en place des réservoirs du causse Moyen atlasique.**

### **1/- Origine de la fracturation**

#### **1.1/- La phase triasico-jurassique**

La série triasico-jurassique est affectée entre le Bathonien et le Barrémien, par une phase compressive NNW-SSE. Celle-ci est matérialisée par des décrochements senestres NE-SW et dextres NW-SE à composante inverse, des failles inverses et chevauchantes ENE-WSW, des plis ENE-WSW et une schistosité de fracture N80. Ces structures sont scellées en discordance par les dépôts du Barrémiens et du Crétacé supérieur. Cette phase tectonique compressive majeure, plicative et synschisteuse a joué un rôle primordial dans la structuration de la chaîne atlasique, avant les transgressions crétacées, éocène et miocène.

#### **1.2/- La phase Aptien – Albo-Cénomano-Turonien – Sénonien inférieur**

La phase tectonique d'âge Aptien supérieur - Albo-Cénomano-Turonien - Sénonien inférieur est caractérisée par un axe en compression maximale  $\sigma_1$  horizontal et orienté N30, un axe intermédiaire  $\sigma_2$  vertical à sub-vertical et un axe minimal  $\sigma_3$  horizontal et orienté N120.

L'épisode extensif N120 à N140 a permis le rejeu des failles majeures NE-SW en failles normales, à la fois dans le Moyen Atlas au sens strict et dans son prolongement SW correspondant à l'Atlas de Bni Mellal-Assoul. Ce jeu normal est responsable de l'installation de plusieurs bassins crétacés de direction générale NE-SW.

#### **1.3/- La phase Paléogène-Miocène inférieur-moyen**

Au Paléogène-Miocène inférieur-moyen, le régime tectonique est caractérisé par un axe  $\sigma_1$  orienté N30 et un axe  $\sigma_3$  orienté N120, avec des permutations  $\sigma_1$ - $\sigma_2$  et  $\sigma_2$ - $\sigma_3$ . Ceci provoque le jeu normal des failles N20 à N45, les jeux décrochant senestres et dextre des failles N70 et N00, le jeu inverse des failles N100 à N135 et des plis à schistosité de fracture N120. Cet état de contraintes divisé en plusieurs épisodes synsédimentaires au Paléogène Miocène inférieur-moyen, est scellé par les dépôts d'âge Vallésien et Tortono-Messinien.

### **1.4/- La phase Vallésien – Miocène supérieur –Pliocène inférieur**

L'analyse de la déformation tectonique affectant les dépôts méso-cénozoïques du Moyen Atlas, nous a permis de mettre en évidence les épisodes tectoniques d'âge Vallésien – Miocène supérieur – Pliocène inférieur. Ceux ci sont caractérisés par un axe  $\sigma_1$  orienté N120 à N145 et un axe  $\sigma_3$  orienté N30 à N55, avec des permutations  $\sigma_1$ - $\sigma_2$  et  $\sigma_2$ - $\sigma_3$ . Les structures associées à ces états de contraintes correspondent aux failles normales NW-SE, aux décrochements dextres E-W, aux failles inverses NE-SW, aux décrochements senestres sub-méridiens, aux chevauchements et plis de rampes NE-SW avec une schistosité de fracture N40. La discordance du Tortonien supérieur-Messinien sur le Dogger, et celle du Pliocène inférieur-moyen (Poudingues de Skoura) sur le Miocène supérieur ; montrent que les dépôts sont affectés par deux compressions N120 à N135 au Vallésien, et N130 à N145 au Pliocène inférieur. Ces deux régimes compressifs sont séparés par une extension N40 au Miocène supérieur, qui a permis l'installation des bassins sédimentaires continentaux et marins de direction générale NW-SE. Chaque épisode tectonique est caractérisé par des structures et microstructures à caractère synsédimentaire (scellé). Tous les indices qui caractérisent cette phase tectonique (divisée généralement en trois épisodes) d'âge Vallésien – Tortonien-Messinien – Pliocène inférieur, sont scellés par les dépôts continentaux fluvio-lacustres et travertineux d'âge Pliocène moyen-supérieur.

### **1.5/- La phase Pliocène Moyen supérieur**

Au Pliocène moyen-supérieur, le régime tectonique correspond à une extension NNW-SSE caractérisée par des failles normales synsédimentaires N50 à N90. Ces failles délimitent des bassins continentaux fluvio-lacustres et travertineux, orientés en gros ENE-WSW. Cet état de contraintes où  $\sigma_3$  est horizontal et orientée NNW-SSE et  $\sigma_1$  verticale (avec permutation  $\sigma_1$ - $\sigma_2$ ), est scellé par les dépôts continentaux d'âge Quaternaire.

### **1.6/- La phase Quaternaire ancien-moyen**

Au cours de cette période, l'axe  $\sigma_1$  est orienté N30 et l'axe  $\sigma_3$  est orienté N120, avec des permutations  $\sigma_1$ - $\sigma_2$  et  $\sigma_2$ - $\sigma_3$ . Ceci se manifeste d'abord par des failles normales synsédimentaires orientées N15 à N40, puis par des décrochements dextre N160 - N00 et senestres N65 - N90, et par des failles inverses N100 à N140. Les failles normales guident et amplifient la subsidence dans les bassins continentaux fluvio-lacustres et travertineux de direction générale NE-SW. Cet état de contraintes qui caractérise le Quaternaire ancien et la

base du Quaternaire moyen, est scellé par les dépôts du Quaternaire moyen sommital et du Quaternaire récent.

### **1.7/- La phase Quaternaire moyen-récent**

Au Quaternaire moyen – récent, le champ de contraintes est caractérisé par un axe  $\sigma_3$  horizontal et orienté N80 et un axe  $\sigma_1$  vertical ou horizontal et orienté N170. Cet état de contraintes est caractérisé par des failles normales sub-méridiennes, des décrochements senestres N20-N50, des décrochements dextres N130-N145 et des failles inverses N65-N100 (séisme d'Alger en 2003). Les failles normales sub-méridiennes sont responsables de la formation des bassins continentaux de même direction, à remplissages fluvio-lacustres et travertineux. Ces failles correspondent aux structures cassantes les plus récentes qu'on peut mesurer sur le terrain. Elles affectent les dépôts de basses terrasses fluviales d'âge Holocène et les anciennes murailles historiques. Leur direction sub-méridienne joue un rôle primordial dans la morphologie des vallées et les écoulements des eaux.

## **2/- Caractéristique de la fracturation des causses du moyen Atlas**

Dans le Moyen Atlas, on peut dénombrer plus de 40 dayats (lacs) actuels et plus d'une dizaine de petits bassins continentaux néogènes et quaternaires. Ils correspondent à des effondrements tectono-karstiques à remplissages fluvio-lacustres. L'analyse de la fracturation affectant ces dépôts et leur substratum jurassique, nous a permis de mettre en évidence quatre principaux épisodes de paléocontraintes responsables de la genèse et de l'évolution de ces bassins fluvio-lacustres. Le premier d'âge Miocène supérieur correspond à une extension NE-SW. Le deuxième épisode correspond à une extension NNW-SSE d'âge Pliocène moyen-supérieur. Les deux derniers d'âge Quaternaire correspondant aux états de contraintes avec  $\sigma_3$  horizontale et orientée N120 au Quaternaire ancien-moyen, et N80 au Quaternaire moyen-récent. Les effets cumulatifs des jeux normaux des failles créées lors de ces épisodes tectoniques (respectivement les N130, les N80, les N30 et les N170), sont responsables de la genèse et de l'évolution tectono-sédimentaire de ces bassins continentaux.

### **2.1/- La fracturation dans le bassin de l'Anoceur-Sefrou**

#### **2.1.1- Le bassin de l'Anoceur**

Ce bassin est formé par les jeux normaux successifs des failles N120, N80, N30, N170 au cours de l'épisode distensive d'âge Miocène supérieur, Pliocène moyen-supérieur et

Quaternaire. La création des sous bassins continentaux à remplissage lacustre a été favorisée par la combinaison de ces failles au niveau de certaines localités.

### **2.1.2- Le bassin de Sefrou**

Ce bassin est situé au cheval entre le Moyen Atlas et le Sais, c'est le siège d'une activité polyphasée responsable de la genèse des structures d'effondrement Néogène et Quaternaire, le jeu normale de la faille de Kandar orienté N130 et de la faille de Sefrou-Bhalil N140, forme des blocs étagères à effondrement NE.

### **2.2/- La fracturation dans le bassin d'Imouzzar Kandar**

Ce bassin est caractérisé par une fracturation héritée du socle paléozoïque déformé lors de l'orogénèse hercynienne.

Cette fracturation affecte la plate forme liasique, parfois associée à des flexures génèrent des effets sur les séries du Causse liasique. Elle est concentrée surtout dans la bordure orientale du Causse se caractérise dans l'accident de Tizi-N-Tretten, l'accident de Dayet Aoua et la faille de Kandar.

### **2.3/- La fracturation dans le bassin d'El Hajeb Ifrane.**

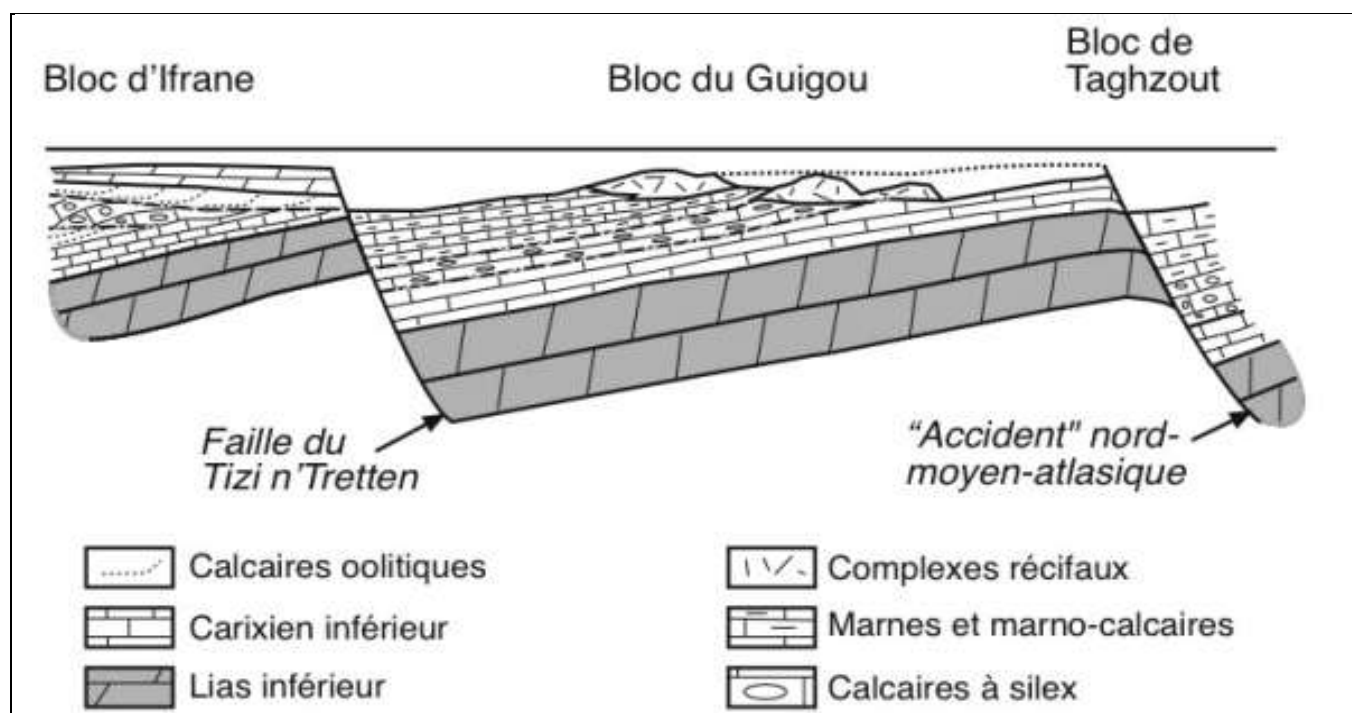
L'analyse de la fracturation dans le Causse d'El Hajeb-Ifrane fait ressortir un nombre de linéament. Les principales directions de fracturation obtenues sont :

- La direction subméridienne : elle varie de  $NO0^{\circ}$  à  $NO5^{\circ}$  et représente 18 % de l'ensemble des directions.
- La direction NE-SW : elle varie en moyenne de  $N25^{\circ}$  à  $N65^{\circ}$ , avec une dominance de la direction avoisinant le  $N45^{\circ}$ . Cette direction représente 33 % de l'ensemble des directions.
- La direction NW-SE à NNW-SSE : elle varie en moyenne de  $N115^{\circ}$  à  $N165^{\circ}$ , avec une dominance de la direction avoisinant le  $N145^{\circ}$ , et représente 32 % de l'ensemble des directions.

### **2.4/- La fracturation dans le bassin d'Agourai**

Le petit Causse d'Agourai est ceinturé par des corniches qui dominent le socle paléozoïque. Il s'agit d'un synclinorium de terrains de nature essentiellement dolomitique du Lias, basculé en direction du Saïs de Méknès par des flexures douces et enfin par deux failles

en relais orientées WSW-ENE, La bordure SE est définie par la grande faille d'Adarouch articulée en touche de piano.



**Fig. 6 :** La bordure occidentale du sillon moyen-atlasique (Piqué.A, 2014)

## Chapitre III : Synthèse hydrogéologique

Au Maroc, les études hydrogéologiques entamées depuis plusieurs décennies par la Direction de l'Hydraulique et par les universitaires, ont permis d'avoir une connaissance préliminaire sur les potentialités en eau, et sur le mode de fonctionnement des principaux aquifères superficiels, notamment des plaines, qui en général se développent en milieu poreux (nappes de : Tadla, Haouz, Sous...). En raison des caractéristiques topographiques et géologiques non complexes, les travaux de prospection et d'exploitation des eaux souterraines sur ces réservoirs aquifères ont été menés en premier. En revanche, quand il s'agit des nappes profondes, les caractéristiques hydrogéologiques sont restées parfois très générales et souvent imprécises.

Plusieurs facteurs ont concouru à un regain d'intérêt aux nappes profondes, et aux aquifères de montagne pour satisfaire les différents besoins croissants des populations. Les principaux facteurs sont : La sécheresse qui sévit à travers tout le pays depuis plus de deux décennies, le développement des techniques de forage et la baisse de leurs coûts, et le lancement des programmes d'alimentation en eau potable du monde rural.

### I/- Climatologie du Moyen Atlas Tabulaire

#### 1/-Les Précipitations

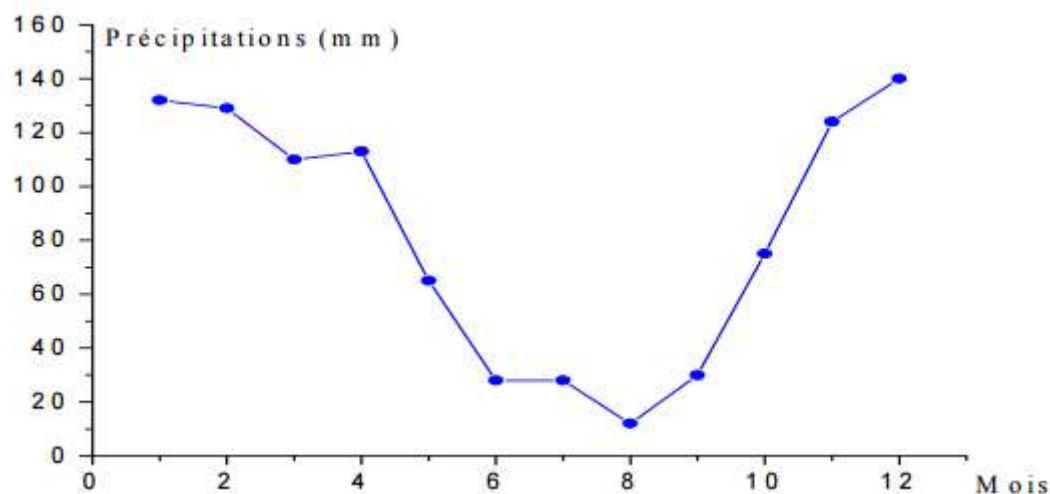
Au dessus de 1800 m d'altitude, à Ifrane, la moyenne de jours de précipitations est de 100 jours, dont 70 à 85 jours de précipitations pluvieuses et 15 à 30 jours d'enneigement.

Les précipitations annuelles sont importantes dans la partie West du Moyen Atlas par rapport à la partie Est. Ceci s'explique par le fait que la chaîne Moyenne Atlasique constitue une barrière qui s'oppose au déplacement des perturbations océaniques qui, par la détente des masses d'air humide et l'accumulation des nuages entraînent une augmentation des précipitations.

**Tableau 1** : variation de la moyenne mensuelle des précipitations (P) dans la station météorologique d'Ifrane (1975-2004)

Paramètres	Jan	Fève.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct.	Nov.	Dec
P (mm)	132	129	110	113	65	28	28	12	30	75	124	140





**Fig. 7 :** Précipitations moyennes mensuelles dans la station météorologique d'Ifrane (Période 1975-2004)

La répartition des précipitations est irrégulière au cours de l'année. La période estivale est sèche. Par contre la période humide se situe entre novembre et avril. Entre 1975-2004, les mois les plus pluvieux sont décembre, janvier, février et novembre, (fig.7).

## 2/- La Température

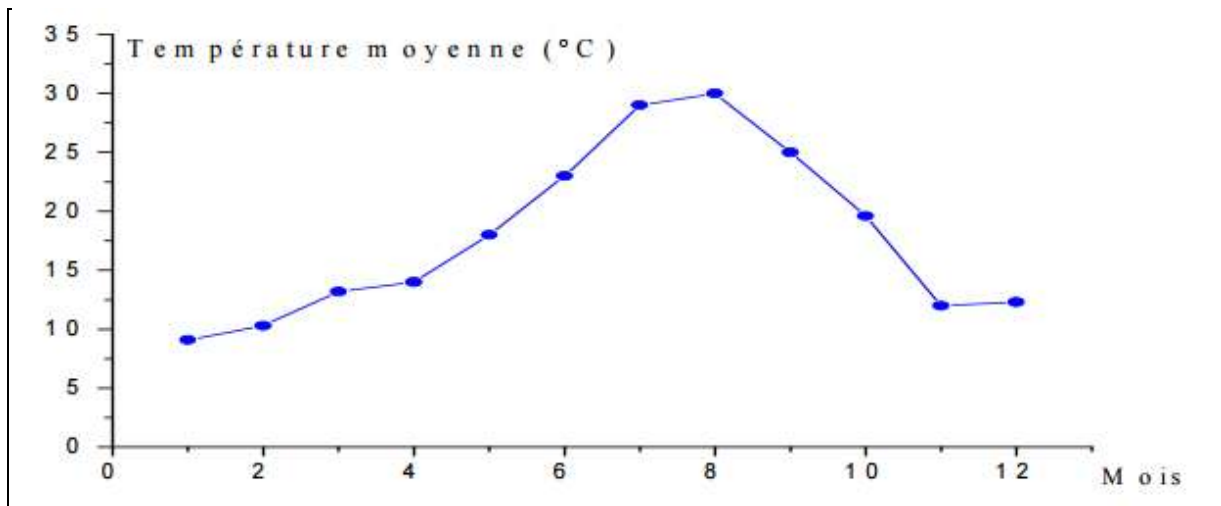
Le Moyen Atlas est une région où la température est sensiblement influencée par l'altitude moyenne du massif. Ceci entraîne des valeurs relativement basses par rapport aux régions avoisinantes

**Tableau 2 :** variation des températures (T) moyennes mensuelles dans la station météorologique d'Ifrane (1975-2004)

Paramètres	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct.	Nov.	Dec
T (°C)	9,1	10,3	13,2	14	18	23	29	30	25	19,6	12	12,2

Les températures moyennes les plus basses du Moyen Atlas sont enregistrées dans la région d'Ifrane.

La température moyenne la plus basse est enregistrée en janvier. Par contre la température moyenne la plus élevée en août, (fig.8).



**Fig.8:** Températures moyennes mensuelles (T) dans la station météorologique d'Ifrane (1975-2004)

### 3/-Le Vent

Pour l'ensemble du bassin de Sebou, les vents dominants en hiver sont du secteur West (humide), et en été, sont du secteur Est (Chergui).

### 4/- L'évapotranspiration

Selon Thornthwaite et Turc (entre 1960 et 1970) l'évapotranspiration réelle (ETR) représente respectivement 37 à 67% et 50 à 84% de la pluviométrie annuelle. (In ressources en eau du Maroc, Tome 3).

L'évapotranspiration moyenne générale sur toute la surface des Causses du Moyen Atlas tabulaire est de 510mm/an, pour les eaux d'infiltration et de ruissellement pour une année pluviométrique moyenne de 730mm /an et une température moyenne de 12c°. Pour Ifrane, ETR est de 560mm/an pour des précipitations allant jusqu'à 1122mm/an.

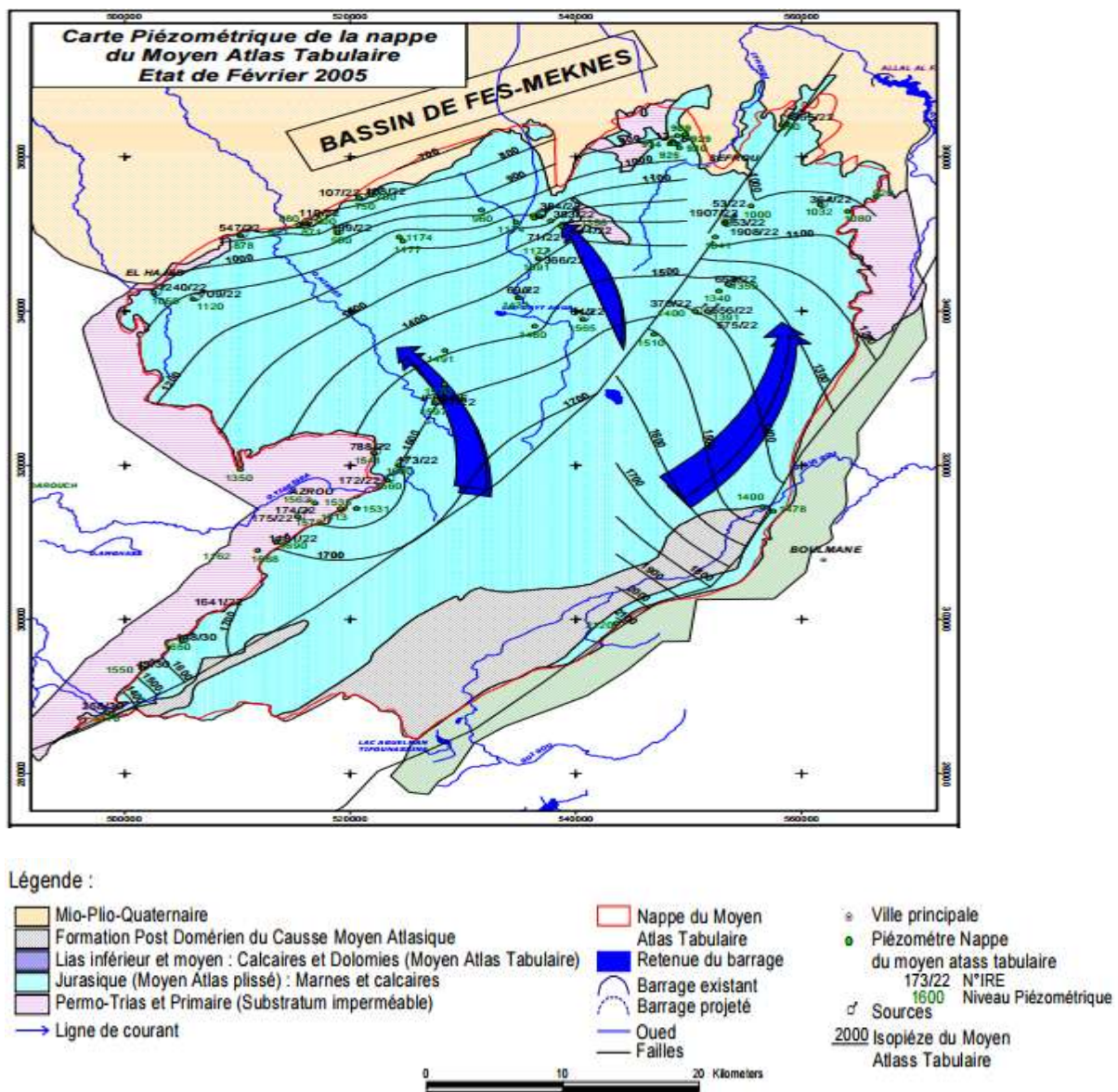
## II/-Les Bassins Hydrogéologiques dans le Moyen Atlas tabulaire

### 1/- Nappe des Causses moyens Atlasiques

D'une superficie de l'ordre de 4600 Km<sup>2</sup>, la nappe des Causses moyen atlasiques est encadrée entre le bassin de Fès Meknès au nord et le Moyen Atlas au Sud. Cet aquifère est formé par des terrains carbonatés plus ou moins tabulaires du Lias. Sa géométrie et ses caractéristiques hydrogéologiques ne sont pas bien connues (fig.9). La qualité des eaux de cette nappe est très bonne. La minéralisation de l'eau est en effet inférieure à 0.5 g/l.

La recharge de la nappe se fait exclusivement par les infiltrations pluviales. Elle est exploitée par forages et puits pour l'AEP des centres de la région (Ifrane, Imouzzer, Azrou, El Hajeb, Agouray...), ainsi que pour l'irrigation. Les prélèvements destinés à l'AEPI peuvent être estimés à 15 Mm<sup>3</sup>/an, alors que ceux utilisés en irrigation sont évalués à 25 Mm<sup>3</sup>/an.

L'effet combiné de la sécheresse et la surexploitation de la nappe des Causses se traduisent par un déstockage annuel des réserves de l'aquifère de 10 Mm<sup>3</sup>. Ce déstockage aura des impacts négatifs sur les ressources en eaux de surface et souterraines puisque la zone des Causses représente le château d'eau assurant plus de 50 % de l'alimentation du système aquifère du Saïs ; et donnant naissance à plusieurs sources au niveau du piémont ainsi qu'à la source d'Oum Er Rbia.



**Fig. 9 :** Carte Piézométrique de la nappe du Moyen Atlas tabulaire (PDAIRE Sebou-2007)

## 2/- Origine des eaux dans le Moyen Atlas tabulaire

Les eaux météoriques sont la seule origine des eaux souterraines dans le Causse moyen atlasique. Celui-ci reçoit un taux de par le causse est estimé à 555mm : moy station Anoceur  
Une grand proportion des précipitations s'infiltrent dans le karst calcaire est existe principalement dans le Moyen Atlas tabulaire.

Les principaux exutoires des eaux souterraines des calcaires du Moyen Atlas sont donc périphériques et en outre de natures diverses : émergences de bordure au contact du Lias et de son substratum triasique (Aïoun-Ras-El-Ma, Sidi-Rached, Oum-er-Rbia,...), sources de flexure à l'ennoyage du Causse sous le sillon sud-rifain (Aïoun-Ribaa, Bittit...), émergences au sein d'aquifères périphériques tels les calcaires lacustres (Aïoun-Akkous, Cheggag,...), abouchements avec la nappe phéatique du Sais décelables seulement par l'étude du bilan de cet aquifère, drainage par l'oued Sebou des eaux souterraines des bassins de Sefrou et d'Annoeur-Bsabis, drainage par les coulées de basaltes quaternaires de la vallée de l'oued Tigrigra des eaux des bassins de Ras-El-Ma et d'Aîn-Leuh.

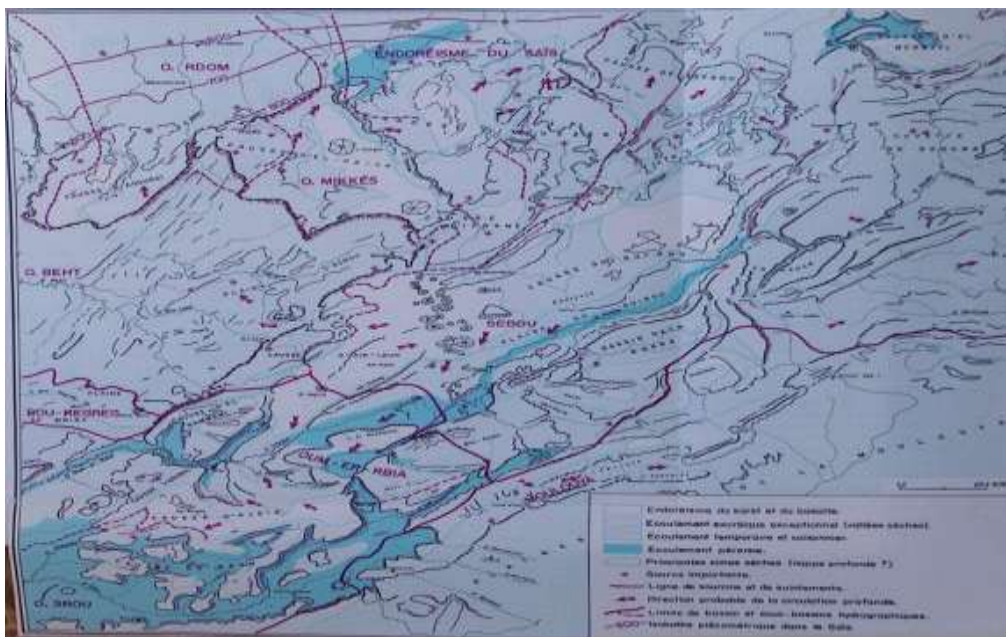


Fig.10: Carte hydrogéologique du Moyen Atlas (Martin, 1981)

## 3/- Le rôle des basaltes dans les causses moyen atlasique

Le rôle des basaltes dans l'hydrogéologie des causses est très diversifié ; tantôt lorsqu'ils reposent sur un substratum très peu perméable ils servent de drains aux eaux du Causse comme c'est le cas des basaltes de la vallée du Tigrigra, tantôt lorsqu'ils reposent directement



sur le Lias calcaire, ils ne contiennent aucune trace d'eau car leur forte perméabilité ne s'oppose pas aux infiltrations vers la nappe du Causse qui se situe généralement au-dessous du contact basalte - calcaire (basaltes de l'Outgui, de la région du jbel Hebri sur le plateau de Timahdite). Les basaltes de la vallée de l'oued Guigou reposent sur des formations semi-perméables post-domériennes ou tertiaires qui empêchent toute infiltration vers la nappe profonde du Lias inférieur et moyen. Ils contiennent une nappe alimentée par la pluie et surtout par les pertes de l'oued Guigou au long de son parcours sur ces basaltes. Cette nappe trouve un exutoire important dans l'Aïn Titt-Zill qui ne doit pas être considérée comme une source du Causse proprement dit.

#### **4/- Les formes karstiques dans les causses moyen atlasique**

Les faciès calcaires et dolomitiques constituent un milieu favorable aux processus de la dissolution chimique des roches. On constate que les dolomies et les calcaires du Lias moyen ont été plus corrodés que les dolomies du Lias inférieur. Les phénomènes karstiques sont essentiellement des phénomènes de surface. On peut tout d'abord distinguer des formes mineures comme les lapiés, les reliefs ruiniformes de la dolomie, les dolines d'effondrement qui jalonnent des réseaux souterrains inaccessibles, les petites dépressions sommitales dues à la dissolution à partir des eaux de fonte des neiges, etc. Presque toutes les vallées sont sèches et le profil longitudinal est parfois interrompu par une légère contrepente due à la karstification, d'où ce paysage très fréquent de cuvettes fermées, très évasées, à fond plat colmaté par des dépôts meubles et qui s'alignent en chapelets. Le karst présente ses formes les plus spectaculaires avec de grandes cuvettes fermées, atteignant 2 ou 3 km de long, aux fonds argilo- limoneux, occupés en hiver par des *daya*. Les failles ont joué un rôle essentiel en créant le cadre de l'élargissement et de l'aplanissement karstique de ces *poljès* tectoniques des Causses d'El Hammam, d'Ajdir et de Sefrou (J.Martin).

#### **5/- la délimitation des bassins hydrogéologiques du Causse Moyen atlasique**

La définition et la délimitation des différents bassins hydrogéologiques du Causse moyen-atlasique conduit à faire plusieurs remarques dont la plus importante concerne la relation entre les bassins versants topographiques et les bassins hydrogéologiques. Dans le Moyen Atlas septentrional, c'est-à-dire au nord de l'accident de Tizi-N'Tretten, bassins versants superficiels et bassins hydrogéologiques ont des limites à peu près confondues. Il n'en est pas du tout ainsi dans le Moyen Atlas méridional où se trouve la plus grande unité hydrogéologique du Causse qui est le bassin des sources de l'Oum-er-Rbia de 1640 km<sup>2</sup> de

superficie souterraine totale dont le quart seulement est inclus dans le bassin versant superficiel. Les trois quarts du bassin hydrogéologique sont situés à l'extérieur du bassin versant de l'Oum-er-Rbia, dans celui de l'oued Guigou en particulier (bassin versant superficiel du Sebou).

On notera également que sur toute l'étendue du bassin hydrogéologique de l'Oum-er-Rbia, il n'y a pratiquement pas de source ; la région des Aît-Youssi du Guigou est la zone sèche du Moyen Atlas, la nappe y est très profonde et n'affleure nulle part ailleurs qu'aux sources même de l'Oum-er-Rbia. Inversement, dans le bassin d'Immouzer du Kandar, la nappe affleure en de nombreuses sources à forts débits, alignées du sud au nord le long de l'axe du synclinal d'Immouzer. Les eaux se réinfiltrent d'ailleurs très vite pour réapparaître à l'aval dans les sources suivantes.

Quant à la nature des aquifères du Causse, elle est bien entendu calcaire et karstique. En général, la circulation des eaux se fait préférentiellement dans les grosses fissures et les chenaux, le régime d'écoulement est de type turbulent.

Dans le causse moyen atlasique, les formations les plus étendues, les plus continues et puissantes sont des formations Jurassiques qui constituent les aquifères les plus importants dans ce causse.

Ces formations correspondent essentiellement aux basaltes de Trias supérieur –infra Lias et aux dolomies et calcaires de Lias inférieur.

### **III/- Identification des systèmes aquifères dans le causse moyen atlasique**

#### **1/- Hydrostratigraphie du causse moyen atlasique**

##### **1.1/- Le système aquifère d'âge Trias-infra Lias**

L'aquifère triasico-liasique est formé de basaltes doléritiques fracturés de type tholéitique. Elle est traversée par un réseau dense de fissures remplis de quartz et que la porosité dans les 7 premiers mètres égale à 0%.

Toutes ces caractéristiques permettent à cet aquifère basaltique de contenir une nappe d'eau superficielle dont la semelle imperméable est formée par la cohérence du basalte en profondeur et par les argiles rouges supérieures.

Les basaltes triasico-liasiques ne contiennent pas une nappe très riche en eau. Cette dernière circule dans les microfissures et dans la partie superficielle altérée, c'est pourquoi les réserves de cette nappe sont limitées.

### **1.2/- Le système aquifère d'âge Lias inférieur**

Les dolomies du Lias inférieur couvrent la plus grande partie de la surface du Moyen Atlas tabulaire. Ces dolomies se présentent essentiellement sous forme de faciès bréchiques, ruinformes et sous forme de strates qui comportent des niveaux constitués par des sables dolomitiques. Les niveaux sableux (arénites dolomitiques) constituent un très bon réservoir d'eau du fait de leur porosité élevée. Mais ces niveaux sableux s'écoulent avec les eaux souterraines et provoque parfois l'effondrement des puits et forages, le bouchage des pompes et à grande échelle la formation des dolines d'effondrement karstique. Les niveaux stratifiés sont affectés par une intense fracturation favorisant les écoulements des eaux souterraines. La bréchification touche de préférence les dolomies saccharoïdes imparfaitement cimentées, ce qui engendre des vides d'interstices. Ceux-ci nous permettent de déduire que ces dolomies possèdent une double porosité, l'une d'interstice et l'autre de fissure. Les dolomies d'âge liasique offrent une capacité de contenir une nappe discontinue dont le substratum triasique est constitué d'argile rouge supérieur.

## **IV/- Milieux aquifères fissurés dans les causses Moyen atlasique**

### **1/- Bassin de Sefrou -Annoucer- Bsabis**

#### **1.1/- Définition et limite**

Le bassin d'Annoucer Situé au NE du bassin de l'Oum-er-Rbia, il est limité au NW par une ligne d'accidents SW-NE qui est le prolongement des accidents du Tizi-N'Tretten.

Vers le nord, le Lias s'ennoie sous les formations tertiaires de la cuvette d'Ain el-Ouata et ne reparaît qu'à la faveur des gorges du Sebou. La limite est représentée par la ligne de contact Lias-Trias de la boutonnière de Bsabis qui prolonge l'anticlinal du jbel Meksis.

Le bassin de Sefrou correspond approximativement au bassin versant de l'oued Agaï. Vers le nord, le raccordement avec le sillon sud-rifain se fait par une flexure très accusée d'orientation NW - SE qui forme l'escarpement bordier du Causse de Sefrou. La limite SE est constituée par la ligne d'accidents SW - NE qui prolonge ceux du Tizi-N'Tretten. Cette limite n'étant probablement pas étanche semble jouer le rôle de drain, ce qui autoriserait à ne faire des bassins de Sefrou et d'Annoucer-Bsabis, qu'une seule unité hydrogéologique.



## **1.2/- Caractéristiques du bassin**

Ce bassin comprend généralement les deux types d'aquifère citées précédemment : les dolomies liasiques et basaltes triasico-liasique en plus les formations aquifères qui comprennent les calcaires et les molasses et les dépôts plio-quadernaire.les basaltes triasico-liasique apparaissent à la surface sous l'effet de l'activité tectonique. L'affleurement des basaltes à la surface et sa capacité de contenir une nappe d'eau, sont des raisons pour lesquelles ils constituent avec les dolomies un système hydrogéologique combiné où la fonction conductrice capacité s'établit. Ainsi, les eaux peuvent circuler latéralement entre les deux aquifères en formant la même nappe d'eau

## **2/- Bassin d'Imouzzet du Kandar**

### **2.1/- Définition et limite**

De Dayet-Aoua à la plaine du Sais, la cuvette d'Imouzzet s'inscrit sur un synclinal étroit, d'orientation SSE-NNW. Ce bassin est parcouru par l'oued ElKandra dont la vallée constitue un véritable drain le long des axes synclinaux. Les sources, nombreuses et importantes, sont toutes axées sur cette vallée, au cœur du synclinal.

La limite nord du bassin, prolongeant celle du bassin d'El-Hajeb—Ifrane, s'ennoie à la faveur d'une flexure sous les sédiments tertiaires du couloir Sud - Rifain. À l'est, la limite est très nettement marquée par une série d'affleurements permotriasiques situés dans l'axe de l'anticlinal du Kandar. Au nord de la crête du Kandar, cette limite s'incurve vers le NE vers les affleurements primaires et triasiques situées à l'ouest de Bhalil. La limite sud est constituée par la ligne d'accidents du horst de Tizi-NTretten. La limite W est commune avec celle du bassin d'ElHajeb—Ifrane.

### **2.2/- Caractéristiques du bassin**

Le bassin d'Imouzzet est constitué d'un ensemble de panneaux liés entre eux et caractérisé par l'homogénéité lithologique d'origine dolomitique d'épaisseur variable. Le découpage a été commandé par la tectonique, On distingue :

- La structure en graben du plateau d'El Gaada- Sehb
- La structure en graben de Dayet Aoua
- L'unité Sud a nommé unité de Jbel Kandar
- L'unité de Reggada à l'Ouest

### **3/- Bassin d'El Hajeb Ifrane**

#### **3.1/- Définition et limite**

Ce bassin s'inscrit sur le synclinal d'Ifrane dont l'axe est orienté NW - SE. La limite W est la bordure du Causse entre El-Hajeb et Azrou.

La limite est du bassin de El-Hajeb-Ifrane suit une longue faille orientée SSE - NNW qui s'incurve en direction atlasique SW - NE à partir du jbel Aîn Ouslaf. Cette faille suit un axe anticlinal important qui surélève le substratum permio - triasique, constituant ainsi une ligne de séparation des eaux souterraines entre les bassins d'El-Hajeb—Ifrane et d'Immouzer du Kandar. Cette faille est jalonnée de nombreux bassins fermés ou semi - fermés.

La limite sud est constituée par la faille SW - NE qui marque la bordure nord du bassin de Ras-el-Ma et par le horst de Michlifène.

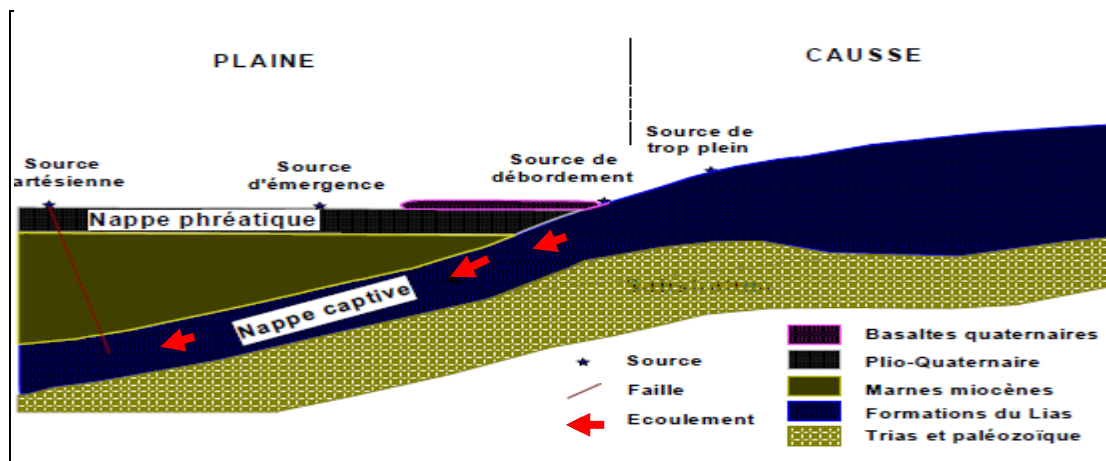
#### **3.2/- Caractéristiques du bassin**

Le plancher de la nappe est constitué par le toit des marnes triasiques. Les lignes limites périphériques sont à débit nul sauf en ce qui concerne la limite nord, à l'ennoyage des calcaires sous la plaine de Meknès - Fès, où les nombreuses sources du Lias font que cette limite est ouverte, laissant passer des débits souterrains variables. Une partie des eaux continue à s'écouler vers le nord pour aller s'aboucher avec la nappe phréatique de Meknès-Fès.

### **V/- Hydrodynamisme : drainage et écoulement des eaux souterraines.**

Le Causse moyen atlasique est drainé par deux bassins hydrographiques : celui de l'Oum er Rbia et de son affluent le Serou au S, celui du Sebou au N et de son affluent l'oued Beht au NW. L'abondance des précipitations (moyenne de 800 mm) et plus encore la masse des roches réservoirs du Lias expliquent que le Causse joue le rôle de château d'eau et de régulateur hydrologique du Maroc.

L'écoulement des eaux dans le Moyen Atlas tabulaire a un sens de Sud vers le Nord, qui explique l'alimentation des nappes de Sais par celles du causse Moyen atlasique (fig11)



**Fig. 11:** schéma explique le sens d'écoulement des eaux souterraines et l'alimentation du plaine de Sais( Amraoui, 2005 modifiée)

Sur le plateau, lui-même très karstifié, l'infiltration des eaux de pluie et de fonte des neiges est la règle générale. On admet que 20 à 40 % du total pluviométrique s'infiltrent dans le Lias soit un débit fictif continu de 30 à 60 m<sup>3</sup>/s pour une superficie approximative de 5 600 km<sup>2</sup>. L'écoulement superficiel sur le Causse est exceptionnel comme en témoigne le réseau très dense de vallées sèches. Seules, les précipitations très concentrées d'averses orageuses d'été parviennent à provoquer pendant quelques heures un écoulement de crue

Les oueds pérennes coulent dans des vallées plus encaissées. Leurs débits sont plus réguliers que partout ailleurs au Maroc en raison de leur alimentation par sources ou émergences qui s'égrènent le long des thalwegs: oued Sebou, Zra et Aggaï au N, oued El Kantra et Tizguite au NW, l'Oum er Rbia et le Serou au S. Seules, les branches supérieures de l'oued Beht prennent naissance sur la bordure du Causse alors que les autres cours d'eau le traversent et s'y encaissent.

C'est au niveau du Trias que les sources sont les plus nombreuses. Néanmoins, sans que le Trias affleure, les sources peuvent jaillir dans le Lias quand celui-ci a été fortement aminci comme c'est le cas dans le Causse d'El Hajeb. Les failles sont aussi jalonnées par des venues d'eau des Causses : larges cuvettes séparées par des anticlinaux ou affleure le Trias, succession de horsts et de fossés d'effondrement.

La tectonique permet, d'ailleurs, de distinguer les Causses drainés (El Hajeb, Sefrou) des Causses à secs (Imouzzet, El Hammam, Guigou). Cette distinction est explicable par la profondeur plus ou moins grande des nappes par rapport à la surface.

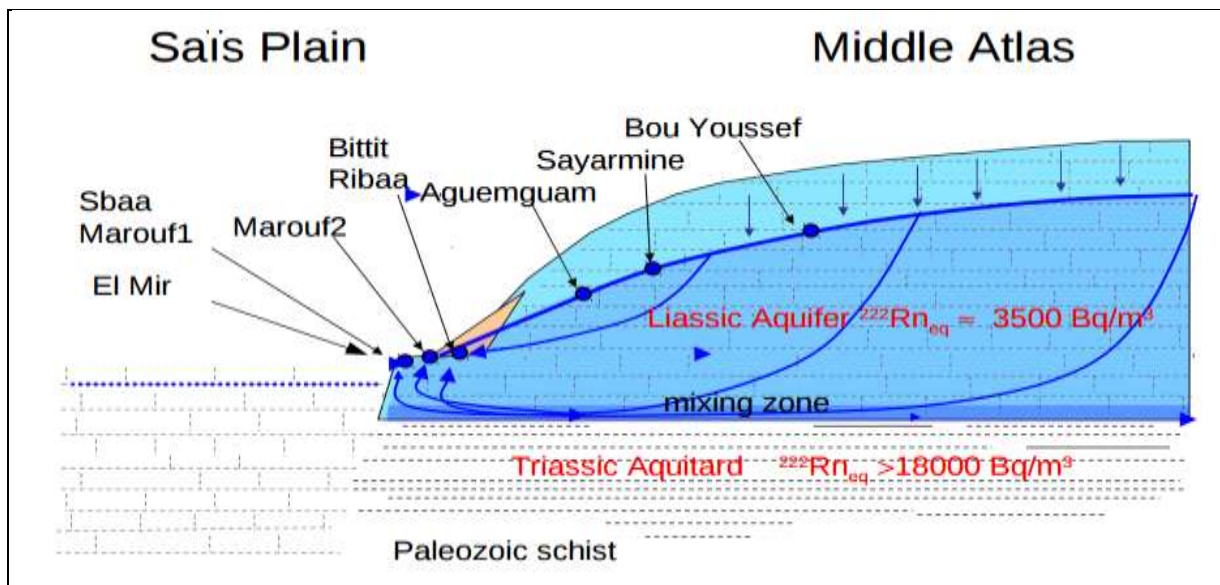
Le jeu de compartiments affaissés et de synclinaux explique la présence de nappes souterraines, captives ou non, dont témoigne l'abondance des lacs (dayat) permanents ou

temporaires. Certains de ces lacs n'ont pas d'exutoire subaérien (Dayet Maskère, D. Ifrah, D. Iffère, Aguelmane Azigza) et correspondent à des cuvettes de surcreusement karstique. Les variations du niveau de la nappe se répercutent sur le niveau du lac. D'autres lacs (D. Aoua, aujourd'hui aménagé, D. Afourgah, D. Hachlaf) ont des émissaires qui ont provoqué une vidange partielle par capture.

La bordure septentrionale faillée et flexurée constitue une zone propice aux émergences. Les eaux du Causse jaillissent aux grosses sources (Aguemgam, Rebaa, Bittite, etc.) mais alimentent également les nappes profondes du couloir sud-rifain et les nappes des formations néogènes de la plaine du Saïs.

Le Causse Moyen Atlasique tabulaire alimente en eau la nappe profonde du bassin du Saïs et également l'ensemble des sources situées à son piémont. Entre le Causse et le plateau de Méknès, deux groupes de sources d'importance inégale se mettent en évidence (Fig .12) :

- Les sources du secteur Ribaa-Bittit situées au piémont du Causse d'El Hajeb-Ifrane ;
- Les sources Aghbal, Boujaoui et Maârouf, situées au piémont du Causse d'Agourai.



**Fig. 12:** Schéma explicatif d'écoulements et zones de recharge à l'échelle du Bassin (Saracco Ginette, 2011)

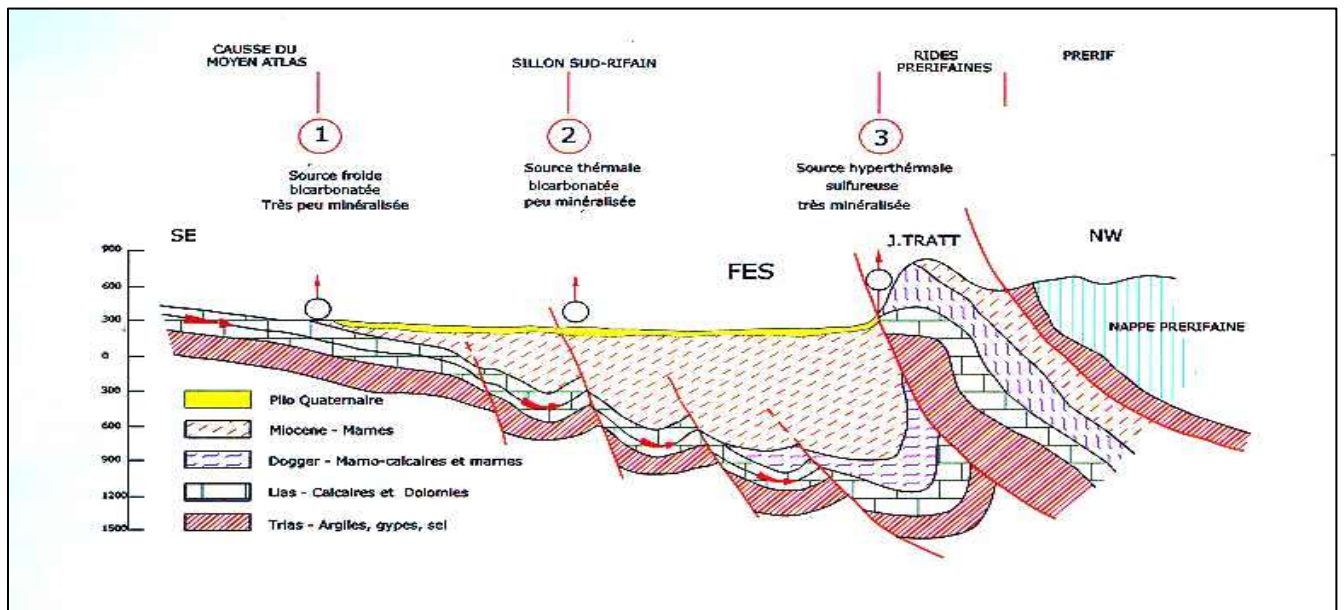
## **VI/-L'influence de la fracturation dans l'écoulement des eaux souterraines et la mise en place des aquifères dans le Moyen Atlas tabulaire.**

Après avoir déterminé l'hydrodynamisme des eaux souterraines et son écoulement, on se propose dans cette partie de déterminer l'influence ou le rôle de la fracturation dans la circulation des eaux souterraines et l'organisation spatial des écoulements. En effet, la tectonique cassante présente une importance dans le contrôle de l'écoulement de l'eau souterraine et superficielle, elle joue un rôle primordial dans la productivité des réservoirs fracturés.

La carte piézométrique (fig.9) qui est superposée sur une carte de fracturation montre l'effet des différentes structures tectoniques (accident, faille, graben, horst) sur l'écoulement des eaux, l'écoulement monodirectionnel est vers le sens du pendage des failles, l'écoulement des eaux souterraines est perpendiculaire aux failles et presque parallèle à l'axe d'extension  $\sigma_3$ . L'importance du rôle hydrogéologique des structures cassantes, permet à l'échelle d'un massif, de sélectionner les zones favorables et défavorables à l'implantation de captage des eaux. Les différentes anomalies structurales de réservoirs sont concentrées au niveau des accidents tectoniques ou des failles.

Dans notre zone d'étude « causse Moyen atlasique » certains accidents et failles sont responsables à la mise en place des aquifères, les oueds et des dayets et contrôlent l'écoulement de leurs eaux. Il s'agit des grands accidents majeurs qu'on a déjà cités dans le chapitre II. On distingue des exemples des unités hydrogéologiques :

- Dayet Aoua : Situé entre Ifrane et Imouzzer, l'écoulement des eaux est contrôlé par l'accident de Dayet Aoua qui est responsable à la formation de la nappe aquifère de Trias supérieur Lias inférieur (basalte/ domolitique )
- Dayet Hachlaf : situé au sud d'Imouzzer, c'est un aquifère sur le mur imperméable des argiles du Trias.
- Les sources de Sefrou (A.Dik, A.Zeribir, A. Zeraoua) au flanc dde la nappe de Sefrou.



**Fig. 13 :** Schéma explicable d'écoulements des eaux souterraines en relation avec la fracturation (Les Bassins Hydrauliques du Maroc)



# Conclusion Générale

Ce travail qui a été réalisé dans le causse moyen atlasique, a pour objectif de déterminer les structures géologiques liées à la tectonique cassante et l'identification des unités hydrogéologiques présente dans la zone d'étude.

Dans ce travail nous avons pu montrer l'importance de la fracturation en hydrogéologie, en se basant sur les caractéristiques hydrogéologiques de la nappe d'eau et la tectonique cassante. La présente étude est divisée en plusieurs parties dont les principaux résultats sont explicités comme suit :

Concernant la première étude dédiée à la structure géologique du causse moyen atlasique, nous avons pu enregistrer que la série lithostratigraphique de cette région comprend de bas en haut :

- Le socle paléozoïque qui affleure à la faveur de quelques boutonnières (Kandar, Bhalil, Bni Mellala et la partie sud de Bsabis). Il est composé essentiellement de schistes, grès, pélites et quartzite.
- Les terrains triasico-infra liasiques qui reposent en discordance angulaire sur le socle paléozoïque. Ils sont constitués d'argiles rouges dans lesquelles une importante coulée de basaltes doléritiques est interstratifiée, séparant une formation argileuse rouge inférieure et une formation argileuse rouge supérieure. Les basaltes présentent souvent une altération en boule et des niveaux sédimentaires carbonatés intercalés.
- Le Lias inférieur et moyen qui repose en concordance sur les formations triasico-infra liasique, est caractérisé par une sédimentation carbonatée où les apports détritiques sont rares ou absents. Le Lias inférieur est essentiellement dolomitique et couvre une grande partie de la zone d'étude.
- Les formations du Miocène supérieur qui débutent par les molasses et les calcaires de Bhalil sont suivies par les silts ocres de Sefrou, et enfin les marnes sableuses. Elles reposent en légère discordance angulaire sur les dolomies liasiques. Ces formations affleurent au Nord de la zone d'étude, dans les bassins subsidés de Sefrou et de Sais.
- Le plio-quaternaire est caractérisé par des dépôts continentaux fluvio-lacustres et travertineux. Ces dépôts sont localisés dans des bassins intra-montagneux à style tectonique extensif.

L'étude structurale nous a donc permis de déduire que la genèse du bassin du causse moyen atlasique est liée à quatre principales épisodes appartenant aux phases tectoniques triasico-jurassique jusqu'au Quaternaire.

En ce qui concerne l'étude hydrologique, nous avons noté que la moyenne de la pluviométrie annuelle est de l'ordre de 980mm dans la région d'Ifrane. La pluie efficace moyenne sur le Causse a été estimée à un taux de 40 %. Les pluies sont toutefois

irrégulières. Au niveau des températures moyennes, elles sont autour de 10.9 °C dans la même région. Ceci implique une évapotranspiration (ETR) assez faible. En effet, Pour Ifrane, ETR est de 560mm/an pour des précipitations allant jusqu'à 1122mm/an.

Pour ce qui est du réseau hydrographique, il est peu développé sur le Causse, et le plus souvent, à régime temporaire. L'oued Tizguit constitue une des formes d'alimentation des sources du complexe Ribaa-Bittit. Les nappes moyen atlasique alimentent celle de la plaine de Sais. L'écoulement, relativement régulier, dépend des précipitations et des réserves souterraines. Enfin, ce réseau hydrographique est principalement guidé par la lithologie et la structure tectonique, ces deux facteurs interviennent principalement dans l'hydrodynamisme et le mode de fonctionnement (drainage et alimentation de la nappe) des bassins du Moyen Atlas tabulaire (bassin de Ifrane El Hajeb, bassin de Imouzzar Kandar, Bassins de Sefrou l'Anocour). Ces derniers possèdent des sources et bassins versant dont la morphologie et la structure sont liées en particulier à la tectonique cassante. Dans le causse moyen atlasique septentrional, on a pu identifier deux principaux types d'aquifères :

- L'aquifère triasico-liasique qui est formé de basaltes fracturés à caractère tholeiitique et de texture doléritique. La nappe circule dans les microfissures et dans la partie superficielle altérée où la porosité diminue généralement du haut vers le bas.
- L'aquifère liasique est représenté par les dolomies du Lias inférieur qui constituent le plus important réservoir de la zone. Ces dolomies généralement bréchiques, possèdent une double porosité.

Enfin cette étude montre que la tectonique cassante est responsable de la structuration des causses moyens atlasiques. Elle joue également un rôle essentiel dans les écoulements des eaux souterraines et superficielles. L'écoulement des nappes du SE vers le NW dépend de la compartimentation tectonique provoquée par les failles de cette zone.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

**ADALLAL .R (2013) :** Etude hydrochimique des systèmes lacustres et sédimentation actuelle dans les lacs Azigza et Tigalmamine (Moyen Atlas, Maroc).

**AKDIM.B - SABAOU.A - AMYAY.A- LAAOUANE.M - GILLE.E - OBDA.K :** Etude hydrochimique des systèmes lacustres et sédimentation actuelle dans les lacs Azigza et Tigalmamine (Moyen Atlas, Maroc).

**AMRANIS (2016) :** Hydrodynamisme, hydrogéochimie et vulnérabilité de la nappe d'eau superficielle et leur relation avec la tectonique cassante dans la zone effondrée Timahdite – Almis Guigou (Moyen Atlas, Maroc). Fès

**AMRAOUI F. (2005) :** Contribution à la connaissance des aquifères karstiques : Cas des Lias de la plaine de Sais et du causse Moyen atlasique tabulaire (Maroc). Thèse de doctorat, Etat, Casablanca.

**AZHIMI.M (2009) :** Analyse spatiale par un système d'Information géographique pour l'étude hydrogéologique et l'évaluation de la vulnérabilité à la pollution des nappes souterraine de montagne. Application à la nappe du causse d'Imouzzar Kandar (Moyen Atlas, Maroc). Thèse de doctorat, Fès.

**BENTAYEB.A - LECLERC.C (1977):** Le Causse Moyen Atlasique. Ressources en eau du Maroc. Tome 3 : domaines atlasiques et sud-atlasiques.

**CHARRIÈRE.A – OUARHACHE.D – EL ARABI.H (2011) :** Nouveaux guide géologique et miniers du Maroc /New Geological and Mining Guidebooks of Morocco, Volume 4 : Moyen Atlas, Haut Atlas central de Beni Mellal - Imilchil.

**EI FELLAH IDRISSE – HINAJE.S (2010) :** Influence de la tectonique cassante sur les caractéristiques hydrogéologiques des aquifères triasico-liasiques et apport de l'hydrochimie à l'étude des eaux souterraines dans les causses de Sefrou et de l'Anoceur (Moyen Atlas Septentrional, Maroc). Thèse de doctorat, Fès .

**EL HASSAN ABBA (2006) :** Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique des eaux d'un écosystème aquatique du Moyen Atlas : Dayet Aoua. Mémoire, Kenitra.

**Etude du Schéma Régional d'Aménagement du Territoire (SRAT) de la Région Fès Boulemane**, phase 1 : Diagnostic Territorial Stratégique-Etape 1 : Rapports Sectoriels.

**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.Fes.

**LEBLANC.PH (1996)** : structure et hydrodynamique des milieux fissurés aquifères, synthèse bibliographique, France.

**NTARMOUCHANT.A - SMAILI.H - SABRI.K (2012)** : Volcanisme Plio-quaternaire du Moyen Atlas Région de Timahdite , 10èmes Journées Universitaires de l'AESVT .Ifrane.

**PIQUE .A (1994)** : Géologie du Maroc, les domaines régionaux et leur évolution structurale.

**ROBILLARD.D (1978)** : Etude structurale du Moyen Atlas septentrional (Région Taza), Lille.

**SARACCO GINETTE (2011)** : Etude des circulations et du renouvellement des eaux souterraines du Bassin de Sais (Moyen Atlas, Maroc) par couplage de mesures isotopiques et tomographie electromagnétique multi-échelle. Région de Fès-Meknès, mémoire master, Méknes.