Sommaire

REMERCIEMENT **1**
SOMMAIRE **2**
LISTE DES FIGURES **4**
INTRODUCTION **5**

Chapitre I : Géologie du Moyen Atlas

I. Aperçu général sur le Moyen Atlas 6
II. Grands entités structuraux du Moyen Atlas 7
1. Causse moyen atlasique. 7
2. Moyen Atlas plissé 8
III. Lithologie et stratigraphie 8
1. Terrains paléozoïques 8
2. Couverture méso-cénozoïque 9
2.1. Permo-trias 9
2.2. Lias 9
2.2.1. Lias inférieur 9
2.2.2. Lias moyen 9
2.2.3. Lias supérieur 9
2.3. Bajocien moyen-supérieur 9
2.4. Bathonien-Paléocène 10
2.5. Eocène 10
2.6. Oligocène 10
2.7. Miocène 10
2.8. Oligo-pliocène 10
2.9. Quaternaire 10
3. Log synthétique du Moyen Atlas 11
IV. Tectonique 12
1. Causse moyen atlasique. 12
2. Moyen Atlas plissé 12
3. Accident Nord Moyen Atlasique. 12
4. Autres accidents 13
V. Volcanisme du Moyen Atlas 14
Conclusion 15

Chapitre II : Contexte bioclimatique et hydrologique

I. Cadre climatique 16
1. Précipitations 16
2. Température 18
3. Vent 18
I. Cadre hydrologique 18

1. Bassins hydrauliques 18
1.1. Sebou 19
1.2. Bouregreg 20
1.3. Oum Er-Rbia 20
1.4. Moulouya 21
1.5. Combinaison des quatre bassins 22
2. Lacs 23
2.1. Aperçu général 23
2.2. Etudes antérieures 25
3. Couvert végétal 25
Conclusion 27

Chapitre III : Outil et méthode

I. Outil de travail : ArcGIS 10.1 28
II. Méthode suivie 29
1. Géo-référencement 29
2. Préparation de la carte et MNT du Moyen Atlas 29
2.1. Préparation de la carte du Moyen Atlas 29
2.1. Préparation de MNT du Moyen Atlas 30
3. Création des couches d'altitudes 32
3.1. Courbes de niveaux 32
3.2. Fichier raster équivalent 34
4. Création des couches hydrographiques 35
4.1. Réseau hydrographique 35
4.1.1. Exposition des reliefs 35
4.1.2. Sens d'écoulement 36
4.1.3. Extraction des cours d'eau 37
4.2. Lacs et dayets 39
III. Mise en carte 40
Conclusion 40

Chapitre IV : Résultat

I. Carte hydrographique du Moyen Atlas 41
I. Réseau hydrographique 42
1. Lacs et dayets 42
Conclusion 47
CONCLUSION GENERALE 48
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 49
REFERENCES WEBOGRAPHIQUES 52

Liste des figures

Figure 1: Localisation du Moyen Atlas....6
Figure 2: a-carte du Nord du Maroc montrant les grands domaines structuraux. b- Carte géologique simplifié du Moyen Atlas et les structures autours (Harmand, Moukadiri, 1986)....7
Figure 3: Carte schématique du causse moyen atlasique avec l'affleurement le Massif de Tazekka et d'autres boutonnières d'âge paléozoïque (Mouhssine, 2015)....8
Figure 4: log litho-stratigraphique du Moyen Atlas (Hinaje, 2004)....11
Figure 5:Carte structurale simplifiée du Moyen Atlas (Carte géologique du Maroc au 1/1000 000)....13
Figure 6: Carte géologique simplifiée du Moyen Atlas avec les cônes existants (Harmand, Moukadiri, 1986) 14
Figure 7: Carte des isohyètes du Moyen Atlas pour la période 1979-2009 (El Jihad, 2010)....17
Figure 8:Bassin de Sebou (réseau hydrographique et courbes isohyètes) avec la limite du Moyen Atlas (PDAIRE 2005)....19
Figure 9: Bassin de Bouregreg (réseau hydrographique et hypsomètrie) avec la limite du Moyen Atlas (Benabdefadel, 2007)....20
Figure 10:Bassin d'Oum-Er-Rbia (réseau hydrographique, nappes et barrages), avec la limite du Moyen Atlas (ABHO, 2007)....21
Figure 11: Bassin de la Moulouya (réseau hydrographique), avec la limite du Moyen Atlas (Melhaoui et Boudot, 2009)....22
Figure 12: Combinaison des quatre bassins avec la limite du Moyen Atlas....23
Figure 13: (A) Carte de réseau hydrographique dans la partie Nord et centrale du Maroc. (B) répartition des lacs et des dayets dans Moyen Atlas (Chillasse et Dakki, 2004)....24
Figure 14: formations végétales du Moyen Atlas central Lecompte, 1986)....26
Figure 15: interface d'ArcMap....28
Figure 16: combinaison des cartes topographiques....30
Figure 17: délimitation du Moyen Atlas....30
Figure 18: A: MNT contenant le Moyen atlas. B: MNT avec les limites du Moyen Atlas....31
Figure 19: MNT du Moyen Atlas....32
Figure 20: courbes de niveaux de la région d'étude....33
Figure 21: quelques erreurs dans les courbes de niveaux....33
Figure 22: courbes de niveaux rectifiées et chiffrées....34
Figure 23: courbes de niveaux avec le fichier raster d'altitude....35
Figure 24: carte des reliefs du Moyen Atlas....36
Figure 25: sens d'écoulement dans le Moyen Atlas....37
Figure 26: carte raster des cours d'eau....38
Figure 27: perturbations dans les cours d'eau....38
Figure 28: réseau hydrographique du Moyen Atlas....39
Figure 29: numérisation des lacs et dayets....39
Figure 30: mise en carte....40
Figure 31:carte hydrographique du Moyen Atlas (voir la carte en taille réelle)....41
Figure 32: bassins versants : (A) Aguelmame Afennourine, (B) Dayet Afouragh....44
Figure 33: bassins versants (A) Aguelmame Nitglouine, (B) Aguelmame Azigza....45
Figure 34: bassins versants : (A) Dayet Ifreh, (B) Dayet Aoua....45
Figure 35: bassins versants : (A) Dayet Iffer, (B) Dayet Aguelmame....45
Figure 40: bassins versants : (A) Tiguelmamine, (B) Aguelmame Tifomasine....46
Figure 41: bassins versants : (A) Aguelmame Wiwane, (B) Aguelmame Tidouit....46
Figure 44: ligne de crête qui entoure Aguelmame Sidi Ali....47

Introduction

L'hydrographie peut être définie comme une discipline qui étudie les réseaux hydrographiques et les étendues d'eau. Une étude hydrographique d'une région donnée s'effectue sur les cours d'eau, les lacs et toutes les formes d'eau qui appartiennent à cette région. A la fin de l'étude on établit des bases de données correspondantes à la zone ciblée. Pour le cas du Maroc, généralement la majorité des bases de données hydrographiques sont anciennes pour plusieurs régions et inexistantes pour d'autres, ce qui demande une mise à jour de ces bases de données.

La mise à jour des données hydrographiques consiste à renouveler les données déjà existantes en utilisant des nouvelles méthodes. Pour le cas de notre projet, la zone ciblée est la chaîne moyenne atlasique qui a besoin d'une base de données hydrographique récente, plus précise et adéquate aux prochains projets réalisés sur une partie ou l'ensemble du Moyen Atlas.

Sa situation au cœur du Maroc, dans une zone de pluviométrie très élevée, confère au Moyen Atlas le caractère de « château d'eau », tant du point de vue hydrogéologique qu'au point de vue hydrographique. Il est considéré comme le réservoir d'eau du Maroc et possède plusieurs petites retenues d'eau et lacs souvent peu connus et généralement à l'abri des perturbations d'origine anthropique (Benkaddour, 1993).

Toute cette richesse hydrologique doit être sauvegardée par une base de données avec un suivi et une mise à jour, chose qu'on va faire dans cette étude qui s'inscrit dans le cadre de projet de fin d'étude du cycle Master spécialisé en Géo-ressources et Environnement. Ce projet a comme objectifs :

- La mise à jour des données hydrographiques du Moyen Atlas : pour aboutir à cet objectif on va exploiter des MNT de la zone étudiée, avec l'adoption des cartes topographique dressées en 1985 comme références ;
- Créer une carte hydrographique du Moyen Atlas : en exploitant les données issues de la mise à jour on va dresser une carte hydrographique récente consacrée au Moyen Atlas ;

Ce travail s'articule en quarte chapitres :

- Chapitre I : consacré à une présentation géologique du Moyen Atlas ; la description de la série lithologique, l'historique tectonique et les activités volcaniques déjà enregistrées ;
- Chapitre II : réservé à une étude hydrologique du Moyen Atlas, son climat, ses bassins hydrographiques, ainsi que les lacs et les dayets existants ;
- Chapitre III : réservé à la méthodologie suivie dans ce travail et l'outil utilisé pour aboutir aux objectifs menés ;
- Chapitre IV : consacré à la présentation des résultats de ce travail et les synthèses qu'on peut tirées ;

Le Moyen Atlas est une chaîne de montagne appartient au domaine méséto-atlasique qui se trouve au centre du Maroc. Dans ce chapitre on va présenter la géologie de cette chaîne, comprenant la lithologie, la tectonique et aussi le volcanisme, tout cela sera utile pour définir la nature des terrains moyens atlasiques et lier cette nature avec l'hydrologie de la zone d'étude.

I. Aperçu général sur le Moyen Atlas

Lors de son évolution dans les temps géologiques, le Maroc a connu plusieurs cycles orogéniques (cycle précambrien, hercynien et alpin). Ces cycles sont à l'origine de la subdivision structurale du Maroc en quatre domaines structuraux qui sont du nord vers le sud : Le domaine rifain, le domaine atlasique le domaine mésétien et le domaine anti-atlasique. (Piqué et Michard, 1989).

Le Moyen Atlas (Fig.1) est une chaîne montagneuse intracontinentale orientée NE-SW et allongée sur environ 350 km, il fait partie du domaine atlasique. Cette chaîne est délimitée par la plaine de Saïs et le front de la nappe rifaine au nord et par le bassin de Guercif au nord-est, les hauts plateaux à l'est et la méséta côtière à l'ouest, enfin la dépression de la Moulouya au sud et sud-est (Arboleya et al., 2004).

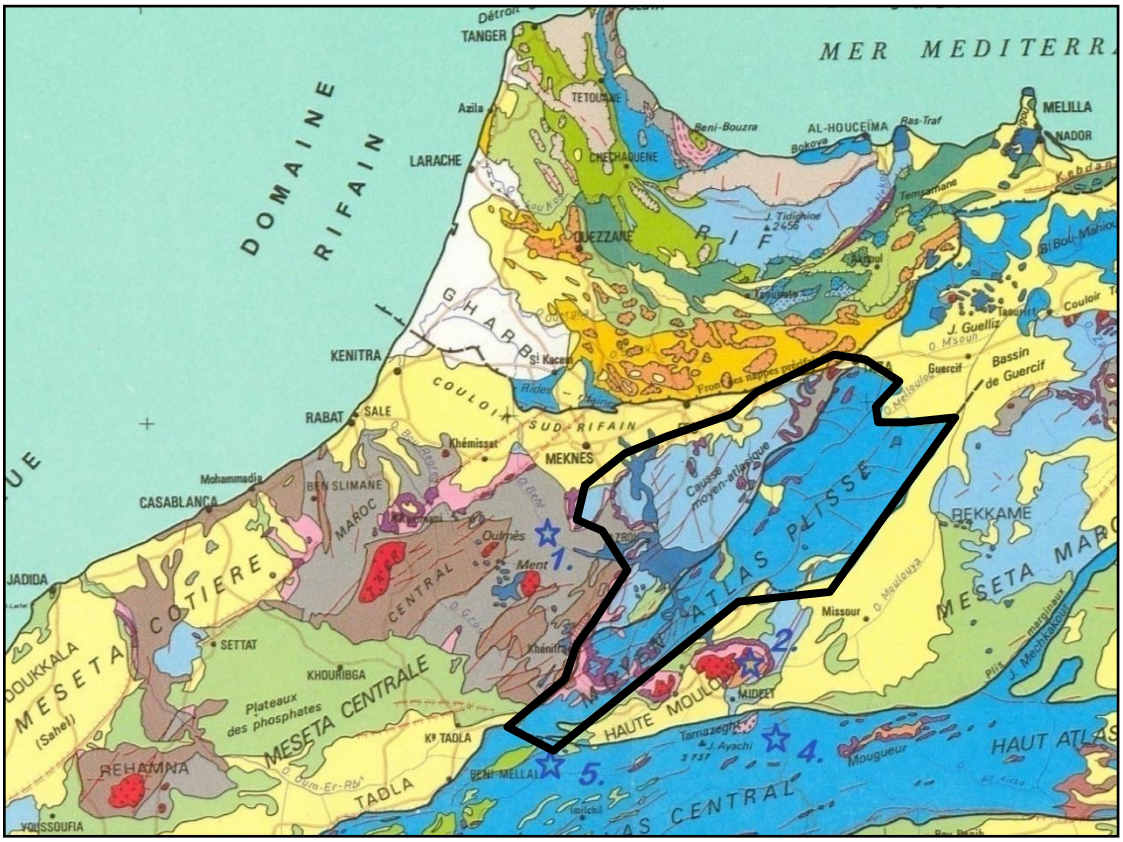


Figure 1: Localisation du Moyen Atlas

La majeure partie de la région du Moyen Atlas est constituée par la couverture mésozoïque et les formations tertiaires (Arboleya et al., 2004). Ces affleurements reposent sur un substratum paléozoïque (Du Dresnay, 1988 in Benkaddour, 1993).

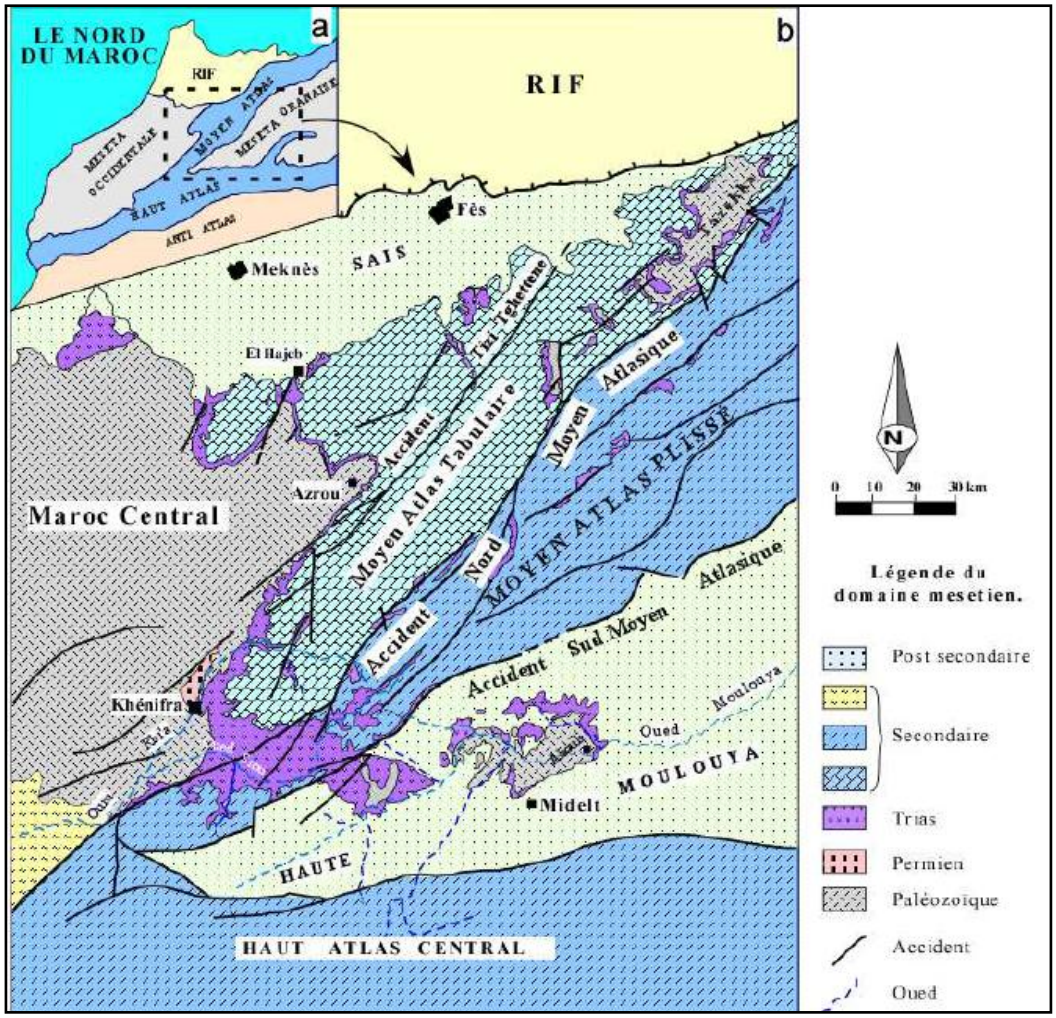


Figure 2: a-carte du Nord du Maroc montrant les grands domaines structuraux. b- Carte géologique simplifié du Moyen Atlas et les structures autours (Harmand, Moukadiri, 1986)

II. Grands entités structuraux 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 causse moyen atlasique au NW et le Moyen Atlas plissé au SE (Fig. 2,3).

1. Causse moyen atlasique.

Le Causse moyen atlasique offre les paysages classiques de hauts plateaux calcaires, d'où l'appellation de causse. 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 de Khénifra-Azrou 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. Moyen Atlas plissé.

Le Moyen Atlas plissé correspond à la partie est de la chaîne et se distingue du causse 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 dépocentres 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 couvets par formation post-secondaire.

III. Lithologie et stratigraphie

1. Terrains paléozoïques

Les formations paléozoïques affleurent généralement dans le massif de Tazekka et les boutonnières d'El Hajeb, de Bsabis, d'El Manzel, de Krrouchen…etc. ces terrains ont des âges qui varient entre l'ordovicien et le carbonifère (fig, 3).

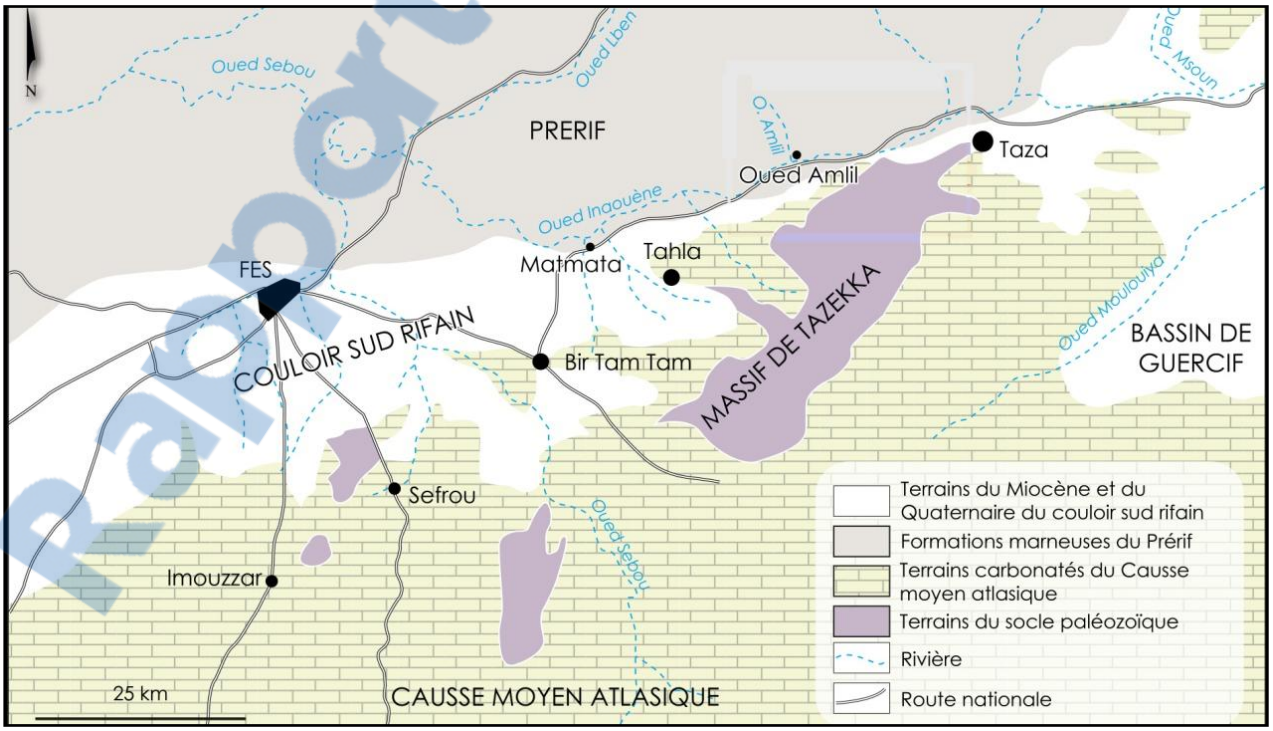


Figure 3: Carte schématique du causse moyen atlasique avec l'affleurement le Massif de Tazekka et d'autres boutonnières d'âge paléozoïque (Mouhssine, 2015)

Rapport-Gratuit.com

2. Couverture méso-cénozoïque

2.1. Permo-trias

Le Permo-trias du Moyen-Atlas présente généralement l'association de trois termes : détritique et argilo-salifère à la base, basaltique dans la partie moyenne, argilo-salifère au sommet. Le Permo-trias est nettement discordant sur les formations paléozoïques qui lui sont sous-jacentes ; son épaisseur varie entre quelques centimètres à quelques dizaines de mètre, comme il peut s'absenter dans plusieurs régions (Robillard, 1978).

2.2. Lias

2.2.1. Lias inférieur

Le Lias inférieur est représenté par des formations à faciès dolomitiques et calcairo-dolomitiques, massives. Il caractérise un régime généralement stable du point de vue tectonique et sédimentologique. Ce type de formations affleure très largement tant dans le domaine du Causse moyen-atlasique, que dans le domaine du Moyen-Atlas plissé (Colo, 1961).

2.2.2. Lias moyen

Au Lias moyen s'instaure une sédimentation franchement calcaire où les variations de faciès sont importantes.

L'abondance des Ammonites et la variété des faciès pétrographiques au sein de ces calcaires autorisent la subdivision en deux sous-étages : le Carixien et le Domérien.

La limite Carixien-Domérien se place au-dessus des premiers Protogrammoceras à côtes fines et serrées. Cette coupure paléontologique est accompagnée d'une variation de faciès : les calcaires noirs du Carixien passant aux calcaires gris à intercalation marneuse du Domérien (Colo. 1961).

2.2.3. Lias supérieur

Dès le début du Lias supérieur (Toarcien), on assiste à un changement très important dans la sédimentation. Après les faciès carbonatés du Lias inférieur et moyen, la sédimentation devient marneuse, instaurant un régime de "vasière" (Benzaquen M., 1965), qui va se poursuivre jusqu'à 1'Aalénien-Bajocien inférieur.

2.3. Bajocien moyen-supérieur

Il est représenté par des formations non datées paléontologiquement. Mais par analogie de faciès, et par référence à la carte géologique du Maroc au 1/500.000 (feuille Rabat), et à la carte géomorphologique de J. Martin (1973) :

- le faciès marneux verdâtre à fins interlits gréso-calcaires serait homologue des "marnes de Boulemane", que H. Termier (1936) a attribué au Bajocien moyen ;
- la formation calcaire récifale qui leur est sus-jacente, correspondrait par conséquent au "calcaire corniche" d'âge bajocien supérieur (Arthaud et al., 1977) ;

2.4. Bathonien-Paléocène

Il est marqué par des dépôts marno-calcaires, suivi par des dépôts détritiques. (Arthaud et al., 1977)

2.5. Eocène

L'Eocène, qui, dans le synclinal d'Aïn Nokra, se présente sous deux faciès différents (laguno-lacustre à la base, et marin au sommet), a, dans le synclinal de Timahdit-Guigou, à l'ouest du Jbel Ben Ij, un faciès marin (calcaire contenant des dents de requins). (Fedan, 1988)

2.6. Oligocène

Il correspond à un conglomérat polygénique et hétérométrique qui remanie des éléments peu roulés (faible transport) de dolomies et de calcaires à silex liasiques, et de calcaires éocènes. (Martin, 1973)

2.7. Miocène

Le Miocène valide sa présence par des dépôts marins miocènes, discordants sur l'ensemble méso-cénozoïque atlasique, viennent oblitérer les structures au S de la ville de Taza : "Le Détroit sud-rifain". (L. Gentil (1911)

Il est caractérisé lithologiquement par : des grès calcarifères, des galets bien roulés de roches jurassiques et paléozoïques, des grès calcaires jaunes, des grès sableux et argileux, des argiles un peu marneuse et des poudingues à galets de roches jurassiques et paléozoïque.

2.8. Oligo-pliocène

Il est représenté par des conglomérats; il est par toujours présent dans la série stratigraphique.

2.9. Quaternaire

Il correspond à des alluvions, et à un fragment de coulée résiduelle de basalte "vacuolaire" qui emballe des éléments de dolomie et de calcaire à silex liasiques, de calcaire éocène et de conglomérat oligocène. Il correspond aussi à les masses d'éboulis parfois très importantes, les dépôts fluviatiles dus aux oueds. Il convient d'attribuer au Quaternaire les formations de travertins, ou tufs calcaires. (Termier, 1936)

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

3. Log synthétique du Moyen Atlas

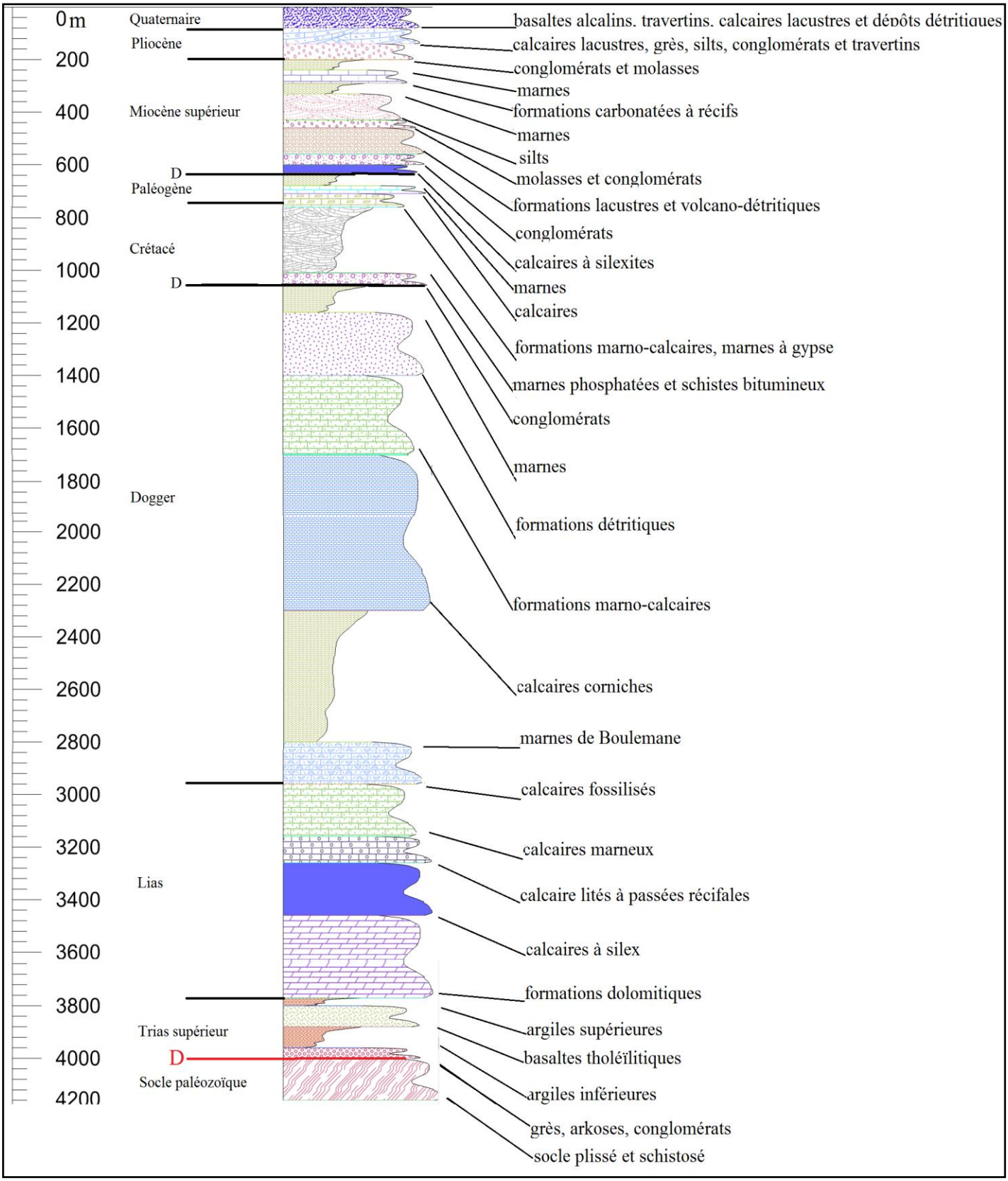


Figure 4: log litho-stratigraphique du Moyen Atlas (Hinaje, 2004)

IV. Tectonique

Le moyen atlas a vécu des différents mouvements tectoniques, chaqu'une des deux entités atlastiques a son propre mouvement, plus ou moins différent que l'autre, et ces deux structures sont séparées par l'Accident Nord Moyen Atlasique.

1. Causse moyen atlasique.

La couverture liasique est fréquemment ondulée: ce sont des bombements, des cuvettes évasées, des chaînes qui accidentent les plateaux s'étageant en paliers successifs reliés par des flexures peu marquées.

Plus encore que ces mouvements souples, la tectonique cassante joue un rôle morphologique fondamental. Les moindres fractures ont guidé le réseau hydrographique. Des failles de plus ou moins à grande ampleur délimitent les escarpements des bordures. Toute la région est hachée de failles qui exagèrent les synclinaux qui deviennent des fossés tectoniques, dénivellent des blocs monoclinaux. Les directions les plus fréquentes sont SW-NE et NS ainsi qu'EW entre Oum Er-Rbia et Srou.

I1 faut ajouter que de grands mouvements de gauchissement ont basculé d'énormes panneaux: par exemple le Causse d'Ain Leuh plonge doucement vers le NE et tourne le dos au Causse d'El Hammam qui s'incline vers le SW (Lepoutre et Martin, 1967).

2. Moyen Atlas plissé.

L'analyse de la déformation tectonique dans les terrains méso-cénozoïques du moyen atlas plissé a permis de mettre en évidence plusieurs phases tectoniques, parmi lesquelles la phase tectonique d'âge miocène inférieur, celle-ci est caractérisée par un axe σ1 horizontal et orienté N 30, un axe σ2 vertical et un axe σ3 horizontal orienté N120, avec des permutations des axes donnant des épisodes tectoniques. Cette phase tectonique est représentée sur le terrain par des structures et microstructures tectoniques. Il s'agit des failles normales orientées N10 à N50, des fentes de tension parallèles et rectilignes de même direction, des décrochements dextres subméridiens, des décrochements sénestres N60 à N90, des plis N110 à N130, des failles inverses N100 à N140 et une schistosité de fracture orientée en moyenne N120. Les directions des axes des contraintes restent presque les mêmes, avec des permutations des axes σ1- σ2 et σ2 – σ3. (Hinaje, 2004)

3. Accident Nord Moyen Atlasique.

La zone d'accident nord moyen atlasique, située à la limite entre la chaîne plissée et le causse sub-tabulaire, se décompose en deux branches longitudinales de direction NE-SW. Ces deux dernières sont recoupées par des failles transversales orientées NW-SE, à jeu senestre.

L'accident le plus oriental met successivement en contact le Trias avec l'Eocène puis l'Oligocène. Vers le nord-est où il n'affecte, à l'affleurement, que l'Eocène, son parcours est souligné par une zone très silicifiée et brèchifiée.

L'accident le plus occidental, met en contact le Lias inférieur avec le Trias. Ce contact est souligné par des brèches hétérométriques et polygéniques, comprenant des dolomies et des calcaires à silex liasiques, des argilites triasiques. Vers l'extrémité nord-est du secteur, il n'intéresse que les dolomies liasiques. (Fedan, 1988)

4. Autres accidents

L'accident de Dayet Aoua qui sépare le causse moyen atlasique et le bassin de Saïs près de la boutonnière de Kandar.

L'accident de Tizi N'Tretten divise le causse moyen atlasique en deux parties, et il sépare les dépôts du Lias inférieur de la chaîne, des dépôts néogènes du couloir sud rifain.

L'accident sud moyen atlasique ou accident d'Aït Oufella qui sépare le Moyen Atlas plissé de la méséta orientale et la plaine de la Moulouya.

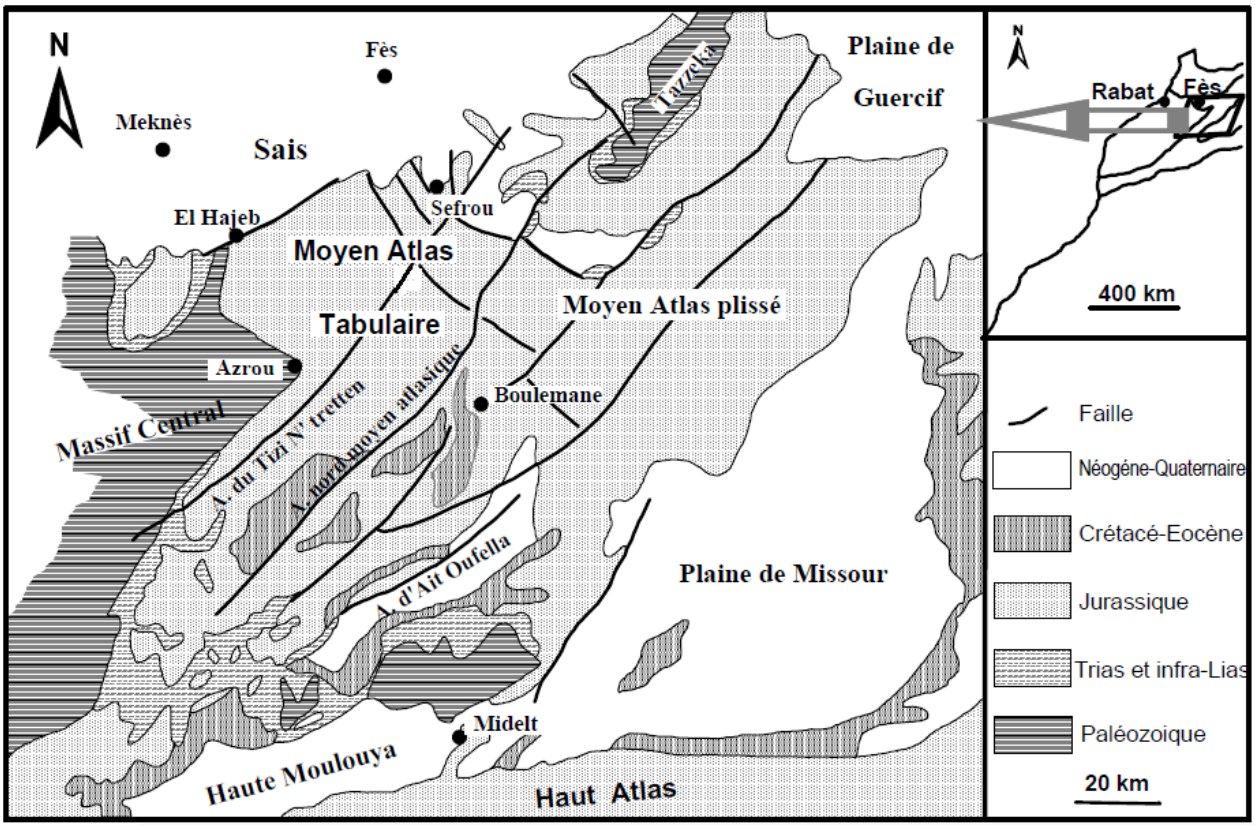


Figure 5:Carte structurale simplifiée du Moyen Atlas (Carte géologique du Maroc au 1/1000 000)

V. Volcanisme du Moyen Atlas

Il s'agit d'un volcanisme attribué à l'orogenèse alpine (= rifo-atlasique). Les datations radiométriques effectuées (Harmand et Cantagrel, 1984) ont donné pour le volcanisme plio-quaternaire des âges compris entre 1,8 et 0,5 Ma attestant que l'activité magmatique dans ce domaine a duré plus d'un million d'années. C'est un volcanisme alcalin effusif ayant émis un volume d'environ 80 Km3 qui couvre une surface estimée à 1500 Km2 (Martin, 1981).

Le volcanisme quaternaire du Moyen Atlas est représenté avec de rares volcans dans le Moyen Atlas plissé mais il est surtout concentré (80%) dans le causse (entre El Hajeb et Timahdit) où il déborde vers le Nord dans la plaine du Saïs (avant-pays rifain) et vers le Sud dans la Haute Moulouya. A l'Est, les coulées sont canalisées par la dépression de l'oued Guigou alors qu'à l'ouest, les coulées longent les lits des oueds Beht et Oum Er Rbia sur plusieurs dizaines de kilomètres. Environ une centaine d'édifices volcaniques, alignés selon une direction subméridienne (N170), composent cette province volcanique du causse moyen atlasique. (Harmand et Moukadiri, 1986).

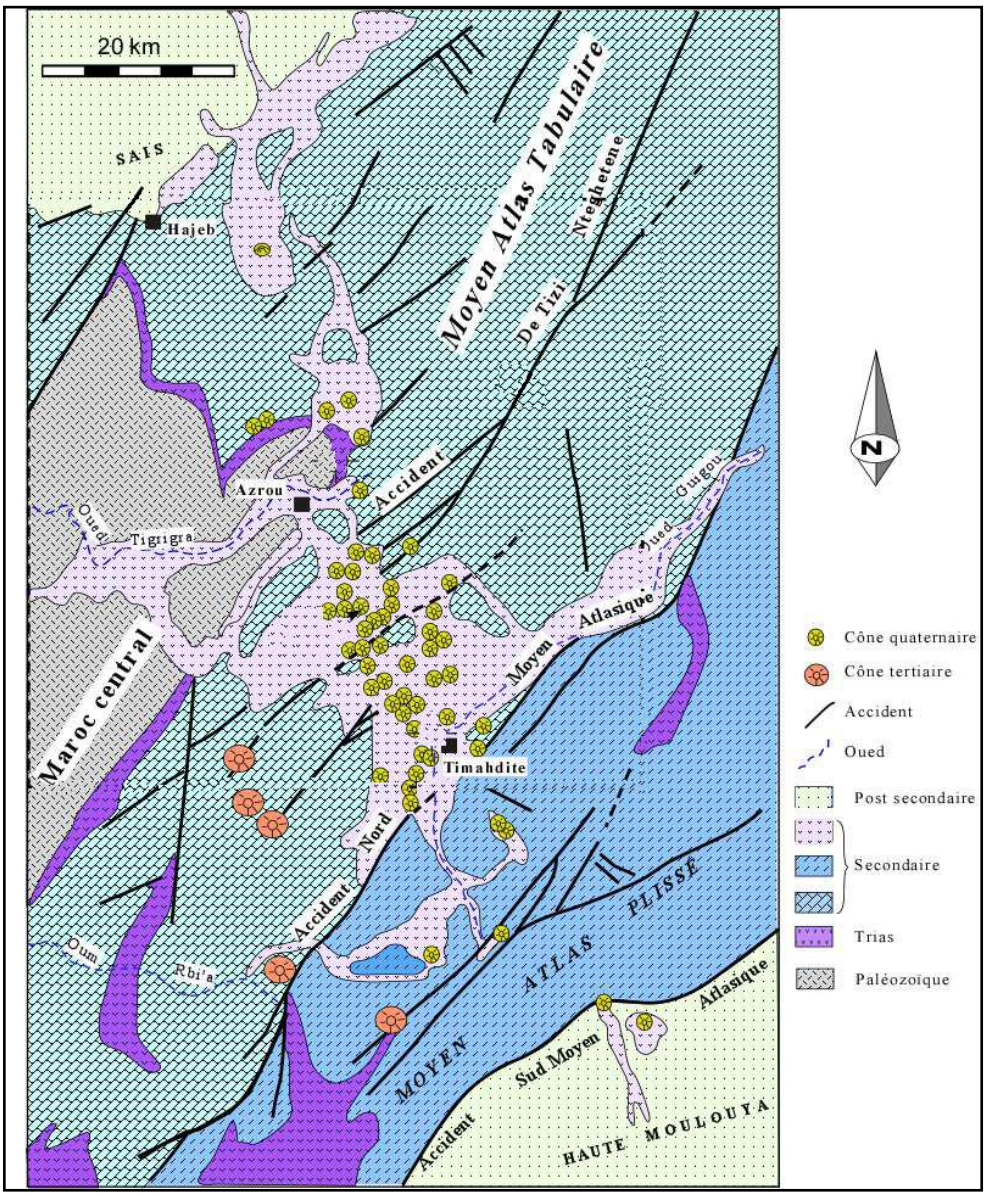


Figure 6: Carte géologique simplifiée du Moyen Atlas avec les cônes existants (Harmand, Moukadiri, 1986)

Conclusion

Le Moyen Atlas est une chaîne intracontinentale, faisant partie du domaine atlasique, il est formé par deux grandes structures qui sont : le causse moyen atlasique et le Moyen Atlas plissé, les deux sont séparées par l'accident nord moyen atlasique. Les formations qui constituent le Moyen Atlas sont, de plus ancienne à la plus récente :

- Les formations paléozoïques qui affleurent dans les boutonnières ;
- Les formations triasico-liasiques qui affleurent autour des terrains paléozoïques et aussi le longs des grands accidents ;
- Les formations du Jurassique inférieur et moyen formant l'essentiel de la chaîne moyenne atlasique ;
- Les formations crétacées localisées au centre du Moyen Atlas ;
- Le Miocène affleurent dans la partie NW de la chaîne ;
- Le Plio-Quaternaire qui se présente près des grands accidents et à la périphérie de la chaîne ;

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

Au cours du Plio-Quaternaire il y a eu des activités volcaniques dans le Moyen Atlas, surtout dans le causse moyen atlasique, avec des roches volcanique formées essentiellement par des basaltes alcalins.

Chapitre II : Contexte bioclimatique et hydrologique

L'hydrologie d'une zone est liée au climat qui règne dans cette zone. Pour notre étude, on se focalise sur le cas du Moyen Atlas, qui est une chaîne montagneuse avec un climat bien définie qu'on va conférer dans ce chapitre, puis on va voir l'activité hydrologique du Moyen Atlas, les grands bassins versants qui interviennent dans cette activité, puis on va discuter la genèse des lacs existants et les études déjà réalisées sur ces retenus d'eau ; sans oublier de mentionner les types de végétation liés au climat dominant.

I. Cadre climatique

Le climat qui règne dans le Moyen Atlas est de type méditerranéen de montagne, il se caractérise par un climat humide et froid. Ce climat particulier du Moyen Atlas est du essentiellement à sa position altitudinale, sa situation géographique et son exposition aux influences marines (Martin, 1981). Les nuages venant de l'ouest donnent des précipitations abondantes (pluie, neige) au contact du Moyen Atlas. La barrière naturelle que forme la chaîne Atlasique crée une dissymétrie sur le plan climatique : la façade atlantique exposée aux vents venant du NW est plus arrosée ; quant à la façade SE qui est soumise à l'influence du climat saharien (Baali, 1998).

1. Précipitations

Les précipitations au niveau du Moyen Atlas peuvent être sous diverses formes (pluies ou neige) selon l'altitude. Généralement la neige apparaît à partir de 1200 m ; mais cette limite connaît des fluctuations altitudinales selon les années (Baali, 1998). Les mesures pluviométriques effectuées dans une vingtaine de stations, entre 1979 et 2009, ont permis de tracer les isohyètes de la figure ci-dessous (Kabbaj et Combe, 1977).

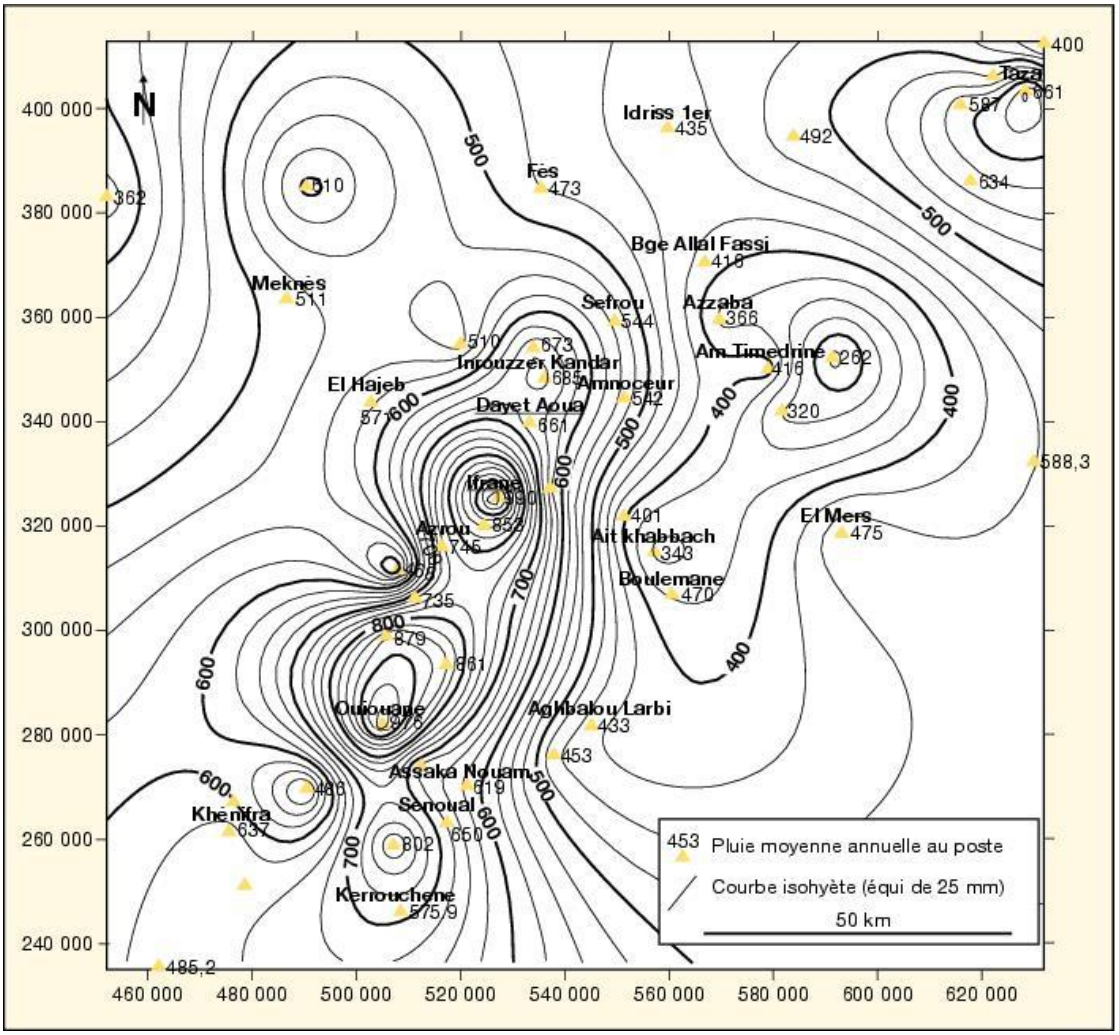


Figure 7: Carte des isohyètes du Moyen Atlas pour la période 1979-2009 (El Jihad, 2010)

Ces isohyètes mettent en évidence une zone à pluviométrie élevée qui s'étend de la bordure occidentale du Causse depuis Immouzer Kandar au nord jusqu'à Ouiouane (Wiwane) au sud, incluant Ifrane et Azrou. Cette zone comprend les premiers reliefs occidentaux constituant une barrière contre laquelle viennent buter les vents humides de l'océan, elle reçoit une quantité de précipitations assez élevée (de 700 à 1150 mm) par rapport aux basses terres voisines dont la lame d'eau tombée annuellement ne dépasse guère 700 mm (Baali, 1998). De ce fait, le Moyen Atlas n'est pas donc une entité homogène, et présente de fortes variations orientées principalement par l'orographie, les précipitations décroissent rapidement en direction du Moyen Atlas plissé (Benkaddour, 1993).

Les précipitations des neiges les plus prolongées se produisent dans la façade ouest de l'escarpement d'Azrou et dans la zone sud du Moyen Atlas. La fonte de ces neiges est due à des vents chauds venant du Haut Atlas et du Sahara orientale à la fin du mois de mars et avril. La décharge enregistrée pour oued Sebou ou oued Oum Er-Rbia reflète la fonte des neiges avec un pic en mois d'avril d'environ 90 m^3/s (Maxted, 1989 *in* Rhoujjati, 2007).

2. Température

Le Moyen Atlas est une région où la température est principalement influencée par l'altitude, elle est plus basse par rapport aux plaines et plateaux avoisinants (plaine de Saïs et plateau de Moulouya) ayant des températures moyennes annuelles plus élevées : 17,8 °C à Fès et Meknès (altitude de 400 à 530 m) et 17,3 °C à Khénifra (860 m d'altitude). En général, la température est caractérisée non seulement par sa variabilité d'un point à l'autre, mais aussi par de grands écarts entre les températures maximales et minimales journalières, mensuelles ou annuelles (Baali, 1998).

La température moyenne annuelle sur l'ensemble des Causses est de 12 °C. La moyenne annuelle des températures minimales relevées au cours de la saison des pluies (d'Octobre à Mai) est de 3,8 °C à Ifrane, 6,9 °C à Imouzzer et 9,4 °C à Azrou. Alors que dans les régions voisines, la moyenne annuelle des températures minimales sont plus élevées : 11,1 °C à Fès, 10,8 °C à Meknès et 9,1 °C à Khénifra (Rhoujjati, 2007).

3. Vent

Les vents dominants soufflent dans deux sens presque opposés. De l'Ouest vers l'Est souffle le Gharbi, vent humide dominant en hiver. De l'Est vers l'Ouest souffle le Chergui, vent sec et chaud dominant au printemps et en été (Baali, 1998). Le régime des vents a certainement un rôle important dans le mélange des eaux des lacs notamment les moins profonds (Rhoujjati, 2007).

I. Cadre hydrologique

Le Moyen-Atlas, château d'eau du Maroc par excellence, est la chaîne montagneuse la mieux arrosée et la plus riche en zones humides, notamment en lacs naturels, en rivières et sources fraîches qui offrent des habitats écologiques variés et favorisant une grande biodiversité (Chillasse et Dakki, 2004).

Cette richesse en écosystèmes aquatiques est due essentiellement à la situation du Moyen Atlas dans une zone à pluviométrie importante recevant des précipitations plus abondantes ainsi qu'à la prédominance des formations géologiques carbonatées (calcaire, dolomie et calcaire-dolomitique) favorisant la création de nombreuses galeries karstiques souterraines et plusieurs grottes et gouffres qui assurent l'écoulement souterrain de l'eau, la formation des lacs et l'alimentation des eaux courantes. Les précipitations (pluie et neige) sont très abondantes (800 mm/an en moyenne) et 20 à 40 % des eaux qui coulent, s'infiltrent facilement dans les calcaire et les dolomies du Lias (Lepoutre et Martin, 1967).

1. Bassins hydrauliques

Le Moyen Atlas se répartit sur quatre grands bassins hydrographiques qui correspondent à la Moulouya, le Sebou, l'Oum Er-Rbia et le Bouregreg.

Rapport-Gratuit.com

1.1. Sebou

Le bassin de Sebou forme une cuvette entre le Rif au Nord, le moyen Atlas et la meseta au sud, le couloir Fès-Taza à l'Est et l'océan Atlantique à l'Ouest. Ayant une longueur totale de 614 km depuis sa source, il a à son amont les eaux de la rifaine (Oued Leben affluent de l'Oued Inaouen, lui-même affluent de Sebou et Oued Ouargha) et celles des crêtes (Oued Guigou, Oued Zloul, Oued Mikkés). Après avoir traversé les collines pré-rifaines, le Sebou débouche dans la plaine du Gharb, où il va recevoir l'Oued Beht et l'Oued R'dom au Sud. Il rejoint l'Atlantique près de Kénitra à Mehdia. (Belkhiri, 2007)

Le bassin renferme près du tiers des eaux de surface du Pays et peut être subdivisé de point de vue hydrologique en quatre ensembles :

- le Sebou issu du moyen Atlas et constitué par les bassins du haut Sebou (6000 km2), de l'Inaouen (5200 km2) et du moyen Sebou (5400 km2);
- l'Ouargha qui a une superficie de l'ordre de 7300 km2 ;
- le Beht qui a une superficie de l'ordre de 9000 km2, reçoit l'oued R'dom avant de rejoindre le Sebou dans la plaine du Gharb ;
- le bas Sebou, dont la superficie couvre environ 6000 km2, et qui constitue un chenal instable et insuffisant pour supporter les débits de crues.

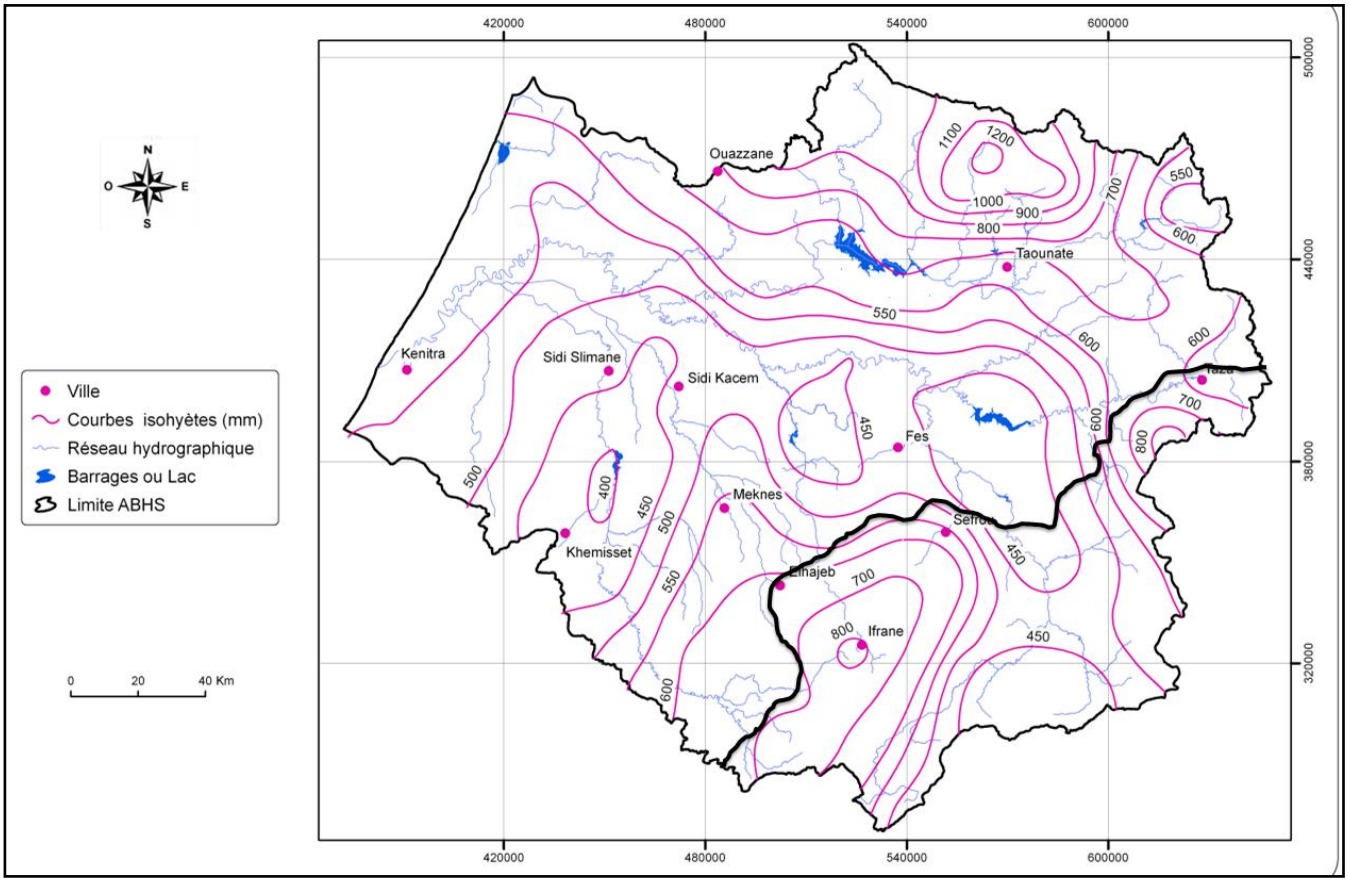


Figure 8:Bassin de Sebou (réseau hydrographique et courbes isohyètes) avec la limite du Moyen Atlas (PDAIRE 2005)

1.2. Bouregreg

Le Bouregreg est l'un des principaux cours d'eau du Maroc. Il prend naissance dans le Moyen Atlas et le massif central marocain, et il chemine vers le littoral atlantique à travers la meseta côtière. Son bassin versant est limité au nord-est par le bassin du Sebou, au sud par celui de l'Oum-Er-Rbia, au sud-ouest par les bassins des oueds côtiers (oued Cherrat, oued N'Fifikh, et oued Malleh) et s'ouvre vers l'ouest sur l'océan Atlantique. (Bounouira, 2007)

Le réseau hydrographique est composé essentiellement de deux grandes rivières:

- Oued Bouregreg ;
- Oued Grou et ses affluents : Akrech et Korifla.

Le potentiel du bassin du Bouregreg en eau est évalué à 680 Mm3/s et comporte le grand barrage "Sidi Mohamed Ben Abdellah", outre sept barrages collinaires : Aird, Ait Lamrabtia, Bouknadel, Mahrouk et N'khila à El Khémisset, Ain Tourtoute, et Tskrame à Khénifra. (ABHB, 2010)

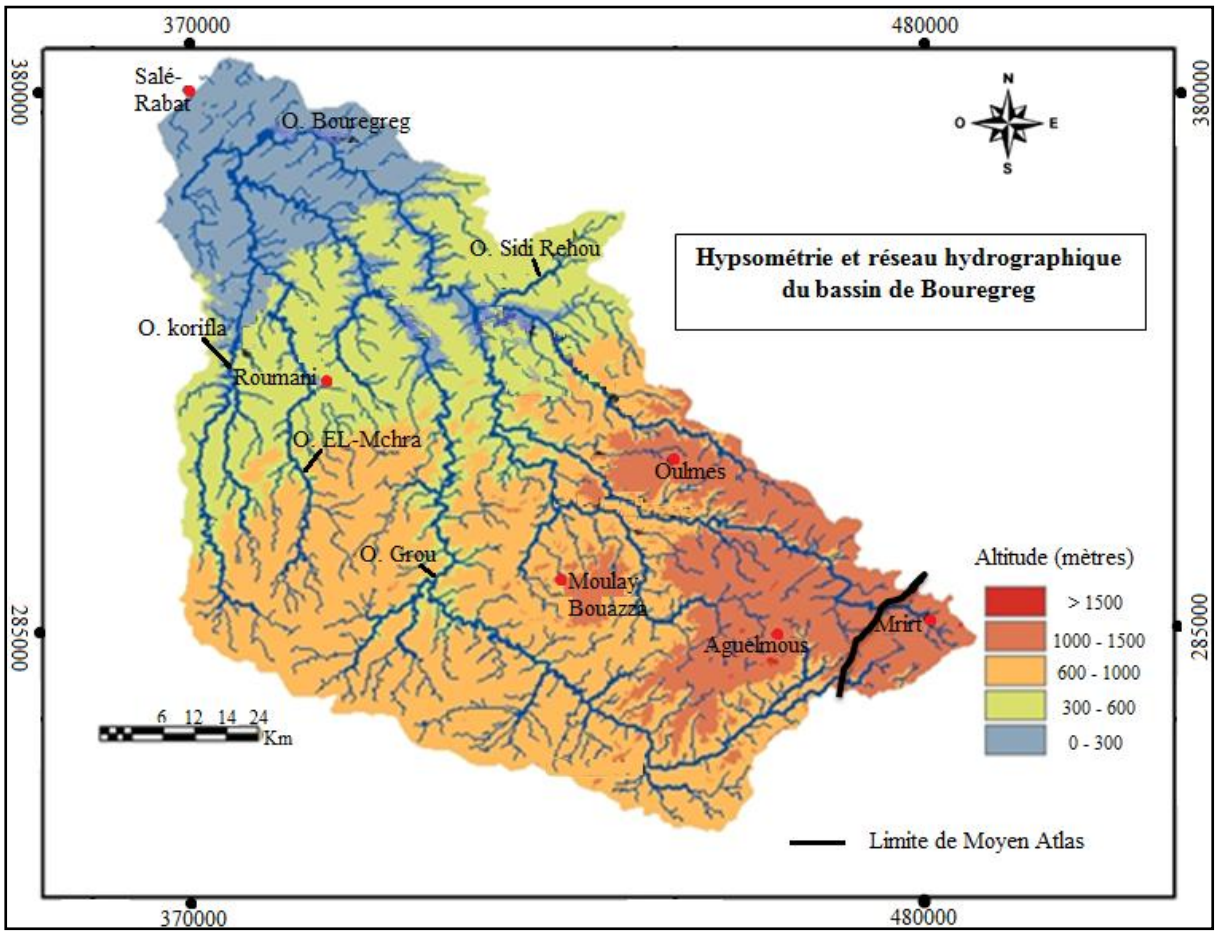


Figure 9: Bassin de Bouregreg (réseau hydrographique et hypsomètrie) avec la limite du Moyen Atlas (Benabdefadel, 2007)

1.3. Oum Er-Rbia

Le bassin de l'Oum-Er-Rbia s'étend sur une superficie de 35 000 km². L'Oued Oum Er-Rbia, d'une longueur de 600 km, prend son origine au Moyen Atlas à 1 240 m d'altitude et à 40 km de Khénifra,

Rapport gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

puis traverse la chaîne du Moyen Atlas, la plaine du Tadla et de Doukala-Abda, (la Meseta côtière) et se jette dans l'Océan Atlantique à environ 16 km de la ville d'El Jadida (Azemmour) (ABHO, 2007).

Ce bassin étant considéré comme un réservoir hydraulique pour une partie du pays, un ensemble des barrages y a été construit dont les principaux sont (El Jihad, 2010) :

- Barrage Tanafnit El Borj
- Barrage Bin El Ouidane
- Barrage Al Massira
- Barrage Imfout
- Barrage Daourat
- Barrage Sidi Said Maâchou

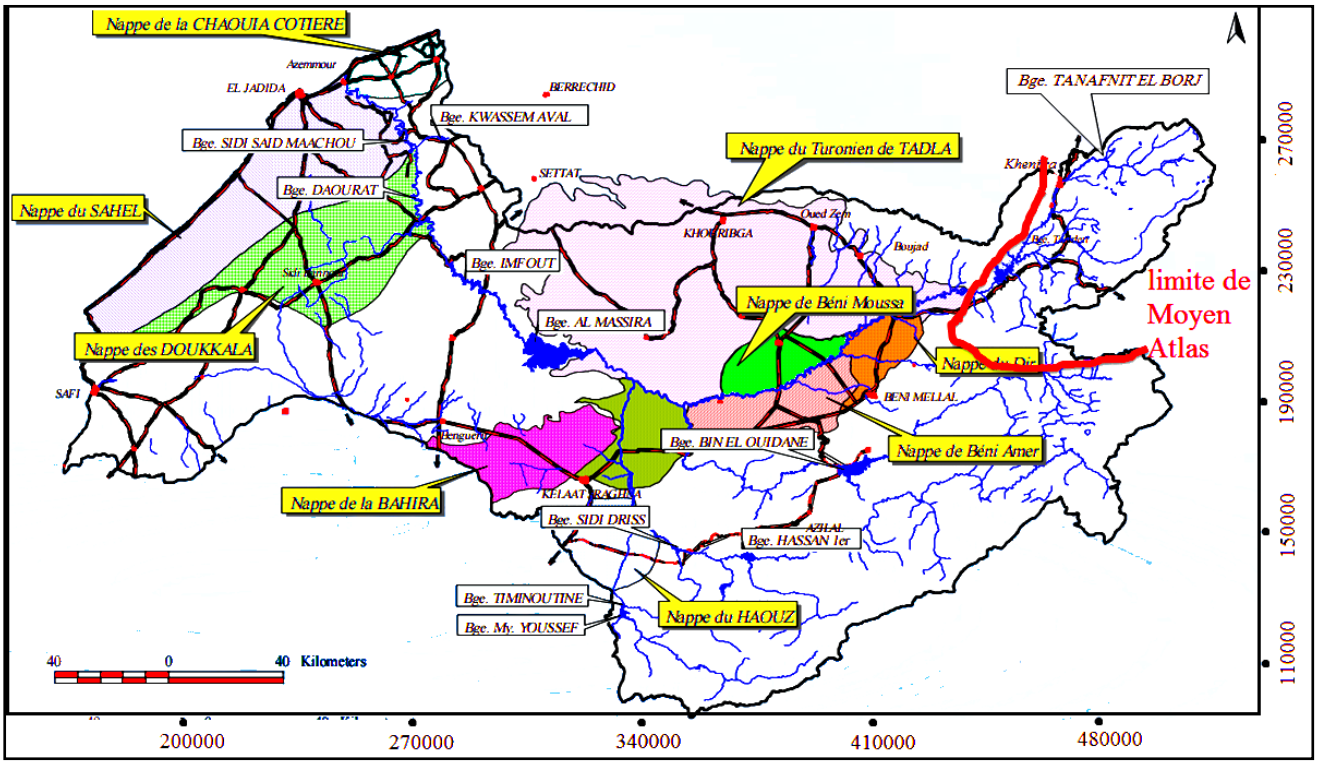


Figure 10:Bassin d'Oum-Er-Rbia (réseau hydrographique, nappes et barrages), avec la limite du Moyen Atlas (ABHO, 2007)

1.4. Moulouya

Le bassin hydraulique de la Moulouya s'étend sur 74 000 km^2. Il couvre les sous-bassins de la Moulouya, Kert, Isly, Kiss, Chott Tigri et une partie de la zone Bouarfa-Figuig. Son fleuve prend naissance à la jonction du massif du Moyen et du Haut Atlas dans la région d'Almssid dans la province de Midelt, il est long de 600 kilomètres et se jette dans la mer Méditerranée, dans la région du Rif (plaines de Kebdana) près de la ville de Saïdia, à Ras El Ma (province de Nador).

La fonction principale de ce bassin est de drainer les eaux du Rif oriental et du Moyen Atlas à l'ouest ainsi que le Haut Atlas au sud. Ce bassin compte cinq barrages (Mohammed V, Machraâ, Hammadi, Hassan II, Enjil et Arabat) (Melhaoui et Boudot, 2009).

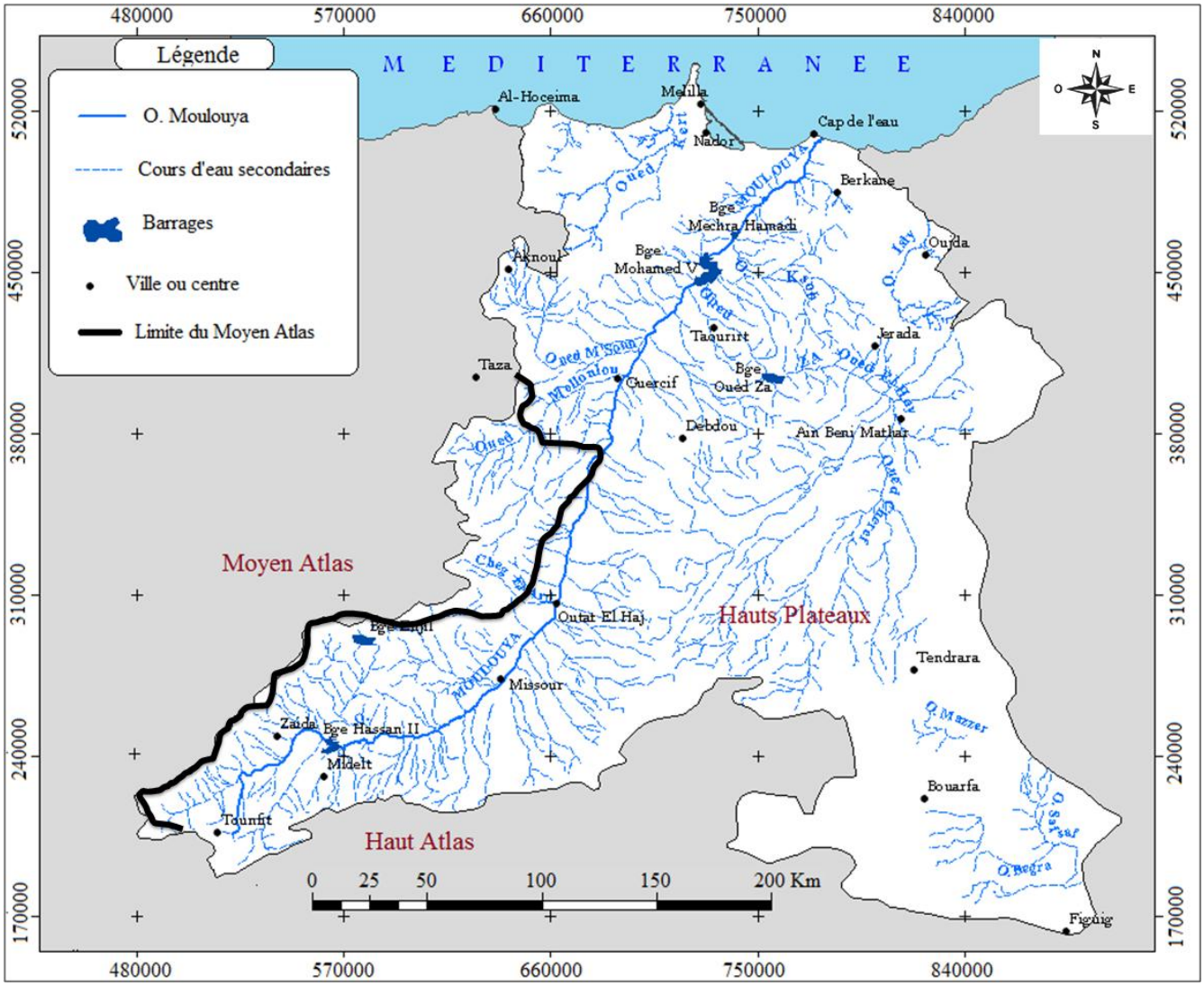


Figure 11: Bassin de la Moulouya (réseau hydrographique), avec la limite du Moyen Atlas (Melhaoui et Boudot, 2009)

1.5. Combinaison des quatre bassins

La chaîne du Moyen Atlas est emprisonnée entre les quatre bassins déjà mentionnés, elle représente une partie de la crête pour les quatre bassins. Après la combinaison et la liaison des cartes des bassins avec la délimitation du Moyen Atlas on obtient la forme suivante :

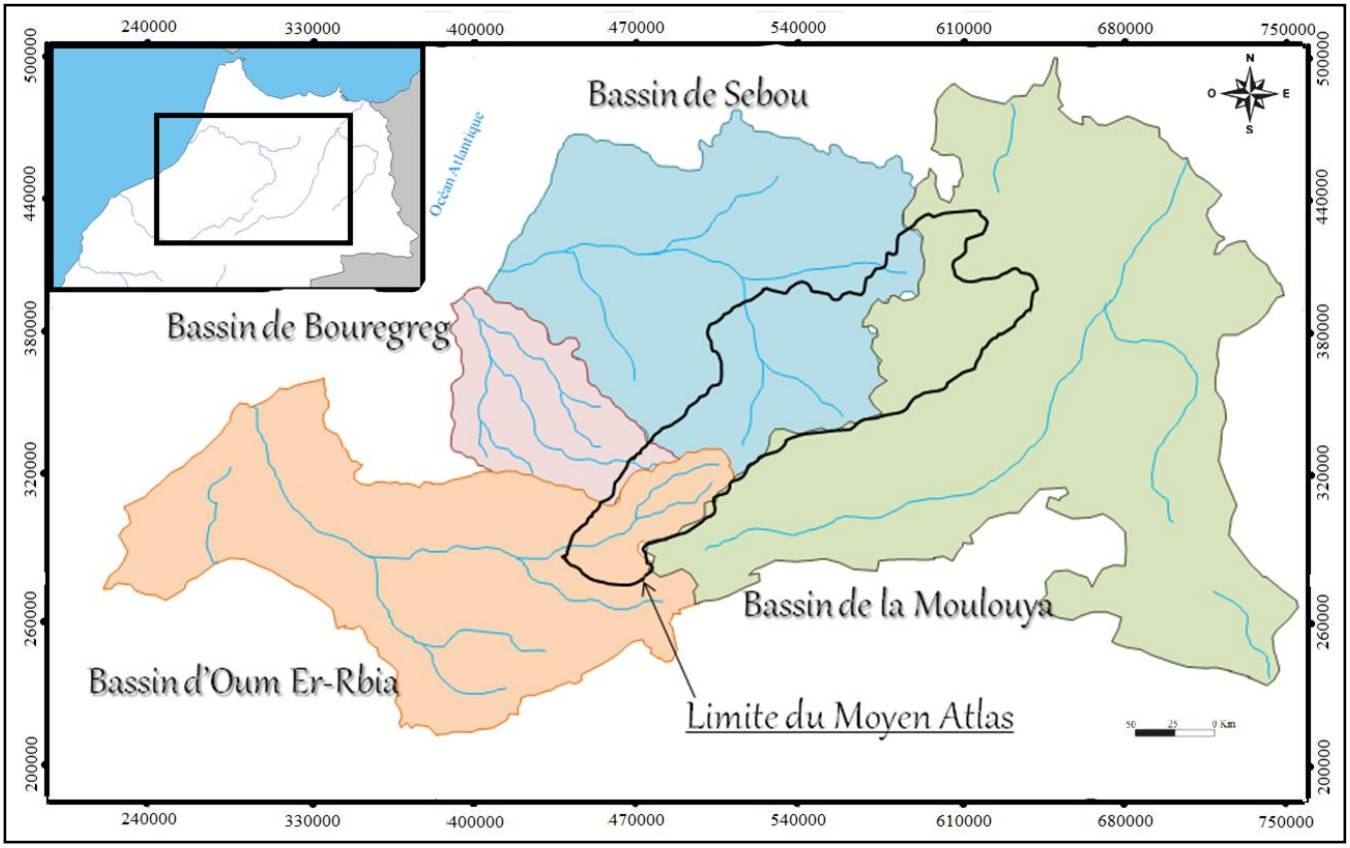


Figure 12: Combinaison des quatre bassins avec la limite du Moyen Atlas

La grande partie de la chaine appartient au bassin de Sebou, suivie par le bassin d'Oum Er-Rbia, puis le bassin de la Moulouya, et à la fin un petit morceau du bassin de Bouregreg.

2. Lacs

2.1. Aperçu général

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 et Ait Brahim, 2002).

La présence de nappes souterraines, captives ou non, dont témoigne l'abondance des lacs (dayets) permanents ou temporaires, est expliquée par le jeu de compartiments affaissés. Certains lacs n'ont pas d'exutoire subaérien (Ifrah, Iffer) et correspondent à des cuvettes de surcreusement spéléogénitiques. Les variations du niveau de la nappe se répercutent sur le niveau du lac. D'autres lacs (Aoua, Afourgah et Hachlaf) ont des émissaires qui ont provoqué une vidange partielle par capture (Lepoutre et Martin, 1967). Le Moyen Atlas comprend plus de 40 dayets ou lacs (Fig, 13) correspondants à des effondrements tectono-karstiques à remplissage fluvio-lacustres (Hinaje et Aït Brahim, 2002). La plupart des formes karstiques ont pris naissance dans les carbonates liasiques constituées des dolomies, calcaires et calcaires dolomitiques. La dissolution des carbonates du Causse est favorisée par leur intense fracturation, le climat d'altitude subhumide à humide à températures basses et les

accumulations hivernales de neige (Nicod, 1972). La carte (B) ci-dessous indique la localisation des principales dépressions lacustres dans le Moyen Atlas. La comparaison de cette carte avec celle de la pluviométrie (fig, 7) montre que parmi les facteurs qui sont à l'origine des dayets, le climat joue un rôle primordial. On remarque que ces dayets sont concentrées dans la zone la plus humide du Moyen Atlas, cette zone s'étend d'Immouzer de Kandar au Nord jusqu'aux environs de Midelt et Boumia au Sud. On s'éloignant de cette zone, surtout vers le Sud-est, les dayets deviennent moins fréquentes ou même absentes.

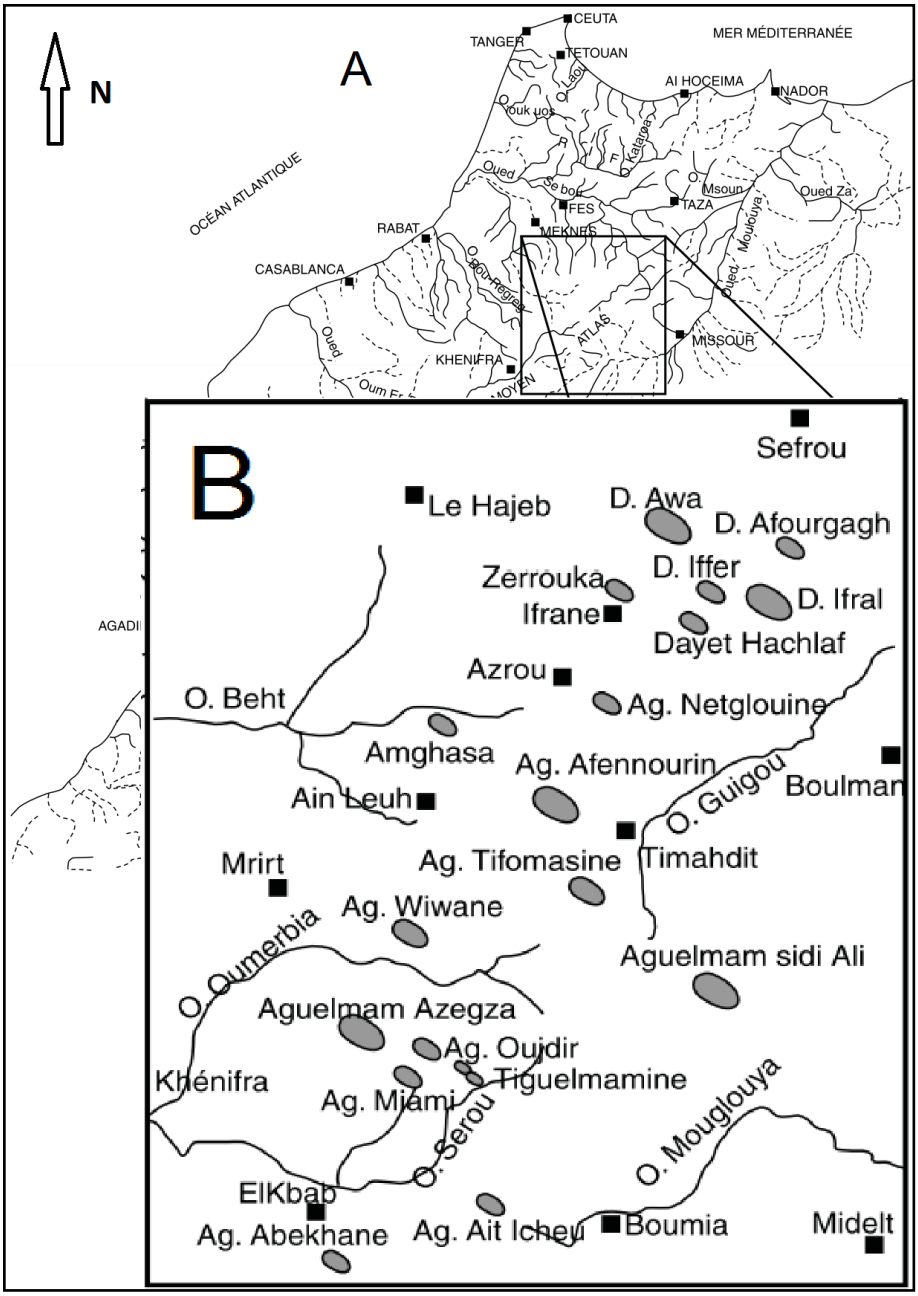


Figure 13: (A) Carte de réseau hydrographique dans la partie Nord et centrale du Maroc. (B) répartition des lacs et des dayets dans Moyen Atlas (Chillasse et Dakki, 2004).

2.2. Etudes antérieures

Plusieurs études ont été effectuées sur quelques lacs et dayets du Moyen Atlas, chaque étude s'est intéressée à un volet spécifique, que ça soit climatique, hydrologique, géodynamique… parmi ces travaux on cite :

- Aguelmame Azigza : les changements climatiques enregistrés pendant le 20eme siècle et leur influence sur le niveau d'eau dans le lac (Flower et al,. 1992), aussi l'hydrologie du lac et la sédimentation actuelle marquée dedans (Benkaddour et al,. 2008), ainsi qu'un suivi hydrochimique des eaux du lac pour la compréhension des réactions biogéochimiques qui se déroulent (Adallal, 2013) ;
- Dayet Iffer : l'analyse des sédiments lacustres qui représentent une des archives les plus importantes dans les reconstitutions des conditions paléoclimatiques, paléohydrologiques et paléoenvironnementales (Benkaddour et al,. 2008), aussi que les significations paléoenvironnementales des dépôts du remplissage depuis 6500ans jusqu'aujourd'hui du lac (Rhoujjati et al,., 2012) ;
- Dayet Afouragh : la genèse du bassin d'Afouragh puis son évolution pendant le Plio-quaternaire (Baali, 1998), aussi le contrôle tectono-karstique du bassin de dayet Afouragh et son évolution sédimentologique au cours du Plio-quaternaire (Baali, 1996) ;
- Dayet Aguelmame : la formation du daya et l'évolution de son bassin au cours du Plio-quaternaire (Baali, 1998) ;
- Dayet Tiguelmamine : chronologie, minéralogie, géochimie isotopique et élémentaire des sédiments lacustres de Tiglmamine suite aux changements hydrologiques et climatiques dans le Moyen Atlas Marocain (Benkaddour, 1993), ainsi qu'une étude biogéochimique du lac (Adallal, 2013) ;
- Dayet Aoua : une étude physico-chimique des eaux du daya (Abba, 2006) ;
- Aguelmame Sidi Ali : les effets des conditions climatiques sur le niveau du lac (Sayad, 2011) ;

Le Moyen Atlas contient plus de 40 lacs et dayets, mais on remarque que les lacs étudiés ne dépassent même pas dix lacs, ce qui pose un problème de manque de données pour la grande partie des étendues d'eau dans la chaîne moyenne atlasique.

3. Couvert végétal

Suite à sa position géographique particulière, la grande variabilité spatiale des conditions climatiques et variété de substrats géologiques, le Moyen Atlas offre tous les étages de végétation reconnus dans une région méditerranéenne (Fig, 14) : forêts, préforêts, matorrals, steppes, pelouses, zones humides, sols salés. D'après Lecompte ,1986 (in *Lamb* et al., 1991), de manière générale, le couvert végétal du Moyen Atlas est marqué par la coexistence de forêts de *Cedrus atlantica* (cèdre de

l'Atlas), *Quercus rotundifolia* (chêne vert), *Quercus canariensis* (chêne zène) et *Pinus pinaster var. maghrebiana* (pin maritime du Maghreb).

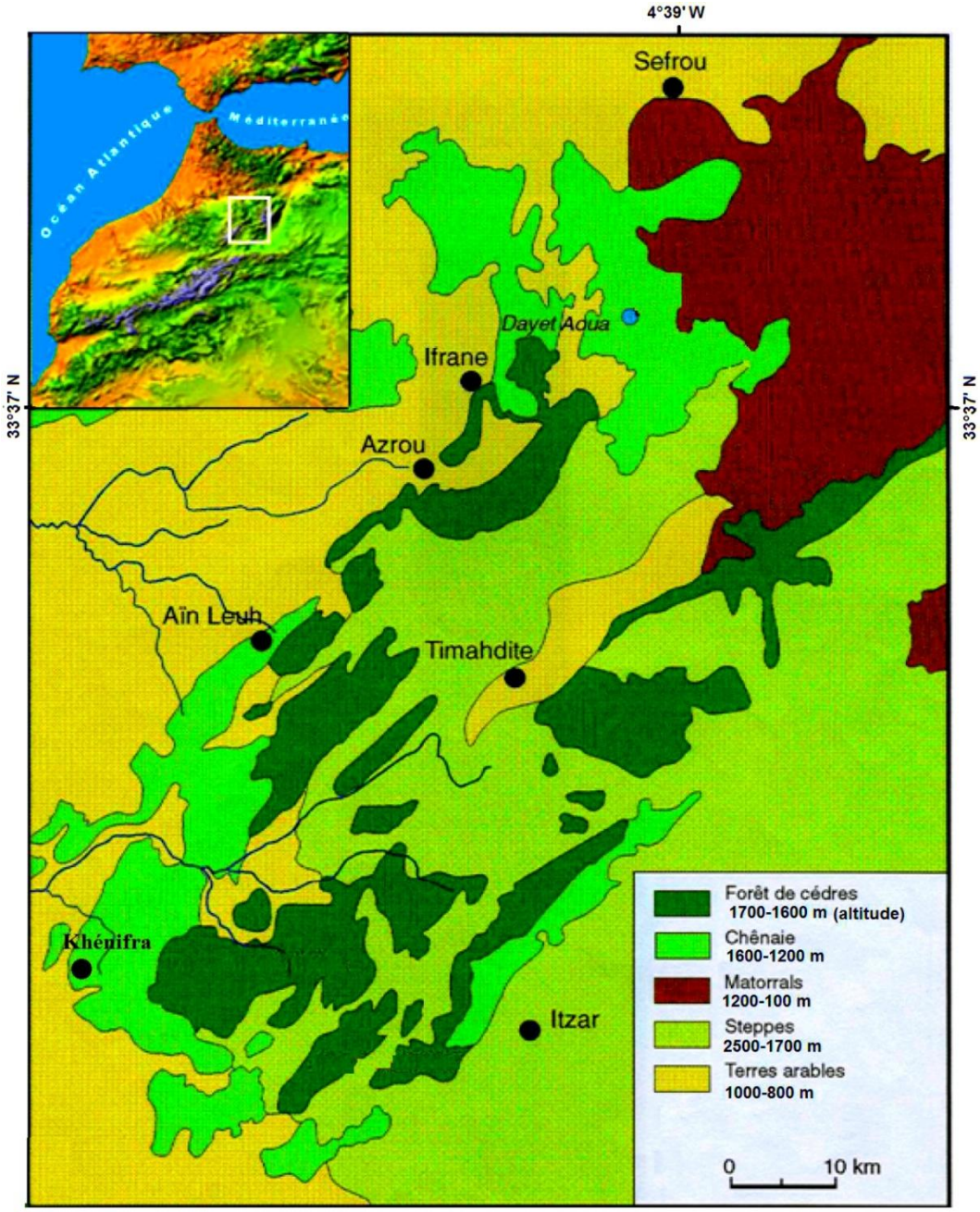


Figure 14: formations végétales du Moyen Atlas central Lecompte, 1986).

Deux grandes zones biogéographiques se distinguent dans la Moyen Atlas (Lecompte, 1986) :

- Zone occupée par une végétation adaptée aux conditions climatiques les plus humides. Elle s'étend à l'ouest et au NW de la plaine de Guigou et sur le Moyen Atlas tabulaire ainsi qu'à leur piémont septentrional ;
- Zones des formations végétales xériques qui se développent dans le Moyen Atlas plissé et ses bordures (Moulouya et Sebou).

Conclusion

Le climat qui caractérise le Moyen Atlas est de type méditerranéen de montagne, il se caractérise par un climat humide et froid grâce sa situation géographique et son exposition aux influences marines.

Le Moyen Atlas comporte plusieurs bassins versants qui correspondent selon sa situation aux quatre grands bassins hydrographiques : Sebou, la Moulouya, Oum Er-Rbia et Bouregreg.

Le causse moyen atlasique renferme une quarantaine de lacs et dayets à cause de son climat humide et son substrat carbonaté favorisant la karstification (dépression).

Le Moyen Atlas offre tous les étages de végétation reconnus dans une région méditerranéenne: forêts, préforêts, matorrals, steppes, pelouses, zones humides, sols salés.

L'objectif de notre travail est de créer une base de données hydrologique récente du Moyen Atlas en utilisant les données existantes. Pour aboutir à cet objectif on doit d'abord définir l'outil qu'on va utiliser, puis on présentera la méthode et la procédure à suivre ; dans ce chapitre on détaillera tout ça d'une manière facile et applicable.

I. Outil de travail : ArcGIS 10.1

ArcGIS est un ensemble de logiciels de SIG (système d'information géographique) crée par la société ESRI. ArcGIS est un système composé de différentes plateformes qui permettent aux utilisateurs SIG, qu'ils soient bureautiques, web, ou mobiles, de créer et gérer des bases de données géographiques, et de collaborer et partager l'information géographique.

Pour le cas de notre projet on va utiliser la version 10.1 qu'est disponible. La figure ci-dessous illustre l'interface du logiciel.

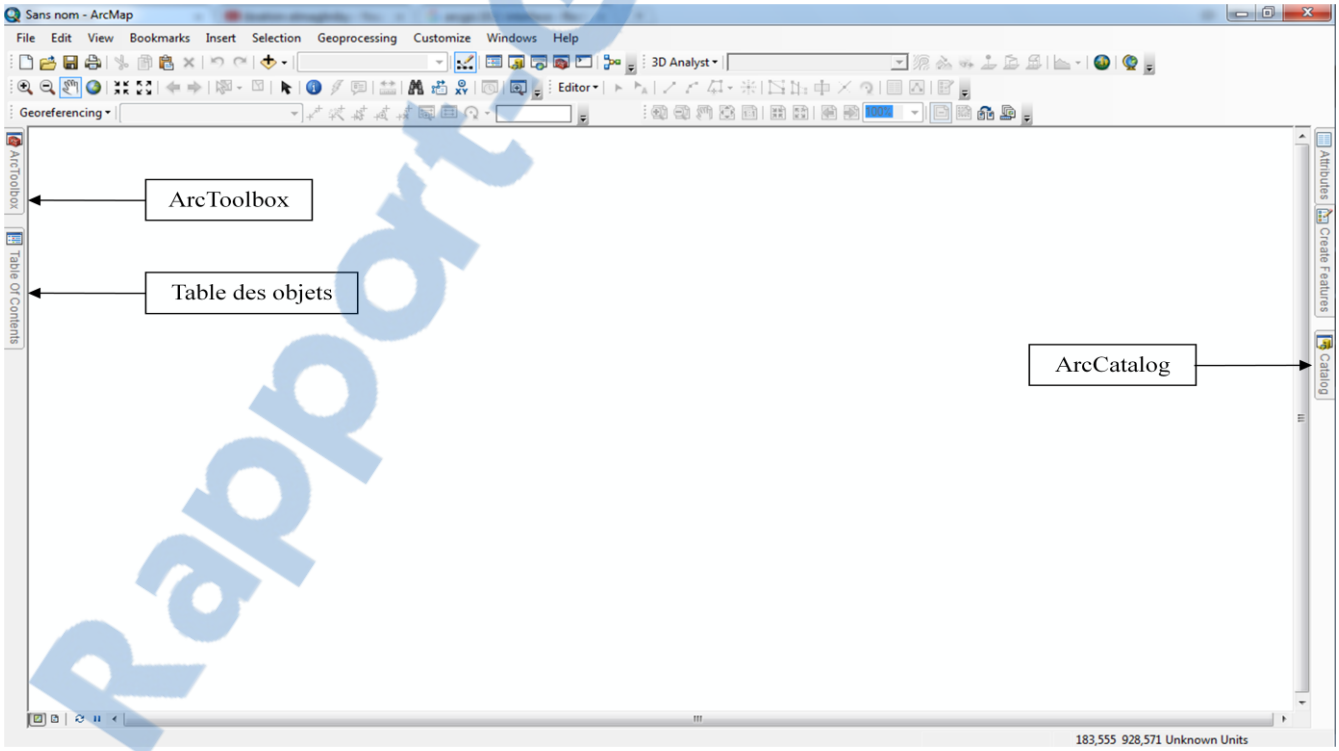


Figure 15: interface d'ArcMap

ArcGIS 10.1 Desktop intègre une suite d'applications dont les principales sont :

- ArcCatalog :

Cette application permet de gérer les fichiers de données et d'organiser les bases de données ainsi que d'enregistrer et de visualiser les métadonnées.

- ArcMap :

Une application utilisée pour toutes les tâches de la cartographie, la mise à jour et l'analyse associée aux cartes.

- ArcToolbox :

C'est une interface graphique de commandes qui permet d'activer et d'effectuer toutes les tâches fournis par le logiciel que ça soit le géo-traitement, la conversion etc.

II. Méthode suivie

Pour l'exécution de notre travail on a besoin de la carte topographique et le MNT du Moyen Atlas, mais puisque le secteur est grand on va utiliser plusieurs cartes topographiques et plusieurs parcelles MNT qu'on va combiner et découper pour obtenir la section voulue : Chaîne moyenne atlasique.

1. Géo-référencement

Une étape importante et primordiale qu'on doit effectuer pour chaque fichier inclus dans le logiciel pour préserver les distances et superposer toutes les couches qu'on va créer par la suite. Le système de projection adopté pour ce travail est celui de Lambert-Conformal-Conic et Datum de Merchich.

2. Préparation de la carte et MNT du Moyen Atlas

2.1.Préparation de la carte du Moyen Atlas

Le Moyen Atlas est réparti sur plusieurs cartes topographiques (échelle : 1/250.000) qui sont : Meknès, Fès, Taza, Missour, Khénifra, et donc on combine les cinq cartes (fig, 16).

Après on passe à la délimitation du Moyen Atlas à l'aide d'une carte géologique de la chaîne avec des limites bien précises (fig, 17).

NB : les cartes topographiques utilisées sont dressées en 1885 et publiées par la division de la cartographie, ministère de l'agriculture et de la reforme agraire.

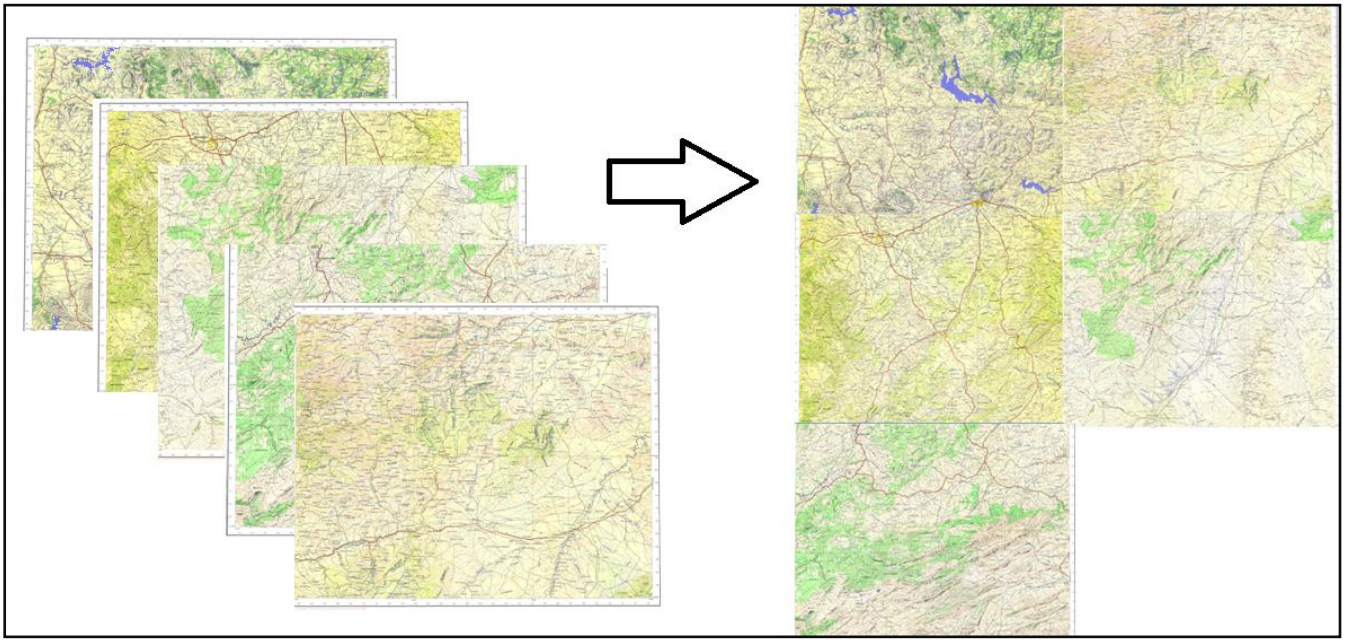


Figure 16: combinaison des cartes topographiques

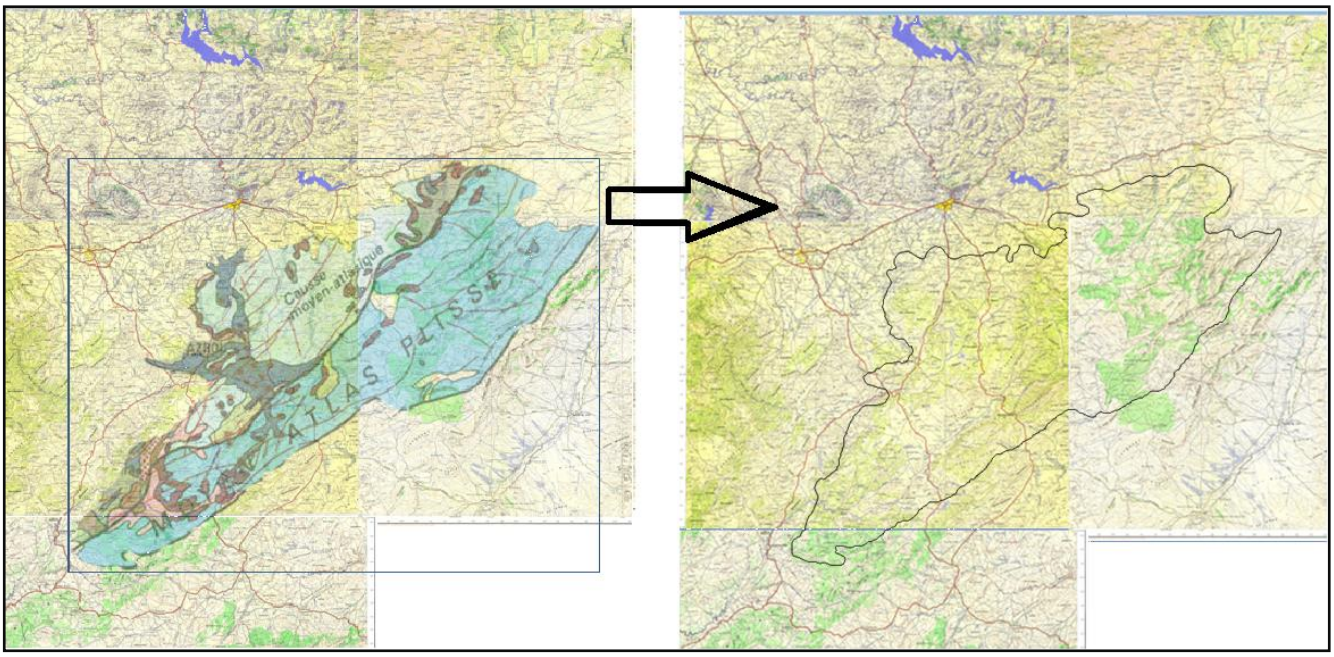


Figure 17: délimitation du Moyen Atlas

2.1. Préparation de MNT du Moyen Atlas

Le modèle numérique du terrain utilisé dans cette étude est produit par la NASA et il est disponible gratuitement sur internet, avec une résolution assez suffisante pour notre objectif (90m). Puisqu'on a une grande superficie donc on est sensé de combiner plusieurs parcelles de MNT.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

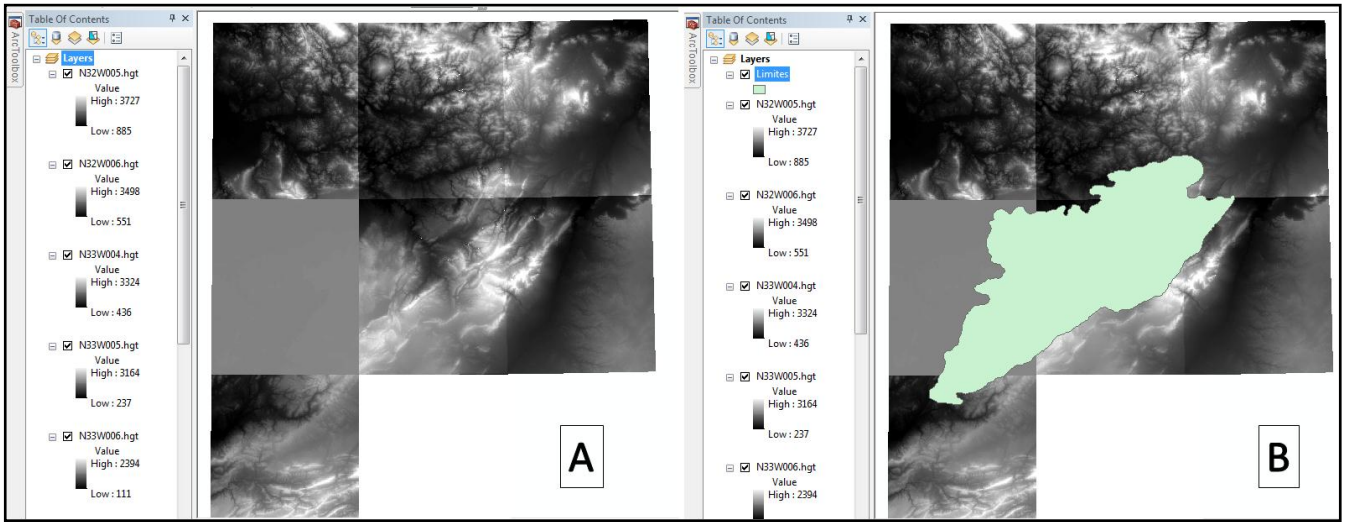
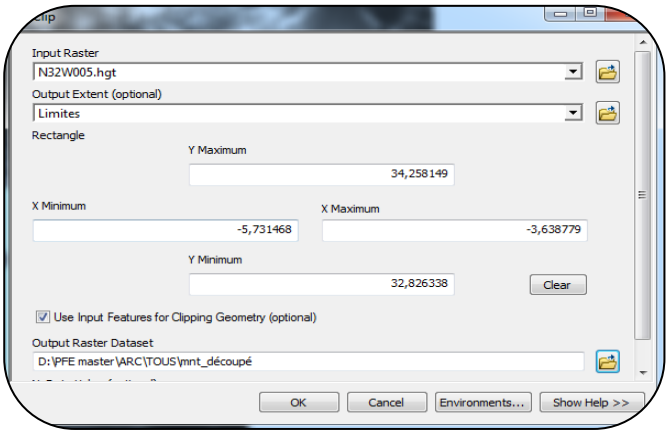


Figure 18: A: MNT contenant le Moyen atlas. B: MNT avec les limites du Moyen Atlas

La figure ci-dessus montre les sept parcelles de MNT qui appartiennent au Moyen Atlas. La délimitation est faite de la même façon qu'on a fait pour les cartes topographiques.

Puis on passe au découpage de ces parcelles pour avoir un MNT propre à la région d'étude. Pour cela on active la fonction « CLIP ».

- ArcToolbox : Data Management Tools > Raster > Raster Processing > CLIP



Le découpage se fait pour chaqu'une des sept parcelles appart avec le même fichier « Limite » déjà préparé.

A la fin de l'opération on obtient un MNT avec la forme du Moyen Atlas.

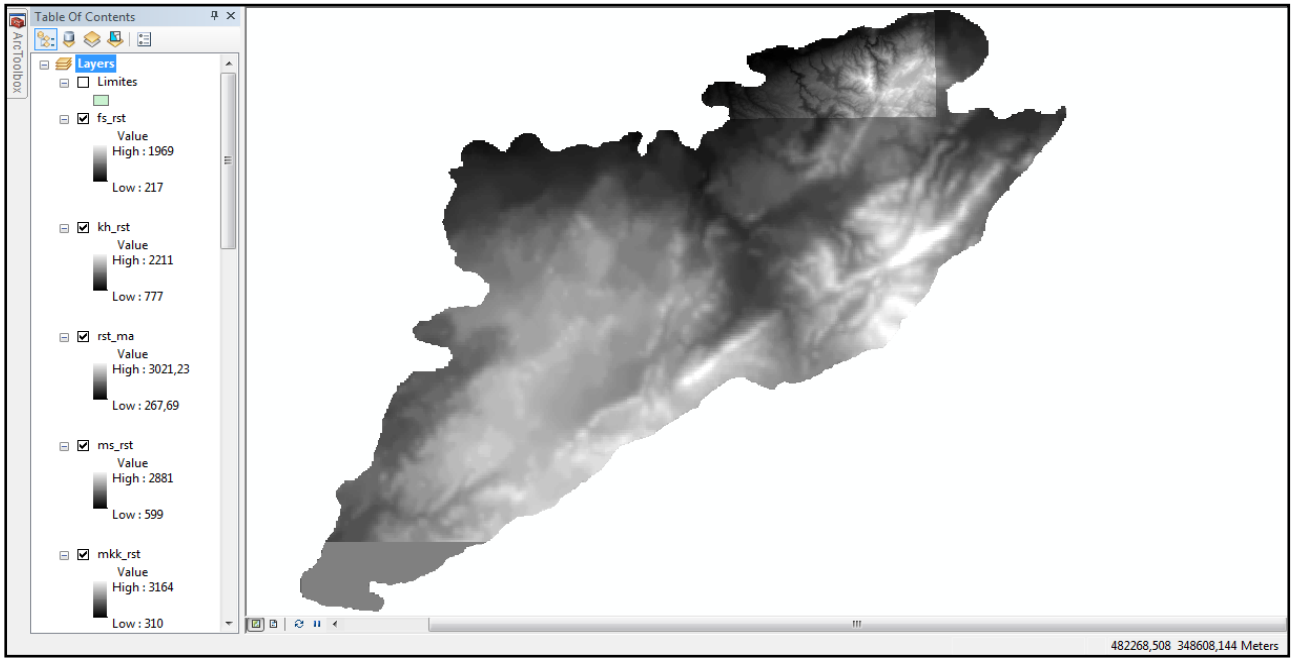


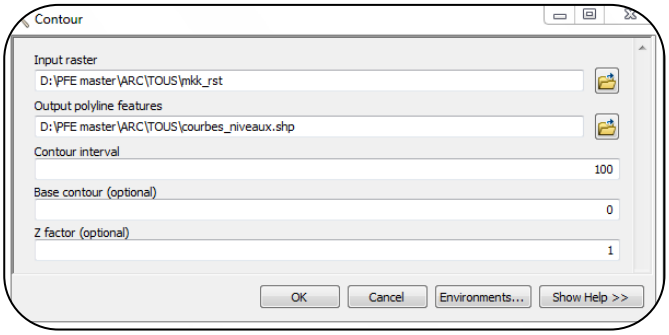
Figure 19: MNT du Moyen Atlas

3. Création des couches d'altitudes

3.1.Courbes de niveaux

A partir des MNT, qui sont à la base des fichiers rasters on peut extraire les courbes de niveaux avec la fonction « CONTOUR ».

- ArcToolbox : 3D Analyst Tools > Raster Surface > Contour.



On introduit le fichier MNT qu'on a découpé avant, puis on nomme le ficher de sortie (Shapefile) et on choisit l'intervalle entre les courbes (équidistance). On fait la même chose pour les sept parties MNT.

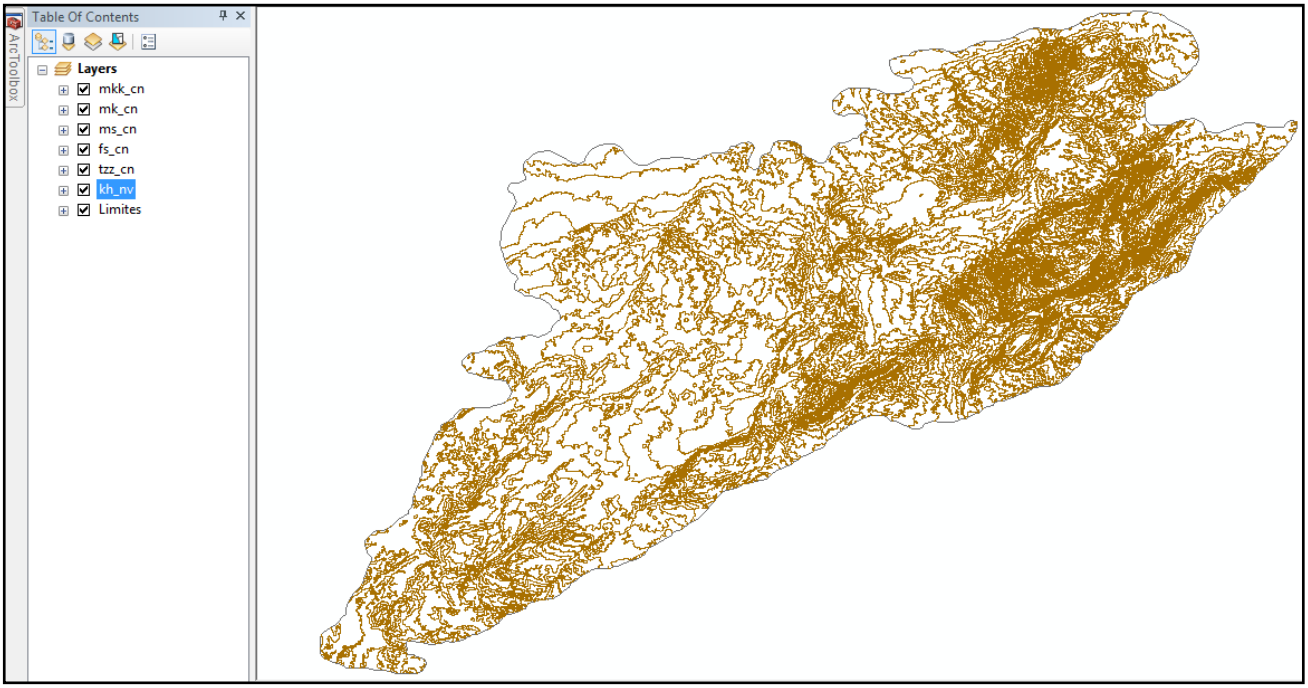


Figure 20: courbes de niveaux de la région d'étude

Après la création des courbes on vérifie leur netteté, souvent on trouve des perturbations, des bruits, des vides… dans ce cas on utilise la carte topographique comme référence pour rectifier ces erreurs.

Figure 21: quelques erreurs dans les courbes de niveaux

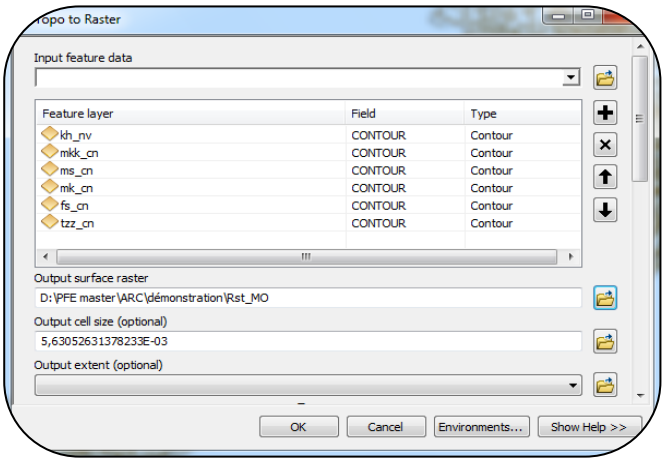
Après une vérification globale de toute la base de données altimétriques on classifie les courbes de niveaux (500, 1000, 1500,… courbes maitresse), (100, 200, 300, 600,… courbes filles) et on affiche les altitudes sur les courbes.

Figure 22: courbes de niveaux rectifiées et chiffrées

3.2.Fichier raster équivalent

Après la création d'une base de données altimétrique, on va l'utiliser pour créer un fichier raster d'altitudes (fichier altimétrique continue). Pour arriver à cet objectif on utilise la commande « TOPO TO RASTER ».

- ArcToolbox : 3D Analyst Tools > Raster Interpolation > Topo To Raster.



On introduit tous les fichiers shapefiles des courbes de niveaux dans cette fonction et on lance l'opération. Le fichier de sortie est sous forme d'un rectangle, donc on réutilise la fonction CLIP avec le fichier « limites » pour le découpage de notre raster.

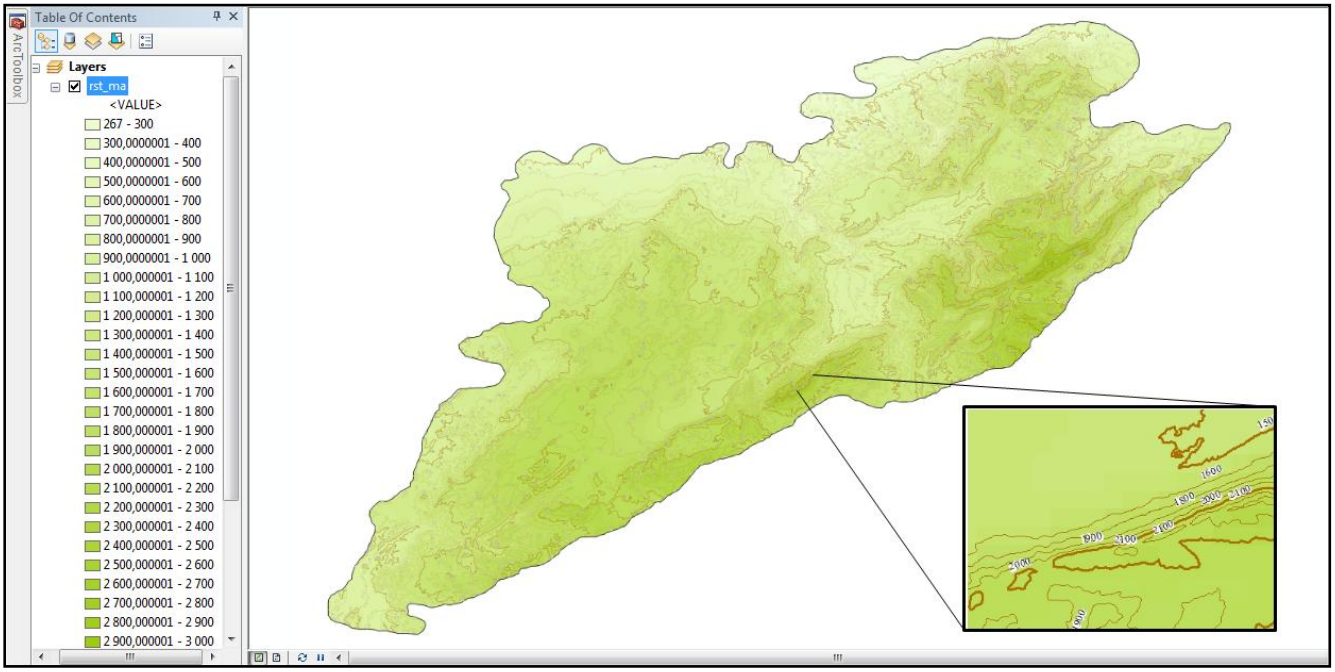


Figure 23: courbes de niveaux avec le fichier raster d'altitude

4. Création des couches hydrographiques

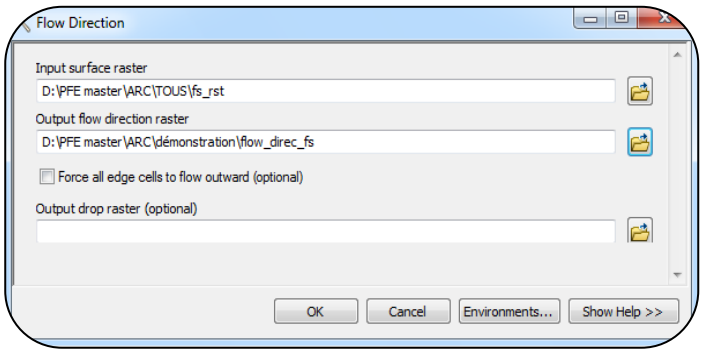
4.1.Réseau hydrographique

Un cours d'eau généralement suit la pente d'un relief en creusant des ravins, ce qui engendre une déformation altimétrique, pour cela on utilise le MNT déjà préparé pour extraire le réseau hydrographique. Cette opération se réalise en passant par plusieurs étapes.

4.1.1. Exposition des reliefs

Pour définir les reliefs et les ravins dans le Moyen Atlas on active la fonction « FLOW DIRECTION »

- ArcToolbox : Spacial Analyst Tools > Hydrology > Flow Direction.



On introduit les fichiers rasters l'un après l'autre dans la fonction avec la définition du fichier de sortie qui a aussi une forme raster.

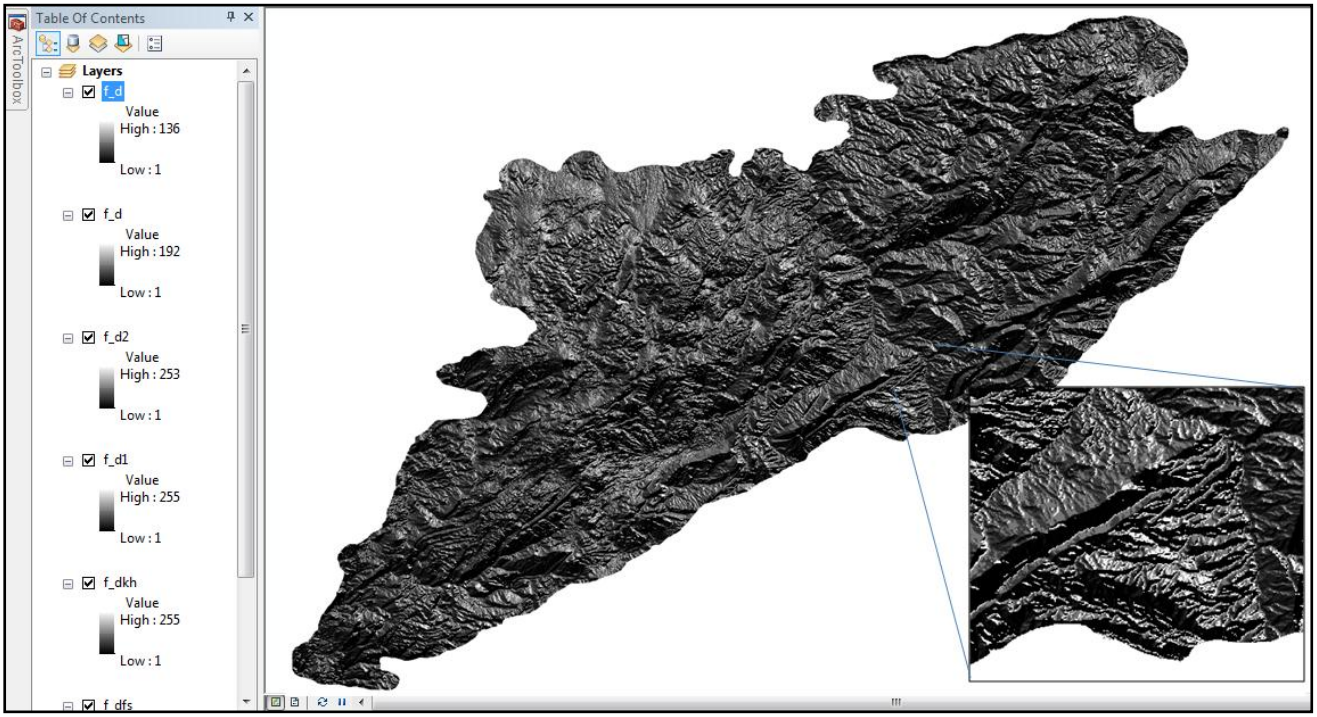
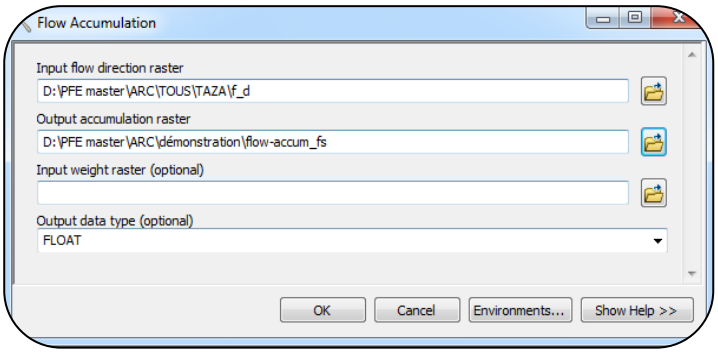


Figure 24: carte des reliefs du Moyen Atlas

4.1.2. *Sens d'écoulement*

Après qu'on a déterminé les reliefs et les ravins dans tout le Moyen Atlas on utilise une autre fonction pour définir les sens d'écoulement selon la géomorphologie. La fonction utilisée est « FLOW ACCUMULATION ».

- ArcToolbox : Spacial Analyst Tools > Hydrology > Flow Accumulation.



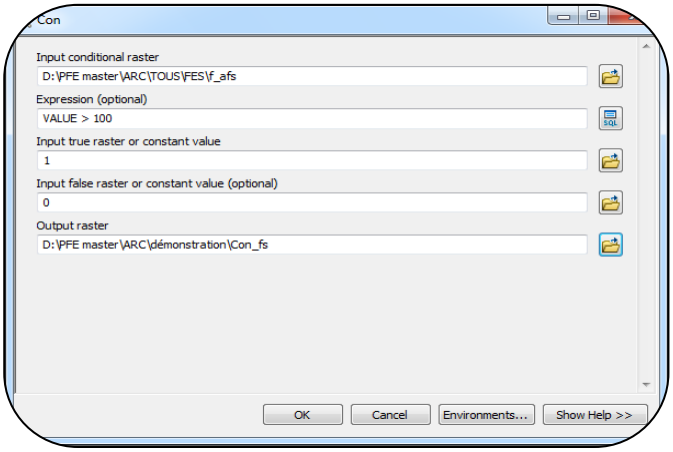
Dans ce cas on introduit le fichier des reliefs (flow direction) qui sera la base de l'opération, et on nomme le fichier de sortie. Biensur l'opération sera répétée pour toutes les parcelles.

Figure 25: sens d'écoulement dans le Moyen Atlas

4.1.3. *Extraction des cours d'eau*

La détermination des sens d'écoulement facilitera l'opération suivante qu'est l'extraction des cours d'eau. Cette opération est exécutée à l'aide de la fonction « CON ».

- ArcToolbox : Spacial Analyst Tools > Conditional > Con.



On introduit le fichier de sens d'écoulement (Flow Accumulation), puis on définie la densité de réseau hydrographique (c'est optionnel et ça dépend de chaque zone, son humidité et sa morphologie), ensuite on nomme le fichier de sortie.

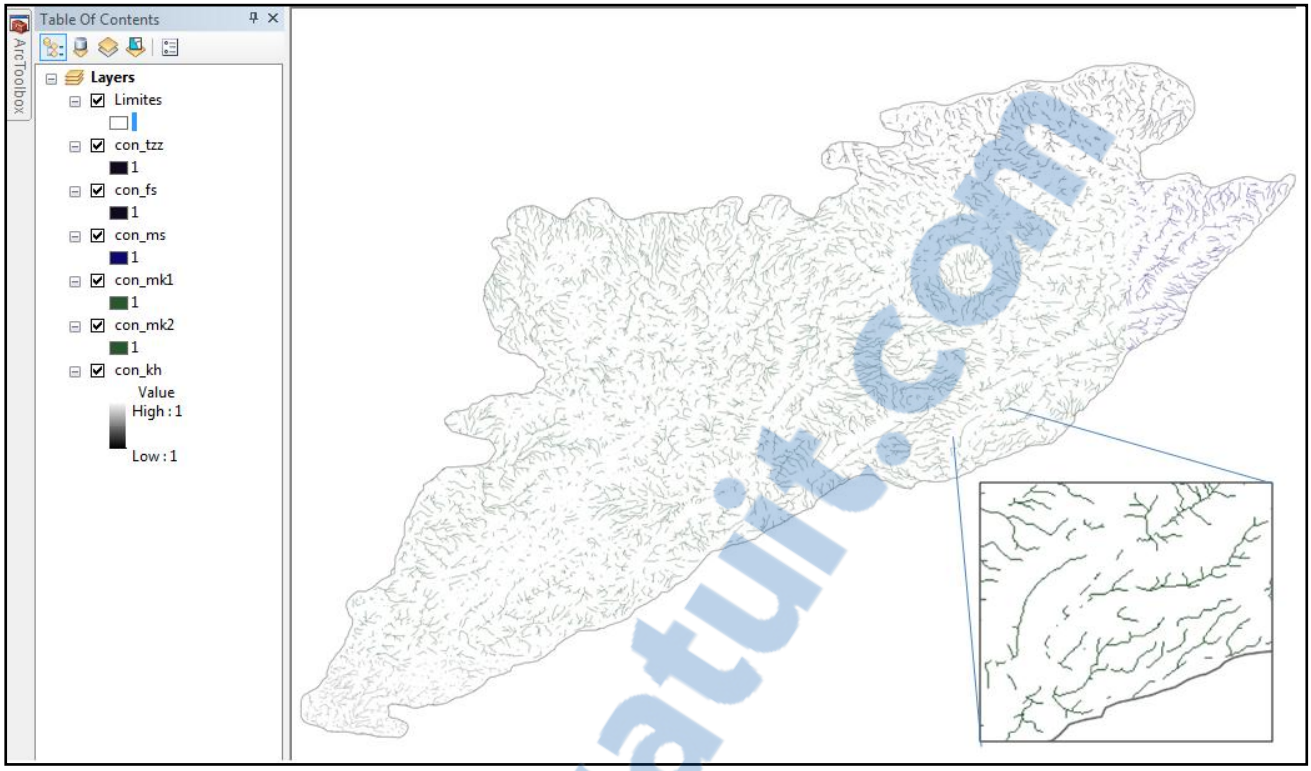
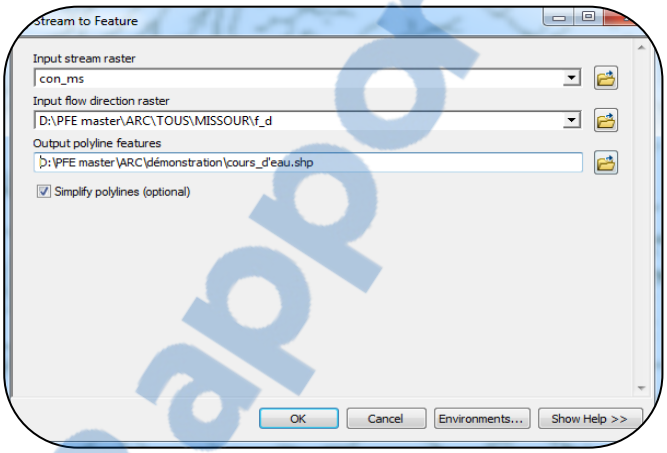


Figure 26: carte raster des cours d'eau

Cette carte ci-dessus a une forme raster, donc on est sensé de la convertir en forme vecteur pour qu'elle sera rectifiable. La fonction chargée de cette conversion est « STREAM TO FEATURE ».

- ArcToolbox : Spacial Analyst Tools > Hydrology > Stream To Feature.



Le fichier introduit est celui des cours d'eau en format raster « Con », et on ajoute aussi le fichier des reliefs « Flow Direction », puis on nomme le fichier de sortie.

En vérifiant la carte ci-dessus on remarque que les cours d'eau sont découpés et il y a beaucoup de bruits qu'on doit corriger à l'aide de la carte topographique.

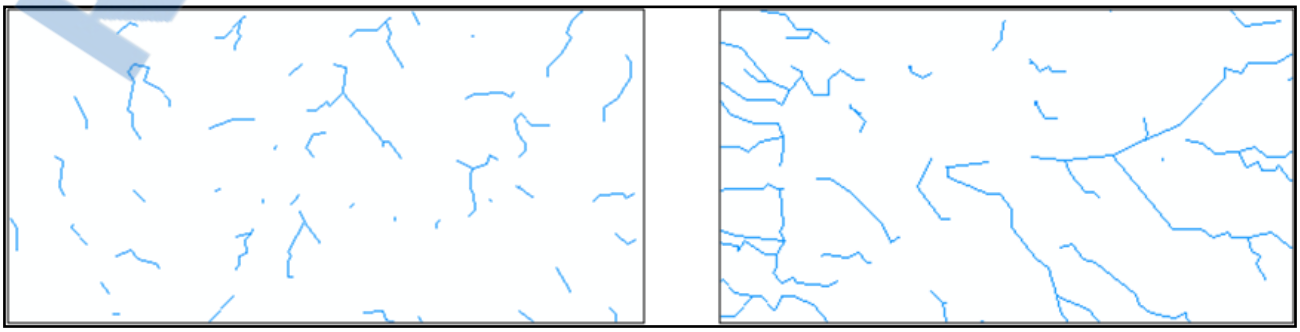


Figure 27: perturbations dans les cours d'eau

Rapport-Gratuit.com

Après la correction du réseau hydrographique on passe à la classification des cours d'eau et leur nomination. Les classes choisis sont : cours d'eau principale, cours d'eau secondaire permanent et cours d'eau temporaire.

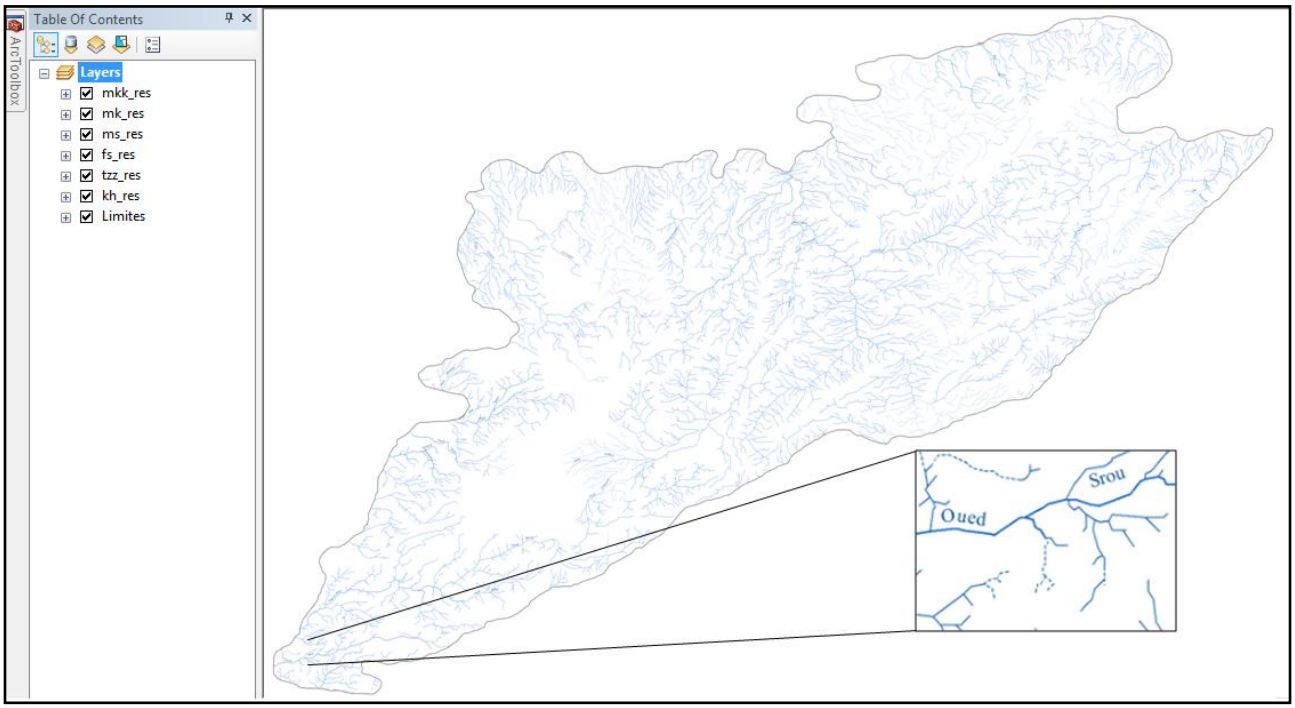


Figure 28: réseau hydrographique du Moyen Atlas

4.2.Lacs et dayets

Pour les lacs et les dayets, on doit les numériser à la main, et toujours notre référence est la carte topographique qu'on a préparé au début.

Figure 29: numérisation des lacs et dayets

III. Mise en carte

Après qu'on termine toutes les étapes et on vérifie l'efficacité de toutes les couches produites, on ajoute deux autres couches qui seront nos guide et nos indices sur la carte, la première est celle des villes et des localités, et la deuxième s'intéresse au quelques sommets de montagnes. L'ajout de ces deux couches sert à faciliter le positionnement sur la carte, il faut noter que les altitudes sur la carte sont des hauteurs altitudinales, donc on passer à les altitudes réelle on doit fixer un point comme référence (on prend le sommet de Jbel Habri qu'a une altitude réelle de 2092m) puis on définie le point équivalent sur notre carte, avec cette manière on calibre notre carte pour quelle sera conforme à la réalité.

La mise en carte consiste à l'insertion des composantes unifiées dans le domaine de la cartographie comme les cordonnées géographiques, la légendes, la direction,…

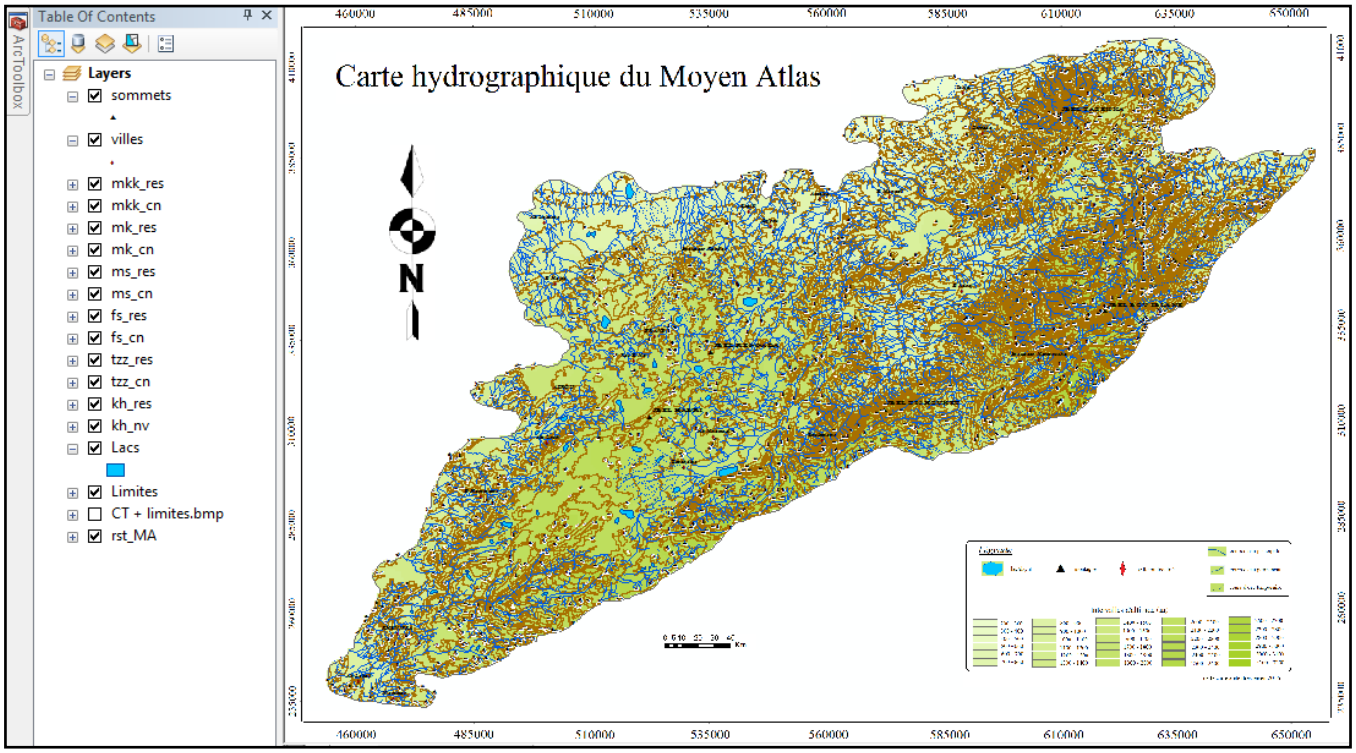


Figure 30: mise en carte

Conclusion

Au cours des opérations exécutées, que ça soit pour l'extraction des courbes de niveaux ou pour la création du réseau hydrographique, on remarque qu'il ya quelques différences entre ce qui est sur les cartes topographiques et ce qui est extrait des MNT, et c'est bien normal, car il y a une différence du temps entre l'élaboration des deux, et les méthodes d'obtention des données sont développées au cours des années, mais malgré cette évolution, les méthodes récentes contiennent des fluctuations et des bruits qu'il faut vérifier par d'autres voies, généralement des voies anciennes.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Après une caractérisation géologique, climatique et hydrologique du Moyen Atlas, puis une création d'une base de données hydrographique récente, ce chapitre sera consacré à la présentation des résultats de cette étude avec l'analyse et la discussion des conclusions tirées de tous les chapitres.

I. Carte hydrographique du Moyen Atlas

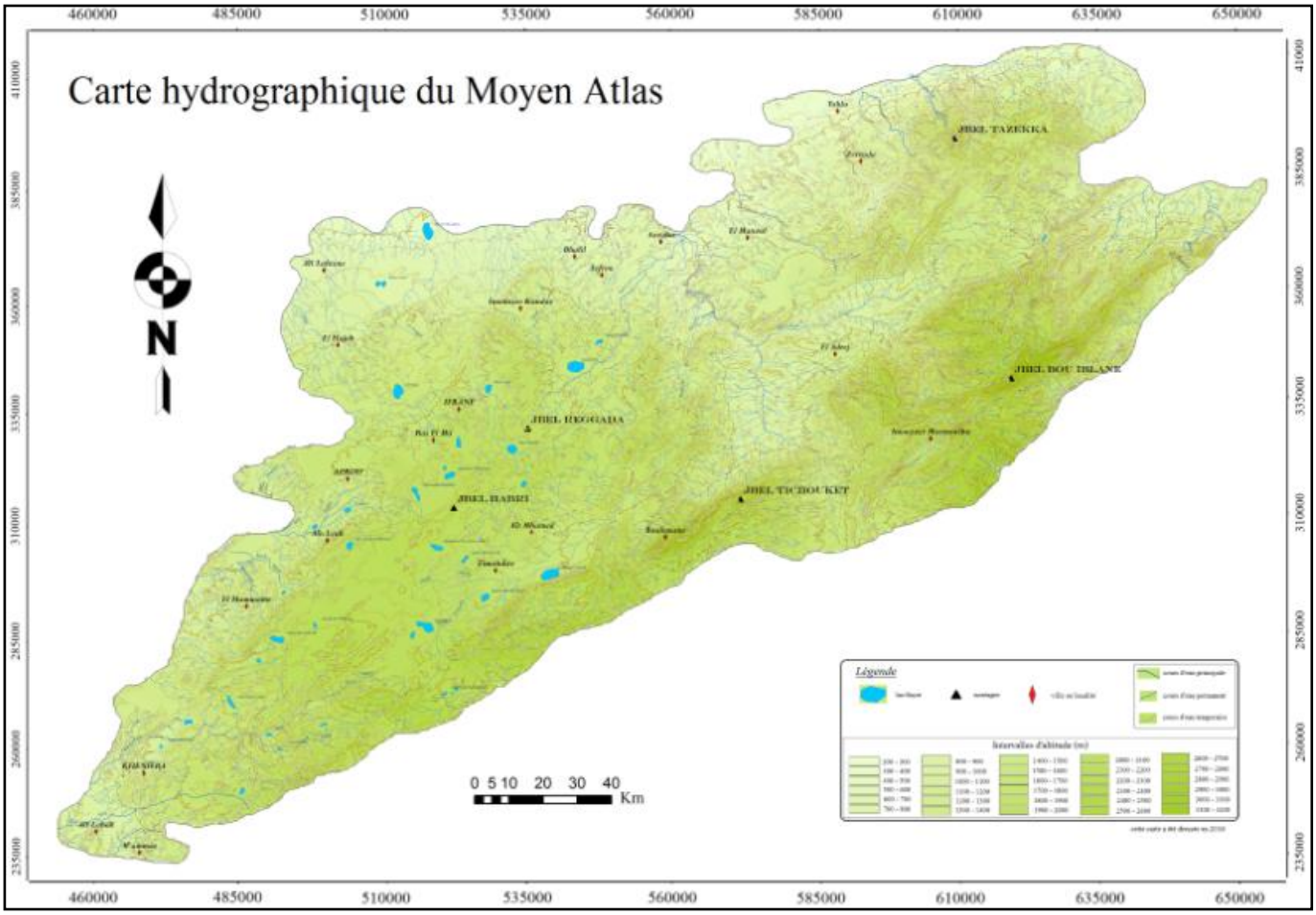


Figure 31:carte hydrographique du Moyen Atlas (voir la carte en taille réelle)

I. Réseau hydrographique

La chaîne moyenne atlasique représente la partie amont pour plusieurs bassins hydrographiques, généralement pour les quartes grands bassins qu'on a déjà mentionné dans le deuxième chapitre (Sebou, Oum Er-Rbia, Moulouya et Bouregreg), c'est le point le départ des cours d'eau, que ça soit d'origine pluvieuse ou neigeuse. Le climat qui règne dans le Moyen Atlas est essentiellement humide de type méditerranéen de Montagne ce qui explique la dominance des réseaux hydrographiques permanents et la rareté des cours d'eau temporaires.

L'Oued Sebou domaine la grande partie du Moyen Atlas (Haut Sebou), il commence dans le Moyen Atlas Plissé et il continue dans le Cause Moyen Atlasique avec plusieurs affluents tout au long sa trajectoire.

1. Lacs et dayets

Les lacs et les dayets se concentrent dans la partie Est du Moyen Atlas, généralement dans le Causse Moyen Atlasique qui est géo-morphologiquement conforme à adopter des retenues en eaux. Le Moyen Atlas Plissé avec ses rides ne favorise que l'écoulement des eaux et leur évaporation puisque cette région est exposée au vent chaud qui vient du SW.

Le tableau ci-dessous représente quelques données sur la majorité des lacs et des dayets dans le Moyen Atlas.

Tableau 1: lacs et dayets dans le Moyen Atlas

Lacs	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Superficie (ha)	Climat	Profondeur (m)	Origine	Type	Substrat
Aguelmame Oumlil	32,88	-5,55	1173	-	sub-humide	-	-	lac naturel	-
Oujdir	32,92	-5,45	1863	-	sub-humide	-	-	lac naturel	-
Aguelmame Azigza	32,98	-5,45	1474	62	sub-humide à humide	26	calcaire	lac naturel	calcaires
Aguelmame Azouggouarh	33,03	-5,1	2226		sub-humide	-	-	lac naturel	-
Aguelmame Wiwane	33,12	-5,34	1600	16	humide	14	artificielle	lac artificiel	calcaires
Aguelmame	33,00	-5,13	1338	100	sub-humide	2	calcaire	lac naturel	dolomies
Dayet Bou Ya'acoub	33,11	5,32	1520	-	humide	-	-	lac naturel	-
Aguelmame Tidouit	33,13	-5,07	1540	-	humide	-	-	lac naturel	-
Aguelmame Bou Cherouidene	33,15	-5,08	1460	-	humide	-	-	lac naturel	-
Aguelmame Ghelouine	33,48	-5,13	1500	-	humide	-	-	lac naturel	-
Aguelmame Nitglouine	33,47	-5,14	1450	-	humide	-	-	lac naturel	-
Dayet Amer	33,74	-5,43	960	-	tempéré	-	-	lac naturel	-
Dayet El Kochtem	33,77	-5,37	540	-	méditerranéen	-	-	lac naturel	-
Aguelmame Sidi Ali	33,07	-5,00	2112	400	humide	36	volcanique	lac naturel	R. volcaniques
Dayet Ifrah	33,56	-4,93	1650	250	humide	8	calcaire	lac naturel	calcaires
Dayet Aoua	33,65	-5,03	1460	140	sub-humide	5	calcaire	lac naturel	-
Tiguelmamine	32,91	-5,34	1630	13	humide	20	dissolution	lac naturel	basaltes
Dayet Hachlaf	33,55	-5,00	1530	60	humide		-	lac naturel	-
Aguelmame Tifomasine	33,15	-5,09	1913	70	sub-humide	14	-	lac naturel	-
Aguelmame Afennourine	33,28	-5,25	1784	50	Supra-méditerranéen à subhumide	2	-	lac naturel	-
Amghasa	33,35	-5,27	1640	-	sub-humide	-	-	lac naturel	-
Zarrouka	33,61	-5,29	1470	-	sub-humide	-	artificielle	lac artificiel	-
Dayet Afouragh	33,61	-4,88	1980	12	humide	9		lac naturel	-
Dayet Iffer	33,61	-4,91	1530	3,5	humide	6	calcaire	lac naturel	dolomies
Aguelmame Abakhane	32,91	-5,34	1670	-	humide	2	calcaire	lac naturel	-

Le climat qui règne autour des lacs varie entre le méditerranéen, le tempéré et l'humide avec des altitudes qui dépassent les 1000m jusqu'aux 2000m et une morphologie de plateaux étagés, tous ces facteurs favorisent l'existence et la persistance des lacs et des dayets, malgré qu'il y a parfois des périodes où le plan d'eau baisse ou même il disparaît, mais ce sont des périodes très rares et moins importantes. La grande majorité des lacs sont d'origine karstique, et c'est normal car on est dans un domaine à affleurement carbonaté, mais il y a aussi d'autres cas comme la dépression liée aux anciennes activités volcaniques (Aguelmame Sidi Ali), la dissolution des sels dans les argilites rouge du Trias (Tiguelmamine), et il y a aussi le cas où le lac est d'origine anthropique et c'est construit en situation de besoin comme dayet Wiwane et Zarrouka.

Il faut noter que le positionnement longitudinal et latitudinal qu'on a mis sur le tableau appartient au système international WGS84, et les coordonnées représentent des points qui appartiennent au lacs.

On peut subdiviser les lacs naturels en deux types, un premier qui est alimenté par le ruissellement avec un bassin versant propre au lac, et un deuxième lié à la remontée de la nappe. Le classement de chaque lac dépend de sa position géomorphologique ; la majorité des lacs sont de premier type avec un bassin versant bien délimité et une alimentation superficielle (dayet Aoua, Aguelmame Azigza, Tiguelmamine…), alors qu'il y a des lacs qui ont une alimentation attachée au niveau piézométrique comme le cas d'Aguelmame Sidi Ali. En se basant sur cette subdivision on représente ci-dessous les bassins versants des lacs dont on a parlé :

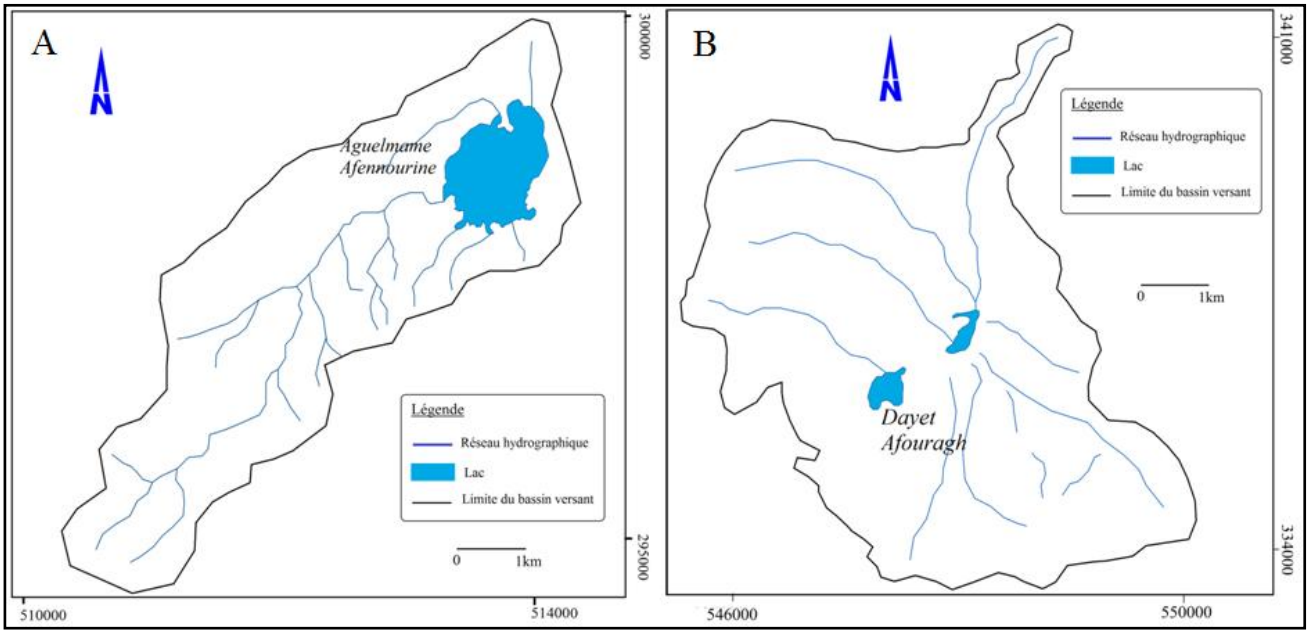


Figure 32: bassins versants : (A) Aguelmame Afennourine, (B) Dayet Afouragh

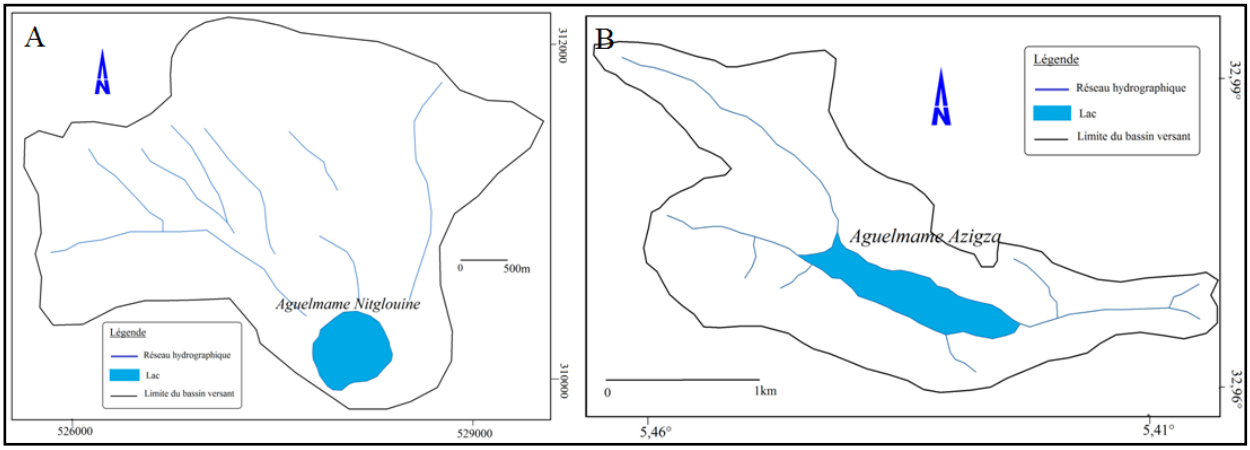


Figure 33: bassins versants (A) Aguelmame Nitglouine, (B) Aguelmame Azigza

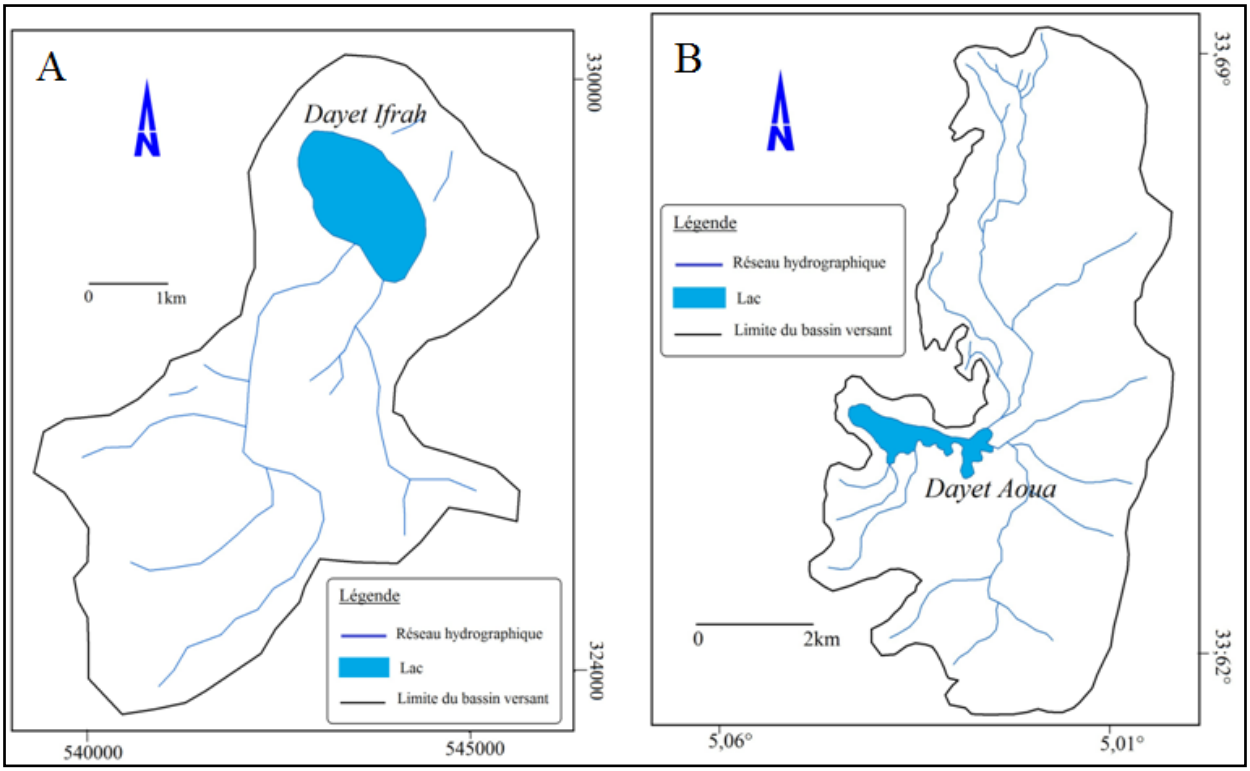


Figure 34: bassins versants : (A) Dayet Ifreh, (B) Dayet Aoua

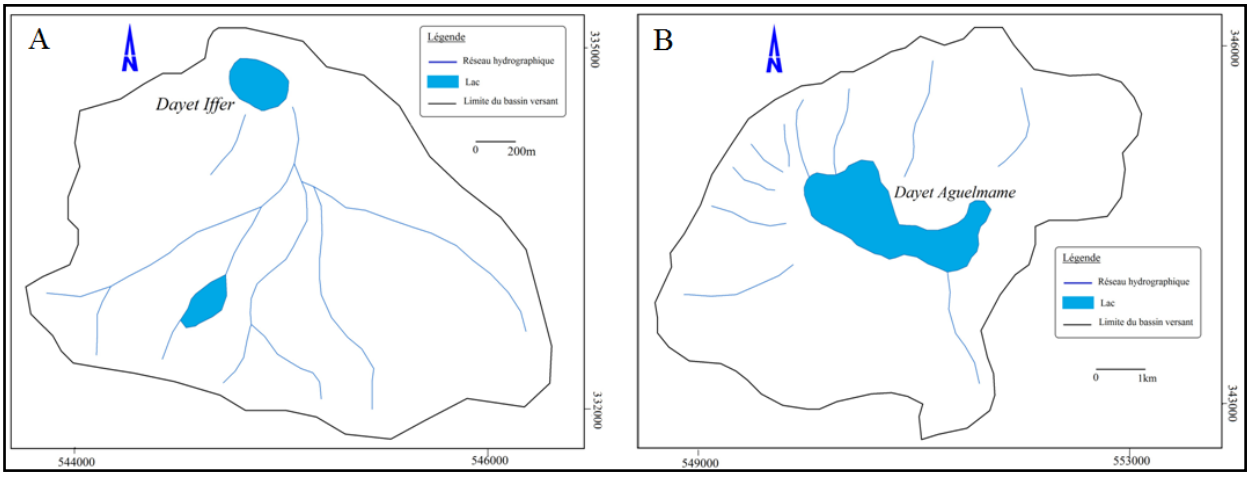


Figure 35: bassins versants : (A) Dayet Iffer, (B) Dayet Aguelmame

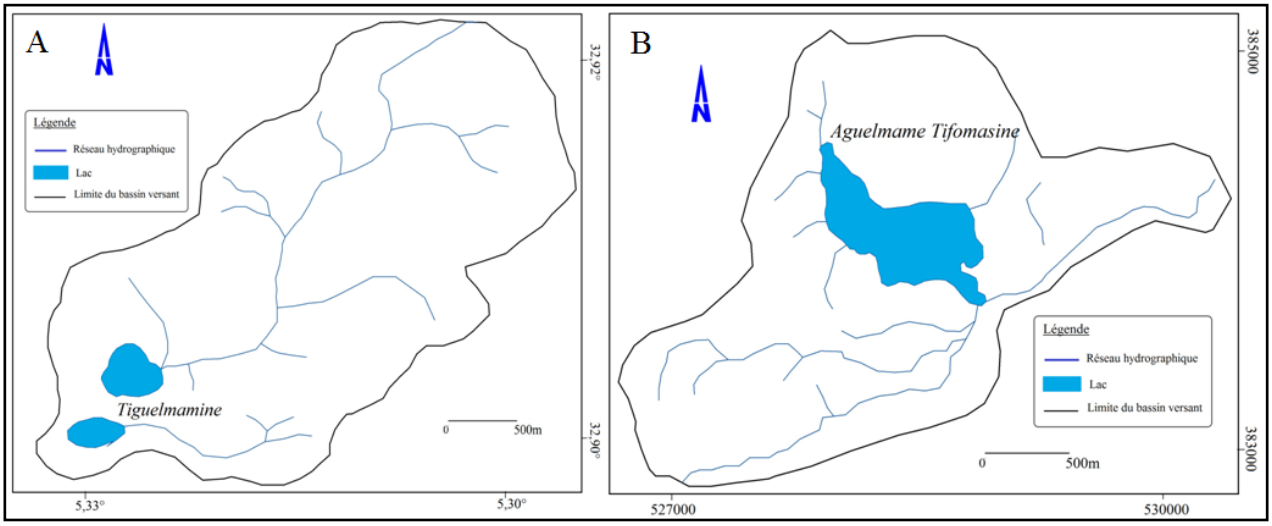


Figure 36: bassins versants : (A) Tiguelmamine, (B) Aguelmame Tifomasine

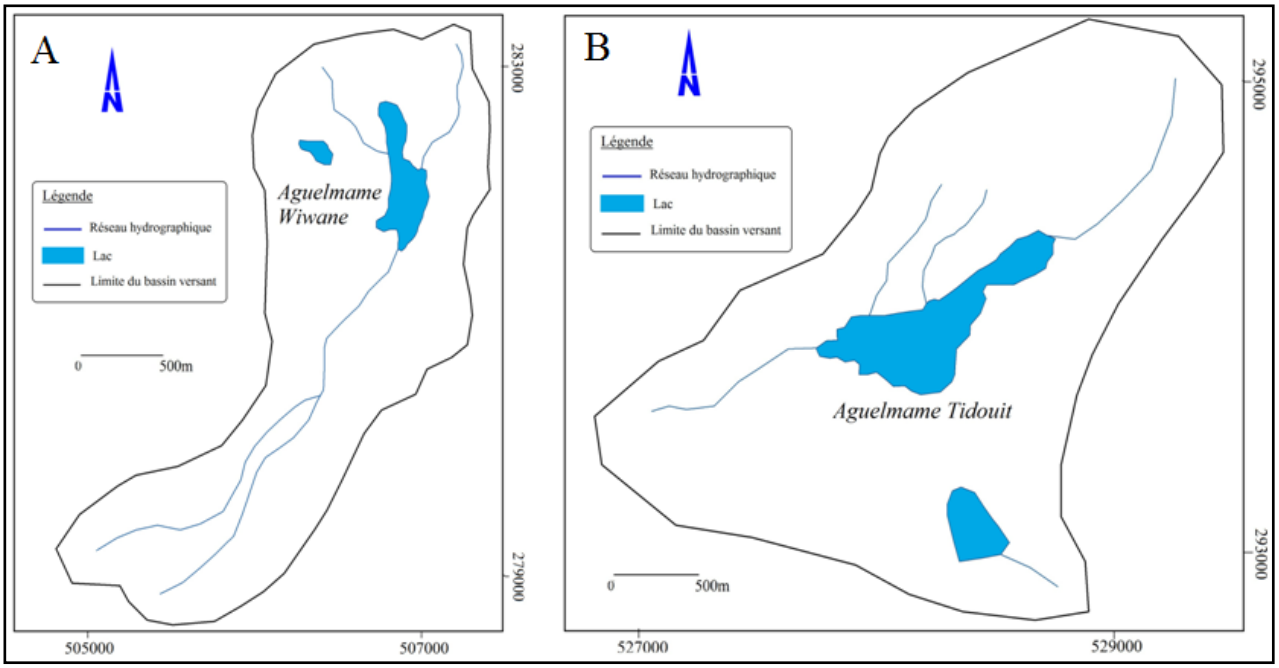


Figure 37: bassins versants : (A) Aguelmame Wiwane, (B) Aguelmame Tidouit

Tous ces lacs ont généralement le même processus d'alimentation, ils ont leurs propres bassins versants qui assurent cette alimentation par ruissellement et les lacs à cette situation jouent le rôle de l'exutoire, alors que pour le cas d'Aguelmame Sidi Ali on a pu définir une ligne de crête qui l'entoure mais tous les cours d'eau qui appartient à ce bassin se réunissent à un point donné pour sortir sans avoir contact avec le lac (fig, 44), ce qui nous a permis d'adopter l'idée qu'il y a une alimentation profonde, que ça soit par la remonté de la nappe ou même par des résurgences situées au fond du lac (Sayad, 2011).

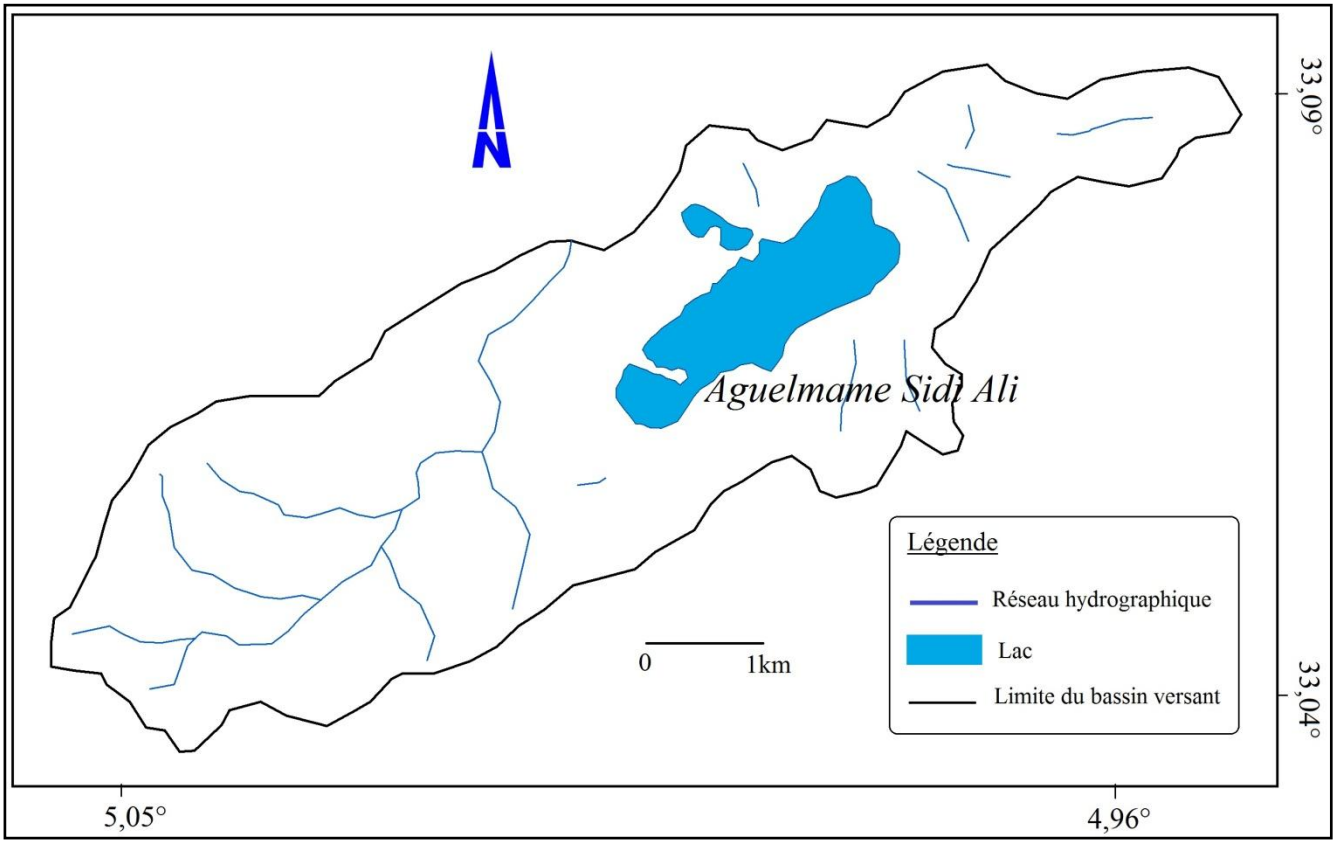


Figure 38: ligne de crête qui entoure Aguelmame Sidi Ali

Conclusion

Le Moyen Atlas représente une richesse marocaine en eau et une interface très importante d'étude hydrologique. Cette chaîne montagneuse comporte plusieurs lacs et dayets de différentes origines (naturelle et artificielle), et de différents types selon la nature d'alimentation.

La base de données hydrographique du Moyen Atlas est très intéressante mais elle est encore incomplète, que ça soit pour le réseau hydrographique ou pour les étendues hydriques (lacs et dayets), et il faut fournir un peu plus d'effort pour la compléter sur terrain.

Conclusion générale

Le système d'information géographique est devenu aujourd'hui une nécessite scientifique pour la l'aménagement du territoire et la gestion des infrastructures et des réseaux. Ce système a développé d'avantage le domaine de la cartographie, et donc il a facilité beaucoup des taches, surtout pour l'économie temporelle, avec plus de précision et de fiabilité. La spécialité du système se manifeste en deux volets : les sources des données qui ont devenues plus diverses et facilement accessibles, et la bonne gestion de ces données d'une manière facile et efficace.

A l'aide de ce système d'information géographique on a pu aboutir aux objectifs qu'on a met au début, et donc on a compléter la mise à jour hydrographique du Moyen Atlas et on a aussi dressé une carte hydrographique de la chaîne moyenne atlasique qui sera optée par la suite comme une référence et un point de départ pour d'autres travaux et d'autres sujets au futur. Ce travail sera inscrit aussi dans le cadre de renouvellement et de création des bases de données mené par plusieurs établissements au Maroc pour couvrir toute sa superficie et récompenser le manque existant de données.

Le Moyen Atlas est une chaine dominée par les affleurements carbonatés, et un climat généralement humide favorisant l'infiltration (karstification), la circulation et le ruissellement, ainsi que l'accumulation des eaux dans les zones de dépression. La conception d'une base de données hydrographique correspondante à ce qui se trouve dans le Moyen Atlas consiste à une exploitation des MNT pour extraire le réseau hydrographique, passant par la détermination des reliefs existants et les zones à faible altimétrie, puis l'identification des sens des écoulements, et on finit par une vérification du réseau à l'aide des cartes topographiques de la zone d'étude. Les lacs et les dayets sont numérisés à la main sur les cartes topographiques qui reste toujours une référence malgré le développement de la technologie du SIG.

La base de données du Moyen Atlas reste incomplète, surtout pour les étendues d'eau, et donc il y a un grand manque des études pour plusieurs lacs et dayets qu'il faut compléter.

Cette étude a permis de mettre en valeur le Moyen Atlas de côté hydrologique et hydrographique, et faire une reconstitution du réseau hydrographique pour construire une carte de cette chaîne montagneuse.

Rapport-Gratuit.com

Références bibliographiques

ABHO., (2007). Ressources en eau du Bassin d'Oum Er-Rbia : Quelle gestion adoptée face aux changements climatiques?. Présentation à Rome.

ABHS., (2007). Etude du plan directeur de la collecte des eaux pluviales au niveau du bassin du Sebou.

ABHS., (2005). Plan Etude D'actualisation Du Plan Directeur d'Aménagement Intègre Des Ressources En Eau du Bassin Hydraulique de Sebou.

ARBOLEYA M L, TEIXELL A, CHARROUD M, and JULIVERT M., (2004). A structural *transect* through the High and Middle Atlas of Morocco. Journal of African Earth Sciences, N° 39 (3/4), pp. 319–327.

ARTHAUD F, MEGARD F et SEGURET M., (1977). Cadre tectonique de quelques bassins sédimentaires. Bull. Cent. Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine. Pau. 1. pp. 147-188.

BAALI A., (1998). Genèse et évolution au plio-quaternaire de deux bassins intramontagneux en domaine carbonate méditerranéen : Les bassins versants des dayets Afourgagh et Agoulmam (Moyen Atlas, Maroc). Thèse Doctorat d'Etat Es-Sciences Naturelles, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès, 286 p..

BAALI A et FEDAN B., (1996)., Evolution sédimentologique et contrôle tectono-karstique du bassin de dayet Afourgagh au cours du Plio-Quaternaire (Moyen Atlas, Maroc), pp. 63-75.

BENABDELFADEL A et BOUAICHA R., (2010). Variabilité´ et gestion des eaux de surface au Maroc. Sécheresse vol. 21, n° 1, 2010.

BENKADDOUR A., (1993). Changements hydrologiques et climatiques dans le Moyen Atlas Marocain : chronologie, minéralogie, géochimie isotopique et élémentaire des sédiments lacustres de Tiglmamine. Thèse Doctorat Sciences, Université de Paris-Sud, 170 p.

BENKADDOUR A, RHOUJJATI A et NOUR EL BAIT M., (2008). Hydrologie et sédimentation actuelles au niveau des lacs Iffer et Aguelmame Azigza (Moyen Atlas, Maroc). Actes RQM4, Oujda, 108-118 p.

BENZAQUEN M., (1965). Étude stratigraphique préliminaire des formations du bassin de Guercif. Rapport inédit, Serv. Géol. Maroc, No 30853, 74 p.

BELKHIRI., (2007). Gestion intégrée des ressources en eau et protection de la ressource - bassin du sebou -. Revue HTE N°137, pp. 9-11.

BOUNOUIRA H., (2007). Etude des qualités chimiques et géochimiques du bassin versant de Bouregreg. Thèse, pp. 5-12.

CHILLASSE L et DAKKI M., (2004). Potentialités et statuts de conservation des zones humides du Moyen-Atlas (Maroc), avec référence aux influences de la sécheresse. Sécheresse, N° 4, Vol. 15, pp. 337-345.

COLO G., (1961-64). Contribution à l'étude du Jurassique du Moyen Atlas septentrional Not. Mém. sevy. géol. Maroc.n° 139, 226 p.

EL JIHAD M D., (2010). Les difficultés de gestion des ressources « naturelles » et de développement rural dans un milieu anthropisé : l'expérience du Projet Oued Srou (Maroc central). *Norois*, 216 | 2010, pp. 25-45.

FEDAN B., (1978). Etude structurale d'une portion de l'accident nord moyen atlasique dans la région au SW de Boulemane, Moyen Atlas central, Maroc. Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat - 1978 - N° 2 - p. 87 à 96.

FEDAN B., (1988). Evolution géodynamique d'un bassin intra-plaque sur décrochement : le Moyen Atlas durant le Méso-Cénozoïque. Travaux de l'Institut Scientifique de Rabat, N° 18, 142 p.

FLOWER R J *and* FOSTER D L., (1992). Climatic implication of recent changes in lake level at lac Azigza (Morocco). Bull. Soc. Géol. France, t. 163, N°1, pp. 91-96.

GENTIL L., (1911 b). La formation du détroit Sud-rifain. C. R. Acad. Sc;., Paris. pp. 415-418.

HARMAND C et MOUKADIRI A., (1986). Synchronisme entre tectonique compressive et volcanisme alcalin: exemple de la province quaternaire du Moyen Atlas (Maroc).-
B.S.G.F., 8, t.II: 595-603. pp. 42 – 48.

HARMAND C et CANTAGREL J M., (1984). Le volcanisme alcalin tertiaire et quaternaire du Moyen Atlas (Maroc): chronologie K/Ar et cadre géodynamique.- J. Afric. EarthSci., 2. pp. 51-55.

HERBIG H G., (1988). Synsedimentary tectonics in the northern Middle Atlas (Morocco) during the late Cretaceous and Tertiary. In : JACOBSHAGEN V.H. (ed.), The Atlas system of Morocco. Studies on its geodynamic evolution.- Lecture Notes in Earth Sciences, Springer, Berlin, vol. 15, pp. 321-337.

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.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

HINAJE S et AIT BRAHIM L., (2002). Les basins lacustres du Moyen Atlas (Maroc) : un exemple d'activité tectonique polyphasée associée à des structures d'effondrement. Comun. Inst. Geol. E Minerio., 89, pp. 283-294.

KABBAJ A et COMBE M., (1977). Présentation du domaine atlasique. *In* : Ressources en Eau du Maroc : Domaine atlasique et sud atlasique. Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc, N° 231, pp. 29-39.

LAMB H F, DAMBLON F. *and* MAXED RW., (1991). Human impact on the vegetation of Middle Atlas, Morocco, during the last 5000 years. Journal of Biogeography 18, pp. 519-532.

LEPOUTRE B, et MARTIN J., (1967). Le causse moyen atlasique. Les cahiers de la recherche agronomique, N°24 : Congrès de pédologie méditerranéenne 1966-Madrid. Excursion au Maroc. TI, 2ème partie : description des régions traversées, chap. IV, pp. 207-226.

MARTIN J., (1964). Le karst de la région des dayets (Causse moyen-atlasique) . Essai de représentation cartographique.- Rev. Géogr.du Maroc, no **5,** pp. 19 - 34.

MARTIN J., (1981). Le Moyen Atlas central : étude géomorphologique. Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc, N° 258 bis, 445 p.

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.

MICHARD A., (1976). Eléments de géologie marocaine. Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc, N° 252, 408 p.

MOUHSSINE M, TOUZANI A, ZINOUNE S et MAHTAL A., (2015). Terrassements sur terrains marneux sensibles aux glissements : cas des terrains et remblais autoroutiers entre Oued Amlil et Taza (Rif, Maroc). Volume 9 | 2015 : Varia 2015, pp. 8-22, fig2.

NICOD J., (1978). Le rôle de la tectonique et des variations de des circulations karstiques dans l'évolution des poljes karstiques, et spécialement de leurs bordures. Annales de la société géologique de Belgique, T. 102 – 1979, pp. 87-93

PIQUÉ A., (1994). Géologie du Maroc : Les domaines régionaux et leur évolution structurale. Editions PUMAG, Marrakech, 284 p.

PIQUÉ A., *and* MICHARD A., (1989). Moroccan hercynides : a synopsis. The paleozoic sedimentary and tectonic evolution at the northern margin of West Africa. American Journal of Science, 298, pp. 286-330.

RHOUJJATI A., (2007). Changements paléoenvironnementaux et paléoclimatiques depuis 21.000 ans 14 C dans le Moyen Atlas marocain : les lacs Ifrah et Iffer (Région d'Ifrane). Thèse de Doctorat d'État, Université Chouaib Doukkali, Eljadida, 186 p.

RHOUJJATI A, **NOURELBAIT M**, **BENKADDOUR A, DAMNATI B, BAALI A, TAIEB, DECOBERT M, MALEK F et CHEDDADI R., (2012).** Significations paléoenvironnementales des dépôts du remplissage Holocène du lac Iffer (Moyen Atlas, Maroc). Quaternaire, vol. 23/3 | 2012, 241-252

ROBILLARD D., (1978). Etude structurale du Moyen Atlas septentrional, région de Taza, Maroc. Thèse, Université des sciences et techniques de Lille. Pp. 95-160.

SAYAD A, CHAKIRI S, MARTIN C, BEJJAJI Z et ECHARFAOUI H., (2011). Effet des conditions climatiques sur le niveau du lac Sidi Ali (Moyen Atlas, Maroc). Physio-Géo, Volume 5 | -1, 251-268.

TERMIER H., (1936) : Etudes géologiques sur le Maroc central et le Moyen Atlas septentrional :
Tome II : les terrains post-paléozoïques
Tome IV: Atlas des figures et des tableaux hors-texte
Not. Mém. Serv. Mine et Carte géol. Maroc. N° 33.

Références webographiques

https://fr.wikipedia.org/wiki/Moyen_Atlas; (10 Mars 2016)

https://fr.wikipedia.org/wiki/Sebou; (14 Mars 2016)

https://fr.wikipedia.org/wiki/Bouregreg; (15 Mars 2016)

https://fr.wikipedia.org/wiki/Oum_Errabi%C3%A2; (15 Mars 2016)

https://fr.wikipedia.org/wiki/Moulouya; (16 Mars 2016)

http://jemecasseausoleil.blogspot.com/2012/08/cartes-du-maroc.html; (25 Mars 2016)

http://www.geojamal.com/2015/02/cartes-geomorphologiques-moyen-atlas.html; (27 Mars 2016)

http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/; (11 Octobre 2015)

http://geojoker.blogspot.com/2015/02/mnt-30.html; (4 Avril 2016)

http://www.moyenatlas.net/lacs-du-moyen-atlas; (26 Avril 2016)

https://fr.wikipedia.org/wiki/Lacs_du_Moyen_Atlas; (28 Avril 2016)

Université Sidi Mohammed Ben Abdellah
Faculté des Sciences et Techniques
www.fst-usmba.ac.ma

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

Nom et prénom: Ibrahim Bensaber

Année Universitaire : 2015/2016

Titre: Cartographie hydrologique des principaux lacs du Moyen Atlas

Résumé

Le Moyen Atlas est l'important château d'eau du Maroc, c'est un réservoir d'eau alimenté par les vents, chargée en humidité, qui viennent de l'Atlantique, cette alimentation crée une forte densité du réseau hydrographique, et elle favorise sa hiérarchisation et sa permanence. La chaîne moyenne atlasique est caractérisée aussi par l'existence des dizaines de lacs et dayets qui garantissent leur alimentation en eau par les fortes précipitations pendant les périodes humides, et la fonte des neiges au printemps.

Le Moyen Atlas comporte la partie amont de quarte grands basins hydrographiques qui sont : Sebou, Moulouya, Bouregreg et Oum Er-Rbia ; chaque bassin est sous la direction d'une agence de bassin hydraulique qui exécute des projets dans le périmètre de son bassin seulement.

Les études réalisées sur le Moyen Atlas sont ponctuelles et elles se focalisent sur des superficies très limitées que ça soit des lacs ou des oueds, rien n'était fait sur l'ensemble de la chaîne montagneuse depuis des dizaines d'années, pour cela on va essayer dans ce projet de faire une mise à jour de la base de données hydrographique de tout le Moyen Atlas.

L'outil utilisé pour aboutir à notre objectif est le logiciel ArcGIS 10.1, en employant ses plateformes et ses fonctions. La première chose à faire est la détermination de l'aspect morphologique du Moyen Atlas, qu'il sera la base pour l'extraction du réseau hydrographique, puis on ajoute les lacs et les dayets. Notre matière première comporte les MNT ainsi que les cartes topographiques du Moyen Atlas.

Les lacs et les dayets du Moyen Atlas sont de différentes origines, et leur alimentation en eau dépend de la position de chaque lac, soit un bassin versant propre au lac, soit une alimentation par la montée de la nappe.

Le résultat de cette étude sera exploité dans des projets futurs comme point de départ.

Mots clés : Moyen Atlas, bassins hydrographiques, ArcGIS 10.1, MNT, cartes topographiques, lacs, dayets, réseau hydrographique.