



**Faculté des Sciences et Techniques – Gueliz**

**Département des sciences et de la terre**

**Mémoire de stage de fin d'études**

**Licence Sciences Et Techniques Eau et Environnement**

**L'impact de réalisation barrage Bou- Tious sur  
la nappe de Feija dans la province de Zagora  
(Anti –Atlas central, Maroc)**

**El Ghazali Fatima Ezzahra & M'rizig Zineb**

**Encadrées par :**

**CHAFIKI. D (FSTG)**

**AIT SLIMAN. A (HYDROLAEDER)**

**Mémoire soutenue le 24 juin 2013 devant le jury composé de :**

**CHAFIKI .D Prof. FSTG**

**EL HARIRI .K Prof. FSTG**

**RIFAAI .M Mr. HYDROLEADER.**

**AGOSSINE .M Prof. FSTG**

**UNE SPÉCIALE DÉDICACE**

**À NOS CHERS PARENTS  
POUR LEUR SOUTIEN ET LEUR  
APPUI INCESSABLES,  
LEUR AMOUR INFINI ET LEUR  
SUBVENTION A TOUS NOS  
BESOINS, MOINDRES SOIENT-ILS  
OU CONSIDÉRABLES.**

**SURTOUT À MON CHER PÈRE  
ABDELMAJID EL GHAZALI.**

**À NOS CHERS PROFESSEURS  
POUR TOUTE LEUR GÉNÉROSITÉ, LEUR  
DISPONIBILITÉ, LEUR AIDE SANS LIMITES.**

**À NOS CHERS AMI(E)S, COLLÈGUES,  
CONFRÈRES ET CONSEILERS.**

# **REMERCIEMENTS**



*Tout d'abord, louange à Allah qui nous a guidé tout au long de ce travail et nous a inspiré les bons pas et les justes réflexes. Sans sa miséricorde, ce travail n'aurait pas abouti à son succès.*

*Nous souhaitons adresser nos vifs remerciements aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de ces trois années universitaires.*

*Nous tenons à remercier Monsieur Abdelaziz Ait SLIMAN notre encadrant au sein de bureau d'étude HYDROLEADRE, pour sa patience, sa disponibilité, sa confiance et sa gentillesse autant que pour nous avoir permis, par sa collaboration et sa présence d'obtenir les résultats escomptés dans une excellente ambiance de travail.*

*Un spécial remerciement à Monsieur M'roine RIFAAI le directeur de bureau d'étude HYDROLEADRE qui n'a jamais épargné aucun moindre effort pour mettre la main à la patte.*

*Notre reconnaissance à notre cher encadrant Monsieur CHAFIKI Driss qui nous a consacré son temps précieux, et qui a eu la gentillesse de lire et de corriger ce travail et à notre chers Co-encadrant Monsieur M'barek AGOUSSINE et Mohammed Mehdi SAIDI pour ses précieux conseils et recommandations ce qui nous a permis de bien avancer dans notre travail.*

*Nos remerciements s'adressent également à Monsieur Mustapha Es-Sabber Chef Agence du bassin hydraulique à Ouarzazate pour leur accueil chaleureux, leurs encouragements et leurs efforts déployés en notre faveur.*

*Nous tenons à remercier Monsieur Ahmed MASSKOUR Technicien d'Agence du bassin hydraulique de ZAGORA pour l'aide précieuse qu'il nous a apporté du côté pratique au terrain.*

*Le dernier remerciement mais non le moindre à nos chers parents Abdelmajid El Ghazali, Kaltoum Es-Sabber et Mohamed M'Rizig, Amina Mohamed*

*Pour leur amour inconditionnel, leur soutien et tout ce qu'ils nous ont apporté mais dont ils n'ont qu'une toute petite idée. Nous vous adorons.*

# **TABLES DES MATIERES**

<b>CHAPITRE I</b> .....	<b>8</b>
<b>INTRODUCTION, OBJECTIF ET METHODOLOGIE</b> .....	<b>8</b>
<b>I. INTRODUCTION :</b> .....	<b>9</b>
<b>II. OBJECTIFS ET METHODOLOGIE :</b> .....	<b>9</b>
<b>CHAPITRE II</b> .....	<b>11</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	<b>11</b>
<b>I. INTRODUCTION GEOGRAPHIQUE :</b> .....	<b>12</b>
<b>II. CLIMATOLOGIE :</b> .....	<b>13</b>
1. <i>Climat :</i> .....	<i>13</i>
2. <i>Pluviométrie :</i> .....	<i>13</i>
3. <i>Température :</i> .....	<i>16</i>
4. <i>Evaporation :</i> .....	<i>16</i>
<b>III. GEOLOGIE :</b> .....	<b>16</b>
1. <i>Géologie du Moyen Draa :</i> .....	<i>17</i>
2. <i>Tectonique :</i> .....	<i>20</i>
<b>IV. HYDROLOGIE :</b> .....	<b>21</b>
1. <i>Réseau hydrographique et bassins versant de moyen DRAA :</i> .....	<i>21</i>
<b>V. HYDROGEOLOGIE :</b> .....	<b>22</b>
1. <i>Les aquifères de couverture :</i> .....	<i>22</i>
2. <i>Les aquifères de socles :</i> .....	<i>24</i>
<b>CHAPITRE III</b> .....	<b>25</b>
<b>ETUDE D'IMPACT</b> .....	<b>25</b>
<b>I. INTRODUCTION :</b> .....	<b>26</b>
<b>II. DESCRIPTION DU PROJET DU BARRAGE :</b> .....	<b>27</b>
1. <b>HYDROLOGIE DU BOU TIOUS (AU SITE DU BARRAGE) :</b> .....	<b>27</b>
1.1 <i>Paramètres géométriques :</i> .....	<i>27</i>
❖ <i>Indice de compacité de Gravellius "Kc":</i> .....	<i>28</i>
❖ <i>Rectangle équivalent:</i> .....	<i>28</i>
❖ <i>Coefficient d'allongement:</i> .....	<i>28</i>
❖ <i>Paramètres du relief:</i> .....	<i>29</i>
• <i>Courbe hypsométrique :</i> .....	<i>29</i>
❖ <i>Temps de concentration TC:</i> .....	<i>31</i>
▪ <i>Formule de Van Te Chow</i> .....	<i>31</i>
▪ <i>Formule de Kirpich</i> .....	<i>31</i>
▪ <i>Formule de Giandotti</i> .....	<i>32</i>
❖ <i>Vitesse de ruissellement Vr:</i> .....	<i>32</i>
1.2 <i>Caractéristiques de l'écoulement :</i> .....	<i>33</i>
❖ <i>Module de l'écoulement :</i> .....	<i>33</i>

❖	Module de l'écoulement RELATIF :	34
❖	Lame d'eau écoulée :	34
❖	Coefficient de l'écoulement:	34
1.3	<i>Etude des crues</i> :	34
1.4	<i>Conclusion</i> :	35
2.	GEOLOGIE ET TYPE DE BARRAGE :	35
❖	Coupe-type du barrage :	36
<b>III.</b>	<b>EVALUATION DE L'IMPACT DU BARRAGE SUR LES RESSOURCES EN EAU :</b>	<b>36</b>
1.	ETUDE PIEZOMETRIQUE :	36
❖	Méthodologie et traitement informatique :	36
❖	Traitement géostatistique :	38
▪	Le semi-variogramme :	38
❖	Carte piézométrique :	39
2.	QUALITE DE L'EAU DE LA NAPPE FEIJA :	41
3.	CARTOGRAPHIE ET LEVE GEOLOGIQUE :	43
❖	Coupe géologique transversale du site du barrage:	43
▪	Rive droite.....	43
▪	Rive gauche.....	44
▪	Fond de vallée.....	44
▪	Tectonique.....	44
❖	Coupe géologique longitudinale du site du barrage:	45
<b>IV.</b>	<b>DISCUSSION ET RESULTAT :</b>	<b>47</b>
<b>V.</b>	<b>CONCLUSION :</b>	<b>47</b>
	<b>CONCLUSION GENERALE :</b>	<b>48</b>

## Liste des tableaux

Tableau 1: Les stations pluviométriques disponibles au voisinage du bassin (Hydroleader, 2012) .....	14
Tableau 2: Répartition mensuelle de la pluie relative au secteur étudié (Hydroleader, 2012).....	14
Tableau 3: L'évaporation moyenne des stations de la zone d'étude ((Hydroleader, 2012).....	16
Tableau 4: Caractéristiques morphologiques des sous bassins du Moyen Draa .....	22
Tableau 5: caractéristiques du bassin versant de Bou Tious étudié. ....	27
Tableau 6: Tableau de répartition des surfaces en fonction des cotes Draa.....	29
Tableau 7: Temps de concentration du bassin versant de Bou Tious. ....	32
Tableau 8: Débits de pointe pour les différentes périodes de retour des crues dans le bassin de Bou Tious considéré. ....	34

## Liste des figures

Figure 1 : Carte générale montrant la vallée du Moyen Drâa (Reynard, 2006).....	12
Figure 2: Carte de situation de la zone d'étude.....	13
Figure 3: Précipitations moyennes mensuelles de la région étudiée, les données découlent de la station de Zagora (Hydroleader, 2012).....	15
Figure 4: Carte des isohyètes du moyen Draa sur la période 1932 – 2012 (Hydroleader, 2012).....	15
Figure 5: évaporation moyenne mensuelle (Hydroleader, 2012).....	16
Figure 6: Corrélation stratigraphique du paléozoïque entre l'Anti-Atlas oriental à Tafilalt d'après Baidder et al. (2008) et centro-occidental d'après Helg et al. (2004). La cartouche à droite de cette figure indique les formations qui sont visibles dans le secteur étudié. ....	19
Figure 7 : Cadre géologique du secteur étudié à l'échelle du moyen Draa (d'après DESTOMBES, 1989).....	20
Figure 8 : Le réseau hydrographique du bassin versant du Moyen de Draa (REYNARD 2006). Le rectangle en noir indique le secteur étudié. ....	21
Figure 9: Schéma d'une Feija: vue aérienne et en coupe (REYNARD 2006).....	23
Figure 10: Modèle hydrogéologique simplifié de la région de Zagora (d'après Klose and Reichert, 2006).....	24
Figure 11: Exemple de Démarche d'Elaboration de l'Etude d'Impact.....	26
Figure 12: Le réseau hydrographique du bassin versant de Bou-Tiouss (au site du barrage).....	27
Figure 13: Carte hypsométrique du bassin versant de Bou Tious en moyen Draa. ....	30
Figure 14 : La courbe hypsométrique du bassin versant de Bou Tious en moyen Draa. ....	30
Figure 15: Statistiques de répartition des altitudes du bassin de Bou Tious en moyen Draa .....	31
Figure 16: Carte des pentes du bassin versant de Bou-Tiouss en amont du site du barrage projeté.....	33
Figure 17: Hydrogramme de crue du bassin de la zone d'étude. ....	35
Figure 18: Coupe NW-SE montrant le profil général du futur barrage de Bou Tious. La conception adoptée pour ce barrage est du type gravitaire en BCR (HYDROLEADRE, 2012) .....	36
Figure 19: Image satellite montrant l'emplacement des puits dans la plaine de Feija. L'exutoire du bassin versant de Bou Tious est indiqué au nord par le point rouge. ....	37
Figure 20: Principe de mesure du niveau piézométrique. ....	37
Figure 21: Vue sur ordinateur d'un semi-variogramme.....	39
Figure 22: Carte piézométrique élaborée pour la nappe Feija en Mai 2013 .....	40
Figure 23: Carte de conductivité électrique de la nappe Feija. ....	42
Figure 24: Coupe géologique transversale à la vallée de la rivière au niveau du site du futur barrage de Bou Tious. ....	43
Figure 25: Coupe géologique longitudinale (parallèle) à la vallée de la rivière au niveau du site du futur barrage de Bou Tious. ....	46

## **SIGLES ET ABREVIATIONS :**

**ABHSMD** : Agence bassin hydraulique de Souss Massa Draa.

**BCR** : Béton Compacté au Rouleau

**NP** : Niveau Piézométrique.

**AEP** : Alimentation en Eau Potable.

**ONEP** : Office National de l'eau Potable.

**NS** : Niveau Statique.

**SIG** : Système d'information Géographique.

**Tab** : Tableau.

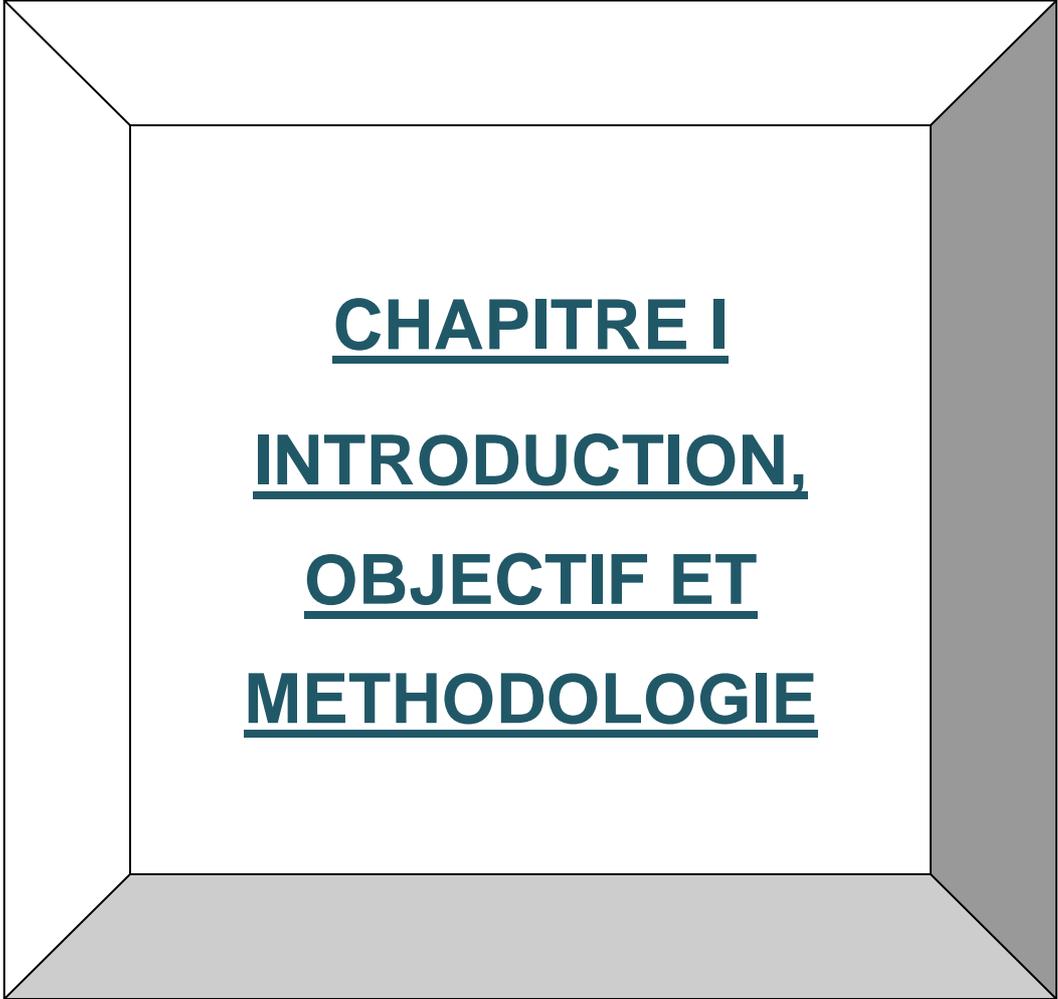
**N** : Nord.

**S** : Sud.

**W** : Ouest.

**E** : Est.

**Fig** : Figure.



**CHAPITRE I**  
**INTRODUCTION,**  
**OBJECTIF ET**  
**METHODOLOGIE**

## **I. Introduction :**

Les ressources en eau destinées à la ville de Zagora et sa région subissent ces dernières années une évolution inquiétante liée d'une part au contexte de rareté et d'irrégularités extrêmes qui caractérisent l'hydraulicité de la région, et d'autre part à la multiplication et l'intensification des prélèvements d'eau par pompage. Malgré les efforts déployés par les différents intervenants dans le domaine de l'eau, cette situation continue d'engendrer des difficultés aiguës pour répondre aux besoins en eau exprimés aussi bien pour l'alimentation en eau potable des populations que pour l'irrigation.

Dans ce contexte, la situation de la nappe El Feijja, située à proximité de la ville de Zagora, est particulièrement sensible : Les effets conjugués de l'intensification des prélèvements d'eau et de la sécheresse ont provoqué une chute des productivités des captages ONEP destinées à l'Alimentation en Eau Potable de la ville de Zagora. La surexploitation de la nappe dans les conditions actuelle conduit à des situations de compétitions et de conflits entre les différents usages de l'eau et à l'épuisement accéléré des réserves de la nappe.

La présente étude s'inscrit dans le cadre d'une étude globale de conception préliminaire d'un barrage sur l'oued Bou Tious, mené par le bureau d'études HYDROLEADER. Elle a pour objectif l'évaluation de l'impact de la réalisation du futur ouvrage hydraulique sur les ressources en eau de la plaine de Feija située à l'embouchure de l'oued Bou Tious.

## **II. Objectifs et méthodologie :**

Le Projet de l'étude d'impact du futur barrage sur l'environnement au niveau de la zone d'étude, vise à évaluer spécialement l'impact de l'ouvrage sur les eaux souterraines de la nappe de Feija située en aval de ce dernier. L'évaluation de cet impact nécessite d'abord la maîtrise du contexte géologique et hydrogéologique de la zone d'étude en vue de mettre en évidence la relation entre l'oued Bou Tious et la nappe de Feija de point d'hydraulicité et aussi de point de vue géologique. Pour répondre à ces objectifs, le présent travail a été entrepris en plusieurs étapes :

- une étape préliminaire portant sur la consultation de documents préexistants ayant trait avec la problématique abordée;
- Une étape de prospection et de mesure sur le terrain qui consiste en la collecte de données ;
- Et une étape d'analyse et d'interprétation des données récoltées lors de l'étape précédente.

### **1. Etape préliminaire :**

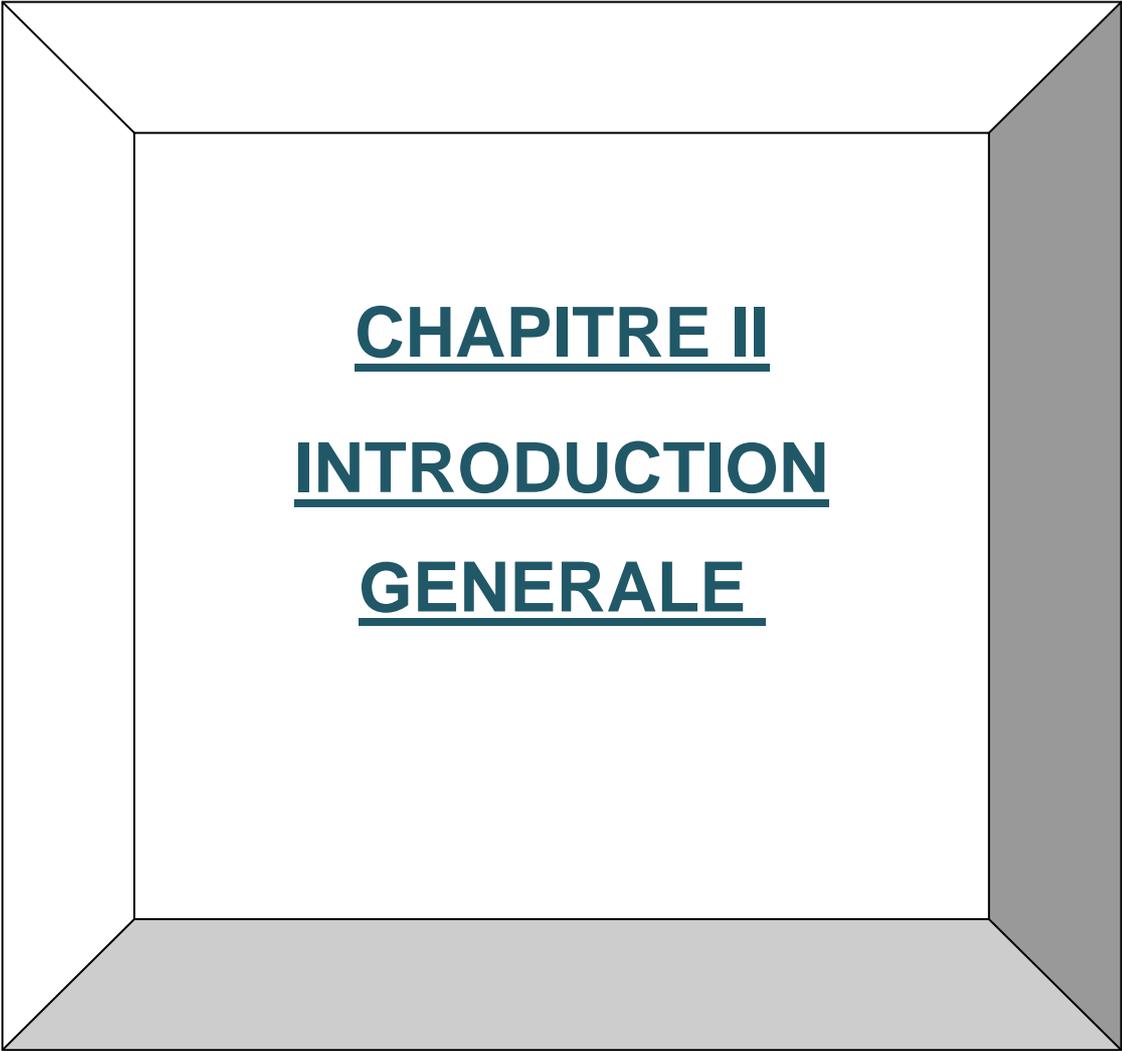
Cette première étape consiste en une synthèse bibliographique axée sur les documents (publications, thèses, rapports, monographie...) existants traitant la géologie, la climatologie, les caractéristiques hydrologiques et hydrogéologiques du moyen Draa et du secteur d'étude. Les références des travaux cités dans cette rubrique sont figurées sur la liste bibliographique à la fin du manuscrit,

## **2. Etape de prospection et de mesures sur le terrain :**

Cette étape correspond à une mission de terrain de deux semaines. Les premiers jours ont fait l'objet essentiellement à des prises de caractéristiques de sites de prélèvement d'eau d'irrigation et de leurs équipements de pompage ; et du levé piézométrique de la nappe de Feija ici considérée.

Nous avons ensuite entamé le travail de reconnaissance géologique du secteur d'étude à travers la réalisation de deux profils géologiques:

- Le premier profil est transversal à la vallée de la rivière et passe le long du site choisi pour le barrage, celui-ci est nécessaire pour la définition du type du barrage projeté et sa conception générale ;
- Le deuxième profil est longitudinal par rapport à la vallée de la rivière et débute depuis de l'axe du site du barrage jusqu'à la nappe de Feija.



**CHAPITRE II**  
**INTRODUCTION**  
**GENERALE**

## I. Introduction Géographique :

La vallée du Moyen Draa correspond au cours de l'oued Draa situé entre le barrage Mansour Eddahbi au nord et M'hamid au sud où démarre le cours de l'oued qui ramène les écoulements vers le l'Ouest pour se déverser dans l'Océan atlantique (Fig. 1). Le sous bassin du Moyen Draa, auquel fait partie le secteur étudié, couvre une superficie de 14.380 km<sup>2</sup>. La zone est caractérisée par de vastes oasis irriguées dans le cadre du programme de la grande irrigation et une zone aride faite de plateaux et de plaines désertiques. (CHAMAYOU 1966)

Administrativement, le moyen Draa couvre une bonne partie de la province de Zagora et englobe deux communes urbaines (Zagora et Agdz) et 18 communes rurales.

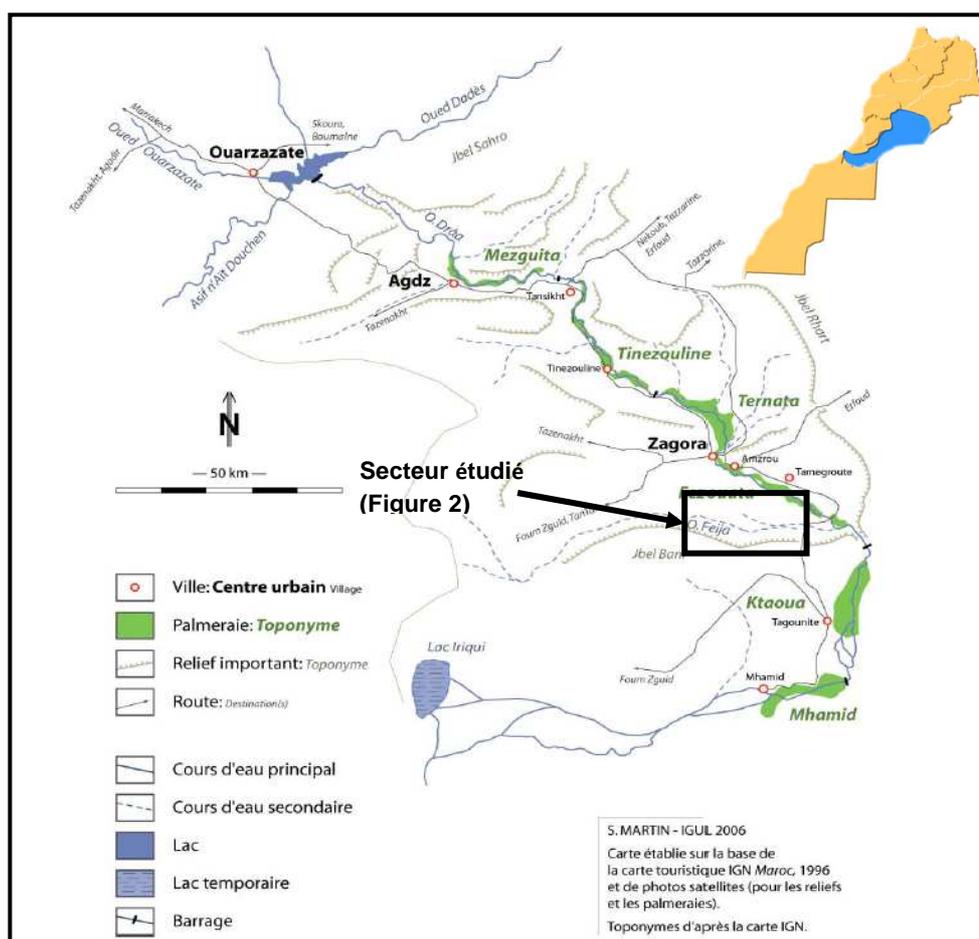
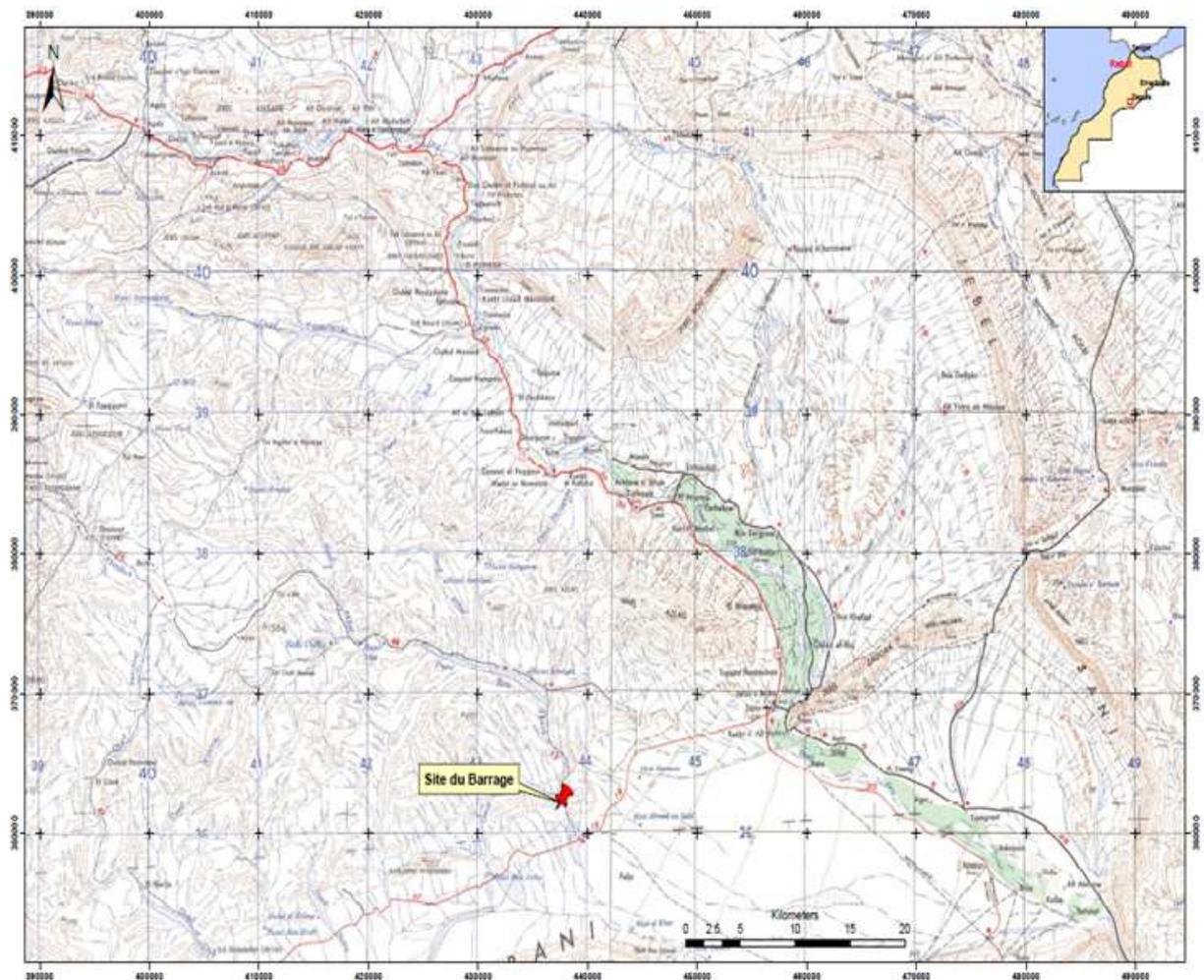


Figure 1 : Carte générale montrant la vallée du Moyen Drâa (Reynard, 2006)

Le secteur d'étude se situe dans la Province de Zagora à 10 km environ à vol d'oiseau à l'Ouest/Sud-Ouest de la ville de Zagora. Il figure sur la carte topographique de El Gloa au 100 000<sup>e</sup> relative à la feuille NH-29-XVIII-2.



**Figure 2:** Carte de situation de la zone d'étude

## **II. Climatologie :**

### **1. Climat :**

Sur le plan climatologie, la province de Zagora est caractérisée par un climat saharien à hiver tempéré pour les centres de Zagora et Tagounite et à hiver frais pour le centre Agdz. Le secteur étudié révèle par conséquent les mêmes caractéristiques climatiques que celles de Zagora.

### **2. Pluviométrie :**

Aucune donnée d'observation directe n'est disponible au niveau du bassin versant de l'oued Bou Tious (zone d'étude), pour cela on est mené à considérer les stations pluviométriques voisines. Les stations disponibles au voisinage du bassin et les plus proches du site sont données dans le tableau 1.

Station	Période d'observation	N° Station
M' SEMRIR	1963 – 2009	85160
AIT MOUTED	1964 – 2009	80776
IFRE	1963 – 2009	84264
TINOUAR	1974 – 2009	88396
BARRAGE	1974 – 2009	85220
AGOUIM	1962 – 2008	80168
TAMDROUSTE	1977 – 2009	87723
AGOUILAL	1975 – 2009	80205
IMDG HAR	1975 – 2009	84372
TAHARBILTE	1967 – 2009	87528
ASSAKA	1975 – 2007	81315
AMAN'TINI	1982 – 2009	80978
ZAGORA	1931 – 2003	-----
FOUM ZGUID	1931 – 2003	-----

**Tableau 1:** Les stations pluviométriques disponibles au voisinage du bassin (Hydroleader, 2012)

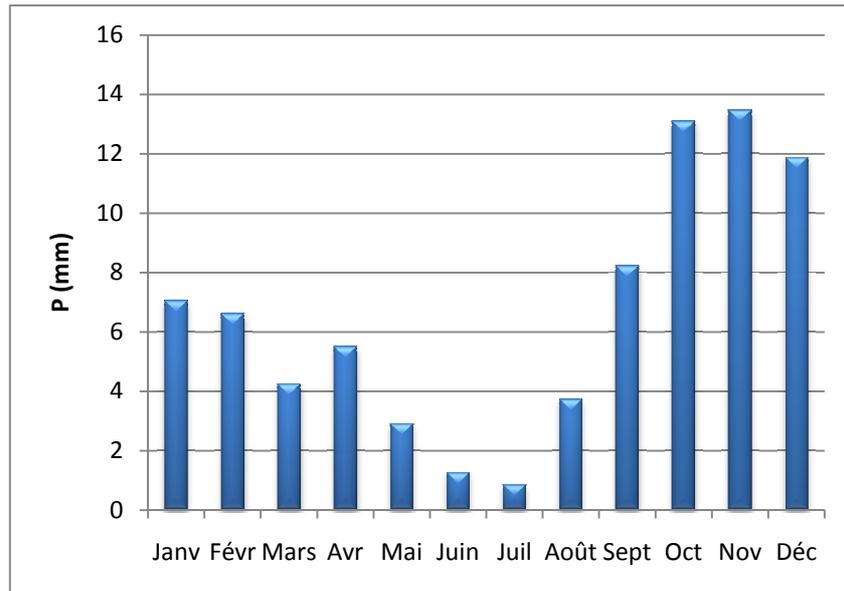
- **répartition mensuelle des pluies moyennes :**

La répartition mensuelle de la pluie moyenne interannuelle (Tab. 2) a été établie sur la base de la série des Précipitations à la station de Zagora pour la période allant de (1931-2003).

Mois	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Moyenne
<b>P mensuelle (mm)</b>	<b>7.04</b>	<b>6.6</b>	<b>4.24</b>	<b>5.49</b>	<b>2.89</b>	<b>1.25</b>	<b>0.84</b>	<b>3.72</b>	<b>8.22</b>	<b>13.08</b>	<b>13.46</b>	<b>11.87</b>	<b>78.7</b>
<b>P mensuelle (%)</b>	<b>9%</b>	<b>8%</b>	<b>5%</b>	<b>7%</b>	<b>4%</b>	<b>2%</b>	<b>1%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>17%</b>	<b>17%</b>	<b>15%</b>	<b>100%</b>

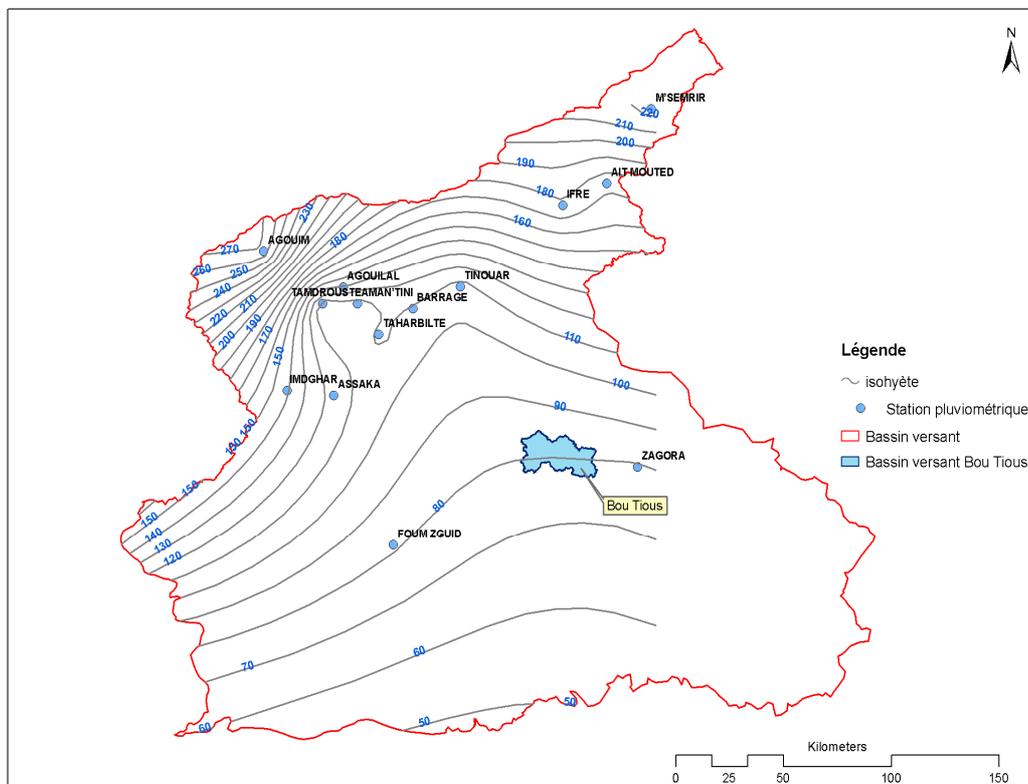
**Tableau 2:** Répartition mensuelle de la pluie relative au secteur étudié (Hydroleader, 2012)

- La répartition mensuelle des pluies est représentée dans la figure 3 ci-dessous :



**Figure 3:** Précipitations moyennes mensuelles de la région étudiée, les données découlent de la station de Zagora (Hydroleader, 2012).

La figure 4 ci-dessous est une présentation de la carte des isohyètes sur la période 1932-2008. Son examen montre que la station de Zagora et le site de Bou Tious se situent sur le même isohyète ; d'où le choix de cette série comme une série de base pour les calculs. (Hydroleader, 2012)



**Figure 4:** Carte des isohyètes du moyen Draa sur la période 1932 – 2012 (Hydroleader, 2012)

### 3. Température :

La température enregistrée dans le secteur étudié est celle relevée au niveau de la station de Zagora. La température moyenne est de 12°C pendant l'hiver et 35°C pendant l'été. La température maximale observée à Zagora est de 52°C (en Aout 1937) par contre la température minimale enregistrée était de -5°C en Janvier 1948. (ABHSMD)

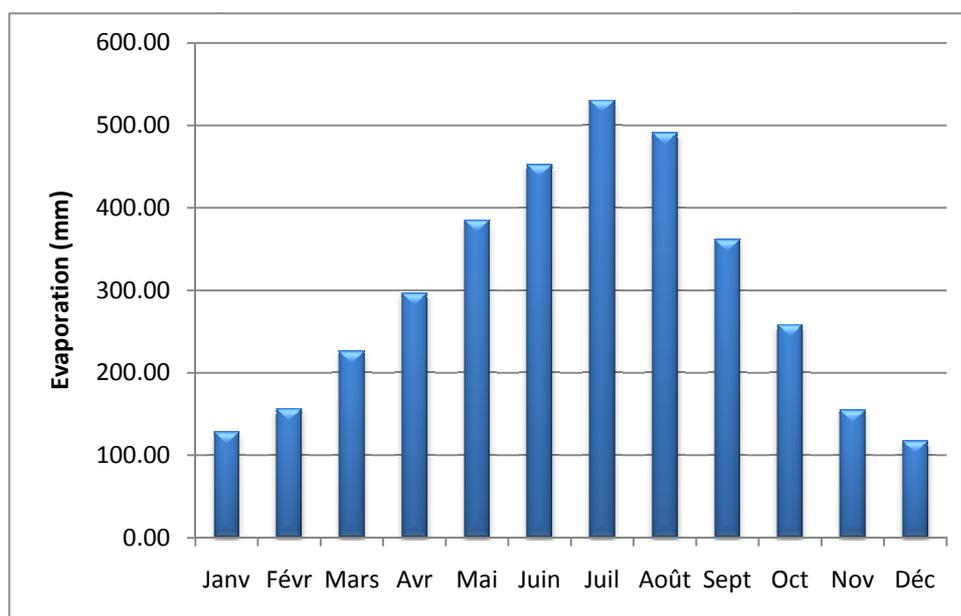
### 4. Evaporation :

Le tableau 3 ci-dessous résume les valeurs moyennes de l'évaporation mensuelle au niveau des deux stations mesurées au bac Colorado.

Station	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Annuelle
ZAGORA	127.71	155.89	225.58	296.21	384.74	452.25	530.39	490.79	361.39	258.07	154.66	116.79	3554.47
ASSAKA	119.88	168.46	263.20	341.44	444.52	523.47	588.53	528.70	409.70	270.18	170.48	100.51	3929.07

**Tableau 3:** L'évaporation moyenne des stations de la zone d'étude ((Hydroleader, 2012)

L'évaporation totale mesurée peut atteindre 3554.47 mm/an à Zagora et 3929.07 mm/an à Assaka (Fig. 5).



**Figure 5:** évaporation moyenne mensuelle (Hydroleader, 2012)

## III. GEOLOGIE :

La zone d'étude, relevant de l'Agence du Bassin Hydraulique Souss Massa Draa (BHSMD), est subdivisée en quatre sous bassins principaux [Haut Draa, Moyen Draa, Bas Draa et l'unité de Guelmim] dont les caractéristiques géologiques régionales sont décrites ci-après.

Le Haut Draa, l'unité médiane du sillon Sud atlasique, forme une vaste dépression entre le Haut-Atlas au Nord et l'Anti-Atlas au Sud. Il se présente sous forme d'un haut plateau, généralement peu accidenté sauf sur sa bordure nord dans la zone plissée sud atlasique. Il comporte, essentiellement, des sédiments épicontinentaux et continentaux d'âges secondaire et tertiaire peu puissants. Aux époques géologiques plus anciennes, le bassin n'a été que la zone de rivage des aires de dépôt des formations jurassiques et triasiques, largement représentées au Nord dans le Haut Atlas alors qu'elles sont totalement absentes au Sud, dans le socle antécambrien du Jbel Sarhro. **CHAMAYOU 1966**)

Le Moyen Draa fait partie du domaine géologique de l'Anti-Atlas et du Bani; les formations géologiques qui le constituent sont d'âges variés allant du Précambrien jusqu'au Quaternaire. Les horizons précambriens y affleurent en faveur de multiples massifs et boutonnières constitués de terrains granitisés, magmatismes et métamorphisés (**Robert-Charrue, 2006**). Sur ces termes, repose en discordance angulaire une couverture sédimentaire paléozoïque, elle-même recouverte de terrains mésozoïques, cénozoïques puis quaternaires (**Fig 6. Et Fig7**).

Le Bas Draa est marquée par :

- Des formations précambriennes constituées essentiellement de roches ignées et volcaniques (affleurant au centre de la chaîne) au Sud de la zone axiale de l'Anti-Atlas, surmontées d'une couverture sédimentaire de calcaires, schistes et grès de l'infrecambrien et du géorgien (auréole sédimentaire de la zone axiale),
- Une structure monoclinale, s'étendant sur un axe quasi-rectiligne d'orientation ENE-WSW sur plus de 300 km de long, dont le Jbel Bani est une arête constituée de quartzites ordoviciens;
- Les terrains des Jbel Richs dévoniens au Sud du Bani qui sont affectés de structures particulières d'interférences de plis (Burkhard et al., 2006 ; **Robert-Charrue, 2006**).

### 1. Géologie du Moyen Draa :

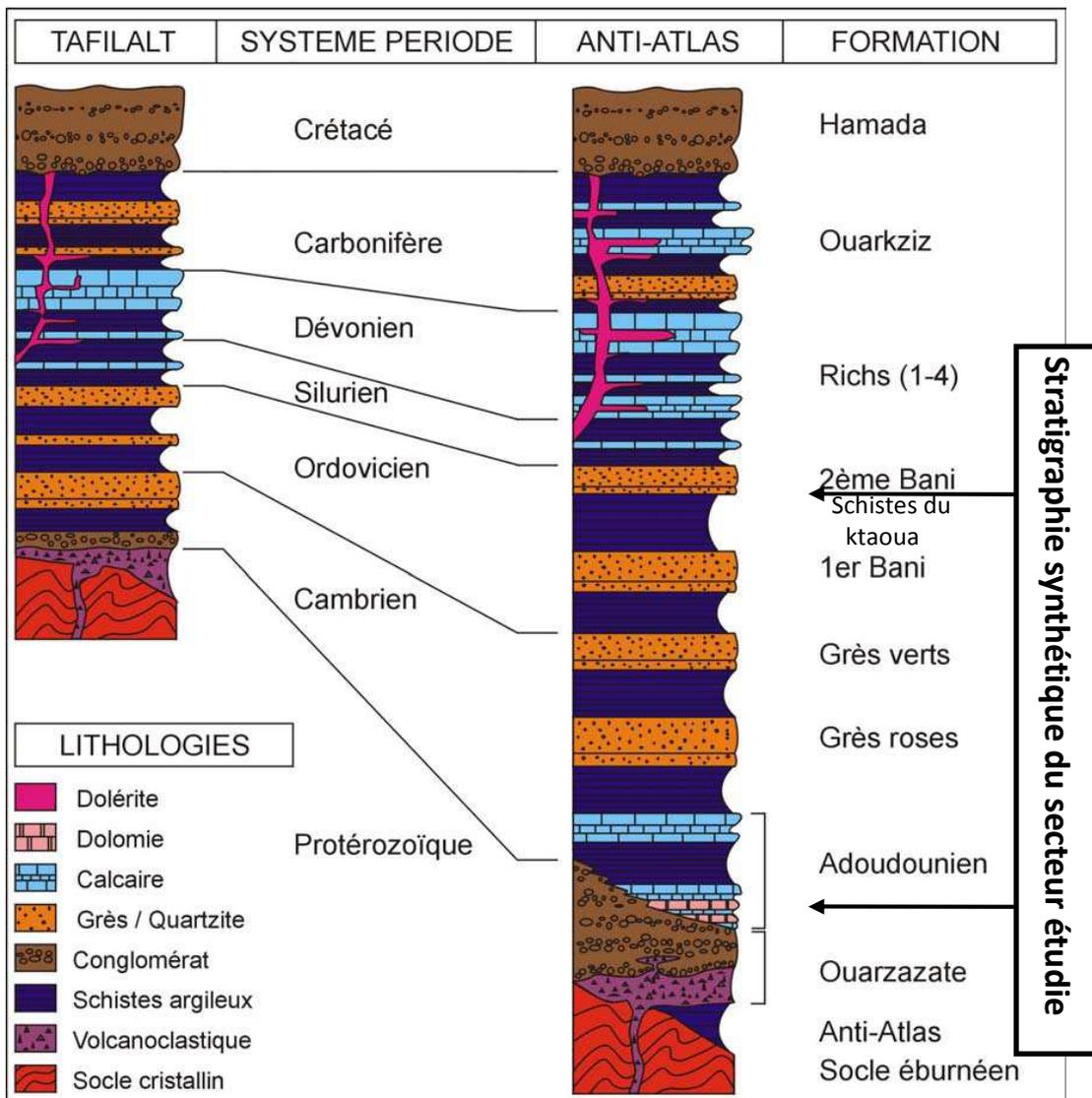
A partir de Zaouia N'Ourbaz (Barrage Mansour Eddahbi) le Draa s'encaisse dans les complexes du Précambrien III. La partie ouest du Jbel Sarhro est constituée en grande partie de coulées de rhyolites et d'andésites dans lesquelles viennent s'interstratifier des brèches rhyolitiques et des tufs volcaniques. Cet ensemble a été subdivisé en trois complexes repères essentiellement rhyolitiques. La prédominance de roches dures a obligé le Draa à creuser une gorge étroite et encaissée.

A l'Adoudounien se succède la série des conglomérats (**Buggish et Flügel, 1988 ; Algouti et al. 2001**) de base peu épais, sur lesquels se sont déposés les calcaires inférieurs, d'une épaisseur variant de 50 m à Agdz à 200 m autour d'El Grara Bou Azzer et Zagora et la série transgressive des grès de Tikirt, d'une puissance maximale de 300 m à Agdz, surmontée par des calcaires supérieurs d'une épaisseur ne dépassant pas les 75 m.

Ces calcaires disparaissent en allant vers l'Est, en bordure du Jbel Sarhro. Cet étage marque le début des dépôts sédimentaires mixtes.

❖ **La série Paléozoïque**, repose en discordance sur les formations précambriennes. Elle est très nettement dominée par de puissantes séries de faible compétence et est ponctuée de niveaux marqueurs compétents (**Helg et al, 2004**). Ceci explique la morphologie typique de la couverture sous la forme de succession de cuestas (**Fig. 6 et Fig.7**)

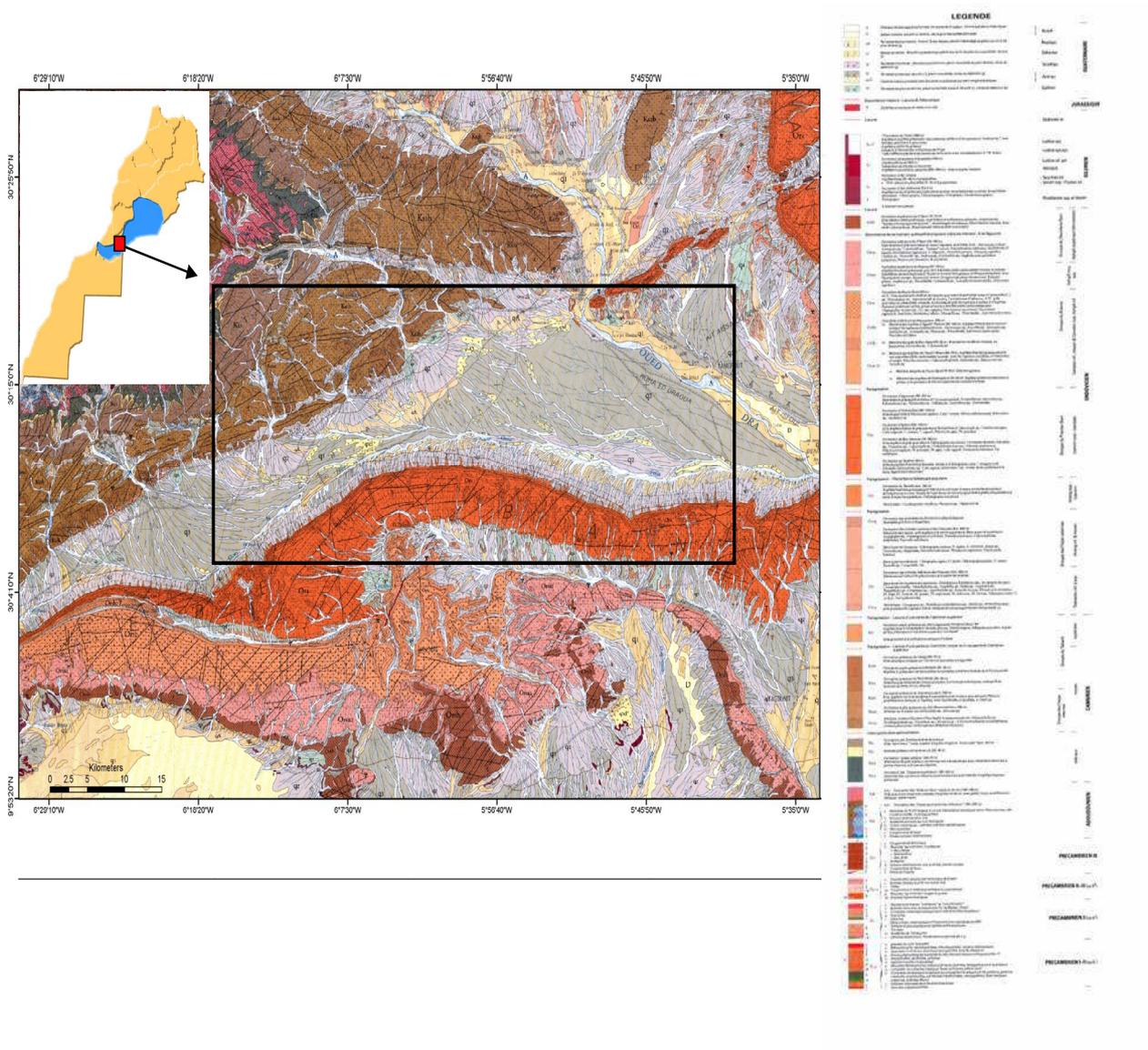
- Le Cambrien est représenté par 50 à 75m de schistes calcaires géorgiennes et de grès terminaux (grès verts) pouvant atteindre 175m d'épaisseur et une série acadienne de schistes à trilobites, de grès et de quartzites pouvant atteindre 500 mètres d'épaisseur.
- La série ordovicienne débute par les schistes inférieurs et supérieurs de Fezouata (500 à 600 m d'épaisseur) qui sont surmontées par les grès et les schistes de Tachila (épaisseur maximale 350 m). Elle se poursuit, plus haut stratigraphiquement, par les quartzites du premier Bani (épaisseur maximale 350 m) et les grès du second Bani qui dessinent des crêtes bien marquées sur plus de 100 km (crêtes appalachiennes des auteurs). Les schistes du Ktaoua apparaissent sous forme d'une intercalation entre les deux chaînes du Bani et constituent la cuvette où se déploie l'actuelle palmeraie du Ktaoua. (**Helg et al., 2004**)
- Le Silurien et le Dévonien correspondent à des séries schisto-gréseuses épaisses formant le substratum de la cuvette alluviale du M'Hamid.
- Le Quaternaire est largement représenté dans la zone par les plages alluviales, les anciennes terrasses alluviales, les couvertures conglomératiques dominant l'oued Draa, les limons fins et graveleux, les dunes de sable qui se sont individualisés au Sud de Zagora et de M'Hamid, les éboulis au pied des falaises, les croûtes salines et les cônes de déjection d'oueds.



**Figure 6: Corrélation stratigraphique du paléozoïque entre l'Anti-Atlas oriental à Tafilalt d'après Baïdder et al. (2008) et centro-occidental d'après Helg et al. (2004). La cartouche à droite de cette figure indique les formations qui sont visibles dans le secteur étudié.**

## 2. Tectonique :

Dans la moyenne vallée du Draa, les déformations précambriennes ont été reprises par l'orogénèse hercynienne. Trois directions principales se distinguent : la direction Atlasique SW-NE, la direction Ougartienne NW-SE et la direction Mesetienne sensiblement méridienne. Ces trois directions hercyniennes se sont superposées sur les plis du Précambrien sans perdre leur individualité. (Hydroleader 2012).



**Figure 7** : Cadre géologique du secteur étudié à l'échelle du moyen Draa (d'après DESTOMBES, 1989).

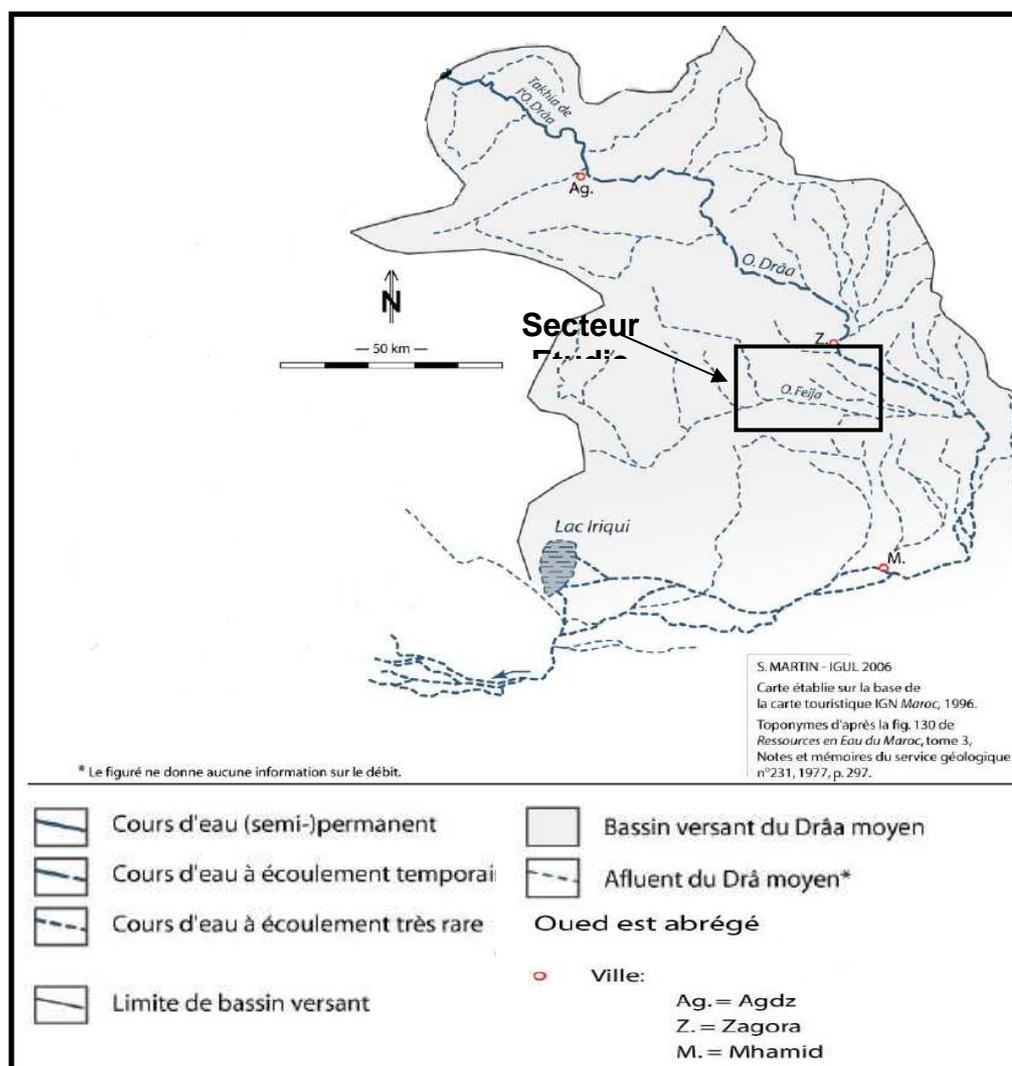
## IV. HYDROLOGIE :

Les principaux affluents de l'oued Draa dans cette zone sont issus de l'Anti-Atlas et traversent les chaînes des Bani (une série de basses chaînes quartzitiques parallèles) à travers des gorges appelées Foums. Celles-ci sont séparées par les Feijas, une sorte de plaines quaternaires à substratum schisteux. Ces « Feijas » renferment des aquifères qui sont exploités au débouché des Foums, pour l'irrigation des palmeraies. (ABHSMD)

### 1. Réseau hydrographique et bassins versant de moyen DRAA :

Le territoire de la province est traversé par l'Oued Draa qui constitue le collecteur principal des eaux de surface de la région. La superficie totale de son bassin versant est de l'ordre de 100 000 Km<sup>2</sup>, sur une longueur totale de 1020 Km.

La carte de la figure 8 ci-dessous présente le réseau hydrographique principal et les caractéristiques moyennes de l'écoulement.



**Figure 8 :** Le réseau hydrographique du bassin versant du Moyen de Draa (REYNARD 2006). Le rectangle en noir indique le secteur étudié.

Le sous bassin de Feija, situé sur la rive droite de l’oued Draa et qui intéresse la province de Zagora, s’étend sur une superficie de l’ordre de 20 000.

La pente moyenne de l’Oued Draa dans la partie cultivée est comprise entre 2.5 et 2 pour mille. Dans les fousms, elle est paradoxalement moins élevée et ne dépasse pas 2 pour mille en moyenne. Cette constatation permet déjà de comprendre le faible rôle de ces cluses dans les échanges entre nappes.

L’Oued Draa est pérenne jusqu’aux environs d’Agdz en année sèche. Au cours d’années humides, il peut aboutir entre Agdz et Zagora, sans toutefois dépasser cette dernière localité. (ABHSMD)

Nom du sous bassin	Oued	Superficie (km <sup>2</sup> )	Périmètre (km)	Indice de Gravelius	Longueur équivalente	Largeur équivalente	Longueur cours d’eau principal (km)	Pente moyenne (%)
Moyen Draa rive droite	<b>Feija</b>	5920	713.2	2.61	341.96	32.96	90.1	0.547
Moyen Draa rive gauche	Ntinsa	8950	725	2.16	338.79	49.01	53.7	0.983

**Tableau 4:** Caractéristiques morphologiques des sous bassins du Moyen Draa

Etude d’actualisation du plan directeur d’aménagement intègre des ressources en eau (ABHSMD 2011)

## V. Hydrogéologie :

Les ressources en eau souterraines du Moyen Draa sont renfermées dans deux types de réservoirs (ABHSMD, 2011):

- Les aquifères de couverture (Plio-Quaternaire) ;
- Les aquifères semi-profonds à profonds du socle (Précambrien et Primaire).

### 1. Les aquifères de couverture :

Le système hydrogéologique de la région du moyen Draa, est caractérisé par l’affleurement de terrains quaternaires perméables, disposant à la fois d’une situation en bas fond et d’une faible pente. Ces différentes caractéristiques sont autant de paramètres favorables à l’infiltration des précipitations directes et des eaux de ruissellement.

Les plaines alluviales constituent les aquifères les plus importants pour plusieurs raisons :

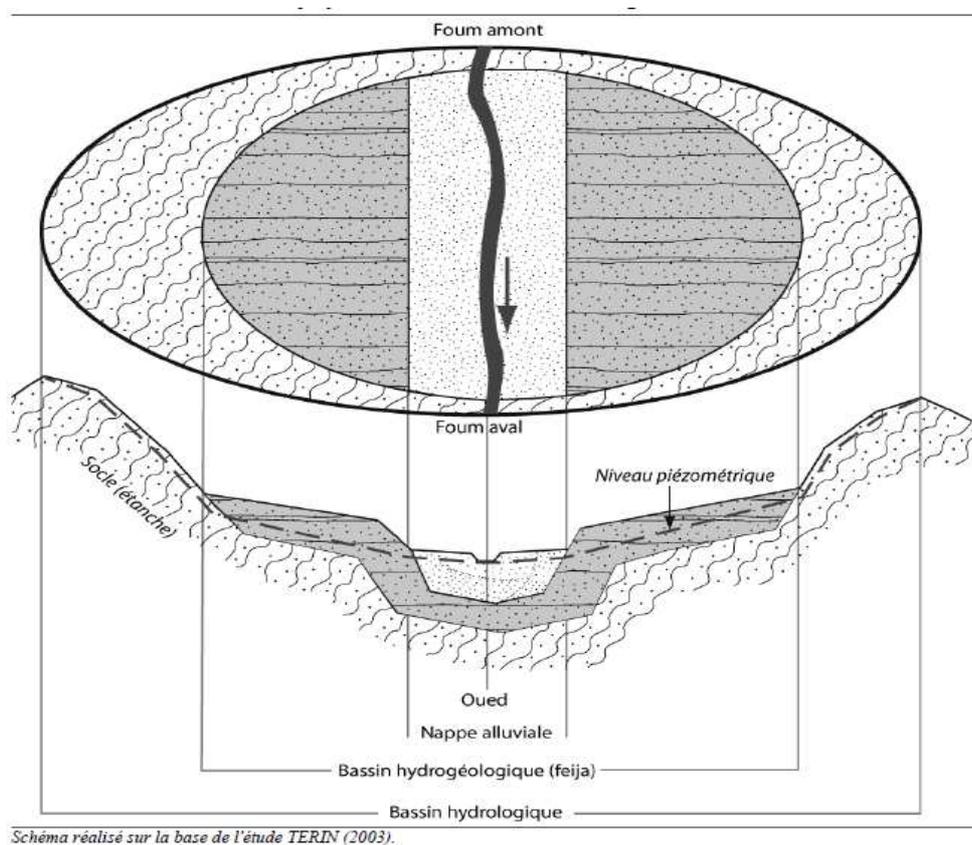
- Leur situation basse leur permet de drainer l’ensemble des eaux du bassin ;
- Leurs bonnes caractéristiques hydrogéologiques leurs attribuent les plus grandes productivités ;

- Leur contact avec le cours d'eau principal leur assure une plus grande pérennité. La nappe alluviale de la Feija de Zagora étudiée dans le cadre de ce travail mérite d'être détaillée.

#### a. La nappe alluviale de la Feija:

Situé entre deux zones montagneuses Nord et Sud de Bani, la Feija de Zagora est une zone étirée d'Ouest en Est sur environ 80km de longueur et de 8 à 12km de largeur. Elle s'ouvre progressivement en s'approchant de la vallée du Draa. Il s'agit d'une dépression comblée par des dépôts d'âge pliocène et quaternaire qui se sont déposés sur les schistes du paléozoïque. Elle est située à l'Ouest de la palmeraie de Fezouata et s'ouvre approximativement au niveau du Foum de Zagora (**Fig. 9**).

L'Oued Feija, alimenté par une multitude d'affluents débouchant de l'Anti-Atlas, suit l'axe de la cuvette à substratum schisteux. Son bassin versant amont couvre sur une surface de 2270km<sup>2</sup>, avec une pluviométrie moyenne est de l'ordre de 78 mm/an. L'oued, long de 80km environ, remplit le rôle de couloir de drainage des eaux provenant du flanc Sud de l'Anti-Atlas (**ABHSMD, 2011**).



*Schéma réalisé sur la base de l'étude TERIN (2003).*

**Figure 9:** Schéma d'une Feija: vue aérienne et en coupe (REYNARD 2006)

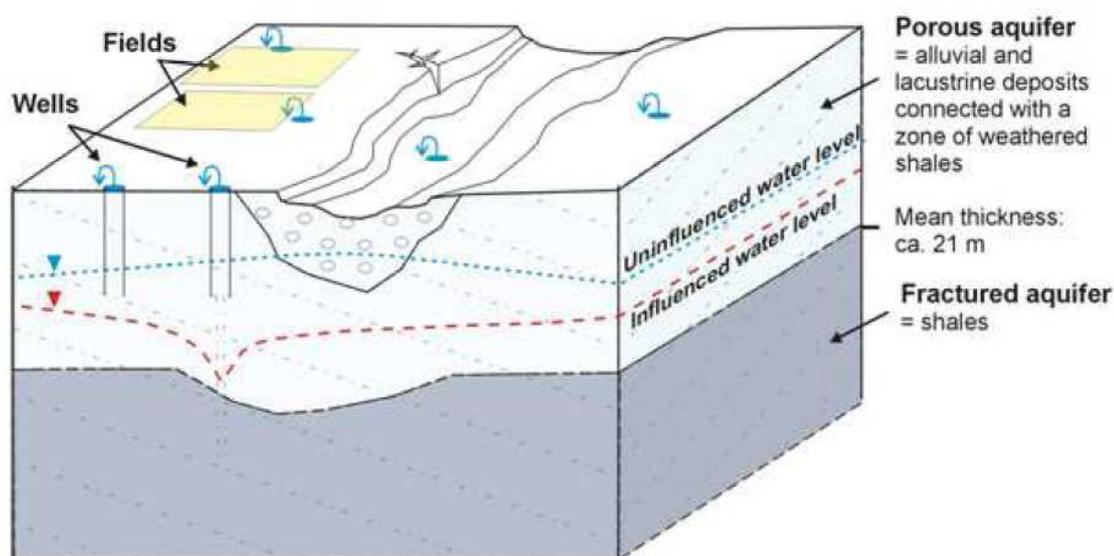
## 2. Les aquifères de socles :

A l'exception des formations quaternaires et plio-quaternaires, le territoire de la province de Zagora est couvert en grande partie par des terrains peu perméables d'âge précambrien et paléozoïque. La faible quantité précipitée annuellement ne permet pas la constitution de nappes d'eau souterraines importantes.

Les infiltrations dans le socle ne peuvent avoir lieu que dans les joints entre les bancs de grès et de quartzites, dans les diaclases et au niveau des zones fracturées ou altérées et accessoirement dans les chenaux karstiques des formations carbonatées. Ces formations ont donc une porosité de fissure avec un faible emmagasinement.

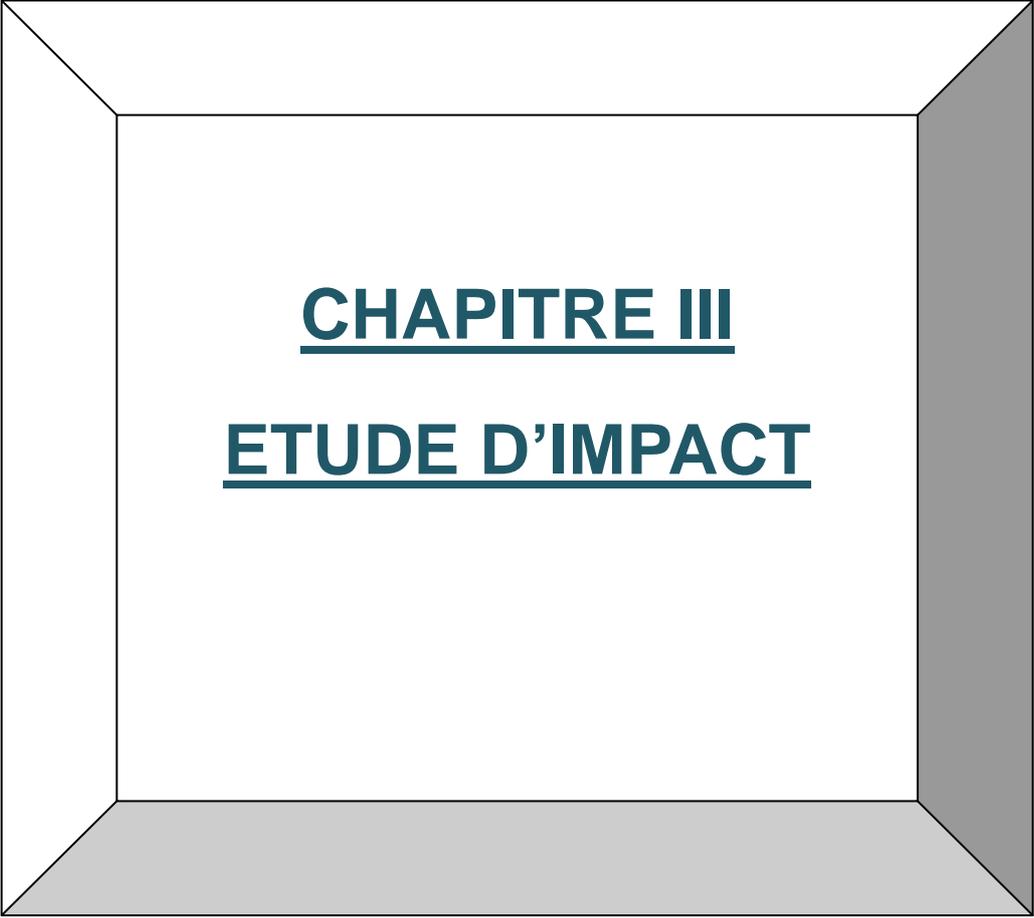
Un autre phénomène important à noter au niveau de ces réservoirs c'est qu'ils sont drainés dans une bonne proportion par les nombreux oueds qui sont encaissés au niveau de ces formations géologiques anciennes.

Il est très difficile de parler d'aquifères d'eau souterraine dans ces formations géologiques du socle, il s'agit d'un milieu très discontinu avec de mauvaises caractéristiques hydrogéologiques (ABHSMD, 2011).



**Figure 10:** Modèle hydrogéologique simplifié de la région de Zagora (d'après Klose and Reichert, 2006).

Le modèle présenté sur la **figure 10** montre l'organisation verticale de l'aquifère poreux du plio-quaternaire et l'aquifère fracturé du socle sous-jacent dans la région de Zagora. Le système hydrogéologique de la Feija considérée dans ce travail s'inscrit harmonieusement dans ce modèle proposé par **Klose and Reichert (2006)**.

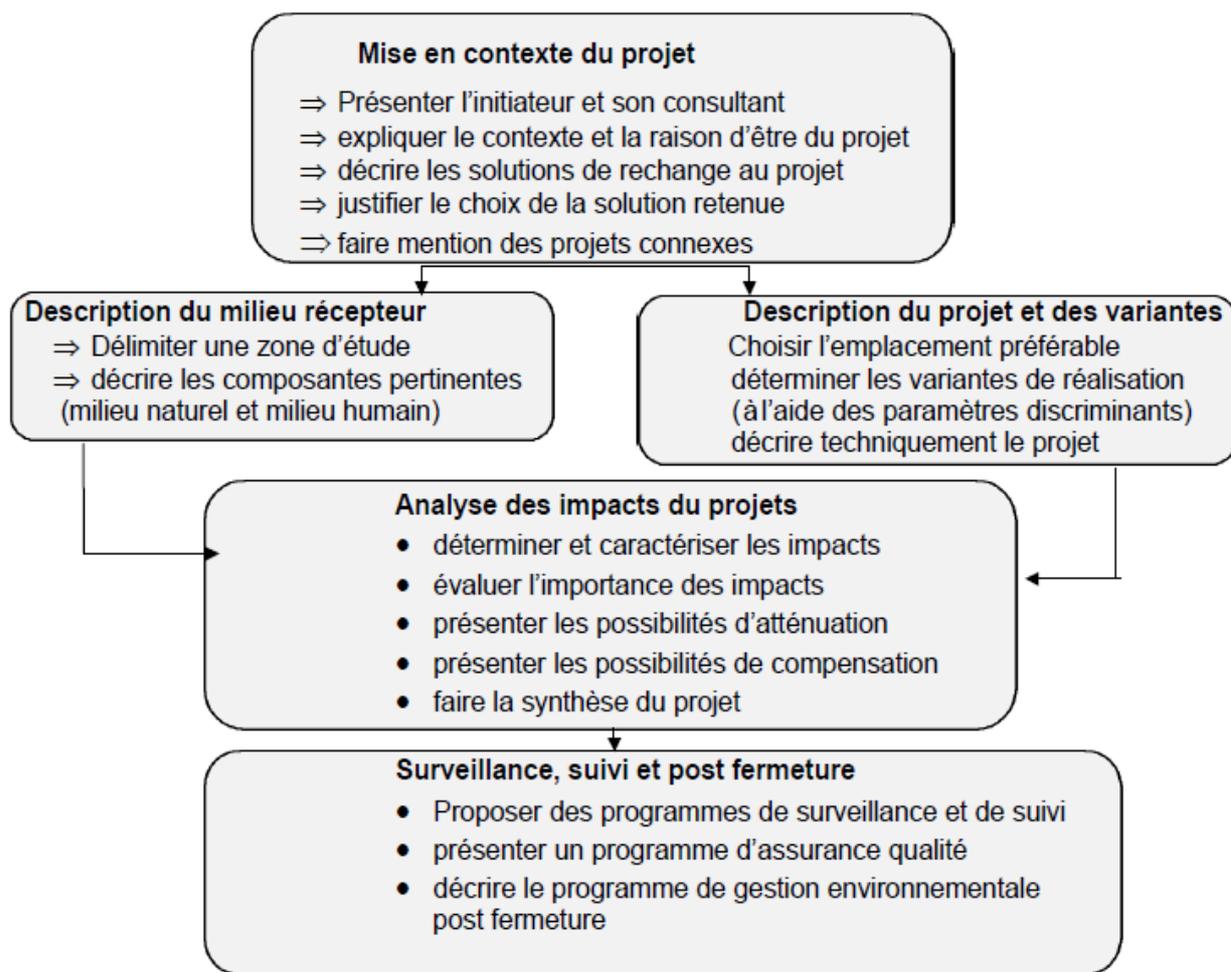


**CHAPITRE III**  
**ETUDE D'IMPACT**

## I. INTRODUCTION :

Les projets de barrage comportent de manière générale la réalisation de différentes activités de préparation (pré construction), de construction et d'exploitation qui peuvent avoir des répercussions sur l'environnement.

L'étude de l'impact de la réalisation d'un projet d'ouvrage hydraulique sur son environnement naturel et humain est exécutée suivant le schéma de la figure 11 ci-dessous.



**Figure 11:** Exemple de Démarche d'Elaboration de l'Etude d'Impact

L'étude menée dans le cadre de notre projet d'étude, rappelons-le, se limitera à l'impact de la réalisation du barrage Bou Tious sur les ressources en eaux de la nappe de Feija en moyen Draa. Les autres aspects ne seront pas traités dans cette étude, ils seront toutefois exposés dans un rapport final de l'HYDROLEADER.

## II. DESCRIPTION DU PROJET DU BARRAGE :

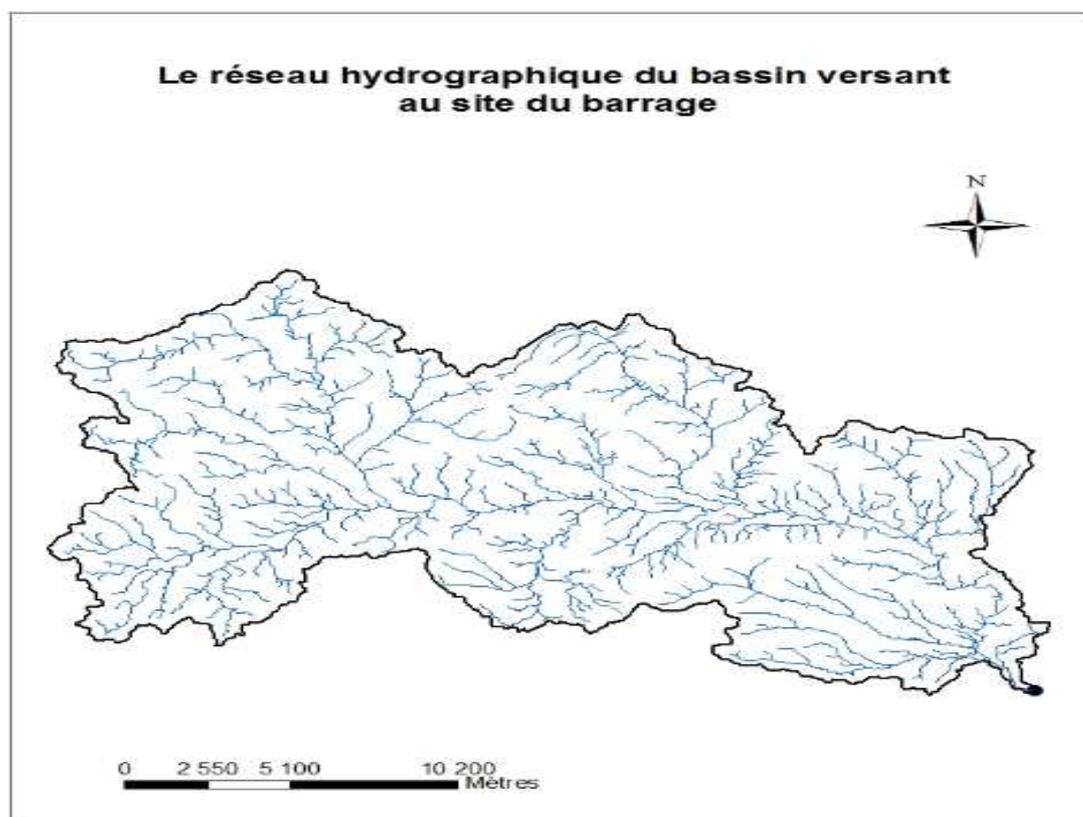
### 1. Hydrologie du Bou Tious (au site du barrage) :

#### 1.1 Paramètres géométriques :

- Délimitation du bassin versant:

La délimitation du bassin versant est une étape cruciale pour l'estimation des débits de pointes et pour l'estimation des apports. Cette étape nécessite une attention particulière afin de déterminer avec précision les lignes de partage des eaux superficielles entre les bassins versants.

La délimitation du bassin versant de l'oued Bou Tious a été basée sur les cartes topographiques et sur l'utilisation du modèle numérique de terrain **ASTER** de 30m de résolution. Cette délimitation a abouti à un bassin versant de 367.44 km<sup>2</sup> (Fig. 12 et Tab. 5).



**Figure 12:** Le réseau hydrographique du bassin versant de Bou-Tiouss (au site du barrage)

Bassin versant	Superficie (km <sup>2</sup> )	Périmètre (km)
Oued Bou Tious	367.44	133.38

**Tableau 5:** caractéristiques du bassin versant de Bou Tious étudié.

❖ **Indice de compacité de Gravellius "Kc":**

Cet indice exprime la forme du bassin versant, il est en fonction de la surface du bassin et de son périmètre.

$$Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

Avec : P: périmètre du bassin versant (Km) ;

S: superficie du bassin versant (Km<sup>2</sup>) ;

Si : \* Kc = 1 ; le bassin versant est ramassé

\* Kc > 1 ; le bassin est allongé.

Dans cet exemple, l'indice de compacité de Gravellius calculé est de :

$$Kc = 1.95$$

Le bassin versant de l'Oued Bou Tious présente donc une forme allongée.

❖ **Rectangle équivalent:**

On assimile notre bassin à un rectangle défini par sa longueur "L", sa largeur "l" est la même superficie du bassin versant "S".

$$L = \frac{Kc\sqrt{S}}{1.12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right] \quad \& \quad l = \frac{Kc\sqrt{S}}{1.12} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right]$$

$$l = 6.06 \text{ Km}$$

$$L = 60.33 \text{ Km}$$

Cette notion de rectangle équivalent a été introduite par avoir l'influence des caractéristiques géométries du bassin sur l'écoulement.

❖ **Coefficient d'allongement:**

Ce coefficient est obtenu par la relation :

$$Ca = L^2 / S$$

L : la longueur du talweg principal L = 48.81 Km

S : la superficie du bassin versant. S = 367.44 Km<sup>2</sup>      Donc :  $Ca = 6.48$

Le bassin est six fois plus long que sa largeur alors le temps de rassemblement des eaux vers l'exutoire sera long

❖ **Paramètres du relief:**

L'influence du relief est encore plus évidente sur les vitesses de ruissellement.

• **Courbe hypsométrique :**

Pour estimer ces paramètres, on doit présenter la répartition hypsométrique après planimétrie des aires partielles comprises entre les courbes de niveau maîtresses et les différentes cotes (Tab. 6 et Fig. 13).

<b>Altitudes (m)</b>	<b>Altitudes moyenne (m)</b>	<b>Si (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Si (%)</b>	<b>ΣSi(%)</b>
<i>800-850</i>	<i>825</i>	<i>0.02</i>	<i>0.01</i>	<i>100</i>
<i>850-900</i>	<i>875</i>	<i>6.16</i>	<i>1.68</i>	<i>98</i>
<i>900-950</i>	<i>925</i>	<i>8.36</i>	<i>2.28</i>	<i>96</i>
<i>950-1000</i>	<i>975</i>	<i>12.89</i>	<i>3.51</i>	<i>92</i>
<i>1000-1050</i>	<i>1 025</i>	<i>19.15</i>	<i>5.21</i>	<i>87</i>
<i>1050-1100</i>	<i>1 075</i>	<i>23.37</i>	<i>6.36</i>	<i>81</i>
<i>1100-1150</i>	<i>1 125</i>	<i>30.44</i>	<i>8.29</i>	<i>72</i>
<i>1150-1200</i>	<i>1 175</i>	<i>41.55</i>	<i>11.31</i>	<i>61</i>
<i>1200-1250</i>	<i>1 225</i>	<i>42.56</i>	<i>11.58</i>	<i>50</i>
<i>1250-1300</i>	<i>1 275</i>	<i>41.81</i>	<i>11.38</i>	<i>38</i>
<i>1300-1350</i>	<i>1 325</i>	<i>37.97</i>	<i>10.33</i>	<i>28</i>
<i>1350-1400</i>	<i>1 375</i>	<i>34.87</i>	<i>9.49</i>	<i>18</i>
<i>1400-1450</i>	<i>1 425</i>	<i>32.60</i>	<i>8.87</i>	<i>9</i>
<i>1450-1500</i>	<i>1 475</i>	<i>15.80</i>	<i>4.30</i>	<i>5</i>
<i>1500-1550</i>	<i>1 525</i>	<i>9.65</i>	<i>2.63</i>	<i>3</i>
<i>1550-1600</i>	<i>1 575</i>	<i>6.59</i>	<i>1.79</i>	<i>1</i>
<i>1600-1650</i>	<i>1 625</i>	<i>2.16</i>	<i>0.59</i>	<i>0</i>
<i>1650-1700</i>	<i>1 675</i>	<i>0.50</i>	<i>0.14</i>	<i>0</i>

**Tableau 6:** Tableau de répartition des surfaces en fonction des cotes Draa

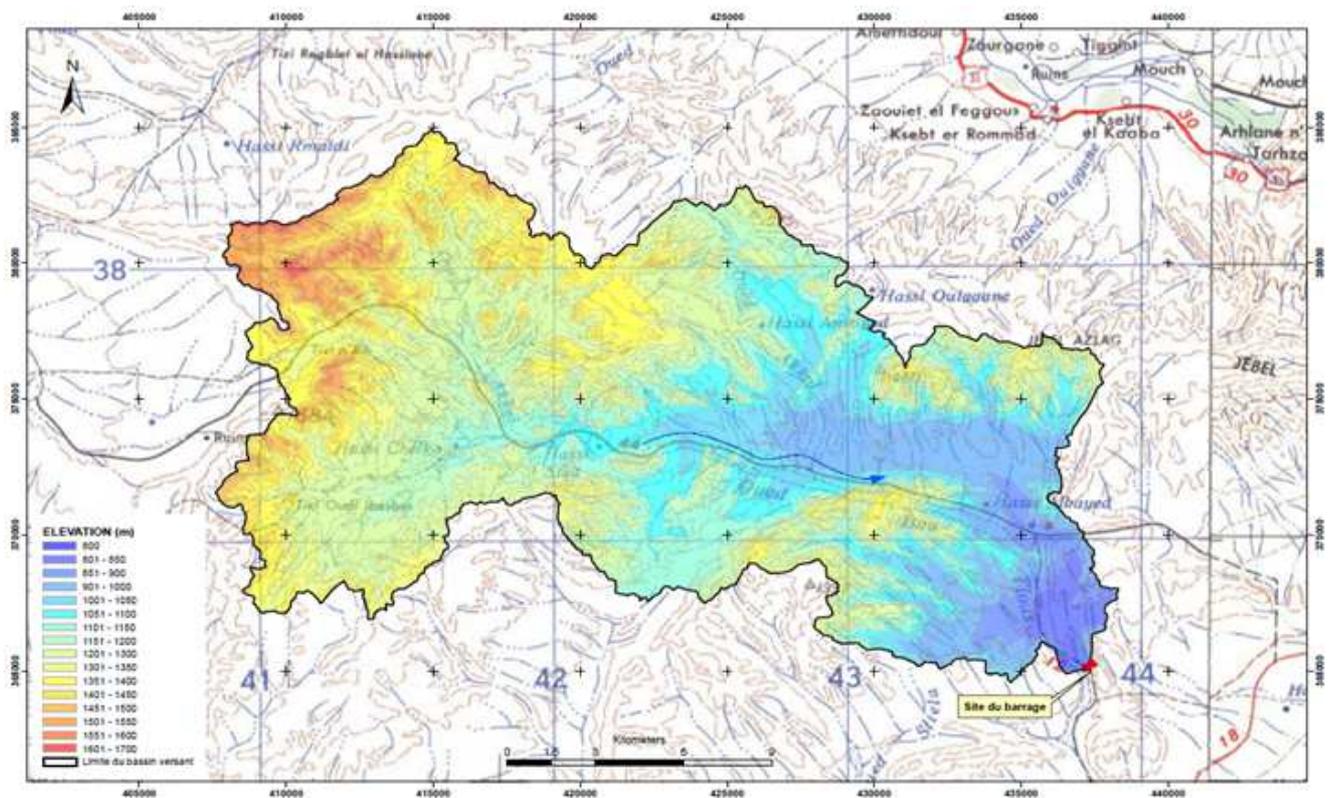


Figure 13: Carte hypsométrique du bassin versant de Bou Tious en moyen Draa.

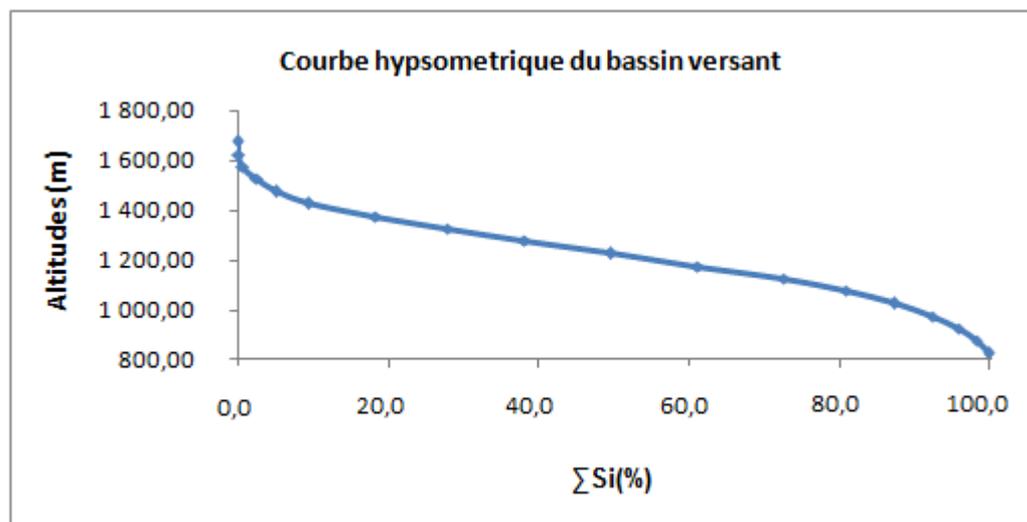


Figure 14 : La courbe hypsométrique du bassin versant de Bou Tious en moyen Draa.

A partir de la courbe hypsométrique **figure14**, on peut déduire :

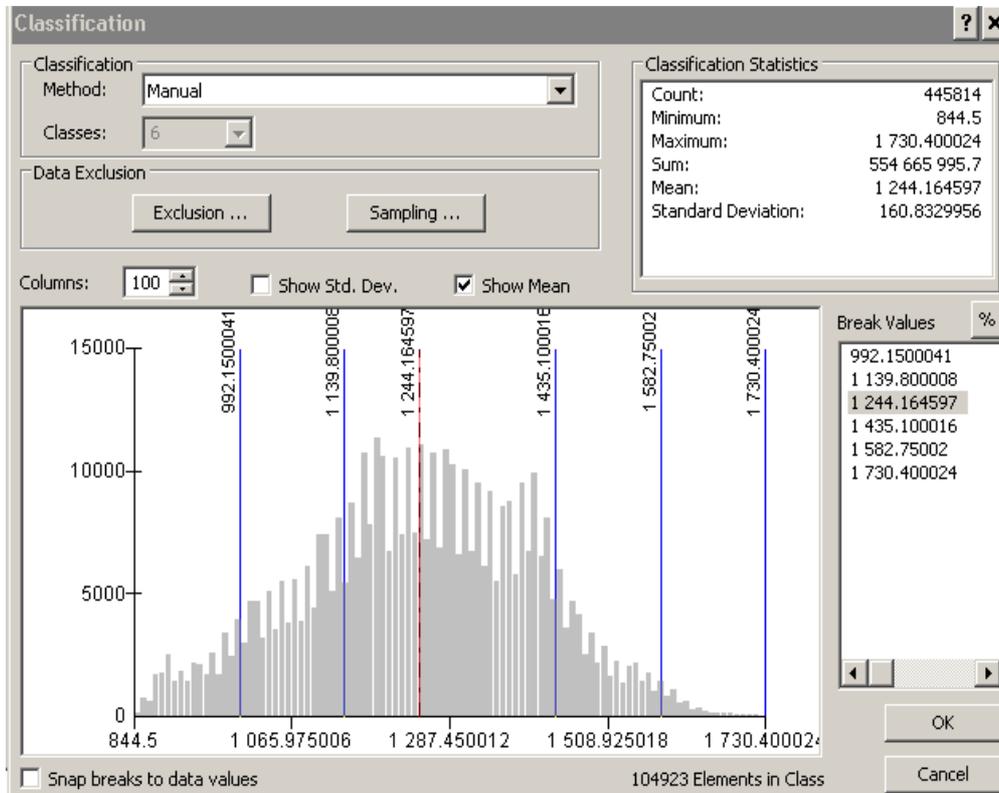
- ❖ Les altitudes maximale et minimale de bassin versant de Bou-Tiouss : Elles sont obtenues directement à partir de cartes topographiques. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas, généralement à l'exutoire.

Altitude maximale : 1729 m

Altitude minimale : 841 m

❖ *Altitude moyenne du bassin versant:*

L'altitude moyenne a été calculée à l'aide du SIG en exploitant la modèle numérique de terrain, l'altitude moyenne est de l'ordre de 1244.16 m (**Figure 15**). Les autres statistiques concernant les altitudes dans la zone d'étude sont données dans la **figure 15**.



**Figure 15:** Statistiques de répartition des altitudes du bassin de Bou Tious en moyen Draa

❖ **Temps de concentration TC:**

C'est le temps que met une particule d'eau provenant de la partie la plus éloignée du bassin pour arriver à l'exutoire.

Différentes méthodes ont été définies pour déterminer le temps de concentration, les formules usuelles utilisées au Maroc sont décrites ci-dessous :

- **Formule de Van Te Chow**

$$T_c = 60 \times 0.123 \times \left( \frac{L}{\sqrt{I}} \right)^{0.64}$$

- **Formule de Kirpich**

$$T_c = \frac{1}{52} \times \left( \frac{L}{\sqrt{I}} \right)^{0.77}$$

▪ **Formule de Giandotti**

$$T_c = 60 \times \left( \frac{4 \times \sqrt{A} + (1.5 \times L)}{0.8 \times \sqrt{H}} \right)$$

Avec :  $T_c$  : Temps de concentration en mm ;

L: Longueur du plus long talweg en Km ;

I : Pente en m/m ;

A : Superficie du bassin en Km<sup>2</sup> ;

H : Dénivelée totale en m.

Les résultats de calcul du temps de concentration par les différentes méthodes listées ci-dessous, pour les différents bassins sont donnés dans le tableau 7 ci-dessous.

	Van Te Chow	Kirpich	Giandotti	Moyenne
<b>Temps de concentration (min)</b>	167	167	136	<b>156.6</b>

**Tableau 7:** Temps de concentration du bassin versant de Bou Tious.

Alors le temps de concentration est assez rapide.

❖ **Vitesse de ruissellement  $V_r$ :**

On a :  $V_r = \frac{L_p}{T_c}$  (Km/h).

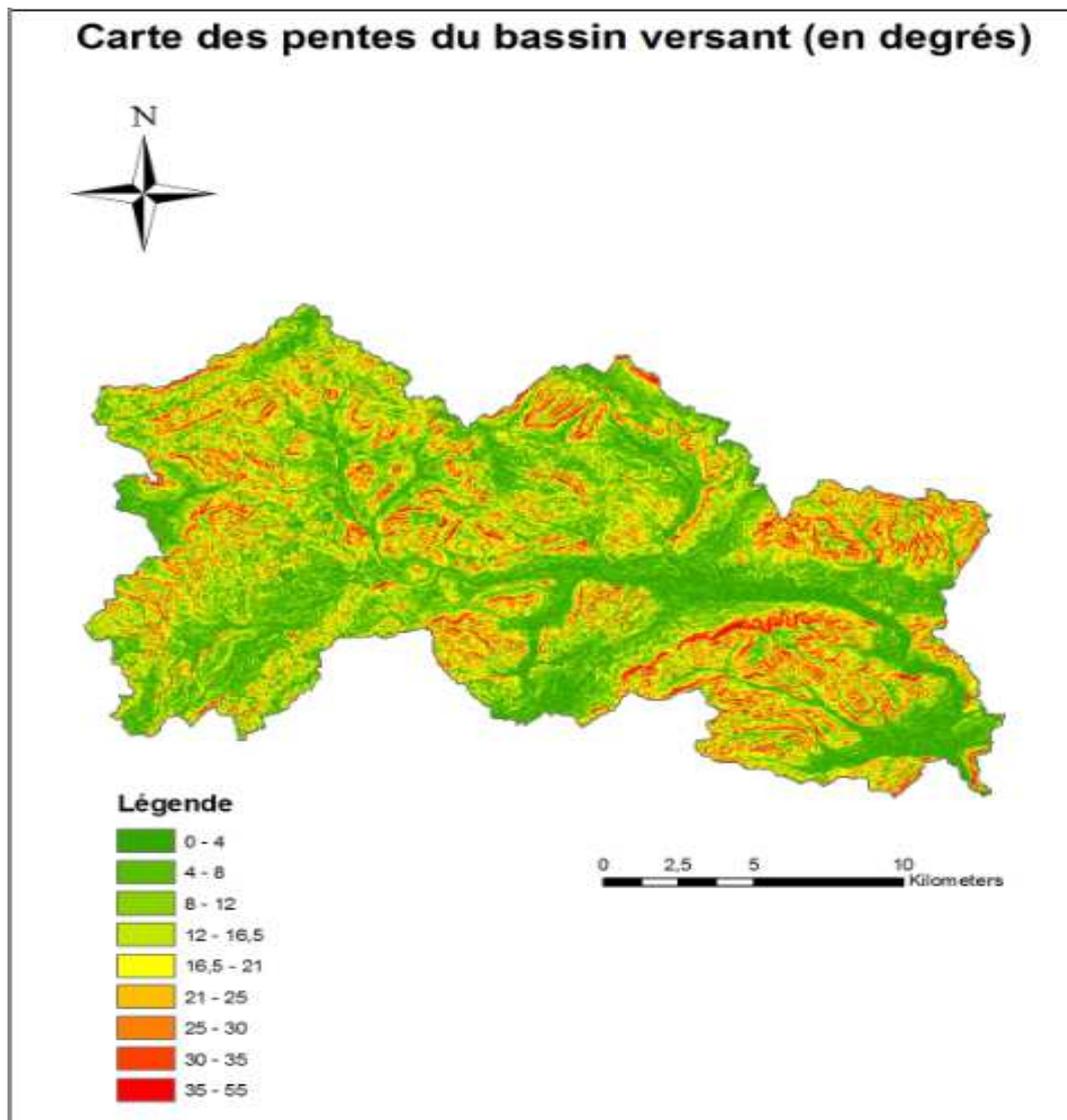
$L_p$  : Longueur du cours d'eau principal (Km) ;

$T_c$  : Temps de concentration (h).

$$\boxed{V_r = 8.69 \text{ Km/h.}}$$

Alors la vitesse de ruissellement est grande.

❖ **La pente moyenne du bassin versant :**



**Figure 16:** Carte des pentes du bassin versant de Bou-Tiouss en amont du site du barrage projeté.

La pente moyenne d'un bassin versant est tirée à partir de la moyenne pondérée des pentes de toutes les surfaces élémentaires comprises entre deux altitudes données (Fig. 16)

La pente moyenne du bassin versant de Bou-Tious a été calculée à l'aide du SIG. Elle est de l'ordre de 23,6%. Cette valeur est généralement forte alors une faible durée de concentration des eaux et avec une grande vitesse d'écoulement.

## 1.2 Caractéristiques de l'écoulement :

### ❖ Module de l'écoulement :

Il est donné par :  $Me = Amoy / T$

Amoy : Apport moyen annuel (mm).

T : Temps d'une année en secondes  $T = 3.153$  Donc :

$$\boxed{Me = 272.70 \text{ l/s}}$$

❖ **Module de l'écoulement RELATIF :**

On a :  $M_{er} = M_e / S_{bv}$ .

$M_e$ : Module de l'écoulement (l/s)

$S$  : Superficie du bassin ( $Km^2$ ).

Donc :  $M_{er} = 0.74 \text{ l/s/Km}^2$ .

❖ **Lame d'eau écoulée :**

La lame d'eau est une mesure d'écoulement des précipitations atmosphériques au sein du bassin versant d'un cours d'eau. Le résultat est donné en millimètres (mm), pour faciliter la comparaison avec la précipitation tombée.

$L_e = A_{moy}/S_{BV}$ .

$L_e = 23.41 \text{ mm}$ .

Alors la hauteur de l'eau écoulée sur le bassin versant de Bou-Tiouss si en étalée sur toute la superficie est 23.41 mm

❖ **Coefficient de l'écoulement:**

Il est donné par :  $C_e = L_e / P_{moy}$

$C_e = 0.29$

### 1.3 Etude des crues :

Les crues sont des écoulements variables dans lesquelles les débits atteignent des valeurs importantes. L'estimation des crues révèle une grande importance pour la sécurité de l'ouvrage à implanter.

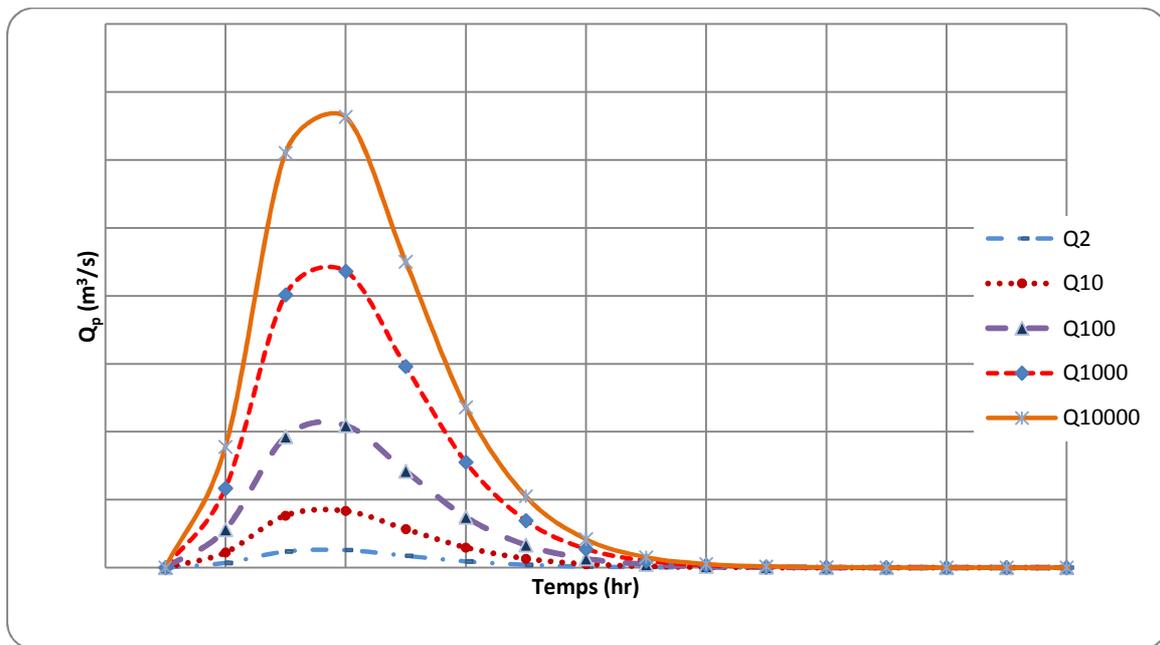
Les paramètres définissant une crue sont:

- Le débit maximum de la crue (débit de pointe) ;
- Le volume de la crue;
- La forme de la crue (Hydrogramme de crues) ;
- Le temps de base;

Le débit de pointe probable de la crue des différentes périodes de retour est donné dans le tableau 8. Le diagramme rectangulaire de la figure 17 illustre ce retour périodique des crues:

Bassin	Superficie ( $Km^2$ )	$Q_2$	$Q_{10}$	$Q_{100}$	$Q_{1000}$	$Q_{10000}$
Bou Tiouss	367.44	54	174	437	911	1 385

**Tableau 8:** Débits de pointe pour les différentes périodes de retour des crues dans le bassin de Bou Tiouss considéré.



**Figure 17:** Hydrogramme de crue du bassin de la zone d'étude.

#### 1.4 Conclusion :

L'ensemble des principales caractéristiques physiques ont donc une forte influence sur la répartition spatio-temporelle des précipitations et des débits au sein de bassin versant étudié.

#### 2. Géologie et type de barrage :

Compte tenu des conditions extrêmement difficiles de la zone où la rareté et l'irrégularité de ressource en eau entravent tout développement socio-économique, le site de barrage Bou Tious présente une opportunité intéressante pour la région et la population de la zone qui souffre de grandes difficultés liées à la rareté de la ressource. Il pourra jouer un rôle primordiale pour développer un système d'aménagement hydraulique qui peut augmenter les possibilités de satisfaire les besoins en eau de la ville de Zagora et ceux de l'irrigation de la plaine Feija et participer également au développement des ressources en eau de la zone tout en renforçant la recharge artificielle de la nappe.

Les études topographiques et hydrologiques, malgré la grande largeur au niveau de l'axe, font ressortir que le site présente une opportunité précieuse pour la zone avec un apport moyen estimé à 8.6 Mm<sup>3</sup>/an et une capacité de stockage qui pourrait atteindre les 30 Mm<sup>3</sup>.

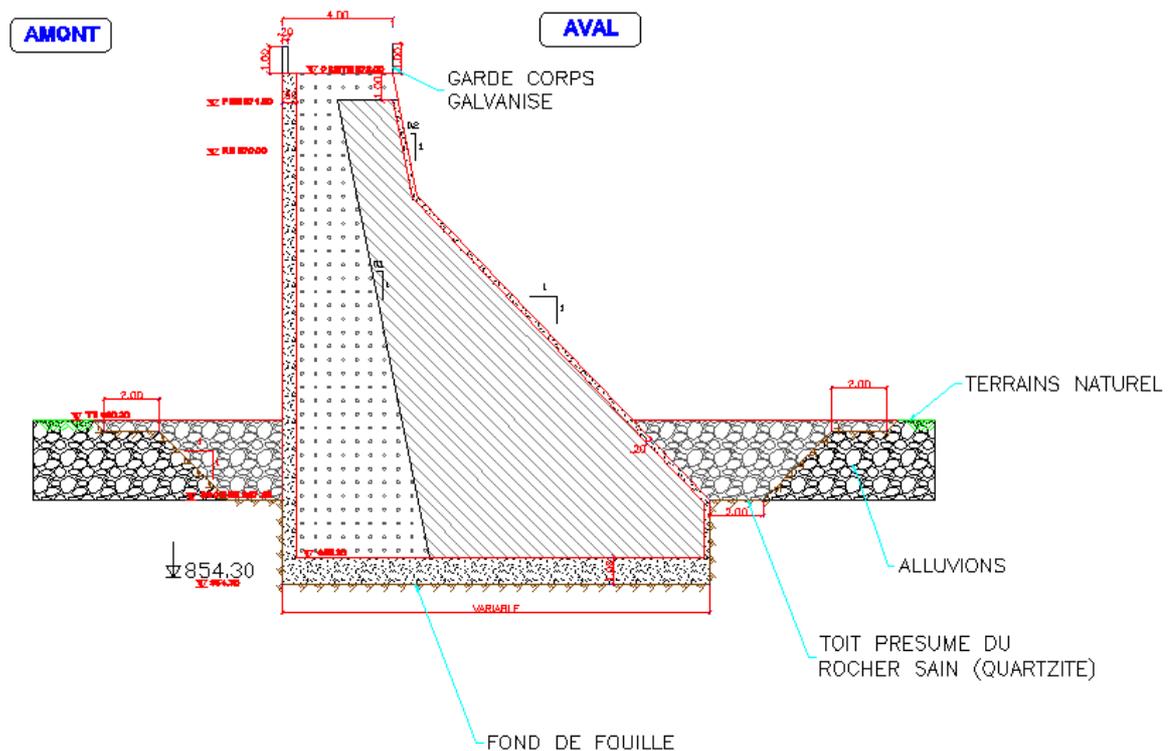
Les investigations géologiques et géotechniques préliminaires montrent que la programmation et la réalisation de ce barrage est envisageable, avec une hauteur qui peut atteindre plus de 29m. La présence éventuellement de fractures au niveau des quartzites et les failles sur la rive gauche doit faire objet d'une attention particulière. Des reconnaissances plus poussées devraient préciser davantage leur ampleur et les mesures à prendre pour les colmater éventuellement.

Etant donné que le substratum de nature quartzitique et schisteux du Cambrien affleure sur les deux rives où se trouve sous épaisseur de dépôts alluvionnaires, de l'ordre de 5.0 m, nous avons projeté un barrage en

Béton Compacté au Rouleau [BCR] qui utilisera les plages alluviales où carrément les moellons ou enrochements quartzitiques qui existent en abondance au site et au niveau de la retenue.

La taille la plus intéressante est celle qui stocke à peu près une (1.5) fois et demi l'apport moyen annuel. En effet, cette taille donne les meilleures caractéristiques de régularisation de la retenue dans les conditions climatiques de la région.

❖ **Coupe-type du barrage :**



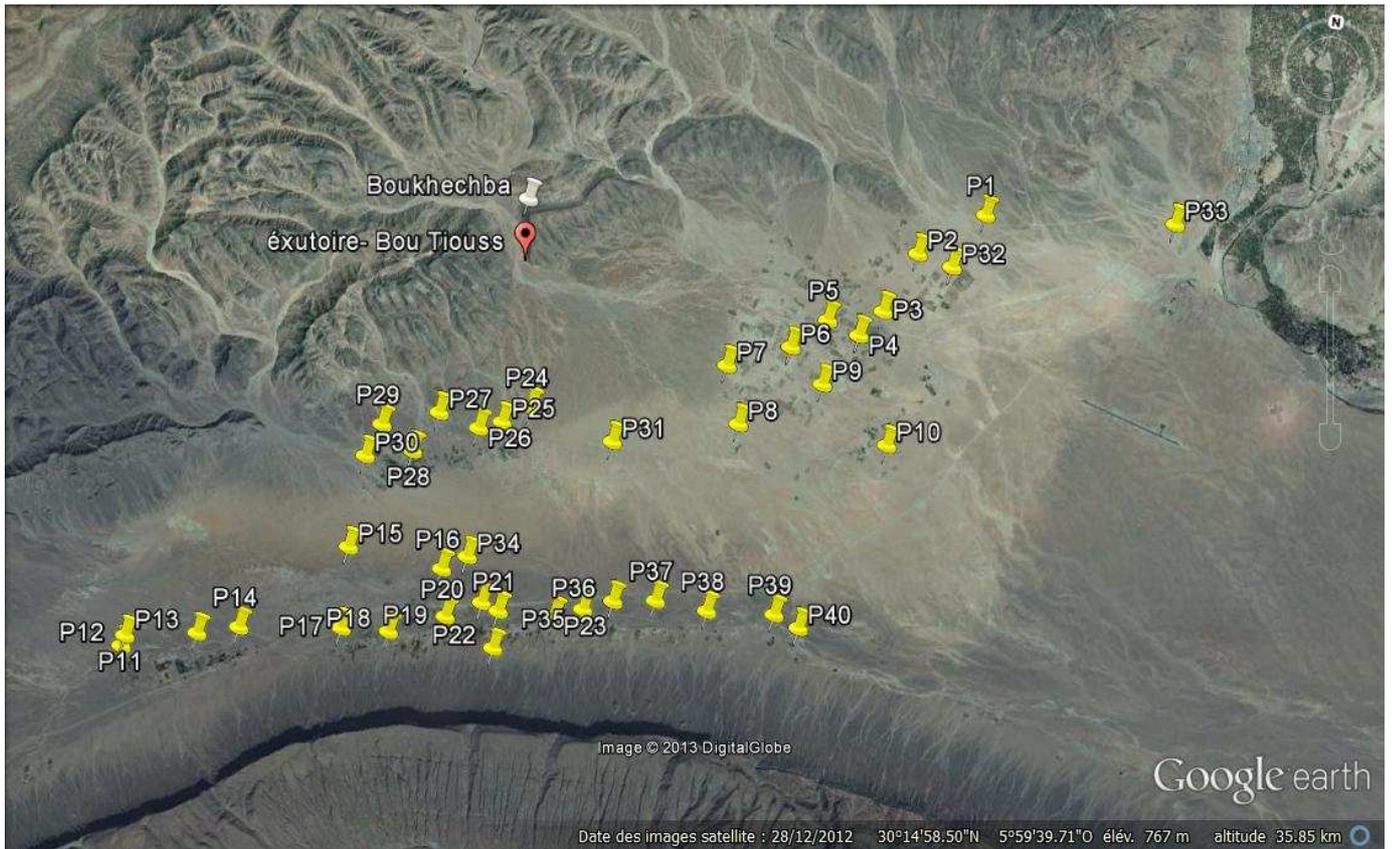
**Figure 18:** Coupe NW-SE montrant le profil général du futur barrage de Bou Tious. La conception adoptée pour ce barrage est du type gravitaire en BCR (HYDROLEADRE, 2012)

### III. EVALUATION DE L'IMPACT DU BARRAGE SUR LES RESSOURCES EN EAU :

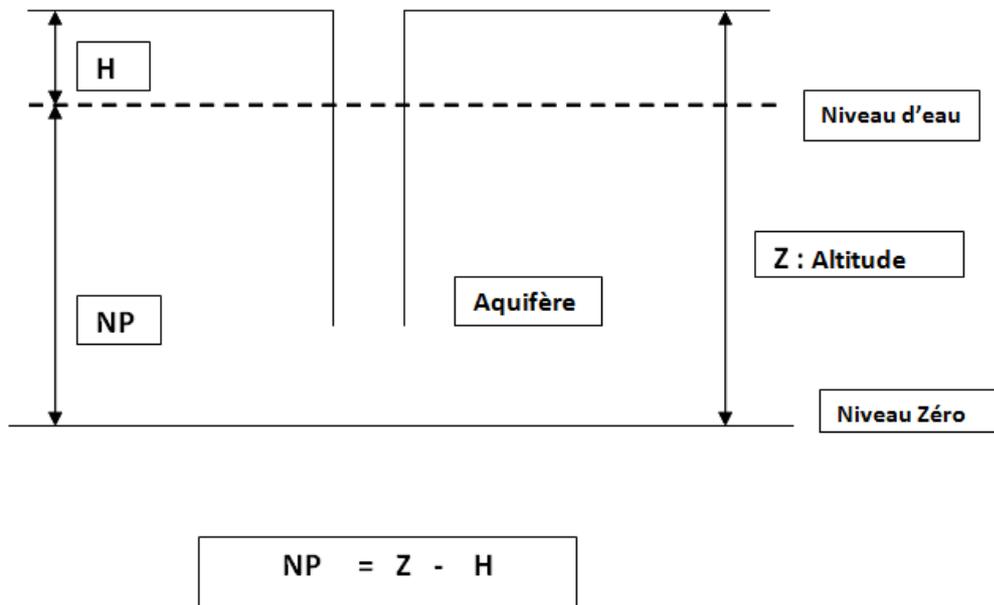
#### 1. Etude piézométrique :

❖ **Méthodologie et traitement informatique :**

Les prélèvements ont été effectués sur une série de puits références de P1 à P40 (Fig. 19). Ces échantillons sont destinés aux mesures in-situ. Les coordonnées des puits analysés sont définies à l'aide du GPS. Le Tableau 1 en annexe 1 consigne l'ensemble de ces coordonnées.



**Figure 19:** Image satellite montrant l’emplacement des puits dans la plaine de Feija. L’exutoire du bassin versant de Bou Tiouss est indiqué au nord par le point rouge.



**Figure 20:** Principe de mesure du niveau piézométrique.

Les cartes piézométriques suivantes sont établies à partir des mesures du niveau statique relevé sur le terrain (Cf. Tableau annexe 1). L'objectif recherché au niveau de ces cartes piézométriques est la direction et le sens d'écoulement des eaux souterraines.

L'établissement de la carte piézométrique d'une nappe se déroule comme suite :

- choix des points d'eau (forages, puits) représentatifs de la nappe étudiée ;
- définition des coordonnées lombaires (X, Y et NP) des puits choisis;
- mesures, sur le terrain, du niveau de la nappe dans un intervalle de temps réduit (quelques jours à quelques semaines),
- tracé des courbes piézométriques, analyse et interprétation des résultats.

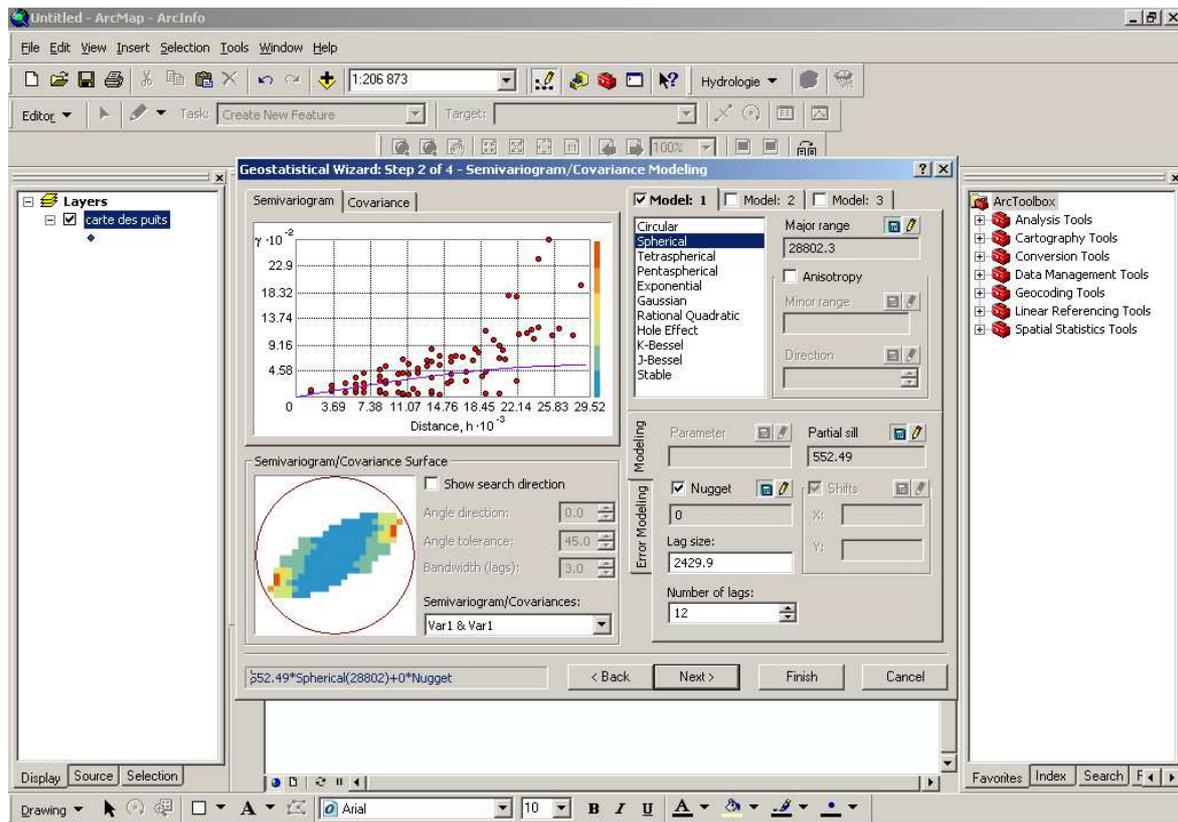
#### ❖ **Traitement géostatistique :**

Les données recueillies sur le terrain sont traitées à l'aide des logiciels informatiques. Le Global Mapper permet d'exporter les données X, Y et NP du format Excel CSV au format Shapefile, ce qui permettra d'ouvrir le fichier dans le logiciel Arcgis. Celui-ci servira pour analyser le variogramme sur une variable aléatoire à l'aide du modèle « Geostatistical Analyst ». Ces étapes aboutiront à la validation de l'interpolation par krigéage et par conséquent 'élaboration de la carte piézométriques.

Le variogramme est une fonction mathématique utilisée en géostatique, en particulier pour le Krigeage, on parle également de semi-variogramme.

#### ▪ **Le semi-variogramme :**

Pour mieux estimer la distribution et la validité de notre échantillonnage. Le modèle sphérique permet d'obtenir un semi-variogramme théorique (Fig. 21).



**Figure 21:** Vue sur ordinateur d'un semi-variogramme

Ce semi-variogramme présente un effet pépite nul, ce qui signifie qu'il y a une marge d'erreur infime au niveau de l'échantillonnage. Quant à la portée, elle est d'environ 28802.3m; ce qui signifie qu'au delà de cette distance les valeurs de la piézométrie sont indépendantes et qu'il est inutile de faire un échantillonnage à une distance de moins de 28802.3m.

#### ❖ Carte piézométrique :

La carte piézométrique de la nappe alluviale de la Feija (Figure 22) a été tracée sur la base de 46 (les 6 puits sont les données de l'ONEP) puits d'observation. La surface piézométrique présente des altitudes qui varient entre 630m (P33) et 730m (P11) et épouse la surface du sol (ce qui est normale pour une nappe alluviale).

- ✓ L'écoulement des eaux souterraines se fait du Sud-Ouest au Nord-Est de la Feija.
- ✓ Le gradient hydraulique (pente de la surface de la nappe) augmente de l'amont vers l'aval (Figure 25). Il passe de  $i = 0,16\%$  en amont à  $0,27\%$  au centre et à  $0,52\%$  en aval.

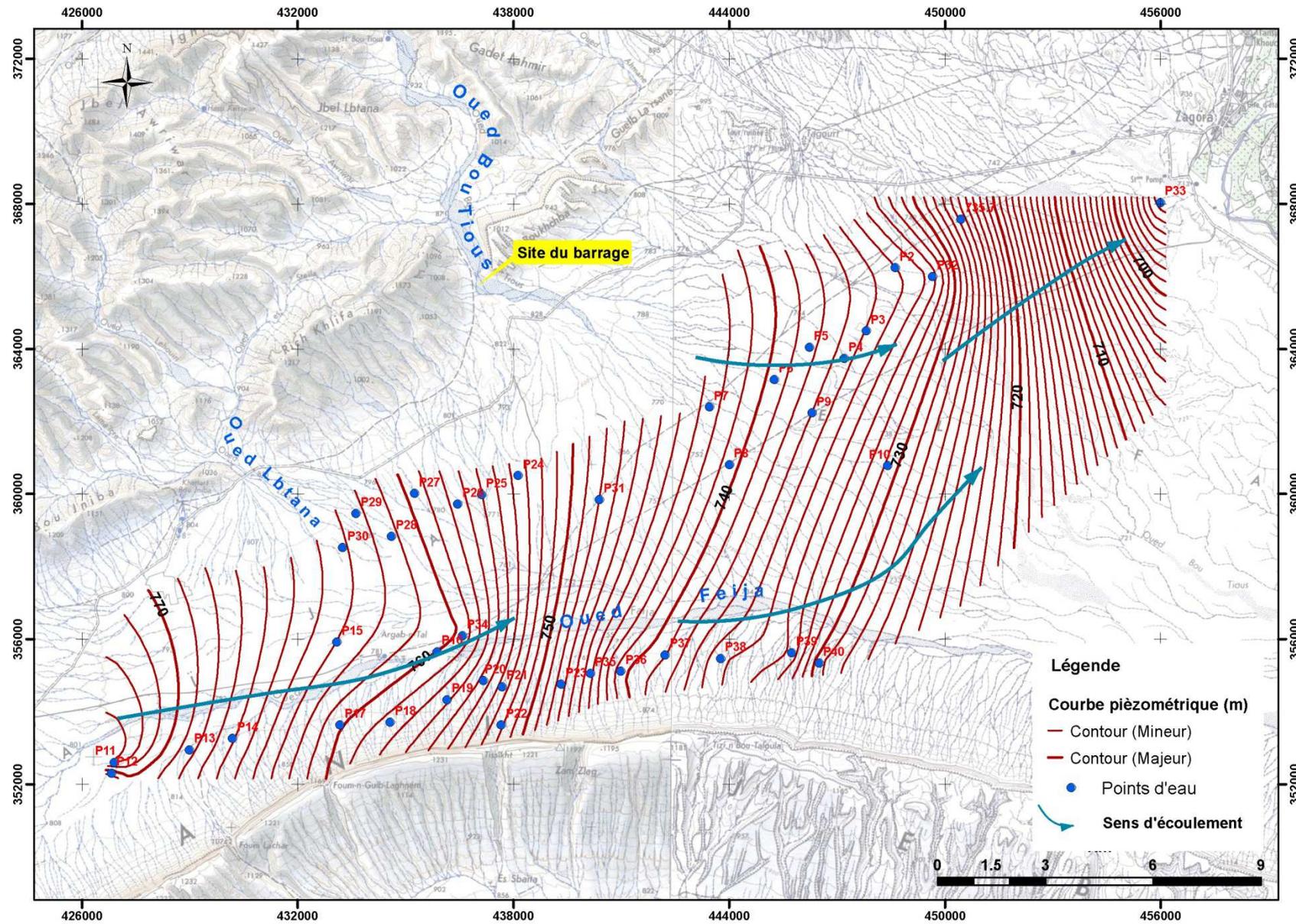


Figure 22: Carte piézométrique élaborée pour la nappe Feija en Mai 2013

❖ **Interprétation :**

L'analyse de la carte piézométrique met en évidence la relation d'alimentation de la nappe de Feija à partir des oueds : Feija, Labtana et Bou Tious. La direction des écoulements tracée sur la carte montre cette relation. Lors de l'enquête piézométrique nous avons constaté que la majorité des projets agricoles sont localisés au niveau de l'embouchure de l'oued Bou Tious ou la productivité des ouvrages est importante (Transmissivité  $T = 3,75 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$  pour le forage ONEP), ce qui traduit d'avantage la relation directe entre l'oued Bou Tious et la nappe. Les agriculteurs affirment également que lors de passage des crues le niveau piézométrique au niveau des puits et des forages augment brusquement.

Il est important de signaler que les nappes du socle n'ont fait l'objet d'aucune étude hydrogéologique permettant de définir des systèmes hydrogéologiques et d'en établir les caractéristiques et les potentialités. Ces formations sont essentiellement des perméabilités et des porosités de fissure avec un faible écoulement et un faible emmagasinement (PDAIRE 2011).

❖ **Abaissement des nappes : influence des pompages.**

Les nappes perdent naturellement leur eau par écoulement gravitaire, résurgences, évaporation et absorption par la végétation, mais aujourd'hui, la surexploitation des eaux souterraines par pompages non contrôlé. Lorsque le pompage dépasse le taux de recharge, la quantité d'eau diminue. Les profondeurs de l'eau et le rabattement augmentent par conséquent, de même que le taux de salinité.

**2. Qualité de l'eau de la nappe Feija :**

Sur le terrain, on a procédé par les mesures in-stu des paramètres physico-chimiques suivant : Température, conductivité et pH. Faute de moyens on n'a pas pu mesurer l'oxygène dissous, ni le potentiel d'oxydoréduction à cause de la grande incertitude de l'appareil.

❖ **Température :** (Cf. Annexe 1 Tableau).

❖ **Conductivité :** La mesure de la conductivité est très importante car elle renseigne sur la salinité et aussi sur la recharge. (carte de conductivité électrique).

La conductivité mesure le degré de minéralisation de l'eau. Les mesures réalisées vont de 711 à 1950  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . La figure ci-dessous présente la carte de répartition spatiale de la conductivité dans le secteur. L'analyse de cette carte montre que, globalement, le secteur d'étude présente une eau faiblement minéralisée. Les zones où les valeurs des conductivités sont inférieures à 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , correspondent aux zones de renouvellements naturels de l'eau par d'alimentation à partir des oueds.

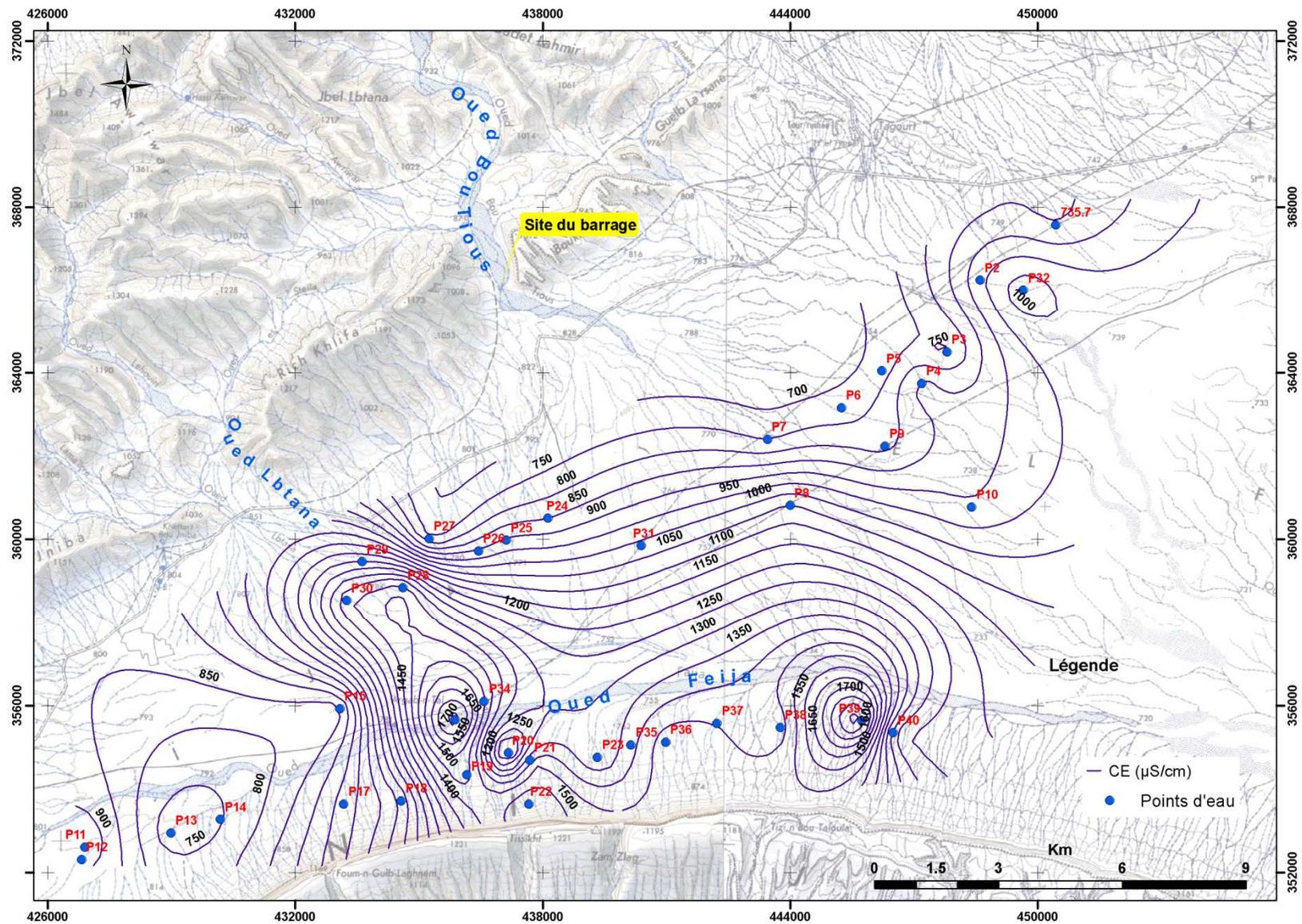


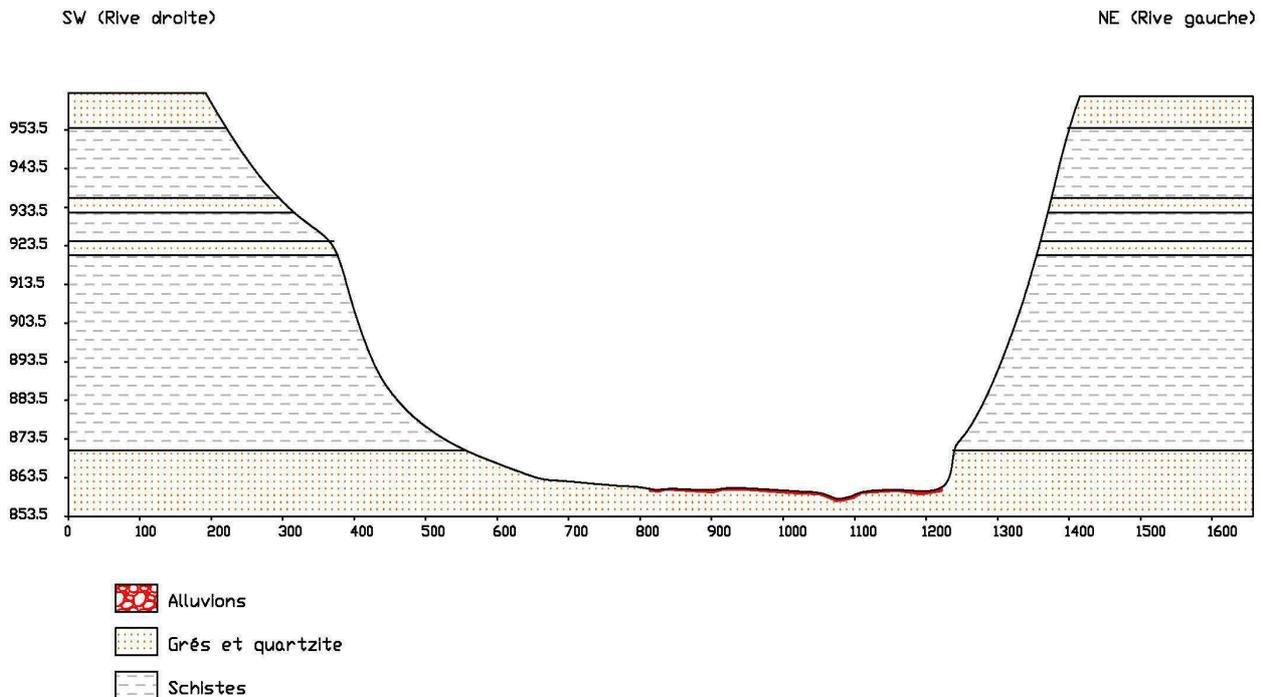
Figure 23: Carte de conductivité électrique de la nappe Feija.

### 3. Cartographie et levé géologique :

Dans l'objectif de confirmer la relation entre l'oued Bou Tious et les systèmes aquifères en aval, nous avons procédé à la cartographie géologique et la réalisation de deux profil géologique, le premier concerne l'axe des fondations du barrage et le deuxième concerne le passage géologique Bou Tious-Jbel Bani

#### ❖ Coupe géologique transversale du site du barrage:

Nos observations sont surtout faites au niveau du site choisi pour l'implantation de l'ouvrage du barrage poids du type BCR, au droit du rétrécissement topographique. A cet endroit, l'oued Bou Tious traverse les formations cambriennes du flanc Est d'un vaste pli à coeur grès-quartzitiques et schisto-marneux. En rives de l'oued Bou Tious, les formations dominantes sont constituées par une série de quartzite, avec intercalations de lits schisteux, et de schistes marneux (Fig.24).



**Figure 24:** Coupe géologique transversale à la vallée de la rivière au niveau du site du futur barrage de Bou Tious.

#### ▪ Rive droite

Sur la rive droite de l'oued Bou Tious, à la sortie même du rétrécissement, on relève, de bas en haut, les quartzites de base (Cambrien moyen) et une série comprenant une alternance des schistes et des bancs quartzites qui présentent la partie terminale de la rive.

- **Rive gauche**

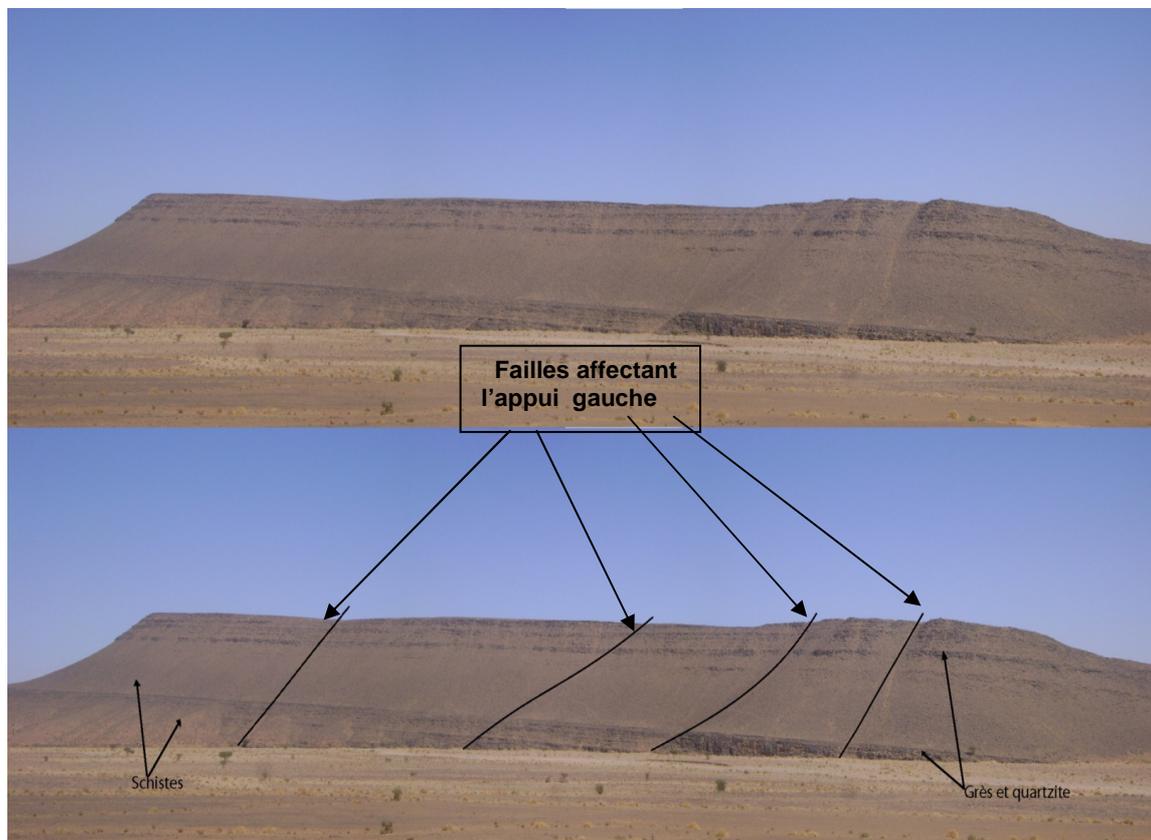
Dans le détail, la série du Cambrien moyen de la rive gauche comprend les quartzites noirâtres, sous forme de bancs décimétriques à métriques [ $> 50$  cm], à la base. Sur une hauteur de l'ordre de 10 m, ces bancs sont intercalés par de joints marneux, de couleur jaunâtre à verdâtre. Ces quartzites sont surmontés par une formation de schistes marneux lités et peu tendres. La stratigraphie de ces formations est nettement appréciable, in-situ, qui se concrétise par des alternances des bancs quartzitiques et les schistes qui sont couvert par éboulis de pente.

- **Fond de vallée**

En surface, le fond de vallée est comblé par des terrasses alluvionnaires qui sont composées de matériaux hétérogènes (galets, graviers, cailloux et gros blocs) sertis dans une matrice sableuse, parfois de granulométrie assez fine. Une ancienne terrasse a été localisée en partie gauche de l'oued Bou Tious, celle-ci est constituées de dépôts de sable très fin entrecoupés de passées graveleuses.

Selon les informations recueillis sur place, l'épaisseur des alluvions, surmontant les formations quartzitiques qui en principe constituent la fondation du barrage, est de l'ordre de 6 mètres.

- **Tectonique**



**Photo1** : Photo montrant les failles affectant les grès et quartzites cambriens à l'appui gauche du futur ouvrage du barrage (BCR).

Il est a rappelé que les formations quartzitiques en rives, constituant avec les schistes marneux les appuis du futur barrage, sont la principale objection à la construction du barrage, car la fracturation affectant ces quartzites peut être un lieu de pénétration des eaux qui risquerait de contourner et déstabiliser le barrage. Suite à l'examen de détail des rives et des thalwegs en particulier, il s'est avéré que les eaux qui pourraient percoler à travers les joints de stratification se trouvaient freinées, voire bloquées, par les schistes qui se trouvent en intercalation avec les bancs quartzitiques. Toutefois, le réseau de fracture verticale (N12° et EW), affectant les quartzites, pourrait susciter des infiltrations à travers les rives.

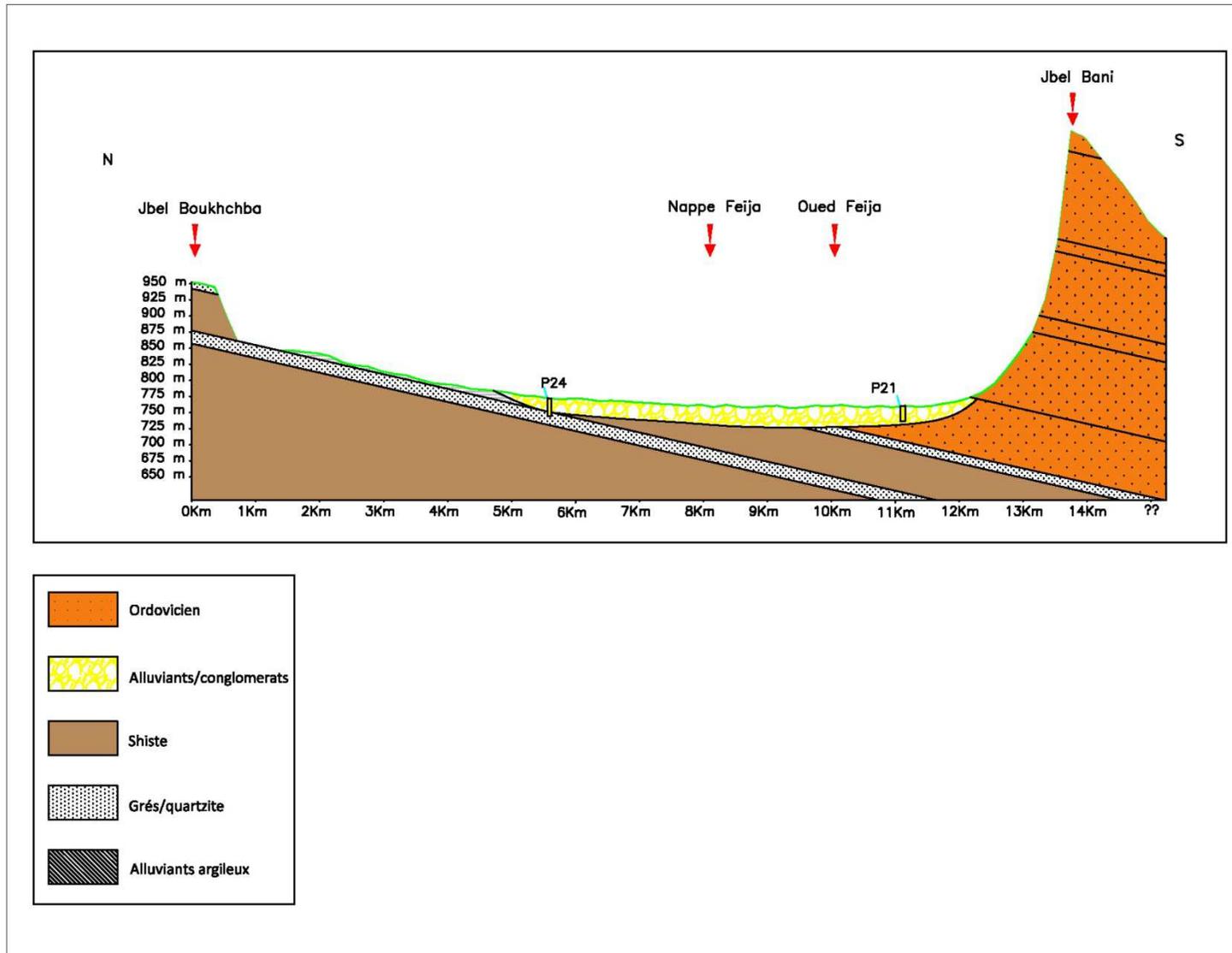
Donc, une attention particulière doit être réservée à cette fracturation afin de déterminer l'importance des fuites à travers les rives. Pour ce faire, des essais d'eau de type Lugeon, moyennant des sondages carottés, devront être réalisés.

Un autre cas remarquable qui concerne l'existence de « failles transversaux » dans la retenue. Situées au niveau de l'appui gauche, notamment entre son pied et sa hauteur, ces failles se trouvent individualisées et sont nettement visibles dans les quartzites Cambriens (Ph. 1).

Les failles recensées au niveau du rétrécissement sont au nombre de quatre (4). Il s'agit d'accidents, d'ampleur limitée, et ayant le caractère de fracturation verticale, très serrée et fermée. La largeur de ces failles est de l'ordre du 1m.

#### ❖ Coupe géologique longitudinale du site du barrage:

Cette section est levée suivant un axe NS, depuis Jbel Boukhchba au nord à Jbel Bani au sud. Structuralement, elle correspond à une série monoclinale à pendage moyen vers le sud (**Fig. 20**). Lithologiquement elle montre, là encore, la même organisation verticale que celle évoquée auparavant. Les schistes et les quartzites du Cambrien occupent plus du deux tiers (septentrionaux) de cette section et dessine un talus topographique douce sur le paysage actuel. Par contre, les dépôts ordoviciens sus-jacents, relativement plus compétents, constituent, comme ailleurs, la fameuse corniche de Jbel Bani. La plaine de Feija, à dominance d'alluvions, couvre en discordance angulaire l'ensemble du dispositif monoclinale cambro-ordovicien (**Fig. 25**). Les deux puits P24 au nord et P21 au sud permettent d'estimer la puissance de cet épiderme sédimentaire plio-quaternaire de Feija. Il apparaît sur ce schéma que le puits P24 capte les eaux circulant dans les grès quartzitiques du Cambrien (nappe du socle) qui affleurent largement au nord entre P24 et Jbel Boukhchba. Un phénomène d'abouchement entre les deux nappes socle /couverture quaternaire, serait possible à moins de 1km au nord de P24 (**Fig. 25**). Ce phénomène a été décrit vers l'ouest à Fezouata (Cherkaoui Dekkaki (2001)). et détermine la relation reliant les deux aquifères.



**Figure 25:** Coupe géologique longitudinale (parallèle) à la vallée de la rivière au niveau du site du futur barrage de Bou Tious.

#### **IV. DISCUSSION ET RESULTAT :**

En termes d'analyses environnementales, les impacts que générera la réalisation du projet du barrage seront soit positifs ou négatifs.

Compte tenu de l'étude géologique exposé précédemment du site du barrage, il nous semble que les failles transversales affectant les quartzitiques en amont du site choisi n'ont aucun incident sur la stabilité des terrains d'appui et de fondation de l'ouvrage du futur barrage.

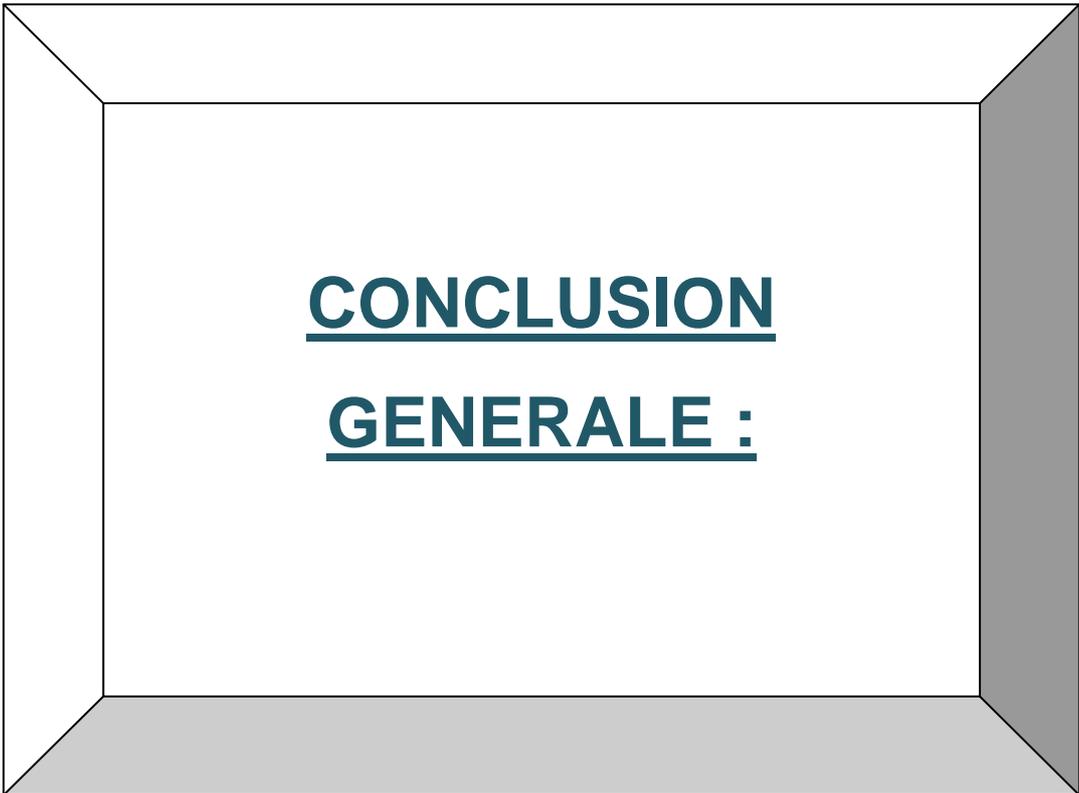
Les fractures cassantes et ouvertes affectant les quartzites de l'appui gauche du barrage seront le siège de fuites d'eau. Il convient donc, pour résoudre ce problème, de procéder à leur colmatage en matériaux étanches (boue de ciment par exemple) avant la phase de mise en eau dans cette retenue. Cette solution sera une parmi les opérations de traitements prévues pour l'amélioration de l'étanchéité et la qualité géotechnique du terrain.

L'horizon quartzitique cambrien, visiblement alimenté par ruissellement au pied de jbel Boukhchba et qui plonge en profondeur vers le sud, constitue probablement un aquifère dans le socle. Cet aquifère contribue lui aussi, par flux latéral, à la recharge de la nappe plio-quadernaire de Feija. Il est donc clair que la construction de l'ouvrage du barrage, à cet endroit, empêchera toutes alimentations naturelles de ce système aquifère. Il est néanmoins nécessaire de procéder à des investigations géotechniques, telles que les essais d'eau, pour corroborer le caractère aquifère de cet horizon quartzitique profond.

Compte tenu des données piézométrique et topographique, on voit clairement que la nappe de Feija est alimentée naturellement par l'Oued Bou Tiouss à Meghadre (Fig. 22). La productivité de cette nappe est donc très manifeste à cet endroit. Elle sera par conséquent nettement menacée par la mise en place du barrage à son amont qui empêchera sa recharge. Il convient donc de faire recours à des relâchées récurrentes des eaux du barrage pour pouvoir stabiliser le niveau de lame d'eaux souterraines dans cette portion nord de la nappe.

#### **V. CONCLUSION :**

La construction de l'ouvrage du barrage de Bou Tiouss, au site choisi, aura probablement un impact négatif moins manifeste sur les eaux profondes de la plaine de Feija. L'exécution de cet ouvrage hydraulique empêchera l'alimentation naturelle de l'éventuel aquifère quartzitique profond qui participe aussi, par flux latéral, à la recharge de la nappe plio-quadernaire de Feija. Il menacera, par ailleurs, la productivité démontrée de la portion nord, à Meghadre, de la nappe plio-quadernaire de Feija dont la recharge est en relation avec les eaux de surface de l'oued Bou Tiouss.



**CONCLUSION**  
**GENERALE :**

L'étude entreprise dans le cadre de notre stage de fin d'étude est une contribution préliminaire à l'étude de l'impact de la réalisation du barrage de Bou Tiouss sur les ressources en eaux de la plaine de Féija, à l'ouest de Zagora. La démarche suivie est faite selon une optique à la fois hydrologique, géologique et hydrogéologique.

L'étude hydrologique a principalement porté sur l'étude des caractéristiques physiques du bassin versant de Bou Tiouss. Le périmètre, la surface, l'indice de compacité, le temps de concentration, la vitesse de ruissellement et le coefficient d'allongement... sont calculés. Leurs valeurs ont été appréciées, confrontés et interprétés. L'ensemble de ces paramètres a donc une forte influence sur la répartition spatio-temporelle des précipitations et des débits au sein de bassin versant étudié.

L'établissement de la carte piézométrique est fait sur la base de données qui découlent des mesures effectuées sur 40 puits (de P1 à P40). L'examen de cette carte montre un écoulement souterrain qui se fait du Sud- Ouest au Nord- Est au sein de la nappe de Feija. Le gradient hydraulique (pente de la surface de la nappe) augmente de l'amont vers l'aval. Il passe de  $i= 0,16 \%$  en amont à  $0,27 \%$  au centre et à  $0,52 \%$  en aval.

Les investigations géologiques et géotechniques préliminaires montrent que la programmation et la réalisation du barrage sur l'Oued Bou Tiouss est envisageable, avec une hauteur qui peut atteindre plus de 29m. L'étude structurale de deux coupes transversale et longitudinale par rapport à la vallée de la rivière, au niveau de site choisi pour le barrage, permettent de visualiser la géométrie dans l'espace et dans le temps des corps géologiques. La présence éventuellement de fractures au niveau des quartzites cambriens et les failles sur la rive gauche doit faire objet d'une attention particulière. Des reconnaissances plus poussées devraient préciser d'avantage leur ampleur et les mesures à prendre pour les colmater éventuellement.

La construction de l'ouvrage du barrage de Bou Tiouss, au site choisi, aura probablement un impact négatif moins manifeste sur les eaux profondes de la plaine de Feija. L'exécution de cet ouvrage empêchera l'alimentation naturelle de l'éventuel aquifère quartzitique profond qui participe à son tour, par flux latéral, à la recharge de la nappe plio-quaternaire de Feija. Il menacera, par ailleurs, la productivité démontrée de la portion nord, à Meghadre, de la nappe phréatique de Feija dont la recharge est en relation avec les écoulements de surface de l'oued Bou Tiouss.

Nous pensons finalement que l'aménagement hydraulique projeté à beaucoup plus d'effets positifs que négatifs sur ressources en eaux de Feija. Les eaux qui seront stockées dans la retenue du barrage de Bou Tiouss permettront de réduire l'exploitation de la nappe en assurant d'une part l'alimentation en eau potable et d'autre part l'irrigation de la plaine de Feija.

## Référence bibliographique

- **AGENCE DE BASSIN HYDRAULIQUE DE SOUSS MASSA DRAA** (2011) - *Etude d'approvisionnement en eau potable des populations rurales de la province de Zagora*, Société Centrale Pour L'équipement Du Territoire –MAROC, Rapport, pp 8, 14, 15, 28,29.
- **AGENCE DE BASSIN HYDRAULIQUE DE SOUSS MASSA DRAA** (2011), *Etude d'actualisation du plan directeur d'aménagement intègre des ressources en eau (PDAIRE) Du Bassin hydraulique du Draa Marché n°106/2008/DRPE*, Volume 2 : Ressources en eau de surface, pp 53.
- **AGENCE DE BASSIN HYDRAULIQUE DE SOUSS MASSA DRAA** (2011), *Etude d'actualisation du plan directeur d'aménagement intègre des ressources en eau (PDAIRE) Du Bassin hydraulique du Draa Marché n°106/2008/DRPE*, Volume 3 : Ressources en eau souterraine, pp 100, 101.
- **AGENCE DE BASSIN HYDRAULIQUE DE SOUSS MASSA DRAA** (2011), *Etude d'actualisation du plan directeur d'aménagement intègre des ressources en eau (PDAIRE) Du Bassin hydraulique du Draa Marché n°106/2008/DRPE*, Rapport de Synthèse pp 28, 30.
- **AGENCE DE BASSIN HYDRAULIQUE DE SOUSS MASSA DRAA** (2011), *Etude d'actualisation du plan directeur d'aménagement intègre des ressources en eau (PDAIRE) Du Bassin hydraulique du Draa Marché n°106/2008/DRPE*, VOLUME 3 : Demande en eau agricole, pp 35,36.
- **Baidder L., Raddi Y., Tahiri M. & Michard A. (2008)**, - *Devonian extension of the Panafrican crust north of the West African Craton, and its bearing on the Variscan foreland deformation: evidence from eastern Anti-Atlas (Morocco)*, in Ennih N., Liégeois J.P. (Eds.), *Geol. Soc. London Spec. Publ.* 297, pp. 449–461.
- **Bureau d'études Hydroleader**, Marche N°28/BP/2012 *Etude Technique de Construction d'un Barrage Collinaire a Bou-Tiouss*, a la CR Ternata, Province de Zagora, Rapport, p 45.
- **Burkhard M., Caritg S., Helg U., Robert Ch., Charrue Ch., Soulaïmani A. (2006)** - *Tectonics of the Anti-Atlas of Morocco*, in Frizon de Lamotte D., Saddiqi O., Michard A. (Eds.), *Recent Developments on the Maghreb Geodynamics. C. R. Geoscience* 338, pp. 11–24.
- **Carte du MAROC EL GLOAA** , échelle 1/100 000,1972, feuille NH-29XVIII-2.
- **CHAMAYOU J., COMBE M. & DUPUY J. C.**, *Moyenne vallée du Draa in Ressources en eau du Maroc, tome3: Domaines atlasique et sud-atlasiques*, Notes et mémoires du service géologique n°231 (1977), pp. 262-298.

- **CHAMAYOU JEAN** (1966), *Hydrogéologie de la vallée du Draa Moyen*, Thèse, université de MONTEPELLIER faculté des sciences, pp 1.
- **DESTOMBES, J.** (1962), *Stratigraphie et paléogéographie de l'Ordovicien de Anti-Atlas(Maroc)*: un essai de synthèse. – Bulletin de la Société Géologique de France 4, Issue 3;pp 453-460.  
**E.REYNARD SIMON MAERTIN**-(Juin 2006), *Influence du tourisme sur la gestion de l'eau en zone aride*, exemple de la vallée du Drâa (Maroc) Mémoire de licence, pp 12, 42, 54, 58. Site web: [http://doc.rero.ch/record/5866/files/648\\_Martin\\_memoire.pdf](http://doc.rero.ch/record/5866/files/648_Martin_memoire.pdf)
- **Helg U., Burkhard M., Caritg S., Robert-Charrue Ch. (2004)** - *Folding and inversion tectonics in the Anti-Atlas of Morocco*, *Tectonics* 23 TC 4006, pp.1–17.  
**IMPETUS Atlas du MAROC résultat de recherche 2000 – 2007 troisième édition**. Site web: <http://www.impetus.uni-koeln.de/fr/impetus-atlas/impetus-atlas-marokko>
- **J.DESTOMBES.** (1989), carte géologique du Maroc feuille de Zagora coupe du Dra-Hammada du Dra, Echelle 1/200 000, notes et mémoire N° 273.
- **KLOSE S., REICHERT B.** (2006) - *Groundwater management in the middle Drâa-River basin (South-Morocco)*. *14th International Soil Conservation Organization Conference. Water Management and Soil Conservation in Semi-Arid Environments*. Marrakech, Morocco, May 14-19, 2006 (ISCO 2006).
- **République du Bénin**, Ministère d l'environnement de l'Habitat et de l'Urbanisme, Agence Béninoise pour l'environnement, guide sectoriel d'étude d'impact sur l'environnement des projets de centrales Hydroélectrique.
- **Robert-Charrue C. (2006)** - *Géologie structurale de l'Anti-Atlas oriental, Maroc*. Thèse de doctorat es-Sciences, Université de Neuchâtel, 224p.
- Site web: [www.ONEP.ma](http://www.ONEP.ma) .